



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN MOLDE PARA FORMADO CON
EXPLOSIVO”**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTAN

JOSÉ LUÍS MACHUCA GARFIAS

RUBÉN LUNA TREJO

ASESOR:

M.I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**



**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán**

Con base en el art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la **Tesis:**

Diseño y Fabricación de un Molde Para Formado con Explosivo

Que presenta el pasante: **José Luis Machuca Garfias**

Con número de cuenta: **406067698** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Electricista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcallí, Méx. a 20 de Junio de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez	
VOCAL	M.I. Humberto Neri Mondragón	
SECRETARIO	Ing. Eusebio Reyes Carranza	
1er SUPLENTE	Ing. Angel Isaías Lima Gómez	
2do SUPLENTE	Ing. Ernesto Alfonso Ramírez Orozco	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
HHA/pm



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**



DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán**

Con base en el art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la **Tesis:**

Diseño y Fabricación de un Molde Para Formado con Explosivo

Que presenta el pasante: **Rubén Luna Trejo**

Con número de cuenta: **303083371** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Electricista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcallí, Méx. a 20 de Junio de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez	
VOCAL	M.I. Humberto Neri Mondragón	
SECRETARIO	Ing. Eusebio Reyes Carranza	
1er SUPLENTE	Ing. Angel Isaías Lima Gómez	
2do SUPLENTE	Ing. Ernesto Alfonso Ramírez Orozco	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
HHA/pm

DEDICATORIAS

Esta es una más de las metas cumplidas que se ve hecha realidad y que no hubiese sido posible sin la ayuda de personas que nos brindaron su apoyo y ayuda desinteresada. Esto me obliga a seguir cosechando metas y lograr ser cada día un mejor ser humano.

Damos infinitas gracias...

A Dios, por el camino recorrido....

A nuestros padres, por su amor y apoyo...

A nuestro asesor de tesis, que nos brinda su apoyo incondicional...

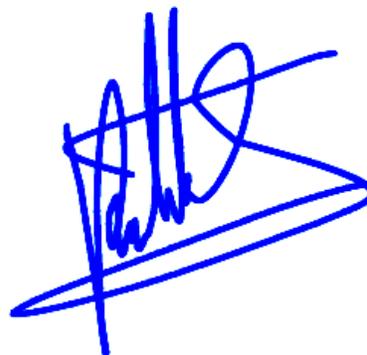
A la vida.... Por lo aprendido...

Durante todos estos años he conocido y compartido momentos con muchas personas que me han apoyado, no solo en lo académico, sino también en lo personal. A todas ellas, y sin dejar a nadie en el olvido, quiero agradecerles su tiempo, sus palabras, sus enseñanzas y su apoyo gracias.

He de resaltar que la realización de esta tesis ha sido posible gracias al apoyo técnico, de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, obtenido mediante cada uno de los profesores que me ayudaron a sobresalir y alcanzar cada una de las metas necesarias para esta tesis.

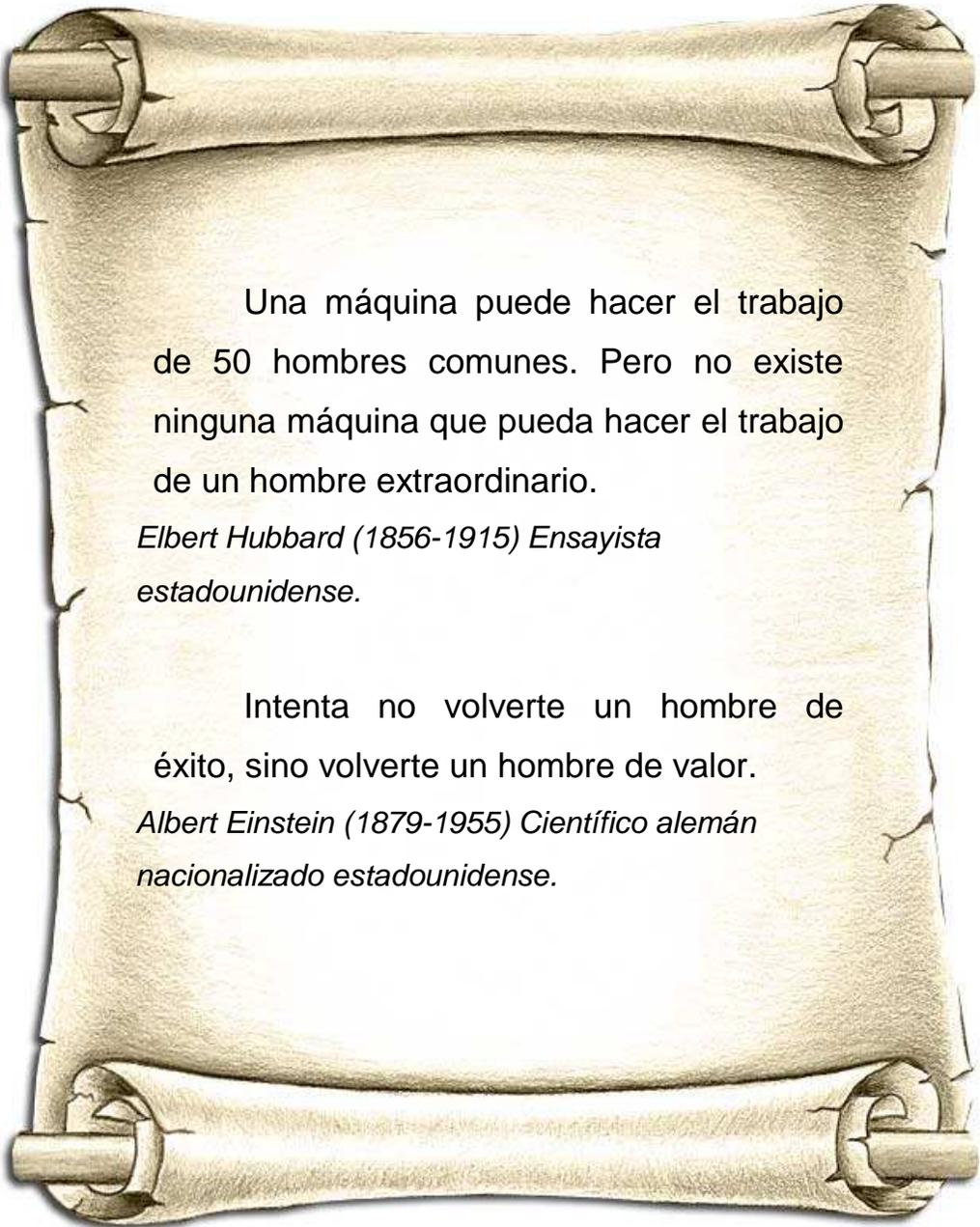


José Luis Machuca Garfias



Rubén Luna Trejo

EPIGRAFE

A scroll with text on it, featuring two wooden rollers at the top and bottom. The scroll is unrolled in the center, showing two paragraphs of text. The paper is aged and yellowed, with some creases and a slightly textured appearance.

Una máquina puede hacer el trabajo de 50 hombres comunes. Pero no existe ninguna máquina que pueda hacer el trabajo de un hombre extraordinario.

Elbert Hubbard (1856-1915) Ensayista estadounidense.

Intenta no volverte un hombre de éxito, sino volverte un hombre de valor.

Albert Einstein (1879-1955) Científico alemán nacionalizado estadounidense.

INDICE

RESUMEN	- 1 -
INTRODUCCIÓN	- 2 -
OBJETIVOS.....	- 3 -

CAPITULO 1.

DESARROLLO HISTÓRICO DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA

<i>1.1. EL INICIO DE LA REVOLUCION INDUSTRIAL</i>	<i>- 5 -</i>
<i>1.2. LA MANUFACTURA Y LA PRODUCCION EN SERIE</i>	<i>- 6 -</i>
<i>1.3. UN GRAN PIONERO</i>	<i>- 8 -</i>
<i>1.4. EL INICIO DE LA ERA DIGITAL.....</i>	<i>- 9 -</i>

CAPITULO 2.

LA MANUFACTURA

<i>2.1. PROCESOS DE MANUFACTURA CONVENCIONALES</i>	<i>- 12 -</i>
<i>2.2. INGENIERÍA DE MANUFACTURA.....</i>	<i>- 14 -</i>
<i>2.3. FUNCIÓN ECONÓMICA DE LA MANUFACTURA.....</i>	<i>- 15 -</i>
<i>2.4. INDUSTRIAS MANUFACTURERAS Y PRODUCTOS</i>	<i>- 16 -</i>

2.4.1. PRODUCTOS MANUFACTURADOS	- 17 -
2.4.2. CANTIDAD DE PRODUCCIÓN Y VARIEDAD DE PRODUCTOS.....	- 19 -
2.4.3. CAPACIDAD DE MANUFACTURA	- 21 -
2.4.4. CAPACIDAD TECNOLÓGICA DE PROCESO.....	- 21 -
2.4.5. LIMITACIONES FÍSICAS DEL PRODUCTO.....	- 22 -
2.5. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	- 22 -
2.6. LOS MATERIALES EN LA MANUFACTURA	- 23 -
2.7. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA	- 24 -

CAPITULO 3.

PROCESOS DE MANUFACTURA CON CONSERVACIÓN DE MASA

3.1. DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA.....	- 28 -
3.1.1. FORJADO.....	- 29 -
3.1.2. ESTIRADO DE ALAMBRES Y BARRAS.....	- 36 -
3.1.3 EXTRUSIÓN.....	- 39 -
3.1.4. LAMINADO	- 43 -
3.2 TRABAJADO METÁLICO DE LÁMINAS.....	- 46 -
3.2.1. OPERACIONES DE CORTE	- 47 -
3.2.2. PUNZONADO.....	- 49 -
3.2.3. PERFORADO	- 50 -
3.2.4. OPERACIONES DE DOBLADO	- 51 -
3.2.5. EMBUTIDO.....	- 53 -

CAPITULO 4.
FORMADO POR ALTA VELOCIDAD DE ENERGIA

4.1. HIDROFORMADO	- 57 -
4.2 FORMADO ELECTROMAGNETICO.....	- 62 -
4.3 FORMADO ELECTROHIDRAULICO	- 70 -
4.4 FORMADO CON EXPLOSIVO.....	- 71 -
4.4.1 OPERACIONES DE CONTACTO.....	- 71 -
4.4.2 OPERACIONES SIN CONTACTO.....	- 72 -
4.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL FORMADO CON EXPLOSIVO.....	- 76 -

CAPITULO 5.
DISEÑO DEL MOLDE

5.1 PARTE MÓVIL DEL MOLDE.....	- 79 -
5.1.1 PLACA DE CAVIDAD	- 80 -
5.1.2 SUFRIDERA SUPERIOR.....	- 81 -
5.1.3 SISTEMA DE RETORNO	- 82 -
5.1.4 MANIJA DE APERTURA	- 82 -
5.2 PARTE FIJA.....	- 83 -
5.2.1 PLACA DE ALOJAMIENTO DEL EXPLOSIVO	- 84 -
5.2.2 PLACA DE FIJACIÓN.....	- 84 -
5.2.3 POSTES Y BUJES GUIA.....	- 85 -
5.2.4 CENTRADORES	- 86 -

5.2.5 CÁNCAMO Y SEGURO.....	- 86 -
5.2.6 MESA DE SOPORTE	- 87 -
5.3 EXPLOSIVO.....	- 88 -
5.3.1 CONTROL ELECTRÓNICO.....	- 90 -
5.4 PLANOS DEL MOLDE	- 92 -

CAPITULO 6.

PRUEBAS

6.1 COMPROBACIÓN DEL FORMADO CON EXPLOSIVO.....	- 114 -
6.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RETORNO	- 117 -
6.3 PULIDO Y ENGRASADO DE LA CAVIDAD.....	- 118 -
6.4 PRUEBAS PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE PÓLVORA.....	- 119 -

CONCLUSIONES	- 122 -
---------------------------	----------------

BIBLIOGRAFÍA	- 123 -
---------------------------	----------------

APENDICE.....	- 125 -
----------------------	----------------

RESUMEN

Los actuales escenarios de la ingeniería cada vez demandan un mayor porcentaje de procesos especializados, buscando se integren a la productividad y a la calidad de nuevos productos, siendo estos el reflejo de las industrias mexicanas.

Esta tesis contiene la síntesis del estudio realizado para el presente trabajo que describe un estudio teórico-práctico, en el cual se sustenta la experiencia vivida en la implementación y fabricación de un molde para formado con explosivo.

El surgimiento de la investigación se constituye en base a un diseño CAD seguido de la fabricación y se culmina con la implementación del proceso.

Para la realización del proyecto fue necesario recabar información de diversos procesos de manufactura, tomándolos como punto de partida para crear una herramienta con mayor eficiencia para la elaboración de un molde, el cual forma un cenicero.

Para la fabricación de dicho molde fue necesario utilizar diversos mecanizados. Como son: Corte con pantógrafo, rectificado, maquinado convencional y CNC, electroerosión por penetración, pulido y soldadura.

Se obtuvo satisfactoriamente la demostración del proceso, logrando alcanzar el objetivo de este trabajo, al obtener un cenicero.

INTRODUCCIÓN

Debido a la gran evolución de los procesos de manufactura nos dimos a la tarea de investigar y dar a conocer un proceso con el cual nosotros podemos dar forma a una lamina de forma prediseñada por medio de un molde en el cual se introduce un explosivo, este se hace detonar de manera controlada y de forma electrónica.

Todos hemos oído hablar de los explosivos y sabemos que son sustancias químicas capaces de explotar, es decir, liberar en una fracción de tiempo muy breve una gran cantidad de energía la cual nosotros emplearemos para obtener un producto. Sin embargo, más allá de esto, los conocimientos que se tienen son muy limitados.

Los explosivos, más allá de su uso militar o delictivo tienen una gran importancia en el ámbito de la minería o de la Ingeniería Civil, siendo una herramienta muy útil para la extracción de minerales, perforación de túneles o demolición de estructuras, basándonos en esto se busca implementarlo en la Ingeniería Mecánica por medio de los procesos de manufactura.

En este proceso debemos tomar en cuenta que el manejo de los explosivos debe hacerse con las debidas garantías de seguridad tanto del personal como de las instalaciones ya que es una operación poco habitual en la que deben extremarse las precauciones aplicadas en la utilización normal de los explosivos para que el proceso sea seguro.

El molde diseñado para la fabricación con explosivos debe tener un cuerpo resistente y duradero de las diversas partes del mismo. Para transmitir el diseño de nuestro molde se realizaron los planos de conjunto y los planos de detalle de cada una de las piezas debidamente acotadas, los cuales fueron utilizados para el maquinado.

Nuestro proceso de formado con explosivo permite obtener fácil y económicamente piezas de formas complejas y diversos tamaños, así mismo utilizar de modo conveniente algunos metales y aleaciones cuyas características particulares no los hacen aptos para la laminación, embutido, la forja o la soldadura.

OBJETIVOS

- Desarrollar un sistema de manufactura especializado, basado en el diseño de un herramental para lograr la deformación uniforme de una lámina en una sola operación.
- El objetivo del trabajo es diseñar un molde que sea económico, con las características de funcionalidad exigidas, así como dar una visión global de los pasos a seguir en la elaboración de un molde, siguiendo y aplicando el diseño mediante modelado 3D de todos los componentes del mismo, para asegurarnos de su correcto funcionamiento, realizando posteriormente un ensamble que muestra el funcionamiento de las diversas etapas del molde.
- Se requiere aplicar una fuerza para deformar una lámina mediante un explosivo, con la finalidad de obtener mejores resultados que en los productos de los sistemas de manufactura convencionales para la producción de piezas grandes y de formas complejas, utilizadas para la industria aeronáutica.
- Reducir el espacio y el costo de los herramientas necesarios para transformar una lámina en un producto requerido.
- Lograr la aplicación de los conocimientos adquiridos en la licenciatura para implementar un proceso y poder relacionar la teoría con lo que realmente se necesita en la industria.
- Mejorar la manipulación de maquinaria especializada, tanto en tiempos de maquinado como en exactitud.

CAPITULO 1

DESARROLLO HISTÓRICO DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA

La manufactura se ha practicado durante varios miles de años, comenzando con la producción de artículos de piedra, cerámica y metal. Los romanos ya tenían fábricas para la producción en masa de artículos de vidrio, armas, alfarería y otros artículos de la época.

Varios de los procesos básicos de manufactura se remontan al periodo neolítico (alrededor de 8000 a 3000 a.C.). Durante este periodo se descubrieron los inicios de algunos procesos como grabado, tallado en madera, formado a mano así también el cocido de utensilios de barro, tallado de maderas, pulido de piedras, hilado, tejido de telas y teñido de textiles. Estos procesos fueron de gran utilidad para el desarrollo por lo que con el tiempo se fueron perfeccionando.

En muchas actividades incluyendo la minería, la metalurgia y la industria textil se ha empleado desde hace mucho tiempo el principio de la división del trabajo, sin embargo, por siglos gran parte de la manufactura permaneció como una actividad esencialmente individual, practicada por artesanos basándose principalmente en la habilidad manual.

El ingenio de generaciones sucesivas de artesanos condujo al desarrollo de muchos procesos y a una gran variedad de productos, pero la escala de producción estaba necesariamente limitada por la potencia disponible. La potencia del agua sustituyó a la muscular en la edad media, pero solo hasta el punto permitido por la disponibilidad de agua en movimiento; ello limitó la localización de las industrias y la tasa de crecimiento de la producción industrial.

La historia de la manufactura está marcada por desarrollos graduales, pero los efectos acumulativos han tenido sustanciales consecuencias sociales, las cuales se pueden considerar revolucionarias.

La historia de la manufactura puede dividirse en dos facetas.

- 1) El descubrimiento e invención de los materiales y procesos para producir bienes.
- 2) El desarrollo de los sistemas de manufactura.

Los materiales y procesos para la producción anteceden a los sistemas de manufactura por varios milenios. Algunos de los procesos como fundición, martillado (forja) y molienda se remontan a más de 6000 años. La incipiente manufactura de armas e implementos se practicaba más como una artesanía que como la manufactura que se conoce hoy en día. Los sistemas de manufactura se refieren a la forma del organizar gente y equipos para que la producción pueda llevarse a cabo con mayor eficiencia.

Algunos descubrimientos y sucesos históricos destacan por haber tenido un impacto importante sobre el desarrollo de los sistemas modernos de fabricación.

Un descubrimiento importante fue seguramente el principio de la división del trabajo que distribuye el trabajo total en tareas, y permite a los trabajadores especializarse en el desempeño de una sola tarea. Este principio se había practicado por siglos, pero se atribuye al economista Adam Smith (1723-1790) quien explicó por primera vez su importancia económica.

1.1. EL INICIO DE LA REVOLUCION INDUSTRIAL

Al término del siglo XVIII, el desarrollo de la máquina de vapor hizo posible disponer de potencia en grandes cantidades y en muchos lugares. Esto agilizó los avances en los procesos de manufactura y facilitó el crecimiento de la producción, proporcionando una abundancia de bienes y, con la mecanización de la agricultura, de productos agrícolas. Como resultado, la sociedad también se transformó. Más tarde, este desarrollo se conoció como la Revolución Industrial.

La Revolución Industrial (1760-1830) se caracterizó porque la potencia mecánica reemplaza a la física del trabajador. Muchas máquinas eran accionadas por bandas a partir de un eje motor común, y el alcance de la mecanización era ilimitado; por este motivo tuvo un impacto importante sobre la producción en varios sentidos. Marcó el cambio de una economía basada en la agricultura y las artesanías a otra, apoyada en la industria y la manufactura. El cambio se inició en Inglaterra donde tuvo lugar la invención de una serie de máquinas que reemplazaron la fuerza del agua, del viento y de los animales de tiro por la fuerza del vapor. Estos adelantos dieron a la industria británica ventajas importantes sobre otras naciones; no obstante que Inglaterra intentó restringir la exportación de las nuevas tecnologías, la Revolución Industrial se extendió eventualmente a otros países europeos y a Estados Unidos. Este hecho histórico contribuyó al desarrollo de la manufactura con las siguientes aportaciones:

- 1) La máquina de vapor de Watt, una nueva tecnología generadora de fuerza motriz para la industria.
- 2) El desarrollo de máquinas herramienta, que se inicia con la máquina de taladrar de John Wilkinson alrededor de 1775.
- 3) La invención de la máquina de hilar, el telar a motor, y otros equipos para la industria textil que permitieron aumentos importantes de productividad.
- 4) El sistema de fabricación, una nueva manera de organizar grandes grupos de trabajadores basada en el principio de la división del trabajo.

Hacia mediados del siglo XIX, algunas funciones del trabajador se reemplazaron por máquinas, en las cuales los componentes mecánicos, tales como levas y palancas, estaban ingeniosamente configurados para realizar tareas simples y repetitivas. Esta mecanización, o "automatización dura", eliminó algunos empleos, pero los trabajadores desplazados de esta forma junto con aquellos que no eran estratégicos para la agricultura, generalmente encontraron trabajos en la creciente área de la manufactura y en sectores de servicios de la economía.

1.2. LA MANUFACTURA Y LA PRODUCCION EN SERIE

Se ha dado todo el crédito de esta idea a Eli Whitney (1765-1825), aunque su importancia haya sido reconocida por otros. En 1797, Whitney consiguió un contrato para producir 10,000 mosquetes para el gobierno de Estados Unidos. La manera tradicional de hacer rifles en esa época consistía en fabricar a la medida cada parte del rifle particular, el ensamble se hacía a mano y el ajuste mediante limado. Cada mosquete era único, y el tiempo para fabricarlos era considerable. Whitney pensó que los componentes podrían hacerse con la precisión suficiente para permitir ensamblar las partes sin necesidad de ajustes. Después de varios años de desarrollo en su fábrica de Connecticut, viajó a Washington en 1801 para demostrar el principio. Colocó ante funcionarios del gobierno, incluyendo a Thomas Jefferson los componentes para 10 mosquetes y procedió a seleccionar al azar las partes para armarlos. No requirió ningún limado ni ajuste especial y los mosquetes funcionaron perfectamente.

El secreto de su éxito era el conjunto de máquinas especiales, accesorios y calibradores que había desarrollado en su fábrica. La manufactura de partes intercambiables requirió muchos años de desarrollo antes de llegar a ser una realidad práctica, sin embargo revolucionó

los métodos de manufactura al grado de convertirse en un prerequisite para la producción masiva. Debido a que se originó en Estados Unidos, la producción de partes intercambiables vino a ser conocida como el Sistema americano de manufactura.

El punto de partida de los procesos de manufactura moderno pueden acreditarse a Eli Whitney con su máquina despepitadora de algodón, sus principios de fabricación intercambiables o su máquina fresadora, sucesos todos ellos por los años de 1880. También en esa época aparecieron otros procesos industriales a consecuencia de la guerra civil en los Estados Unidos, que proporcionó un nuevo impulso al desarrollo de procesos de manufactura de aquel país.

La segunda mitad de siglo XIX atestiguó la expansión de los ferrocarriles, los buques de vapor y otras máquinas que generaron una necesidad creciente de hierro y acero. Se desarrollaron nuevos métodos de producción de acero para satisfacer esta demanda.

También durante este periodo se desarrollaron varios productos de consumo como la máquina de coser, la bicicleta y el automóvil. Para satisfacer la demanda masiva de estos productos se requirieron métodos de producción más eficientes. Algunos historiadores identifican los desarrollos durante este periodo como la Segunda Revolución industrial caracterizada en términos de sus efectos sobre los sistemas de manufactura por lo siguiente:

- 1) Producción en masa.
- 2) Movimiento de administración científica.
- 3) Líneas de ensamble.
- 4) Electrificación de las fábricas.

A finales del siglo XIX, se desarrolló en Estados Unidos el movimiento de administración científica como respuesta a la necesidad de planificar y controlar las actividades de un número creciente de trabajadores de la producción. El movimiento fue iniciado por Frederick W. Taylor (1856-1915), Frank Gilbreath (1868-1924), su esposa Lillian (1878-1972) y otros. Los aspectos característicos de la administración científica fueron:

- 1) El estudio de movimientos, destinado a buscar el mejor método para realizar una tarea.

- 2) El estudio de tiempos para establecer estándares de trabajo para un puesto.
- 3) La utilización generalizada de estándares en la industria.
- 4) El sistema de pagos a destajo con planes similares de incentivo al trabajo.
- 5) Uso de la recopilación de datos, el mantenimiento de registros y la contabilidad de costos en las operaciones de fábrica.

1.3. UN GRAN PIONERO

Henry Ford (1863-1947) introdujo la línea de ensamble en 1913 en su planta de Highland Park (figura 1.1.). La línea de ensamble hizo posible la producción masiva de productos complejos de consumo. El uso de los métodos de ensamble en línea permitió a Ford vender un automóvil modelo T a sólo 500 dólares, poniendo al alcance de un gran segmento de la población americana la posibilidad de poseer un automóvil.

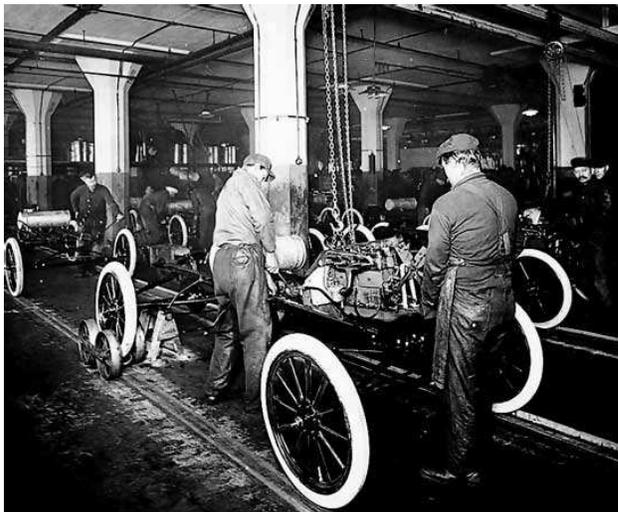


Figura 1.1. Línea de ensamble utilizada para manufacturar el Ford modelo T

Hacia 1881, se había construido en la ciudad de Nueva York la primera estación generadora de electricidad, y pronto los motores eléctricos se comenzaron a usar como fuentes de poder para operar la maquinaria de las fábricas. Éste era un sistema de distribución de energía mucho más conveniente que las máquinas de vapor, que requerían bandas en el techo

para transmitir el movimiento a las máquinas. Hacia 1920 la electricidad había desplazado al vapor como fuente principal de fuerza motriz en las fábricas americanas.

A principios del siglo XX, el desarrollo se impulsó aun más con adelantos tecnológicos que en todos los demás siglos juntos. Muchos de estos desarrollos se dieron por introducción de la potencia eléctrica a las máquinas, ahora podían ser accionadas individualmente y los controles eran con base en circuitos eléctricos resultando la automatización de la manufactura. Podemos mencionar: Líneas de transferencia, control numérico, robótica industrial, controladores lógicos programables y sistemas flexibles de manufactura permitieron un alto grado de complejidad en la automatización.

1.4. EL INICIO DE LA ERA DIGITAL

A partir de la segunda mitad del siglo XX han tenido lugar desarrollos adicionales. Las computadoras comenzaron a ofrecer una potencia computacional ni siquiera soñada, y los dispositivos electrónicos de estado sólido desarrollados a partir del transistor permitieron la fabricación de dispositivos de gran flexibilidad a un costo cada vez menor.

A principios de los años setenta la disponibilidad del microchip, con miles de componentes electrónicos abarrotados en una minúscula oblea de silicio, hizo posible desempeñar tareas computacionales, de control, de planeación y de administración a altas velocidades, con frecuencia en tiempo real (es decir, donde el proceso ocurre mientras se controla) y a bajo costo. Las consecuencias han sido de gran alcance en cada faceta de nuestra vida, y parece que aun no hay límites para el desarrollo. Sin embargo, es evidente que las implicaciones sociales de estos cambios serán tan fundamentales como aquellas forjadas por la Revolución Industrial del siglo XIX; actualmente la mayoría de los observadores concuerda en que estamos en medio de la segunda Revolución Industrial.

Una característica de esta es que, además de la posibilidad de reemplazar la mayoría del trabajo físico, ahora es posible intensificar y algunas veces incluso sustituir el esfuerzo mental. Algunas consecuencias de este desarrollo ya son evidentes en muchos trabajos peligrosos, físicamente exigentes o aburridos, los cuales son realizados por máquinas o robots controlados por computadoras; con ello la variedad de los productos se incrementa, la calidad mejora, la productividad expresada por el rendimiento unitario se eleva.

CAPITULO 2

LA MANUFACTURA

La manufactura es una actividad humana que se difunde en todas las fases de nuestra vida. Los productos de la manufactura se encuentran por doquier. Todo lo que vestimos, donde vivimos, en lo que viajamos, incluso la mayor parte de nuestros alimentos, han pasado a través de algún proceso de manufactura.

La palabra manufactura se deriva del latín (*manus* = mano, *factus* = hecho), la palabra inglesa *manufacturing* tiene ya varios siglos de antigüedad, y la expresión "hecho a mano" describe precisamente el método manual que se usaba cuando se acuñó la palabra, en los diccionarios se define como "La fabricación de bienes y artículos a mano o, especialmente por maquinaria, frecuentemente en gran escala y con división del trabajo". La moderna manufactura se realiza con maquinaria computarizada y automatizada que se supervisa manualmente. Veremos que esta definición no es necesariamente completa, pero podemos utilizarla para entender la función de la manufactura en el desarrollo humano.

La manufactura es una actividad importante desde el punto de vista tecnológico, económico e histórico.

Tecnológicamente, se puede definir como 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 que son necesarios o deseados por la sociedad y a sus miembros; la manufactura incluye también el ensamble de partes múltiples para fabricar productos terminados. Los procesos para realizar la manufactura involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual. 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.

Existen numerosos ejemplos de tecnologías que afectan directa o indirectamente nuestra vida diaria. Por mencionar algunas tenemos:

- Bolígrafo
- Teléfono celular
- Reproductor de discos compactos
- Lentes de contacto

- Calculadora electrónica
- Bombilla de luz incandescente
- Robot industrial
- Circuito integrado
- Televisor
- Aparatos médicos
- Horno de microondas

Económicamente, la manufactura es la transformación de materiales en artículos de mayor valor, a través de una o más operaciones o procesos de ensamble que permite a una nación crear riqueza material. 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. En la moderna economía internacional, una nación necesita una sólida base manufacturera (o recursos naturales importantes) si desea tener una economía fuerte con la cual brindar a su pueblo un alto nivel de vida.

Cuando el mineral de hierro se convierte en acero, se le agrega valor. Cuando la arena se transforma en vidrio, se le agrega valor. Lo mismo sucede cuando el petróleo se refina y convierte en plástico; y cuando el plástico se moldea en una compleja geometría de una silla de patio, se hace aún más valioso.

Las palabras producción y manufactura se usan frecuentemente en forma indistinta. Producción, tiene un significado más amplio que manufactura. Se puede decir por ejemplo, "producción de petróleo crudo", pero la frase "manufactura de petróleo crudo" queda evidentemente fuera de lugar; no obstante, las dos palabras son aceptadas.

La manufactura se ha convertido en una porción inmensa de la economía del mundo moderno. Según algunos economistas, la fabricación es un sector que produce riqueza en una economía, mientras que el sector servicios tiende a ser el consumo de la riqueza.

Históricamente, se ha subestimado la importancia de la manufactura en el desarrollo de las civilizaciones; no obstante, las culturas humanas que han sabido hacer mejor las cosas a lo largo de la historia, han sido las más exitosas. Haciendo mejores herramientas, se perfeccionaron las artesanías y las armas; la artesanía les permitió un mejor nivel de vida, las armas les permitieron conquistar a las culturas vecinas en tiempos de conflicto.

En la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) Estados Unidos sobrepasó a Alemania y Japón en producción, lo cual fue una ventaja decisiva para ganar la guerra. La historia de la civilización ha sido en gran parte, la historia de la habilidad humana para fabricar cosas.

El origen de la experimentación y análisis en los procesos de manufactura se acreditaron en gran medida a Fred W. Taylor quien un siglo después de Whitney publicó los resultados de sus trabajos sobre el labrado de los metales aportando una base científica para hacerlo.

El contemporáneo Miron L. Begeman y otros investigadores o laboratoristas lograron nuevos avances en las técnicas de fabricación, estudios que han llegado a aprovecharse en la industria. El conocimiento de los principios y la aplicación de los servomecanismos levas, electricidad, electrónica y las computadoras hoy día permiten al hombre la producción de las máquinas.

2.1. PROCESOS DE MANUFACTURA CONVENCIONALES

De acuerdo con esta definición y a la vista de las tendencias y estado actual de la fabricación mecánica y de las posibles actividades que puede desarrollar el futuro ingeniero en el ejercicio de la profesión, los contenidos de la disciplina podrían agruparse en las siguientes áreas temáticas:

- Procesos de conformación sin eliminación de material
- Por fundición
- Por deformación
- Procesos de conformación con eliminación de material
- Por arranque de material en forma de viruta
- Por abrasión
- Procesos de conformado de polímeros y derivados
- Plásticos
- Materiales compuestos
- Procesos de conformación por unión de partes
- Por soldadura
- Procesos de medición y verificación dimensional
- Tolerancias y ajustes
- Medición dimensional
- Automatización de los procesos de fabricación y verificación

- Control numérico
- Robots industriales
- Sistemas de fabricación flexible

Las propiedades de manufactura y tecnológicas son aquellas que definen el comportamiento de un material frente a diversos métodos de trabajo y a determinadas aplicaciones. Existen varias propiedades que entran en esta categoría, destacándose la templabilidad, la soldabilidad y la dureza entre otras.

De manera general los procesos de manufactura se clasifican en cinco grupos, tal y como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Clasificación general de los procesos de manufactura

Procesos que cambian la forma del material	<ul style="list-style-type: none"> • Metalurgia extractiva • Fundición • Formado en frío y caliente • Metalurgia de polvos • Moldeo de plástico
Procesos que provocan desprendimiento de viruta por medio de máquinas	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos de maquinado convencional • Métodos de maquinado especial
Procesos que cambian las superficies	<ul style="list-style-type: none"> • Con desprendimiento de viruta • Por pulido • Por recubrimiento
Procesos para el ensamblado de materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Uniones permanentes • Uniones temporales
Procesos para cambiar las propiedades mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamientos térmicos

También existe una gran tendencia al empleo de maquinados sin desprendimiento de viruta, lo cual es debido a la gran disponibilidad de materiales con propiedades que antes no se podían obtener con facilidad o a precios accesibles.

2.2. INGENIERÍA DE MANUFACTURA

“Es la ciencia que estudia los procesos de conformado y fabricación de componentes mecánicos con la adecuada precisión dimensional, así como de la maquinaria, herramientas y demás equipos necesarios para llevar a cabo la realización física de tales procesos, su automatización, planificación y verificación.”

La Ingeniería de Manufactura es una función que lleva acabo el personal técnico, y está relacionado con la planeación de los procesos de manufactura para la producción económica de productos de alta calidad. Su función principal es preparar la transición del producto desde las especificaciones de diseño hasta la manufactura de un producto físico. Su propósito general es optimizar la manufactura dentro de la empresa determinada. El ámbito de la ingeniería de manufactura incluye muchas actividades y responsabilidades que dependen del tipo de operaciones de producción que realiza la organización particular. Entre las actividades usuales están las siguientes:

- 1) Planeación de los procesos
- 2) Solución de problemas y mejoramiento continuo.
- 3) Diseño para capacidad de manufactura.

Planeación tradicional de procesos.

Tradicionalmente, la planeación de procesos la lleva acabo ingenieros en manufactura que conocen los procesos particulares que se usan en la fábrica y son capaces de leer dibujos de ingeniería con base en su conocimiento, capacidad y experiencia. Desarrollan los pasos de procesamiento que se requieren en la secuencia más lógica para hacer cada parte.

La planeación de procesos implica determinar los procesos de manufactura más adecuados y el orden en el cual deben realizarse para producir una parte o producto

determinado, que se especifican en la ingeniería de diseño. El plan de procesos debe desarrollarse dentro de las limitaciones impuestas por el equipo de procesamiento disponible y la capacidad productiva de la fábrica.

A continuación se mencionan algunos detalles y decisiones requeridas en la planeación de procesos.

- Procesos y secuencias.
- Selección del equipo
- Herramientas, matrices, moldes, soporte y medidores.
- Herramientas de corte y condiciones de corte para las operaciones de maquinado.
- Métodos.
- Estándares de trabajo
- Estimación de los costos de producción.
- Estimación de materiales
- Distribución de planta y diseño de instalaciones.

“Gracias a la tecnología y a sus avances ha sido posible el desarrollo de los procesos de manufactura”

2.3. FUNCIÓN ECONÓMICA DE LA MANUFACTURA

Con frecuencia la manufactura ha sido tildada como villana en el devenir del desarrollo humano. Por supuesto, la primera Revolución Industrial comenzó con poca preocupación por parte de la misma gente que la hizo posible. Pero la fábrica fue la alternativa escogida voluntariamente por las masas, que estaba en busca de un escape de una existencia rural cargada de hambre y enfermedades. Los estudios demográficos modernos demuestran que la miseria de la vida rural impulsó a la gente a atestarse en las ciudades aun antes de la primera Revolución Industrial.

Desde entonces, los excesos se han contenido y el crecimiento de la manufactura ha conducido a avances innegables, no solo al proporcionar una abundancia de posesiones

materiales, sino también al crear la base económica para mejoras genuinas en la calidad de vida.

No existen medidas universales para expresar la calidad de vida pero, en ausencia de otra mejor, el producto interno bruto (PIB, la suma del valor de todos los bienes y servicios que se producen en una economía nacional) puede tomarse como la tasa del bienestar material. (Incluso para ello resulta una medida imperfecta, ya que excluye el valor del trabajo realizado en casa, en organizaciones voluntarias, y así por el estilo. De esta forma, presenta un punto de vista distorsionado en favor de las naciones industrialmente desarrolladas.)

Si se analizan los componentes del PIB, es evidente que la riqueza material proviene solo de dos fuentes sustanciales y básicas: los recursos materiales, el conocimiento y la energía que la gente aplica al utilizarlos. La agricultura y la minería son de primera importancia, aunque solo representan entre 3 y 8% del PIB de las naciones industrialmente desarrolladas. La manufactura reclamó la mayor parte hasta los años cincuenta. Desde entonces, gran parte del crecimiento ha tenido lugar en el sector de servicios, y datos recientes sugieren que, al menos en las economías altamente desarrolladas, la riqueza material es independiente de la contribución de la manufactura al PIB. Sin embargo, esto es una ilusión. Lo que los números no muestran es que el aumento de la riqueza se basa en un sector manufacturero cada vez más complejo; esto a su vez crea la necesidad de muchas actividades de soporte similarmente complejas.

2.4. INDUSTRIAS MANUFACTURERAS Y PRODUCTOS

Las industrias manufactureras son empresas y organizaciones que producen o abastecen bienes y servicios, pueden clasificarse como primarias, secundarias o terciarias.

Aunque la manufactura es una actividad importante, no se lleva a cabo por sí misma. Se realiza como una actividad comercial por parte de las compañías que venden sus productos a los consumidores. El tipo de manufactura que maneja una compañía depende de la clase de productos que fabrica. Se puede explorar esta relación si examinamos primero los tipos de industrias de manufactura, e identificamos después los productos que elaboran.

Las industrias primarias son aquellas que cultivan y explotan los recursos naturales, tales como la agricultura y la minería.

Las industrias secundarias adquieren los productos de las industrias primarias y los convierten en bienes de consumo o de capital. La actividad principal de las industrias en esta categoría es la manufactura, incluyendo también la construcción y las instalaciones para la producción de energía.

Las industrias terciarias constituyen el sector de servicios de la economía.

Las compañías dedicadas a la manufactura se encuentran clasificadas como industrias secundarias como se muestra en la tabla 2.2

Tabla 2.2. El sector secundario de la economía.

