

308917



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ANALISIS DE LA FACTIBILIDAD PARA HACER COSTEABLE
EL PROCESO DE FORJA EN FRIJO COMPARADO CON EL DE
FUNDICION Y MAQUINADO EN LA FABRICACION DE PIEZAS
RELATIVAMENTE PEQUEÑAS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA: INGENIERIA MECANICA

P R E S E N T A :

MICHEL AHMED / ABIZAID BUCIO

DIRECTOR: ING. ALFREDÓ GONZALEZ RUIZ

MEXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1997



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

A Dios, a quien le debo todo

A Mónica, mi esposa,
porque la amo y por ser
el motivo de todas mis acciones

A mis padres por su paciencia, apoyo
y cariño, para concretar esta etapa

A mis hermanos y a mi tía Blanca,
porque siempre viajan en mi corazón

A mis profesores, en especial
al Ing. Alfredo González y al Ing. Oscar Cervantes
por su apoyo y guía para la realización de esta tesis

ÍNDICE

Introducción

1	Descripción de los Procesos de Manufactura	1
1.1	El proceso de manufactura	2
1.2	Procesos de manufactura más comunes	3
2	Propiedades de la Forja	9
2.1	Forja en frío	10
2.2	Forja en caliente	13
2.3	Comparación técnica entre ambos procesos	15
2.4	Comportamiento de los metales ante la deformación en frío	16
3	Estudio de un Caso	19
3.1	Ventajas y desventajas de la prensa de formado en frío	20
3.2	Análisis comparativo con los demás procesos de manufactura	24
	Conclusiones	41
	Bibliografía	48
	Anexos	51

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN. El material que compone esta tesis propone al avance tecnológico como medio para lograr la competitividad y como sustituto de inversiones en activos (estudio de un caso).

¿ Es posible o no lograr que el proceso de forja en frío sea el más costenable para la pequeña industria si se desarrolla la tecnología adecuada?

La historia de la pequeña industria en México ha sido muy difícil. Siempre tratando de sobrevivir a los embates de las grandes empresas nacionales e internacionales. Para esto, no le ha quedado más que tratar de aprovechar al máximo los recursos con los que cuenta. ¿ Cuáles son estos recursos ? La energía, la materia prima, la mano de obra, etc.

La manera obvia de optimizar esto es con tecnología. Cuando el tamaño y las condiciones de la empresa no le permiten pagar el alto precio que la misma tiene, sólo queda desarrollar la propia. El caso que analiza esta tesis es real y típico de la pequeña industria, pero alternamente a la solución del mismo, se trata de fomentar el desarrollo de la propia tecnología, aún en los momentos donde parece simplemente imposible.

1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

1.1. EL PROCESO DE MANUFACTURA

Por proceso de manufactura podemos comprender a todas las operaciones necesarias para que la materia prima se transforme hasta lograr el producto final.

En la actualidad en la industria de la transformación de metales es muy importante el proceso de manufactura a utilizarse. La correcta elección del mismo hará posible que el producto final sea fabricado de forma óptima, y por lo tanto la competitividad que tenga en el mercado aumente.

Para poder seleccionar el método adecuado, es necesario evaluar las diferentes opciones que se tienen al alcance. Y para esto es conveniente estar consciente de las posibilidades y carencias reales de la empresa para la cual se efectúa dicho análisis.

Esta tesis está dirigida a la pequeña industria, la cual suele tener poca solvencia económica, y por lo mismo es importante encontrar la manera de disminuir sus costos. En la medida que logremos reducir el gasto por materia prima, por mano de obra o por el uso de energía sabremos qué tan adecuada ha sido la elección.

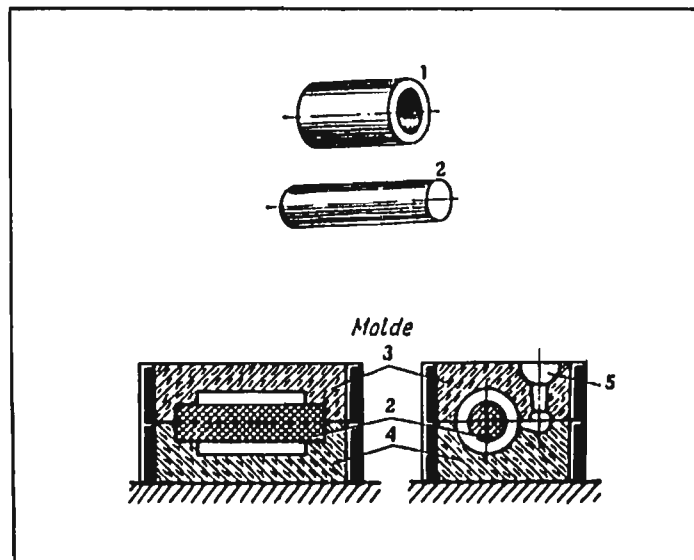
1.2. PROCESOS DE MANUFACTURA MAS COMUNES

Fundición.

Este método consiste en obtener piezas moldeadas, realizando coladas con metal fundido en moldes para obtener el artículo deseado o la pieza en bruto.

Las operaciones básicas de dicho proceso son las siguientes: preparación del molde, vertido del metal fundido dentro del molde, extracción de la pieza una vez solidificado el metal, limpieza y acabado.

Figura 1. Elementos fundamentales de la forja: 1 Pieza a moldear, 2 corazón, 3 parte superior del molde, 4 parte inferior del molde, 5 alimentador de material.



La principal ventaja de este proceso es que nos permite producir con facilidad piezas cuya forma es muy compleja. También se puede alcanzar la forma final de la pieza con un porcentaje bajo de desperdicio de materia prima.

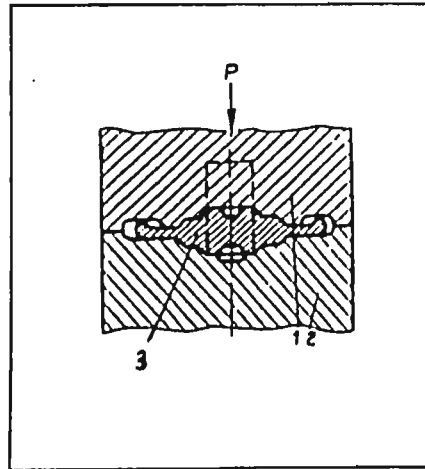
Para obtener una fundición sin defectos es necesario el buen diseño del molde, evitando que se presenten acumulaciones locales de metal y permitiendo el paso fácil de una sección a otra. También es importante tomar en cuenta la baja fluidez y la gran contracción que sufren algunos metales en el diseño del molde y de los respectivos bebederos y canales de alimentación.

Las piezas obtenidas bajo este proceso se someten a un recocido para eliminar las tensiones internas y elevar las propiedades mecánicas.

Forja.

Consiste en alterar la forma de un metal a través de golpes bruscos de un martillo o por presión en una prensa. Como consecuencia de dicha deformación el metal se vuelve más denso y aumenta sus propiedades mecánicas, eliminando así los problemas por porosidad y homogeneizando su estructura interna. La masa de las piezas de trabajo puede variar desde varios gramos hasta trescientas toneladas.

Figura 2. El forjado: 1 Matriz superior, 2 matriz inferior, 3 material de trabajo, P presión de trabajo.



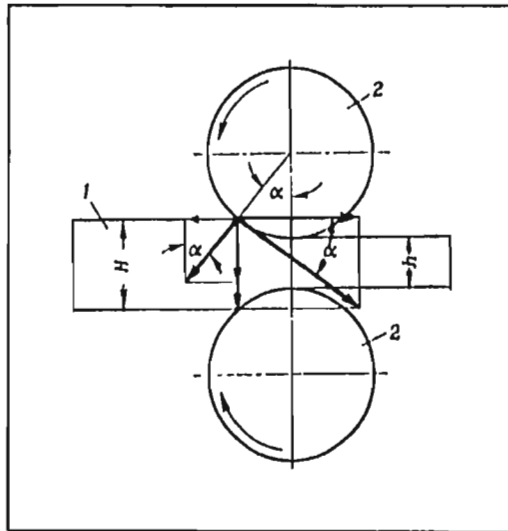
La forja se clasifica en dos: con matriz abierta y en estampas. En la primera el metal se deforma entre las matrices o dados, con la posibilidad de fluir a los lados sobre la superficie de la matriz. En la forja con estampas o cerrada, el flujo de metal se ve limitado al espacio contenido por las paredes de la estampa. La forja con matriz abierta se usa por lo general para fabricar piezas de gran tamaño y cuya forma no es complicada ya que la precisión por este método es baja. Mientras que la estampa nos permite obtener piezas cuya superficie presenta mayor calidad y exactitud en las dimensiones. Para que se pueda forjar con estampas el material debe cumplir con dos condiciones. Primero, el punto de fluencia debe ser bajo, para que el diseño de los dados y de la estructura de la máquina se mantenga dentro de los límites de lo práctico, y segundo, el material debe permitir la cantidad de deformación necesaria sin fallar.

