



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y FABRICACION DE MATRICES DE FORJA  
PARA USO DIDACTICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N :  
RAUL GARCIA MARTINEZ  
JOSE ANTONIO CHAVARRIA SALDIVAR

DIRECTOR DE TESIS: ING. UBALDO E. MARQUEZ AMADOR



MEXICO, D. F.

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

# I N D I C E

## CAPITULO I INTRODUCCION

I.1	Introducción.	1
I.2	Objetivo.	2

## CAPITULO II PROCESOS DE CONFORMADO

II.1	Introducción.	3
II.2	Procesos de Manufactura.	3
II.3	Teoría de la Deformación Plástica.	6
II.4	Deformación Plástica por Deslizamiento de Planos Atómicos por Dislocaciones.	7
II.5	La Deformación Plástica por Maclaje.	7
II.6	Sistemas de Deslizamiento.	9
II.7	Efecto de la Deformación Plástica.	12
II.8	Trabajo en Frío.	14
II.9	Trabajo en Caliente.	16
II.10	Descripción de los Procesos.	18
II.10.1	Procesos con Arranque de Viruta.	18
II.10.2	Procesos sin Arranque de Viruta.	24

## CAPITULO III FORJA

III.1	Definición.	35
III.2	Clasificación General de Forja.	37
III.3	Forja Libre.	38
III.4	Forja Cerrada.	40

III.5	Equipo Principal Usado en la Industria de la Forja.	44
III.5 A-1	Prensas de Husillo.	45
III.5 A-2	Prensas Mecánicas.	47
III.5 A-3	Prensas de Cuña.	47
III.5 A-4	Prensa de Rodillera.	48
III.5 A-5	Prensas Hidráulicas.	49
III.5 B-1	Martillos de Caída Libre.	50
III.5 B-2	Martillos de Doble Efecto.	53
III.5 B-3	Martillos de Contragolpe.	54
III.5 C-1	Marteladoras Horizontales.	55
III.5 C-2	Marteladoras Verticales.	56
III.6	Materiales que Pueden Ser forjados.	57
III.7	Materiales para Dados o Matrices de Forja.	65
III.8	Teoría de Forja.	73
III.9	Recalcado de un Cilindro.	76
III.10	Forja Cerrada.	81

#### CAPITULO IV DISEÑO DE LA MATRIZ

IV.1	Introducción.	86
IV.2	Diseño de la Matriz.	88
IV.3	Consideraciones Importantes Para El Diseño De La Cavidad De La Matriz.	89
IV.4	Geometría De La Pieza a Forjar.	92
IV.5	Consideraciones Del Material a Forjar.	94
IV.6	Características Del Equipo.	95

IV.7	Especificaciones De La Prensa.	95
IV.8	Establecimiento De La Operación De Forja.	96
IV.9	Dimensiones Del Material De Partida.	98
IV.10	Extracción De la Pieza.	99
IV.11	Selección Del Material Para Las Matrices.	101
IV.12	Características De las Piezas Que Conforman El Arreglo De Forja.	103
IV.13	Cálculo De La Fuerza.	113
IV.14	Sujeción De Las Matrices En La Prensa.	123
IV.15	Dimensionamiento De La Matriz A Partir De La Pieza.	125
IV.16	Guías.	130
IV.17	Tolerancias.	131

#### CAPITULO V FABRICACION

V.1	Introducción.	134
V.2	Equipo y Herramental.	135
V.3	Rutas De Trabajo.	141
V.4	Memoria De Cálculo.	145

#### CAPITULO VI PRUEBAS Y RESULTADOS

VI.1	Pruebas Con Plomo.	160
VI.2	Pruebas Con Variación De Velocidad De Aplicación De La Carga.	164
VI.3	Pruebas Con Variación De Temperatura.	174
VI.4	Pruebas Con Aluminio.	174

**CAPITULO VII**

**CONCLUSIONES.**

**183**

**BIBLIOGRAFIA.**

**186**

# C A P I T U L O I

## I N T R O D U C C I O N

### I.1 INTRODUCCION.

El proceso de conformado de metales más antiguo es el control de la deformación bajo presión; o sea, el forjado. Los hombres primitivos con calor y aún sin él trabajaron con yunque y martillo para formar herramientas, armas y otros objetos. La forja o forjado actual es una amplia tecnología de conformado de metales. Por un lado, aún se parece al arte antiguo y por el otro requiere de los más altos niveles de ingenio del hombre. Conforme los productos y las piezas forjadas han ocupado su lugar en la manufactura, se han encontrado nuevos metales y han sido desarrolladas nuevas aleaciones para estas aplicaciones y se han inventado nuevos procesos o mejorado los anteriores, así como nueva maquinaria.

Este material se presenta desde el punto de vista del ingeniero que quiere entender el proceso de forjado en matrices, su ubicación dentro de los procesos de conformado de materiales, clasificación, equipo usado, los materiales que se forjan y del diseño de matrices o estampas.

En la parte de diseño de las matrices se describe como se fué resolviendo la problemática que presenta el dimensionamiento, la forma de la cavidad, tolerancias y los materiales de que son construidas.

En cuanto a la fabricación de las matrices se presenta en forma detallada cuales son las máquinas y herramientas empleadas para la elaboración de cada elemento que constituye el arreglo, así como la secuencia de trabajo para su conformación. Además se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas para obtener una pieza específica por forjado en matriz cerrada sin rebaba.

## 1.2 OBJETIVO.

El objetivo de este trabajo es el estudio del proceso de forjado, la evaluación de los efectos causados por la velocidad de aplicación de la carga, la temperatura y hacer del conocimiento del estudiante de ingeniería de una forma práctica, las características de diseño y fabricación que deben contemplarse para hacer matrices o estampas de forja, sobre todo de matrices para forja cerrada.



## CAPITULO 11

### PROCESOS DE CONFORMADO

#### 11.1 INTRODUCCION.

La mayoría de las piezas metálicas ,en algún momento de su fabricación han estado sometidas por lo menos a una operación de conformado de metales y con frecuencia se requiere más de una operación diferente. Así, el acero que se utiliza en la fabricación de tubos para hacer sillas de oficina primeramente se forja, se lamina en caliente varias veces, se lamina en frío hasta transformarlo en chapa, se corta en tiras, se le da en frío la forma tubular, se suelda y, a veces, también se estira en frío. Sería en gran parte innecesario el conformado de metales si éstos se pudiesen fundir conservando buenas propiedades mecánicas, y obtener la amplia variedad de formas y tamaños exigidos por la industria moderna, lo cual no es posible en todos los metales.

#### 11.2 PROCESOS DE MANUFACTURA

Un proceso de manufactura se define como una serie de operaciones para transformar un material o materia prima en un producto, mediante el empleo de máquinas herramientas, hombres y equipo.

Los procesos de manufactura deben realizarse en la maquinaria adecuada considerando la capacidad de producción así como materiales, costos, mano de obra, equipo, etc.

Los procesos de manufactura se pueden clasificar en:

- Procesos de manufactura con arranque de viruta
- Procesos de manufactura sin arranque de viruta

**Procesos de manufactura con arranque de viruta:** Es la acción tradicional de una herramienta de corte en la que el metal se desprende en forma de viruta dando una forma determinada. Estos procesos se efectúan en máquinas herramientas, que generalmente disponen de varias unidades motrices para provocar los movimientos necesarios en la herramienta y/o la pieza. Estos movimientos generalmente son de tipo rotatorio y reciprocante.

**Procesos de manufactura sin arranque de viruta:** Por este proceso, la forma original del material se pierde modificándose por deformación plástica o fundición hasta alcanzar la forma geométrica deseada.

En ocasiones por este proceso, las piezas trabajadas obtienen su acabado comercial, por ejemplo, en el laminado en frío y estirado de alambre. Otras veces, sin embargo, ni el acabado ni las dimensiones son satisfactorias y por tanto las partes previamente formadas requieren de un trabajo adicional.

Entre los procesos con arranque de viruta, por acción tradicional de una herramienta podemos mencionar:

- 1.- Fresado
- 2.- Torneado
- 3.- Escariado
- 4.- Aserrado
- 5.- Brochado
- 6.- Taladrado
- 7.- Mandrilado
- 8.- Cepillado
- 9.- Rectificado

De los procesos de manufactura sin arranque de viruta podemos nombrar:

- 1.- Forja
- 2.- Fundición
- 3.- Extrusión
- 4.- Laminado
- 5.- Embutido
- 6.- Doblado
- 7.- Cizallado
- 8.- Rechazado
- 9.- Punzonado
- 10.- Estirado
- 11.- Metalurgia de polvos

### 11.3 TEORIA DE LA DEFORMACION PLASTICA

Cuando a un material se le aplica un esfuerzo por debajo de su límite elástico, la deformación resultante es temporal. La supresión del esfuerzo da como resultado un retorno gradual del objeto a sus dimensiones originales. Si a este material se le aplica un esfuerzo por arriba de su límite elástico, tiene lugar una deformación plástica o permanente, y no regresará a su forma original por la sola aplicación de una fuerza.

La característica más relevante en comparación con otros materiales, es que los metales tienen la posibilidad de sufrir deformación plástica y algunos en grandes cantidades. Todas las operaciones de formado, como son: troquelado, prensado, laminado, rolado, forjado, estirado, extrusión, etc., se relacionan con la deformación plástica. También operaciones de maquinado como fresado, torneado, corte por sierra, punzonado, etc., se relacionan con ésta.

El comportamiento de un metal cuando se deforma plásticamente y el mecanismo mediante el cual ocurre son de interés esencial para perfeccionar la operación de trabajo.

La deformación plástica puede tener lugar por los siguientes mecanismos: por el deslizamiento de planos atómicos por dislocaciones, por maclaje o una combinación de éstos.

#### II.4 Deformación plástica por deslizamiento de planos atómicos por dislocaciones.

Los metales están generalmente formados por granos, o sea por cristales con distinta orientación cristalina, suponiendo, para mayor sencillez, que el metal está compuesto de una red cristalina única y uniforme, la deformación por deslizamiento de un metal monocristal sometido a una tensión, consiste en el deslizamiento de un fragmento de cristal sobre otro, siguiendo unos planos cristalográficos que se denominan bandas de deslizamiento; esto es, por el movimiento de una capa de átomos sobre otra, por medio de dislocaciones.

El deslizamiento ocurre en direcciones en que los átomos están más densamente empaquetados; ya que éstos requieren la mínima energía. Existe un esfuerzo cortante mínimo requerido para romper diferentes enlaces metálicos a fin de que ocurra el deslizamiento. Cuando este deslizamiento ocurre ocasiona que el metal se deforme y es llamado esfuerzo cortante crítico. Si los planos de deslizamiento son paralelos o perpendiculares a la dirección del esfuerzo aplicado no puede haber deslizamiento y el material se deforma por maclaje o se fractura.

#### II.5 La deformación plástica por maclaje.

En la deformación plástica por deslizamiento, la estructura cristalina del monocristal deformado queda perfectamente regular; pero cuando la deformación tiene lugar por maclas, bloques enteros de átomos se trasladan con respecto a otro bloque

separado por el plano de maclaje a distancias que no son múltiplos del espaciado atómico.

El maclaje es raro en metales con estructura cúbica de cara centrada, pero es frecuente en los metales que cristalizan en el sistema hexagonal, como el zinc, cadmio y magnesio. El maclaje en general va seguido de un deslizamiento.

La diferencia esencial entre el deslizamiento y el maclaje es que en el primero, cada átomo en un lado del plano de deslizamiento se mueve a una distancia constante, mientras que en el maclaje el movimiento es proporcional a la distancia.

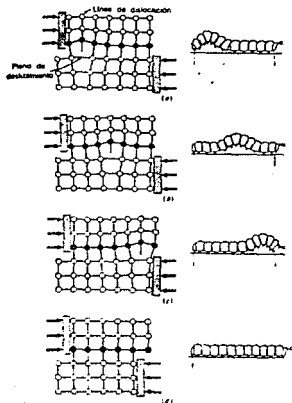


Fig. II.1 Desliz. de dislocación.

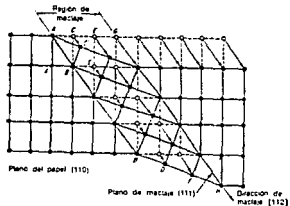


Fig. II.2 Maclaje.

## II.6 SISTEMAS DE DESLIZAMIENTO

Un plano de deslizamiento y la dirección de deslizamiento, que está contenida en él, constituyen un sistema de deslizamiento. La dirección de deslizamiento es siempre la de más denso empaquetamiento atómico en el plano de deslizamiento y el factor más importante en el sistema de deslizamiento.

El plano de deslizamiento más favorable puede no ser paralelo a la recta de acción de la fuerza aplicada. La deformación puede estar acompañada por un deslizamiento y una rotación de los planos atómicos en la medida en que éstos se alineen en la dirección de la fuerza aplicada.

En materiales con estructura cúbica de cara centrada hay cuatro conjuntos de planos (111) y tres direcciones de empaquetamiento [110] en cada plano, que hacen un total de doce sistemas posibles de deslizamiento. Estos sistemas de deslizamiento están distribuidos en el espacio; por lo tanto el cristal cúbico a cara centrada presenta un plano (111) al menos en una posición favorable para el deslizamiento y el esfuerzo cortante necesario para el deslizamiento es bajo.

Metales con estructura cristalina hexagonal compacta tienen un plano de alta población atómica; el (0001) y tres [1120] direcciones de empaquetamiento. Esta estructura no tiene tantos planos de deslizamiento como la cúbica a cara centrada y el esfuerzo crítico es mayor. El sistema de deslizamiento es limitado, la deformación por maclas ayuda a colocar más sistemas de deslizamiento en posición adecuada, con lo cual es posible que se aproxime su plasticidad a aquella de la estructura cúbica de

cara centrada y sobrepase la de los metales con estructura cúbica de cuerpo centrado.

En los metales de estructura cristalina cúbica de cuerpo centrado se tienen menos átomos por celda unitaria, no poseen un sistema de deslizamiento bien definido ni tienen un plano realmente compacto.

Los estudios han indicado que cualquier plano que tenga una dirección de empaquetamiento compacto [ 111 ] puede actuar como un plano de deslizamiento y si falta un plano compacto es difícil el deslizamiento y se tiene un esfuerzo grande.

Los distintos tipos de red cristalina tienen diferentes números de planos de deslizamiento o sistemas de deslizamiento. Por ejemplo, la red hexagonal compacta tiene tres, la red cúbica de cara centrada tiene doce, y la red cúbica de cuerpo centrado tiene hasta 48 sistemas posibles de deslizamiento. ( Ver tabla No. 1 ).



### Sistemas de deslizamiento en varios cristales

Estructura	Plano de deslizamiento	Dirección de deslizamiento	Cantidad de sist. de deslizamiento
<b>CCaC</b>			
Cu,Al,Ni,	( 111 )	[ 110 ]	4 * 3 = 12
Pb,Au,Ag,			
Fe			
<b>CCoC</b>			
Fe,W,Mo,	( 110 )	[ 111 ]	6 * 2 = 12
Fe,Na,W,			
Mo	( 211 )	[ 111 ]	12 * 1 = 12
Fe,K	( 321 )	[ 111 ]	24 * 1 = 24
<b>HEC</b>			
Cd,Zn,Mg,			
Ti,Be,...	( 0001 )	[ 1120 ]	1 * 3 = 3
Ti	( 1010 )	[ 1120 ]	3 * 1 = 3
Ti,Mg	( 1011 )	[ 1120 ]	6 * 1 = 6

Tabla No. 1 Sistemas de deslizamiento de algunos cristales.

( CCaC = cúbica a cara centrada; CCoC=cúbica de cuerpo centrado; HEC = hexagonal compacta ).

## II.7 EFECTO DE LA DEFORMACION PLASTICA

El endurecimiento de trabajo o endurecimiento de deformación surge del incremento continuo de la densidad de dislocaciones por la deformación plástica.