PRIMARIAS	SECUNDARIAS	TERCIARIAS (SERVICIOS)
Agricultura	Aeroespacial	Banca
Forestal	Automotriz	Comunicaciones
Pesca	Bebidas	Educación
Ganadería	Construcción	Entretenimiento
Canteras	Electrónica	Gobierno
Minería	Papel	Hotelería
Petróleo	Publicidad	Bienes Raíces
	Textiles	Turismo
	Plásticos	Transporte
	Cerámica	Comercio al Mayoreo
	Vidrio	Reparación y Mantenimiento
	Madera	Servicios Médicos
	Muebles	Seguros

2.4.1. PRODUCTOS MANUFACTURADOS

Los productos fabricados por las industrias pueden dividirse en dos clases principales: bienes de consumo y bienes de capital.

Los bienes de consumo son los productos que compran directamente los consumidores, tales como automóviles, televisores, computadoras personales, llantas y raquetas de tenis. Los bienes de capital son aquellos que adquieren otras compañías para producir bienes o servicios. Ejemplo: bienes de capital son los aviones, las computadoras, los equipos de ferrocarril, las máquinas herramientas y el equipo de construcción (tabla 2.3).

Tabla 2.3. Bienes de consumo y de capital

INDUSTRIA	PRODUCTOS TIPICOS
Aeroespacial	Aviones militares y comerciales
Automotriz	Automóviles, camiones, autobuses y motocicletas
Metales básicos	Hierro y acero, aluminio, cobre
Computadoras	Macros y microcomputadoras
Enseres domésticos	Aparatos para el hogar grandes y pequeños
Electrónica	Televisores, videograbadoras y equipos de audio
Equipo	Maquinaria industrial, equipo ferrocarrilero
Metales habitados	Partes maquinadas, estampados metálicos, herramientas
Vidrio, cerámica	Productos vítreos, herramientas cerámicas, loza
Maquinaria pesada	Máquinas herramienta, equipo de construcción
Plásticos (formado)	Plásticos moldeados, extrusiones
Llantas y productos de hule	Llantas, suelas de hule, pelotas de tenis

Además de las industrias que elaboran productos finales, ensamblados comúnmente, existen otras cuyo negocio consiste principalmente en la producción de materiales, componentes y suministros para las compañías que hacen los productos finales. Ejemplos de estos componentes incluyen láminas y barras de acero, metales estampados, partes maquinadas, molduras plásticas, buriles, dados, moldes y lubricantes. A grandes rasgos, se puede observar que el sector manufacturero es una compleja infraestructura que reúne varias categorías y segmentos de proveedores intermedios que por lo general nunca conoce el consumidor final.

Los productos con los que estamos generalmente involucrados son artículos discretos, partes individuales y productos ensamblados más que materiales producidos en procesos continuos. Un estampado metálico es un artículo discreto, pero el rollo de lámina metálica con el cual se hace es continuo.

Muchas partes discretas comienzan como productos continuos o semicontinuos, tal es el caso de materiales extruidos, cables eléctricos, o secciones hechas en longitudes casi

continuas que se cortan al tamaño deseado. Una refinería de petróleo es el mejor ejemplo de un proceso continuo.

2.4.2. CANTIDAD DE PRODUCCIÓN Y VARIEDAD DE PRODUCTOS

La cantidad de productos hechos por una fábrica influye significativamente sobre la forma en que ésta organiza su personal, sus instalaciones y sus procedimientos. Las cantidades anuales de producción pueden clasificarse en tres categorías:

- 1) Baja producción comprendida en un rango que va de 1 a 100 unidades por año
- 2) Producción media en el intervalo de 100 a 10,000 unidades por año.
- 3) Alta producción de 10,000 a varios millones de unidades anuales.

Los límites entre categorías son en cierta forma arbitrarios (a juicio del autor); se puede modificar su orden de magnitud dependiendo de la clase de productos.

La cantidad de producción se refiere al número de unidades de un solo tipo producidas anualmente. Algunas plantas producen diferentes tipos de artículos hechos en cantidades medias o bajas, otras más se especializan en la alta producción de un solo tipo de producto. Es interesante identificar a la variedad de productos como un parámetro distinto de la cantidad de producción. La variedad de productos se refiere a los diferentes diseños o tipos de productos fabricados en una planta. Productos distintos, tanto en forma como en tamaño, desempeñan funciones diferentes y se destinan a diferentes mercados, algunos tienen más componentes que otros y así sucesivamente. Puede contarse el número de los diferentes tipos de productos que se hacen cada año, si este número es alto significa una alta variedad de producción.

En términos de las operaciones de fábrica existe una correlación inversa entre la variedad de productos y la cantidad de producción. Si la variedad de productos de una fábrica es alta, es probable que su cantidad de producción sea baja; pero si su cantidad de producción es alta, entonces su variedad de productos será baja.

Esta relación se representa en la grafica de la figura 2.1. Las plantas manufactureras tienden a situarse en una combinación de cantidad y variedad de productos que cae en algún lugar dentro de la banda diagonal de dicha figura.

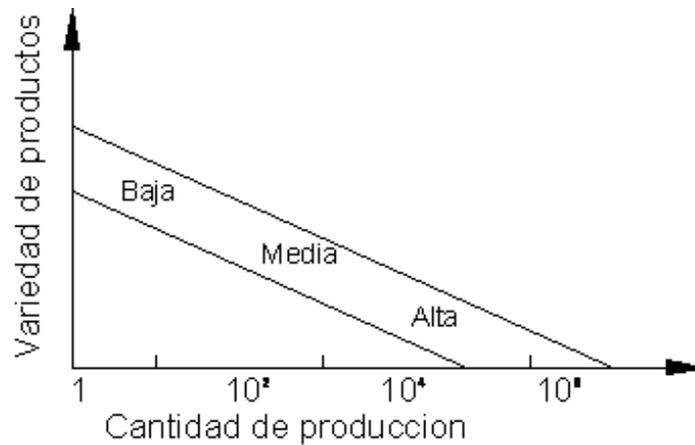


Figura 2.1. Relación entre la variedad de productos y la cantidad de producción en manufactura de productos discretos.

Aunque se haya definido la variedad de productos como un parámetro cuantitativo (número de tipos de productos hechos por la planta), este parámetro es mucho menos exacto que la cantidad de producción, porque los detalles de las diferencias entre los diversos diseños no se detectan simplemente por el número de diseños diferentes. Las diferencias entre un automóvil y un acondicionador de aire son mucho más grandes que las que existen entre un acondicionador de aire y una bomba de calor. Además, dentro de cada tipo de producto existen diferencias entre modelos específicos.

Los productos pueden ser diferentes, pero la magnitud de las diferencias puede ser pequeña o grande. En Estados Unidos, cada empresa automotriz produce automóviles con dos o tres diferentes marcas en la misma planta ensambladora, aunque los estilos de carrocería y otros aspectos de diseño sean virtualmente los mismos. Otras compañías construyen camiones pesados en plantas diferentes. Podríamos usar los términos suave y fuerte para describir estas diferencias en la variedad de productos. La variedad de producto suave ocurre cuando existen diferencias pequeñas entre productos, como las que existen entre modelos de automóviles fabricados en la misma línea de producción. La variedad suave en un producto ensamblado se caracteriza por la alta proporción de partes comunes entre los diferentes modelos.

En la variedad de producto fuerte, los tipos difieren considerablemente y hay pocas o ninguna parte común; como sucede entre un automóvil y un camión. La eficacia de una compañía o planta para enfrentar una gran variedad de productos depende en gran medida de

su habilidad para lograr una variedad de producto suave, es decir, minimizar las diferencias verdaderas entre sus productos.

2.4.3. CAPACIDAD DE MANUFACTURA

Una planta de manufactura consiste en un conjunto de procesos y sistemas (y desde luego trabajadores) diseñados para transformar una cierta clase limitada de materiales en productos con valor agregado. Estos tres pilares materiales, procesos y sistemas constituyen la esencia de la manufactura moderna. Existe una gran interdependencia entre estos factores. Una empresa dedicada a la manufactura no lo puede hacer todo; sin embargo tiene que realizar solo ciertas cosas y debe hacerles bien. La eficacia de la manufactura se refiere a las limitaciones físicas y técnicas de la empresa manufacturera y de cada una de sus plantas. Podemos identificar varias dimensiones de esta capacidad y aptitud:

- 1) Capacidad y aptitud tecnológica de proceso
- 2) Tamaño físico y peso del producto
- 3) Capacidad de producción.

2.4.4. CAPACIDAD TECNOLÓGICA DE PROCESO

La capacidad tecnológica de proceso de una llanta es el conjunto de manufactura del cual dispone una empresa.

Algunas plantas realizan operaciones de maquinado, otras laminan lingotes de acero convirtiéndolos en láminas, y algunas más construyen automóviles. Un taller de maquinado no puede laminar acero y el de laminación no puede construir carros. La característica fundamental que distingue a estas plantas son los procesos que pueden realizar. La capacidad tecnológica de proceso está relacionada estrechamente con el tipo de material. Ciertos procesos de manufactura se adaptan a ciertos materiales, mientras que otros procesos se adaptan a otros materiales. Al especializarse en algún proceso o grupos de procesos, la planta se especializa simultáneamente en un cierto tipo de material.

La capacidad tecnológica de proceso incluye no solamente los procesos físicos, sino también la pericia que tiene el personal de planta en dichas tecnologías de proceso. Las compañías están limitadas por los procesos de que disponen. Por eso deben concentrarse en el

diseño y manufactura de los productos para los que su capacidad tecnológica de proceso les permita una ventaja competitiva.

2.4.5. LIMITACIONES FÍSICAS DEL PRODUCTO

Un segundo aspecto de la capacidad y aptitud de manufactura es el que impone el producto físico. En una planta con un cierto conjunto de procesos existen limitaciones sobre el peso y tamaño de los productos que puedan manejarse; los grandes y pesados son difíciles de mover, se requieren grandes grúas puente. La planta debe estar equipada con grúas de la capacidad de carga necesaria para mover los productos.

Las partes y productos pequeños hechos en grandes cantidades pueden manejarse con transportadores u otros medios. La limitación sobre el tamaño y peso de los productos se extiende también a la capacidad física de los equipos de manufactura. Las máquinas de producción se diseñan en diferentes tamaños; las más grandes pueden usarse para procesar piezas grandes. De aquí que el conjunto de equipos de producción, manejo de materiales, capacidad de almacenamiento y tamaño de planta tengan que planearse para productos que entran dentro de un cierto rango de tamaño y peso.

2.5. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Una tercera limitación sobre la capacidad y aptitud de la planta es la cantidad de producción que puede ser generada en un periodo establecido (mes o año por ejemplo). Esta limitación en cantidad es llamada comúnmente capacidad de planta o capacidad de producción, y se define como la máxima velocidad de producción que una planta puede lograr bajo condiciones dadas de operación. Las condiciones de operación se refieren al número de turnos de trabajo por semana, horas por turno, niveles de mano de obra directa en la planta, etcétera. Estos factores representan insumos de la planta manufacturera. Dados estos insumos, ¿cuánta producción puede generar la planta?

La capacidad de la planta se mide generalmente en términos de unidades producidas, tales como toneladas de acero producidas por una acería, o el número de carros producidos por una planta ensambladora. En estos casos los productos son homogéneos; en otros, donde las unidades producidas no son homogéneas, hay factores más apropiados de medida como las

horas hombre de capacidad disponible en un taller mecánico que produce una variedad de partes.

2.6. LOS MATERIALES EN LA MANUFACTURA

La mayoría de los materiales de ingeniería pueden clasificarse en una de las tres categorías básicas:

- 1) Metales
- 2) Productos cerámicos
- 3) Polímeros
- 4) Materiales compuestos

Tanto sus características químicas como sus propiedades físicas y mecánicas son diferentes; estas diferencias afectan los procesos de manufactura que se usan para transformarlos en productos finales. (Los materiales, procesos y sistemas son los pilares de la manufactura.)

Además de las tres categorías básicas cada día cobran mayor importancia los materiales compuestos, los cuales son mezclas no homogéneas de los otros tres tipos básicos de materiales, y que proporcionan propiedades y características bien distintas a la de los elementos que los conforman (figura 2.2).

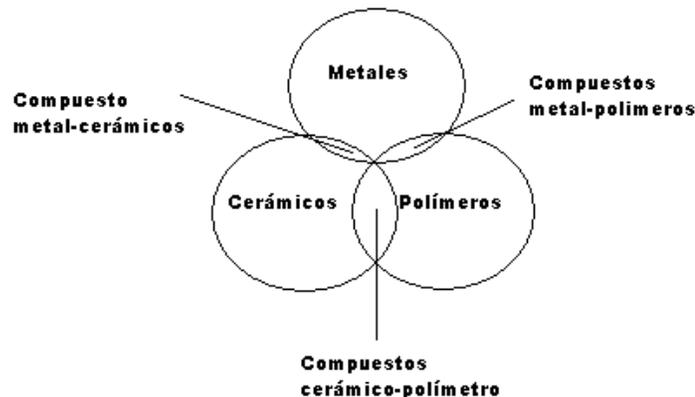


Figura 2.2. Diagrama de Venn mostrando los tres tipos básicos de materiales y los materiales compuestos.

2.7. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

Los procesos de manufactura pueden dividirse en dos tipos básicos:

- 1) Operaciones de proceso.
- 2) Operaciones de ensamble.

Una operación de proceso transforma un material de trabajo de una etapa a otra más avanzada, que lo sitúa cerca del estado final deseado para el producto.

Esto le agrega valor al cambiar la geometría, las propiedades o la apariencia del material inicial. Por lo general, las operaciones de proceso se ejecutan sobre partes discretas de trabajo, pero algunas de ellas se aplican también a artículos ensamblados. Una operación de ensamble une dos o más componentes para crear una nueva entidad llamada ensamble, subensamble o cualquier otra manera que se refiera al proceso de unir. Por ejemplo a un ensamble soldado se le llama conjunto soldado (figura 2.3).

La metalurgia y el trabajo de metales comenzaron también durante el neolítico en Mesopotamia y áreas circundantes del Mediterráneo. Este arte se desarrolló en forma independiente y se extendió a otras regiones de Europa y Asia. El oro fue descubierto en la naturaleza por los primitivos seres humanos en forma relativamente pura, y así pudo ser martillado para darle forma. El cobre fue probablemente el primer metal que se extrajo de su mineral, por tanto requirió la fundición como técnica de proceso.

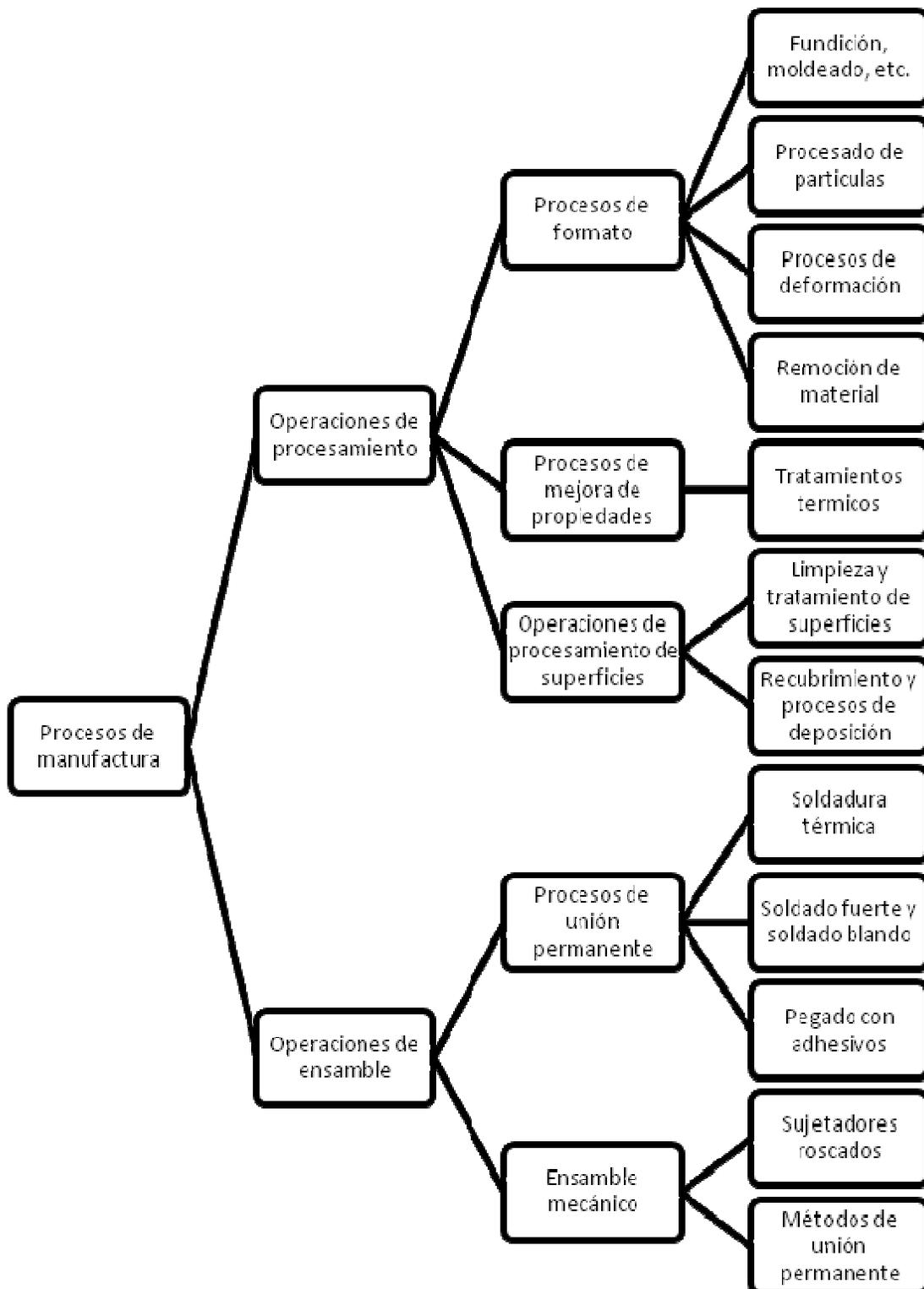


Figura 2.3. Clasificación de procesos de manufactura. Algunos de estos procesos usados en la manufactura moderna se remontan a la antigüedad.

Otros metales usados fueron la plata y el estaño. Se descubrió que el cobre aleado con el estaño producía un metal más dúctil y maleable que el cobre puro (entonces fue posible utilizar el vaciado y el martillado) Esto marcó el inicio del importante periodo conocido como la Edad del Bronce (alrededor de 3500 a 1500 a.C).

El hierro también se fundió por primera vez durante la Edad del Bronce. Es probable que los meteoritos hayan sido la fuente, sin embargo, también pudo obtenerse como beneficio del mineral de hierro. Las temperaturas requeridas para reducir el mineral de hierro a metal son significativamente más elevadas que para el cobre, lo cual hizo más difícil la operación de los hornos; otros métodos de proceso eran aún más difíciles por la misma razón. Los primeros herreros aprendieron que ciertas clases de hierro (que contenían cantidades pequeñas de carbono) alcanzaban mayor endurecimiento cuando se *calentaban* lo suficiente y después se templaban. Esto permitía afilar mejor los cantos de sus cuchillos y armas, pero hacía frágil al metal. Se podía aumentar la tenacidad del metal recalentándolo a una temperatura menor, proceso conocido actualmente como revenido.

Las propiedades superiores del acero ocasionaron que éste sustituyera al bronce en muchas de sus aplicaciones (armamento, agricultura y dispositivos mecánicos). El periodo subsecuente ha sido llamado la Edad del hierro (se inicia alrededor de 1000 a.C). Fue hasta mucho después, bien entrado el siglo XIX, que la demanda del acero creció significativamente y se desarrollaron técnicas más modernas de elaboración del acero.

Los principios de la tecnología de las máquinas herramienta surgieron durante la Revolución Industrial. Éstas fueron desarrolladas durante el periodo 1770-1850 para la mayoría de los procesos de remoción en materiales convencionales, como perforado, torneado, taladrado, fresado, limado, y cepillado, muchos de estos procesos individuales preceden a las máquinas herramienta por siglos; por ejemplo, el taladrado y aserrado (de madera) datan de tiempos muy antiguos, y el torneado (de madera) se remonta al año 1 d.C.

Los métodos de ensamble se usaron en culturas antiguas para hacer buques, armas, herramientas, implementos de labranza, maquinaria, carros, muebles y prendas de vestir. Los procesos incluyeron el amarre con sogas y cordeles, remachado y clavado, y soldado blando. La soldadura por forja y el pegado con adhesivos se desarrollaron alrededor del año 1 d.C. El uso difundido de tornillos, pernos y tuercas como medios de sujeción, tan comunes hoy,

requirieron del desarrollo de máquinas herramienta (como el torno formador de tornillos de Maudsley en 1800) que pudieran formar con precisión las formas helicoidales requeridas.

Alrededor de 1900 se iniciaron los procesos de soldadura por fusión para desarrollarse como técnica de ensamble.

El hule natural fue el primer polímero utilizado en manufactura (si ignoramos a la madera, que es un polímero compuesto). El proceso de vulcanización, descubierto por Charles Goodyear en 1839, hizo del hule un material útil en ingeniería. Los desarrollos subsiguientes incluyeron materiales plásticos como el nitrato de celulosa en 1870, la baquelita en 1900, el cloruro de polivinilo en 1927, el polietileno en 1932 y el nylon en la década de los treinta.

Los requerimientos para procesar el plástico condujeron al desarrollo del moldeo por inyección (basado en la fundición a presión, uno de los procesos de fundición de metales) y otras técnicas de formado de polímeros.

Los productos electrónicos han impuesto demandas inusitadas a la manufactura desde el punto de vista de la miniaturización. La evolución de la tecnología se ha dado en el encapsulado, cada vez mas dispositivos en áreas más pequeñas, en algunos casos un millón de transistores en una pieza plana de material semiconductor que mide solamente 0.25 pulgadas (6.3 mm) por lado. La historia del procesamiento de dispositivos electrónicos y su encapsulado datan de unas pocas décadas atrás.

CAPITULO 3.

PROCESOS DE MANUFACTURA CON CONSERVACIÓN DE MASA

3.1. DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA

Los procesos de deformación volumétrica se caracterizan por deformaciones significativas y cambios de forma, la relación entre el área superficial y el volumen de trabajo es relativamente pequeña.

El término volumétrico describe a las partes de trabajo que tienen esta baja relación de área-volumen. La forma del trabajo inicial para estos procesos incluye tochos cilíndricos y barras rectangulares. La operación básica en deformación volumétrica se ilustra en la figura 3.1:

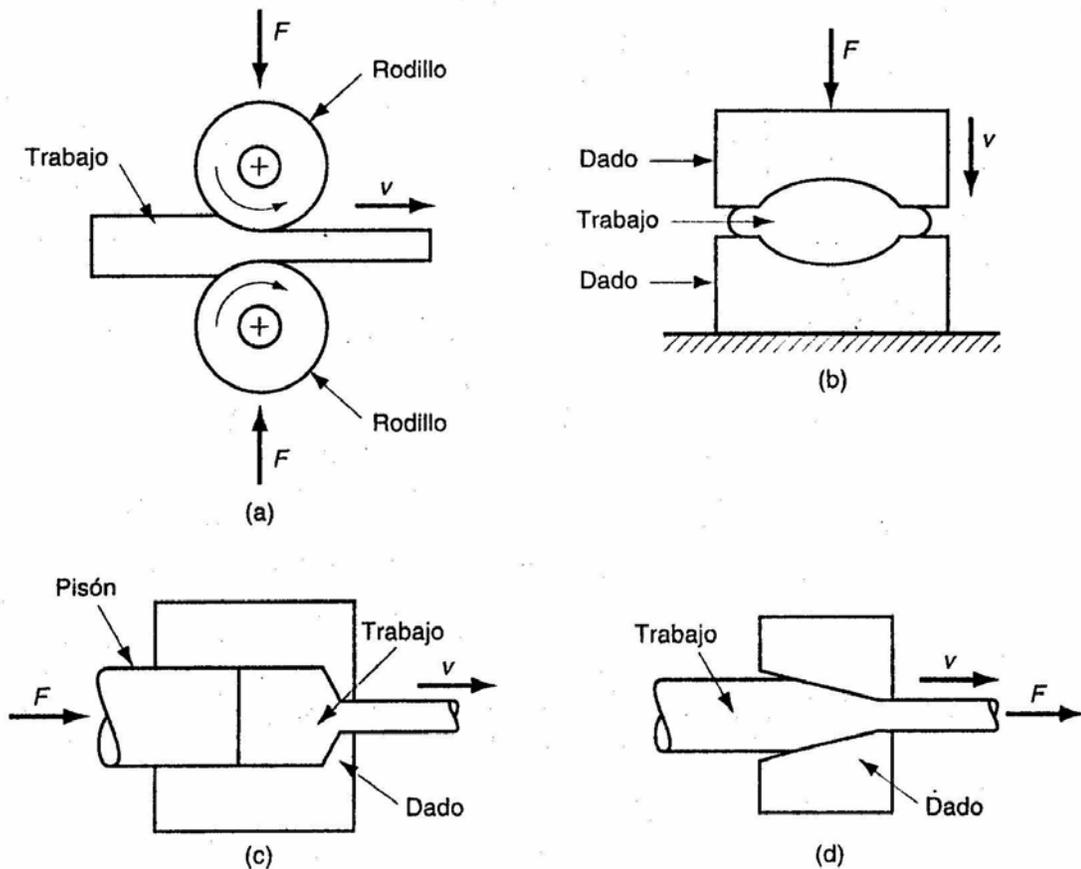


Figura 3.1 Procesos básicos de deformación volumétrica: (a) Laminado (b) Forjado (c) Extrusión y (d) Estirado. El movimiento relativo en las operaciones se indica por v .

La importancia tecnológica y comercial de los procesos de deformación volumétrica deriva de lo siguiente:

1. Con las operaciones de trabajo en caliente se pueden lograr cambios significativos en la forma de las partes de trabajo.
2. Las operaciones de trabajo en frío se pueden usar no solamente para dar forma al trabajo, sino también para incrementar su resistencia.
3. Estos procesos producen poco o ningún desperdicio como subproducto de la operación. Algunas operaciones de deformación volumétrica son procesos de forma neta o casi neta; se alcanza la forma final con poco o ningún maquinado posterior.

3.1.1. FORJADO

El forjado es un proceso de deformación en el cual el material se comprime entre los dados, usando impacto o presión gradual para formar la parte. Es la operación más antigua para formado de metales y se remonta quizá al año 5000 a.C. En la actualidad el forjado es un proceso industrial importante, mediante el cual se hacen una variedad de componentes de alta resistencia para automóviles, vehículos aeroespaciales y otras aplicaciones, la industria del acero y de otros metales básicos usa el forjado para fijar la forma básica de grandes componentes que luego se maquinan para lograr su forma final y dimensiones definitivas.

Una manera de clasificar las operaciones de forja es mediante la temperatura de trabajo. La mayoría de las operaciones de forja se realizan en caliente (por arriba y por debajo de la temperatura de recristalización), dada la demanda de deformación que el proceso requiere y la necesidad de reducir la resistencia e incrementar la ductilidad del metal de trabajo, sin embargo, el forjado en frío también es muy común para ciertos productos. La ventaja del forjado en frío es la mayor resistencia que adquiere el material, que resulta del endurecimiento por deformación. En el forjado se aplica la presión por impacto o en forma gradual. La diferencia depende más del tipo de equipo que de las diferencias en la tecnología de los procesos. Una máquina de forjado que aplica cargas de impacto se llama martinete de forja, mientras la que aplica presión gradual se llama prensa de forjado. Otra diferencia, entre las operaciones de forjado es el grado en que los dados restringen el flujo del metal de trabajo. Atendiendo a esta clasificación, hay tres tipos de operaciones de forjado:

- a) Forjado en dado abierto
- b) Forjado en dado impresor
- c) Forjado sin rebaba.

3.1.1.1 FORJADO EN DADO ABIERTO

El caso más simple de forjado consiste en comprimir una parte de sección cilíndrica entre dos dados planos, muy semejante a un ensayo de la compresión. Esta operación de forjado se conoce como recalado o forjado para recalcar, reduce la altura de material de trabajo e incrementa su diámetro como se ilustra a continuación figura 3.2:

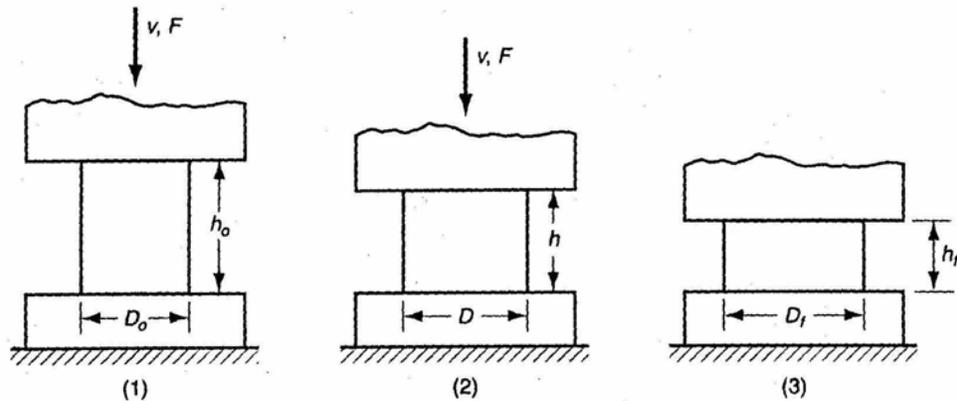


Figura 3.2 Deformación homogénea de una parte de trabajo cilíndrica bajo condiciones ideales en una operación de forjado en dado abierto: (1) inicio del proceso con la parte de trabajo a su altura y diámetros originales, (2) compresión parcial y (3) tamaño final.

El forjado caliente, en dado abierto es un proceso industrial importante. Las formas generadas por operaciones en dado abierto son simples. Los dados en algunas aplicaciones tienen superficies con ligeros contornos que ayudan a formar el material de trabajo. Éste, además, debe manipularse frecuentemente (girándolo en cada paso, por ejemplo) para efectuar los cambios de forma requeridos. La habilidad del operador es un factor importante para el éxito de estas operaciones.

Un ejemplo de forjado en dado abierto en la industria del acero es el formado de grandes lingotes cuadrados para convertirlos en secciones redondas. Las operaciones de forja en dado abierto producen formas rudimentarias que necesitan operaciones posteriores para refinar las partes a sus dimensiones y geometría final. Una contribución importante del forjado en caliente en dado abierto es la creación de un flujo de granos y de una estructura metalúrgica favorable en el metal. El forjado con dado abierto puede realizarse con dados convexos, con dados cóncavos y por secciones, como se ilustran en la figura 3.3.

El forjado con dados convexos es una operación de forja que se utiliza para reducir la sección transversal y redistribuir el metal en una parte de trabajo, como preparación para operaciones posteriores de formado con forja. El forjado con dados cóncavos es similar al anterior, excepto que los dados tienen superficies cóncavas.

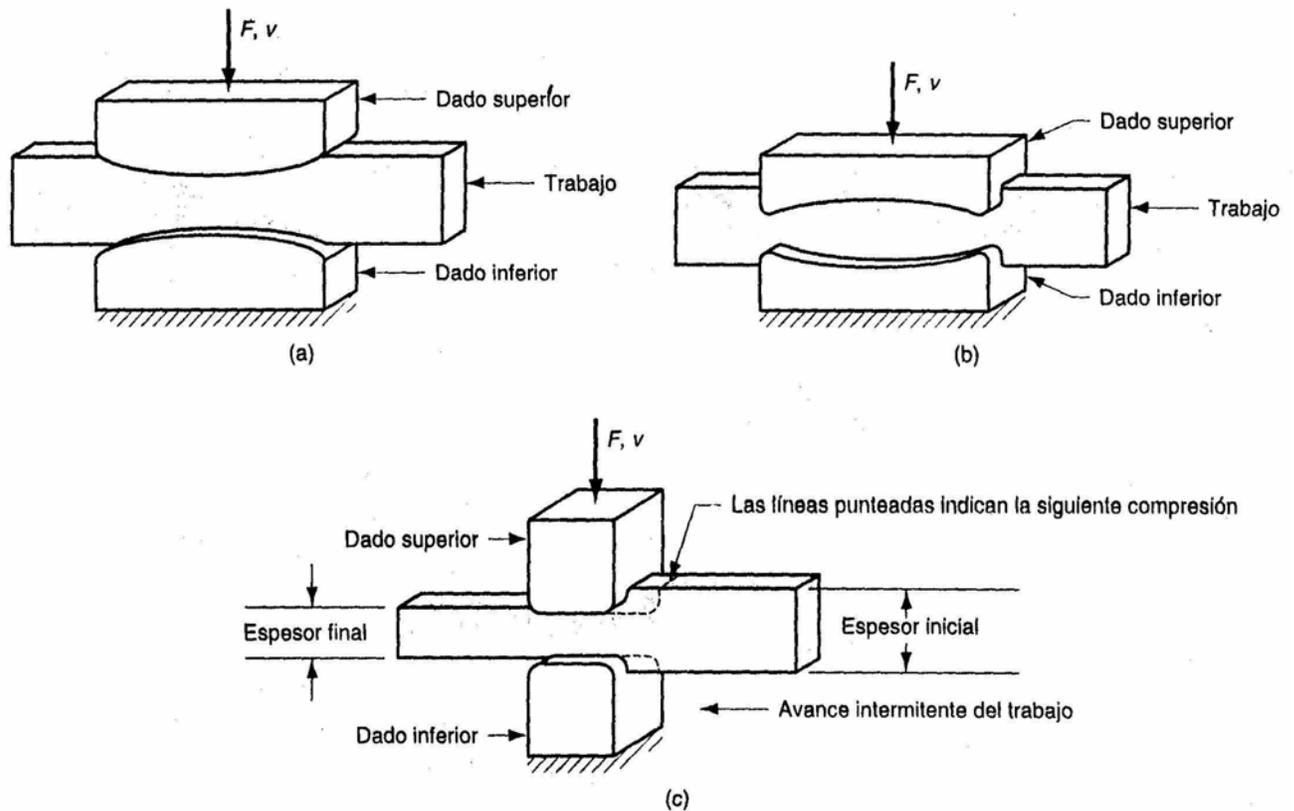


Figura 3.3 Varias operaciones de forjado en dado abierto: (a) con dados convexos, (b) con dados cóncavos y (c) por secciones.

Una operación de forjado por secciones consiste en una secuencia de compresiones a lo largo de una pieza de trabajo para reducir su sección transversal e incrementar su longitud. Se usa en la industria siderúrgica para producir planchas a partir de lingotes fundidos.

3.1.1.2 FORJADO CON DADO IMPRESOR

Llamado algunas veces forjado en dado cerrado, se realiza con dados que tienen la forma inversa a la requerida para la parte. Este proceso se ilustra en una secuencia de tres pasos en la figura 3.4.

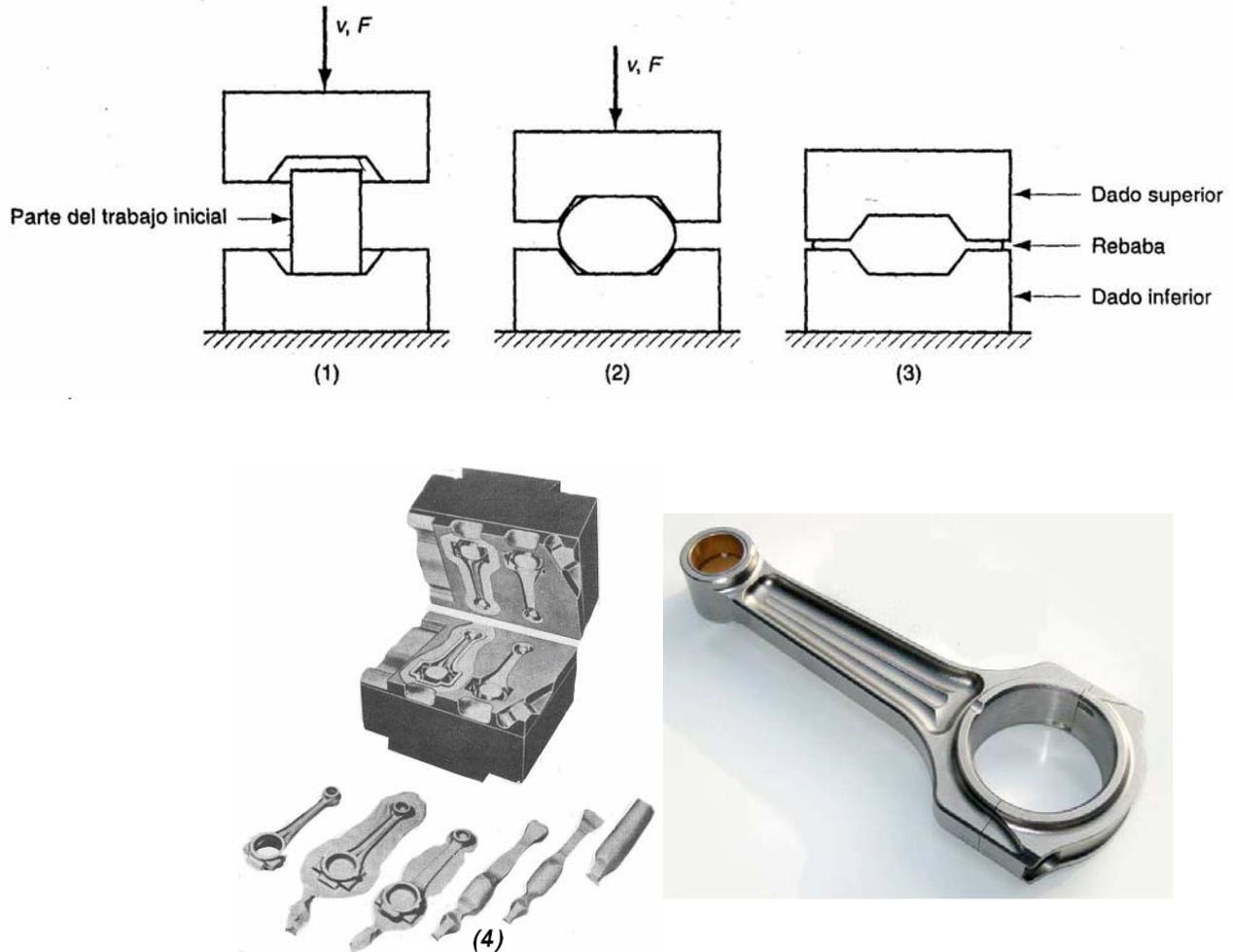


Figura 3.4 Secuencia en el forjado con dado impresor: (1) inmediatamente antes del contacto inicial con la pieza de trabajo en bruto, (2) compresión parcial, (3) cerradura final de los dados, ocasionando la formación de rebaba entre las placas del dado (4) muestra el dado para la fabricación de una biela así como el producto.

La pieza de trabajo inicial se muestra como una parte cilíndrica. Al cerrarse el dado y llegar a su posición final, el metal fluye más allá de la cavidad del dado y forma una rebaba en la pequeña abertura entre las placas del dado.

Aunque la rebaba se recorta posteriormente, tiene realmente una función importante en el forjado por impresión, ya que cuando ésta empieza a formarse, la fricción se opone a que el metal siga fluyendo hacia la abertura, y de esta manera fuerza al material de trabajo a permanecer en la cavidad, En el formado en caliente, la restricción del flujo de metal es mayor debido a que la rebaba delgada se enfría rápidamente contra las placas del dado, incrementando la resistencia a la deformación.

La restricción del flujo de metal en la abertura hace que las presiones de compresión se incrementen significativamente, forzando al material a llenar los detalles algunas veces intrincados de la cavidad del dado, con esto se obtiene un producto de alta calidad.

Con frecuencia se requieren varios pasos en el forjado con dado impresor para transformar la forma inicial en la forma final deseada (figura 3.4).

Para cada paso se necesitan cavidades separadas. Los pasos iniciales se diseñan para redistribuir el metal en la parte de trabajo y conseguir así una deformación uniforme y la estructura metálica requerida para las etapas siguientes. Los últimos pasos le dan el acabado final a la pieza. Además, cuando se usan martinetes; se pueden requerir varios golpes de martillo para cada paso. Cuando el forjado con martinete se hace a mano, como sucede a menudo, se requiere considerable habilidad del operador para lograr resultados consistentes en condiciones adversas.

Debido a la formación de rebaba en el forjado con dado impresor y a las formas más complejas de las partes hechas con estos dados, las fuerzas en este proceso son considerablemente más grandes y más difíciles de analizar a diferencia del forjado con dado abierto.