La forja de aceros es un proceso usado prácticamente desde la Revolución Industrial, sin embargo muy poca información se puede encontrar al respecto. La mayoría de los datos se obtienen de forma empírica o intuitiva.

Laminación.

Se llama así al paso forzado de un metal entre rodillos o cilindros giratorios de un laminador, siendo la holgura entre ellos, menor que el espesor de la pieza de trabajo. De esta forma se le da a la pieza un perfil y tamaño determinados, y así la producción obtenida puede servir como pieza bruta para un proceso posterior, como la forja y la estampa, o como artículo terminado.

Figura 3. Esquema del proceso de laminado: 1 Pieza de trabajo, 2 cilindros giratorios, h holgura entre rodillos, H espesor inicial del material, α ángulo del esfuerzo normal en el punto de contacto.



Los pasos fundamentales de la laminación son los siguientes: la pieza de trabajo es atrapada por los rodillos, al momento de hacer contacto con ellos, aparecen un esfuerzo normal y otro de fricción, cuyas componentes por un lado deforman el metal y por otro logran que la pieza se desplace hacia adelante. Cuando pasa esto, el espesor de la pieza bruta disminuye, mientras que la anchura y longitud aumentan. Por medio de este método se fabrican perfiles redondos, cuadrados y hexagonales entre otros.

Este proceso abastece de materia prima a la pequeña industria, la cual se encarga de transformarla, siendo el maquinado y la forja los métodos más comunes.

2. PROPIEDADES DE LA FORJA

2.1. FORJA EN FRÍO

Como se mencionó en el capítulo anterior el estampado es aquel proceso donde se deforma el metal a través de estampas o dados. Estos son básicamente moldes de acero al carbón de alta calidad cuyas paredes contienen huecos que corresponden a la forma de la pieza a fabricar.

La estampa se compone de dos partes: la superior, que está sujeta a una placa móvil y la inferior al porta estampas de la máquina. Dentro de esta última se coloca la pieza en bruto. Después por efecto de los golpes o de la presión de la estampa superior, el metal llena el hueco total de la estampa. Por el alto costo que tienen los dados, el estampado se recomienda en el caso de producciones en serie o en masa.

Debido al gran esfuerzo al que se someten los punzones y matrices, es necesario que ambos tengan una superficie dura que permita su máximo aprovechamiento. Por lo general, las partes internas de dichas piezas son más blandas para evitar fracturas al momento del esfuerzo.

Los aceros con un bajo contenido de carbón, o sea hasta un 0.20%, son los materiales más utilizados en la forja en frío, ya que presentan menos dificultad para deformarse. También se pueden trabajar en frío aceros con mayor porcentaje de carbón y aleaciones, aunque la dificultad para deformarlos aumenta conforme lo hace el porcentaje de carbón o aleantes. Cuando se trabaja con este tipo de materiales disminuye la vida de la herramienta.

Existen dos tipos de estampado en frío: el estampado de lámina y el de presión.

El primero se utiliza para fabricar piezas de material en lámina como tapones de autos, carrocerías, etc.

El estampado a presión en frío sirve para fabricar piezas de tochos volumétricos, por lo general de barras redondas semiacabadas. Como el caso que plantea esta tesis excluye el trabajo en chapa, analizaremos únicamente las características del estampado a presión

Los pasos principales del estampado a presión en frío son: los de separación, como el corte y el punzonado, y los de deformación como el recalado, recalado parcial, extrusión, calibración, troquelado, etc.; y se llevan a cabo en prensas hidráulicas o mecánicas.

El primer paso del estampado en frío es preparar la pieza, esto es limpiándola o lubricándola si es necesario. Una lubricación adecuada puede disminuir el desgaste de los dados y evitar que la pieza se pegue en ellos. Lo más práctico es usar el lubricante más simple en composición y en la menor cantidad, ya que se pueden ir acumulando residuos en los dados y esto provoca daños en ellos o en la pieza de trabajo. Por otro lado el costo por remover el lubricante es alto. El lubricante más usado en la forja de aceros al carbono es la mezcla de aceite y grafito, aunque existen otras posibilidades. Después tenemos la deformación que de acuerdo a la forma y volumen de la pieza puede ser parcial o final. Si es necesario se da un tratamiento térmico intermedio para quitar el endurecimiento causado por la deformación en frío, o al final para comunicar las propiedades adecuadas al metal. Para terminar se realizarán las operaciones de acabado.

La rugosidad final de la superficie de la pieza forjada en frío suele ser buena, pero varía de acuerdo a las condiciones de la superficie del material antes de ser trabajado, a la cantidad de trabajo en frío aplicado en una sola área, al lubricante usado o a las condiciones de los dados. De todos estos factores, el más importante es el último, ya que las condiciones que tengan las herramientas se transmiten a la pieza. Por lo tanto el mejor acabado lo darán los dados que sean pulidos y cuidados constantemente.

2.2. FORJA EN CALIENTE

En este proceso la pieza en bruto es calentada antes de ser deformada en las estampas.

La materia prima para el estampado en caliente es el laminado, barras prensadas y lingotes. Estas se cortan al tamaño deseado y se calientan en hornos de reverbero o eléctricos, así como en instalaciones de inducción. Al calentar la pieza en bruto se eleva la ductilidad y forjabilidad de la misma, se reduce la resistencia a la deformación y por lo tanto se elimina la posibilidad de su rotura.

Para lograr un estampado de alta calidad, hay que cuidar el régimen de calentamiento establecido para cada metal. Estas temperaturas de forja se fijan de acuerdo al porcentaje de carbón que tenga el acero y al rango de temperaturas que permiten la plasticidad óptima. La temperatura debe ser alta para que el metal alcance su máxima plasticidad, pero sin exceder la magnitud fijada para evitar el sobre calentado y quemado del metal.

El sobre calentamiento provoca que el metal se agriete con los golpes fuertes, y se tiene que eliminar con algún tratamiento térmico. El quemado se da por el calentamiento prolongado de un metal cerca de la temperatura de fusión. Cuando pasa esto se debilita la estructura interna del mismo causando fracturas profundas durante la forja.

Por otra parte, es conveniente que la pieza bruta se caliente rápidamente hasta la temperatura deseada, de tal manera que se asegure una capa delgada de óxido durante la forja.

La matriz de la forja en caliente, debe estar diseñada para simplificar el proceso de estampado y la extracción de la pieza forjada de sí misma. Para esto se determinan los radios de redondeo y los ángulos de estampado. También se debe considerar un margen de material alrededor de la pieza o rebaba, ya que ésta funciona como una válvula de alivio para la presión que se da dentro de los dados.

Una vez terminado el proceso de forja, la pieza se somete a operaciones de acabado como el recorte de la rebaba, los tratamientos térmicos, el enderezado y la calibración.

De igual manera, la pieza se diseña con dimensiones sobradas que contemplan las pérdidas por oxidación, que se da al trabajar en caliente y por la eliminación de defectos superficiales a través de un maquinado. El desperdicio de materia prima en este proceso está entre el 15 y 20 % del metal.

2.3. COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE AMBOS PROCESOS

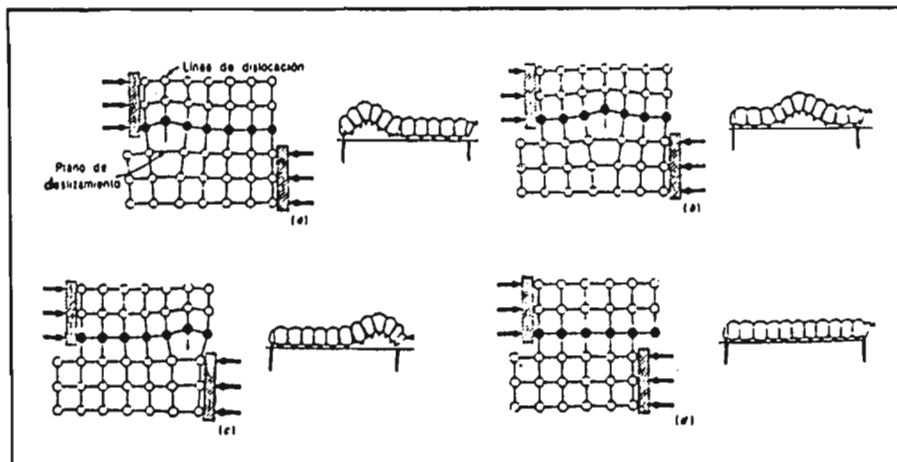
Como se puede ver, para deformar un metal se necesita una gran cantidad de energía. La forja en caliente la utiliza principalmente en forma de calor disminuyendo la resistencia a la deformación del metal. Mientras que la forja en frío la usa en forma mecánica, eliminando la aplicación de calor.