La deformación plástica de un sistema metálico incrementa los esfuerzos internos generados por la densidad de dislocaciones dentro del material, lo que produce cambios en las propiedades mecánicas (esto es, en la resistencia y la ductilidad) y en las propiedades físicas (o sea, en la conductividad eléctrica y en la permeabilidad magnética).

Cuando un cristal se deforma, hay alguna distorsión de la estructura reticular. La deformación es mayor sobre los planos de deslizamiento y fronteras de grano aumentando a mayor deformación, esto significa un incremento de resistencia para la deformación posterior; el material sufre endurecimiento por deformación o por trabajo. Uno de los aspectos notorios en la deformación plástica es que el esfuerzo necesario para iniciar el deslizamiento es menor que el requerido para continuar la deformación en planos subsecuentes.

Independientemente de la deformación de la estructura reticular, el apilamiento de dislocaciones contra obstáculos (fronteras de grano) y la interacción de dislocaciones en los planos de deslizamiento que se cortan incrementan la resistencia a posteriores deformaciones. ( Ver figura II.3 ).

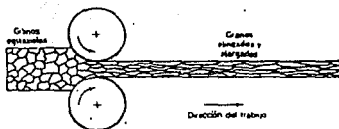


Fig.II.3 Representación esquemática del efecto de la deformación plástica de un material laminado en frío. Obsérvese el cambio en la forma de los granos.

Cuando las dislocaciones empiezan a moverse, sus extremos permanecen ligados a otras partes de la red o a otros defectos. Como la facilidad con que una dislocación se mueve de un lado a otro del plano de deslizamiento es indicación de la ductilidad del material, sugiere que los materiales pueden hacerse más duros si se colocan varios obstáculos en el camino de las dislocaciones. Como las dislocaciones se apilan en las fronteras de grano, los metales pueden, de alguna manera, ser endurecidos también reduciendo el tamaño de grano.

## II.8 TRABAJO EN FRIO

Cuando los metales son deformados plásticamente debajo de la temperatura de recristalización, el proceso se denomina trabajo en frío. Como el trabajo en frío tiene lugar debajo de la temperatura de recristalización, éste produce endurecimiento por deformación. Cuando el material se trabaja en frío, los cambios resultantes en su configuración le proporcionan cambios notables en la estructura del grano. Los cambios estructurales que tienen lugar, son la fragmentación del grano, movimiento de los átomos y distorsión de la red cristalina generando anisotropía en las propiedades. ( Ver fig.II.4 ).

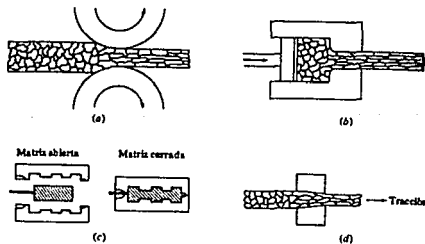


Fig. II.4 Operaciones de trabajo en frío.  
a) Laminado; b) Extrusión; c) Forja;  
d) Estirado.

Es útil mencionar los efectos que causa la temperatura en materiales trabajados en frío, podemos decir que existen tres regiones, en orden de temperatura ascendente, recuperación, recristalización y crecimiento de grano.

**Recuperación:** Las dislocaciones se trasladan a posiciones de menor energía, dando lugar a límites de subgranos en los granos antiguos; este proceso se conoce como "poligonización", la dureza y resistencia no cambian radicalmente durante este período, pero la resistencia a la corrosión mejora.

**Recristalización:** La formación de nuevos cristales libres de esfuerzos y equiaxiales conduce a una menor resistencia y a una mayor ductilidad, existe una relación interesante entre la cantidad de trabajo en frío previo y el tamaño de grano del material recristalizado. Con una menor cantidad de trabajo en frío se presentan menos núcleos para los nuevos granos, y el tamaño de grano resultante es mayor.

**Crecimiento de grano:** A medida que la temperatura se eleva aún más, los granos continúan su crecimiento. Esto es debido a que los granos grandes poseen una menor área superficial por unidad de volumen. Se presentan menos átomos que abandonan la frontera de la unidad de grano, que en un grano pequeño, y los granos más grandes crecen a costa de los más pequeños.

## II.9 TRABAJO EN CALIENTE

Cuando los metales son deformados plásticamente por encima de la temperatura de recristalización el proceso se denomina trabajo en caliente. Cuando un material se deforma plásticamente a una temperatura elevada, dos efectos tienen lugar al mismo tiempo: uno de endurecimiento debido a la deformación plástica, y otro de reblandecimiento debido a la recristalización.

Durante todas las operaciones de trabajo en caliente, el metal está en estado plástico y se forma rápidamente por presión.

Además el trabajo en caliente tiene las siguientes ventajas:

a) Elimina considerablemente la porosidad del metal. La mayoría de los lingotes al ser colados, contienen muchos poros. Estos son comprimidos y eliminados por la alta presión.

b) Las impurezas en forma de inclusiones, son descompuestas y distribuidas a través del metal.

c) Los granos bastos, se hacen más finos ya que este trabajo se hace en la escala de recristalización, deberá prolongarse hasta que se alcance el límite inferior, para conseguir una estructura fina del grano.

d) Generalmente mejoran las propiedades físicas de acuerdo con el refinamiento de grano principalmente. La ductilidad y la

resistencia al impacto son mejoradas, la resistencia es incrementada y se desarrolla mayor homogeneidad en el metal.

e) La cantidad de energía necesaria para cambiar la forma del acero en estado plástico, es mucho menor que la requerida cuando está frío.

Todos los procesos de trabajo en caliente, presentan unas cuantas desventajas que no deben ser ignoradas. Como consecuencia de la alta temperatura del metal, se tiene una rápida oxidación o formación de escamas en la superficie, con el consiguiente mal acabado superficial. Como resultado de las escamas no se pueden mantener tolerancias precisas. El equipo para trabajo en caliente y los costos de mantenimiento son elevados, pero el proceso es económico comparado con el trabajo en frío.

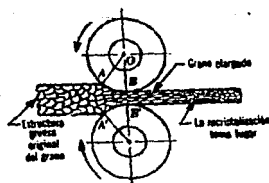


Fig. II.5 Efecto del laminado en caliente sobre la estructura del grano.

## II.10 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

### II.10.1 Procesos con arranque de viruta.

**Introducción:** Como los procesos de arranque de viruta no tiene una relación directa con los procesos de deformación plástica sólo se limitará a explicar el principio.

#### FRESADO.

Es la operación mediante la cual el arranque de viruta se realiza con una herramienta giratoria ( fresa ) que posee en su contorno varios filos dispuestos radialmente sobre una circunferencia. La fresa ejecuta el movimiento principal mientras la pieza se desplaza en relación a ella. Con el fresado se pueden obtener superficies planas o curvas, por ejemplo, ranuras, dientes de engrane, cavidades, escalones etc.

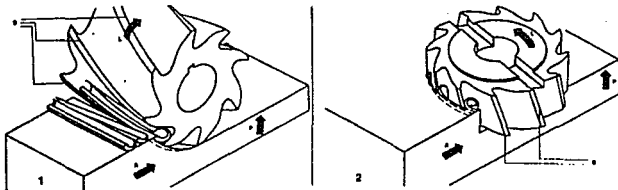


Figura. II.6 Fresado



## TORNEADO.

El torneado es una operación que realiza el mecanizado de piezas de revolución animadas de un movimiento uniforme de rotación alrededor de un eje fijo. Este tiene lugar mediante el arranque progresivo del material (viruta) con una herramienta de corte de un sólo filo.

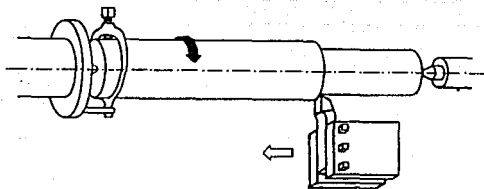


Figura. II.7 Torneado.

## ESCARIADO.

El escariado es la operación de remover material mediante una herramienta alargada que tiene un número de dientes sucesivos cuyos tamaños van en aumento y cortan en una trayectoria fija. Sirven para dejar a dimensiones exactas y para afinar los agujeros ya taladrados.

## ASERRADO.

Es una operación de arranque simultáneo de muchas virutas mediante el empleo de una barra metálica y flexible provista de dientes con movimiento rectilíneo y continuo, alternativo o rotatorio.

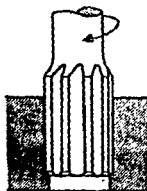


Figura II.8 Escariado.

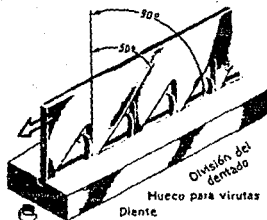


Figura II.9 Aserrado.

## BROCHADO.

En esta operación se saca material por medio de una herramienta llamada brocha, que está compuesta de una serie de bordes cortantes de punta única cuya distancia al eje crece ligeramente de diente a diente, la forma de los dientes determina la forma de la superficie maquinada, y el aumento del tamaño del diente sobre su precedente, determina la profundidad de corte, de modo que no se necesita darle avance a la brocha.

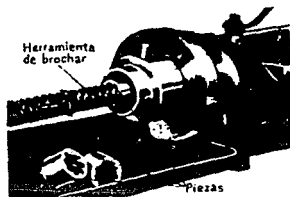


Figura II.10 Brochado.

#### TALADRADO.

Es la operación que consiste en abrir agujeros valiéndose de una herramienta cortante ( broca ). Es pues, un proceso de mecanizado (trabajo sacando viruta ) y se lleva a cabo con máquinas de taladrar.

#### MANDRILADO.

Es el proceso mediante el cual se saca material de una pieza para agujeros previamente hechos con un acabado de alta calidad en sus paredes y dentro de tolerancias muy estrechas.

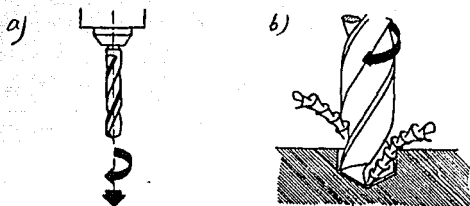


Fig.II.11 Taladrado a) la herramienta gira alrededor de su propio eje. b) el movimiento de trabajo permite a los filos arrancar material de la pieza.

#### CEPILLADO.

Es un proceso en el cual se retira material de una pieza por medio de una herramienta monofilo que se mueve en forma recíprocante y rectilínea. Se pueden obtener superficies planas o curvilíneas. Para la manufactura de guías, cuñeros, etc.

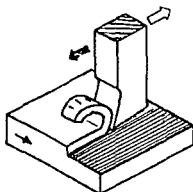


Figura. II. 12 Cepillado.

## RECTIFICADO.

Es un proceso de maquinado en el que se usa una herramienta multicortante, que ha sido aglutinada en forma de rueda de amolar. Cada partícula abrasiva, o grano, es duro y de forma irregular, de manera que constituye un borde cortante muy pequeño. Puesto que numerosos fillos cortan simultáneamente, el desbaste es muy fino y puede dar dimensiones muy precisas además de un acabado muy fino de diversas superficies.

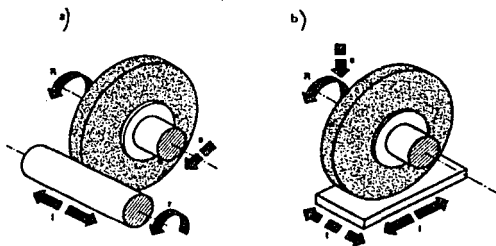


Figura II. 13 a) Rectificado de superficies cilíndricas.

b) Rectificado de superficies planas.

## II.10.2 Procesos sin arranque de viruta.

**Introducción:** Todos los procesos que describiremos a continuación tienen que ver con la deformación plástica menos el de fundición y sólo mencionaremos el principio de cada uno.

### FORJA.

Es el trabajo de un material por medio de fuerzas de compresión localizadas, por el cual, se cambia la forma y dimensiones del material, aprovechando sus características de plasticidad. Puede hacerse mediante fuerzas percutoras (impactos) o por fuerzas compresoras (presión). Si el forjado se realiza en frío recibe generalmente otros nombres específicos, en consecuencia el término forja se asocia comúnmente a la forja en caliente. Este proceso se describirá ampliamente en el cap. III.

### FUNDICION

Es un proceso por el cual los metales, minerales u otras sustancias sólidas se derriten mediante la acción de calor. Estos materiales se dejan solidificar dentro de un molde, obteniéndose piezas de diversas formas y dimensiones.

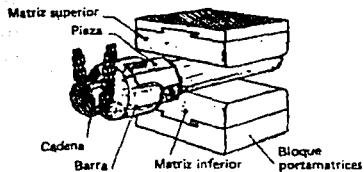


Fig. II.14 Forjado con matrices planas, manipulando la pieza con una barra y una cadena.

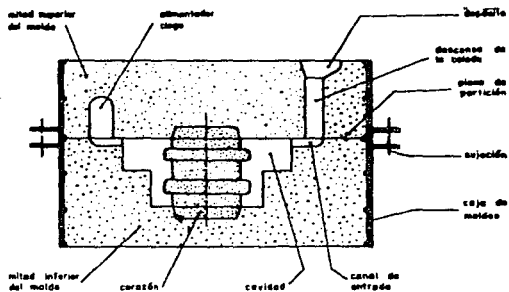


Figura II.15 Fundición.

## EXTRUSION

El proceso de extrusión consiste en transformar un material en estado plástico a barras sólidas, tubulares o perfiles de sección diversa, forzando dicho material a pasar a través de una matriz o dado. Pueden hacerse en frío o en caliente pero para la mayoría de los metales se utiliza extrusión en caliente, para reducir las fuerzas requeridas, eliminar los efectos de trabajo en frío y reducir las propiedades direccionales. Básicamente este proceso es semejante al de sacar pasta de un tubo de dentrífico. Sin embargo en el caso de los metales se coloca un tocho caliente en la cámara de tochos, y un ariete hace que el material fluya plásticamente a través de la matriz o dado.

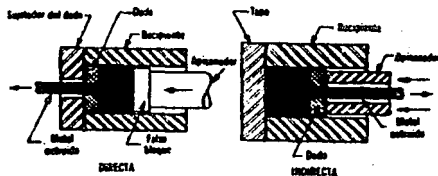


Fig.II.16 Esquema que muestra la extrusión directa e indirecta.



## LAMINADO.

Este proceso de laminado consiste en hacer pasar lingotes entre dos cilindros que giran en direcciones opuestas. La distancia entre los cilindros es menor que el espesor del material que entra, por lo tanto éste es comprimido y alargado, y en general cambia la forma de su sección transversal. Esto provoca una deformación plástica que es acompañada por un refinamiento granular. Cuando el laminado se hace a temperaturas adecuadas se emplea en el ajuste de pequeñas longitudes de barras, obtención de perfiles estructurales y para operaciones de acabado.

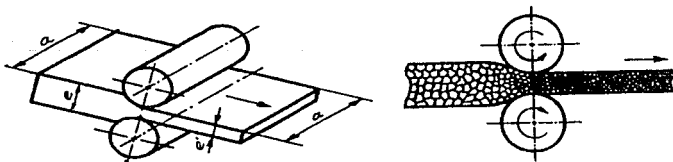


Fig. II.17 Laminado en caliente: espesor constante, afinado de grano.

## EMBUTIDO.

Es un proceso para conformar piezas de paredes relativamente gruesas, que tienen una forma generalmente cilíndrica, haciendo estirar el metal a través de la abertura entre una matriz y un punzón.

Presenta la ventaja de producir económicamente cavidades idénticas con un acabado muy fino o pulido.