Los mejoramientos de la tecnología del forjado con dado impresor han tenido como resultado la capacidad de producir forjados con secciones más delgadas, formas más complejas, reducción drástica de los requerimientos de ahusamiento en los dados, tolerancias más estrechas y la virtual eliminación de concesiones al maquinado. Los procesos de forjado con estas características se conocen como forjado de precisión.

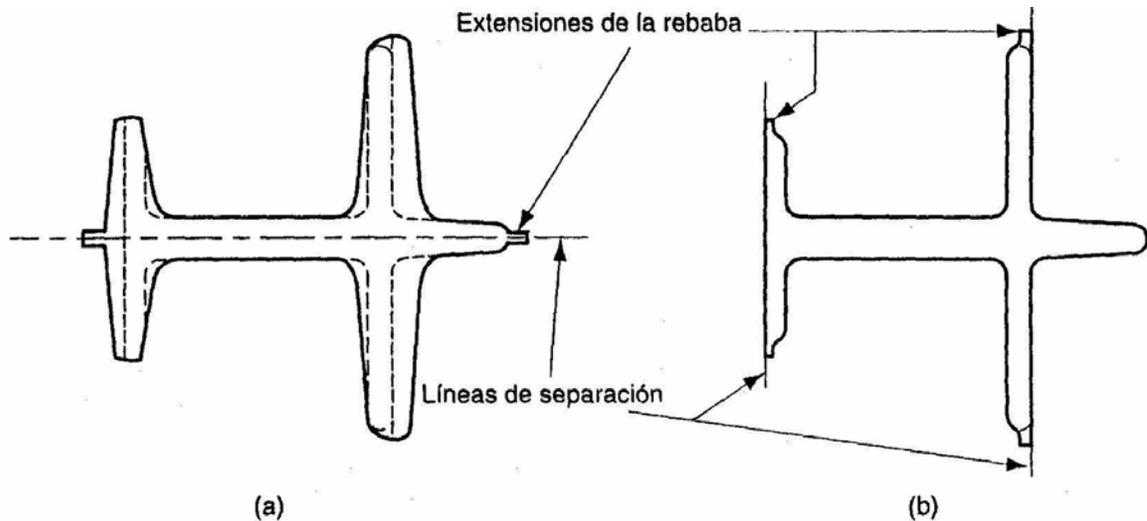


Figura 3.5 Secciones transversales de (a) forjado convencional y (b) forjado de precisión. Las líneas punteadas en (a) indican los requerimientos de maquinado posterior para convertir una pieza de forjado convencional en una forma equivalente a la de forjado de precisión. En ambos casos tiene que recortarse la rebaba.

Los metales más comunes que se usan en el forjado de precisión son el aluminio y el titanio. En la figura 3.5 se muestra una comparación del forjado de precisión y el forjado convencional con dado impresor. Nótese que el forjado de precisión en este ejemplo no elimina las rebabas, aunque si las reduce. Algunas operaciones de forjado de precisión se realizan sin producir rebaba.

El forjado de precisión se clasifica propiamente como un proceso de forma neta o casi neta, dependiendo de la necesidad del maquinado para acabar la forma de la parte.

3.1.1.3 FORJADO SIN REBABA

En la terminología industrial, el forjado con dado impresor se llama algunas veces forjado en dado cerrado. Sin embargo, hay una distinción técnica entre forjado con dado impresor y forjado con dado cerrado real. La distinción es que en el forjado con dado cerrado, la pieza de trabajo original queda contenida completamente dentro de la cavidad del dado durante la compresión y no se forma rebaba. La secuencia del proceso se ilustra en la figura 3.6. Para identificar este proceso es apropiado el término forjado sin rebaba.

El forjado sin rebaba impone ciertos requerimientos sobre el control del proceso, más exigentes que el forjado con dado impresor. El parámetro más importante es que el volumen del material de trabajo debe igualar al volumen de la cavidad del dado dentro de muy estrechas tolerancias. Si la pieza de trabajo inicial es demasiado grande, la presión excesiva puede causar daño al dado o a la prensa. Si la pieza de trabajo es demasiado pequeña, no se llenará la cavidad. Debido a este requerimiento especial, el proceso es más adecuado en la manufactura de partes geométricas simples y simétricas, y para trabajar metales como el aluminio, el magnesio o sus aleaciones. El forjado sin rebaba se clasifica frecuentemente como un proceso de forjado de precisión.

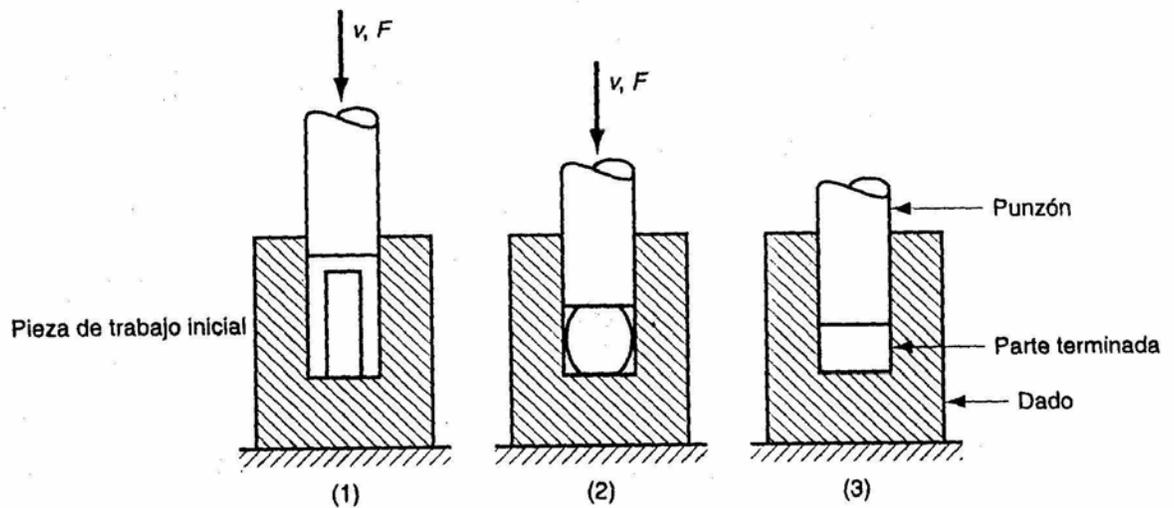


Figura 3.6 Forjado sin rebaba: (1) inmediatamente antes del contacto inicial con la pieza de trabajo, (2) compresión parcial y (3) final de la carrera del punzón y cierre del dado. Los símbolos v y F indican movimiento (v = velocidad) y fuerza aplicada, respectivamente.

Las fuerzas en el forjado sin rebaba alcanzan valores comparables a las del forjado con dado impresor. Estas fuerzas se pueden estimar usando los mismos métodos para el forjado con dado impresor.

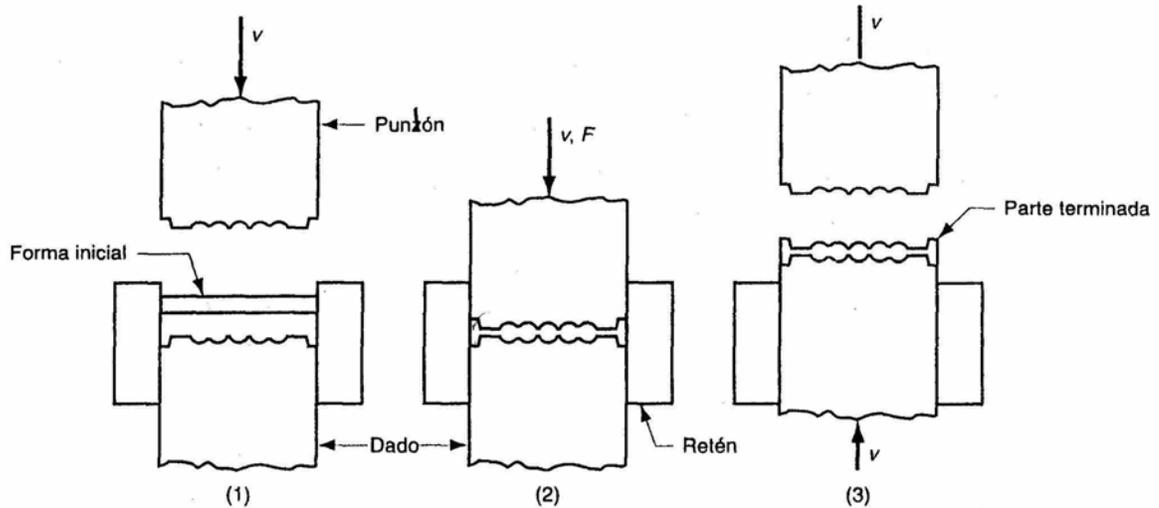


Figura 3.7 Operación de acuñado: (1) inicio del ciclo, (2) tiempo de compresión y (3) remoción de la parte terminada.

El acuñado es una aplicación especial del forjado sin rebaba mediante el cual se imprimen los finos detalles del dado en la superficie superior y en el fondo de la pieza de trabajo. En el acuñado hay poco flujo de metal; no obstante, las presiones requeridas para reproducir los detalles superficiales de la cavidad del dado son altas. Una aplicación común del acuñado es desde luego la acuñación de monedas, que se ilustra en la figura 3.6. El proceso se usa también para dar acabados superficiales y de precisión dimensional a algunas partes fabricadas por otras operaciones.

3.1.2. ESTIRADO DE ALAMBRES Y BARRAS

En el contexto de los procesos de deformación volumétrica, el estirado es una operación donde la sección transversal de una barra, varilla o alambre se reduce al tirar del material a través de la abertura de un dado como se muestra en la figura 3.8. Las características generales del proceso son similares a la extrusión, la diferencia es que en el estirado el material de trabajo se jala a través del dado, mientras que en la extrusión se empuja a través del dado.

Aunque la presencia de esfuerzos de tensión es obvia en el estirado, la compresión también juega un papel importante ya que el metal se comprime al pasar a través de la abertura del dado. Por esta razón, la deformación que ocurre en estirado se llama algunas veces compresión indirecta.

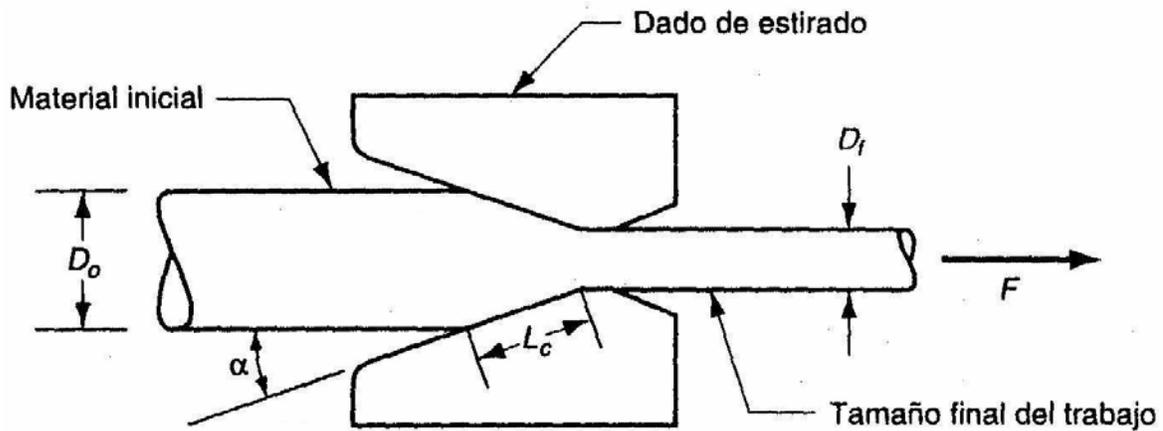


Figura 3.8 Estirado de barras, varillas o alambre.

La diferencia básica entre el estirado de barras y el estirado de alambre es el diámetro del material que se procesa. El estirado de barras se refiere al material de diámetro grande, mientras que el estirado de alambre se aplica al material de diámetro pequeño. En el proceso de estirado de alambres se pueden alcanzar diámetros hasta de 0.03 mm. Aunque la mecánica del proceso es la misma para los dos casos, el equipo y la terminología son de alguna manera diferentes.

El estirado de barras se realiza generalmente como una operación de estirado simple, en la cual el material se jala a través de la abertura del dado. Debido a que el material inicial tiene un diámetro grande, su forma es más bien una pieza recta que enrollada. Esto limita la longitud del trabajo que puede procesarse y es necesaria una operación tipo lote. Por el contrario, el alambre se estira a partir de rollos de alambre que miden varios cientos (o miles) de metros de longitud y pasa a través de una serie de dados de estirado.

El número de dados varía entre cuatro y doce. El término estirado continuo se usa para describir este tipo de operación, debido a las grandes corridas de producción que pueden realizarse con los rollos de alambre, ya que pueden soldarse a tope con el siguiente rollo para hacer la operación verdaderamente continua.

El estirado se realiza generalmente como una operación de trabajo en frío. Se usa más frecuentemente para producir secciones redondas, pero también se pueden estirar secciones cuadradas y de otras formas. El estirado de alambre es un proceso industrial importante que provee productos comerciales como cables y alambres eléctricos; alambre para cercas, etc.; varillas para producir clavos, tornillos, remaches resortes y otros artículos de ferretería. El estirado de barras se usa para producir barras de metal para maquinado y para otros procesos.

Las ventajas del estirado en estas aplicaciones incluyen:

- 1) Estrecho control dimensional,
- 2) Buen acabado de la superficie
- 3) Propiedades mecánicas mejoradas, como resistencia y dureza
- 4) Adaptabilidad para producción económica en masa o en lotes

Las velocidades de estirado son tan altas como 50 m/s para alambre muy fino. En el caso del estirado de barras se produce material para maquinado, la operación mejora la maquinabilidad de las barras.

El estirado de barras se realiza en una máquina llamada banco de estirado que consiste en una mesa de entrada, un bastidor para dado (que contiene el dado de estirado), la corredera y el armazón de salida, El arreglo se muestra en la figura 3.9.

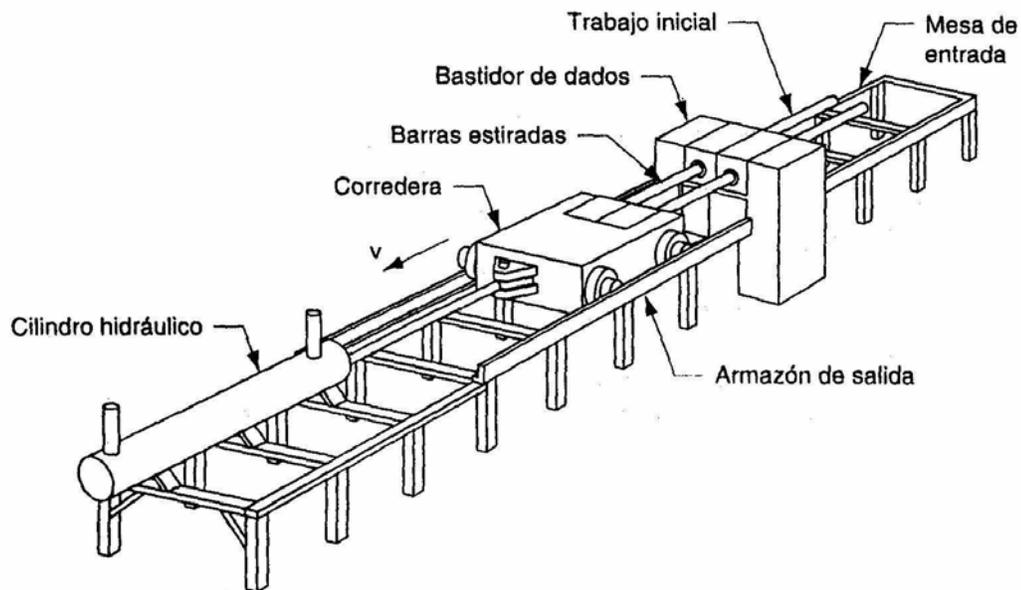


Figura 3.9 Banco de estirado operado hidráulicamente para estirado de barras metálicas.

La corredera se usa para jalar el material a través del dado de estirado. Está accionado por cilindros hidráulicos o cadenas movidas por un motor. El bastidor del dado se diseña frecuentemente para contener más de un dado, de manera que se puedan estirar varias barras simultáneamente a través de los respectivos dados.

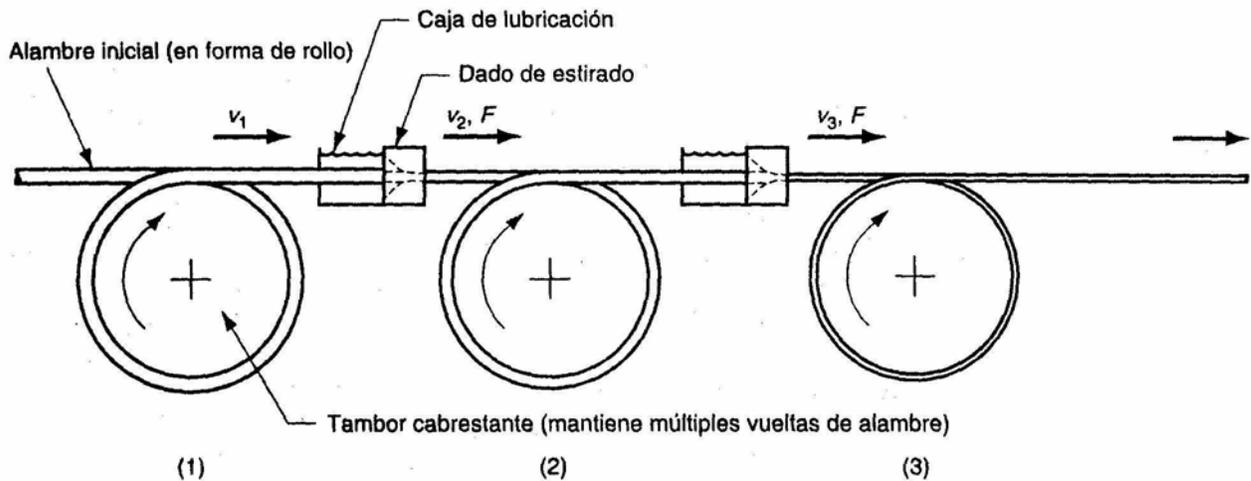


Figura 3.10 Proceso de Estirado

Cada dado realiza una cierta reducción en el alambre, y así se alcanza la reducción total deseada. Algunas veces se requiere recocido del alambre entre los grupos de dados, dependiendo del metal que se procesa y de la reducción total que se realiza.

3.1.3 EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso de formado por compresión, en el cual el material de trabajo es forzado a fluir a través de la abertura de un dado para darle forma a su sección transversal. El proceso puede parecerse a apretar un tubo de pasta de dientes. La extrusión data desde 1800. Las ventajas de los procesos modernos incluyen:

- 1) Se puede extruir una gran variedad de formas, especialmente con extrusión en caliente; sin embargo, una limitación es la geometría de la sección transversal que debe ser la misma a lo largo de toda la parte.
- 2) La estructura del grano y las propiedades de resistencia se mejoran con la extrusión en frío o en caliente.
- 3) Son posibles tolerancias muy estrechas, en especial cuando se usa extrusión en frío.
- 4) En algunas operaciones de extrusión se genera poco o ningún material de desperdicio.

3.1.3.1 TIPOS DE EXTRUSIÓN

La extrusión se lleva a cabo de varias maneras. Una forma de clasificar a estas operaciones es atendiendo a su configuración física. Se distinguen dos tipos principales: extrusión directa y extrusión indirecta. Otro criterio es la temperatura de trabajo: en frío, en tibio o en caliente. Finalmente el proceso de extrusión puede ser continuo o discreto.

3.1.3.2 EXTRUSIÓN DIRECTA

También llamada extrusión hacia adelante se ilustra en la figura 3.11. Un tocho de metal se carga a un recipiente y un pisón comprime el material forzándolo a fluir a través de una o más aberturas que hay en un dado situado al extremo opuesto del recipiente. Al aproximarse el pisón al dado, una pequeña porción del tocho permanece y no puede forzarse a través de la abertura del dado. Esta porción extra llamada tope o cabeza, se separa del producto, cortándola justamente después de la salida del dado.

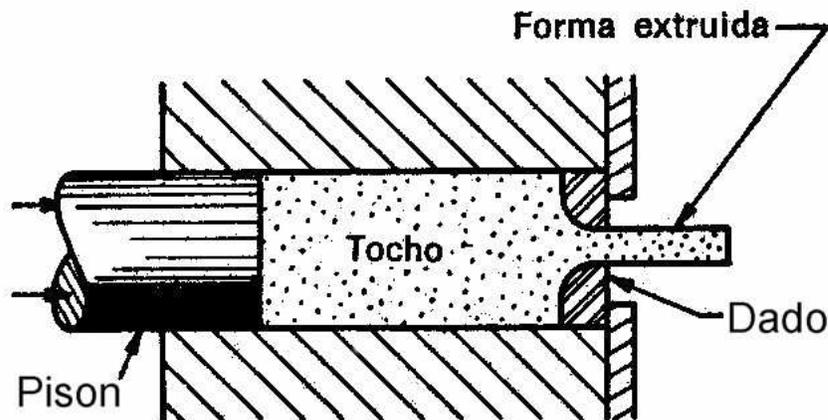


Figura 3.11 Extrusión directa

Un problema en la extrusión directa es la gran fricción que existe entre el tocho y la pared interna del recipiente al forzar el deslizamiento del tocho hacia la abertura del dado. Esta fricción ocasiona un incremento sustancial de la fuerza requerida en el pisón para la extrusión directa. En la extrusión en caliente este problema se agrava por la presencia de una capa de óxido en la superficie del tocho que puede ocasionar defectos en los productos extruidos.

Para resolver este problema se usa un bloque simulado entre el pisón y el tocho de trabajo, el diámetro del bloque es ligeramente menor que el diámetro del tocho, de manera que

en el recipiente queda un anillo metal de trabajo (capas de óxido en su mayoría), dejando el producto final libre de óxidos.

En la extrusión directa se pueden hacer secciones huecas (por ejemplo, tubos) por medio del proceso que se ilustra en la figura 3.12. El tocho inicial se prepara con una perforación paralela a su eje. Esto permite el paso de un mandril que se fija en el bloque simulado. Al comprimir el tocho, se fuerza al material a fluir a través del claro entre el mandril y la abertura del dado. La sección transversal resultante es tubular.

El tocho inicial en la extrusión directa es generalmente redondo, pero la forma final queda determinada por la abertura del dado. Obviamente la dimensión más grande de la abertura del dado debe ser más pequeña que el diámetro del tocho. La extrusión directa hace posible una infinita variedad de formas en la sección transversal. Algunas posibilidades se ilustran en la figura 3.12.

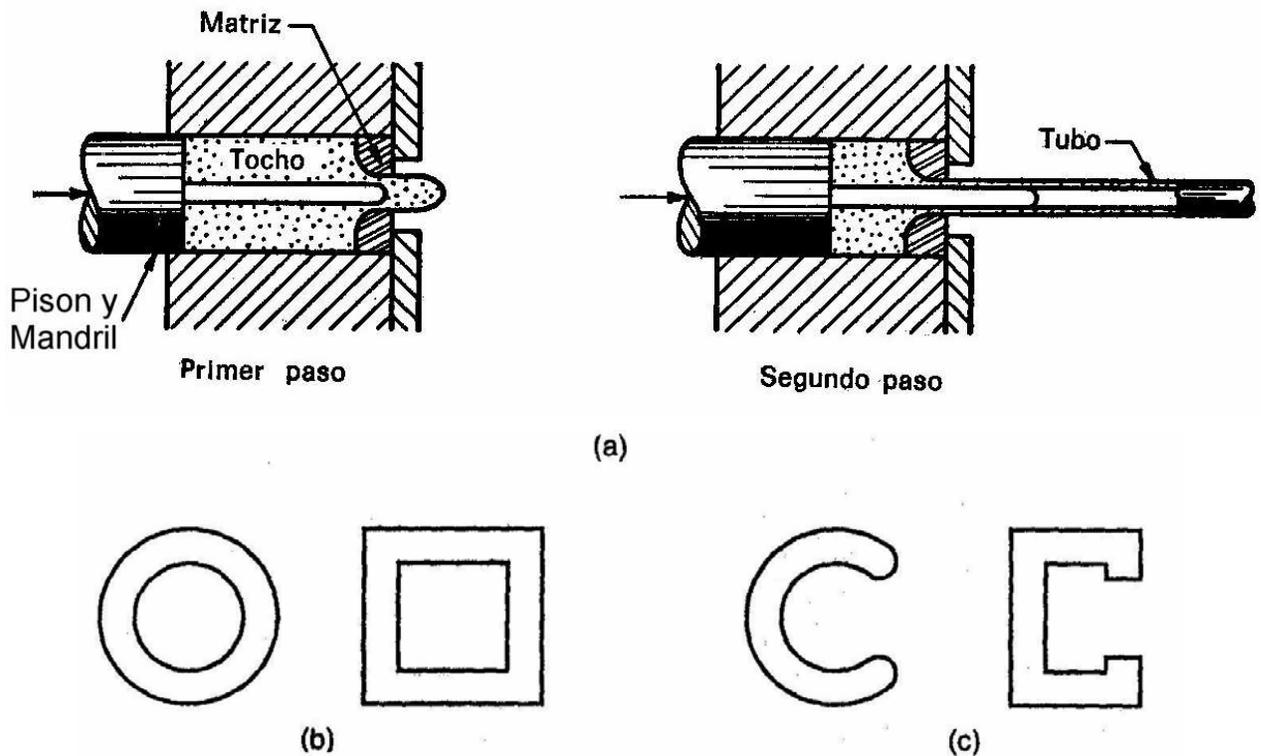
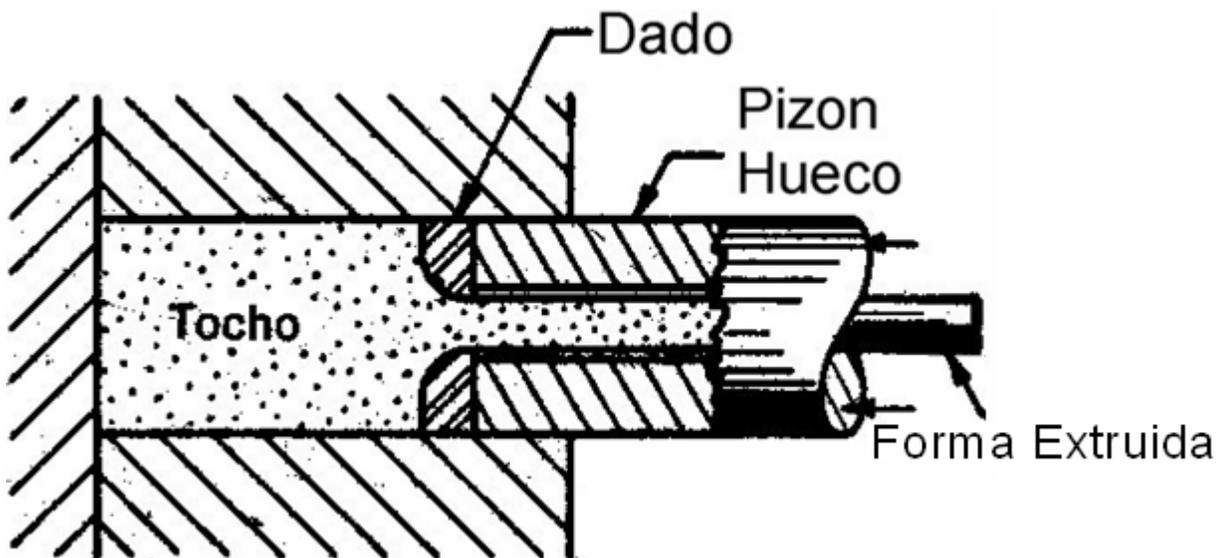


Figura 3.12 (a) Extrusión directa para producir una sección transversal hueca o semihueca; (b) hueca y (c) semihueca

3.1.3.3 EXTRUSIÓN INDIRECTA

También llamada extrusión hacia atrás o extrusión inversa (figura 3.13), el dado está montado sobre el pisón, en lugar de estar en el extremo opuesto del recipiente. Al penetrar el pisón en el material de trabajo fuerza al metal a fluir a través del claro en una dirección opuesta a la del pisón. Como el tocho no se mueve con respecto al recipiente, no hay fricción en las paredes del recipiente. Por consiguiente, la fuerza del pisón es menor que en la extrusión directa. Las limitaciones de la extrusión indirecta son impuestas por la menor rigidez del pisón hueco y la dificultad de sostener el producto extruido tal como sale del dado.



Fi

Figura 3.13 Extrusión indirecta para producir una sección transversal sólida.

La extrusión indirecta puede producir secciones huecas, como las de la figura 3.14. En este método el pisón presiona en el tocho, forzando al material a fluir alrededor del pisón y tomar una forma de copa. Hay limitaciones prácticas en la longitud de la parte extruida que pueden resolverse por este método. El sostenimiento del pisón se convierte en un problema a medida que la longitud del trabajo aumenta.

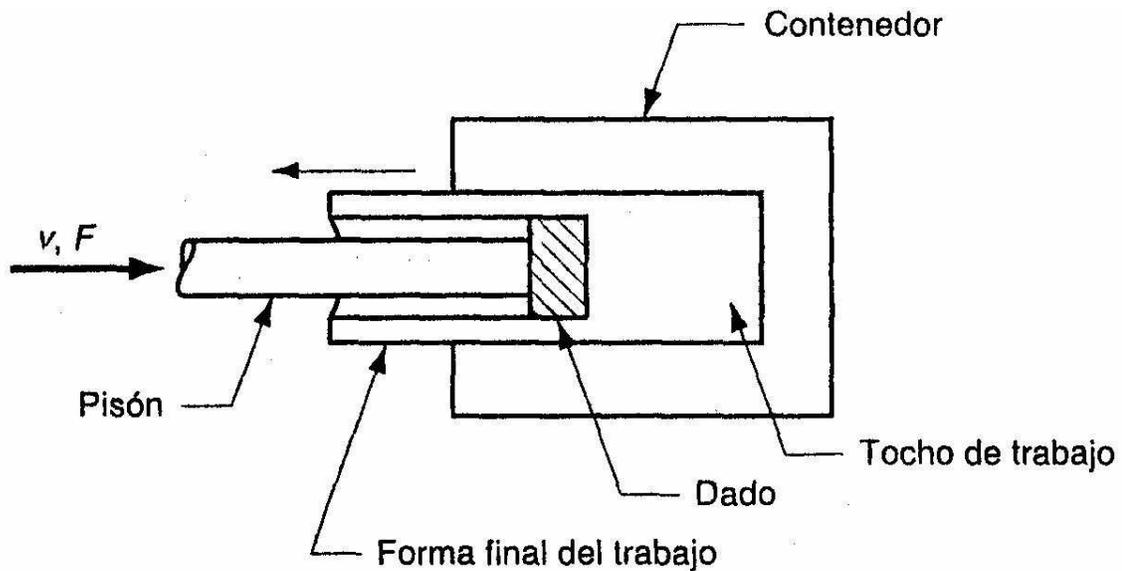


Figura 3.14 Extrusión indirecta para producir una sección transversal hueca.

3.1.4. LAMINADO

Los lingotes de acero que no son refusionados y fundidos en moldes se convierten en productos utilizables en dos pasos:

1. Laminando el acero en formas intermedias-lupias, tochos y planchas.
2. Procesando lupias, tochos y planchas en placas, láminas, barras, formas estructurales u hojalata.

El acero permanece en las lingoteras hasta que su solidificación es casi completa, que es cuando los moldes son removidos. Mientras permanece caliente, los lingotes se colocan en hornos de gas llamados fosos de recalentamiento, en donde permanecen hasta alcanzar una temperatura de trabajo uniforme de alrededor de 1200 °C en todos ellos. Los lingotes entonces se llevan al tren de laminación en donde debido a la gran variedad de formas terminadas por hacer, son primero laminadas en formas intermedias como lupias, tochos o planchas.

Una lupia tiene una sección transversal con un tamaño mínimo de 150 x 150 mm. Un tocho es más pequeño que una lupia y puede tener cualquier sección desde 40 mm hasta el tamaño de una lupia. Las planchas pueden laminarse ya sea de un lingote o de una lupia. Tienen un área de sección transversal rectangular con un ancho mínimo de 250 mm y un espesor mínimo de 40 mm. El ancho siempre es 3 o más veces el espesor y puede ser cuando mucho de 1500 mm. Placas, plancha para tubos y fleje se laminan a partir de planchas.

Un efecto del trabajo en caliente con la operación de laminado, es el refinamiento del grano causado por recristalización. La estructura gruesa es definitivamente despedazada y alargada por la acción de laminado. Debido a la alta temperatura, la recristalización aparece inmediatamente y comienzan a formarse pequeños granos. Estos granos crecen rápidamente hasta que la recristalización es completa. El crecimiento continúa a altas temperaturas, si además la elaboración no es mantenida, hasta que la temperatura baja del rango recristalino es alcanzada.

La mayoría de los laminados primarios se hacen ya sea en un laminador reversible de dos rodillos o en un laminador de rolado continuo de tres rodillos. En el laminador reversible de dos rodillos, Figura 3.15, la pieza pasa a través de los rodillos, los cuales son detenidos y regresados en reversa una y otra vez. A intervalos frecuentes el metal se hace girar 90° sobre su costado para conservar la sección uniforme y refinar el metal completamente. Se requieren alrededor de 30 pasadas para reducir un lingote grande a una lupia.

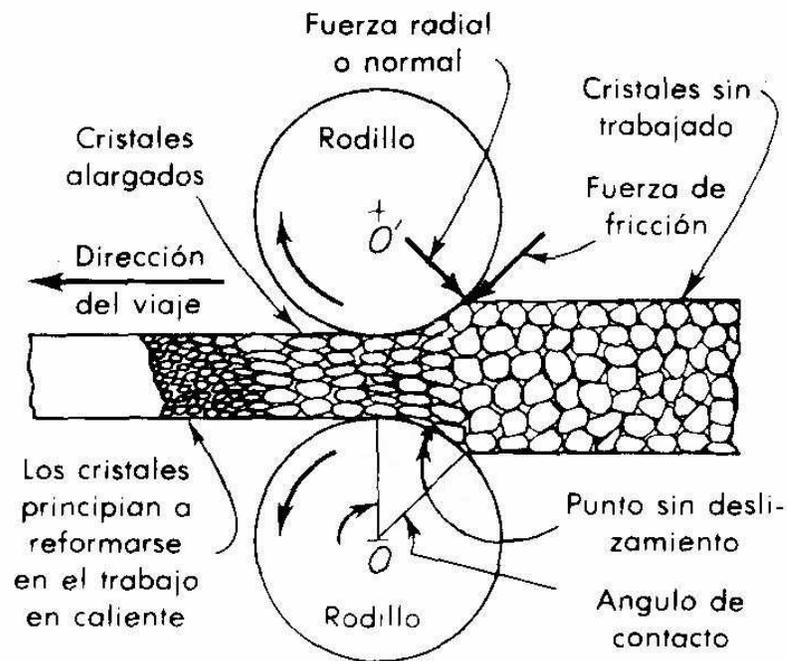


Figura 3.15 Proceso de laminación, específicamente laminado plano.

Los rodillos superior e inferior están provistos de ranuras para alojar las diferentes reducciones de la sección transversal de la superficie. El laminador de dos rodillos es bastante versátil, dado que posee un amplio rango de ajustes según el tamaño de piezas y relación de reducción. Está limitado por la longitud que puede laminarse y por las fuerzas de inercia, las

cuales deben ser superadas cada vez que se hace una inversión. Esto se elimina en el laminador de tres rodillos, pero se requiere un mecanismo elevador. Aunque existe alguna dificultad debido a la carencia de velocidad correcta para todas las pasadas, el laminador de tres rodillos es menos costoso para hacerse y tiene un mayor rendimiento que el laminador reversible.

Los tochos podrían laminarse en un gran laminador del tamaño usado para lupias, pero esto no se acostumbra hacer por razones económicas. Frecuentemente se laminan lupias en un laminador continuo de tochos compuesto de alrededor de ocho estaciones de laminado en línea recta. El acero formado, por último pasa a través del laminador y sale con un tamaño final de tocho, aproximadamente de 50 por 50 mm, el cual es la materia prima para muchas formas finales tales como barras, tubos y piezas forjadas, Figura 3.16.

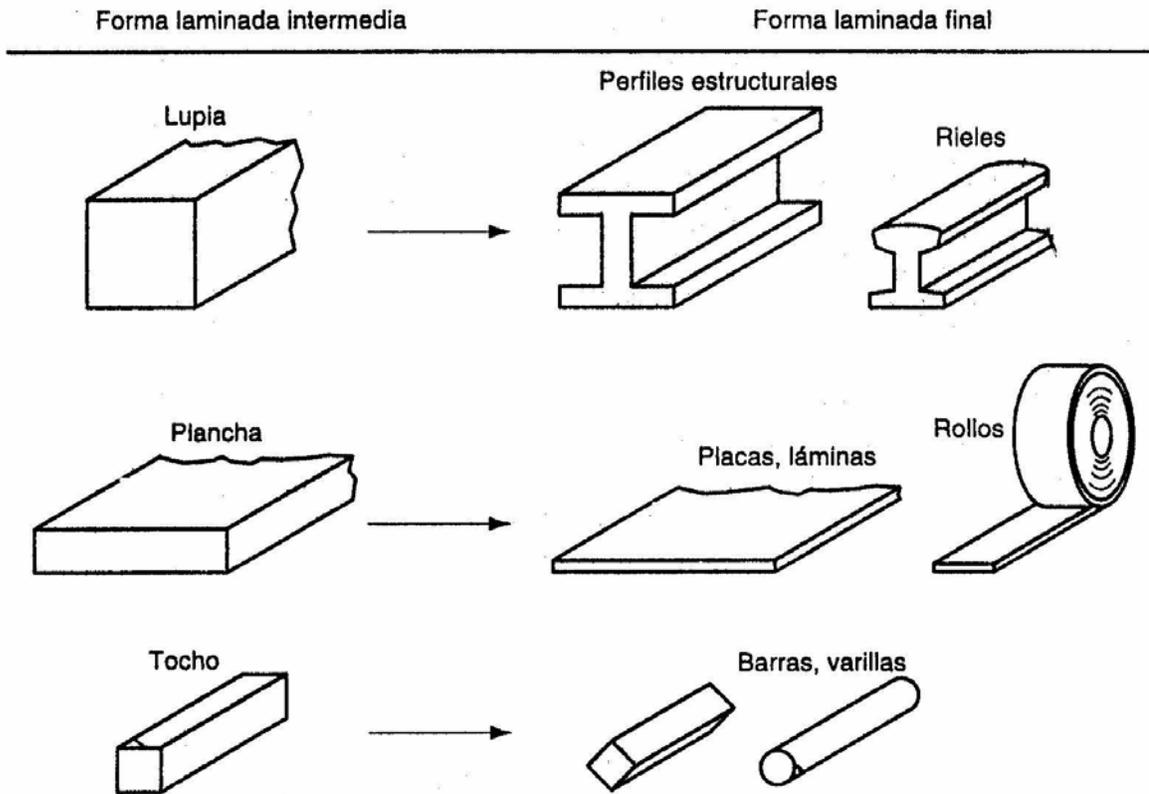


Figura 3.16 Algunos productos de acero hechos en molino de laminación

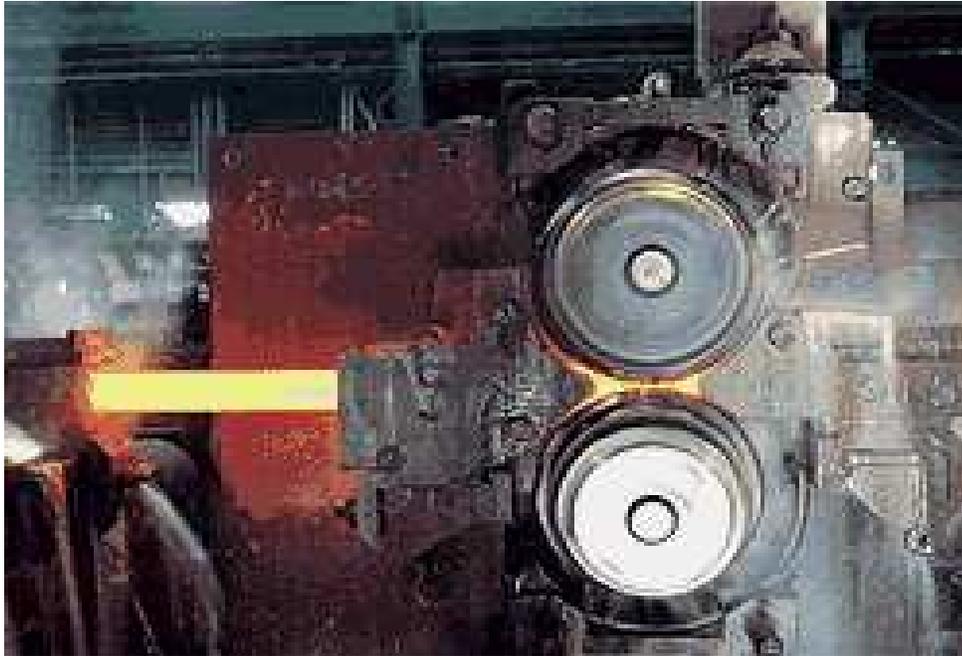


Figura 3.17 Un molino para laminado plano en caliente, la placa de acero se ve como una tira brillante que se extiende diagonalmente desde la esquina inferior izquierda

3.2 TRABAJADO METÁLICO DE LÁMINAS

El trabajado metálico de láminas incluye operaciones de corte y formado realizadas sobre láminas delgadas de metal. El espesor del material puede ser tan pequeño como varias décimas de milímetro, pero la mayor parte de los espesores del metal están entre 0.4 mm y 6 mm. Cuando el espesor excede de 6 mm se le llama placa en lugar de lámina. El material que se usa en el trabajo metálico de láminas se produce por laminado.