La forja en caliente obtiene esta energía calorífica de los hornos, pero la construcción o compra de éstos sólo se justifica cuando las condiciones de producción y ventas son apropiadas. La forja en frío requiere de un gran esfuerzo mecánico para deformar el metal, por lo que las prensas que se utilizan son de gran tamaño y su costo es alto. La ventaja más importante, es que el diseño y construcción de una prensa hidráulica no es tan complicado ni tan costoso como el de un horno. Otra ventaja de las piezas forjadas en frío radica en la exactitud de sus dimensiones y la calidad de su superficie. Por otro lado se elimina la capa superficial de óxido y la pérdida de masa que esto implica.

2.4. COMPORTAMIENTO DE LOS METALES ANTE LA DEFORMACIÓN EN FRÍO

La deformación es la alteración de la forma de un cuerpo provocada por la acción de fuerzas externas aplicadas sobre él. La deformación puede ser elástica o plástica. Cuando el cuerpo, ya sin la acción de las fuerzas externas, recupera su forma inicial, se trata de una deformación elástica. Pero cuando éste no vuelve a su forma primitiva, la deformación es plástica. La forja en frío es un método en donde el metal se deforma plásticamente.

Figura 4. Analogía entre el movimiento de una distorción a través de un cristal y el movimiento de un gusano conforme arquea su parte posterior mientras avanza.



Al analizar metalúrgicamente la deformación del metal a partir de su estructura cristalina, se observa que, si un cristal de un metal es sometido a un esfuerzo más alto que su límite elástico, se alarga ligeramente y aparece un escalón en la superficie, indicando un desplazamiento relativo del cristal con respecto a otros. Si se aumenta la carga, el movimiento se presentará en el plano paralelo contiguo y así sucesivamente. Cada deformación siguiente, necesitará un esfuerzo aplicado mayor para deformar así otro escalón. El aumento progresivo de la carga producirá fractura del material.

La deformación plástica de un metal es un flujo que depende de la estructura perfectamente repetitiva del cristal. Esta permite que los átomos se separen, por acción de una fuerza, de sus vecinos originales de la otra cara y se deslicen en forma organizada a lo largo de la misma, hasta unirse otra vez en un conjunto de vecinos casi tan perfectamente como antes. Esto es posible debido a que los átomos no están unidos por enlace directo sino que se mantienen juntos simplemente por los electrones libres.

Para que el movimiento sea simultáneo en los planos de átomos que se cruzan entre sí, se requiere que la fuerza tenga el mismo valor sobre todos los puntos del plano de deslizamiento. Esta condición no es factible de obtener, debido a las vibraciones de los átomos y las dificultades para aplicar una fuerza uniformemente distribuida. Por esto, se supone que los átomos se deslizan simulando el movimiento de una oruga, comenzando en un sitio o en algunos sitios en el plano de deslizamiento, para después moverse hacia afuera sobre el resto del plano. Al suceder esto se crean dislocaciones, las cuales se mueven a lo largo del plano de deslizamiento y dejan un escalón al salir a la superficie del cristal.

Movimientos posteriores de la dislocación a través del mismo plano de deslizamiento encuentran mayor resistencia, debido a que los átomos no terminan en posiciones exactamente normales; tal resistencia del plano de deslizamiento llega a ser suficientemente grande para trabar la dislocación en la estructura cristalina, y el movimiento se detiene.

Cuando el esfuerzo se aplica a una red de cristales, el deslizamiento comienza en aquéllos cuyo sistema de deslizamiento se halla favorablemente situado respecto al esfuerzo aplicado. Este movimiento produce la correcta orientación de los cristales vecinos colocándolos en una posición apta para la deformación. A medida que avanza la deformación y la rotación, cada grano o cristal tiende a alargarse en la dirección de flujo.

El material sufre endurecimiento por deformación o endurecimiento por trabajo cuando se dificulta el flujo de las dislocaciones debido a las fronteras de los cristales o a la presencia de materiales extraños. Este endurecimiento puede ser causa de fracturas en el metal si sobrepasamos el porcentaje de deformación recomendado para el mismo. En el caso de un acero con un porcentaje bajo de carbono se puede desplazar hasta un 20 % del volumen total.

3. ESTUDIO DE UN CASO

3.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PRENSA DE FORMADO EN FRÍO

El desarrollo de la tecnología está orientado hacia el encuentro con la solución apropiada de un problema planteado. En este caso, la empresa que solicitó el estudio marcó como objetivo la fabricación de piezas que tengan forma parcialmente no cilíndrica o asimétrica, con una reducción importante en el costo de producción

Para lograr esto se han analizado los posibles procesos por medio de los cuales se suelen fabricar dichas piezas, esto ha permitido concluir que la forja en frío es una buena opción para la solución de este problema de producción

Como se dijo anteriormente, en la forja en frío la deformación se lleva a cabo por presión o por golpes. La maquinaria necesaria para deformar un metal a través de golpes es muy ruidosa y su diseño es complicado, por lo que el método de deformación por presión resulta más adecuado, siendo las prensas hidráulicas la maquinaria utilizada para este proceso.

El funcionamiento de una prensa hidráulica está basado en un sistema muy simple. Se inyecta aceite a un pistón y por la presión de éste, se desplaza el émbolo del mismo, el cual va unido a la placa que soporta al punzón, transmitiendo la fuerza a la pieza de trabajo. La sencillez de esta operación permite la simplicidad del diseño

Figura 5. Esquema de funcionamiento de la prensa hidráulica: Al aplicar un esfuerzo R_1 sobre el pistón de retorno A, se transmite la presión p hacia el pistón B, el cual a su vez transmite la presión p_2 . Las fuerzas f_1 y f_2 dependen directamente del área de los pistones.

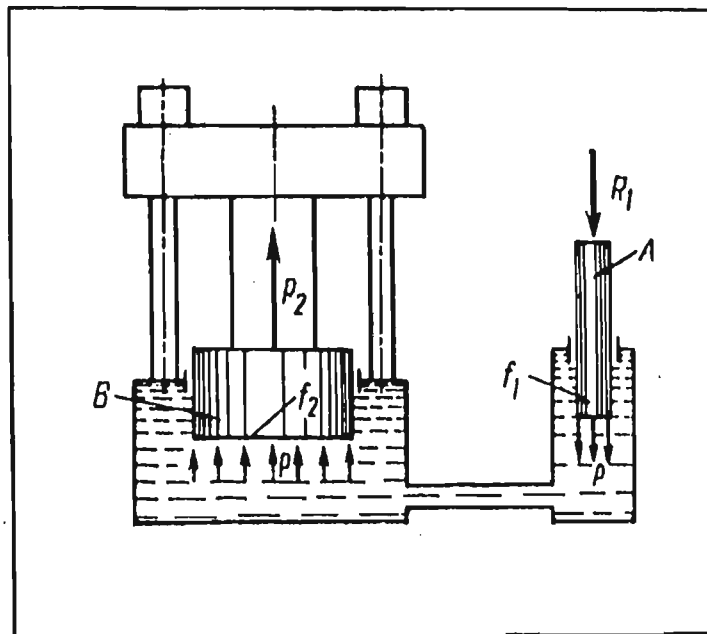
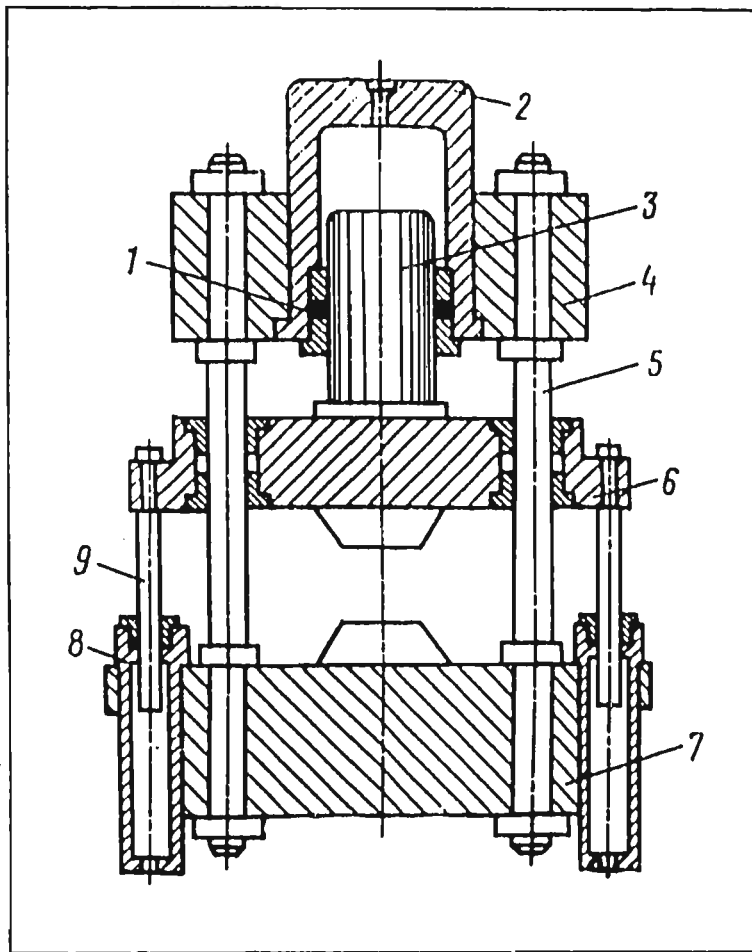