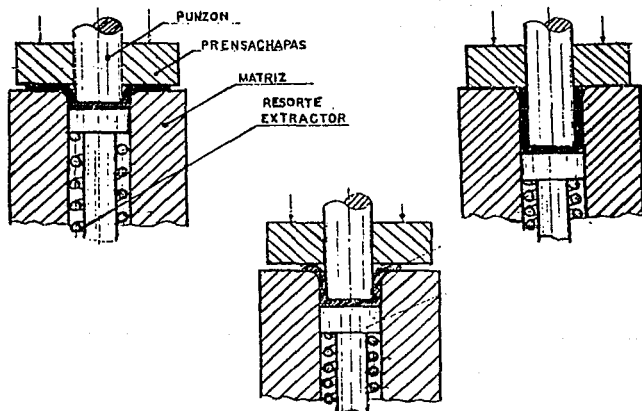


Fig. II.18 Esquema del proceso de embutido.

## DOBLADO.

También denominado plegado, consiste en variar la forma de una lámina, manteniendo el paralelismo en sus caras y el espesor. El doblado ocurre en el momento en que las fuerzas se aplican sobre áreas localizadas, tal como en el doblado de una pieza de metal en ángulo recto.

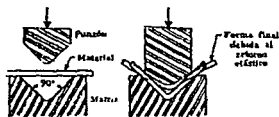


Fig. II. 19 Operación de doblado de una lámina en ángulo recto.

## CIZALLADO.

Proceso mediante el cual se corta lámina (generalmente metálica) mediante una cuchilla. El proceso tiene tres pasos básicos: la deformación plástica, el cizallado y la fractura. La lámina se coloca entre las hojas superior e inferior de la cizalla y se las fuerza para que se junten y hagan el corte; una hoja puede ser estacionaria y la otra forzada contra la primera.

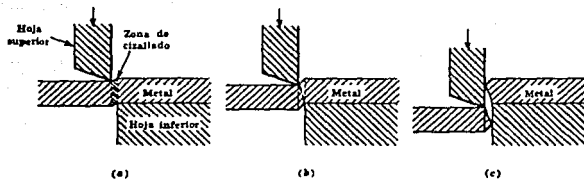


Fig. II. 20 Acción cizallante. a) deformación plástica; b) cizallado; c) fractura.

### RECHAZADO.

Es un método por el cual se le da forma a metales laminados presionándolos mediante una herramienta contra un molde en forma de cono truncado o hemisférico, mientras éste gira. Se aplica sólo a artículos simétricos de sección transversal circular. La mayoría de los trabajos de rechazado se hacen sobre el diámetro exterior, aunque el trabajo interior también es posible.

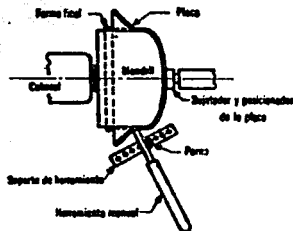


Fig. II.21 Operación de rechazo de metal.

### PUNZONADO.

Es la operación mecánica que consiste en obtener una figura determinada sobre una lámina o placa, cortándola mediante un juego de herramientas ( punzón y matriz ). durante la operación tiene lugar una deformación del material por arriba de su límite elástico, por lo que su comportamiento es plástico.

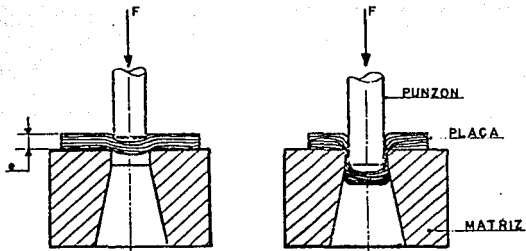


Figura. II. 22 Operación de punzonado.

#### ESTIRADO Y TREFILADO.

Son dos procedimientos de conformación de materiales dúctiles que se realizan estirándolos a través de orificios (calibrados), denominados hileras.

Aunque el procedimiento es fundamentalmente el mismo, se distingue el trefilado del estirado en tres aspectos principales:

- 1) En la clase de material a que se aplica: el estirado se aplica a barras de 4 a 6 metros de longitud y diámetro superior a 10 mm, también se aplica al estirado de tubos. El trefilado se aplica a barras redondas laminadas de 5 a 8 mm de diámetro.

- 2) En el objeto de la operación: el, objetivo del estirado es principalmente calibrar, endurecer con la deformación y dar una forma determinada a la barra. En cambio en el trefilado pretende casi exclusivamente adelgazar el material.
- 3) En la realización de la operación: en el estirado la operación se realizará en una sola pasada; mientras que en el trefilado se adelgaza en varias pasadas.

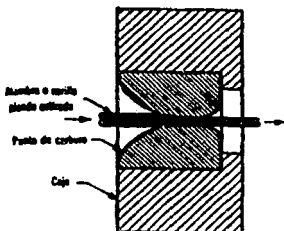


Fig. II.23 Sección transversal de un dado para estirado de alambre.

#### METALURGIA DE POLVOS.

Es un proceso por el cual se obtienen los productos en su aspecto final presionando polvos finos de metal, para darles la forma deseada, usualmente en un molde de metal, bajo presiones.

considerables y calentando luego el polvo comprimido durante algún tiempo a temperatura debajo del punto de fusión del constituyente más abundante. Consta de los pasos siguientes:

- 1) Producción de polvo metálico fino.
- 2) Mezcla y preparación de los polvos que van a constituir a la pieza.
- 3) Compresión de los polvos en la forma deseada.
- 4) Calentamiento ( sinterizado ) de la forma a temperatura elevada.

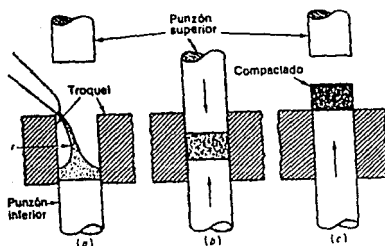


Fig. II.24 Compactado de polvos para la formación de piezas por metalurgia de polvos.



## CAPITULO I I I

### F O R J A

#### III.1 DEFINICION

Se denomina forja o forjado a aquella operación en la que se deforma plásticamente a un material o metal de partida mediante un martilleo, compresión o estiramiento hasta obtener una geometría deseada sin que se produzcan grietas ni roturas.

Este proceso de formado de metales es el más antiguo, donde la deformación puede realizarse en caliente principalmente o en frío. La forja actual es una muy amplia tecnología de formado de metales, que abarca los más altos niveles del ingenio del hombre.

En el proceso de deformación plástica por forja intervienen los siguientes elementos principales.

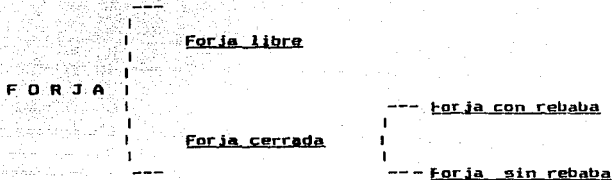
- La máquina de deformación ( prensas o martillos )
- Los utilajes ( denominados matrices, troqueles, estampas o dados ) que canalizan y distribuyen esos esfuerzos para conseguir los efectos de deformación deseados.
- Los materiales que deben adaptarse a las formas geométricas deseadas, mejorando generalmente sus propiedades mecánicas.

Quando los utilajes sujetos respectivamente a la " mesa " y a la " maza " de la máquina de forjar, son de forma plana en la superficie de contacto ( o con algo de forma ) se dice que el proceso de fabricación es de una " forja libre ", o también las matrices pueden llevar grabado bajo relieve la semiforma de la pieza a conseguir, de manera que entre ambas, al ponerse en contacto conformen la geometría completa de la pieza. En este caso, el proceso se le denomina " forja en estampa ".

En este último caso se construyen las matrices con una zona posible de escape del material sobrante al llenarse por completo la cavidad que existe entre ambas matrices. A esta zona se le denomina " zona de rebaba " la cual es eliminada en una operación posterior.

En ocasiones las matrices o dados pueden construirse sin la zona de rebaba, conformándose la pieza en unas matrices en forma de cilindro - émbolo, de tal manera que al deformar el material con el émbolo, aquél rellena la cavidad comprendida entre las paredes laterales, el fondo del cilindro y la cabeza del émbolo. Tanto la cabeza del émbolo como el fondo del cilindro no son lisos, sino que llevan grabados en bajorrelieve la semiforma de la pieza a conseguir. Es claro que en este caso la cantidad de material es fundamental, con este tipo de forja la pieza resulta sin rebaba, y se dice que se ha producido una pieza forjada en matriz cerrada.

### III.2 CLASIFICACION GENERAL DE LA FORJA



Para ilustrar los métodos de forja se presentan los esquemas que nos muestran el principio de los mismos. (Fig. III.1)

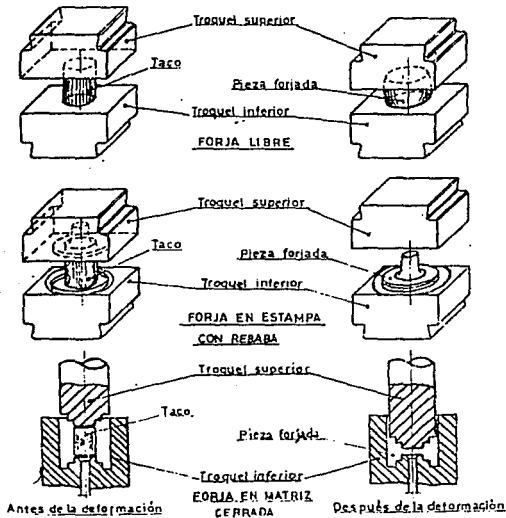
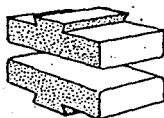


Fig.III.1 Distintos Métodos de forjar.

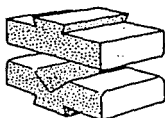
### III.3 FORJA LIBRE

Cuando las matrices tienen superficies de trabajo planas, y la pieza puede deformarse libremente hacia los lados se tiene que la forja se denomina libre o abierta.

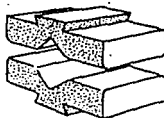
La pieza debe manipularse durante el proceso de manera que se obtenga la forma y dimensiones deseadas. Generalmente para la forja libre son necesarios herramental auxiliar como pueden ser matrices con cavidades sencillas que no requieren fijación al ariete o yunque y que se mantienen en posición sobre la matriz inferior, de forma plana, mediante mangos y agarraderas. Con este método se pueden forjar gran variedad de formas sencillas. (Fig.III.2)



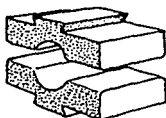
Matrices planas



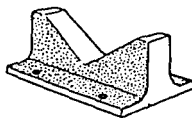
Matrices plana y en V



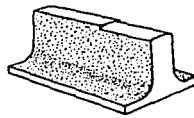
Matrices en V



Matrices para redondear



Matriz en V



Matriz combinada

Fig.III.2 Matrices para forja libre.

La forja libre es conveniente cuando la cantidad de piezas a forjar es demasiado baja para justificar el costo de matrices de impresión, cuando la pieza es demasiado larga y no puede forjarse en matrices de estampación o cuando la forja es tan sencilla que no requiere matrices de impresión.

Las piezas por forjado libre se obtienen con poca precisión lo que puede ocasionar que sea necesario un maquinado posterior. La tabla siguiente ilustra lo anterior.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES OBTENIDAS EN LA FORJA LIBRE

DIMENSION ( mm )	TOLERANCIA ( mm )
< 80	± 3
de 80 a 200	± 4
de 200 a 315	± 6
de 315 a 400	± 8
de 400 a 500	± 9
de 500 a 650	± 10

Aunque las piezas forjadas pueden pesar desde unos cuantos kilogramos hasta unas 300 toneladas probablemente el 80% de ellas pesan entre 10 y 450 kg.

La dureza de las matrices varía según el material que se va a forjar pero en general es más baja que la dureza de las matrices para forja en estampa. Los materiales empleados para las

matrices de forja libre son aceros para trabajo en caliente ( nomenclatura H10, H11, H13, H14, H21, H26, O1, A2 ).

El paralelismo entre las superficies de trabajo tienen una tolerancia mayor en matrices de forja libre que por estampa, por ejemplo; para una matriz de cara de 500 x 1000 [mm] el paralelismo recomendable es de 1.5 [mm] de lado a lado y de frente a fondo, para matrices más pequeñas el paralelismo se reduce.

La vida útil de las matrices para forja abierta es mayor debido principalmente a que con las mismas matrices podemos realizar gran variedad de formas y además pueden ser remaquinadas. [ para restituirles la forma generalmente se dimensionan para que puedan ser remaquinadas de 8 a 10 veces ], dando una vida útil muy larga.

### III.4 FORJA CERRADA

En la forja cerrada también denominada de impresión o estampación, se utilizan dados que tienen la impresión perfectamente maquinada, con las dimensiones de la pieza a forjar; el impacto o prensado obliga al metal a tomar plásticamente la forma del dado o matriz.

Debido a la dificultad de calcular la cantidad apropiada de metal para llenar las matrices se da un exceso generalmente del 10% el cual fluye formando rebaba dentro de una cavidad hecha especialmente para ella, la rebaba se remueve posteriormente de la pieza.

No siempre se fabrican matrices con cavidad para rebaba pero para ello requerimos gran control en la cantidad de material que se deposita entre ambas matrices, pues no se tiene considerado un sobrante, así como la presión ejercida aumenta si la cavidad entre matrices ha sido llenada

Las ventajas del forjado con matrices de impresión respecto a la forja de dados abiertos son:

- Bajo o alto volumen de fabricación
- Mejor utilización del material ( márgenes mínimos para maquinado )
- Mejores propiedades mecánicas
- Buena reproducción
- Tolerancias dimensionales pequeñas
- Formado de piezas más complejas
- Control mayor de las líneas de flujo

### TOLERANCIAS DIMENSIONALES EN FORJA CERRADA ( mm )

DIMENSION ( mm )	TOLERANCIA ( mm )
< 50	± 0.5
de 50 a 200	± 1.0
de 200 a 315	± 1.5
de 315 a 400	± 2.0
de 400 a 630	± 2.5

El peso de las piezas forjadas en matrices cerradas varia desde menos de un kg hasta varias toneladas.

El tamaño máximo que puede forjarse depende del equipo disponible para forjar así como para manipular la pieza ; es posible forjar piezas de 15 toneladas de acero de 890 x 2900 ( mm ), aunque la mayoría más del 70% son de un kg o menos.

Para asegurar el flujo apropiado del metal durante el golpeteo intermitente, el proceso se divide en varias operaciones, cada una para cambiar gradualmente la forma y controlar el flujo del metal hasta lograr la forma final. La cantidad de operaciones necesarias varia de acuerdo al tamaño de la pieza, características del metal forjado y las tolerancias requeridas. ( Fig III.3 )



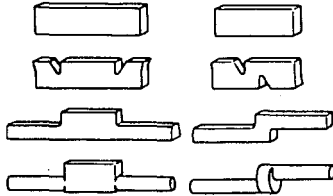


Figura III.3 Secuencia de operaciones para forjar una pieza.

En las matrices de impresión múltiple se tienen varios tipos de cavidades como cavidades para preformado; La cual sirve para reducir la sección y alargamiento longitudinal ( fuller ) generalmente se emplea para la primera operación, que consume la menor cantidad de energía.

- Impresión para redistribuir y proporcionar material a secciones voluminosas este tipo de impresión puede estar abierta a un lado de la matriz. ( edger )
- Para redondear ( roller ) el tejo se gira en esta impresión y con uno o más golpes redondea.
- Para aplanar ( flattener ) se emplea para ampliar o reducir el ancho del tejo y adaptarla a las dimensiones de la impresión siguiente.
- Impresión para doblar ( bender ) puede utilizarse una porción de la matriz para doblar el tejo.

- Para bifucar o dividir ( splitter ) utilizada para piezas tipo horquilla.
- Para dar la forma general sin detalles ( blocker ) esta es la impresión donde se lleva a cabo la operación previa al forjado final.