La importancia comercial del trabajo con láminas es significativa. Considérese el número de productos industriales y de consumo que incluyen partes hechas de lámina metálica: carrocerías de automóviles y camiones, aviones, utensilios pequeños y grandes, muebles para oficina, partes de computadoras y equipo de oficina, etc. Aunque estos ejemplos son obvios debido a que tienen lámina en su exterior, muchos componentes internos de estos productos se hacen también de láminas o placas. Las partes de lámina de metal se caracterizan generalmente por su alta resistencia, buena precisión dimensional, buen acabado superficial y bajo costo relativo.

La mayoría de los procesos con láminas metálicas se realizan a temperatura ambiente (trabajo en frío). Excepto cuando el material es grueso, frágil o la deformación es significativa. Éstos son los casos usuales de trabajo en tibio (a $0.3 T_m$) más que trabajo en caliente.

Las tres grandes categorías de los procesos con láminas metálicas son:

- 1) Corte
- 2) Doblado
- 3) Embutido

El corte se usa para separar láminas grandes en piezas menores, para cortar un perímetro o hacer agujeros en una parte. El doblado y el embutido se usan para transformar láminas de metal en partes de forma especial.

Las herramientas que se usan para realizar el trabajo con láminas se llaman punzón y dado, la mayoría de las operaciones con lámina metálica se ejecutan en máquinas herramientas llamadas prensas. Se usa el término prensa de troquelado para distinguir estas prensas de las prensas de forjado y extrusión. Los productos hechos de lámina se llaman troquelados o estampados. Para facilitar la producción en masa, las láminas de metal se introducen en la prensas frecuentemente en forma de tiras o rollos.

3.2.1. OPERACIONES DE CORTE

El corte de lámina se realiza por una acción de cizalla entre dos bordes afilados. La acción de cizalla se describe en los cuatro pasos esquematizados en la figura 3.18, donde el borde superior de corte (el punzón) se mueve hacia abajo sobrepasando el borde estacionario inferior de corte (el dado).

Cuando el punzón empieza a empujar el material de trabajo, ocurre una deformación plástica en las superficies de la lámina, conforme éste se mueve hacia abajo ocurre la penetración, en la cual comprime la lámina y corta el metal. Esta zona de penetración es generalmente una tercera parte del espesor de la lámina. A medida que el punzón continúa su viaje dentro del trabajo, se inicia la fractura del material de trabajo entre los dos bordes de corte. Si el claro entre el punzón y el dado es correcto, las dos líneas de fractura se encuentran y el resultado es una separación limpia del material de trabajo en dos piezas.

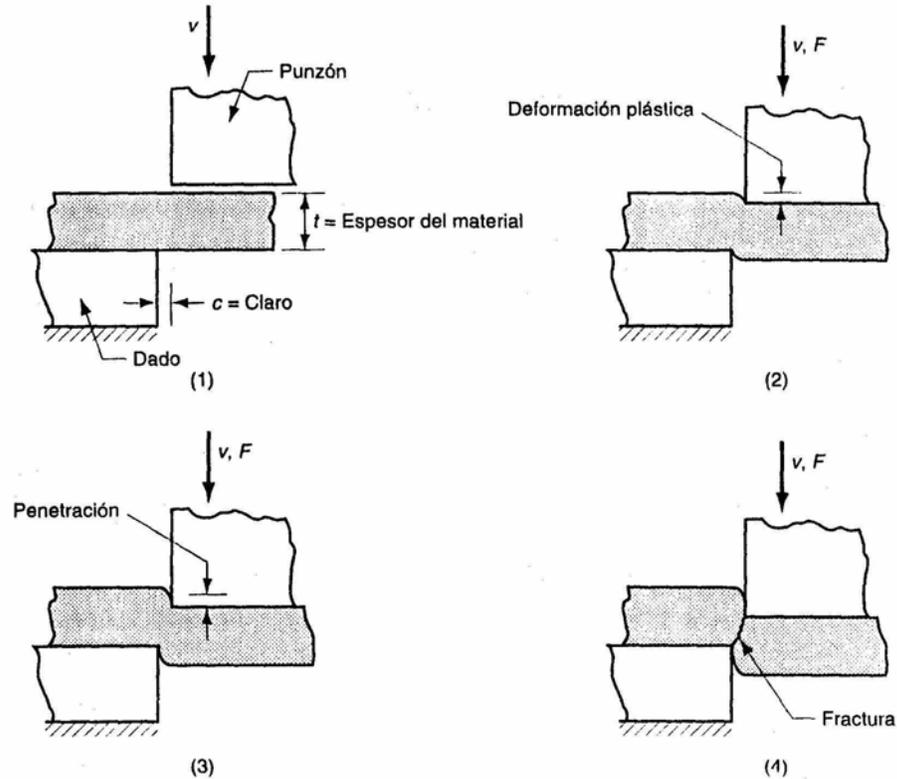


Figura 3.18. Cizallado o corte de una lámina metálica entre dos bordes cortantes: (1) inmediatamente antes de que el punzón entre en contacto con el material, (2) el punzón comienza a comprimir el material de trabajo causando deformación plástica, (3) el punzón comprime y penetra en el material de trabajo formando una superficie lisa de corte y (4) se inicia la fractura entre los dos bordes de corte opuestos que separan la lámina. Los símbolos v y F indican velocidad y fuerza aplicada, respectivamente.

Los bordes cizallados de la lámina tienen formas características que se muestran en la figura 3.18.

Encima de la superficie de corte hay una región que se llama redondeado. Éste corresponde a la compresión hecha por el punzón en el material de trabajo antes de empezar el corte. Aquí es donde empieza la deformación plástica del material de trabajo; justo abajo del redondeado hay una región relativamente lisa llamada bruñido. Ésta resulta de la penetración del punzón en el material antes de empezar la fractura. Debajo del bruñido está la zona de fractura, una superficie relativamente tosca del borde de corte donde el movimiento continuo del punzón hacia abajo causa la fractura del metal.

Finalmente al fondo del borde está la rebaba, un filo causado por la elongación del metal durante la separación final de las dos piezas.

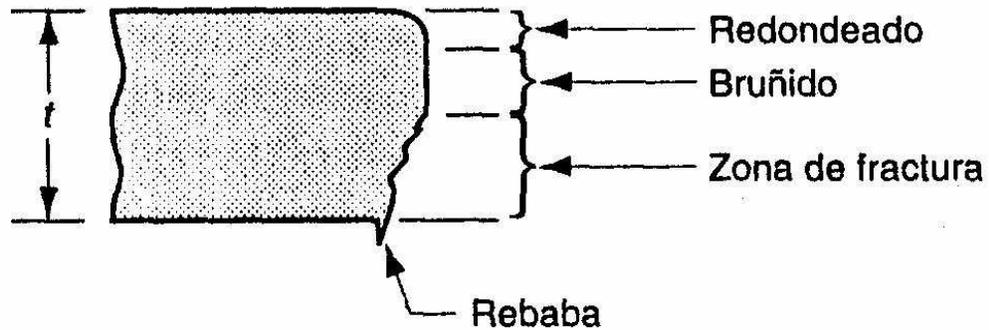


Figura 3.19. Bordes cizallados característicos del material de trabajo.

3.2.2. PUNZONADO

El punzonado implica el corte de una lámina de metal a lo largo de una línea cerrada en un solo paso para separar la pieza del material circundante, como se muestra en la figura 3.20. (a). La parte que se corta es el producto deseado en la operación y se designa como la parte o pieza deseada. El perforado es muy similar al punzonado, excepto que la pieza que se corta se desecha y se llama pedacería. El material remanente es la parte deseada. La distinción se ilustra en la figura 3.20. (b).

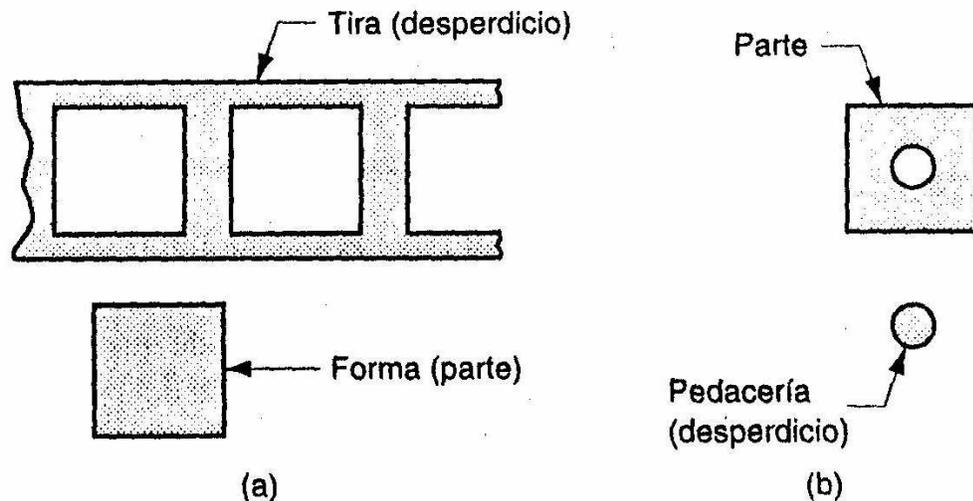


Figura 3.20. (a) Punzonado y (b) Perforado.

El término de ranurado se usa algunas veces para la operación de punzonado en la cual se corta un agujero rectangular o alargado, como se muestra en la figura 3.21. (a). El perforado múltiple involucra la perforación simultánea de varios agujeros en una lámina de metal, como se muestra en la figura 3.21. (b). El patrón de agujeros tiene generalmente propósitos decorativos o para permitir el paso de la luz, gases o fluidos.

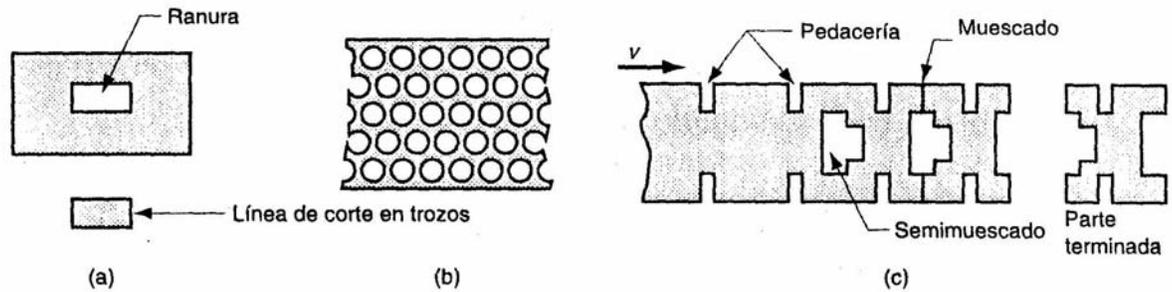


Figura 3.21. (a) Ranurado, (b) perforado múltiple, (c) muescado y semímuescado El símbolo v indica velocidad.

Para obtener el contorno deseado de la pieza, se cortan frecuentemente porciones de lámina por muescado o semímuescado. El muescado es el corte solo en una de las caras de la lámina. El semímuescado recorta una porción interior de la lámina. Estas operaciones se describen en la figura 3.21. (c).

La diferencia entre el semímuescado y el perforado es que el metal removido por el semímuescado crea parte del contorno de la pieza, mientras que el perforado y el ranurado generan agujeros en la pieza.

3.2.3. PERFORADO

Para producir tubo sin costura, se pasan tochos cilíndricos de acero entre dos rodillos de forma cónica operando en la misma dirección. Entre estos rodillos se fija un punto o mandril que ayuda en el perforado y controla el tamaño del agujero cuando el tocho es forzado sobre él.

El tocho sólido primeramente es punzonado al centro y después llevado a calor de forja en un horno antes de ser perforado. Entonces es empujado entre dos rodillos de perforado los cuales le imparten rotación y avance axial. La compresión alterna y la expansión del tocho abren un centro, el tamaño y forma del cual son controlados por el mandril de perforado. Como el espesor de pared del tubo resulta del tren de perforado, se pasa entre rodillos ranurados

sobre un tapón sujeto por el mandril y es convertido en un tubo largo con un espesor de pared especificado. Mientras permanece a temperatura de trabajo, el tubo pasa a través de la máquina de carrete, la cual además de enderezar y calibrar da a las paredes una lisura de superficie.

Este procedimiento se aplica a los tubos sin costura hasta de 150 mm de diámetro. A los tubos grandes hasta de 350 mm de diámetro se les da una segunda operación con los rodillos de perforado. Para producir tamaños hasta de 600 mm de diámetro, recalentados, se procesan tubos doblemente perforados en un tren de rolado rotatorio y se terminan finalmente con rodillos de carrete y de calibrado. Pueden requerirse calentamientos intermedios.

En el método continuo, una barra redonda de 140 mm es perforada y transportada al mandril laminador de nueve estaciones, en donde se inserta una barra cilíndrica o mandril. Estos rodillos reducen el diámetro del tubo y el espesor de pared. Entonces es eliminado el mandril, y el tubo recalentado antes de entrar al laminador reductor- alargador de doce estaciones. Este tren no sólo reduce el espesor de pared del tubo caliente sino también el diámetro del mismo. Cada rodillo sucesivo es impulsado a producir una tensión suficiente para alargar el tubo entre estaciones. El máximo rendimiento de este tren es 390 m/min para tubo de alrededor de 50 mm de diámetro o más pequeño.

3.2.4. OPERACIONES DE DOBLADO

En el trabajo de láminas metálicas el doblado se define como la deformación del metal alrededor de un eje recto, como se muestra en la figura 3.22. (a). Durante la operación de doblado, el metal dentro del plano neutral se comprime, mientras que el metal por fuera del plano neutral se estira. Estas condiciones de deformación se pueden ver en la figura 3.22. (b), El metal se deforma plásticamente, así que el doblado toma una forma permanente al remover los esfuerzos que lo causaron. El doblado produce poco o ningún cambio en el espesor de la lámina metálica.

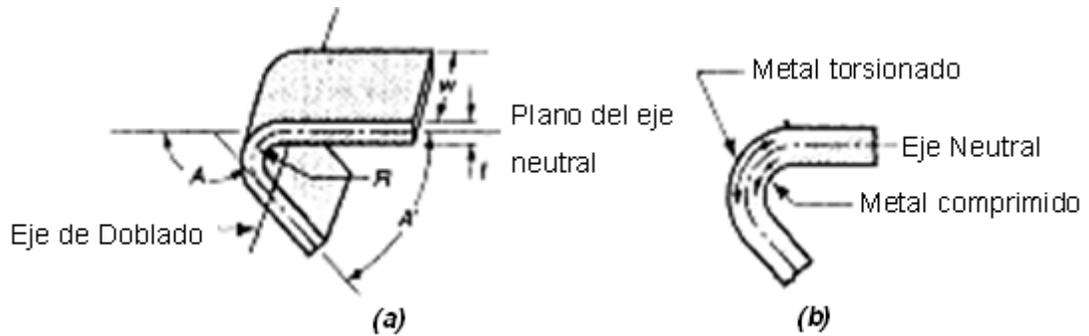


Figura 3.22. (a) Doblado de lámina metálica; (b) en el doblado ocurre elongación a la tensión y a la compresión.

3.2.4.1 DOBLADO EN V Y DOBLADO DE BORDES

Las operaciones de doblado se realizan usando como herramientas de trabajo diversos tipos de punzones y dados. Los dos métodos de doblado más comunes y sus herramientas asociadas son el doblado en V, ejecutado con un dado en V; y el doblado de bordes, ejecutado con un dado deslizante.

Estos métodos se ilustran en la figura 3.23.

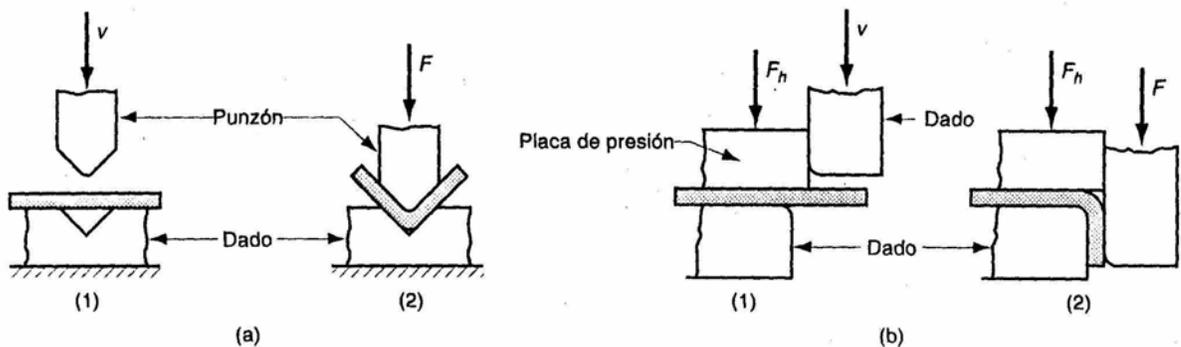


Figura 3.23. Dos métodos comunes de doblado: (a) doblado en V y (b) doblado de bordes; (1) antes y (2) después del doblado. Los símbolos v = velocidad, F = fuerza de doblado aplicada, F_h fuerza de sujeción.

EN EL DOBLADO EN V

La lámina de metal se dobla entre un punzón y un dado en forma de V, los ángulos van desde los muy obtusos hasta los muy agudos. El doblado en V se usa generalmente para operaciones de baja producción y se realizan frecuentemente en una prensa de cortina, los correspondientes dados en V son relativamente simples y de bajo costo.

EL DOBLADO DE BORDES

Este involucra una carga voladiza sobre la lámina de metal. Se usa una placa de presión, que aplica una fuerza de sujeción F_h para sujetar la lámina contra el dado, mientras el punzón fuerza la parte volada para doblarla sobre el borde del dado. En el arreglo que se ilustra en la figura 3.23. (b), el doblado se limita a ángulos de 90° o menores. Se pueden diseñar dados deslizantes más complicados para ángulos mayores de 90° . Debido a la presión del sujetador, los dados deslizantes son más complicados y más costosos que los dados en V y se usan generalmente para trabajos de alta producción.

3.2.5. EMBUTIDO

El embutido es una operación de formado de láminas metálicas que se usa para hacer piezas de forma de copa y otras formas huecas más complejas. Se realiza colocando una lámina de metal sobre la cavidad de un dado y empujando el metal hacia la cavidad de éste con un punzón, como se muestra en la figura 3.24. La forma debe aplanarse contra el dado por un sujetador de formas. Las piezas comunes que se hacen por embutido son latas de bebidas, casquillos de municiones, lavabos, utensilios de cocina y partes para carrocería de automóviles.

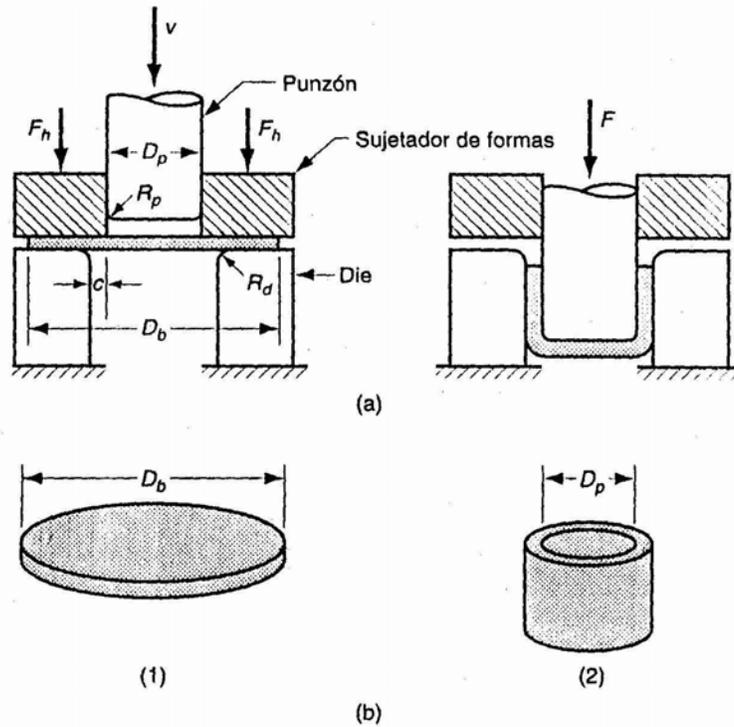


Figura 3.24. (a) Embutido de una parte en forma de copa: (1) inicio de la operación antes de que el punzón toque el trabajo y (2) cerca del fin de la carrera; y (b) piezas de trabajo correspondientes: (1) forma inicial y (2) parte embutida. Los símbolos indican: c = claro, D_b = diámetro de la forma inicial D_p = diámetro del punzón, R_d = radio de la esquina del dado, R_p = radio de la esquina del punzón, F = fuerza de embutido, F_h = fuerza de sujeción.

El embutido de partes en forma de copa es la operación básica del embutido. Con las dimensiones y los parámetros que se muestran en la figura 3.24.

Se embute un disco de diámetro D_b dentro de un dado por medio de un punzón de diámetro D_p . El punzón y el dado deben tener un radio en las esquinas determinado por R_p y R_d . Si el punzón y el dado tienen esquinas agudas (R_p y $R_d = 0$), se realizará una operación de perforado de un agujero en lugar de una operación de embutido. Los lados del punzón y del dado están separados por un claro c . Este claro es aproximadamente 10% mayor que el espesor del material en embutido.

El punzón aplica una fuerza F hacia abajo para realizar la deformación del metal, y el sujetador de partes o de formas aplica una fuerza de sujeción F_h hacia abajo, como se muestra en la figura 3.25.

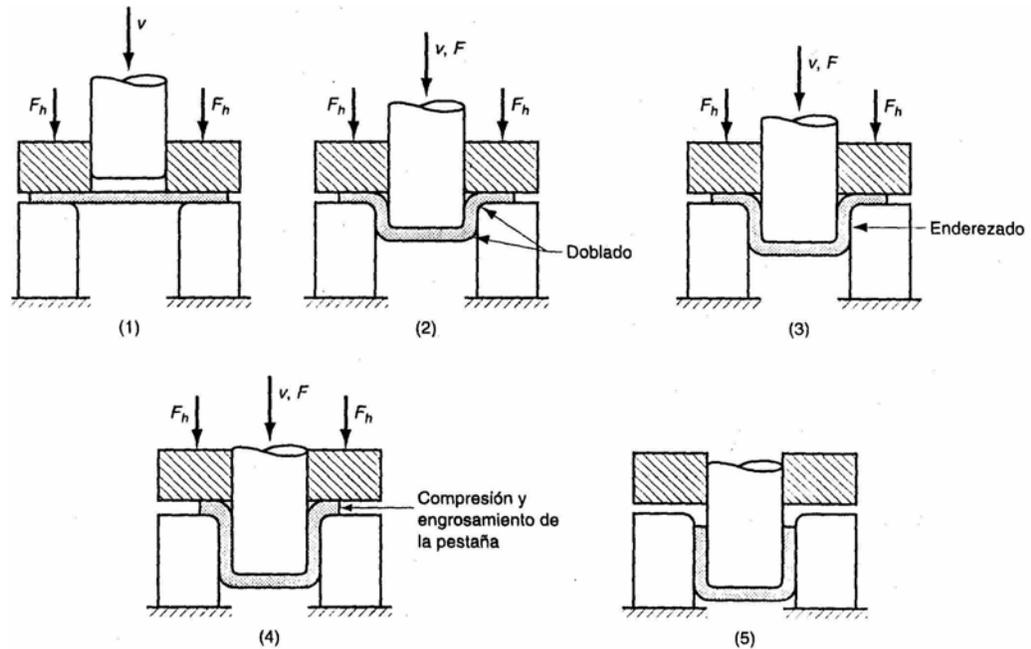


Figura 3.25. Etapas en la deformación del material de trabajo en el embutido profundo: (1) El punzón entra en contacto con el trabajo, (2) doblado, (3) enderezado, (4) fricción y compresión, y (5) forma final de la copa, mostrando los efectos del adelgazamiento en las paredes de la copa. Los símbolos indican: v = movimiento del punzón, F = fuerza del punzón, F_h = fuerza del sujetador de formas.

Conforme el punzón se desliza hacia abajo, hasta su posición final, la pieza de trabajo experimenta una serie compleja de esfuerzos y deformaciones al tomar gradualmente la forma definida por el punzón y la cavidad del dado. Las etapas en el proceso de deformación se ilustran en la figura 3.25. Cuando el punzón empieza a empujar al material de trabajo, somete al metal a una operación de doblado. La lámina es doblada simplemente sobre la esquina del punzón y la esquina del dado, como se muestra en la figura 3.25. (2). El perímetro exterior del disco se mueve hacia el centro en esta primera etapa pero sólo ligeramente.

A medida que el punzón avanza, ocurre una acción de enderezado del metal que fue previamente doblado sobre el radio del dado, etapa (3) de la figura. El metal en el fondo de la copa, así como a lo largo del radio del punzón, se ha movido hacia abajo junto con el punzón, pero el metal que se había doblado sobre el radio del dado se endereza para que pueda jalarse dentro del claro y formar la pared del cilindro. En este punto se necesita más metal para reemplazar al que ahora forma la pared del cilindro.

Este nuevo metal viene del borde exterior de la forma original. El metal en la porción exterior de la forma se jala o embute hacia la apertura del dado para sustituir al metal previamente doblado y enderezado, que ahora forma la pared del cilindro. De este tipo de flujo de metal a través de un espacio restringido es de donde toma su nombre el proceso de embutido.

Durante esta etapa del proceso, la fricción y la compresión en la brida juegan papeles importantes.

Para que el material de la brida se mueva hacia la apertura del dado, se debe superar la fricción entre la lámina de metal y las superficies del sujetador y del dado. Inicialmente se involucra la fricción estática hasta que el metal empieza a moverse, debido al flujo de metal, es entonces que la fricción cinética gobierna el proceso. La magnitud de la fuerza de sujeción aplicada por el sujetador, así como las condiciones de fricción de las dos interfaces son factores que determinan el éxito de la operación de embutido. Generalmente se usan lubricantes o compuestos para reducir las fuerzas de fricción durante el embutido. Además de la fricción, ocurre también el arrugado de la brida remanente, debido a que el metal de la brida se estira hacia el centro, el perímetro exterior se hace menor, como el volumen del metal permanece constante, el metal de la brida se comprime y se hace más grueso al reducirse el perímetro.

Esto ocasiona frecuentemente el arrugado de la brida remanente, especialmente cuando la lámina es delgada o cuando la fuerza del sujetador es demasiado baja. Esta condición no puede corregirse una vez que ha ocurrido. Los efectos de la fricción y de la compresión se ilustran en la figura 3.25. (4).

La fuerza de sujeción aplicada sobre la forma se ve ahora como un factor crítico en el embutido profundo. Si ésta es muy pequeña, ocurre el arrugamiento; si es muy grande, evita que el metal fluya adecuadamente hacia la cavidad del dado, ocasionando estiramiento y posible desgarramiento de la lámina de metal. La determinación de la fuerza adecuada de sujeción implica un delicado balance entre estos factores opuestos.

El movimiento progresivo del punzón hacia abajo ocasiona la continuidad del flujo de metal, causado por el estirado y la compresión. Ocurre además, cierto adelgazamiento de las paredes del cilindro como en la figura 3.25. (5). A la fuerza que aplica el punzón se opone la del metal, en forma de deformación y fricción durante la operación. Una parte de la deformación involucra estiramiento y adelgazamiento del metal al ser jalado sobre el borde de la abertura del dado. En una operación exitosa de embutido puede ocurrir hasta un 25% de adelgazamiento, la mayor parte cerca de la base de la copa.

CAPITULO 4.

FORMADO POR ALTA VELOCIDAD DE ENERGIA

Se han desarrollado varios procesos para el formado de metales usando grandes cantidades de energía aplicada en tiempos muy cortos. Debido a esta característica se llaman formado por alta velocidad de energía. Éstos incluyen el formado por explosión, formado electrohidráulico y formado electromagnético. Estos procesos de conformación de alta energía representan grandes deformaciones de la pieza de trabajo.

4.1. HIDROFORMADO

El hidroformado es un método para la manufactura de componentes metálicos huecos. Se le conoce como hidroformado al embutido de piezas mediante aceite a presión, actuando sobre una chapa plana. El molde está compuesto de dos partes. El cuerpo inferior es de fundición y se fija sobre la mesa de la prensa. La parte superior posee un orificio, en la región más alta de la cámara, por donde carga y descarga el aceite. Con el fin de que la embutición sea ejecutada en las mejores condiciones, la presión del aceite es variada y regulada (mediante válvulas) de acuerdo con un programa, la presión alcanza los 10 kg/mm².



Figura 4.1. Piezas Hidroformadas

La membrana elástica es de goma blanda, robusta y resistente al aceite; se retiene por medio de un aro y un anillo de expansión (hecho de acero para muelles) asentado en la garganta del cuerpo.

El hidroformado de tubos es una tecnología relativamente nueva, por lo tanto, con investigación en desarrollo. Entre los aspectos sujetos a investigación se encuentran el diseño de herramental, sistema hidráulico, material de los moldes, concentraciones de esfuerzo, fricción, recubrimientos para las piezas, parámetros del proceso y selección de material. Entre las principales ventajas del hidroformado se encuentra el hecho de que permite producir piezas de menor peso y mayor rigidez.

Una de las industrias más beneficiadas con el desarrollo de este proceso ha sido la industria automotriz, la cual cuenta con diversos componentes fabricados mediante este método como por ejemplo, componentes de la suspensión, flechas, componentes del chasis, tubos de escape, entre otros. En términos generales el proceso de hidroformado de tubos puede ser explicado mediante cuatro fases:

1. Alimentación de piezas a prensa de hidroformado: Un tubo previamente preparado con una película sólida lubricante es colocado en el molde. Ver figura 4.2.

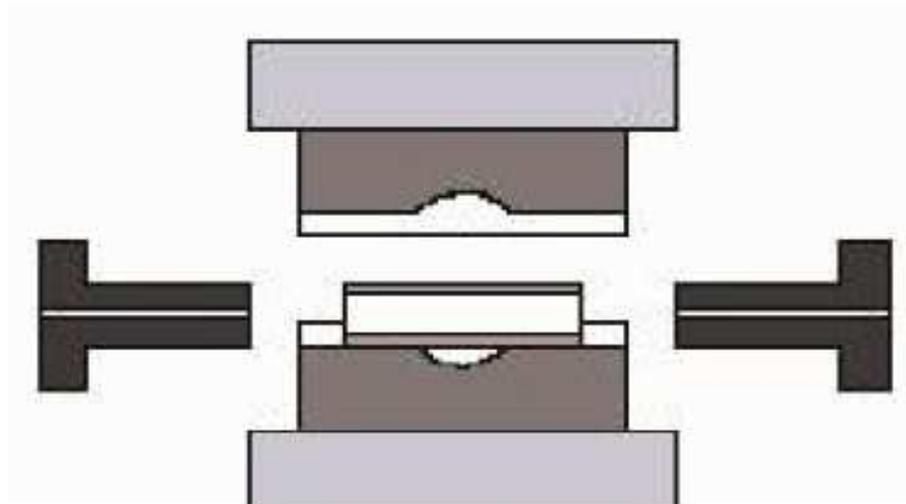


Figura 4.2. Alimentación de Pieza a la Prensa de Hidroformado

2. Aprisionamiento de la pieza: Al activar la prensa de hidroformado el molde se cierra manteniendo en su interior el tubo a hidroformar. Ver figura 4.3.

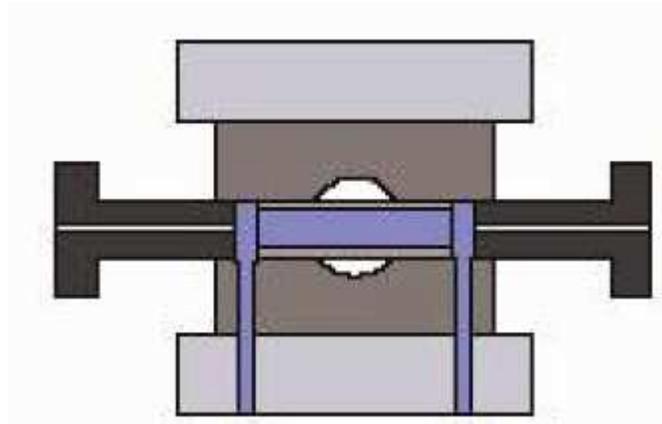


Figura 4.3. Sujeción de la Pieza a Hidroformar

3. Activación del proceso de hidroformado. Se aplica una fuerza axial mediante dos pistones además de una interna ejercida por un fluido. Ver figura 4.4.

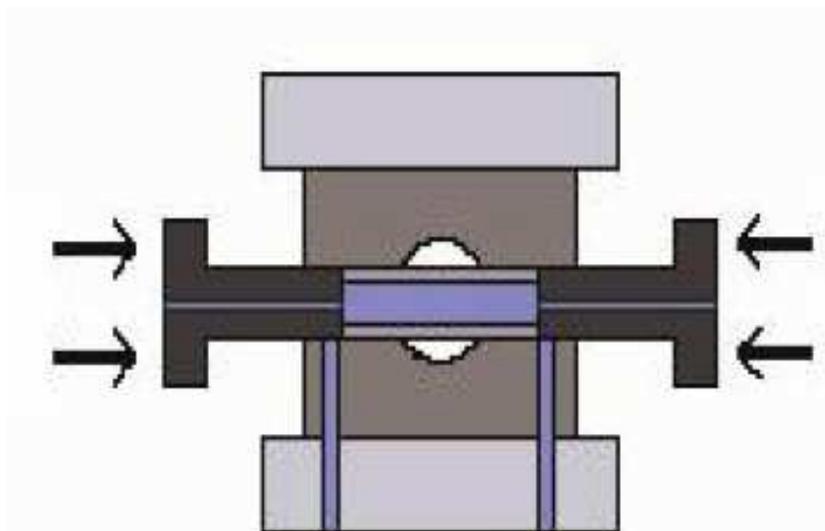


Figura 4.4. Activación de Proceso de Hidroformado

4. Recuperación de la pieza hidroformada: El ciclo de hidroformado termina con la apertura del molde y la recuperación de la pieza hidroformada. Ver figura 4.5.

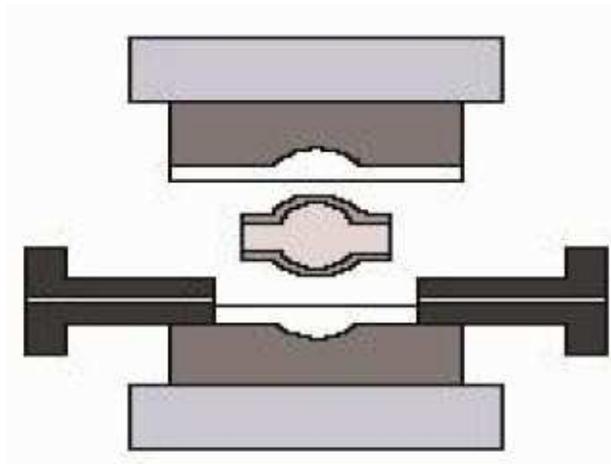


Figura 4.5. Pieza Hidroformada

La tecnología del hidroformado proporciona una alternativa atractiva respecto a otros procesos de formado, debido a su bajo costo por pieza y utilidad para producción de partes asimétricas y contornos irregulares.

Las ventajas en el uso del hidroformado son las siguientes

- Herramental no caro
- Versatilidad en el formado de formas y contornos complejos
- Mínimo adelgazamiento del material
- Minimización en las operaciones requeridas
- Cambio de herramental más rápidos
- Ahorro en costo de acabado
- Versatilidad de materiales formados
- Precisión dimensional
- Facilidad en el diseño de nuevos productos

En este caso de fabricación, previo al proceso de hidroformado, el tubo es preparado mediante un baño químico a 80°C durante 1 hora, con esto se le aplica un recubrimiento de Microgleit 18808 que es una película sólida lubricante de bisulfito de molibdeno. Cada pieza es recubierta con 29 gramos de este producto con el propósito de disminuir la fricción entre la pieza y el molde durante el proceso de hidroformado, efectuado posteriormente.

El tubo preparado en la operación anterior, es sometido al proceso de hidroformado para obtener la forma del escape mediante la aplicación de dos fuerzas axiales de compresión y fluido a alta presión. Un operador toma uno a uno los tubos y lo coloca en el molde de la prensa de hidroformado; posteriormente acciona la máquina y esta comienza a inyectar una emulsión con una presión de 400 bar; adicionalmente dos pistones aplican sobre la pieza una presión de 900 bar. La forma deseada (Figura 4.6) es obtenida en aproximadamente 33 segundos, la pieza hidroformada es descargada manualmente de la prensa y colocada en racks para su transporte al siguiente proceso. Cabe mencionar que en este punto, la longitud del tubo es modificada de 510 a 300 mm.



Figura 4.6 Tubo Hidroformado

Las piezas hidroformadas son lavadas únicamente con agua a presión y a una temperatura de 70°C mediante espreas. La pieza es sometida a un tiempo de espera de 2 días; con el objetivo de asegurar el completo sacado de la misma.

La introducción del proceso de hidroformado al sector automotriz se debe principalmente a la mejora en el diseño de piezas, no únicamente por las formas irregulares conseguidas, sino también porque elimina la necesidad de ensambles para conseguir estas formas.

Este método permite la manufactura de componentes huecos con formas externas complejas y especialmente favorables propiedades de resistencia.



FIGURA 4.7. Pieza obtenida mediante proceso de hidroformado

4.2 FORMADO ELECTROMAGNETICO

Este proceso fue desarrollado originalmente en 1960 por la industria aeroespacial y es el proceso de alta energía más extensamente usado en la actualidad, también llamado Formado de pulso Magnético. Es un proceso en el cual la lamina metálica se deforma por la fuerza mecánica de un campo electromagnético inducido en la parte de trabajo por una descarga a través de una bobina de un banco de capacitores cargado con alta energía, lo que genera un campo magnético muy poderoso y de variación veloz que da forma al metal que se desea trabajar. El sistema funciona mejor sobre metales de conductividad eléctrica alta, tales como el cobre o algunas aleaciones de aluminio, aunque también se puede usar, obteniendo resultados más limitados, con el acero.

Se usa para formar partes tubulares, como se ilustra en la figura 4.8.