Figura 6. Estructura de una prensa: 1 Junta, 2 cilindro motor, 3 pistón del cilindro motor, 4 travesía innóvil superior, 5 columnas, 6 travesía móvil superior, 7 travesía innóvil inferior, 8 cilindro de retorno, 9 pistón de retorno.



Es importante mencionar que por sus características las prensas hidráulicas no requieren de una cimentación especial, puesto que no presentan vibraciones excesivas, ni se espera la transmisión de golpes bruscos a la hora de realizar su trabajo.

Otra ventaja de estas prensas es que su funcionamiento es más fácil de controlar. Bajo un buen diseño del sistema hidráulico que alimenta al pistón se puede lograr una gran variedad de opciones para su manejo.

3.2. ANÁLISIS COMPARATIVO CON LOS DEMÁS PROCESOS DE MANUFACTURA

Hasta el momento se ha dado una breve idea de los diferentes métodos que pueden servir para la fabricación de una pieza. Esta tesis plantea que un adecuado desarrollo tecnológico puede ser la respuesta para optimizar el proceso de fabricación. Para poder ejemplificar esto se tiene que analizar la fabricación de una pieza bajo los diferentes procesos, esto es, tomando en cuenta la inversión necesaria, el costo de la fabricación misma y los beneficios en la producción.

Para este análisis se escogió el cuerpo de una válvula de bola con paso de media pulgada. El dibujo técnico de la pieza se encuentra en el anexo I. Como se puede ver, las características particulares de su figura, como su forma hexagonal y los diferentes diámetros internos, obligan a utilizar diversas herramientas y en varias operaciones. Estas son las que paso a paso encarecen un proceso.

En particular, el método de forja en frío es atractivo, ya que la maquinaria que necesita requiere de poca inversión. Este método no se suele utilizar en la fabricación de piezas como la escogida, por eso es interesante analizar si la aplicación del mismo es más conveniente que la aplicación de un método convencional.

La forma apropiada de hacer esto es a través de una comparación completa entre los diferentes métodos. Por esta razón es necesario definir un problema de producción que nos permita realizar el estudio.

Una empresa necesita producir 10,000 piezas como la detallada en el anexo 1, la materia prima es: acero 1018. Esta compañía utiliza únicamente el proceso de maquinado para la producción de las mismas y le interesa saber si por medio de otro método puede aumentar su producción o disminuir sus costos. También tiene interés en saber el costo de la inversión necesaria para llevar a cabo el cambio de procesos y la proyección a futuro de su productividad.

La primera parte de este análisis consta de la descripción de las operaciones necesarias para la fabricación de la pieza y del cálculo del tiempo que éstas toman.

En el proceso de maquinado después de la forja, se necesitan ocho pasos básicos para realizar la pieza. Los primeros cuatro se hacen sin cambiar a ésta de su posición en el torno. Después de la cuarta operación se voltea la pieza para realizar las cuatro operaciones restantes.

No	Descripción	Herramienta	Vel.corte pies/min.	R.P.M.	Avance pulg/rev	Longitud pulg	Rev.	Tpo. seg	Tpo.real seg
1	Refrentado	Buril 1	450	1194	0.012	0.22	18.33	0.92	3.07
2	Taladrado	Broca esc.	275	1051	0.008	1.37	71.25	9.78	32.6
3	Chaffán	Buril 2	450	1720	0.012	0.0156	1.3	0.045	0.15
4	Rosca	Machuelo1	100	382	0.083	0.38	4.58	0.72	2.40
5	Refrentado	Buril 1	450	1194	0.012	0.2825	23.54	1.18	3.93
6	Taladrado	Broca 1	275	1202	0.008	0.69	86.25	4.32	14.4
7	Chaffán	Buril 2	450	1194	0.012	0.095+0.031	10.5	0.53	1.77
8	Rosca	Machuelo 2	100	437	0.071	0.69	9.72	1.33	4.45

Total de Tpo. Real: 62.77 seg.
Costo de Mano de Obra: \$ 0.08

El *Machinery's Handbook*, recomienda que la velocidad de corte apropiada para el proceso de torneado, en este caso el refrentar y hacer los chaflanes, debe ser de 450 pies por minuto, trabajando con una herramienta de carburo y con un avance de 0.012 pulgadas por revolución. Para el caso del taladrado, nos recomienda que el avance adecuado para herramientas con diámetros entre 1/2 y 1 pulgada puede ser de 0.007 a 0.015 pulgadas por revolución y a una velocidad de corte de 275 pies por minuto, utilizando también una herramienta de carburo. En el cálculo se utiliza un avance de 0.008 pulgadas por revolución. Para hacer la cuerda el avance se obtiene a partir del número de hilos por pulgada que se haya escogido. En la cuarta operación se hace una rosca de 1 pul. con 12 hilos, por lo tanto el avance es de 1/12. En la octava operación se quiere una cuerda de 3/4 pul. con 14 hilos, por lo que el avance es de 1/14. Una vez con estos datos, podemos obtener el número de revoluciones por minuto substituyendo en la siguiente fórmula:

$$N = (12) V_c / (3.14) (D)$$

donde V_c = Velocidad de corte en pies por minuto.

D = Diámetro en pulgadas (Para el torneado es el diámetro externo de la pieza de trabajo y para el taladrado es el diámetro de la herramienta)

N = Revoluciones por minuto

Después de definir la longitud de corte dividimos entre el avance y obtenemos el número de revoluciones que toma cada operación. Estas a su vez se dividen entre las revoluciones por minuto para calcular el tiempo, el cual se multiplica por 60 para tener unidades en segundos. El tiempo real toma en cuenta las pérdidas no consideradas por los cálculos anteriores. De acuerdo a la Asociación de Fabricantes de Máquinas Herramientas de Estados Unidos, el tiempo obtenido equivale al treinta por ciento del tiempo real que toma la operación, por lo tanto es fácil conocer el dato.

La suma total de los tiempos reales nos da como resultado: 67.77 segundos. Lo cual equivale al tiempo que toma fabricar cada pieza. Si el sueldo de un obrero es de \$ 4.60 por hora, entonces el costo por mano de obra en el torno es de ocho centavos.

El proceso de maquinado a partir de barras laminadas involucra doce operaciones. Las primeras ocho se realizan sin cambios en la posición de la pieza. En el octavo paso se separa con una cuchilla, permitiendo así el posterior montaje ya en la nueva posición. Como se puede ver, los últimos pasos son casi iguales que los requeridos en el proceso anterior, la diferencia radica en que hay que devastar más volumen de material puesto que la materia prima utilizada es una barra sólida

No.	Descripción	Herramienta	Vel.corte pies/min.	R.P.M.	Avance pulg/rev	Longitud pulg	REV.	Tpo seg	Tpo real seg
1	Refrentado	Buril 1	450	1194	0.012	0.72	60	3.02	10.07
2	Centro broca	Broca 1	275	4204	0.008	0.25	31.25	0.45	1.5
3	Taladrado	Broca 2	275	2102	0.008	2.06	257.5	7.35	24.5
4	Taladrado	Broca 3	275	1401	0.008	1.26	157.5	6.75	22.5
5	Taladrado	Broca 4	275	1194	0.008	0.38	47.5	2.39	7.97
6	Chañán	Buril 2	450	1720	0.012	0.0156	1.3	0.05	0.15
7	Rosca	Machuelo 1	100	382	0.083	0.38	4.58	0.72	2.40
8	Corte	Cuchilla	350	929	0.008	0.72	90	5.81	19.37
9	Refrentado	Buril 1	450	1194	0.012	0.72	60	3.02	10.05
10	Taladrado	Broca 5	275	1401	0.008	0.69	86.25	3.69	12.3
11	Chañán	Buril 1	450	1194	0.012	0.126	10.5	0.53	1.76
12	Rosca	Machuelo 2	100	437	0.071	0.69	9.72	1.33	4.45

Total de Tpo. Real: 117.02 seg.
Costo de Mano de Obra. \$ 0.15

El procedimiento de cálculo es el mismo, pero es notable que hay un aumento en el número de operaciones necesarias y por lo tanto en el tiempo de fabricación. En este caso la suma de tiempos reales nos da 117.02 segundos. El costo por mano de obra correspondiente a este dato es de quince centavos.