La impresión para dar la forma final se lleva a cabo en la última operación de forja y contiene todos los detalles finales ( Finisher ). ( Fig.III.4 )

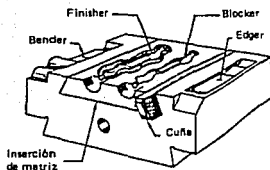


Figura.III.4 Inserción de impresión múltiple

### III.5 EQUIPO PRINCIPAL USADO EN LA INDUSTRIA DE LA FORJA

En una primera clasificación tenemos:

- A) Prensas
- B) Martillos
- C) Marteladoras

A) Las prensas a su vez se clasifican según su método de accionamiento, en:

- 1) Prensas de husillo
- 2) Prensas mecánicas ( o de biela - cigüeñal )
- 3) Prensas de cuña
- 4) Prensa de rodillera
- 5) Prensas hidráulicas

B) Los martillos se clasifican de acuerdo a su método de accionamiento en :

- 1) Martillo de caída libre
- 2) Martillo de doble efecto
- 3) Martillo de contragolpe

c) Las marteladoras pueden agruparse en dos categorías:

- 1) Marteladoras horizontales
- 2) Marteladoras verticales

### III.5 A-1.- PRENSAS DE HUSILLO

Se basan en el principio de tornillo - tuerca. Si la tuerca permanece fija al girar el tornillo, éste se desliza subiendo o bajando, según el giro del tornillo.

Si es el tornillo el que gira, pero permanece fijo en el espacio y se hace que la tuerca no gire sujetándola con unas

deslizaderas apropiadas, será ésta última la que suba o baje. Las prensas más usadas son las de tuerca fija y tornillo móvil ( también denominado husillo ) ( Fig.III.5).

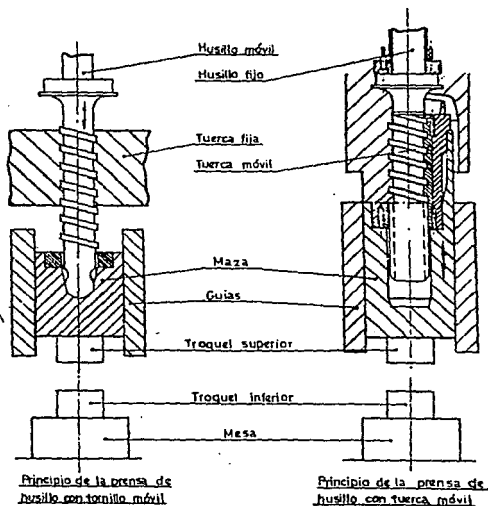


Figura.III.5 Principio de funcionamiento de una prensa de husillo

En estas prensas el husillo puede ser accionado por medio de discos de fricción, por el acoplamiento directo de un motor eléctrico reversible, por engranaje, o por otros tipos de accionamiento.

### III.5 A-2.- PRENSAS MECANICAS

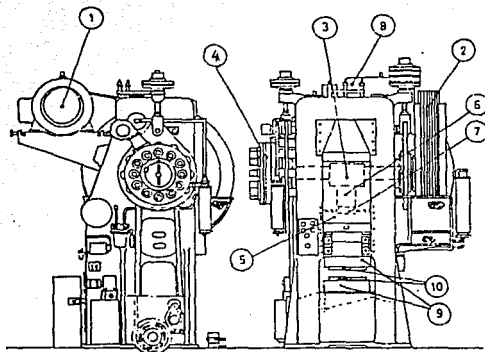
Se basan en el principio de cigüeñal - biela. Al girar el cigüeñal arrastra a la biela, cuyo pie está unido a la maza, que al ser guiada por deslizaderas realiza en una vuelta del cigüeñal el movimiento completo de subida y bajada. Unido al cigüeñal se sitúa un volante de inercia, que acumula la energía necesaria para el trabajo que realizará la prensa.

Cuando ésta desembragada, el motor actúa directamente sobre el volante, acumulando la energía en él.

Al embragar el volante se acopla al cigüeñal que gira una vuelta completa, arrastrando a la biela y con ella a la maza y generando la deformación de la pieza situada entre los dados o matrices. Al finalizar esta vuelta actúa el freno, fijando el cigüeñal en su punto muerto superior y desacoplando el volante de inercia. Con lo que la prensa queda dispuesta para el siguiente golpe. ( Fig.III.6)

### III.5 A-3.- PRENSA DE CURA

Son prensas verticales mecánicas, que se basan en intercalar entre el bastidor de la máquina y la maza, una cuña horizontal accionada por un mecanismo de cigüeñal-biela. Esta disposición consigue una unión directa y rígida sobre una gran superficie de contacto, y una menor deformación elástica del conjunto de la prensa. (Fig.III.7)



1- motor eléctrico

2 - volante con acoplamiento

3 - cigüeñal

4 - freno

5 - maza

6 - biela

7 - garrón de pie de biela

8 - sistema equilibrador del peso de la maza

9 - porta-troqueles

10 - troqueles

**Figura.III.6 Esquema de una prensa mecánica de forjar de accionamiento por biela-cigüeñal**

### III.5 A-4.- PRENSA DE RODILLERA

Son prensas verticales mecánicas, cuyo funcionamiento consiste en un mecanismo de rótulas, que tiene fija la rótula superior y unida a la maza la inferior. Un dispositivo de cigüeñal-biela desplaza horizontalmente una articulación intermedia, y ésta, en su movimiento origina el desplazamiento

vertical de la masa. Se consigue así una gran rigidez, poca deformación elástica del bastidor y una gran superficie de apoyo. (Figura.III.8).

### III.5 A-5.- PRENSAS HIDRAULICAS

En esencia todas se basan en el dispositivo de cilindro pistón. Por lo general el pistón está unido directamente, o bien a través de una transmisión a la maza de la prensa. A igual esfuerzo máximo, por lo general las prensas hidráulicas dan más capacidad de deformación.

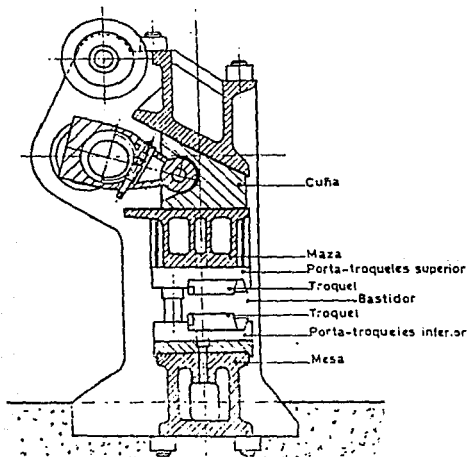


Figura.III.7 Esquema de una prensa de cuña

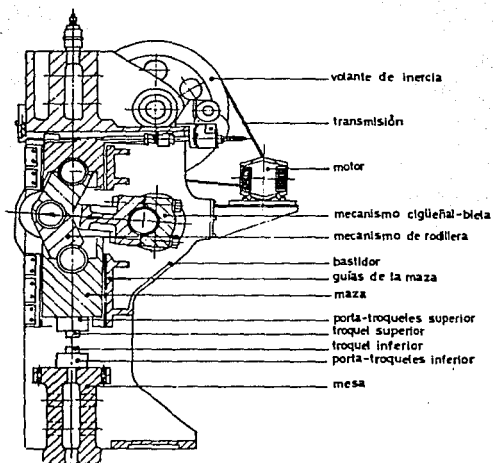


Figura.III.8 Esquema de una prensa de rodillera.

### III.5 B-1.- MARTILLOS DE CAIDA LIBRE

Su funcionamiento consiste en elevar a una determinada altura una maza y luego dejarla caer. La energía potencial acumulada en la elevación, se transforma en energía cinética en la caída.

El ariete está unido rigidamente a tablas de madera dura, accionadas por unos rodillos de fricción que giran continuamente en sentido opuesto y que al cerrarse presionan las tablas y elevan el ariete; cuando el ariete está en el punto muerto



superior de su carrera, los rodillos se separan y para evitar su caída un juego de bridas sujetan a las tablas. Cuando el operador pisa un pedal se separan las bridas y dejan caer la maza.

Si el pedal se mantiene abajo, el ariete sube y baja consecutivamente es útil para la caída libre. (Figura.III.9)

Existen diferentes variantes del martillo de caída libre dependiendo de la naturaleza del mecanismo de ariete como son: martillo de caída libre de tabla, de tambor y correa, cadena, cuerda, hidráulicos, aire comprimido, de motor lineal de vapor.

En los martillos de caída libre accionados por pistón-cigüeñal, el ariete conectado por un vástago al pistón se mantiene en su posición superior por la sujeción mecánica del vástago; la sujeción se opera con un cilindro propio empleando una alimentación independiente del aire comprimido.

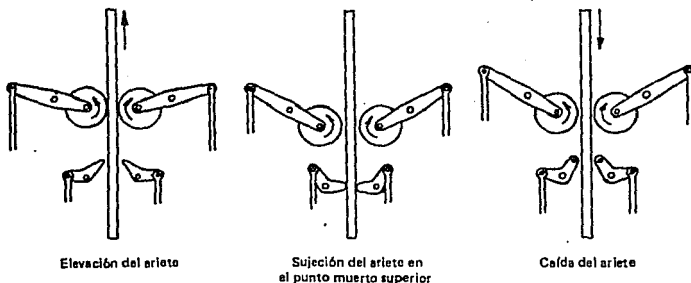


Figura.III.9 Funcionamiento del martillo de tablas.

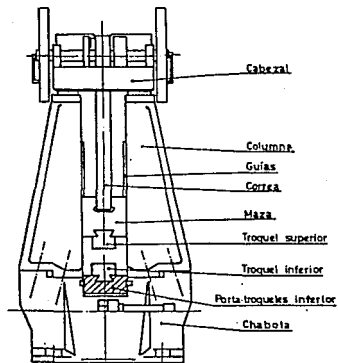


Figura.III.10 Esquema de un martillo de caída libre.

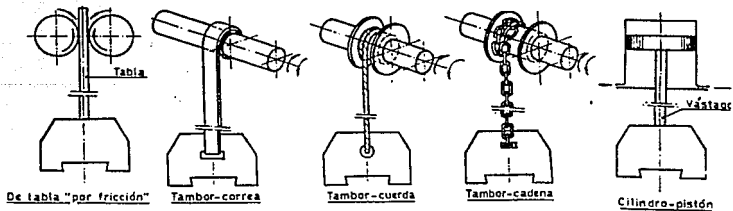


Figura.III.11 Mecanismos elevadores de la maza.

### III.5 B-2.- MARTILLOS DE DOBLE EFECTO

Los martillos de doble efecto dan energía de impacto y velocidades mayores que los de caída libre, como consecuencia de que la maza es ayudada en su caída por un impulso superior, normalmente producido por un sistema de cilindro-pistón accionado por aire o vapor de agua.

En estos martillos el mecanismo tiene la finalidad de subir la maza y además en el movimiento de bajada impulsan a ésta, añadiendo a la energía alcanzada por caída libre el trabajo producido por el recorrido forzado del pistón superior.

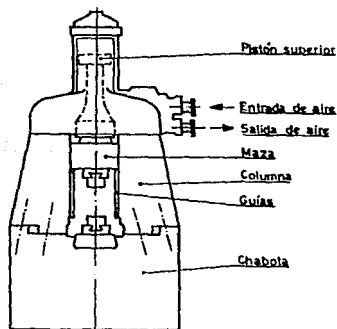


Figura.III.12 Martillo de doble efecto.

Las columnas guían con exactitud al ariete en movimiento

que admite vapor en el lado superior e inferior del pistón, y la válvula se controla con un pedal o palanca.

Una ventaja importante de estos martillos es que la fuerza del impacto está completamente bajo el control del operador.

Estos son los martillos más utilizados en la forja cerrada o de impresión por impacto.

### III.5 B-3.- MARTILLOS DE CONTRAGOLPE

Para conseguir mayor energía y evitar enormes mazas de la chabota o yunque. Se han diseñado los martillos de contragolpe, estas máquinas desarrollan la fuerza del impacto con el movimiento de dos arietes simultáneamente desde sentidos opuestos y encontrándose en un punto medio, por lo que todo el exceso de energía del golpe no pasa a las cimentaciones de la máquina.

Son operados hidráulicamente, neumáticamente o mediante sistemas mecánico-hidráulico o mecánico-neumático.

Los arietes pueden golpear en forma continua, desarrollando velocidades combinadas. Comparado con el martillo de caída libre la vibración del impacto se reduce y la energía aproximada total de cada golpe se disipa a la pieza, sin pérdidas al yunque ni cimentación; pues al momento del impacto las fuerzas se anulan entre sí ( Fig.III.13 ).

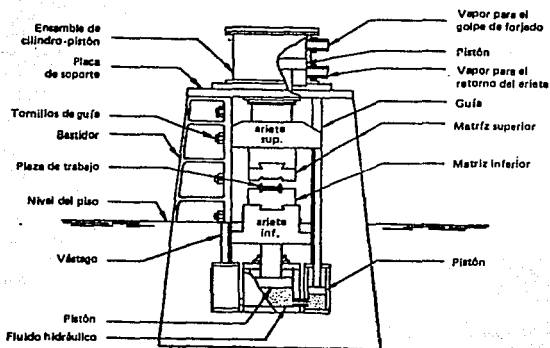


Figura.III.13 Martillo de contragolpe vertical con sistema hidráulico-vapor.

### III.5 C-1.- MARTELADORAS HORIZONTALES

Son máquinas utilizadas comúnmente para estirar barras o perfiles y obtener piezas con cambios de secciones e incluso con partes cónicas. Su principio de funcionamiento se basa en la acción simultánea sobre la sección de la barra a deformar, de 4 a 6 martillos que golpean consecutivamente toda la longitud de la barra, abriendo o cerrando su recorrido en función de la forma que se desea obtener. Los movimientos longitudinal y de rotación necesarios en la barra de partida, se obtienen por medio de un manipulador que sujeta a la barra por un extremo a su vez la gira y desplaza. ( Fig.III.14 ).

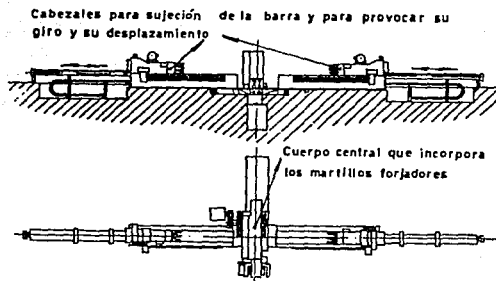


Figura III.14 Esquema de una marteladora horizontal

### III.5 C-2.- MARTELADORAS VERTICALES

Su principio de funcionamiento es idéntico al de las marteladoras horizontales, aunque en éste caso el movimiento axial de la pieza se produce en sentido vertical y las longitudes alcanzadas son menores. ( del orden de 1 m ).

### III.6 MATERIALES QUE PUEDEN SER FORJADOS

La selección del material adecuado para la operación de forja en aplicaciones particulares es un proceso complejo que combina el conocimiento de varias áreas de la tecnología. La metalurgia, la teoría y la práctica sobre la resistencia de materiales deben de ser combinadas con conocimientos estructurales y de mecánica, más un claro entendimiento de los costos de producción.

Puestas en orden ascendente de dificultad en su forjabilidad (aptitud ante la deformación por forja), tenemos las siguientes aleaciones que más comúnmente se forjan: aluminio, magnesio, y aleaciones de cobre, aceros bajos en carbono y de baja aleación, aceros inoxidables martensíticos y austeníticos, aleaciones de níquel, aleaciones de titanio, superaleaciones a base de hierro y cobalto, aleaciones de molibdeno, superaleaciones de tungsteno y aleaciones de berilio.

#### ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

Este material puede ser forjado rápidamente en formas complejas y precisas. Sus aleaciones son dúctiles y forjables en prensas a casi la misma temperatura que el metal puro. No se forman escamas durante el calentamiento, las presiones de forja son bajas; pero varían con la composición de la aleación (la aleación 1100 comercial necesita menos presión que el acero 1020

cuando se compara a 900°F con 10% de reducción, mientras que la 6061 requiere casi el doble).

La mayor parte de las aleaciones se forjan a una temperatura de 100°F por debajo del punto de fusión.

Los martinets de caída por gravedad o de impulso pueden ser empleados para trabajos de forja con troquel abierto y, debido a que las aleaciones son sensibles a la velocidad de deformación, es esencial tener un buen control sobre el martinete.