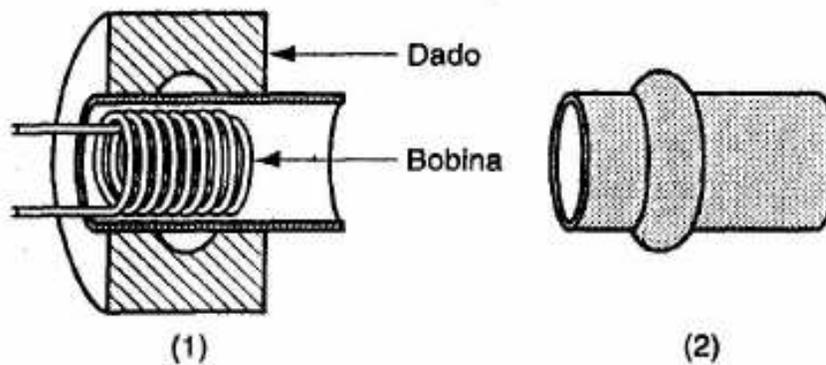


FIGURA 4.8. Formado electromagnético (1) disposición en la cual se inserta una bobina en la parte tubular rodeada por el dado, (2) parte formada.

Así mismo también se usa para compactar monedas entre otros productos usándolos como recuerdos para los turistas.

El equipo que produjo las reducciones de monedas (Figura 4.9) posee un gran banco de capacitores de $140 \mu\text{F}$ y $12,000$ volts. Cada capacitor tiene alrededor de $75 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$ por 20 cm y pesa alrededor de 76 kg . Por lo general se utilizan dos de estos capacitores. Para conectar los capacitores a su fuente de alto voltaje o a la carga se utiliza un relay de transferencia de Alto Voltaje. Para generar el voltaje que se va a cargar en los capacitores se usa un transformador de 15 kV 60 mA de los que se utilizan en los carteles de neón y un conjunto de rectificadores de 40 kV .

El primario del transformador del cartel de neón (de 110 volts) se sobrecarga, aplicándole hasta 140 volts vía un autotransformador variable. La energía disponible a partir del banco de capacitores es función del cuadrado de su voltaje. La fuerza de compresión es una función directa de esta energía.



Figura 4.9 Equipo Reductor de monedas

La energía cargada en el banco de capacitores se descarga rápidamente a través de una bobina de una sola capa hecha de 8 a 11 vueltas de alambre de cobre AWG #10 o #12. La moneda es sostenida firmemente en el centro de la bobina por un par de soportes de alineación, buscando que el eje central del círculo sea paralelo a la línea central de la bobina. Esto evita que la moneda rote y ayuda a balancear las fuerzas que pretenden eyectarla desde dentro de la bobina. Los extremos de la bobina son firmemente atornillados a unas barras de cobre con una sección de 6 x 0,8 cm usando bulones de bronce de 3/8". La " llave " 'que conecta el banco de capacitores a la bobina es un trigatrón, capaz de manejar el alto voltaje involucrado. Los electrodos de este artefacto tienen alrededor de 6 cm de diámetro y están hechos de bronce. Uno de los electrodos está perforado y roscado para sostener un electrodo de conexión hecho de una bujía modificada de motor a explosión. Este sistema es el único capaz de manejar el alto voltaje y al mismo tiempo conectar la altísima corriente involucrada, que está entre 70.000 y 100.000 amperes.

El trigatrón es disparado enviando un pulso de alta tensión al electrodo de disparo, que causa la ionización del espacio entre los electrodos y así dispara al dispositivo. Una vez que se

dispara el artefacto, la corriente corre velozmente por la bobina con una velocidad de variación (di/dt) que está en el orden de los 4 a 5 mil millones de amperes por segundo. La frecuencia de resonancia natural del circuito LC formado por el banco de capacitores y la bobina está en el orden de los 8 a 12 kHz. Como en un transformador, se induce una gran corriente circular en la moneda, pero debido al efecto de superficie, esta enorme corriente es confinada en su superficie externa, generalmente a menos de 1 mm de profundidad. Gran parte de la corriente corre más fácil por el cobre que está, como en un sandwich, debajo de la cobertura brillante de la moneda, en lugar de hacerlo por el metal de afuera.

Esta corriente impide que el campo magnético penetre en el interior de la pieza. El campo generado por esta corriente y el generado por la bobina se oponen entre sí, como lo determina la Ley de Lenz.

La enorme corriente que se induce en la capa externa de la moneda puede llegar a un millón de amperes o más. Debido que la energía inicial está en un rango de 3.500 a 8.500 Joules, la potencia instantánea es increíble, y por un instante es casi igual a la energía consumida por una ciudad entera. La fuerza de repulsión entre la bobina y la moneda crea una poderosa fuerza compresiva sobre ésta, que sobrepasa largamente la rigidez del metal, causando una deformación plástica que deja a la moneda mucho más pequeña. Al mismo tiempo, una fuerza radial similar, pero opuesta, hace explotar la bobina. La bobina sufre también una compresión axial, que tiende a unir sus espiras, pero esta fuerza es menor. En todos los casos, las deformaciones que va sufriendo la bobina van incrementando momento a momento su inductancia, lo que produce el efecto de una espira en cortocircuito en un transformador.



Figura 4.10. Monedas reducidas

Las monedas más grandes que se han comprimido usando este equipo tenían alrededor de 3,6 cm de diámetro y quedaron reducidas a 2,7 cm. Un dólar de plata de 3,6 cm quedó de 3 cm, utilizando 3,600 joules. Las otras monedas muestran rangos variados de reducción.

Examinando los trozos de las bobinas se ha observado que los alambres fueron estirados sustancialmente (pasan a parecer #14 a #16 AWG) y muestran regiones adelgazadas y torceduras a intervalos periódicos, causados por el stress del cobre ante las fuerzas aplicadas por el campo magnético. La mayoría de los fragmentos tienen 6 mm o menos y todas las piezas muestran evidencia de fractura por tensión en los extremos. El esmalte de aislación ha desaparecido, ya que no tiene la elasticidad del cobre y no puede estirarse del mismo modo, dejando el alambre desnudo. Los alambres evidencian también signos de fundido localizado del lado interior del solenoide, debido a la concentración de corriente por combinación del efecto de superficie y de proximidad.

Se utiliza una bobina de mayor diámetro, operando a niveles menores de potencia, para comprimir latas de aluminio, que quedan como si fueran relojes de arena. La "cintura" de estas latas deformadas llega a tener la mitad del diámetro original. En este caso la bobina no se desintegra, por dos razones: se hace con un alambre más grueso (3 vueltas de alambre #4 AWG) y por el menor nivel de energía que se le aplica. Si se aplican energías mayores, la combinación entre el aire súbitamente comprimido en el interior y el ablandamiento de la pared de la lata por las corrientes inducidas causa que ésta se rasgue. Esta deformación también se puede hacer sobre latas de hierro, pero con mucho menor efecto debido a la menor conductividad eléctrica del hierro. Además, la profundidad del efecto de superficie es menor debido al ferromagnetismo del metal. Debido a que la bobina no estalla, los capacitores del banco sufren una descarga completa. Otro problema es que una buena parte de la energía del banco de capacitores se termina de disipar en el trigatrón, lo que causa una mayor erosión de sus electrodos (Figura 4.11.).



Figura 4.11. Mesa de trabajo en la que se observa la bobina preparada para el disparo, el trigatrón (cilindro oscuro en el que se ve una bujía de encendido que asoma a la derecha) y las barras de alimentación de potencia. Se nota también el efecto de los disparos previos.

El proceso no funciona bien en todas las monedas. Algunas, que están hechas con un interior de cinc cubierto con una delgada capa de cobre, quedan irreconocibles, porque la capa de cobre se vaporiza y el núcleo de cinc se funde en forma globular. Las monedas con cobertura de níquel, debido a la pobre conductividad de la aleación de cobre y níquel, sólo se reducen un 10%. Las monedas bimetálicas, con un anillo de otro metal, por ejemplo, suelen estar hechas de aleaciones diferentes, por lo cual sufren deformaciones diferentes ante el campo magnético. En algunos casos la porción central se achica más que el resto y las partes se separan.

Algunos capacitores no están diseñados para soportar picos de corriente de 100.000 amperes y por esto fallan al poco tiempo. Algunos pueden hacerlo de modo catastrófico, rompiéndose la caja de metal. El equipo que produjo las monedas de las imágenes está provisto con capacitores Maxwell de 70 μF , 12 kV, que especifican una supervivencia del 90% luego de 300,000 descargas de 100 kA cada una.

Los experimentos que se hacen con estos equipos que comprimen monedas parecen señalar algunas inconsistencias en la teoría del campo electromagnético aceptada hoy en día (Figura 4.12.). Los fragmentos de alambre de las bobinas indican con claridad la presencia de grandes fuerzas de tensión dentro del alambre. La mayoría de los efectos observados se

pueden explicar por el stress de compresión producido por la "presión magnética" dentro del solenoide y por la repulsión prevista por la Ley de Lenz entre la bobina y la moneda. Sin embargo, hay un curioso abultamiento que se puede observar con un microscopio en los fragmentos que puede indicar la presencia de otros efectos. Esto fue notado por un investigador de Tesla Coil Builders de Richmond, Virginia (TCBOR), EEUU, al revisar fragmentos de alambre recibidos de un colega. Parece ser que cuando circula un flujo de corriente extremadamente alto por un conductor sólido o líquido, empiezan a aparecer ciertos efectos que no se pueden explicar del todo por la teoría actual del campo electromagnético y las fuerzas de Lorentz. Un ejemplo interesante se logra aplicando un pulso de corriente muy grande y corto a un trozo recto de alambre. Bajo condiciones apropiadas, el alambre no se funde o vaporiza, sino que se fractura en una serie de fragmentos casi iguales. Cada uno de ellos muestra evidencias innegables de haber sufrido fallas de tensión por impacto. Es como si cada fragmento hubiese sido removido tirando de él para retirarlo de los trozos adyacentes, con muy poca evidencia de haber sido fundido o sufrido estrangulación. Queda claro que se le han aplicado grandes fuerzas de tensión durante el breve instante en que circuló la enorme corriente pero, en teoría, no deberían existir fuerzas de tensión.



Figura 4.12. Medio dólar Kennedy (1971)

Los doctores Peter y Neal Graneau, padre e hijo, coautores de "Newtonian Electrodynamics" y "Newton Versus Einstein", teorizan que, en base a lo observado en éste y otros experimentos de alta corriente, estos efectos podrían ser producidos por "fuerzas de tensión de Ampere" que se desarrollan en el interior del alambre.

Aunque la teoría clásica del electromagnetismo predice la existencia de las fuerzas de tensión de Ampere, éstas han sido retiradas hace tiempo de todos los libros de texto modernos, reemplazadas por la teoría moderna de campo. Es interesante que, aunque las fuerzas de Ampere ya no son aceptadas como parte de la teoría actual del electromagnetismo, su existencia parece ser verificable experimentalmente, quedando sin explicación por la teoría moderna de campo. Los doctores Graneau listan otros provocativos experimentos que parecen dar soporte a la existencia de las fuerzas de tensión de Ampere.

La última discusión es si las leyes permiten que se deformen monedas de esta manera. La "mutilación, disminución y falsificación fraudulenta de monedas" está prohibida. La palabra clave es que lo prohibido es el "uso fraudulento" de estas piezas, es decir, si se pretenden utilizar las monedas alteradas en un intento de defraudación. Las monedas que se trabajan para adorno o para hacerlas divertidas (Figura 4.13.), y se venden abiertamente en esa condición como recuerdos para turistas o interesados en rarezas, no son ilegales.



Figura 4.13. 10 Francos (Francia)

4.3 FORMADO ELECTROHIDRAULICO

El formado electrohidráulico 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). Debido al principio de operación, este proceso se llama también formado por descarga eléctrica. La instalación para este proceso se ilustra en la figura 4.14. La energía eléctrica se acumula en grandes capacitores y luego se transmite a los electrodos. El formado electrohidráulico es similar al formado por explosión. Las diferencias están en la forma de generar la energía y en las menores cantidades de energía que se manejan. Esto limita el formado electrohidráulico a piezas de mucho menor tamaño.

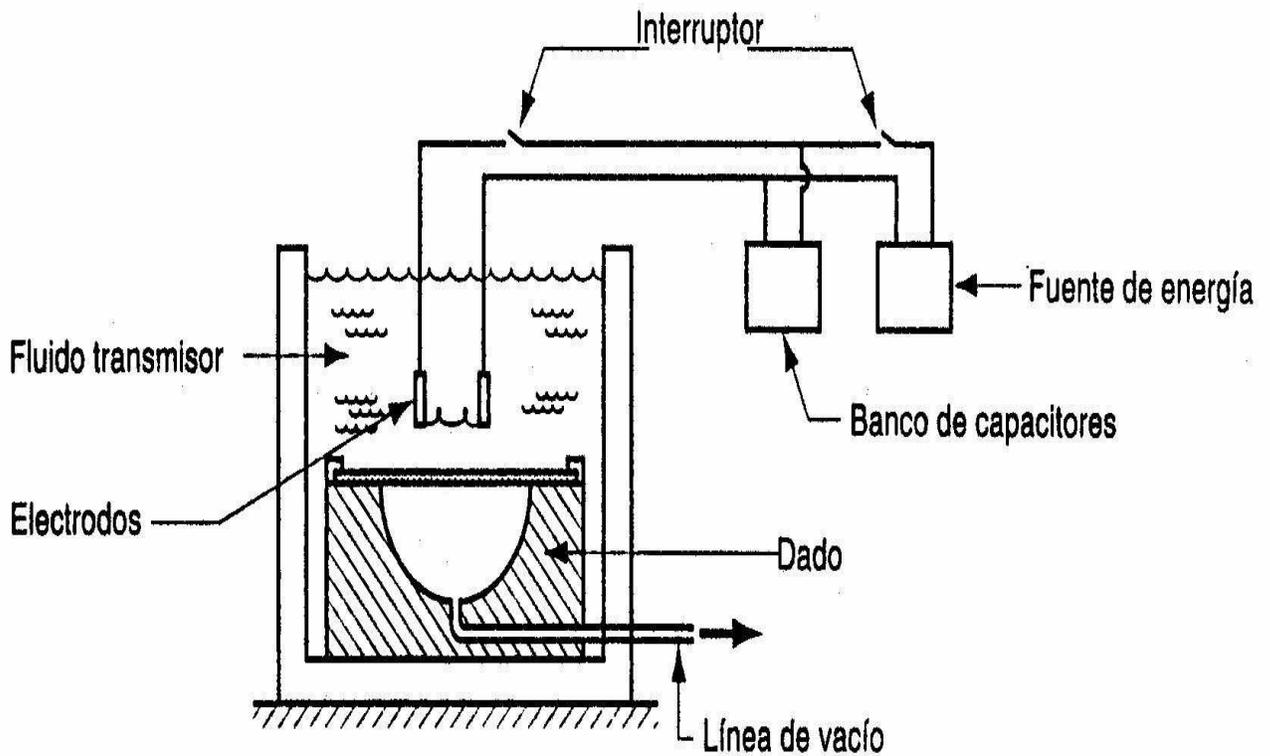


Figura 4.14. Mecanismo del formado electrohidráulico

4.4 FORMADO CON EXPLOSIVO

El proceso de formado por explosión puede ser clasificados en dos categorías:

1. Operaciones de contacto: Los explosivos se colocan en contacto directo con el metal.
2. Operaciones sin contacto: La carga explosiva se coloca a cierta distancia de la pieza de trabajo.

4.4.1 OPERACIONES DE CONTACTO

El proceso de formado por explosión fue documentado por primera vez en 1888. Fue utilizado en el grabado de placas de hierro. En este grabado, el explosivo fue colocado en contacto directo con el metal, y el espesor de la lámina determinó la profundidad del relieve hecho después de la detonación.

Con el paso del tiempo, se han encontrado muchas otras aplicaciones para los explosivos. Las investigaciones realizadas sobre los efectos de los explosivos y ondas de choque de los metales han tenido sus raíces en aplicaciones militares, sobre todo durante la Primera y Segunda Guerra Mundial. Muchos programas investigaron estos fenómenos para el desarrollo de torpedos y otras armas diseñadas para atacar vehículos blindados.

El desarrollo de explosivos, propulsores y otras sustancias químicas exotérmicas han estado íntimamente vinculados al desarrollo de armas militares. La necesidad de más armas de gran alcance y proyectiles condujo a la investigación de los propulsores y los mecanismos con explosivos.

Ya en la década de 1950, empresas del sector aeroespacial en los Estados Unidos, como Rocketdyne, Aerojet General Corporation, y Aeronáutica Ryan estaban utilizando la formación con explosivos para la fabricación de complejos componentes aeroespaciales curvos como el mostrado en la figura 4.15.

El formado por explosión fue especialmente importante en el desarrollo de la producción a corto plazo de componentes para misiles, particularmente en las cúpulas y narices cónicas de los mismos.

Otros ejemplos de componentes aeroespaciales que se producen a través de la formación con explosivos son: paneles ondulados complejos para los aviones, filtros de combustible y tubos de escape para los motores a reacción. La Unión Soviética también comenzó a utilizar la formación con explosivos como un nuevo proceso para grandes paneles curvos.

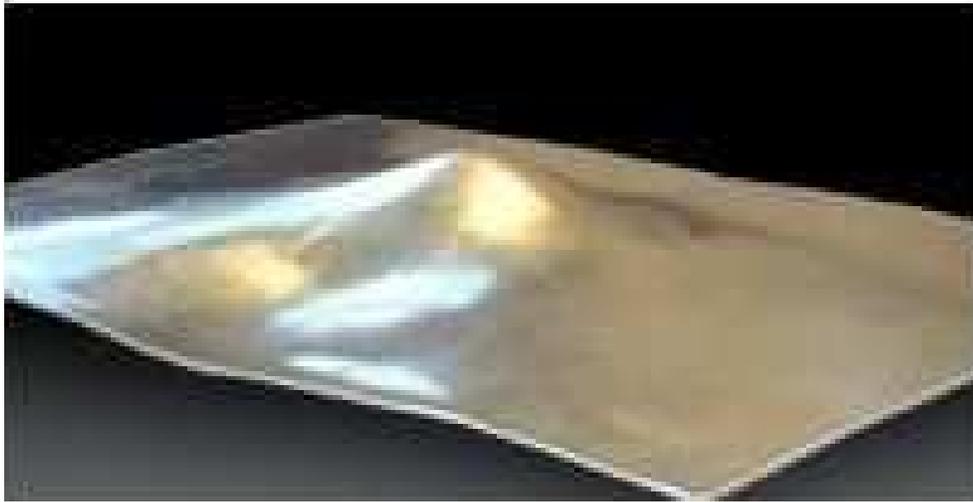


Figura 4.15 Forma curva complicada Modelo que se hizo a escala en 2x3 metros.

4.4.2 OPERACIONES SIN CONTACTO

La formación con explosivos es una técnica de fabricación que se utiliza para obligar a que las explosiones den forma al metal en los moldes y matrices. Los explosivos típicamente se hacen detonar bajo el agua para lograr una distribución uniforme de esfuerzos, haciendo que este proceso sea empleado en piezas difíciles de fabricar.

El formado por explosión involucra el uso de una carga explosiva para formar una lámina o placa de metal dentro de la cavidad de un molde. El método del proceso se ilustra en la figura 4.16.

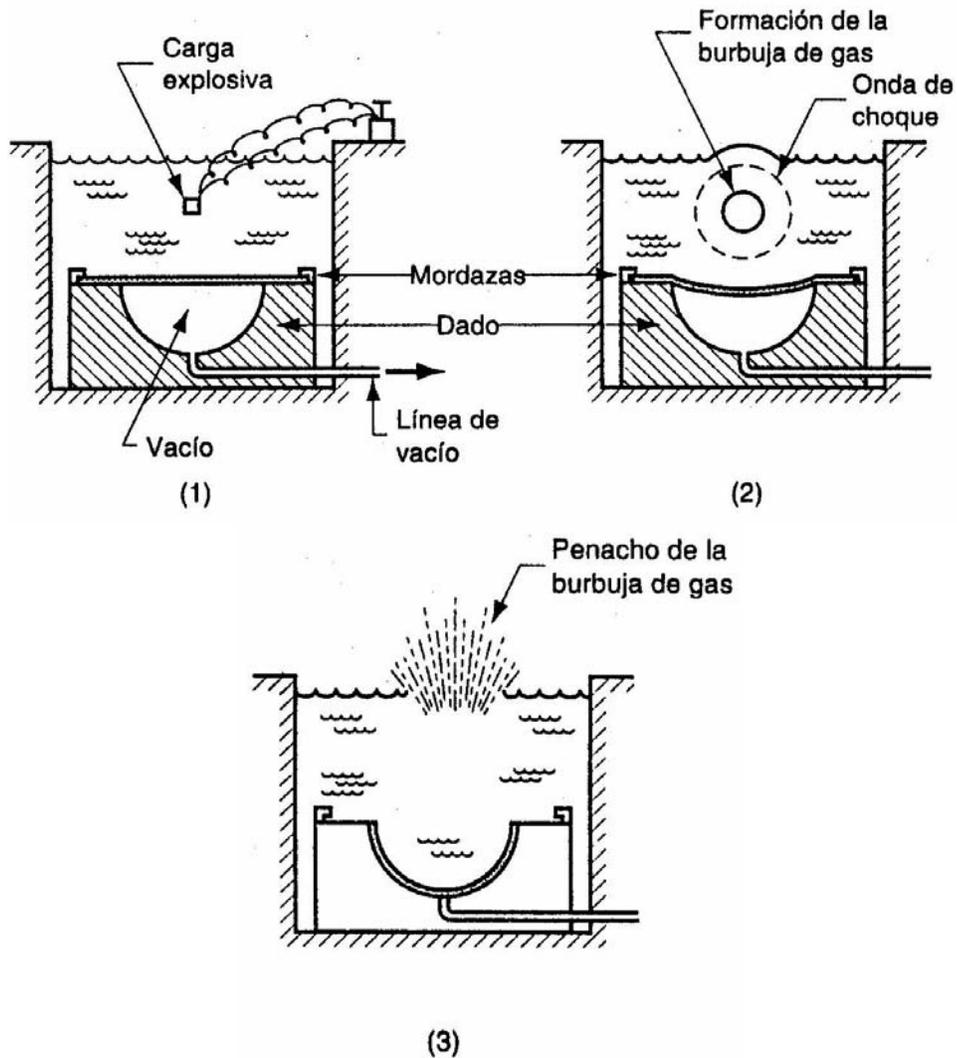


Figura 4.16. Formado por explosión:

(1) Disposición, (2) detonación del explosivo, (3) la onda de choque forma la parte y el penacho escapa de la superficie del agua

La parte de trabajo se fija y se sella sobre el molde, practicando el vacío en la cavidad. El aparato se coloca entonces en un recipiente grande de agua. Se coloca una carga explosiva en el agua a cierta distancia sobre el área de trabajo. La detonación de la carga produce una onda de choque cuya energía se trasmite a través del agua, causando la deformación rápida de la parte dentro de la cavidad del molde. El tamaño de la carga explosiva y la distancia a la que debe colocarse sobre la parte, es más bien materia de arte y experiencia. El formado con explosivos se reserva para partes grandes y complicadas, típicas de la industria aeroespacial véase figura 4.17.



Figura 4.17 Mezclador

Modelo de un mezclador de gases de escape que se hizo en el diámetro de 1 metro. La mesa de mezclas se forma una sola pieza.

El formado con explosivo es un proceso de manufactura en que la carga aplicada es un explosivo en lugar de un punzón o una prensa. Este proceso puede ser utilizado en donde la instalación de una prensa sería complicada por el exceso de dimensiones o el proceso requiere de alta presión, teniendo la ventaja de que es generalmente mucho más barato el formado con explosivo que construir una prensa suficientemente grande y de alta presión para lograr un producto como el mostrado en la figura 4.18. Este proceso requiere gran tiempo de configuración entre pieza y pieza teniendo como resultado la producción de pequeños lotes ya que se obtiene un producto a la vez.

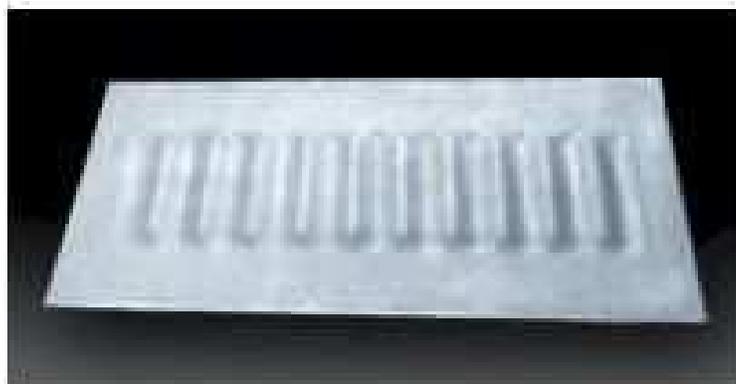


Figura 4.18 Pieza plana con pequeñas curvas

En formas complicadas con este tipo de moldes se obtienen las piezas en una sola operación (figura 4.19) a diferencia de cualquier otro proceso de formado en donde se requerirían muchos pasos de fabricación para la obtención del mismo producto o teniendo que ser fabricado en diferentes piezas y posteriormente soldarlas entre sí, con lo consiguiente, pérdida de fuerza en las soldaduras por la concentración de esfuerzos.

Las herramientas o moldes pueden ser hechas de fibra de vidrio para piezas donde se requiera baja presión, concreto para las piezas grandes que requieran presiones medias o en hierro dúctil para un trabajo de alta presión. Idealmente las herramientas deben tener mayor resistencia a la fluencia que el material que se está formando.

El formado por explosión resulta especialmente útil en piezas que presentan alta resistencia a la deformación como por ejemplo en partes onduladas.



Figura 4.19 Recipiente de acero inoxidable formado con explosivo en una sola operación

El uso más viable de explosivos para la fabricación de piezas, es poner el explosivo en contacto directo con el metal que se desea deformar.

4.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL FORMADO CON EXPLOSIVO

Ventajas

- El rango de presión a lo largo de este espectro se puede ejecutar desde varios miles a varios millones de libras/pulg² (psi).
- La mayoría de las operaciones se realizan en el rango de microsegundos a milisegundos.
- Se puede configurar la deformación del Material variando la distancia entre el explosivo y éste.
- Las presiones ejercidas sobre una pieza se pueden controlar con tan solo regular la cantidad del explosivo.
- Pueden producirse componentes de gran tamaño con poca cantidad de explosivo.
- Los detalles de la transmisión de explosivos al metal son mas uniformes a las encontradas en las operaciones de fabricación convencionales.

Desventajas

- Se tiene grandes diferencias en los patrones de comportamiento del material
- Las propiedades del material y su comportamiento pueden variar considerablemente, dependiendo de la distancia de la carga del metal.
- El exceso de explosivo pueden llevar a un comportamiento del material imprevisto y puede contribuir a la fractura y el fracaso.
- A mayor distancia entre el explosivo y la pieza de trabajo existe mayor cantidad de fluido provocando que la energía de la onda de choque que se transfiere al metal sea normalmente más baja que en las operaciones de contacto.
- Al trabajar los metales mediante intensas perturbaciones transitorias de esfuerzos, sus características plásticas se alteran.
- Otros factores, como el tipo de explosivo, la forma de explosivo, afecta a la presión.

CAPITULO 5.

DISEÑO DEL MOLDE

El objetivo de este proceso es poner en marcha una estrategia de manufactura para la fabricación de un mejor producto, en el se sustituyen factores relacionados con la máquina, los moldes, el material, la producción y características geométricas de la pieza que en este caso es un cenicero (figura 5.1)

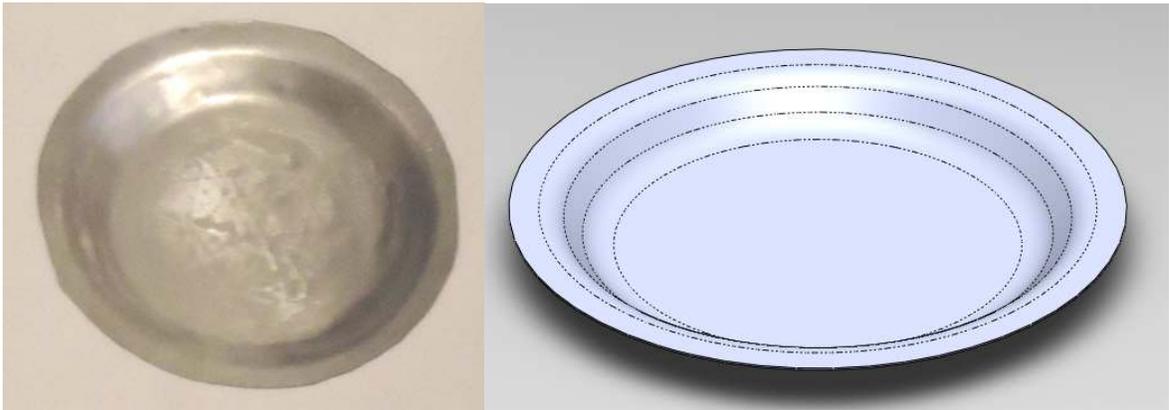


Figura 5.1 Cenicero formado con explosivo por contacto

Este sistema es una labor minuciosa donde no hay opción para la improvisación, ya que es un proceso que consta de diferentes etapas que van desde el diseño del herramental a la configuración del explosivo, construcción y puesta a punto del propio molde, todas ellas implican precisión y seguridad.

Para poder obtener la forma del cenicero inicialmente se diseñó y fabricó un prototipo, el cual consistió en 2 placas de $\frac{3}{4}$ de pulgada de espesor con los maquinados correspondientes a la ilustración figura 5.2.

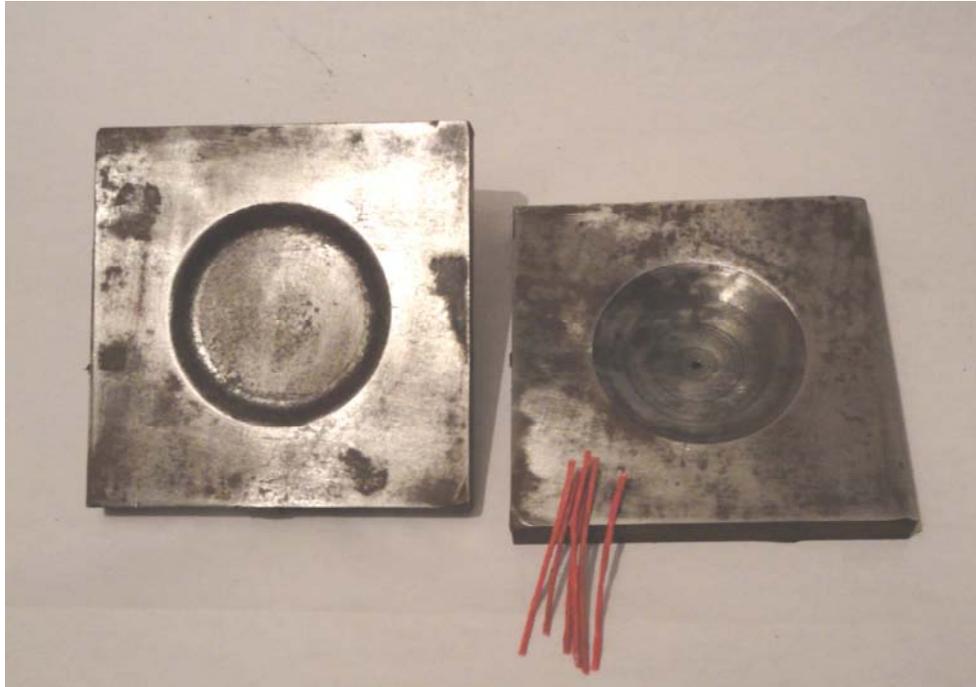


Figura 5.2 Prototipo de molde para formado con explosivo

Mediante este prototipo se confirmó que la lámina realmente adoptó la forma de la cavidad y asimismo se establecieron bien los parámetros del molde conforme a la cantidad de explosivo necesario para crear el cenicero (figura 5.3). Posteriormente se rediseñó el molde con los parámetros que arrojó el prototipo para obtener el producto mostrado en la figura 5.1.

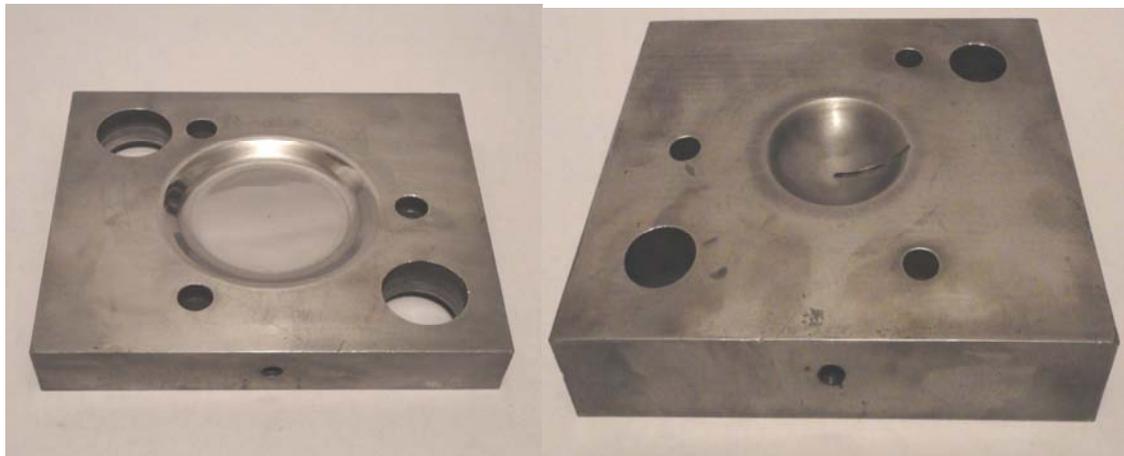


Figura 5.3 Placas de molde para formado con explosivo

El material que se introduce al molde (véase figura 5.4) es una lámina de aluminio que se corta previamente en círculos de 110 mm de diámetro y es de calibre 27 (0.42 mm).



Figura 5.4 Material para suministro de molde

El molde, está constituido por 3 principales secciones:

- 1.- Parte móvil
- 2.- Parte fija
- 3.- Explosivo

5.1 PARTE MÓVIL DEL MOLDE

Es llamada así porque es la parte encargada de desplazarse al momento de la detonación y además es la que se retira para la alimentación de material (figura 5.5).

Además se encarga de absorber el impacto excedente de la detonación y en esta parte del molde también está ubicada la geometría del cenicero, que es el producto final.

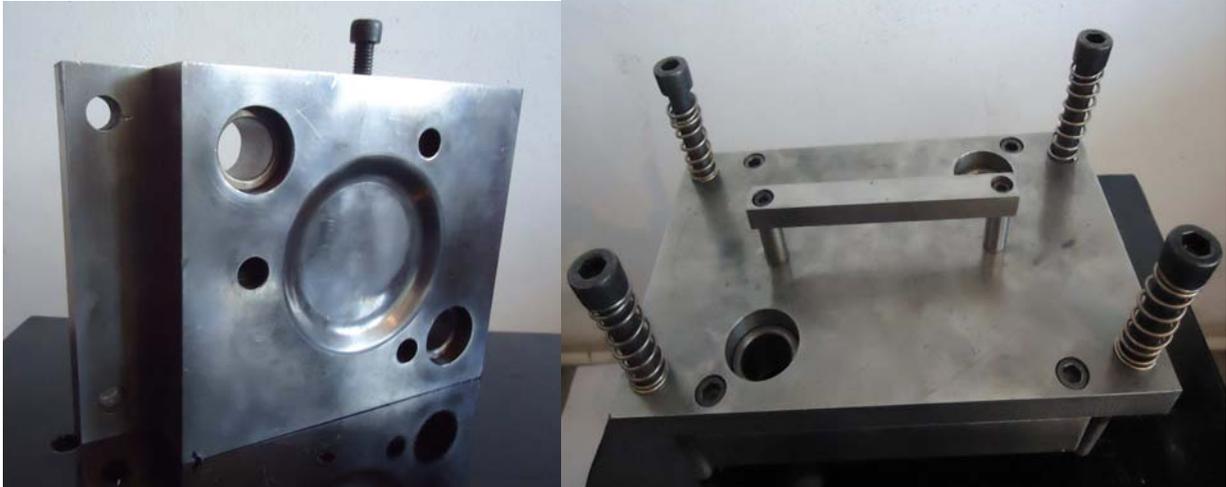


Figura 5.5 Parte móvil del molde

La parte móvil del molde está formada por los siguientes elementos:

- a) Placa de Cavidad
- b) Sufridera superior
- c) Sistema de retorno
- d) Manija de Apertura

5.1.1 PLACA DE CAVIDAD

Esta placa contiene la forma que adopta la lámina, la cual está pulida a acabado espejo, este acabado se obtiene puliendo la cavidad con piedras abrasivas y posteriormente aplicando pasta de diamante. (Véase figura 5.6). En la cavidad se le añade un lubricante con la finalidad de reducir la fricción entre la placa y la lámina, para que esta pueda adoptar lo mejor posible la forma de la cavidad. Esta placa tiene un espesor de 1 1/4 para evitar deformaciones.



Figura 5.6 Placa de cavidad acabado espejo

En esta figura se pueden observar los alojamientos para la localización de los bujes, los cuales tienen un ajuste para controlar la medida y su funcionamiento, así mismo los barrenos ciegos tienen la finalidad de alojar a los centradores para evitar el contacto con la placa de cavidad y asegurar un buen cierre del molde actuando como planchador.

5.1.2 SUFRIDERA SUPERIOR

La función de esta placa es alojar la tornillería para la fijación de la placa de cavidad, anclar la manija y guiar el sistema de retorno, para que al momento de absorber el impacto de la detonación por medio de los resortes estas guías no se deformen (figura 5.7).



Figura 5.7 Sufridera superior

5.1.3 SISTEMA DE RETORNO

Este sistema lo componen cuatro resortes y cuatro tornillos guía (ver figura 5.8) los cuales se encargan de mantener fija la lámina, eliminando la separación entre la lámina y las placas, logrando así un sello que nos garantiza una optima detonación. Después de la detonación el sistema de retorno mantiene retraídas las placas durante un instante logrando liberar los gases provenientes de la explosión.



Figura 5.8 Sistema de retorno para molde

5.1.4 MANIJA DE APERTURA

Este dispositivo ayuda al cierre y apertura del molde de forma manual ayudando a ejercer una fuerza uniforme, haciendo que el molde cierre uniformemente para que su descenso sea fácil. Con esta manija también podemos montar el conjunto sobre la mesa de soporte, que es donde finalmente se llevara a cabo la producción (figura 5.9).



Figura 5.9 Manija de apertura

5.2 PARTE FIJA

La parte fija del molde está firmemente unida a la mesa de soporte por medio de la placa de sujeción e impide que el ensamble se mueva y sufra algún daño al momento de la detonación, en esta parte del molde se encuentran el alojamiento para el explosivo, postes y centradores figura (5.10).



Figura 5.10 Parte fija del molde

La parte fija está formada de los siguientes elementos:

- a) Placa de alojamiento del explosivo
- b) Placa de fijación
- c) Postes y bujes
- d) Centradores
- e) Cáncamo y Seguro
- f) Mesa de soporte

5.2.1 PLACA DE ALOJAMIENTO DEL EXPLOSIVO

Esta placa es la encargada de portar el explosivo y es más robusta que la placa superior con la finalidad de soportar el impacto, ya que es la primera placa que es sometida al esfuerzo de la detonación y no cuenta con algún sistema para disipar la energía excedente.

Esta placa de igual manera que la placa de cavidad se sujeta con tornillos cabeza cilíndrica para llave allen a la placa de fijación (figura 5.11). Esta placa también contiene los postes, los centradores y el barreno para el seguro de carga, que es donde posteriormente se montará el cáncamo.



Figura 5.11 Placa de alojamiento del explosivo

5.2.2 PLACA DE FIJACIÓN

Sirve para sujetar la parte fija del molde a la mesa de soporte mediante sujeción directa donde se colocan dos tornillos de $\frac{1}{2}$ dentro de las ranuras en los extremos de la placa (véase figura 5.12), anclándolos a unas tuercas colocadas en la parte inferior de la placa de la mesa. Aquí mismo se encuentran las roscas para alojar los tonillos guía y en el centro se encuentra un barreno para el paso del cable del explosivo.