Al analizar la fabricación de la pieza por el método de fundición nos damos cuenta que por su reducido tamaño no es factible utilizar un corazón en el colado, esto reduce los beneficios que pudiera tener este proceso puesto que las pérdidas de materia prima son altas, ya que el metal que queda en los canales de alimentación o en el centro de la pieza se pierde. En el caso de la forja en caliente sucede prácticamente lo mismo, por su tamaño la pieza no se puede moldear hueca, siendo el porcentaje de desperdicio de materia prima alto, aunque no tanto como en el caso de la fundición. De cualquier forma, las operaciones de maquinado son parecidas a las analizadas en la tabla anterior, e inclusive el número de pasos aumenta, ya que la forja en caliente y la fundición realizadas dejan una superficie de poca calidad.

Por otro lado, el Kg. de fundición cuesta al momento \$ 45 y el de forja en caliente cuesta \$35, sin tomar en cuenta que faltaría maquinar totalmente la pieza. Estos procesos, sin necesidad de cálculos y para este tamaño de pieza, pueden ser descartados.

Hasta el momento ya se cuenta con el costo por mano de obra de los procesos más interesantes para la manufactura de la pieza. El próximo paso es obtener el costo de la materia prima, para esto es necesario conocer el volumen total de la pieza terminada. Esto se logra restándole al volumen del hexágono, el volumen correspondiente a los huecos dentro del mismo.

De acuerdo al dibujo, entre caras el hexágono tiene 1.25 pul. y entre aristas la distancia es de 1.44 pul., por lo tanto, substituyendo en la siguientes fórmulas podemos obtener el área y volumen del cuerpo:

$$\text{Área} = 3 (b \times h)$$

donde $h = 1.25 / 2 = 0.625$ pul

$$b = 1.44 / 2 = 0.720$$
 pul

$$A = 3 (0.7217) (0.625) = 1.353$$
 pul²

$$\text{Volumen} = A \times L$$

donde $A = 1.353$ pul²

$$L = 2.063$$
 pul

$$V_{\text{hex}} = (1.353) (33 / 16) = 2.791$$
 pul³

Como los huecos en el cuerpo de la pieza son cilíndricos se calculan sus volúmenes:

$$A_1 = 3.14 D^2 / 4 = 3.14 (1) / 4 = 0.785 \text{ pul}^2$$

$$V_1 = A \times L = (0.785)(0.38) = 0.2983 \text{ pul}^3$$

$$A_2 = 3.14 D^2 / 4 = 3.14 (0.875)^2 / 4 = 0.601 \text{ pul}^2$$

$$V_2 = A \times L = (0.601)(0.88) = 0.529 \text{ pul}^3$$

$$A_3 = 3.14 D^2 / 4 = 3.14 (0.5)^2 / 4 = 0.196 \text{ pul}^2$$

$$V_3 = A \times L = (0.196)(0.11) = 0.022 \text{ pul}^3$$

$$A_4 = 3.14 D^2 / 4 = 3.14 (0.875)^2 / 4 = 0.601 \text{ pul}^2$$

$$V_4 = A \times L = (0.601)(0.69) = 0.42 \text{ pul}^3$$

$$V_{\text{pieza hueca}} = V_{\text{tcx}} - V_1 - V_2 - V_3 - V_4$$

$$V_{\text{pieza hueca}} = 2.791 - 0.2983 - 0.529 - 0.022 - 0.42 = 1.52 \text{ pul}^3$$

A partir de este dato se puede calcular que el volumen de metal desperdiciado corresponde al

$$V \% = 45.54 \%$$

Si el precio por kilo de la barra sólida hexagonal cuesta \$ 7.50 , y se sabe que un metro cúbico de acero de las mismas características pesa 7852 Kg. entonces

Peso de la materia prima = 0.36 Kg y por lo tanto

Costo de la materia prima = \$ 2.7

La suma del costo de la mano de obra junto con el costo de la materia prima nos da como resultado el costo total por pieza, por el proceso de maquinado a partir de materiales laminados.

Costo total por pieza = \$ 2.85

Quando se fabrica la pieza, a través de la forja en frío, primero se deforma el material en la prensa y al final se realizan operaciones de acabado. Para evitar que las matrices choquen, se diseñan las mismas, de tal forma que dejen una pequeña membrana entre las cavidades mayores. Por esta razón, se tiene que calcular de nuevo el volumen de la pieza
Ver anexo 2.

$$V_{\text{pieza forjada}} = V_{\text{flex}} - V_1 - V_2 - V_4$$

$$V_{\text{pieza forjada}} = 2.791 - 0.2983 - 0.529 - 0.42 = 1.544 \text{ pul}^3$$

A diferencia del caso anterior, el porcentaje de material desperdiciado es bastante bajo: $V_{\text{v}} = 0.8\%$. Si se sabe que el volumen de materia desplazada es de 1.247 pul^3 entonces el porcentaje de la misma es de 44.67% . Por lo general, no se debe deformar más del 20% del volumen de la pieza en un solo paso, por lo tanto en este caso se tendrá que considerar la aplicación de un tratamiento térmico intermedio. Para la fabricación de la pieza, partimos de una barra redonda de acero 1018 y de diámetro de 1.125 pulgadas. Se escoge un material cuyo diámetro asegure su fácil colocación en la matriz.

$$\text{Área del tocho a deformar} = (3.14)(1.266)/4 = 0.994 \text{ pul}^2$$

$$\text{Altura del tocho a deformar} = (1.494)/(0.994) = 1.50 \text{ pul}$$

Como se ve, el volumen de la pieza no se altera, entonces es fácil deducir que la altura de la materia prima disminuye, como se comprueba en el cálculo anterior. A partir de estos datos se puede obtener el peso y costo de la materia prima, si el precio de la misma es de \$ 3.40 Kg.

Peso de la Materia Prima = 0.19 Kg.

Costo de la Materia Prima = \$ 0.65

Y sumando el costo de la materia prima con el de mano de obra se obtiene el costo total por pieza bajo el proceso de forja en frío:

Costo Total de la Pieza = \$ 0.73

En este caso se incluirá en el cálculo de costos, los correspondientes al trabajo de la prensa hidráulica, ya que el análisis contempla la posibilidad de construir la máquina. Si se sabe que la prensa puede presionar a una velocidad de 40 pulgadas por minuto y la carrera libre del pistón que se necesita es de tres pulgadas, entonces se tiene lo necesario para calcular el tiempo que toma la prensa para su trabajo. Si el desplazamiento del pistón, tomando en cuenta la ida y vuelta del mismo es de 6 pul. y si la velocidad de la prensa es de 40 pul cada 60 segundos. entonces por regla de tres :

$$\text{Tiempo de prensado} = (6 \text{ pul.}) (60 \text{ seg}) / 40 \text{ pul.} = 360 / 40 = 9 \text{ s}$$

$$\text{Tiempo real de prensado} = 30 \text{ s}$$

$$\text{Tiempo total para forjar en frío} = 92.77 \text{ s} = 1.55 \text{ min}$$

$$\text{Costo total de la mano de obra} = (1.55) (.077) = \$ 0.12$$

$$\text{Costo total por pieza} = \$ 0.77 \text{ (incluyendo el prensado)}$$

Para diseñar la prensa hidráulica es necesario calcular cuál es la fuerza mínima que se debe aplicar para deformar el material, esto es, para alcanzar su punto de fluencia. Como se puede observar en la tabla 5, en el caso de un acero 1018, éste se alcanza con una presión aproximada de 40,000 lb/pul², por lo tanto podemos substituir:

$$F = P \times A$$

donde F = Fuerza en lb

P = Presión en lb/pul²

A = Área en pul²

$$F = (40,000) (1.36) = 54,400 \text{ lb}$$

Transformando a ton $F = (54,400) / (2.2) = 24,727 \text{ Kg} = 24.73 \text{ ton}$

Esta es la fuerza que debe aplicar el pistón, pero tomando en cuenta un factor de seguridad alto y dejando cierta flexibilidad de trabajo a la prensa, se ha decidido diseñar la máquina para 50 toneladas. Conociendo la fuerza de la prensa y escogiendo una presión de trabajo estándar, se puede calcular el diámetro del pistón:

Tenemos que $A = F / P$

donde $F = 50 \text{ ton} = 110,000 \text{ lb}$

$$P = 3000 \text{ lb/pul}^2$$

$$A = (110,000) / (3,000) = 36.67 \text{ pul}^2$$

$$A = 3.14 D^2 / 4$$

entonces $D = 6.83 \text{ pul}$ será el diámetro del pistón.