Las prensas mecánicas son muy usadas en trabajos con moldes cerrados; pero las hidráulicas son utilizadas más para la forja de piezas grandes y complejas.

Las matrices son siempre lubricadas con soluciones de grafito coloidal en agua y se puede agregar jabón si el flujo del metal es difícil, debe evitarse el uso excesivo de lubricante porque provoca problemas en las matrices complicadas.

#### ALEACIONES DE MAGNESIO

Las aleaciones sin refinarse trabajan bien en prensas hidráulicas de acción lenta; pero en martinets se agrietan, debido a que los lingotes de grano grueso son sensibles durante una deformación rápida, por lo común son extruidos antes de ser forjados.

El material se calienta sólo lo suficiente para realizar el trabajo y después, el proceso de forja inducirá el endurecimiento por deformación. Si la temperatura es demasiado baja, ocurrirá el agrietamiento.



Como regla, la temperatura de forja seleccionada deberá estar basada en la naturaleza de la pieza, la cantidad de trabajo requerido y el número de operaciones requeridas. Si hay varias operaciones la temperatura de forja deberá ser disminuida por cada etapa subsecuente con objeto de controlar el crecimiento de grano y permitir el endurecimiento por deformación que sigue a la última operación.

La temperatura de forja no necesita ser controlada con precisión ya que se encuentra bastante por debajo del punto de fusión de la aleación.

Las matrices suelen ser convencionales, hechas de acero para herramientas para trabajo en caliente de baja aleación.

#### COBRE Y SUS ALEACIONES

En general la forjabilidad de esta familia de materiales altamente dúctiles ( a temperatura ambiente ) no es afectada por un incremento en la velocidad de deformación. El bronce aleado 377 es más utilizado y mucho más fácil de forjar que el acero de bajo carbono. El bronce-aluminio trabaja casi igual que el acero. El cuproníquel es difícil de forjar ya que tiene altas temperaturas de forja y a veces tiene que ser calentado en atmósferas controladas. Los bronce al silicio también requieren altas temperaturas y causan un desgaste más rápido en las matrices que el originado por otras aleaciones.

El tiempo de calentamiento es importante ( menos para el bronce

377 y más para el bronce-aluminio, el bronce naval y el cobre ). No debe excederse el tiempo de calentamiento debido a que crece el grano y se forman escamas.

#### ACEROS AL CARBONO Y ACEROS ALEADOS

Estos materiales son muy forjables. Los problemas se presentan cuando una aleación contiene bismuto, sulfuros u otras aleaciones intencionales para facilitar el maquinado. Un factor importante es el enfriado de la pieza de trabajo en las matrices, que por depender de la velocidad de transferencia de calor puede limitar la complejidad de una pieza o su espesor. Un aumento en la velocidad de formado produce calor, lo que mejora las posibilidades de trabajo. Un control preciso de la temperatura produce mejores forjas.

Para la forja de aceros en troqueles abiertos, los martinets de potencia son los que se utilizan para piezas que pesan aproximadamente cinco toneladas, para pesos mayores se usan las prensas hidráulicas.

#### ACEROS INOXIDABLES

La mayor parte de éstos materiales son mucho más difícil de forjar que los aceros al carbono o los aleados.

Los aceros martensíticos de alto cromo son generalmente tan forjables como los aceros aleados aún cuando su alto contenido de cromo aumenta los requerimientos de carga de alrededor de un 50%

transforman parcialmente en ferrita delta, lo cual es inconveniente para la forja.

Los aceros inoxidables austeníticos requieren mayor presión de forjado y son generalmente más difíciles de forjar que los aceros al carbono aleados. Con los granos endurecibles por precipitación la combinación de menores temperaturas de forja y una mayor dureza, la carga puede ser un 50% mayor que la requerida por una aleación 4340. Por esta razón se necesitan equipos de gran tonelaje.

Los aceros inoxidables ferríticos, como el tipo 405, tienen una amplia gama de forjabilidad y por lo general, se efectúa un recocido después de la forja.

Los martinets de potencia se utilizan comúnmente en trabajos con moldes abiertos. Las prensas mecánicas se usan para trabajos de forjas pequeñas.

## TITANIO Y SUS ALEACIONES

Su comportamiento en la forja depende de la relación entre cada uno de los dos tipos de aleación: alfa o beta, cuando el titanio es calentado se transforma alrededor de 1625°F, de estructura hexagonal compacta llamada alfa a una estructura cúbica llamada beta. Los elementos de aleación estabilizan de una forma u otra a éstas dos fases, elevando o bajando la temperatura de transformación. El titanio puro es más forjable que sus aleaciones; pero tal tipo de forja tiene menos demanda que las hechas de materiales de más alta resistencia.

que las hechas de materiales de más alta resistencia.

Las aleaciones de titanio poseen diferentes grados de forjabilidad, dependiendo de la temperatura, presión, susceptibilidad al agrietamiento y su sensibilidad a la velocidad de deformación.

La temperatura y atmósfera de calentamiento deben de ser mantenidas dentro de límites muy estrechos.

El equipo que se emplea para forjar el titanio es casi el mismo que el usado para el acero, excepto que se requiere mayor capacidad para obtener la misma forma.

Las matrices requieren consideración especial ya que, las tolerancias para encogimiento es diferente que para la del acero, los contornos se llenan con mayor dificultad por lo que se necesitan radios y filetes mayores y las matrices deben ser más reforzadas debido a que se necesita mayor fuerza.

#### SUPERALEACIONES A BASE DE HIERRO

La limpieza de estos materiales tiene un efecto pronunciado en su forjabilidad, las aleaciones que contienen elementos reactivos que pueden formar segregaciones de nitruros y carbunitruros pueden producir inclusiones en las barras forjadas aún en condiciones ideales estas inclusiones originan forjados malos.

Todas las aleaciones de este grupo poseen casi igual grado de forjabilidad y a temperatura de forja, necesitan una presión ligeramente mayor que un acero inoxidable. Debido a que estas aleaciones no se transforman y el tamaño de grano está

determinado únicamente por la temperatura y la reducción de la misma antes del recocido.

La forja en moldes abiertos se utiliza frecuentemente para hacer preformas de piezas grandes, que se terminan después en dados cerrados.

#### SUPERALEACIONES A BASE DE COBALTO

Su resistencia a la temperatura de forja, es mucho más alta que la de las superaleaciones a base de hierro. Por lo tanto, la presión requerida para la deformación es también proporcionalmente mayor. Las aleaciones son susceptibles al crecimiento de grano cuando se calienta por arriba de los 2150°F y los forjados haciendo pequeñas reducciones en las etapas iniciales. Algunas aleaciones como la HS-25 y la S-816, requieren frecuentes calentamientos durante el proceso de forja para promover la recristalización y bajar la presión de forja requerida en la etapa siguiente.

#### SUPERALEACIONES A BASE DE NIQUEL

La forjabilidad disminuye conforme se incrementa la deformación, sobre todo en reducciones grandes, también se agrietan si son forjados en matrices más frías que el material, esto significa que piezas con secciones delgadas, que enfrían

rápidamente, son difíciles de forjar. Con excepción del Inconel 600, no todos son igualmente forjables como las aleaciones a base de hierro. Prácticamente todas ellas requieren más presión para forjar una forma equivalente. Debido a su baja conductividad térmica requieren tiempos de calentamiento más largos que los aceros al carbono y otros materiales.

#### METALES REFRACTARIOS

La forjabilidad del tantalio, molibdeno y tungsteno dependen en cierto grado del método utilizado para convertir un lingote en barra. En las aleaciones de tantalio su forjabilidad decrece rápidamente cuando el contenido de tungsteno excede el 12.5%. En las aleaciones de molibdeno, los lingotes fundidos por arco no son forjables, excepto a muy altas temperaturas. Las aleaciones de tungsteno se comportan casi igual que las del molibdeno y mejoran su forjabilidad con la disminución del tamaño de grano.

#### BERILIO

Proporciones menores de deformación dan como resultado mejores propiedades de forjabilidad en este material, como se demuestra por el hecho de que el agrietamiento es un problema menor en prensas de forja que cuando se hacen en martinete. El berilio prensado en caliente se forja más fácilmente que cuando se prensa como fue vaciado.

### III.7 MATERIALES PARA DADOS O MATRICES DE FORJA

La cavidad de la matriz debe de tener un negativo de la misma forma que la pieza, pero para prevenir la contracción de la propia pieza durante el enfriamiento, deben ser dimensiones ligeramente mayores.

En general al construir matrices para acero, se considera contracciones del 1% .

Para facilitar la extracción de la pieza, las matrices deben de tener un ángulo de salida apropiado, adoptándose en general los siguientes ángulos por unidad de longitud:

-Para las superficies externas, aproximadamente 7°

-En agujeros y ranuras de por lo menos 10°

Para conseguir piezas bien acabadas y evitar la adherencia del metal, las superficies internas deben estar bien pulidas.

Con el fin de aumentar la capacidad de la pieza acabada, el material siempre está en ligero exceso respecto al volumen de la matriz, por lo que exige prevenir un surco a lo largo del borde de unión entre matriz y punzón, en el que se aloja el material sobrante.

Las rebabas que se forman, se eliminan después con prensas especiales de desbarbar o con muelas de material abrasivo, generalmente después del desbarbado se colocan las piezas convencionalmente recalentadas en un molde o matriz de acabado, y se someten a un golpe final de ajuste.

Para evitar adherencia del metal en la matriz y reducir el desgaste de ésta, se hace una lubricación adecuada antes de introducir el material que se debe de trabajar.

Por otra parte, para evitar que el material se rompa al entrar en contacto con el metal, que está a una temperatura elevada ( si la forja se realiza en caliente ), las matrices también se calientan a una temperatura menor 200-300°C .

Los materiales para la construcción de matrices deben de poseer las siguientes características:

- Dureza asociada con alta tenacidad.
- Resistencia al desgaste a alta temperatura.
- Baja sensibilidad a los cambios de temperatura.
- Indeformabilidad en los tratamientos térmicos.

Para la fabricación de los dados o matrices para la operación de forja se utilizan comúnmente los siguientes materiales:

MATERIAL	COMPOSICION QUIMICA	EMPLEO
Acero al carbono	C = 0.5-0.65 Si = 0.3	Matrices corrientes, con temperatura de trabajo moderada.
Acero al Ni-Cr-Mo (autemplantes)	C = 0.45 Ni = 4 Cr = 1.2 Mo = 0.5	Matrices medianas y grandes, de resistencia elevada y temperatura media de trabajo.
Aceros al W-Cr	C = 0.3 W = 4 Cr = 1.2	Matrices para temperaturas elevadas de trabajo. Adecuadas también para cabezas de punzones
Aceros al W-Cr Ni	C = 0.3 W = 9 Cr = 2.8 Ni = 1.2	Matrices para temperaturas elevadas de trabajo ( extrusión en caliente de aleaciones de cobre; matrices para forjar válvulas ).



Algunos materiales específicos empleados en fabricación de matrices son los aceros para trabajo en caliente o templables como: H10, H11, H21, H26, O1, O2, etc.

**ACEROS Y DUREZAS RECOMENDADOS PARA BLOQUES MATRIZ E INSERIOS MONTADOS EN CALIENTE PARA MARTINETES POR GRAVEDAD Y PRENSAS DE FORJA.**

Material para forjarse	Forjado en martinete-cantidad		Forjado en prensa-cantidad		a. Mejor para partidas grandes, alrededor de 50 000 forjas b. Mejor entre 1 000 y 10 000 forjas c. Mejor para forjar materiales resistentes al calor. Se usa aleación y aleaciones a base de níquel o a base de cobalto d. El bloque sólido de (15) es mejor para partidas grandes, alrededor de 50 000 forjas e. El tapón de (3) es mejor para más de 1 000 forjas l. Inserto completo p. inserto tipo tapón s. Sólido																																																									
	100-10 000	10 000 +	100-10 000	10 000 +																																																										
Aceros al carbono y aleaciones (baja aleación)	I 3 II 2 III 2 IV 3, s o + 9pb	4 3 2 + 3l 3 + 9p / 11	4 4 18 4, s o + 11pb	5, 10a 5, 10a 18 4 + 11p	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código</th> <th>Metál</th> <th>No. Brinell</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>6F2</td><td>289 - 333</td></tr> <tr><td>2</td><td>o</td><td>302 - 331</td></tr> <tr><td>3</td><td>6G</td><td>341 - 375</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td>358 - 429</td></tr> <tr><td>5</td><td>6F3</td><td>369 - 388</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td>375 - 405</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td>405 - 440</td></tr> <tr><td>8</td><td>H11</td><td>405 - 433</td></tr> <tr><td>9</td><td>H12</td><td>369 - 388</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td>388 - 405</td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td>405 - 433</td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td>405 - 448</td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td>429 - 448</td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td>448 - 477</td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td>477 - 514</td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td>477 - 543</td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td>514 - 577</td></tr> <tr><td>18</td><td>H26</td><td>Usualmente no forjado en prensa</td></tr> </tbody> </table>	Código	Metál	No. Brinell	1	6F2	289 - 333	2	o	302 - 331	3	6G	341 - 375	4		358 - 429	5	6F3	369 - 388	6		375 - 405	7		405 - 440	8	H11	405 - 433	9	H12	369 - 388	10		388 - 405	11		405 - 433	12		405 - 448	13		429 - 448	14		448 - 477	15		477 - 514	16		477 - 543	17		514 - 577	18	H26	Usualmente no forjado en prensa
Código	Metál	No. Brinell																																																												
1	6F2	289 - 333																																																												
2	o	302 - 331																																																												
3	6G	341 - 375																																																												
4		358 - 429																																																												
5	6F3	369 - 388																																																												
6		375 - 405																																																												
7		405 - 440																																																												
8	H11	405 - 433																																																												
9	H12	369 - 388																																																												
10		388 - 405																																																												
11		405 - 433																																																												
12		405 - 448																																																												
13		429 - 448																																																												
14		448 - 477																																																												
15		477 - 514																																																												
16		477 - 543																																																												
17		514 - 577																																																												
18	H26	Usualmente no forjado en prensa																																																												
Aceros inoxidables y aleaciones resistentes al calor	I 4 II 3 III 2 IV 3, s o + 15pb V 2 VI 1a	4 3 + 7l 2 + 3l 3 + 13l 2 + 9p 1 + 3p	4, 17c 18 18 4, s o + 13pb 18 18	18l, 17c 18 18 3 + 13p 18 18																																																										
Aluminio y aleaciones de magnesio	I 2 II 2 III 1 IV 3, 8 V 1 VI 1	3 3, 12a 2 3 + 8p, o 8 1 + 2p	3 3 18 3, 8 3 18	6, 14a 3 + 7l o 14a 18 3 + 13p 3 + 13pb 18																																																										
Cobre y aleaciones de cobre	I 3, 8 II 3 III 1 IV 8 V VI	12 3, 12a 2 8 — —	3, 15 3 18 8 — —	15 15 18 3 + 13p — —																																																										

TEMPERATURAS DE FORJA Y EVALUACION DE LA FORJABILIDAD

<b>ACEROS*</b>		<b>Ni-Cr-Mo</b>	
Carbón		4520	2250°F
1010	2400°F	4320	2250
1015	2400	4340	2350
1020	2350	4422	2250
1022	2300	4427	2250
1030	2350		
1035	2350	<b>Niquel-Molibdeno</b>	
1040	2300	4615	2200°F
1045	2300	4620	2300
1050	2300	4640	2200
1060	2160	4718	2250
1070	2100	4815	2250
1075	2250	4820	2250
1080	2200	<b>Cromo</b>	
1095	2150	5046	2200°F
10100	2150	50860	2200
		50846	2200
<b>Manganeso</b>		5120	2250
1330	2250°F	5130	2250
11340	2250	5140	2200
<b>Niquel-Cromo</b>		5150	2200
3140	2250°F	5160	2200
E3310	2250	51860	2200
		E52100	2200
<b>Molibdeno</b>		<b>Cromo-Vanadio</b>	
4023	2250°F	6120	2250°F
4037	2200	6150	2250
4042	2200	6407	2250
4063	2200	6427	2250
		7140	1950-2250
<b>Cromo-Molibdeno</b>		8115	2150
4130	2200°F	81845	2200
E4132	2250	8560	2150
4140	2250		
4050	2200	<b>Ni-Cr-Mo</b>	
		8620	2250°F
<b>Silicio-Manganeso</b>		8630	2250
9260	2200°F	8640	2200

Ni-Cr-Mo  
86B45  
8660  
8470  
8822

2200°F  
2150  
2250  
2250

Ni-Cr-Mo  
E9310  
94B17  
94B30  
94B40  
9840  
9850

2250°F  
2250  
2250  
2250  
2250  
2200

TITANIO Y ALEACIONES\*

Casi puro 1550-1700 g/g  
Alfa  
-4A1-2.5Sn 1650-1850 f/f  
-5A-5Sn-5Zr 1700-1800  
-7A1-12Zr 1700-1800  
-8A1-Mo-IV 1750-1950 f/f  
Beta  
-13V-11Cr-3A1 1600-1800 g/f  
-3A-8V-6Cr 1500-1600  
III 1550-1650

Alfa-Beta  
-4A1-4Mn 1500-1650  
-5A-6Sn-2Zr 1875-1950  
-6A1-4V 1550-1800  
-6A16V-2Sn(mod) 1550-1625  
-6A1-6V-4Mo 1525-1600  
-6A1-2Sn-4Zr 1675-1800  
-6A1-6Mo 1625-1700  
-7A1-4Mo 1680-1850 g/g  
IMI-679 1650-1725  
Hylite 60 1650-1750

-----  
ALEACIONES DE MAGNESIO\*

ZK21A 550-700°F  
AZ31B 550-800 g/p  
AZ61A 600-800 g/p  
ZK60A 300-750 e/p  
AZ80A 550-775 g/p  
HM21A 750-1050 g/f  
EK31A 700-900  
ZE42A 500-700  
ZE62 575-675  
QE22A 650-725  
HK31 600-1000 g/f  
HM31 750-1050 g/f

Forjabilidad de aleaciones

e: Excelente  
g: Buena  
f: Regular  
p: Escasa  
Letras debiles prensas/martinete.