Figura 5.12 Placa de fijación

5.2.3 POSTES Y BUJES GUIA

El guiado de las placas es una faceta importante para lograr un desplazamiento con precisión, asegurando un perfecto acoplamiento entre la parte móvil y la parte fija, por consecuente ambas partes del molde deben tener un sistema guía.

La parte superior aloja los bujes (véase figura 5.13 ilustración derecha) los cuales se deslizan por los postes con un ajuste deslizante, el cual lo determina el fabricante en base a su aplicación, esto es para evitar cualquier juego que afecte en la precisión del producto final.

Los postes localizados en la parte fija (véase figura 5.13 ilustración izquierda), deben tener ajuste para evitar se muevan y se introducen con una prensa hidráulica para evitar dañarlos o deformarlos. Este conjunto debe estar cementado con una pequeña diferencia de dureza entre ellos para que uno de los dos sea de sacrificio (48-50 Rc con una profundidad de 0.025") y debe ser lubricado para evitar el desgaste prematuro causado por la fricción.



Figura 5.13 Postes y bujes respectivamente para molde de formado con explosivo

5.2.4 CENTRADORES

El centrador como su nombre lo indica sirve para centrar fácilmente el material suministrado en el molde (figura 5.14). Son redondos con un ángulo en la parte superior para ayudar a que la lámina descienda, estos centradores sobresalen de la placa de alojamiento del explosivo, lo que sobresale de esta placa entra en un desahogo en la placa de la cavidad para no afectar al cierre del molde. Así una vez centrada la pieza el molde se cierra para poder llevar a la práctica la detonación.



Figura 5.14 Centradores con chaflán en la parte superior

5.2.5 CÁNCAMO Y SEGURO

Son elementos que facilitan el transporte del molde (figura 5.15), En la parte frontal de cada una de las placas centrales se cuenta con un barreno roscado, el cual sirve para fijar el seguro además evita la apertura del molde durante su traslado. El seguro tiene un orificio central, el cual es usado para colocar el cáncamo, donde se coloca un gancho para poder trasladarlo mediante un mecanismo de transporte.



Figura 5.15 Cáncamo y seguro de carga

5.2.6 MESA DE SOPORTE

Esta mesa tiene como principal función darle estabilidad al molde y una altura adecuada para la operación y supervisión del proceso ya que se ancla al suelo mediante pijas en cada una de las cuatro patas para evitar algún percance haciendo que el dispositivo sea seguro (figura 5.16).



Figura 5.16 Mesa de soporte para Molde

Ya que conocemos y sabemos el funcionamiento de cada una de las piezas que conforman al molde se procede a realizar el ensamble del mismo quedando de la siguiente forma (véase figura 5.17)



Figura 5.17 Ensamble del molde

5.3 EXPLOSIVO

La pólvora es una mezcla con poca estabilidad química, razón por la cual puede transformarse abruptamente en gases, al tiempo que produce altas presiones en breve tiempo dándonos como resultado una energía mecánica ocupada para darle forma a la lamina, empleando así en un nuevo proceso llamado formado con explosivo (figura 5.18).



Figura 5.18 Pólvora extraída de explosivos convencionales

El explosivo empleado en este proceso está conformado por un chapetón con una tapa de aluminio (véase figura 5.19), un cerillo de encendido electrónico y pólvora negra como fuente de energía.



Figura 5.19 Chapetones y tapas de aluminio

El dispositivo se arma de una manera cuidadosa para evitar detonar la pólvora antes de terminar el ensamble del explosivo, quedando finalmente como se muestra en la figura 5.20.



Figura 5.20 Ensamble de explosivo

Una vez ya armado el explosivo se monta sobre el molde guiándolo por la ranura para que el cable no quede prensado, después de la detonación quedando alineado con la cara superior de la placa de alojamiento del explosivo para que pueda cerrar completamente como se muestra en la figura 5.21.

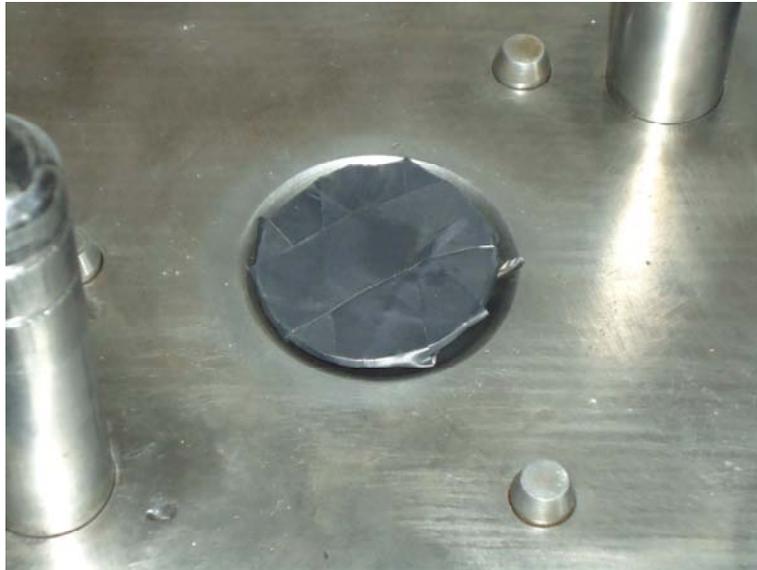


Figura 5.21 Forma de ensamblar el explosivo en la placa portadora de explosivo

5.3.1 CONTROL ELECTRÓNICO

Con este dispositivo electrónico (figura 5.22) se puede detonar el explosivo a distancia, ya que se le conecta un cable para mandar un pulso de corriente eléctrica desde una distancia segura para el operador (aproximadamente 5 metros) que activa el cerillo que genera la chispa para la combustión (figura 5.23).



Figura 5.22 Control electrónico para la detonación del explosivo



Figura 5.23 Conjunto para detonación a distancia

5.4 PLANOS DEL MOLDE

Utilizando el programa SolidWorks V. 2011 se realizaron tanto los dibujos de conjunto que se muestran en las figuras 5.24, 5.25 y 5.26, así como los dibujos de detalle que se presentan en las figuras 5.28, 5.29, 5.30....

Figura 5.24 Dibujo de conjunto

Figura 5.25 Dibujo de conjunto

Figura 5.26 Dibujo de conjunto

Figura 5.27 Producto

Figura 5.28 Placa de Cavidad

Figura 5.29 Sufridera Superior

Figura 5.30 Manija

Figura 5.31 Buje para manija

Figura 5.32 Placa de alojamiento
del explosivo

Figura 5.33 Placa de fijación

Figura 5.34 Perno guía

Figura 5.35 Buje guía

Figura 5.36 Centraores

Figura 5.37 Seguro de Carga

Figura 5.38 Cáncamo

Figura 5.39 Protector de Placas

Figura 5.40 Mesa de soporte

Figura 5.41 Tag de datos

Figura 5.42 Explosivo y partes

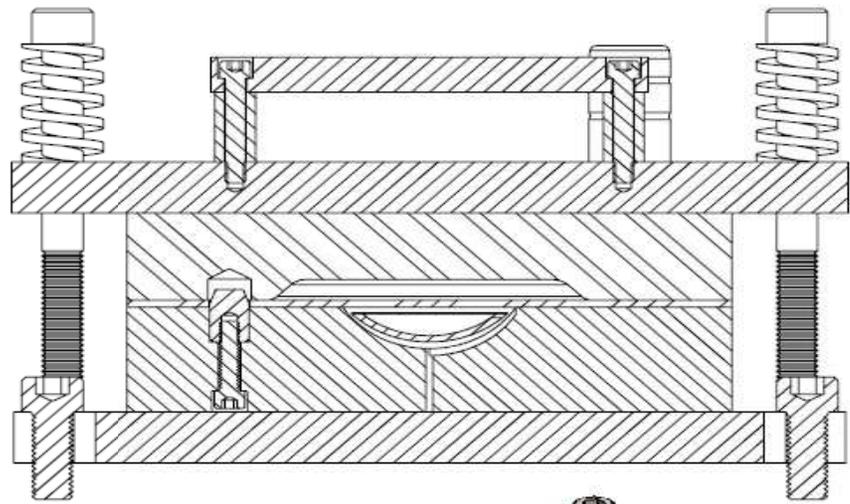
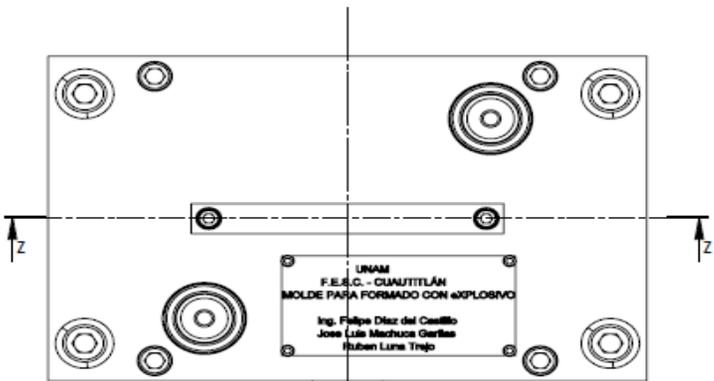
Figura 5.43 Cerillo

Figura 5.44 Control Electronico

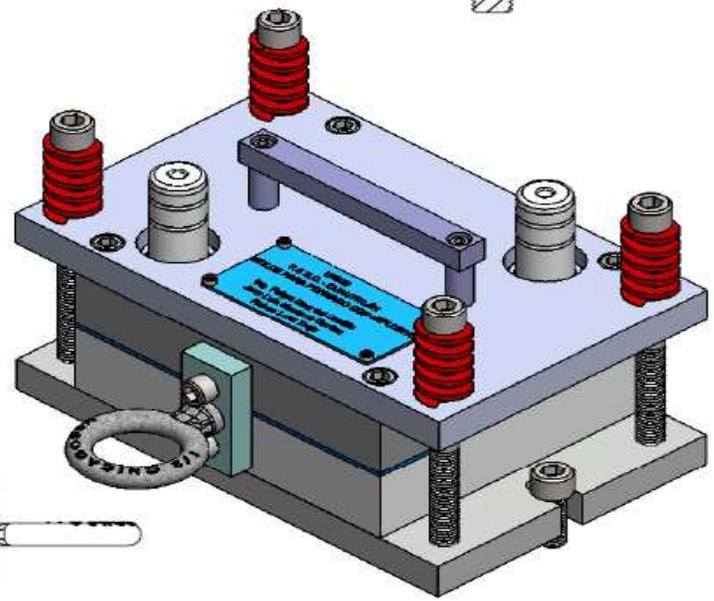
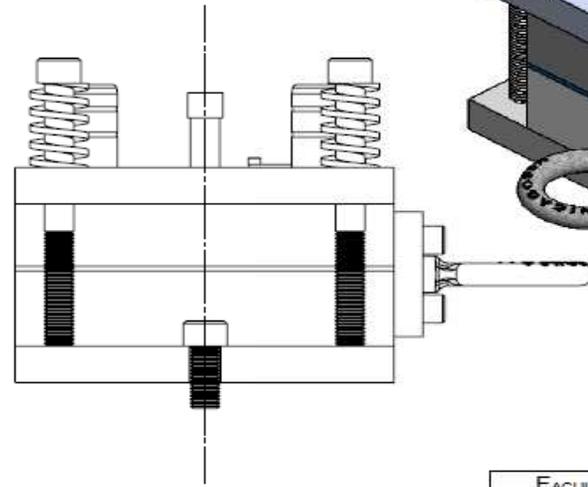
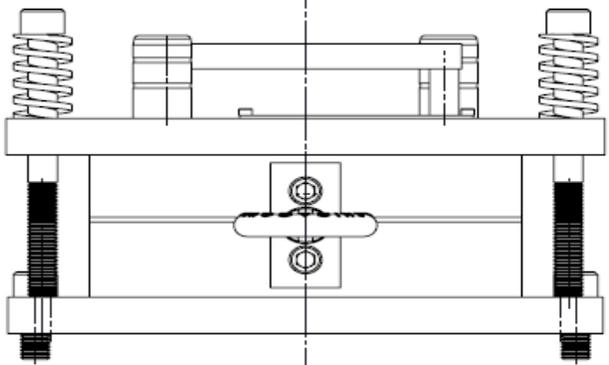


Figura 5.45 Dibujo de conjunto SolidWorks

TOLNO ESP:
 0.0 ± 0.030
 0.00 ± 0.010
 0.000 ± 0.005
 0.0000 ± 0.0005
 FRACCIONAL ± 1/64
 ANGULAR ± 30' 30"



SECCIÓN Z-Z
 ESCALA 1 : 1.25

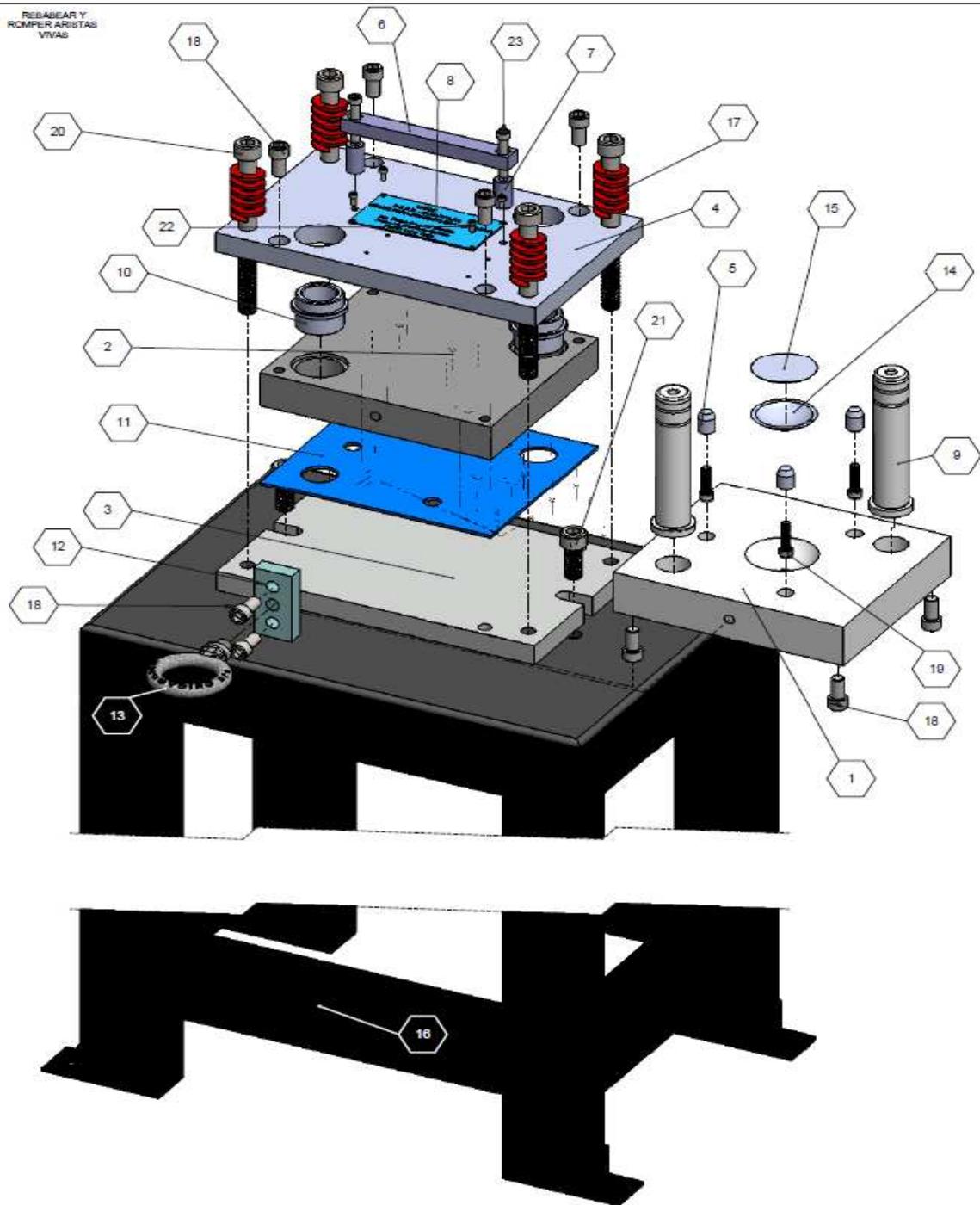


FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN			I.M.E.
Elaboró: José Luis Machuca Garfias		Revisó: Felipe Díaz del Castillo	Escala: 1:1.25
Rubén Luna Trejo			
Material: NA	T. Térmico: Sin Tratamiento	Acol: Pulg.	Mayo 2010
Título: Dibujo de conjunto		Figura 5.25	



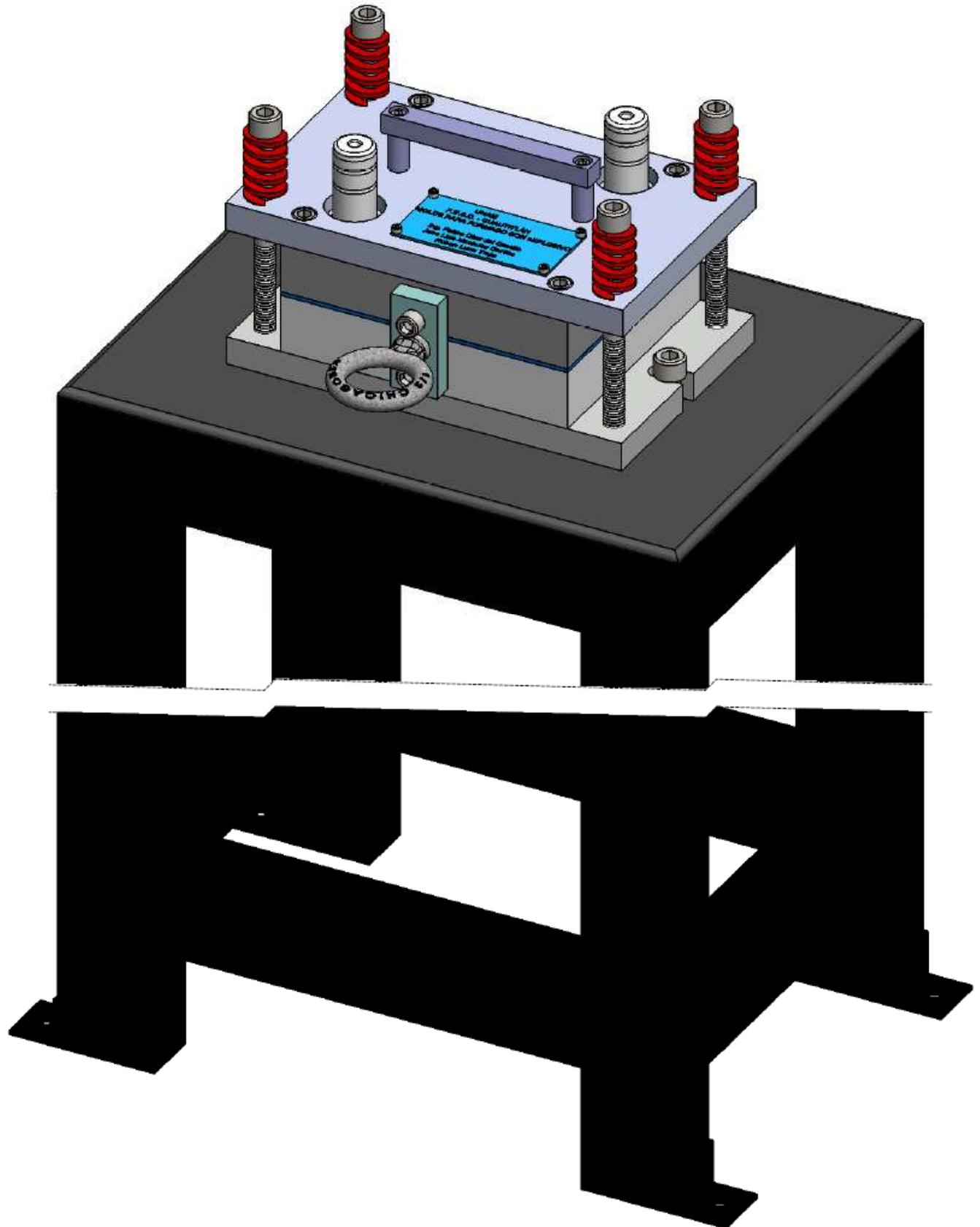
REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

TOL. NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL = 1/64
ANGULAR ±0°30'



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Placa de Alojamiento del Explosivo	Mat. 4140T	1
2	Placa de Cavidad	Mat. 4140T	1
3	Placa de Fijacion	Mat. 1018	1
4	Sufridera Superior	Mat. 1018	1
5	Centrador	Mat. O1	3
6	Manija de Carga	Mat. 4140T	1
7	Buje de Manija	Mat. 4140T	2
8	Tag de Datos	Mat. Aluminio	1
9	Poste	Mat. 1018 Cementado	2
10	Buje	Mat. 1018 cementado	2
11	Protector de Placas	Mat. Acrílico	1
12	Seguro	Mat. 4140T	1
13	Cáncamo	Mat. Fierro Colado	1
14	Capuchón	Mat. 1018	1
15	Tapa Explosivo	Mat. Aluminio	1
16	Mesa de Soporte	Mat. Perfil PTR 1.5"×2.5"	1
17	resorte	CPACSA dia1"-int 0.5", 2" long	4
18	HX-SHCS 0.375-24x0.75x0.75-N	Tomillo Cab. cil 3/8NC*1.0"long	10
19	HX-SHCS 0.25-20x1.625x1.125-N	Tomillo Cab. cil 1/4NC*1.0"long	3
20	SHCS 0.5-13x3x3-S	Tomillo Cab. cil 1/2NC*6"long	4
21	SHCS 0.5-13x3x3-S	Tomillo Cab. cil 1/2NC*1.75"long	2
22	HX-SHCS 0.138-32x0.3125x0.3125-N	Tomillo Cab. cil 1/8NC*0.75"long	4

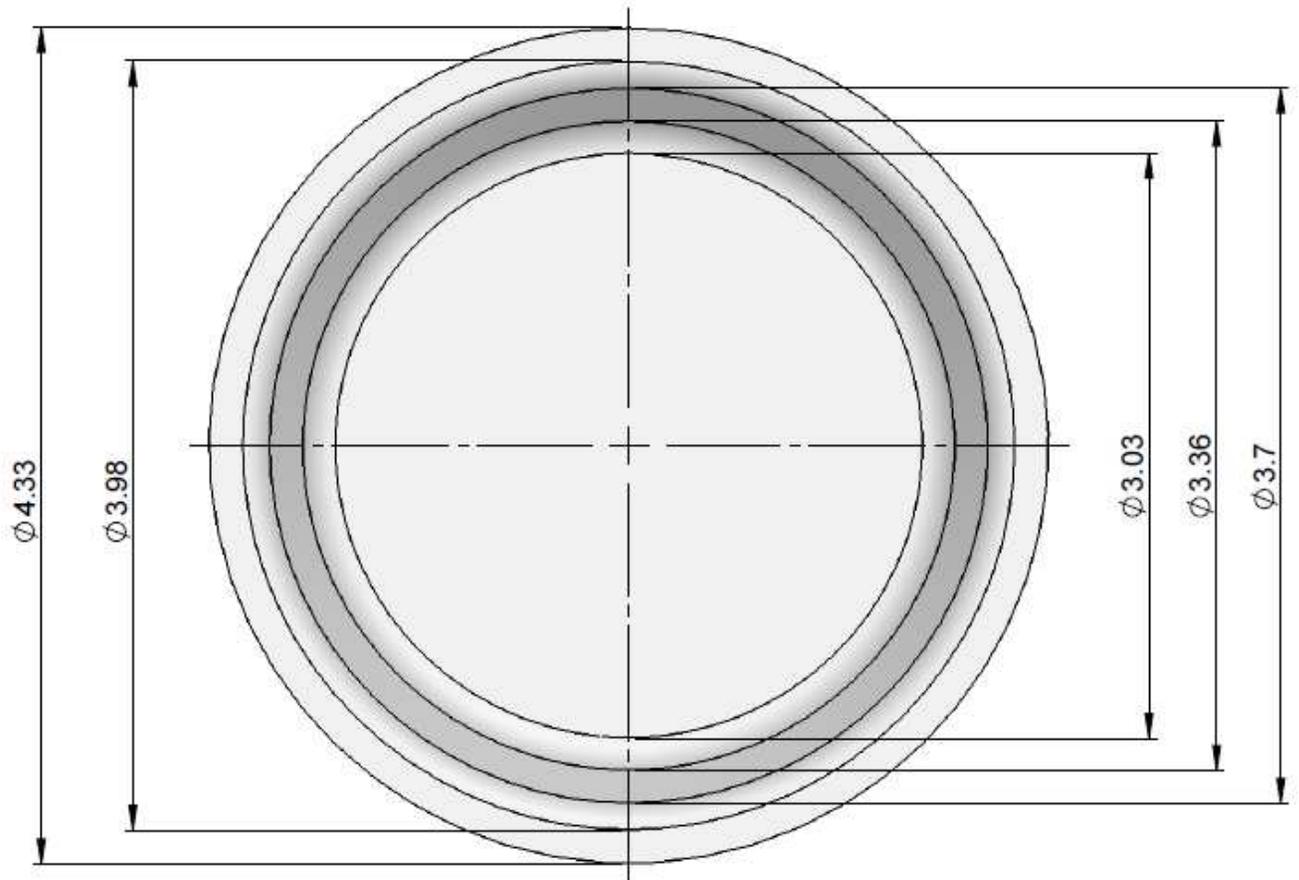
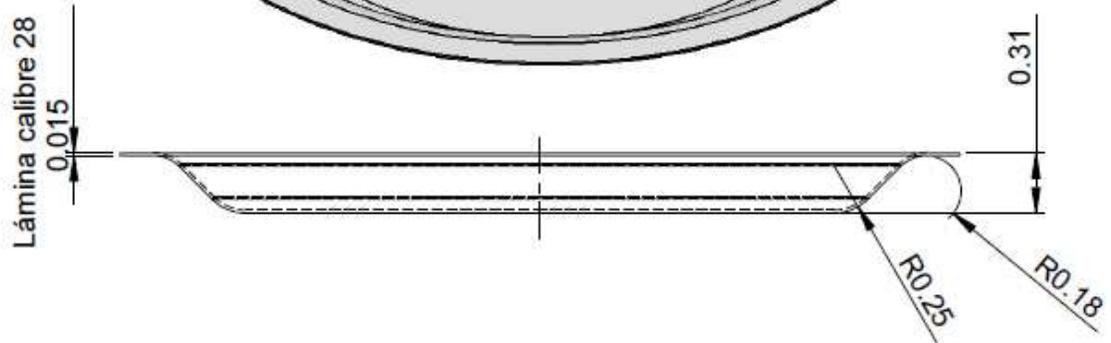
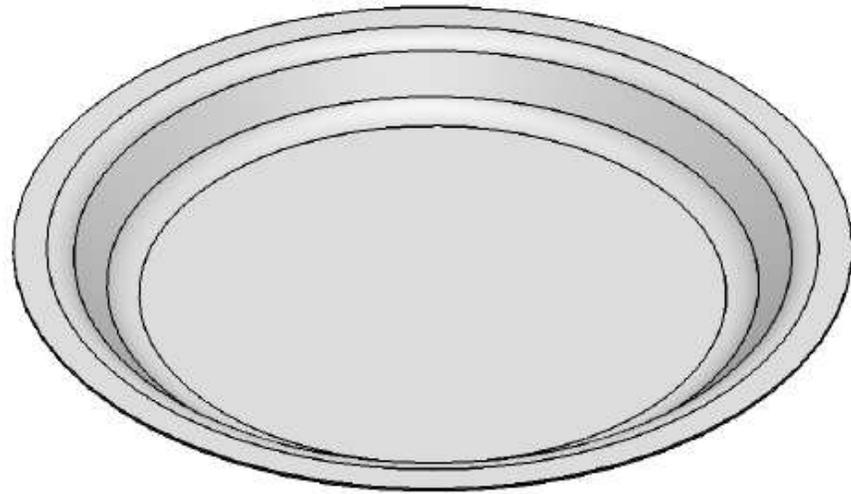
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN			I.M.E.	
Elaboro: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo	Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 1:10	
Materia: NA	T. Termico: Sin Tratamiento	Acol.: Puig.	Mayo 2010	
Titulo Dibujo de conjunto		Figura 5.26		



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN			I.M.E.	
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo	Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 1:1.6	
Materia: NA	T. Termico: Sin Tratamiento	Acot.: Pulg.	Mayo 2010	
Titulo Dibujo de conjunto		Figura 5.27		

REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

I.M.E.

Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias
Rubén Luna Trejo

Revisó: Felipe Diaz del Castillo

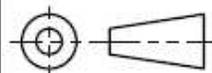
Escala 1:1

Mat: Aluminio cal 28

T. Termico: Sin Tratamiento

Acot.: Pulg.

Mayo 2011



U. N. A. M.
CUAUTITLAN

Titulo

Producto

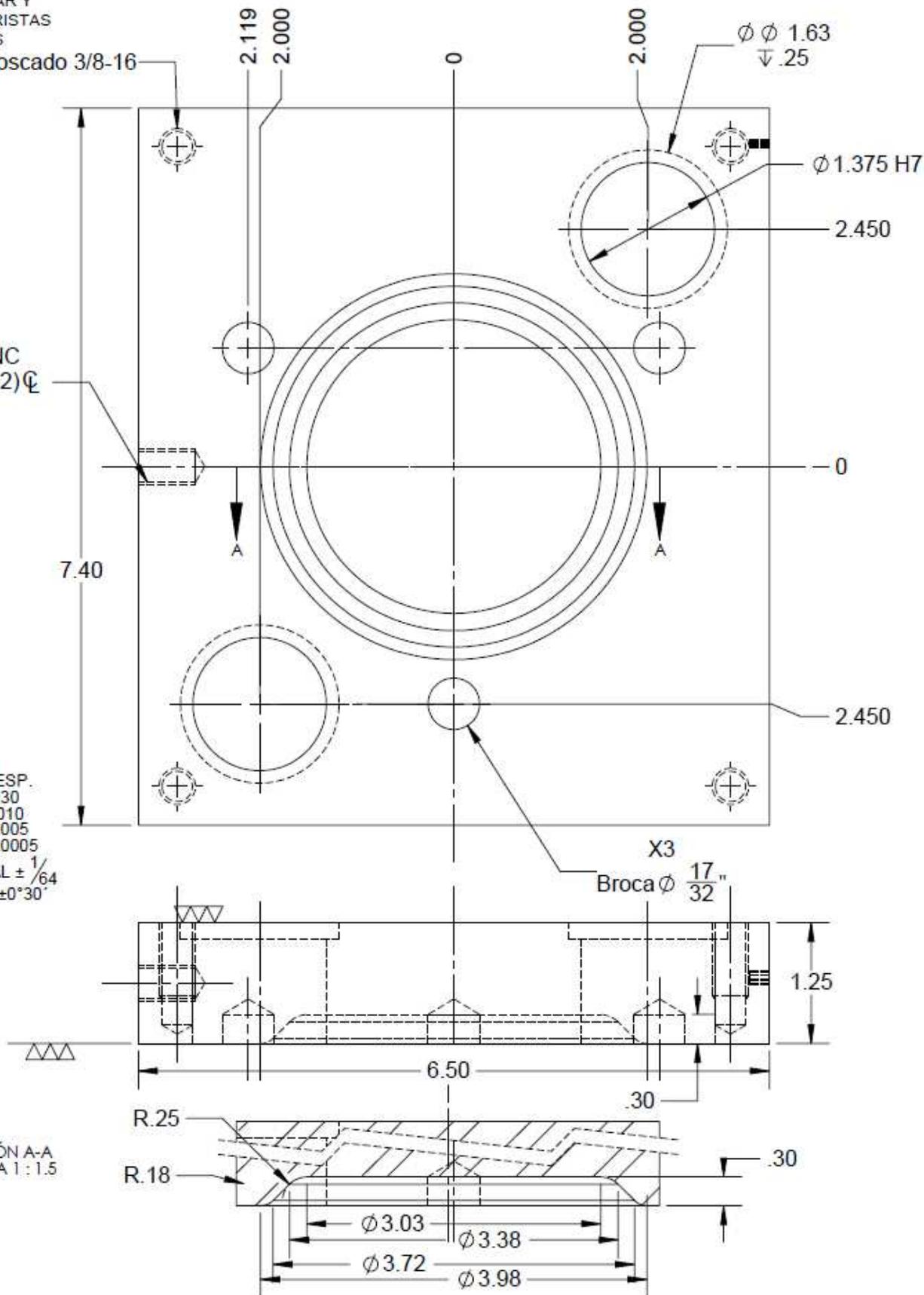
Figura 5.28

REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

Taladro roscado 3/8-16

$\phi 3/8$ UNC
(Broca 11/32) $\nabla 0.5$

TOL. NO ESP.
0.0 ± 0.030
0.00 ± 0.010
0.000 ± 0.005
0.0000 ± 0.0005
FRACCIONAL $\pm \frac{1}{64}$
ANGULAR $\pm 0^{\circ}30'$



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

I.M.E.

Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias
Rubén Luna Trejo

Revisó: Felipe Diaz del Castillo

Escala: 2:3

Material: 4140T

T. Termico: Sin Tratamiento

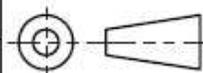
Acot.: Pulg.

Mayo 2011

Titulo

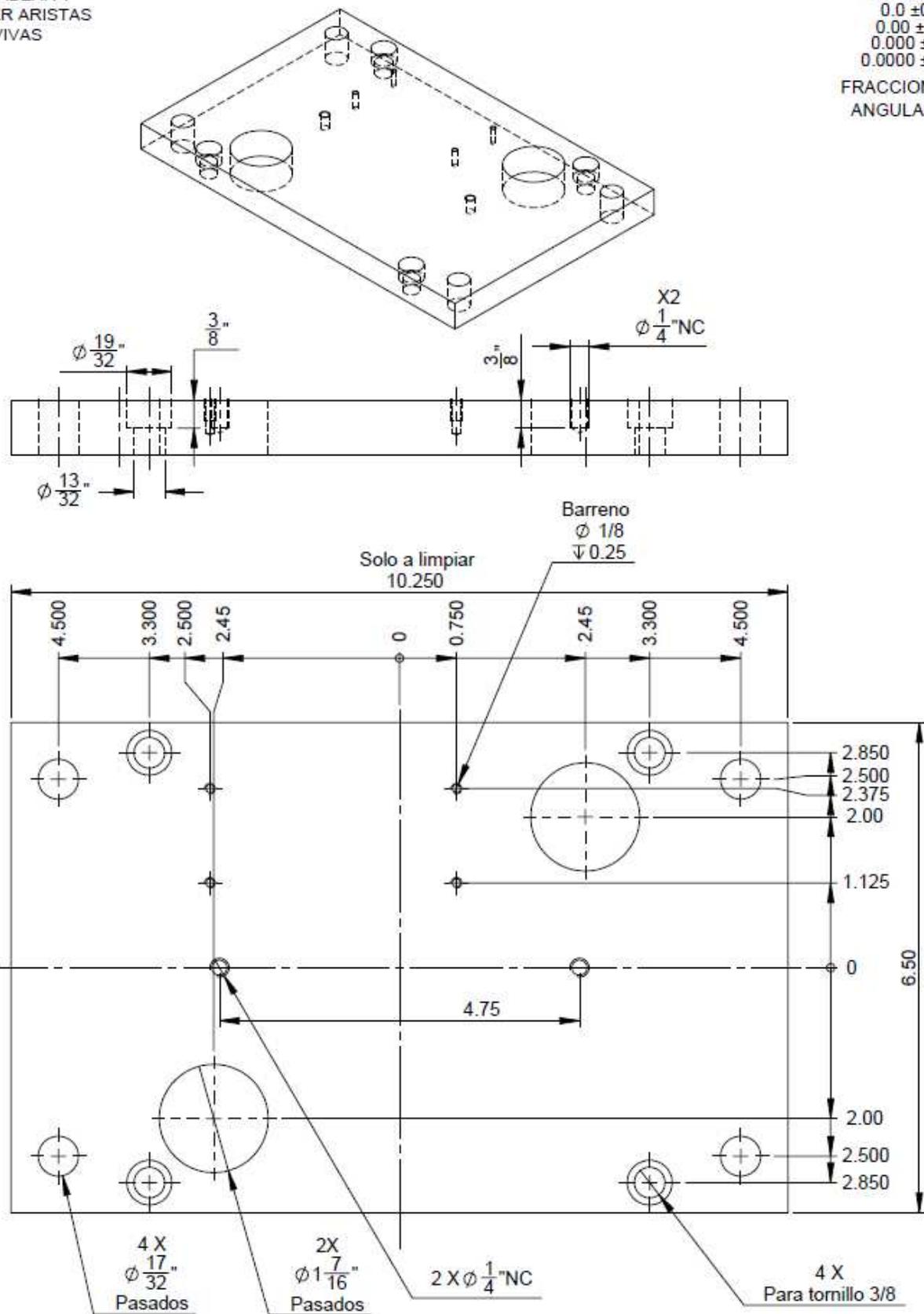
Placa de cavidad

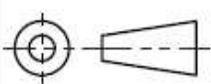
Figura 5.29



REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

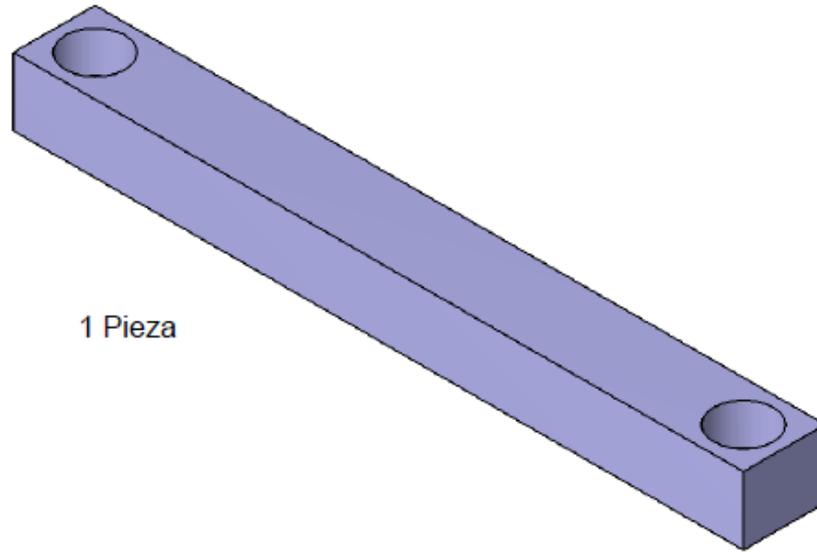
TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'