Para el cálculo anterior se puede escoger trabajar con presiones de 3000 lb/pul², 6000 lb/pul², 10,000 lb/pul², etc. Mientras más alta es la presión de trabajo, menor es el diámetro del pistón que necesitamos, aún así, en este caso se escoge trabajar a una presión de 3000 lb/pul², ya que el costo del equipo hidráulico necesario para manejar una presión más alta, supera lo ahorrado por la reducción de dimensiones en la prensa.

Si se sabe que el diámetro del punzón es de 0.875 pul entonces se puede calcular cuál es la fuerza transmitida a través de él.

$$\text{Área del punzón} = 3.14 (0.875)^2 / 4 = 0.60 \text{ pul}^2$$

$$P = F / A = (110,000) / (0.60) = 183,333 \text{ lb/pul}^2$$

Esta es la fuerza que se transmite del punzón a la materia prima y por consecuencia a las paredes del dado. El material para éste, es un acero AISI-1.6 con composición de Cromo-Níquel-Molibdeno y especial para dados de forja de muy alta tenacidad. Como la dureza es de 50 Rc, podemos conocer que la resistencia equivalente es de 255,000 lb/pul², como se puede ver, soporta la carga sin problema. Para calcular el espesor de las paredes, utilizamos la misma fórmula:

$$P = F / A = F / (b \times h)$$

despejando $b = F / (P \times h)$

$$b = 110,000 / (183,333 \times 2.06)$$

$$b \approx 0.29 \text{ pul}$$

El espesor de las paredes del dado debe tener al menos 0.30 pul, pero por seguridad la pared del dado tendrá un espesor de una pulgada. Este cálculo es muy importante puesto que es en el dado donde se produce la concentración de esfuerzos más alta. En este estudio se recomienda la fabricación de la prensa hidráulica capaz de realizar este trabajo. En su diseño se debe tomar en cuenta que su construcción ha de ser sencilla y su costo muy reducido, ya que es de extrema importancia mantener este costo bajo para no encarecer demasiado el proceso.

El espesor de la placa se obtiene despejando de la siguiente fórmula:

$$P = F / A$$

donde $A = \text{base} \times \text{altura}$

suponiendo que la base es de 5 pul y despejando la altura se tiene

$$\text{altura} = F / (\text{base} \cdot P) = 110,000 / (5 \cdot 40,000) = 0.55 \text{ pul}$$

donde la fuerza es la de la prensa y el esfuerzo es el del punto de fluencia del material.

Para la construcción de la prensa se recomienda que la placa que porta a la matriz tenga un espesor de una pulgada y un área superficial de 5 x 5 pul. El espesor mínimo al cual se deformaría la placa es de 0.55 pul., por lo tanto se tiene un alto factor de seguridad. Igualmente se calcula que la placa inmóvil inferior, la móvil superior y la inmóvil superior tengan el mismo espesor y un área superficial de 12 x 12 pul. Para asegurar la solidez de la base y la economía de su construcción se recomienda que sea de concreto con una altura de 30 pul. y un área superficial de 20 x 20 pul. Las barras que guían a las placas pueden ser de 1.25 pul. para asegurar que soporten las tensiones.

Para continuar con el estudio, se debe calcular el número de piezas producidas al año para cada proceso. Para esto, tomaremos como referencia que en cada día se trabajan dos turnos de ocho horas, que en cada semana se trabajan únicamente cinco días y que el año tiene 52 semanas.

La cantidad de horas de trabajo anuales se calcula al multiplicar los datos anteriores y es igual a 4160 y en segundos es igual a 14'976,000.

$$\text{Piezas por Año} = \text{Tiempo de Trabajo Anual} / \text{Tiempo de Manufactura}$$

para el caso de la forja en frío tenemos:

$$\text{Piezas por Año} = (14'976,000) / (92.77) = 161,431$$

$$\text{Costo de Materia Prima Anual} = 161,431 \cdot 0.65 = \$ 104,930.15$$

para el caso de maquinado de barra tenemos:

$$\text{Piezas por Año} = (14'976,000) / (117.02) = 127,978$$

$$\text{Costo de Materia Prima Anual} = 127,978 \cdot 2.69 = \$ 344,260.82$$

CONCLUSIONES

Conclusiones. Se logró demostrar que el proceso de forja en frío es el más conveniente para la fabricación de las piezas especificadas anteriormente. A través del análisis de costos que se realizó se demostró que la diferencia del costo de la pieza fabricada por medio del proceso de forja en frío puede ser hasta 3.6 veces más barata que la del proceso de maquinado. Aunque este dato no ha tomado en cuenta el costo del tratamiento térmico, esta es una diferencia notable que puede ser explotada por la pequeña industria para tener competitividad en el mercado. Por este proceso de análisis se pudo hacer una selección de entre varios métodos de transformación y a partir de esto se calcularon las especificaciones de la prensa y herramientas a utilizarse (Anexos 2 al 6), dejando así los parámetros que servirán de guía para el posterior diseño y fabricación de la prensa. Este es un ejemplo de que a través de un análisis simple se puede implementar la eficiencia productiva de la pequeña empresa.

Tabla 1. Velocidades de corte recomendadas para el torneado

Material (AISI and SAE Steels)	Hardness HB*	Material Condition†	Cutting Speed, fpm		
			HSS	Carbide	
Free Machining Plain Carbon Steels (Resulfurized), 1117, 1121, 1125	100-150	HR, A	150	600	
	150-200	CD	160	615	
	1108, 1109, 1115, 1117, 1118, 1119 1126, 1127	HR, A	150	500	
	150-200	CD	170	515	
1137, 1137, 1139, 1140, 1146, 1148, 1151	175-225	HR, A, N, CD	120	450	
	225-275	Q and T	75	300	
	275-325	Q and T	50	225	
	325-475	Q and T	40	100	
Free Machining Plain Carbon Steels (Lead), 1117, 1118, 1119, 1121, 1124	100-150	HR, A, N, CD	140	550	
	150-200	HR, A, N, CD	145	560	
	200-250	N, CD	110	400	
Plain Carbon Steels, 1006, 1008, 1009, 1010, 1012, 1013, 1016, 1017, 1018, 1019, 1020, 1021, 1022, 1023, 1024, 1025, 1026, 1027, 1028	100-125	HR, A, N, CD	110	450	
	125-175	HR, A, N, CD	110	400	
	175-225	HR, N, CD	90	350	
	225-275	CD	70	300	
	1027, 1030, 1033, 1035, 1036, 1037, 1038, 1039, 1040, 1041, 1042, 1043, 1045, 1046, 1048, 1049, 1050, 1051, 1052, 1056, 1057, 1058	125-175	HR, A, N, CD	100	375
		175-225	HR, A, N, CD	85	325
		225-275	N, CD, Q and T	70	275
		275-325	Q and T	60	200
		325-375	Q and T	40	160
		375-475	Q and T	30	140
	1055, 1062, 1064, 1065, 1070, 1072, 1078, 1082, 1084, 1086, 1090, 1095, 1128, 1152, 1152, 1161, 1166	125-175	HR, A, N, CD	100	370
		175-225	HR, A, N, CD	80	310
225-275		N, CD, Q and T	65	270	
275-325		Q and T	50	180	
325-375		Q and T	35	150	
375-475		Q and T	30	130	
Free Machining Alloy Steels (Resulfurized), 4140, 4150	175-200	HR, A, N, CD	110	400	
	200-250	HR, N, CD	90	350	
	250-300	Q and T	65	300	
	300-375	Q and T	50	225	
375-475	Q and T	40	165		
Free Machining Alloy Steels (Lead), 4140, 4140, 4140, 4147, 4150, 4147, 4150, 4150, 4150, 8620, 8620	150-200	HR, A, N, CD	110	430	
	200-250	HR, N, CD	100	380	
	250-300	Q and T	75	325	
	300-375	Q and T	55	270	
375-475	Q and T	50	200		
Alloy Steels, 4012, 4013, 4014, 4016, 4118, 4320, 4419, 4422, 4427, 4615, 4620, 4621, 4626, 4718, 4720, 4815, 4817, 4820, 5015, 5117, 5120, 6118, 8115, 8615, 8617, 8618, 8622, 8625, 8627, 8720, 8822, 92B17	125-175	HR, A, N, CD	100	400	
	175-225	HR, N, CD	90	350	
	225-275	CD, N, Q and T	70	300	
	275-325	Q and T	60	250	
	325-375	Q and T	50	200	
	375-475	Q and T	35	175	