Martinetes vs prensas para forjar aleaciones

- <sup>1</sup> Se prefiere la prensa para deformación intensa de la pieza.
- <sup>2</sup> Preferida la prensa (mejor forjabilidad a menor proporción de deformación)
- <sup>3</sup> Preferido el martinete; la temperatura de la pieza se mantiene más fácilmente
- <sup>4</sup> Preferido el martinete para piezas con secciones delgadas o aceros al carbono cuando las escamas son un problema.
- <sup>5</sup> Preferido el martinete para aleaciones en bruto para cuando se requieren altas temperaturas

**COBRE Y ALEACIONES**

Comercialmente puro	1400-1600°F
122DESOXIDADO CON P	1350-1550
182Cromo-Cobre	1200-1400
377Bronce forjable	1200-1400
464Bronce naval	1100-1300
616Bronce-Aluminio 9%	1400-1600
624Bronce-Aluminio 11%	1300-1500
628Bronce-Aluminio 10%	1500-1650
642Bronce-Al-Si	1350-1650
670Bronce-Al-Mg	1100-1300
673Bronce para cojinetes Manganeso-Silicio	1100-1350
674Bronce para cojinetes Manganeso-Silicio	1100-1350
675Bronce-Manganeso	1100-1300

**ACEROS PARA HERRAMIENTAS**

Endurecible al agua	
W1 a W5	1800-2000°F
Resistencia al choque	
S1,S2,S4,S5	1850-2100
Endurecible al aceite, trabajo en frío.	
O1	1800-1950
O2	1800-1900
O7	1800-2000
Media aleación, endurecible al aire, trabajo en frío	
A2,A4,A5,A6	1850-2000
Alto C, Alto Cr, Trabajo en frío D1 a D6	1800-2000
Cromo, trabajo en caliente	
H11,H12,H13,H14,H16	1950-2150
H15	1900-2100
Tungsteno, trab. en caliente	
H20,H21,H22	2000-2200
H24,H25,H26	2000-2200
Molibdeno alta velocidad	
M1,M10	1900-2100
M2	1900-2150
M4,M30,M34,M35,M36	1950-2150

Tungsteno alta velocidad	
T1	1950-2000°F
T4,T2,T8	1900-2200
T3	2000-2250
T5,T6	1950-2200
Baja aleación propósitos especiales.	
L1,L2,L6	1800-2100
L3	1800-2000
Carburo-Tungsteno, propósitos especiales.	
F2,F3	1800-2000
Bajo carbono, acero para moldes	
P1	2200-2350
P3	1900-2200
P4	2000-2250
P20	1950-2250
Resistente al choque, endurecible al aire	
S7	2000-2050

**BERILIO**

En prensa	1300-1400°F
En cubierta de acero	
	1400-1950

**TUNGSTENO Y ALEACIONES**

Sin alear	2200-3000°F
-1THo	2400-3500
-2THo	2400-2500
-2Mo	2200-2500
-15Mo	2000-2500
-26Remin	2700
-0.5 Cb	2200-3000

SUPER ALEACIONES A BASE DE  
 HIERRO

A-286	1750-2000 g
V-57	1650-2150 g
M-308	2000-2150
19-9DL	1200-2150 g
W-545	1700-2000 g.
Discaloy	1900-2200
16-25-6*	1200-2100 g
AFC-260	1750-2075
Pyromet 860	1900-2050

\*GRADO PARA TRABAJAR EN CALIENTE  
 O EN FRIO.

SUPER ALEACIONES A BASE DE  
 COBALTO

S-816	1600-2250 g/g
HS-25(L-605)	1600-2300 f/g
J-1570	1800-2200 -/f
HA-188	1800-2150
MP35N	1900-2100
V-36	1600-2250 -/g
J-1650	1800-2150 -/f

TANTALIO Y ALEACIONES<sup>5</sup>

99.8%	máx 2000 e
-10W	1800-2300 g
-12.5W	min 2000 g
-30Cb-7.5V	2200-2400 g
-8W-2Hf	min 200 g
-10Hf-5W	2100-2150 f

MOLIBDENO Y ALEACIONES<sup>5</sup>

Sin alear	1900-2400 g/g
-0.5Ti	2100-2600 f/g
-0.5Ti	2200-2700 g/g
-25W-0.1Zr	1900-2400 f/-

-30W  
 -0.25Zr

2100-2400 -/f  
 2400-2700

ALUMINIO Y ALEACIONES<sup>5</sup>

1100	600-1050 e/e
2014	600-900 e/e
2024	700-900 e/e
2025	800-920 e/e
2218	700-900 e/g
2219	800-880
2618	740-880
3003	600-760
4032	740-880
5052	800-860
5456	800-860
6061	700-960 e/e
6151	780-900
7039	700-820
7075	670-850
7079	700-880 e/f
X7080	700-825

ANTIMONIO Y ALEACIONES

99.2 (casi puro)	máx 2000 e
FS-82:-33Ta-1Zr	1900-2700 g
FS-80:-1Zr	máx 2300 e
FS-85:-28Ta-10W-1Zr	2300-2500 q
D31:-10Ti-10Mo-0.1C	1900-2700 g/f
D43:10W-1Zr-0.1C	2000-2200 g/f
Cb-74:10W-5Zr	2000-2600
Cb-752:10W-2.5Zr	2200-2600 q
F48:15W-5Mo-1Zr	2400-3000 f
SCb-291:10Ta-10W	1700-2200 g
B-66:5V-5Mo-1Zr	2200-3000 g/f
C-129Y:-10W-10Hf-0.1Y	2000-2200 g

SUPER ALEACIONES A BASE DE  
NIQUEL

ACEROS INOXIDABLES\*

A1901	1750-2150°F	Austeníticos	
Allvac 500	1950-2200	201	1750-2200°F
Altemp R41	1900-2200	202	1750-2200
Astrolloy	2000-2200	301	1750-2200
Altem 1251	1750-2150	302	1750-2200
Duranickel 301	1900-2250	202B	1750-2200
Hastelloy C	1850-2250	303	1750-2200 p
Hastelloy R235	1850-2200	304	1750-2200 q
Hastelloy W	1900-2200	305	1750-2200
Hastelloy X	1500-2250	308	1750-2200
Hastelloy 500	1950-2200	309	1850-2100
Haynes R41	1900-2200	310	1850-2100 q
Incoloy 825	1850-2150	314	1750-2000
Incoloy 901	1750-2150	316	1750-2100 q
Inconel 600	1900-2100	317	1750-2100
Inconel 625	1850-2150	321	1750-2200 f
Inconel 700	2025-2050	347	1750-2200 f/d
Inconel 718	1600-2200		
Inconel 722	1900-2200	Martensíticos	
Inconel X-750	1800-2200	403	1600-2100°F
Inconel 751	1900-2200	410	1600-2100
M-252	1750-2150	414	1750-2050
MAR-M-421	1900-2100	416	1600-2100
Monel 400	1700-2150	420	1750-2050
Monel K-500	1900-2100	440A	1750-2050
Nickel 200	1600-2200	440B	1750-2050
Nimonic 90	1850-2100	440C	1750-2050
Nimonic 115	2000-2150	Ascoloy griego	reco-2200
Rene 41	1850-2200	Lapelloy	reco-2250
Rene 95	1950-2050		
Idimet 200	1750-2150	Ferrítico	
Udimet 500	1900-2200	405	1750-2050°F
Udimet 700	1875-2150	430	1500-2050
Udimet 710	1950-2150	446	1500-2050
Udimet R41	1900-2200		
Unitemp R-235	1850-2200	Endurecible por precipitación	
Unitemp 500	1950-2200	AM 350	2100-2150°F
Unitemp 1753	1850-2150	AM 355	2000-2200 g
Unitemp AF1-1DA	1950-2050	17-7PH	1950-2200 f
Unitemp AF2-1DA	1950-2150	PH 15-7Mo	2000-2250
Waspaloy	1750-2200	Inoxidable W	2050-2250
		17-4	2100-2200 g

### III.8 TEORIA DE FORJA

El análisis de las operaciones de forja es muy complejo, pues requiere conocimientos sobre teoría de plasticidad de los materiales en dos o tres dimensiones.

Usualmente la deformación presenta muchas dificultades en el diseño de los pasos intermedios para forjar piezas de precisión, además se necesita de considerable experiencia y habilidad. El éxito de la operación de forjado requiere de un entendimiento de la presión de flujo del material, de condiciones de fricción y una secuencia de flujo para definir una geometría adecuada de los dados.

#### FORJA EN MATRIZ ABIERTA

Analizando la deformación de un cilindro en la operación de recalado considerando que el material es deformado en frío y no existe fricción entre la pieza de trabajo y las matrices.

Como el volumen del cilindro permanece constante se tiene:

$$A_o h_o = A_h h \quad \text{-----} \quad (1)$$

donde  $A_o$  : es el área inicial de la sección transversal.

$h_o$  : es la altura original del cilindro.

A : es el área deformada.

h : es la altura del cilindro deformado.

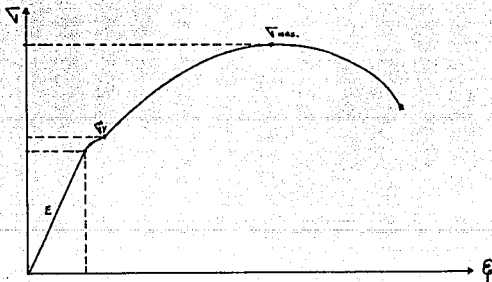
De la gráfica esfuerzo - deformación para un material dúctil se tiene que en la zona elástica.

$$\bar{V} = E \xi \text{ ----- (2)}$$

donde  $\bar{V}$  : es el esfuerzo aplicado.

E : módulo de elasticidad del material.

$\xi$  : deformación producida.



Y en la zona plástica el esfuerzo real podemos calcularlo por la ecuación siguiente ( frecuentemente condicionado para el flujo de esfuerzos ).

$$\bar{V}_r = K \xi^n \text{ ----- (3)}$$



donde  $K$  : constante de endurecimiento.

$n$  : índice de endurecimiento.

Se pueden obtener de las tablas adjuntas.

Además como el volumen y la masa en la zona plástica son constantes:

$$V_0 = A_0 h_0 = V_f = Ah \quad (4)$$

$$A/A_0 = h_0/h \quad (5)$$

$$\xi_{ing} = h/h_0 = A/A_0 \quad (6)$$

$$\xi_{real} = dA/A \quad (7)$$

por lo que la deformación real tenemos que es:

$$\xi = \ln (A_0/A) \quad (8)$$

por lo tanto de la ecuación (3) se tiene que:

$$\sqrt{r} = K ( \ln ( A_0/A ) )^n \quad (9)$$

el trabajo esta definido por :  $W = \int_{h_0}^h F dh$

$$W = \int_{h_0}^h \sqrt{r} Adh = \int_{h_0}^h \sqrt{r} V/h dh = \int_{h_0}^h \sqrt{r} V d\xi = \int_{h_0}^h K \xi^n V d\xi = KV \int_{\xi_0}^{\xi_f} \xi^n d\xi$$

$$W = KV ( \xi^{n+1} ) / (n+1) \quad (10)$$

donde  $V$  es el volumen del cilindro y la relación define el trabajo total.

La potencia es simple de obtener si tenemos el trabajo y el tiempo de un ciclo.

$$P = W/t \text{ ----- (11)}$$

$$P_c = \frac{(KV\dot{\epsilon}^{n+1})}{t_c} \text{ ----- (12)}$$

$P_c$  = es la potencia

$t_c$  = es el tiempo promedio de un ciclo

### III.9 RECALCADO DE UN CILINDRO ( FORJADO EN CALIENTE )

Supongamos que un cilindro es deformado en caliente, la deformación es homogénea y definida por:

$$\dot{\epsilon} = (1/h)(dh/dt) \text{ ----- (13)}$$

$$\dot{\epsilon} = v/h \text{ ----- (14)}$$

$\dot{\epsilon}$  = es la velocidad de deformación plástica.

$v$  = es la velocidad de la matriz.

$h$  = es la altura instantánea del cilindro.

Sabemos que la deformación plástica a alta temperatura está definida por la relación:

$$\nabla r = C(\dot{\epsilon})^m \text{ ----- (15)}$$

$\dot{\xi}$  = es la velocidad de deformación plástica.

C = es la constante de deformación.

m = es la recuperación.

La fuerza de deformación es obtenida por la combinación de las ecuaciones (14) y (15)

$$F = C(v/h)^m A \text{ -----(16)}$$

Similarmente el trabajo necesario en la operación de recalado en caliente es:

$$W = \int_{h_0}^n F dh$$

$$W = \int_{h_0}^n \sqrt{r} A dh$$

$$W = \int_{h_0}^n \sqrt{r} v dh/h$$

$$W = v \int_{h_0}^n C \dot{\xi}^{-m} d\xi$$

$$W = vC \int_{h_0}^n \dot{\xi}^{-m} d\xi$$

Finalmente:

$$W = vC \dot{\xi}^{-m} = \dot{\xi} \text{ -----(17)}$$

Definiendo la potencia promedio necesaria para deformar un cilindro en un tiempo promedio de trabajo realizado.

$$P_{av} = W / t$$

$$P_{av} = \frac{C V \dot{\epsilon} m \bar{\sigma}}{t_{av}} \text{-----(18)}$$

Todo proceso de forja implica fricción entre la pieza de trabajo y las superficies de las matrices, por lo tanto, en la práctica no es realizable una operación de forja sin fricción.

La deformación en el cilindro supuesto tomará una forma de abarrilamiento ya que el flujo en el sentido horizontal de los planos ofrece una resistencia, causada por la fricción.

El esfuerzo máximo se presenta en el centro del cilindro.