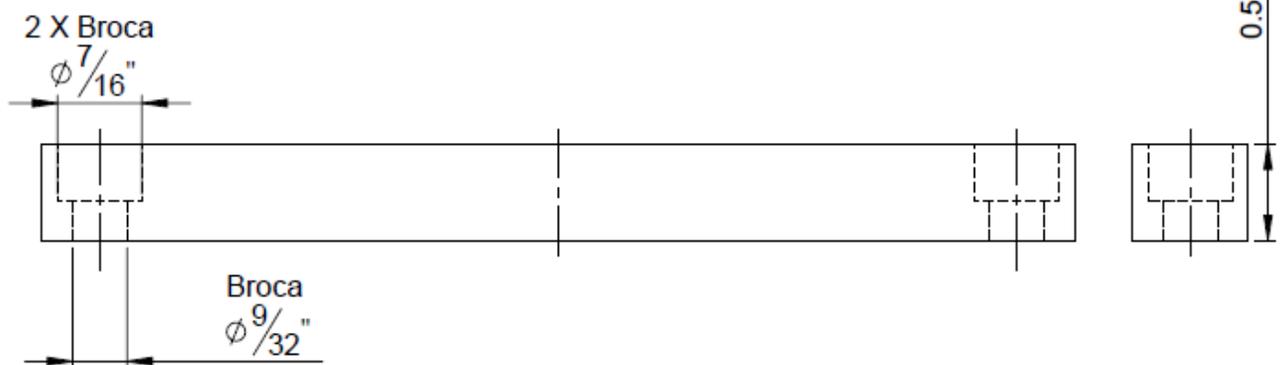
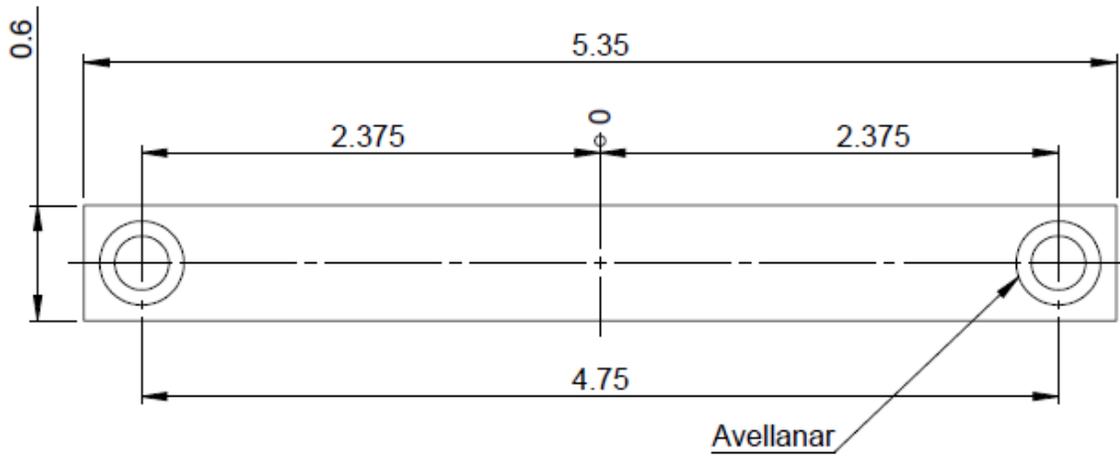
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				I.M.E.	 U. N. A. M. CUAUTITLAN
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo		Revisó: Felipe Díaz del Castillo		Escala: 1:5	
Material: 1018	T. Termico: Sin Tratamiento	Acot.: Pulg.	Mayo 2011		
Titulo Sufridera Superior		Figura 5.30			

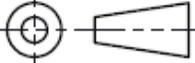
REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'



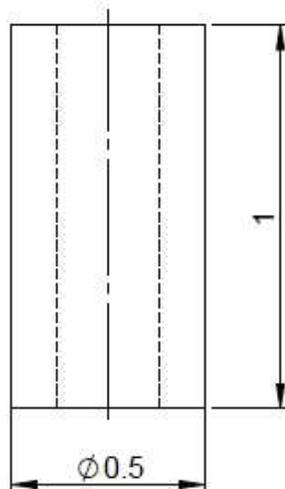
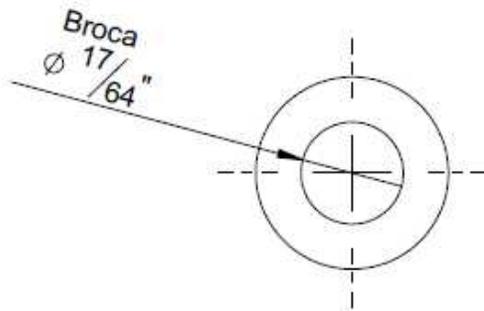
1 Pieza



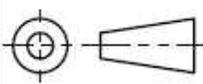
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				I.M.E.	 U. N. A. M. CUAUTITLAN
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo		Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 1:2	
Material: 4140T	T. Termico: Sin Tratamiento	Acot.: Pulg.	Mayo 2011		
Titulo Manija		Figura 5.31			

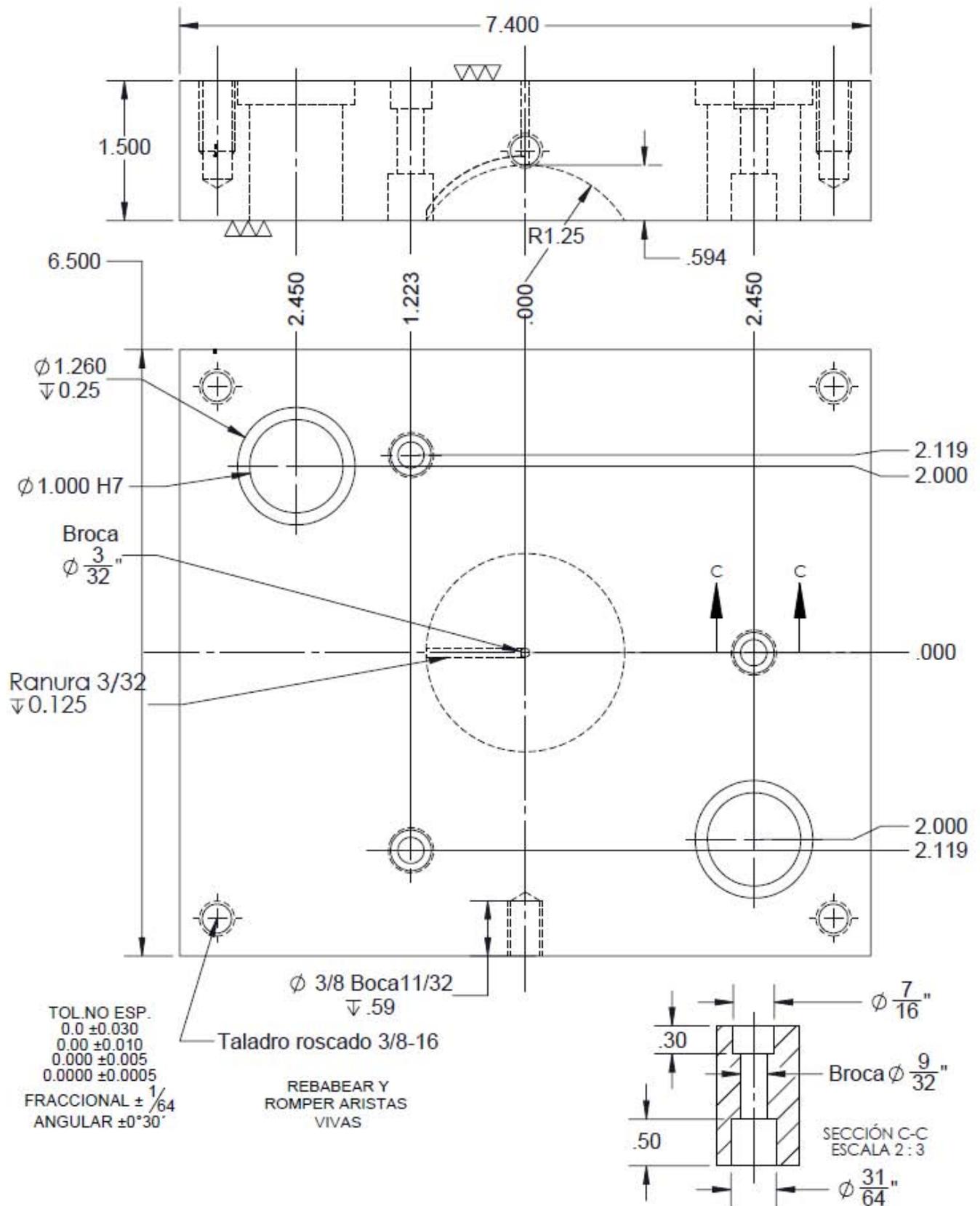
REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

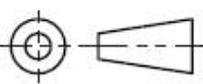
TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'



2 Piezas

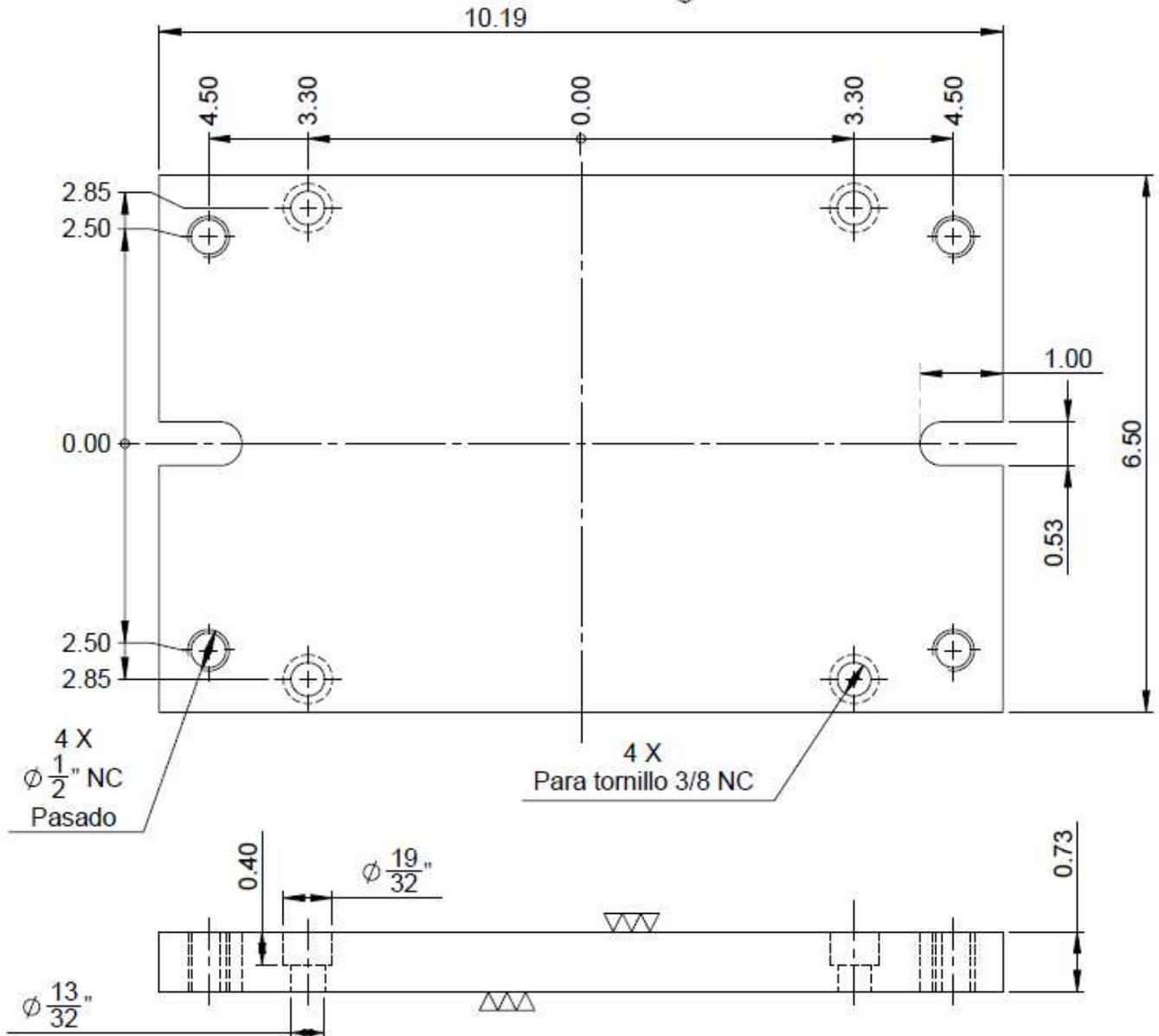
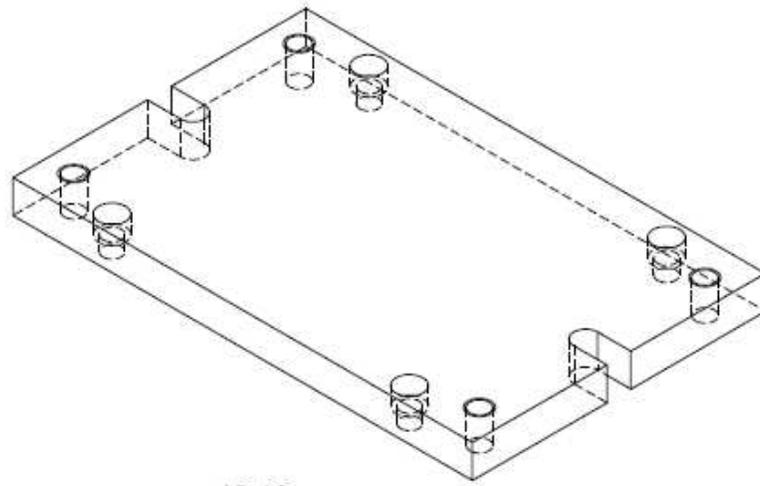
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				I.M.E.	 U. N. A. M. CUAUTITLAN
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo		Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 2:1	
Material: 1018	T. Termico: Sin Tratamiento	Acot.: Pulg.	Mayo 2011		
Titulo	Buje para Manija	Figura 5.32			



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				I.M.E.	 U. N. A. M. CUAUTITLAN
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo		Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 2:3	
Material: 4140T	T. Termico: Sin Tratamiento	Acot.: Pulg.	Mayo 2011		
Placa de alojamiento del explosivo		Figura 5.33			

REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

I.M.E.

Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias
Rubén Luna Trejo

Revisó: Felipe Díaz del Castillo

Escala 1:2

Material: 1018

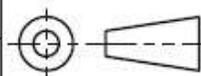
T. Térmico: Sin Tratamiento

Acot.: Pulg.

Mayo 2011

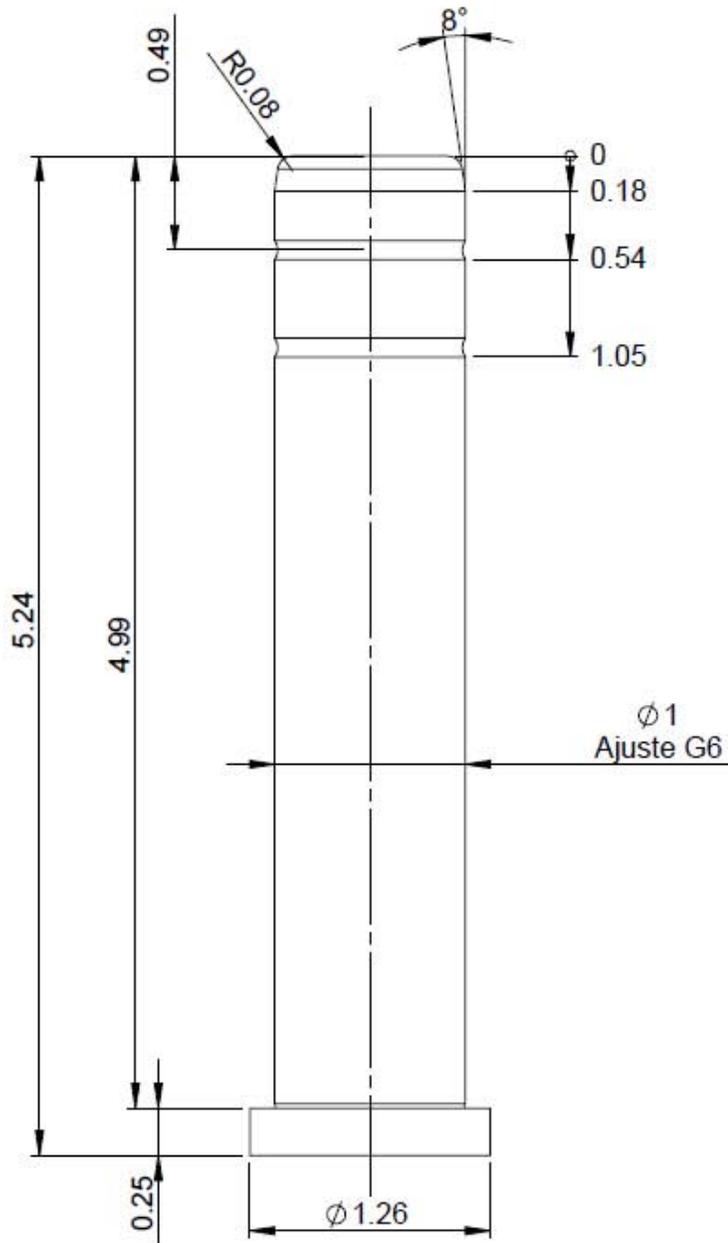
Título Placa de Fijación

Figura 5.34

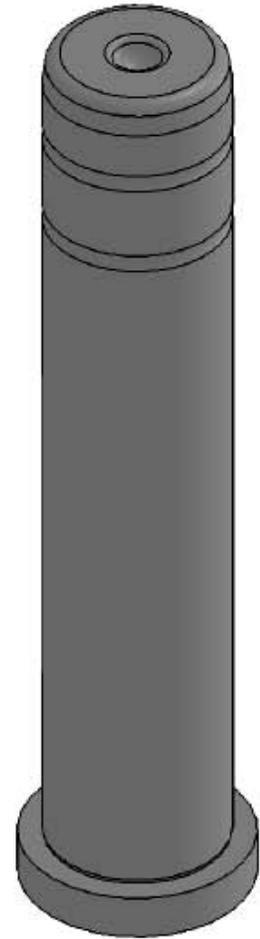


REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

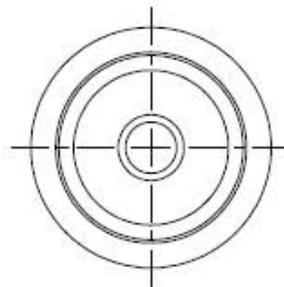
TOL NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'



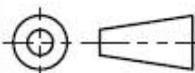
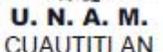
4 Piezas



Cotas solo referencia

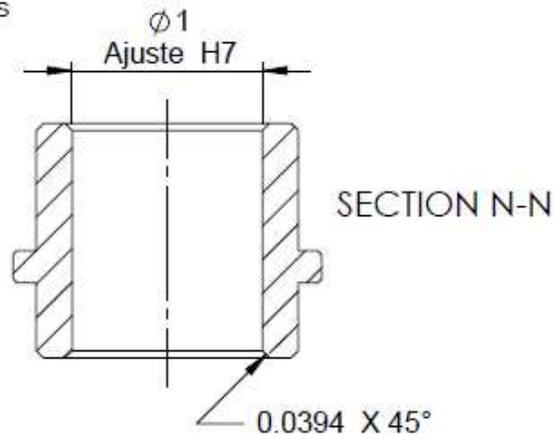


Producto de linea
proveedor: MDL

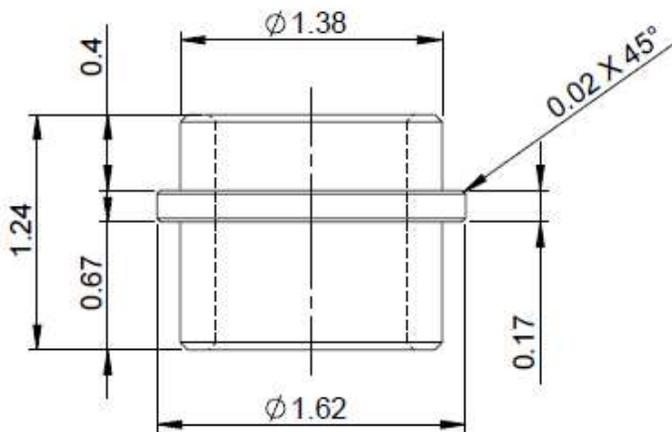
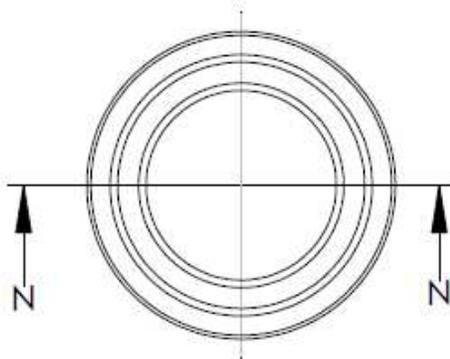
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				I.M.E.	
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo		Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 1:2	
Material: 1018	T. T: Cementado 52 a 54 RC	Acot.: Pulg.	Mayo 2011		
Titulo Perno Guía		Figura 5.35			

REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'



4 Piezas



Cotas solo referencia

Producto de linea
proveedor: MDL

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

I.M.E.

Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias
Rubén Luna Trejo

Revisó: Felipe Diaz del Castillo

Escala: 1:1

Material: 1018

T. T: Cementado 50 a 54 RC

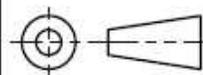
Acot.: Pulg.

Mayo 2011

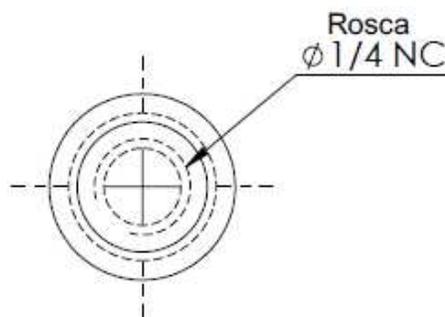
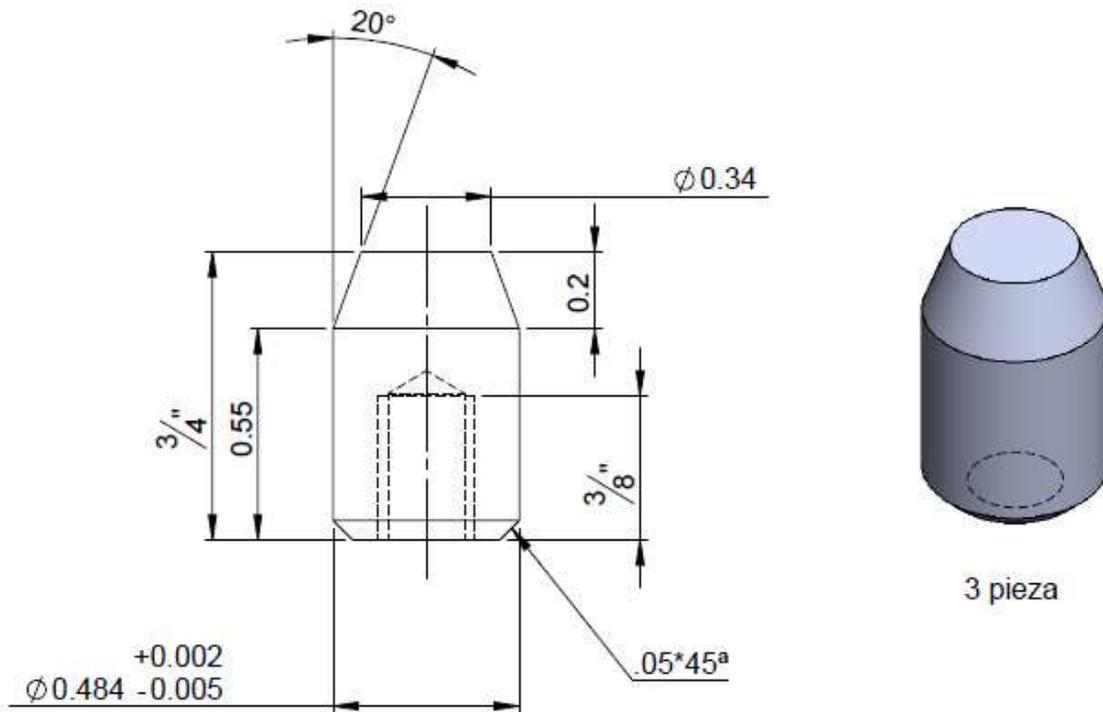
Titulo

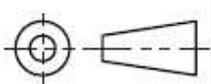
Buje Guia

Figura 5.36



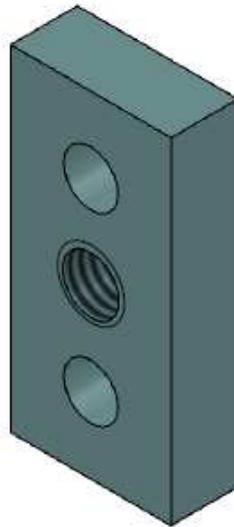
U. N. A. M.
CUAUTITLAN



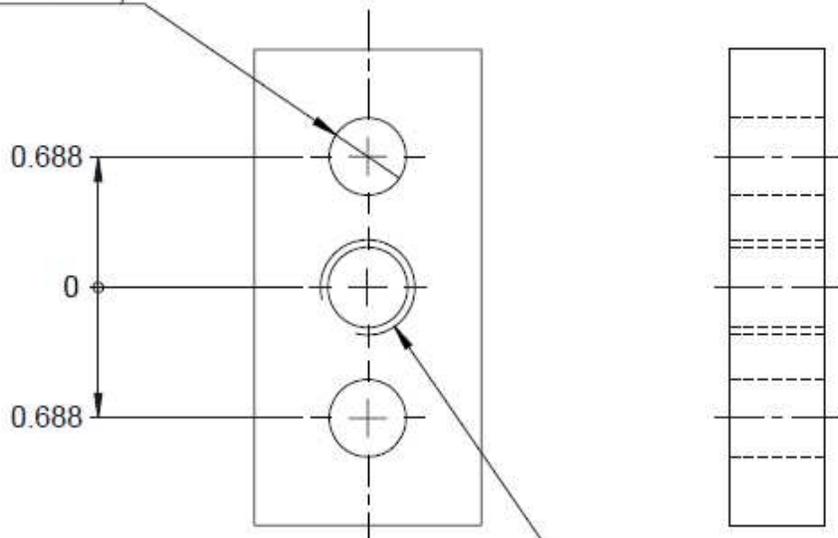
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				I.M.E.	 U. N. A. M. CUAUTITLAN
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo		Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 2:1	
Material: O1	T. Termico: Sin Tratamiento	Acot.: Pulg.	Mayo 2011		
Titulo Centrador		Figura 5.37			

REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

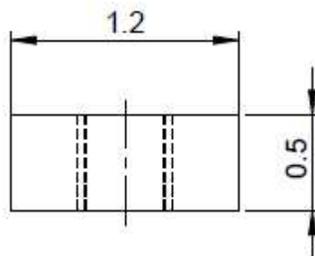
TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'



(2 X BROCA
 ϕ 13/32")



(ϕ 1/2" UNC
Broca 27/64)



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

I.M.E.

Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias
Rubén Luna Trejo

Revisó: Felipe Diaz del Castillo

Escala:2:1

Material: 4140t

T. Termico: Sin Tratamiento

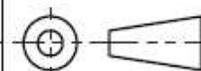
Acot.: Pulg.

Mayo 2011

Titulo

Seguro de Carga

Figura 5.38



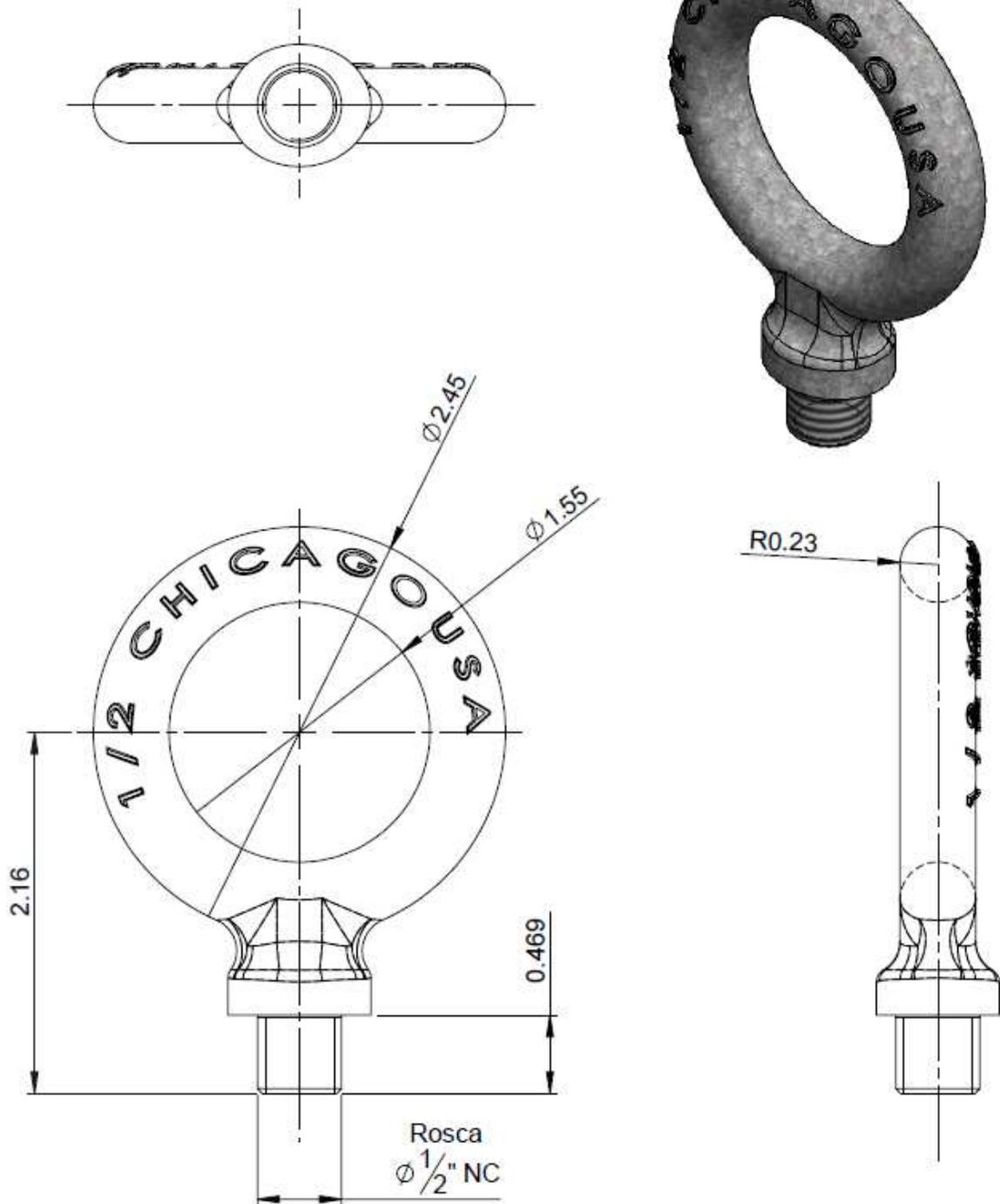
U. N. A. M.
CUAUTITLAN

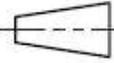
REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

Producto de línea
proveedor: CPACSA

Cotas solo referencia

TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'

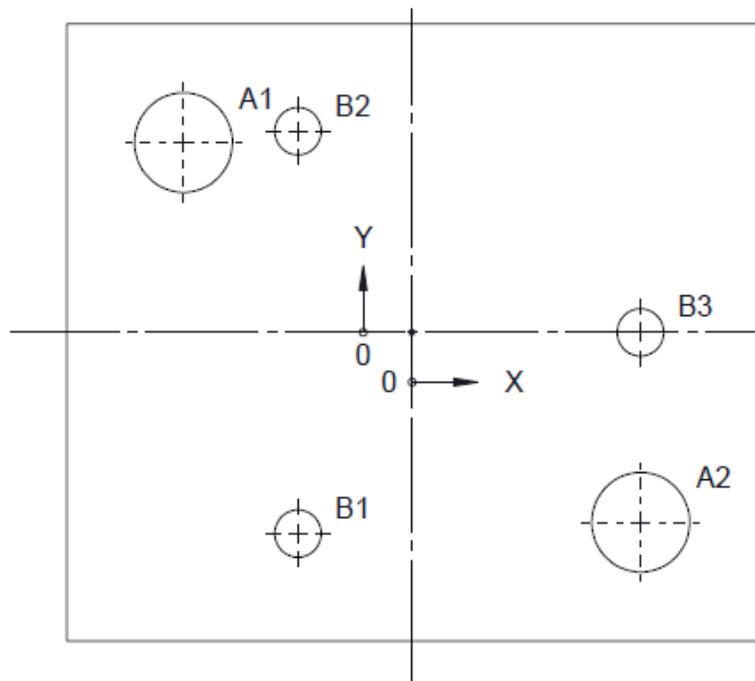
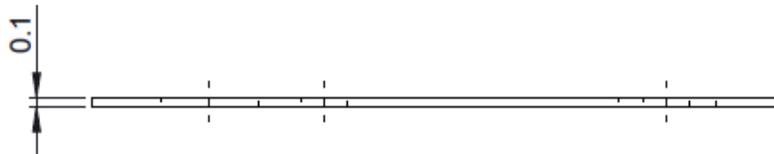
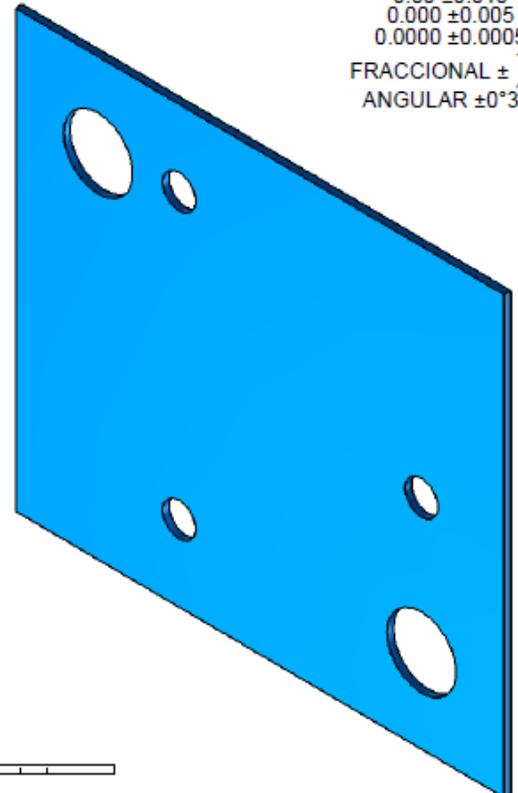


FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				I.M.E.	 U. N. A. M. CUAUTITLAN
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo		Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 1:1	
Mat: Fierro colado	T. Termico: Sin Tratamiento	Acot.: Pulg.	Mayo 2011	 	
Titulo Cáncamo		Figura 5.39			

REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	-2.45	2.00	Ø 1.05 POR TODO
A2	2.45	-2.00	Ø 1.05 POR TODO
B1	-1.22	-2.12	Ø 0.5 POR TODO
B2	-1.22	2.12	Ø 0.5 POR TODO
B3	2.45	0.00	Ø 0.5 POR TODO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

I.M.E.

Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias
Rubén Luna Trejo

Revisó: Felipe Diaz del Castillo

Escala: 1:5

Mat: Acrílico

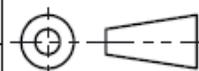
T. Termico: Sin Tratamiento

Acot.: Pulg.

Febrero 2010

Título Protector de Placas

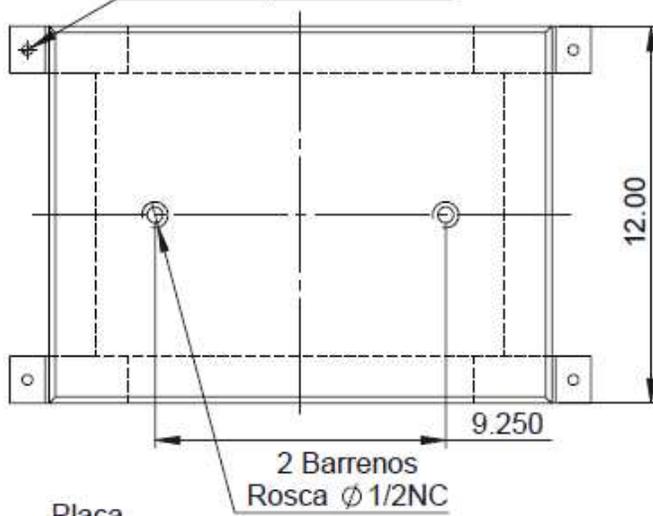
Figura 5.40



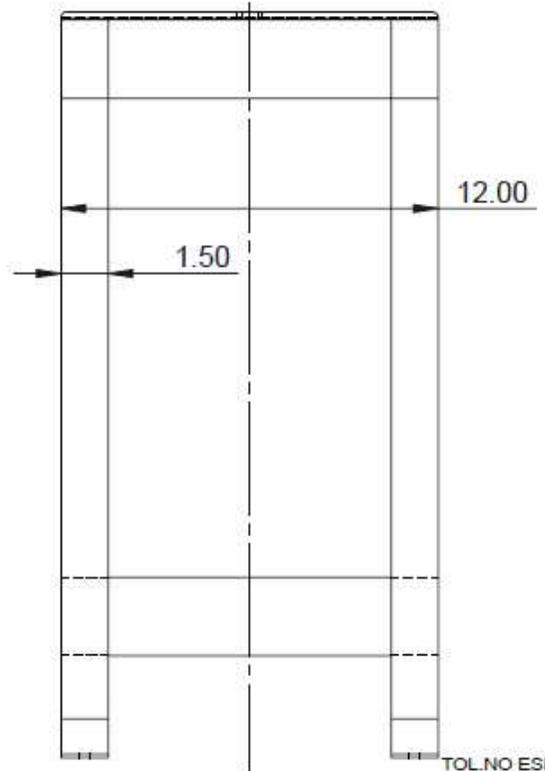
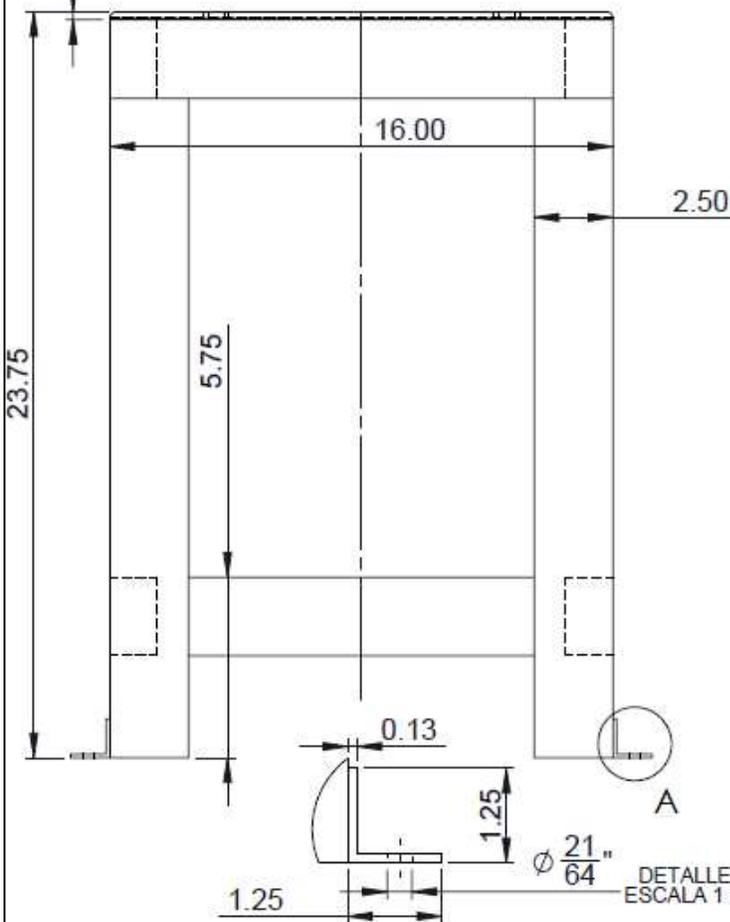
U. N. A. M.
CUAUTITLAN

REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

4 Barrenos para pija 5/16
 $\phi 3/8$

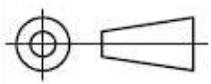


Placa
1/4 espesor



TOL. NO ESP.
0.0 ± 0.030
0.00 ± 0.010
0.000 ± 0.005
0.0000 ± 0.0005
FRACCIONAL $\pm 1/64$

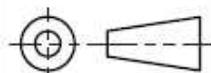


FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				I.M.E.	 U. N. A. M. CUAUTITLAN
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo		Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 1:3	
Mat: Perfil 1.5*2.5"	T. Termico: Sin Tratamiento	Acot.: Pulg.	Mayo 2011		
Titulo Mesa		Figura 5.41			

REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

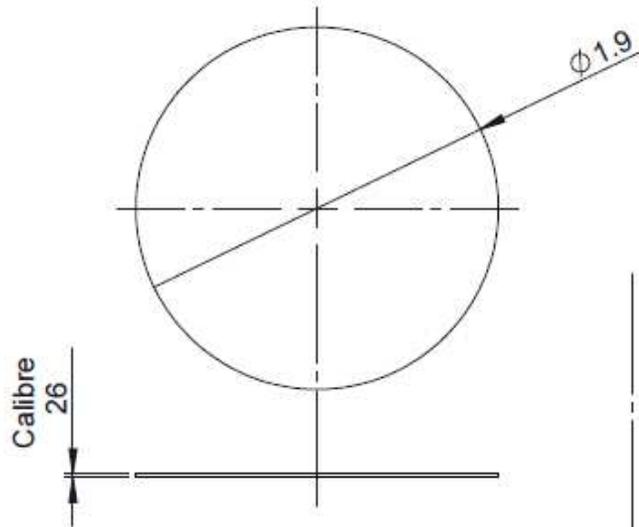
TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				I.M.E.	 U. N. A. M. CUAUTITLAN
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo		Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 1:2	
Material: Comercial	T. Termico: Sin Tratamiento	Acot.: Pulg.	Mayo 2011		
Titulo	Tag de Datos	Figura 5.42			

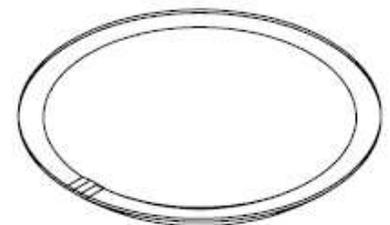
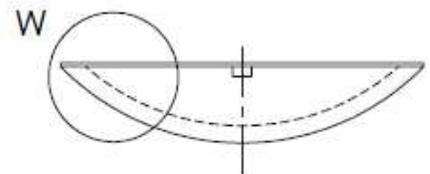
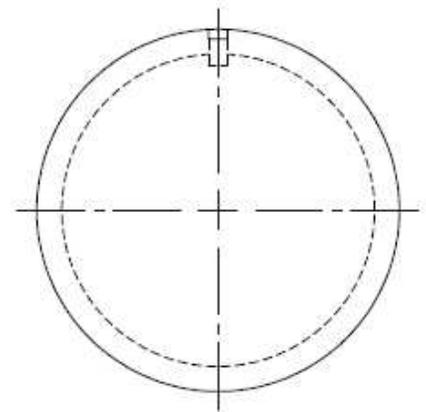
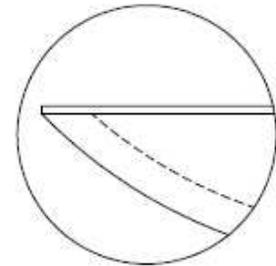
REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

TOL NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'

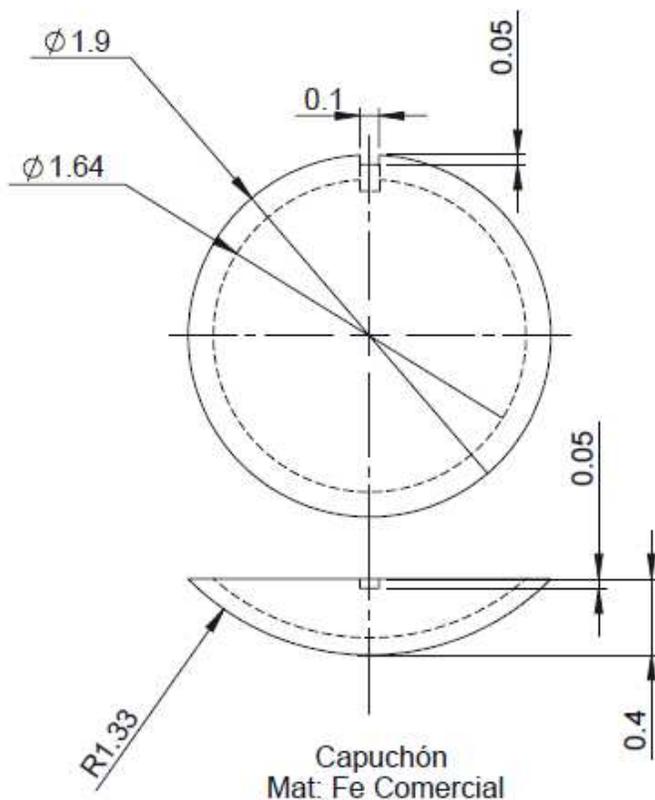


Tapa
Mat: Aluminio

DETALLE W
ESCALA 2 : 1



Ensamble



Capuchón
Mat: Fe Comercial

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

I.M.E.

Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias
Rubén Luna Trejo

Revisó: Felipe Diaz del Castillo

Escala: 1:1

Mat: NA

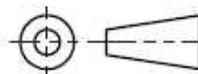
T. Termico: Sin Tratamiento

Acot.: Pulg.

Mayo 2011

Titulo Explosivo y Partes

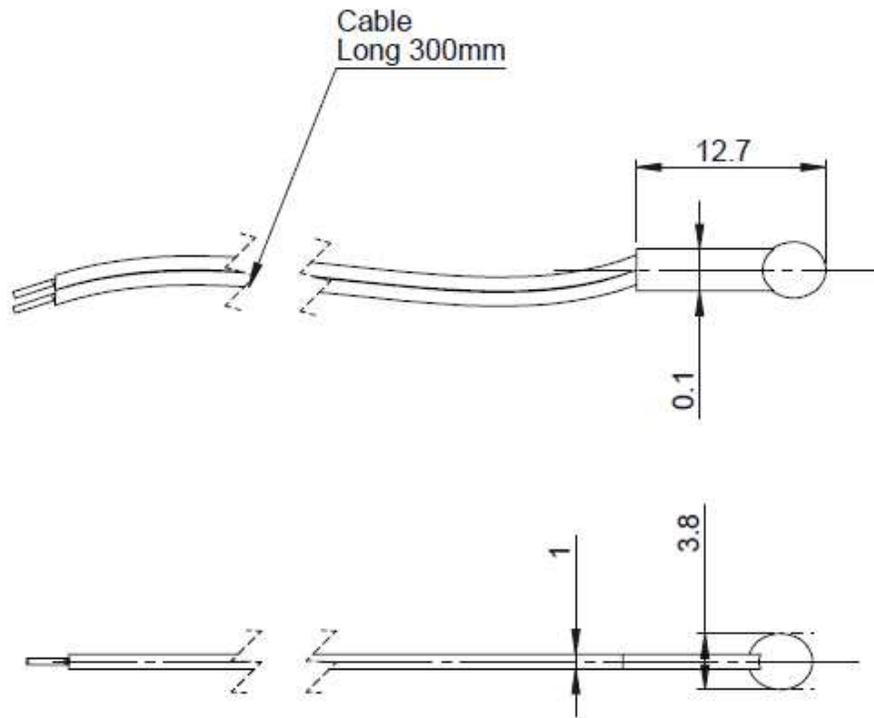
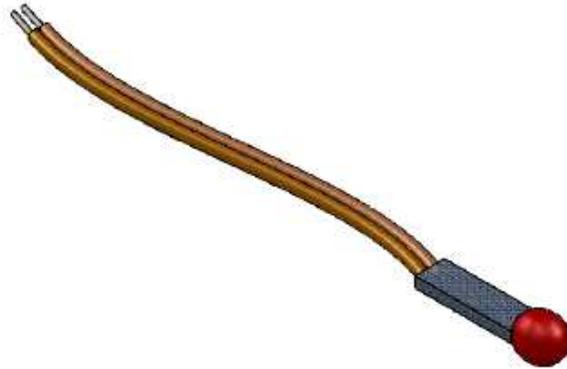
Figura 5.43

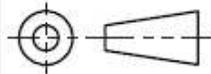


U. N. A. M.
CUAUTITLAN

REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'

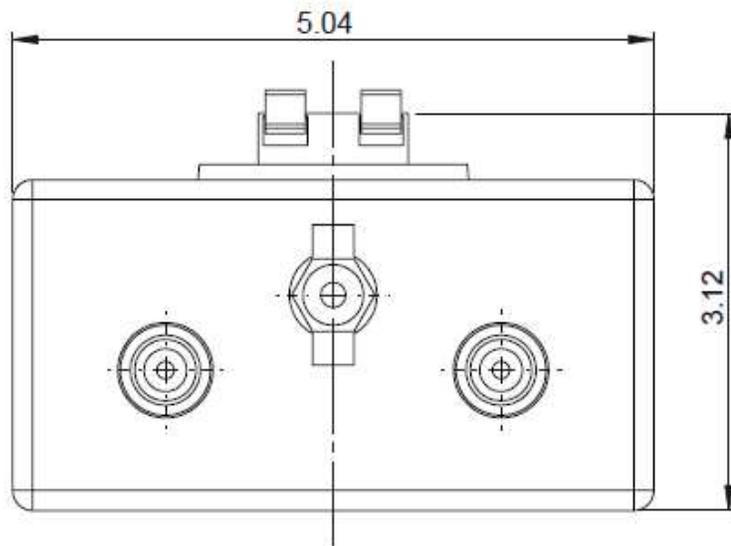


FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				I.M.E.	 U. N. A. M. CUAUTITLAN
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo		Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 1:1	
Mat.: NA	T. Termico: Sin Tratamiento	Acot.: mm.	Mayo 2011		
Titulo	Cerillo	Figura 5.44			

REBABEAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

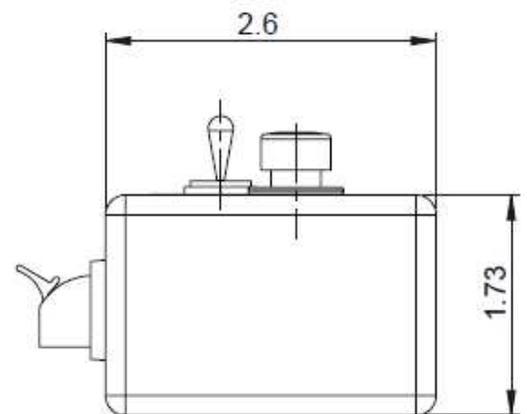
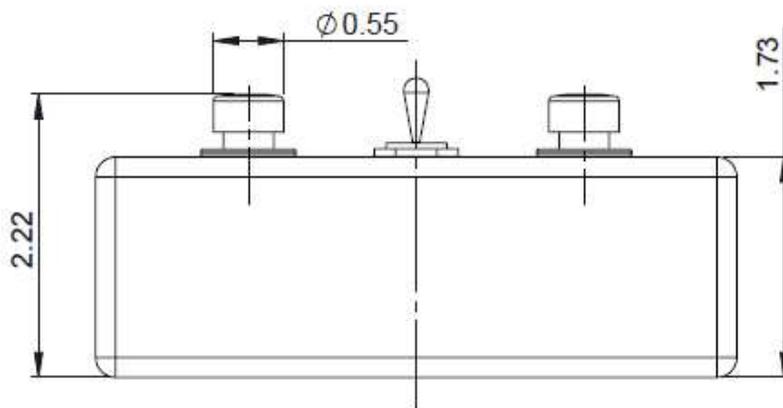


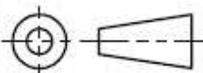
TOL.NO ESP.
0.0 ±0.030
0.00 ±0.010
0.000 ±0.005
0.0000 ±0.0005
FRACCIONAL ± 1/64
ANGULAR ±0°30'



Cotas solo referencia

Producto de linea
Proveedor: Steren



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				I.M.E.	 U. N. A. M. CUAUTITLAN
Elaboró: Jose Luis Machuca Garfias Rubén Luna Trejo		Revisó: Felipe Diaz del Castillo		Escala: 1:2	
Mat.I: Plastico	T. Termico: Sin Tratamiento	Acot.: Pulg.	Mayo 2011		
Titulo Control Electronico		Figura 5.45			

CAPITULO 6.

PRUEBAS

Las pruebas se realizaron para obtener datos técnicos de la pólvora, así como de la resistencia de los materiales y comprobar que el método de formado con explosivo por contacto fuera posible (véase figura 6.1), lo cual se demostró con las siguientes pruebas:



Figura 6.1 Resultado después de la detonación

6.1 COMPROBACIÓN DEL FORMADO CON EXPLOSIVO

De primera instancia se realizó un prototipo, el cual era cerrado por medio de dos prensas tipo G para carpintería, con aproximadamente 10g. de pólvora según el criterio de su fabricante el cual fue encendido convencionalmente por medio de mechas. En esta primera prueba se desconocía la fuerza a la que se sometía el herramental y se deformó permanentemente el sistema de cerrado constituido de placa de acero con espesor de $\frac{3}{4}$ " (véase figura 6.2).



Figura 6.2 Prensas deformadas por exceso de pólvora

También se observó que la lámina al momento del impacto perdía la posición y el producto quedaba descentrado, (véase figura 6.3) con lo que se recurrió a la implementación de tres centradores, para que la lámina permaneciera en el mismo lugar pese a la detonación y así poder obtener un producto centrado.



Figura 6.3 Producto descentrado

Como resultado de esta prueba se tomo la decisión de incrementar el espesor de las placas a 1 ¼” para la placa de alojamiento del explosivo y a 1” para la placa de cavidad, así como reducir la cantidad de pólvora para la detonación y se implementó el sistema de cerrado del molde por un sistema que fuera capaz de absorber la posible energía excedente de la detonación, evitando que la energía se salga y así pudiese adquirir la forma requerida. Con estas necesidades y requerimientos se partió al diseño y fabricación de un molde con las características requeridas para mejorar el proceso del prototipo (figura 6.4).

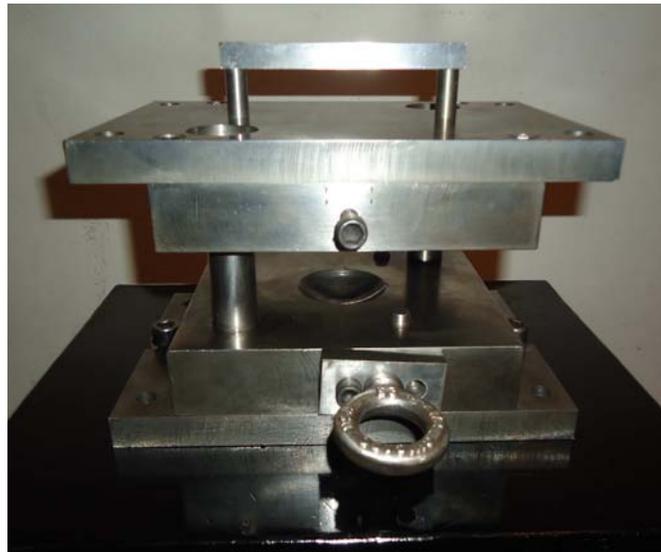


Figura 6.4 Implementación del sistema de retorno

6.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RETORNO

En esta prueba la lámina no se deformó, solo sufrió ligeras deformaciones sin llegar al producto deseado (figura 6.5). En esta prueba se comprobó el funcionamiento del sistema de retorno y se concluyó que éste era el adecuado.



Figura 6.5 Prueba sin éxito por falta de pólvora

Esto es prueba de que la velocidad y fuerza con la que se libera la energía de la reacción química dentro del explosivo son fundamentales para obtener mejores resultados en el trabajo mecánico, procediendo a optimizar la cantidad de pólvora de una manera, en la cual no se deformará el molde por exceso de energía y la falta de espacio. Logrando que la lámina tome la forma precisa (figura 6.6).

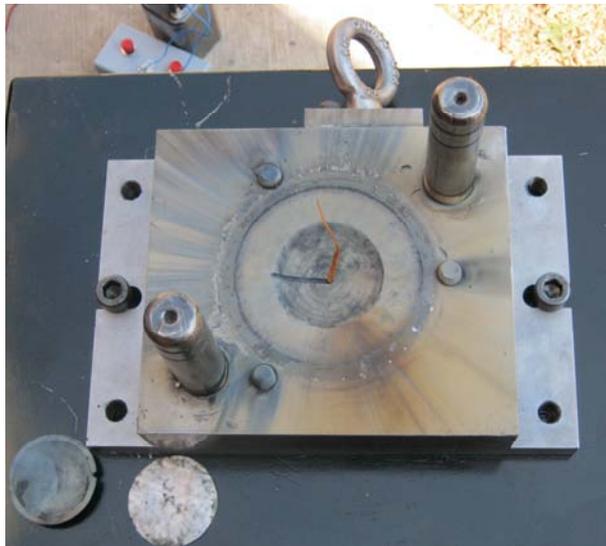


Figura 6.6 Molde después de una detonación

6.3 PULIDO Y ENGRASADO DE LA CAVIDAD

En esta prueba se optó por pulir el molde con acabado espejo y se colocó una capa de grasa grafitada como lubricante sobre la cavidad y a lo largo de los postes, (véase figura 6.7) también la detonación se modificó por un encendido electrónico el cual dio la facilidad de detonar el explosivo a cualquier distancia para la seguridad del operario.



Figura 6.7 Placa de cavidad con capa de grasa grafitada

Con estas modificaciones se logró un acabado más uniforme, también se obtuvo la forma correcta del molde en la lámina, se pudo cerrar y abrir el molde con mayor facilidad, la detonación se hizo más fácil y en menor tiempo por la implementación del encendido electrónico (figura 6.8).



Figura 6.8 Cerillos para encendido electrónico

6.4 PRUEBAS PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE PÓLVORA

Después se realizaron las pruebas pertinentes con diferentes cantidades de pólvora, ya que el molde funcionaba adecuadamente, así que se realizaron 3 pruebas que determinaron la cantidad de pólvora exacta.

- a) Primero se colocó dentro del explosivo 1.5 g. de pólvora y se hizo detonar; teniendo como resultado una lámina semideformada (véase figura 6.9), la cual no cumplía con la forma deseada, ya que se le formaron unos pliegues y se alcanzaron a formar bolsas de aire, aumentando la cantidad de pólvora para la siguiente prueba.



Figura 6.9 Prueba con 1.5 g de pólvora “formación de bolsas de aire”

- b) En la siguiente prueba se introdujeron para la detonación 3 g. de pólvora, cantidad con la cual la lámina tomó la forma adecuada, pero además de esto sufrió una ruptura por la cantidad de esfuerzos concentrados en el material, provenientes de la detonación, (figura 6.10).



Figura 6.10 Lamina fracturada por exceso de explosivo

- c) La tercera detonación se realizó con 2.5 g. de pólvora, con lo cual las características geométricas del producto mejoraron. Finalmente, en esta prueba se obtuvo la forma del molde.



Figura 6.11 Lamina detonada con 2.5 g de pólvora. Se obtiene la forma requerida

Con las pruebas anteriores determinamos la cantidad de pólvora necesaria para detonar y obtener un cenicero con las características requeridas, así como cada una de las partes del molde para optimizar el proceso haciéndolo más eficiente, facilitar la manipulación al personal y reducir costos de producción.



Figura 6.12 Orden cronológico en el avance de pruebas y diseño del molde



Figura 6.13. Molde y aditamentos para la fabricación de un cenicero con explosivos

CONCLUSIONES

Después del trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

1. Para lograr el desarrollo de un proceso especializado se necesitan los principios de procesos convencionales, tales como las máquinas y herramientas y la habilidad para manipularlas.

2. Se cumplió con el objetivo de realizar un producto mediante un proceso innovador, en el cual empleamos un molde diseñado y fabricado por nosotros mismos.

3. El uso y aplicación del herramental depende de las habilidades y necesidades de quien quiera adaptar este sistema, ya que como se mencionó, es un proceso que requiere de muchas pruebas de campo para llegar a un pleno funcionamiento.

4. Se debe tomar en cuenta que las organizaciones están enfocadas a las áreas de proceso, ya que regularmente estas son las que sustentan la obtención de los productos y servicios requeridos, olvidándose que la parte importante para lograr los objetivos planeados es la facilitación de los recursos que se encuentran en el área de soporte, como son finanzas, compras y estudio del mercado.

5. Cabe mencionar, que en la medida que se realicen los procesos de manufactura, apegados a las recomendaciones dadas dentro de este texto, se logrará obtener un producto de alta calidad.

6. El diseño de moldes es un proceso complejo basado fundamentalmente en la experiencia y habilidades de los diseñadores, siendo a veces necesario realizar algunos cambios una vez que el molde ha sido fabricado, por ello, la realización de un prototipo mejora el funcionamiento del molde y es una herramienta útil que permite la visualización del proyecto, ayudando a la detección de posibles fallos en el diseño del molde o de los elementos que lo conforman.

BIBLIOGRAFÍA

1. John A. Scher, Procesos de manufactura
Mc.Graw- Hill. México. 3ra. Edición
2. R. Noris Shreve, The Chemical Process Industries
McGraw-Hill.
3. Lehnert Rob (1979) La Construcción de Herramientas
Reverte S.A.
4. Bralla James (2005) Manual De Diseño De Productos Para Manufactura
McGraw- Hill
5. K.C. Ludema, Caddell (1989) Modern Manufacturing Process Engineering
McGraw- Hill
6. Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, Manufacturing Engineering &
Technology
Hardcover, 6th Edition
7. Rinehart J.S, Explosive Working of Metals
Pergamon Press
8. Arthur Abraham Ezra, Principles and Practices of Explosive Metal Working,
Volume 1
9. kalpakjian, Schmid, Manufactura Ingeniería y Tecnología
Prentice Hall
- 10.<http://www.exploform.com>
- 11.<http://axxon.com.ar/zap/c-zapping0135.htm>

12. <http://www.metalwebnews.com/howto/explosive-forming/explosive-forming.html>
13. <http://pmanufactura.blogspot.com/>
14. <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/capitulo3.htm>
15. <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/capitulo1.htm>
16. <http://www.mitecnologico.com/im/Main/ProcesosDeManufactura>
17. http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2_I.html#cuatro
18. http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_VI.html
- 19.** <http://pdf.rincondelvago.com/conceptos-basicos-en-sistemas-de-manufactura.html>

APENDICE

	IADSA AISI	COLORES DE DISTINCIÓN	CARACTERÍSTICAS	USOS TÍPICOS
ACERO GRADO HERRAMIENTA	M2		Acero rápido para herramientas de corte alto rendimiento	Brocas, machuelos, cortadores, avellanadoras, etc.
	D2		Acero alta resistencia al desgaste y gran tenacidad para cortes en chapa hasta 5 mm de espesor	Punzones, matrices, troqueles cuchillas de cizalla, mordazas, herramientas para embudo
	A2		Trabajos en frío en troqueles complicados	Dados, peines p/roscar, mandriles, estampado en frío para rechazado
	O1		Acero para fabricación de troqueles de corte complicado hasta 3 mm de espesor	Botadores en frío, estampado para medallas, punzones, cuchillas circulares, herramientas de corte para plástico cartón y papel tarrajas y peines, etc.
	S1		Acero resistente al golpe para trabajo en frío y en caliente	Punzones, tijeras de corte en frío, cuchillas para cortar, picar, pelar herramientas Neumáticas, cortes en plásticos y flejes hasta 5 mm de espesor
	H13		Acero cromo-molibdeno-vanadio para continuos choques térmicos	Moldes, para inyección para metales medianos y sus aleaciones, herramientas para prensas de extrucción, resistente a choques térmicos
	L6		Acero cromo-niquel-molibdeno para trabajos en caliente	Para estampas y dados para forjar en caliente; cuchillas de corte en frío para material grueso
	P20		Acero tratado para moldes de plástico	Acero especial para moldes de plástico
	PLATA AL ACEITE	PUNTAS	Acero plata rectificado temple al aceite	Fresas para trabajo en madera y en acero, brochas instrumentos de medición, etc.
	PLATA AL AGUA	PUNTAS	Acero plata rectificado temple al agua	Herramientas de baja velocidad de corte como fresas, machos, cojinetes, peines de roscar, calisures, etc.
ACERO GRADO MAQUINARIA	9840 R		Acero cromo-niquel-molibdeno de gran tenacidad para construcción de maquinaria	Herramientas de construcción de maquinaria para uso general
	9840 T		Acero cromo-niquel-molibdeno de gran tenacidad con dureza controlada para construcción de maquinaria	Flechas de transmisión, árboles de leva, bielas, ejes de engranes, embrages, martillos para molino.
	4340 R		Acero cromo-niquel-molibdeno de gran tenacidad para construcción de maquinaria	Herramientas de construcción de maquinaria para uso general
	4340 T		Acero cromo-niquel-molibdeno de gran tenacidad con dureza controlada para construcción de maquinaria	Herramientas de construcción de maquinaria para uso general en piezas muy grandes que requieran temple y no se pueda realizar
	4140 R		Acero cromo-molibdeno para construcción de maquinaria	Para piezas y partes de maquinaria de uso general
	4140 T		Acero cromo-molibdeno para construcción de maquinaria con dureza controlada	Para piezas y partes de maquinaria de uso general que se requieran ya templadas
	4320		Acero de segmentación cromo-niquel-molibdeno alto rendimiento	Engranes, bielas, cuñas para troqueladoras, excéntricos, husillos, mordazas para chuck, pernos, piones
	8620		Acero de rementación cromo-niquel-molibdeno	Grado maquinaria para cementación de uso general para engranes
	1045	PUNTAS	Acero al carbono para construcción de maquinaria	Para flechas de maquinaria, engranes para temple al agua y usos generales
ACEROS AL CARBÓN	COLD ROLLED	PUNTAS	Acero estirado en frío usos generales	Usos generales
	12L14	PUNTAS	Acero de corte libre para tornos automáticos	Aceros de corte libre para tornos automáticos
	TUBO MECÁNICO		Barra hueca usos generales	Barra hueca para usos generales
INOXIDABLES	304		Inoxidable tipo 18 / 10 lámina y perfiles	Acero de estructura austenítica con bajo contenido de carbono con diferentes aplicaciones
	303		Inoxidable tipo 18 / 8 maquinado rápido	Acero austenítico cromo-niquel con aleación de azufre se emplea para ejes, husillos, tornillos, tuercas, pernos, ruedas
	310		Acero inoxidable refractario resistente a altas temperaturas	Acero refractario hasta 1200 grados
	316		Inoxidable tipo 18 / 11.5 láminas y perfiles	Acero inox. Para la industria química, textil, celulosa, gomas, ácidos cebacos, así como piezas para uso clínico y alimenticio
	416		Acero inoxidable al cromo maquinado rápido	Acero para mecanizar con fuerte arranque de viruta para la fabricación de piezas expuestas a la atmósfera, al agua, al vapor, como tornillos, bulbones y tuercas

Equivalentes Decimales

Fraccional, Métrico, Numérico y Alfabético.

Para más información sobre BROCAS, MACHUELOS y LOC-LINE visite nuestra nueva página web www.travers.com.mx

MEDIDA	PULGADAS DECIMAL												
#80	.0135	#55	.0520	#36	.1065	#15	.1800	6.5mm	.2559	S	.3480	39/64"	.6094
.35mm	.0138	1.35mm	.0531	2.75mm	.1083	4.6mm	.1811	F	.2570	8.9mm	.3504	15.5mm	.6102
#79	.0145	#54	.0550	7/64"	.1094	#14	.1820	6.6mm	.2598	9mm	.3543	5/8"	.6250
1/64"	.0156	1.4mm	.0551	#35	.1100	#13	.1850	G	.2610	T	.3580	16mm	.6299
.4mm	.0157	1.45mm	.0571	2.8mm	.1102	4.7mm	.1850	6.7mm	.2638	9.1mm	.3583	41/64"	.6406
#78	.0160	1.5mm	.0591	#34	.1110	4.75mm	.1870	17/64"	.2656	23/64"	.3594	16.5mm	.6496
.45mm	.0177	#53	.0595	#33	.1130	3/16"	.1875	6.75mm	.2657	9.2mm	.3622	21/32"	.6562
#77	.0180	1.55mm	.0610	2.9mm	.1142	4.8mm	.1890	H	.2660	9.25mm	.3642	17mm	.6693
.5mm	.0197	1/16"	.0625	#32	.1160	#12	.1890	6.8mm	.2677	9.3mm	.3661	43/64"	.6719
#76	.0200	1.6mm	.0630	3mm	.1181	#11	.1910	6.9mm	.2717	U	.3680	11/16"	.6875
#75	.0210	#52	.0635	#31	.1200	4.9mm	.1929	I	.2720	9.4mm	.3701	17.5mm	.6890
.55mm	.0217	1.65mm	.0650	3.1mm	.1220	#10	.1935	7mm	.2756	9.5mm	.3740	45/64"	.7031
#74	.0225	1.7mm	.0669	1/8"	.1250	#9	.1960	J	.2770	3/8"	.3750	18mm	.7087
.6mm	.0236	#51	.0670	3.2mm	.1260	5mm	.1969	7.1mm	.2795	V	.3770	23/32"	.7188
#73	.0240	1.75mm	.0689	3.25mm	.1280	#8	.1990	K	.2810	9.6mm	.3780	18.5mm	.7283
#72	.0250	#50	.0700	#30	.1285	5.1mm	.2008	9/32"	.2812	9.7mm	.3819	47/64"	.7344
.65mm	.0256	1.8mm	.0709	3.3mm	.1299	#7	.2010	7.2mm	.2835	9.75mm	.3839	19mm	.7480
#71	.0260	1.85mm	.0728	3.4mm	.1339	13/64"	.2031	7.25mm	.2854	9.8mm	.3858	3/4"	.7500
.7mm	.0276	#49	.0730	#29	.1360	#6	.2040	7.3mm	.2874	W	.3860	49/64"	.7656
#70	.0280	1.9mm	.0748	3.5mm	.1378	5.2mm	.2047	L	.2900	9.9mm	.3898	19.5mm	.7677
#69	.0292	#48	.0760	#28	.1405	#5	.2055	7.4mm	.2913	25/64"	.3906	25/32"	.7812
.75mm	.0295	1.95mm	.0768	9/64"	.1406	5.25mm	.2067	M	.2950	10mm	.3937	20mm	.7874
#68	.0310	5/64"	.0781	3.6mm	.1417	5.3mm	.2087	7.5mm	.2953	X	.3970	51/64"	.7969
1/32"	.0312	#47	.0785	#27	.1440	#4	.2090	19/64"	.2969	Y	.4040	20.5mm	.8071
.8mm	.0315	2mm	.0787	3.7mm	.1457	5.4mm	.2126	7.6mm	.2992	13/32"	.4062	13/16"	.8125
#67	.0320	2.05mm	.0807	#26	.1470	#3	.2130	N	.3020	Z	.4130	21mm	.8268
#66	.0330	#46	.0810	3.75mm	.1476	5.5mm	.2165	7.7mm	.3031	10.5mm	.4134	53/64"	.8281
.85mm	.0335	#45	.0820	#25	.1495	7/32"	.2188	7.75mm	.3051	27/64"	.4219	27/32"	.8438
#65	.0350	2.1mm	.0827	3.8mm	.1496	5.6mm	.2205	7.8mm	.3071	11mm	.4331	21.5mm	.8465
.9mm	.0354	2.15mm	.0846	#24	.1520	#2	.2210	7.9mm	.3110	7/16"	.4375	55/64"	.8594
#64	.0360	#44	.0860	3.9mm	.1535	5.7mm	.2244	5/16"	.3125	11.5mm	.4528	22mm	.8661
#63	.0370	2.2mm	.0866	#23	.1540	5.75mm	.2264	8mm	.3150	29/64"	.4531	7/8"	.8750
.95mm	.0374	2.25mm	.0886	5/32"	.1562	#1	.2280	O	.3160	15/32"	.4688	22.5mm	.8858
#62	.0380	#43	.0890	#22	.1570	5.8mm	.2283	8.1mm	.3189	12mm	.4724	57/64"	.8906
#61	.0390	2.3mm	.0906	4mm	.1575	5.9mm	.2323	8.2mm	.3228	31/64"	.4844	23mm	.9055
1mm	.0394	2.35mm	.0925	#21	.1590	A	.2340	P	.3230	12.5mm	.4921	29/32"	.9062
#60	.0400	#42	.0935	#20	.1610	15/64"	.2344	8.25mm	.3248	1/2"	.5000	59/64"	.9219
#59	.0410	3/32"	.0938	4.1mm	.1614	6mm	.2362	8.3mm	.3268	13mm	.5118	23.5mm	.9252
1.05mm	.0413	2.4mm	.0945	4.2mm	.1654	B	.2380	21/64"	.3281	33/64"	.5156	15/16"	.9375
#58	.0420	#41	.0960	#19	.1660	6.1mm	.2402	8.4mm	.3307	17/32"	.5312	24mm	.9449
#57	.0430	2.45mm	.0965	4.25mm	.1673	C	.2420	Q	.3320	13.5mm	.5315	61/64"	.9531
1.1mm	.0433	#40	.0980	4.3mm	.1693	6.2mm	.2441	8.5mm	.3346	35/64"	.5469	24.5mm	.9646
1.15mm	.0453	2.5mm	.0984	#18	.1695	D	.2460	8.6mm	.3386	14mm	.5512	31/32"	.9688
#56	.0465	#39	.0995	11/64"	.1719	6.25mm	.2461	R	.3390	9/16"	.5625	25mm	.9843
3/64"	.0469	#38	.1015	#17	.1730	6.3mm	.2480	8.7mm	.3425	14.5mm	.5709	63/64"	.9844
1.2mm	.0472	2.6mm	.1024	4.4mm	.1732	E	.2500	11/32"	.3438	37/64"	.5781	1"	1.0000
1.25mm	.0492	#37	.1040	#16	.1770	1/4"	.2500	8.75mm	.3445	15mm	.5906		
1.3mm	.0512	2.7mm	.1063	4.5mm	.1772	6.4mm	.2520	8.8mm	.3465	19/32"	.5938		

Medidas de Brocas para Machuelos

(75% de Cuerda Completa)

MEDIDA MACHUELO	MEDIDA BROCA	MEDIDA MACHUELO	MEDIDA BROCA	MEDIDA MACHUELO	MEDIDA BROCA
0-80	3/64	10-32	21	5/8-18	37/64
M1.6x.35	1.25mm	M5x.8	4.2mm	M16x2	14mm
1-64	53	12-24	16	3/4-10	21/32
M2x.4	1.6mm	12-28	14	3/4-16	11/16
1-72	53	M6x1	5mm	M20x2.5	17mm
2-56	51	1/4-20	7	7/8-9	49/64
2-64	50	1/4-28	3	7/8-14	13/16
M2.5x.45	2.05mm	5/16-18	F	M24x3	21mm
3-48	47	5/16-24	I	1-8	7/8
3-56	45	M8x1.25	6.7mm	1-12	29/32
4-40	43	3/8-16	5/16	1-14	15/16
4-48	42	3/8-24	Q	1-1/8-7	63/64
M3x.5	2.5mm	M10x1.5	8.5mm	1-1/8-12	1-3/64
5-40	38	7/16-14	U	M30x3.5	26.5mm*
5-44	37	7/16-20	25/64	1-1/4-7	1-7/64*
M3.5x.6	2.9mm	M12x1.75	10mm	1-1/4-12	1-11/64*
6-32	36	1/2-13	27/64	1-3/8-6	1-3/16*
6-40	33	1/2-20	29/64	1-3/8-12	1-9/32*
M4x.7	3.3mm	M14x2	12mm	M36x4	1-1/4*
8-32	29	9/16-12	31/64	1-1/2-6	1-11/32*
8-36	29	9/16-18	33/64	1-1/2-12	1-27/64*
10-24	25	5/8-11	17/32		

Machuelos para Tubos

MEDIDA MACHUELO	MEDIDA BROCA NPT Y NPTF (CONICOS)	EQUIVALENTE DECIMAL	MEDIDA BROCA npS (RECTO)	EQUIVALENTE DECIMAL
1/8 - 27	R	.3390	S	.3480
1/4 - 18	7/16	.4375	29/64	.4531
3/8 - 18	37/64	.5781	19/32	.5938
1/2 - 14	23/32	.7188	47/64	.7344
3/4 - 14	59/64	.9219	15/16	.9375
1 - 11-1/2	1-5/32	1.1562	1-3/16	1.1875
1-1/4 - 11-1/2	1-1/2	1.5000	1-33/64	1.5156
1-1/2 - 11-1/2	1-47/64	1.7344	1-3/4	1.7500
2 - 11-1/2	2-7/32	2.2188	2-7/32	2.2188
2-1/2 - 8	2-5/8	2.6250	2-21/32	2.6562
3 - 8	3-1/4	3.2500	3-9/32	3.2812
3-1/2 - 8	3-3/4	3.7500	3-25/32	3.7812
4 - 8	4-1/4	4.1250	4-9/32	4.2812

TABLA DE EQUIVALENCIAS

		PULGADAS		MILIMETROS				PULGADAS		MILIMETROS	
1/16	1/32	1/64	.0156		0.396	9/16	17/32	33/64	.5156		13.096
		3/64	.0312		0.793			35/64	.5468		13.890
1/8	3/32	5/64	.0781		1.984	5/8	19/32	37/64	.5781		14.684
		7/64	.1093		2.778			39/64	.6093		15.478
3/16	5/32	9/64	.1406		3.571	11/16	21/32	41/64	.6406		16.271
		11/64	.1718		4.365			43/64	.6718		17.065
1/4	7/32	13/64	.2031		5.159	3/4	23/32	45/64	.7031		17.859
		15/64	.2343		5.953			47/64	.7343		18.653
5/16	9/32	17/64	.2656		6.746	13/16	25/32	49/64	.7656		19.446
		19/64	.2968		7.540			51/64	.7968		20.240
3/8	11/32	21/64	.3281		8.334	7/8	27/32	53/64	.8281		21.034
		23/64	.3593		9.128			55/64	.8593		21.828
7/16	13/32	25/64	.3906		9.921	15/16	29/32	57/64	.8906		22.621
		27/64	.4218		10.715			59/64	.9218		23.415
1/2	15/32	29/64	.4531		11.509	1	31/32	61/64	.9531		24.209
		31/64	.4843		12.303			63/64	.9843		25.003
			.500		12.700				1.000		25.400

TABLA DE CALIBRES

No.	ACERO INOXIDABLE		ALAMBRE		METALES	
	Pulgadas	mm.	Pulgadas	mm.	Pulgadas	mm.
1	0.2813	7.145	0.300	7.620	0.300	7.620
2	0.2656	6.746	0.276	7.010	0.294	7.214
3	0.2500	6.350	0.252	6.401	0.259	6.579
4	0.2344	5.954	0.232	5.893	0.238	6.045
5	0.2188	5.558	0.212	5.385	0.220	5.588
6	0.2031	5.159	0.192	4.877	0.203	5.156
7	0.1875	4.762	0.176	4.470	0.180	4.572
8	0.1719	4.366	0.160	4.064	0.165	4.191
9	0.1562	3.969	0.144	3.658	0.148	3.759
10	0.1350	3.430	0.128	3.251	0.134	3.404
11	0.1200	3.050	0.116	2.946	0.120	3.048
12	0.1050	2.670	0.104	2.642	0.109	2.769
13	0.0900	2.285	0.092	2.337	0.095	2.413
14	0.0750	1.900	0.080	2.032	0.083	2.108
15	0.0670	1.710	0.072	1.829	0.072	1.829
16	0.0600	1.520	0.064	1.626	0.065	1.651
17	0.0540	1.370	0.056	1.422	0.058	1.473
18	0.0480	1.220	0.048	1.219	0.048	1.245
19	0.0410	1.040	0.040	1.016	0.042	1.067
20	0.0351	0.892	0.036	0.914	0.035	0.889
21	0.0321	0.815	0.032	0.813	0.032	0.813
22	0.0291	0.740	0.028	0.711	0.028	0.711
23	0.0261	0.668	0.024	0.610	0.025	0.635
24	0.0240	0.610	0.022	0.559	0.022	0.559
25	0.0200	0.510	0.020	0.508	0.020	0.508
26	0.0180	0.455	0.0180	0.457	0.018	0.457
27	0.0161	0.410	0.0164	0.417	0.016	0.406
28	0.0150	0.385	0.0148	0.376	0.014	0.356
29	0.0130	0.330	0.0136	0.345	0.013	0.330
30	0.010	0.255	0.0124	0.315	0.012	0.305
31	0.0109	0.277	0.0116	0.295	0.010	0.254
32	0.0102	0.259	0.0108	0.274	0.009	0.229
33	0.0094	0.239	0.0100	0.254	0.008	0.203
34	0.0086	0.218	0.0092	0.234	0.007	0.178
35	0.0078	0.198	0.0084	0.213	0.005	0.127
36	0.0070	0.178	0.0076	0.193	0.004	0.102
37	0.0066	0.168	0.0068	0.173	0.003	0.076
38	0.0063	0.160	0.0060	0.152		
39			0.0052	0.132		
40			0.0048	0.122		