Tabla 2. Velocidades de corte recomendadas para el taladrado:

Material AISI and SAE Steels	Hardness HR*	Material Condition*	Cutting Speed, fpm		
			Drilling		Reaming
			HSS	HSS	
Alloy Steels, 1310, 1315, 1320, 1345, 4037, 4037, 4037, 4047, 4110, 4135, 4137, 4140, 4142, 4145, 4147, 4150, 4150, 4152, 4150, 50B11, 50B46, 50B10, 50B69, 5110, 5112, 5140, 5145, 5147, 5150, 5160, 51B40, 6150, 81B45, 8610, 8615, 8617, 8640, 8647, 8645, 8650, 8655, 8660, 8710, 9214, 9255, 9260, 9267, 92B30	175-225 175-225 175-225 175-225 175-225	HR, A, N, CD N, CD, Q and T N, Q and T N, Q and T Q and T	75 60 45 10 10	50 10 10 15 15	100 125 150 100 60
Alloy Steels, E41100, E42100	175-225 175-225 175-225 315-425	HR, A, CD N, CD, Q and T N, Q and T N, Q and T Q and T	60 50 15 10 10	10 10 25 20 10	100 125 100 50 50
Ultra High Strength Steels (Not AISI), AMS6414, AMS6411 (90B) 37 Mod. 1, AMS6411 (90B) V101, AMS6417, AMS6418, AMS6430, AMS6431, AMS6431, AMS6434, AMS6436, AMS6437, 100M, 106Ac	110-100 100-150 150-100	A N N	10 15 10	10 20 10	150 125 90
Maraging Steels (Not AISI) 18% Nickel Grade 200 18% Nickel Grade 240 18% Nickel Grade 300 19% Nickel Grade 350	250-225	A	10	10	125
Nitriding Steels Nitalloy 125 Nitalloy 135 Nitalloy 135 (Mod.) Nitalloy 125 Nitalloy 130 Nitalloy N Nitalloy EZ Nitrex 1	100-250 150-100	A N, Q and T	60 15	40 20	125 125

Tabla 3. Aceros para herramientas:

ACEROS GRADO HERRAMIENTA						
CALIDAD FORTUNA	* ANALISIS BASICO MEDIO	TRATAMIENTO TERMICO TEMPLE	RECOCIDO	** DUREZAS USUALES	EQUIV. AISI PROX	CARACTERISTICAS
MoG 51C-V	.35% S, 1.0% Cr, 1.30% Mn, 1.0% V	1000 - 1040 °C aceite - aire	845 - 900 °C	36 - 47 Rc	H 13	Aceero al Cromo-Molibdeno vanadio para trabajo en caliente muy alto contra continuos choques termicos.
MoG 511	.35 %C., 5.10 % Cr, 1.50% Mo, 1.30% W	995 - 1025 °C aceite - aire	845 - 900 °C	30 - 48 Rc	H 12	Aceero al Cromo-Molibdeno-Tungsteno para trabajo en caliente especialmente para de forja y herramienta para prensas de emulsion.
NG 2 Suora	.70% C., .75 % Cr, 1.50% N	790 - 845 °C aceite - aire	760 - 790 °C	38 - 50 Rc	L 6	Aceero al Cromo-Niquel-Molibdeno, para trabajo en caliente para aros de forja de muy alta tenacidad.
EWX 40M	0.10% C máx., 4.50% Cr, .70% Mo	970 - 995 °C cementado templado - aceite	870 - 900 °C	60 - 64 Rc	P 4	Huertera HOBBSING RON al Cr-Mo y boro C, para clavado prof. para ind. de plásticos (Puede ser garantizado).
W 11 Plata	1.10% C	760 - 845 °C agua	760 - 790 °C	56 - 65 Rc	W 1	Aceero Plata al Carbono temple al agua
O1 Plata	.90%, 1.00 Mn, .50% Cr., .50% W	790 - 815 °C aceite	760 - 790 °C	58 - 64 Rc	O 1	Aceero plata aceado temple al aceite

*** IMPORTANTE:**
En la fabricación de herramientas ó partes mecánicas, es recomendable diseñarlas evitando:
ANGULOS SIN RADIO, PERFORACIONES SIN SALIDA, PERFORACIONES JUNTAS CON PARED,
MENOR AL DIAMETRO DEL BARRENO, CAMBIOS DE SECCION Y MARCAS DE NUMEROS O LETRAS DE GOLPE.

* Estos aceros pueden variar dentro de la NORMA.
** La dureza debe ser elegida de acuerdo de acuerdo con el tipo de trabajo en que se aplique la herramienta

Tabla 4. Relación entre dureza Rockwell y resistencia a la tensión:

RELACIONES APROXIMADAS ENTRE DUREZAS ROCKWELL C, B, BRINELL Y VICKERS CON LA RESISTENCIA A LA TENSION							
D U R E Z A				RESISTENCIA A LA TENSION			
ROCKWELL		BRINELL	VICKERS	MPa	KG FUE 2	Libras por Pulgada ² x.1000	TONELADAS por Pulgada ²
150 kg. Diamante C	100 kg. bola de 1/16 B	500 kg. NUMERO	100 kg. Diamante NUMERO				
90			(2.40)	97			
99			67.4	2420.0	248.7	551	157.9
98			66.3	2330.4	236.6	534	152.2
17			(2.50)	333	2740.7	227.8	175
56			61.2	2158.0	219.1	113	143.6
55			59.6	2078.3	210.7	101	135.4
54			(2.60)	377	2013.2	204.4	292
53			60.0	500	1951.2	196.1	283
52		(500)	(2.70)	544	1882.2	191.1	273
31		(487)	(2.80)	578	1820.2	184.8	264
50		(479)	(2.80)	512	1758.1	178.5	256
49		(464)	(2.80)	496	1696.1	172.2	246
48		(451)	(2.90)	484	1640.9	166.6	234
47		442	(2.90)	471	1578.8	160.3	229
46		432	(2.90)	464	1523.7	154.7	221
45			(3.00)	460	1462.3	150.5	215
44		409		434	1411.1	146.6	208
43		400		423	1365.8	140.7	201
42		390	(3.10)	412	1317.5	136.6	194
41		381		402	1276.2	131.6	188
40		371		392	1234.8	127.4	182
39		362	(3.20)	382	1220.3	123.6	177
38		353		372	1179.0	119.7	171
37		344	(3.30)	363	1144.5	116.2	166
36	(109 D)	334		354	1110.0	112.7	161
35	(108 S)	327		345	1082.4	109.9	157
34	(108 D)	319	(3.40)	336	1054.8	107.1	153

LOS VALORES ENTRE PARENTESIS SE ADOPTAN SOLO PARA COMPARACION.

Tabla 5. Propiedades mecánicas de aceros normalizados y recocidos.

CARBONO, PORCENTAJE	PUNTO DE CEDENCIA, 1000 LB/PULG.	RESISTENCIA TENSIL, 1000 LB/PULG.	ELONGACION, PORCENTAJE EN 2 PULG.	REDUCCION EN AREA, %	BHN
Normalizado lento templado en agua					
0.01	26	45	45	71	90
0.20	45	64	35	60	120
0.40	51	85	27	43	165
0.60	60	109	19	26	220
0.80	70	134	13	16	260
1.00	100	152	7	11	295
1.20	100	153	3	6	315
1.40	96	148	1	3	300
Recocido					
0.01	18	41	47	71	90
0.20	36	58	37	64	115
0.40	44	75	30	48	146
0.60	49	98	23	33	190
0.80	52	115	15	22	220
1.00	52	108	22	26	195
1.20	51	102	24	39	200
1.40	50	96	19	25	215

BIBLIOGRAFÍA

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Kurchatkin V.V., Manual del forjador- Soldador con soplete, Traducción en español. Editorial Mir. Moscú. 1983.

Malishev A., Nikolaiev G., Shuvalou Yu., Tecnología de los metales, Traducción al español. Editorial n. Moscú. 1979.

Pisarenko G.S., Yákovlev A.P., Matvéev V.V., Manual de resistencia de materiales, Traducción en español. Editorial Mir. Moscú. 1979.

Linchevski B., Sobolevski A., Kalmenev A., Metalurgia de metales no ferrosos, Traducción al español. Editorial Mir. Moscú. 1983.