(Ver figura III.15 )

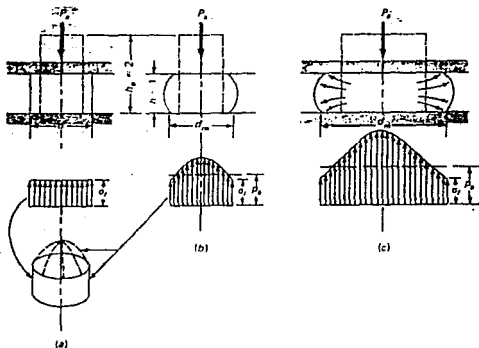


Fig.III.15 Recalado de cilindro a)sin fricción b)alta fricción c)alta fricción y gran relación de d/h

Para obtener una presión de flujo efectiva consideramos un factor de multiplicación ( $Q_a$ )

$$\sqrt{a} = Q_a \sqrt{r} \text{-----(19)}$$

$\sqrt{a}$  = es la presión de flujo en presencia de fricción.

$\sqrt{r}$  = es la presión de flujo uniaxial en la ausencia de fricción

$Q_a$  = es el factor de multiplicación el cual depende de la geometría de la pieza y del coeficiente de fricción, donde  $Q_a$  es menor que 1 ( $Q_a < 1$ ) ( Fig III.16).

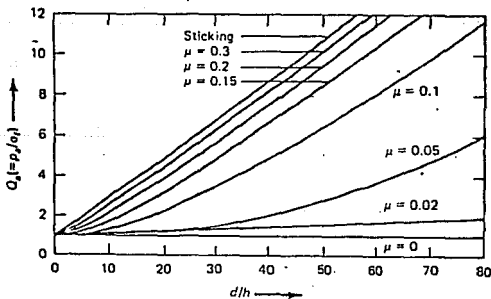


Figura III.16 Factores de multiplicación de presión en la interfase para el forjado de un cilindro en matriz abierta.

$$d/h = \frac{\text{diámetro de Área equivalente}}{\text{altura final}}$$

finalmente la fuerza de deformación esta dada por:

$$F = Qa \sqrt{r} A_m \quad (20)$$

$A_m$  = Área media final de la sección transversal.

Esta es una fuerza estimada considerando los puntos mencionados anteriormente.

### III.10 FORJA CERRADA

Por forja en matriz cerrada, se entiende la conformación plástica de un material metálico a altas temperaturas por medio de golpes o presión gradual en una herramienta con cavidad cerrada por todas partes. Existe forja en matriz cerrada con rebaba y forja en matriz cerrada sin rebaba. No existe una formulación real y verdadera de la forja en matrices cerradas. Sin embargo, valores aproximados son obtenidos de la siguiente deducción para forjado en matriz cerrada.

La deformación promedio es :

$$\xi_m = \ln ( h_o / h_m ) = \ln ( h_o A_p / V ) \text{ ----(21)}$$

donde  $h_o$  = es la altura inicial promedio.

$h_m$  = es la altura final media.

$A_p$  = es el área proyectada.

$V$  = volumen de la forja

La presión media de flujo es calculada por:

$$\bar{V}_r = K \xi_m^n \text{ -----(22)}$$

La deformación de una situación semejante es compleja y no tan fácilmente modelada como en la forja abierta, sin embargo es

conocido que las fuerzas se incrementan con la complejidad de la pieza.

Los factores de multiplicación  $Q_c$  ( consultar la tabla 3.1 adjunta ) son sugeridos por estimación, usando estos valores tenemos que la presión en el dado o matriz es :

$$P_d = Q_c \sqrt{r} \text{ -----(23)}$$

y la carga o fuerza de la matriz es :

$$F = Q_c \sqrt{r} A_p \text{ -----(24)}$$

El intervalo de deformación promedio es obtenida como :

$$\dot{\xi}_m = v/h = v A_p/V \text{ -----(25)}$$

La presión de flujo es calculada por la ecuación :

$$\sqrt{r} = C \dot{\xi}_m^m \text{ -----(26)}$$

La presión y la carga definidas por las ecuaciones (23) y (24)

Recordando que el trabajo requerido para la forja de una pieza es:

$$W = \int_{h_0}^h F dh$$

$F$  = fuerza instantánea



W = trabajo final del ciclo

Como  $Q_c$  cambia durante el ciclo la alternativa es que multipliquemos por un factor  $Q_{re}$  de la tabla 3.1 anexa.

Usando el factor  $Q_{re}$  la fuerza queda expresada por

$$F = \sqrt{\tau} Q_{re} A_p \text{ -----(27)}$$

F = fuerza de forja.

$Q_{re}$  = es el factor de multiplicación de energía.

La ecuación 24 es similar a la obtenida por Schey\* que también es una aproximación para determinar la fuerza de forja en matriz cerrada. La aproximación de Schey está expresada por la siguiente ecuación:

$$P = \sqrt{\tau} A_t C_1$$

donde:

$A_t$  = Area de la sección transversal, del torjado incluyendo la rebaba.

$C_1$  = Es un valor que depende de la complejidad de el forjado. Varía de 3 a 8 para forjado de formas simples y de 8 a 12 para formas más complejas.

$\sqrt{\tau}$  = Es el esfuerzo máximo del material.

Como podemos observar tanto la ecuación 24 como la obtenida por Schey para obtener la fuerza consideran un factor de compresión

\* Ver Mechanical Metallurgy de George E. Dieter secc. 16-6

que depende de la complejidad del forjado, pero que en el caso de la formulación en la que se llega a la ecuación 24 se tienen relaciones empíricas para determinar  $\nabla r$ .

Regresando a la deducción inicial el trabajo realizado y por lo tanto, la energía requerida por unidad es:

$$W = \nabla r Q_{r_0} V \dot{\xi}_m$$

El esfuerzo real determinado por las propiedades del material puede ser obtenido por cualquiera de las siguientes ecuaciones.

$$\nabla r = K \dot{\xi}_m^n \quad \text{ó} \quad \nabla r = C \dot{\xi}_m^m$$

Para poder estimar la carga o fuerza de forja se aplica un factor de multiplicación  $Q_c$  el cual está en función de la geometría de la pieza, nervios, cavidades estrechas y del área de contacto que produce mayor fricción durante el flujo.  $Q_{r_0}$  es un factor para estimar la energía necesaria cuando empleamos martillos durante la forja basado en la experiencia y en las características antes mencionadas.

Forma del forjado	$Q_c$	$Q_{re}$
Simple, sin rebaba	3-5	2.0-2.5
con rebaba	5-8	3.0
Compleja	8-12	4.0

Tabla 3.1 Factores de multiplicación para estimar las fuerzas ( $Q_c$ ) y energía requerida ( $Q_{re}$ ) en forja cerrada.

## CAPITULO IV

### DISEÑO DE LA MATRIZ

**IV.1 INTRODUCCION:** Por forja en matriz cerrada, se entiende la conformación plástica de un material metálico a altas temperaturas por medio de golpes o presión gradualmente en una herramienta con cavidad cerrada por todas partes. Las matrices se fabrican en todos los tamaños, desde pocos kilogramos de peso hasta varias toneladas.

Las piezas forjadas en la matriz son de gran precisión dimensional con respecto a otros procesos de conformado y requieren poco mecanizado complementario.

La forja en matriz cerrada es por ello un método para la producción en serie. En este caso se puede partir de un material forjado previamente con formas aproximadas a la final, sin embargo, la mayoría de las veces se parte de un material laminado como palanquilla y barra.

La palanquilla o la barra son seccionadas en cizalla o sierra. Aunque, debe calcularse el volumen de la pieza y debe contarse con un sobrante de material, para estar más seguros de que el material rellena por igual todas las partes del molde.

Cuando el proceso es en matriz cerrada con rebaba el material sobrante fluye a los canales de rebaba.

Para desbarbar se emplean útiles cortantes los cuales pueden ser cizallas o prensas auxiliares.

La forja en matriz cerrada es usada para producir diversos productos que se necesitan elaborar en un gran número, rápidamente, con un mínimo de operaciones posibles pero sobre todo en aquellas en que se necesite contar con una alta resistencia mecánica, como por ejemplo: componentes para máquinas y equipo, elementos de vehículos de aire, mar y tierra, tuercas, pernos, remaches, tornillos, herramientas tales como martillos, alicates, azadones y horquillas, instrumentos quirúrgicos y de corte (cuchillos y cortadores), etc.

Para la selección de este tipo de forja en matriz cerrada es necesario hacer un estudio económico del proceso que considere :

- Costos de producción de matrices.
- Número de piezas.
- Costos de producción de la pieza.
- Tipo de material a forjar.
- Geometría de la pieza.
- Acabados superficiales.
- Tolerancias dimensionales requeridas.

## I V . 2    D I S E Ñ O   D E   L A   M A T R I Z

Como en todo proceso de diseño el primer paso era establecer las condiciones y características de diseño.

Las condiciones de diseño bajo las que se realizó este proyecto son: que la operación fuera lo más sencilla posible, que contara con las características principales del proceso a nivel industrial, que pudiera adaptarse al equipo existente tomando en cuenta que el objetivo básico es el análisis del proceso de forja para su uso didáctico.

En la investigación que se hizo para ver los diferentes tipos de matrices existentes, se encontró gran diversidad de ellas por la gran cantidad de piezas que se realizan en matriz cerrada y que su diseño tiene que ver principalmente con la geometría de la pieza. La característica común de ellas es que consistían de dos bloques metálicos (matriz superior y matriz inferior) los cuales tenían cavidades con la forma de la pieza que se forjaría entre ellos.

Lo anterior nos condujo a que nuestras matrices consistirían de dos bloques metálicos, cuya impresión nos iba a dar la forma de nuestra pieza o bien los mismos bloques con alguna variación. Además, se decidió que el proceso sería en matriz cerrada pero sin rebaba, quitando con esto el desbarbado.

Usualmente la deformación en matrices cerradas es muy compleja y el diseño de matrices requiere de considerable experiencia y habilidad. Un claro entendimiento de la presión, de

las condiciones de fricción y de flujo del material son factores importantes para desarrollar una óptima geometría de las matrices.

Previo al diseño de las matrices es necesario conocer:

- Geometría de la pieza
- Número de piezas a producir.
- Volumen y peso de la pieza.
- Dimensiones de la pieza.
- Tolerancias.
- Material de la forja.
- Maquinaria y equipo disponible.
- Acabado requerido.

#### IV.3 CONSIDERACIONES IMPORTANTES PARA EL DISEÑO DE LA CAVIDAD DE LA MATRIZ

La principal consideración es reducir la resistencia a la deformación evitando: orillas agudas, cambios bruscos en secciones transversales, flujo a través de secciones estrechas, acabado fino de la superficie para reducir fricción, bases y paredes laterales tan gruesas como sea posible para evitar el enfriamiento de la pieza a forjar y deformación de la matriz. Además, de considerar un ángulo de salida de 5° a 7°.

En matriz cerrada la forma de la pieza de trabajo debe ser dividida por lo menos entre dos herramientas.

Es muy importante colocar correctamente la línea divisoria de la pieza de trabajo (línea de partición).

Algunas reglas básicas que deben ser observadas son:

- 1) La línea de partición debe dividir a la forja ( en todas sus secciones de ser posible ) en dos mitades de igual profundidad.
- 2) La línea de partición debe estar situada en un solo plano si esto es posible.
- 3) La línea de partición debe facilitar el flujo de material y reducir en lo posible los defectos de forja. En esta condición se justifica una línea de partición en más de un plano.
- 4) La línea de partición debe ser situada de tal manera que facilite la sujeción para el maquinado posterior.(Fig. IV.1).






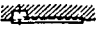


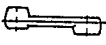








CRITERIO DE DESIGNACION	PRINCIPALES	EJEMPLOS	
<p>1</p> <p>LÍNEA DE PARTICION SIMETRICA</p> <p>LA LINEA DE REBABA NO DEBE ESTAR A LA ORILLA DE LA PIEZA</p>	 <p>CORRECTO      INCORRECTO</p>  <p>INCORRECTO</p>	 <p>DESEABLE PERO NO CUMPLE LA REGLA 2</p>  <p>CORRECTO</p>  <p>INCORRECTO</p>	
<p>2</p> <p>LA LINEA DE PARTICION EN UN PLANO</p>	 <p>PREFERIDA EN MANUFACTURA DE DADOS SIMPLES</p>	 <p>DESEABLE PERO NO CUMPLE LA REGLA 1</p>  <p>NO CUMPLE LA REGLA 3</p>	
<p>3</p> <p>ELECCION DE LA LINEA DE PARTICION QUE FACILITE EL FLUJO DEL MATERIAL</p>	 <p>DESEABLE</p>  <p>INDESEABLE</p>	 <p>DESEABLE PERO NO CUMPLE LA REGLA 2</p>	
<p>4</p> <p>PARA FACILITAR EL MAQUINADO</p>		 <p>INDESEABLE</p>  <p>DESEABLE</p>  <p>INDESEABLE</p>  <p>DESEABLE PERO NO CUMPLE LA REGLA 1</p>	

Fig. IV.1 Reglas Básicas Para Facilitar La Posición De La Línea De Partición.

#### IV.4 GEOMETRIA DE LA PIEZA A FORJAR

En un principio no se contaba con una geometría definida de la pieza que podríamos forjar y por lo tanto, del área que cumpliera con nuestra máxima carga disponible ( 10 Ton. ). La primera alternativa era forjar un martillo pequeño que es una pieza típica formada por este proceso, pero al definir su geometría se detectó que, el principal obstáculo era el de la fabricación de la cavidad de las matrices con las máquinas herramientas disponibles.

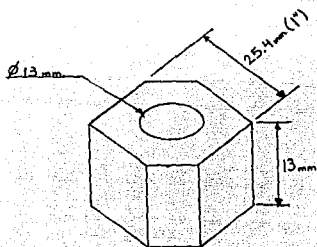
La otra alternativa era el forjar una pieza con la forma de una tuerca que también tenía el inconveniente del maquinado de la cavidad de la matriz, pero que se podía resolver metiendo un inserto. Este inserto podíamos adquirirlo de un dado común que utilizan los mecánicos para aflojar tuercas o tornillos con cabeza hexagonal. Además esto significaba un ahorro en maquinado por lo que sólo tendríamos que adaptarlo. Por lo anterior decidimos que la forma o geometría de la pieza fuera el de una tuerca hexagonal.

La pieza presenta pequeños radios en las aristas que implican dificultad de llenado, así como agujero central, las tolerancias son holgadas no requiriéndose el forjado de precisión.

Dependiendo de la complejidad de la pieza el número de pasos aumentará en relación a ésta. En este caso se ha pensado realizar en un solo paso, por lo complejo y costoso de hacer varias matrices o impresiones.

La función de la tuerca no requiere acabados finos en sus superficies externas formadas durante el forjado.

La pieza o tuerca tiene la geometría y dimensiones especificadas en el siguiente dibujo.



#### IV.5 CONSIDERACIONES DEL MATERIAL A FORJAR

Para la selección del material se deben de tener en consideración factores tan importantes como, resistencia de materiales, forjabilidad, equipo disponible, cargas requeridas, uso del producto, temperaturas de forja, etc.

Dentro de la gama de materiales forjables el aluminio es el que presenta las mejores características para la fabricación de la pieza porque puede ser forjado rápidamente en formas complejas y precisas, es un elemento dúctil, las presiones de forja son bajas y no se forman escamas durante el calentamiento, puede ser forjado en prensas mecánicas que son muy usadas para trabajos en matriz cerrada.

En comparación con el cobre y el magnesio, el aluminio de la serie 1000 tiene un costo más bajo, además de que el cobre y el magnesio requieren mayor control en cuanto a temperaturas y tiempos de calentamiento.