Elenev S.A., Estampado en frío, Traducido al español. Editorial Mir. Moscú. 1983.

Avner, Introducción a la metalurgia física, Mc Graw Hill. Impreso en México. 1988.

Oberg Erik, Franklin D. Jones, Holbrook L. Horton, Machinery's Handbook, Industrial press Inc. N.Y. 1979.

Koninek J. de, Gutter D., Manual del técnico matricero, José Montesú
Editor Barcelona 1968.

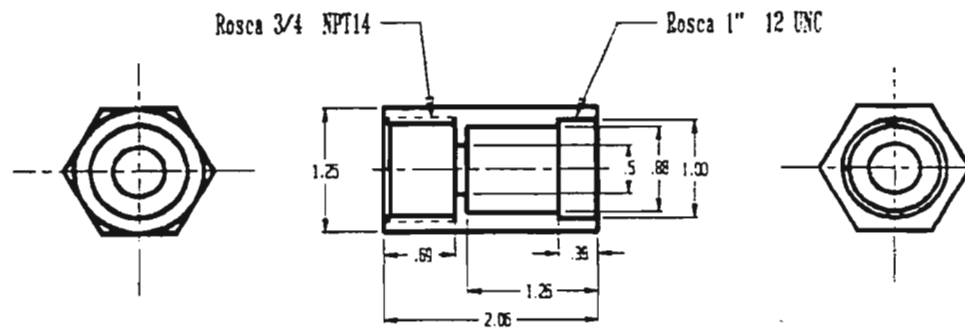
Feirer John, Maquinado de metales con máquinas herramientas,
compañía Editorial Continental S. A. de C.V. México 1944.

Anderson, Teoría del trabajo, Escuela de trabajo de Henry Ford, Ediciones G.
Gili S. A. de C. V. México. 1994.

Metals Handbook, novena edición. Forging and Forming, Asm. International.
USA. 1988.

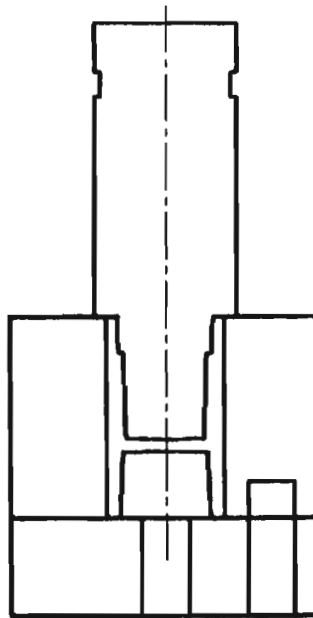
ANEXOS

Anexo 1



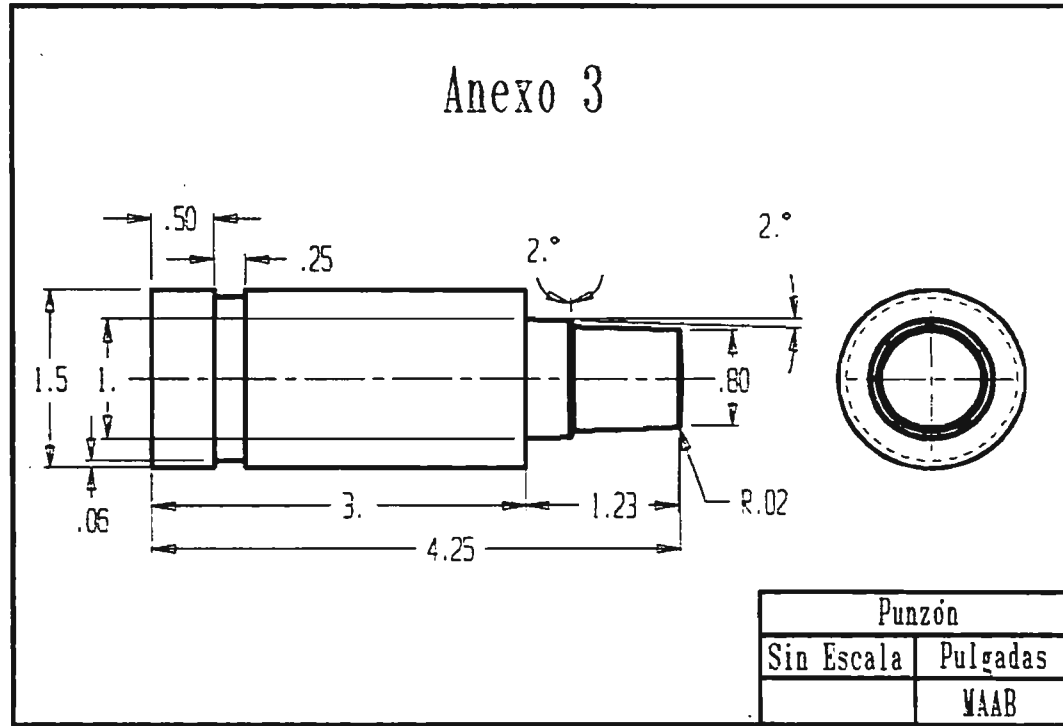
Cuerpo Para Valvula	
Pulgadas	Sin Escala
	MAAB

Anexo 2

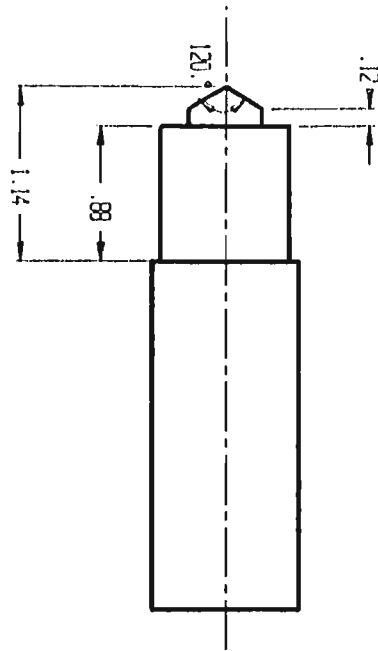


Juego de Punzón y Dado	
Pulgadas	Sin Escala
	MAAD

Anexo 3



Anexo 4

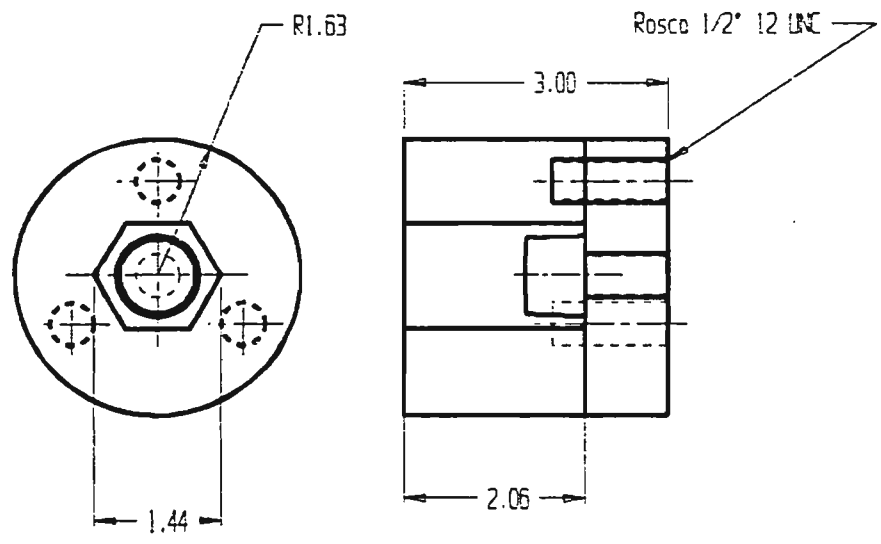


Broca Escalonada

Pulgadas

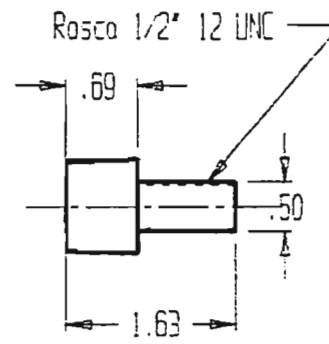
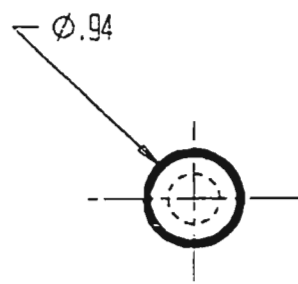
Sin Escala
MAAB

Anexo 5



Dado		
Pulgadas	Sin Escala	VAAB

Anexo 6



Punzon Inferior	
Pulgadas	Sin Escala
	AAAB