Las características principales son las siguientes:

- Aluminio (Al): 1100 ( 99% de pureza )
- Temperatura de fusión 643 - 657 °C
- Temperatura de forja 250 - 550 °C

( Ver tabla 4.1 y 4.1a del apéndice A )

#### IV.6 CARACTERISTICAS DEL EQUIPO

Se utilizará una máquina ( Instron ) para pruebas mecánicas ( tracción y compresión ) la cual se puede utilizar como prensa hidráulica cuya carga máxima es de 12.5 toneladas, este equipo cuenta con controles precisos de velocidad de aplicación de la carga, paro automático al llegar a una carga o desplazamiento previamente programado, se tiene un registro gráfico de esfuerzo contra deformación. Este sistema de pruebas consiste de la unión de la estructura de carga, la consola de control, el proveedor de la fuerza hidráulica, los cables de interconexión eléctrica y las mangueras hidráulicas.

La estructura de carga es rígida de doble columna y está unida al cabezal superior el cual es posicionado con los elevadores hidráulicos de éste y sostenido en el lugar por seguros hidráulicos. El actuador está montado debajo de la tabla o plano de trabajo. La muestra a ser probada es montada entre el actuador y la celda de carga (cabezal superior) usando mordazas adecuadas.

#### IV.7 ESPECIFICACIONES DE LA PRENSA

Instron modelo 1331

Número de columnas : 2

Diámetro de columna : 2.5 pulgadas

Espacio entre columnas : 22 pulgadas

Levantamiento del cabezal y seguros : Hidráulico

Carga : 100% - 12.5 ton.; 50% - 6.25 ton.; 20% - 1.25 ton.

10% - 0.625 ton.; 5% - 0.3125 ton.

Rango de velocidad del actuador: 0.001 a 1000 mm./min.

#### IV.8 ESTABLECIMIENTO DE LA OPERACION DE FORJA

Tomando en cuenta que se forjará con una prensa hidráulica de poca capacidad, además de considerar tiempo, dinero y complejidad de fabricación de matrices múltiples el proceso se tendría que realizar en un sólo paso.

La línea de partición quedará en la parte superior de la pieza para tener líneas de flujo uniformes y sin esfuerzos concentrados ( Ver fig.IV.2 inciso E )

Para dimensionar la cavidad que alojará el material, se partirá del hecho de que el volumen de la pieza es el mismo antes y después de la forja puesto que no tendremos excedente de material o rebaba. Se debe poner mucha atención cuando se forja con prensa en la relación que hay entre la forma del producto, dimensiones y el trozo de metal de partida.

De acuerdo con la prensa disponible, la operación de forja se pensó en realizarla en dos matrices (superior e inferior). La matriz superior se compondría de un punzón hexagonal que iría unido a un bloque metálico junto con sus guías. La matriz inferior compuesta de tres elementos: el primero tendría la cavidad con la forma de la pieza, el segundo una placa tipo cuña sería la base de la cavidad del primer elemento y el tercero el bloque metálico en el cual se unen los dos anteriores.

La secuencia de la operación es la siguiente: en la matriz inferior se introduce un tocho de aluminio a cierta temperatura o temperatura de forja, con el punzón hexagonal se comprime el material hasta lograr su forjado y posteriormente se hace la extracción de la pieza.

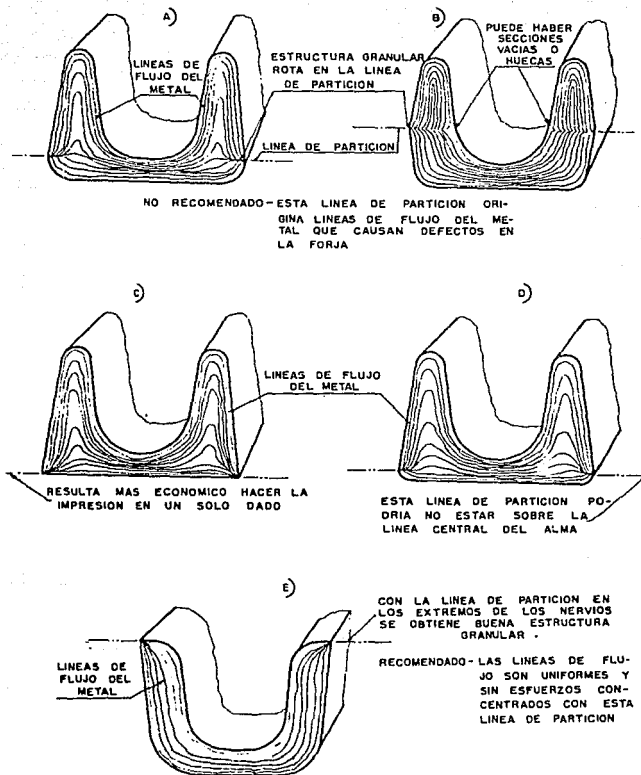


Fig.IV.2 Efectos producidos en la orientación del grano por la localización de la línea de partición en una sección en " U ".

#### IV.9 DIMENSIONES DEL MATERIAL DE PARTIDA

El material de partida es aluminio de la serie 1000 con 99% de pureza. La forma de éste es el de un cilindro de pequeña altura, diámetro aproximado al de la cavidad de la matriz para que el flujo de material sea mínimo y tener un centrado correcto para que el material se distribuya lo mejor posible( Ver figura IV.3 ).

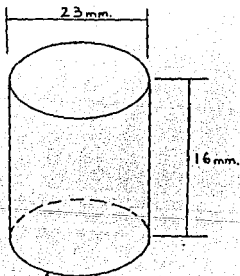


Fig. IV.3 Dimensiones del material de partida.



#### IV.10 EXTRACCION DE LA PIEZA

Una de las alternativas para hacer la extracción de la pieza forjada, era el de tener un resorte en el fondo de la cavidad de la matriz, el cual al retirar la carga se estiraría expulsando la pieza. Lo anterior significaba que el resorte debía tener la fuerza suficiente como para botar la pieza y se requería un mayor maquinado y por lo tanto mayor complicación en las matrices.

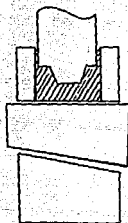
Partiendo de que la pieza es de forma hexagonal, con un agujero central cuyas paredes laterales, perpendiculares al plano de forja y con fuerte adherencia a las paredes de la cavidad de la matriz, podemos decir que su extracción se dificulta por varios factores como son:

- Movimiento de una sola matriz.
- La pieza queda dentro de una cavidad profunda.
- El uso de botadores no es conveniente ya que implicaría utilizar equipo adicional y mayor complejidad en las matrices.
- Por la geometría de la pieza no admite ángulos de salida.

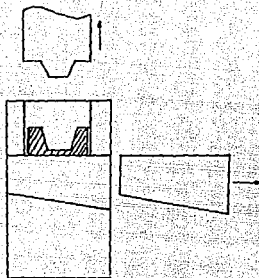
Lo anterior nos condujo a que la extracción de la pieza se podría hacer aprovechando el movimiento del punzón sin tener que adicionar otros elementos y sin dañar la pieza.

La extracción de la pieza se realiza por medio de un punzón, el cual se desplazará hacia la parte inferior de la matriz donde previamente se retirará una placa tipo cuña que deja un hueco en la matriz donde caerá la pieza.

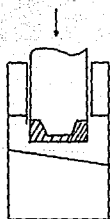
El proceso de extracción se observa en los siguientes dibujos:



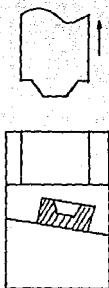
CONFORMADO



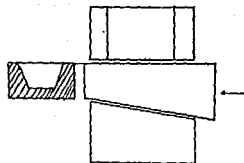
SE RETIRA PUNZON  
Y CUA



EXPULSION DE  
LA TUERCA DE  
LA CAVIDAD



CAIDA DE LA  
TUERCA AL  
RETIRAR EL  
PUNZON



SALIDA DE LA  
TUERCA CON AYUDA  
DE LA CUA

SECUENCIA DE EXTRACCION DE LA TUERCA

#### IV.11 SELECCION DEL MATERIAL PARA LAS MATRICES

Los materiales para la construcción de matrices deben poseer las siguientes características:

- Dureza asociada con alta tenacidad.
- Resistencia al desgaste a altas temperaturas.
- Poca sensibilidad a los cambios de temperatura.
- Indeformabilidad en los tratamientos térmicos.

Los materiales más comunes empleados para la construcción de matrices para forja en caliente son los siguientes:

Tipo de acero	C	Mn	Si	W	Cr	V	Mo
H 12	0.35	0.3	1.0	1.4	5.0	0.45	1.4
H 13	0.37	0.35	1.0	-	5.25	1.05	1.25

Tipo: H 12

Acero al cromo - vanadio- molibdeno, para trabajo en caliente.

Estado de entrega :

Recocido - Dureza Brinell 187 - 217 aproximadamente.

Características:

El H12 es un acero creado para la fabricación de moldes para

fundir piezas a base de aluminio y magnesio y otras aplicaciones en las cuales la temperatura durante el trabajo es de 370 hasta 595 °C , a altas temperaturas conserva su tenacidad y resistencia al choque térmico.

Tipo: H 13

Acero al cromo - molibdeno - vanadio apto para continuos choques térmicos.

Estado de entrega:

Recocido - Dureza Brinell máxima de 240

Características:

Alta tenacidad y resistencia a continuos choques térmicos. Se temple entre 1040-1100 grados centígrados en aceite o aire.

Para la selección del tipo de material que se debe usar se mencionaron los más comunmente empleados en la industria metalmeccánica pero para nuestras condiciones de trabajo, se podrán usar aquellos que soporten sólo una compresión de 10 toneladas que es nuestro límite de carga. En cuanto a la carga de 10 ton. la mayoría de los aceros que existen en el mercado quedan sobrados en cuanto a resistencia mecánica, por lo que podemos usar otros aceros como el cold rolled para la construcción de las bases de nuestras matrices.

#### IV.12 CARACTERISTICAS DE LAS PIEZAS QUE CONFORMAN EL ARREGLO DE FORJA

La utilización o implementación de aditamentos para lograr montar las matrices en la prensa son de vital importancia para el buen funcionamiento del arreglo. Por lo que mencionaremos las características importantes a las que serán sometidas cada una de las piezas, para construir las y elegir el material con cierto margen de seguridad.

##### Conector Superior:

Este conector previamente diseñado tendrá la función de transmitir la carga que será aplicada por la prensa, además de servir de acoplamiento entre matriz y prensa. Por lo que el conector será expuesto a esfuerzos de compresión en tiempos determinados y estos esfuerzos son pequeños y no continuos. El acero 1015 cumple con las características necesarias a las que será expuesta la pieza sin alterar sus propiedades físicas y químicas. Su resistencia mecánica máxima es de  $4288 \text{ kg/cm}^2$  que comparada con el esfuerzo que soporta el conector ( $494 \text{ kg/cm}^2$ ) es bastante mayor. (Ver dibujo No. 1)

##### Matriz Superior:

Esta matriz tiene la función de unir al conector superior y en forma directa transmitir la carga al punzón que será insertado en esta matriz. La matriz superior también servirá de acoplamiento con la matriz inferior por medio de guías cilíndricas laterales que servirán de alineamiento de todo el conjunto. Al no existir alineamiento puede suceder que no haya un

cierre perfecto de las dos matrices ocasionando que en el forjado de la pieza el material fluya hacia el lugar donde no cierran las matrices. Como la compresión no será soportada en forma directa por esta matriz podemos usar un acero 1015 cold rolled que nos asegura una buena resistencia mecánica y no altera sus propiedades físicas o químicas. (Ver dibujo No. 2)

#### **Punzón:**

Esta pieza es una de las más importantes del arreglo ya que tendrá la función de darle forma a la pieza a forjar y transmitir el esfuerzo de compresión al material alojado en la cavidad. Para su maquinado debe tener tolerancias muy estrechas y una buena resistencia al desgaste por el indefinido número de ensayos. El acero 9840 lo consideramos apto para tal función debido a su tenacidad al emplearlo en la construcción de piezas para maquinaria sin alterar sus propiedades mecánicas siendo su resistencia máxima de 11108 kg/cm<sup>2</sup>. (Ver dibujo No. 3)

#### **Matriz Inferior Parte A-1:**

Esta parte del conjunto que forma la matriz inferior solamente servirá de sujeción para que sea introducido a presión el inserto de forma hexagonal que junto con el punzón darán la forma a la figura deseada. En realidad la placa no soportará directamente la presión, sino sólo pequeños esfuerzos repartidos a lo largo de toda la placa. El material que elegimos es el acero 1015 cuyas características son buenas, además de tener buena soldabilidad ya que se requiere unir inserto y placa con el

electrodo 6013 y asegurar la unión de inserto y placa cuando empiece la compresión. (Ver dibujo No. 4)

#### **Matriz Inferior Parte A-2:**

Esta parte de la matriz es la base de unión entre la parte A-1 y la cuña. Lleva una cavidad para el alojamiento de la cuña la cual desliza sobre esta base y permite que la pieza sea conformada y extraída. Como ésta parte de la matriz soportará de manera directa la presión del punzón, el acero 1015 cumple para tal condición de trabajo y tendremos cierta seguridad en cuanto a propiedades físicas y químicas. (Ver dibujo No. 5)

#### **Cuña:**

La cuña sirve de apoyo para soportar la presión directa de la matriz superior cuando se lleve a cabo el proceso, dejando un hueco sobre el que desliza y pueda ser retirada la pieza forjada. El acero cold rolled reúne las características para tal función sin alterar sus propiedades mecánicas. (Ver fig. de secuencia de extracción de la pieza de éste capítulo).

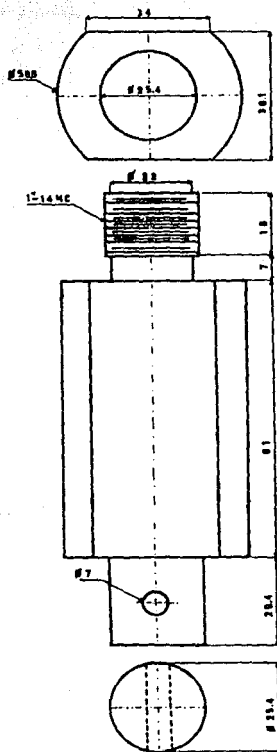
#### **Conector Inferior:**

El conector básicamente servirá de apoyo y de unión con la matriz inferior. Este no tendrá movimiento cuando la matriz superior se acople con la matriz inferior, es decir, su función es igual a la del conector superior por lo que usaremos acero 1015 para tal fabricación. (Ver dibujo No. 6)

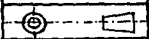
### Inserto:

Como mencionamos anteriormente, este inserto alojado en la parte superior de la matriz (parte A-1) es el que soportará ciertamente la presión en las paredes del hexágono, cuando el punzón haga presión contra el material para darle forma. El acero que se emplee debe contar con buenas propiedades de resistencia mecánica, resistencia al desgaste, a la abrasión, compresión, tracción y sin alterar sus propiedades físicas o químicas. El material que podemos usar es el acero 5140 que reúne tales condiciones de trabajo y tiene una resistencia máxima de 7381 kg/cm<sup>2</sup>. (Ver fig. IV.6 de la pag. 126 ).





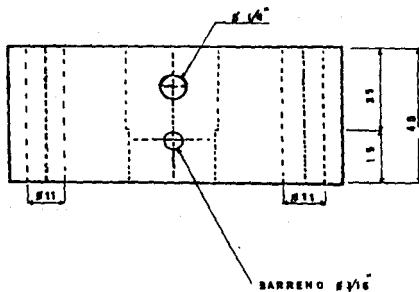
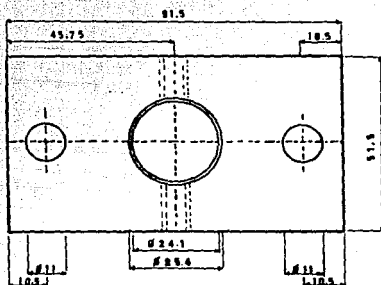
ESCALA: 1:1



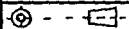
CONECTOR  
SUPERIOR

MATERIAL:  
ACERO 1018  
ACOTACIONES:  
EN MM

DIBUJO: N°1



ESCALA 1:1

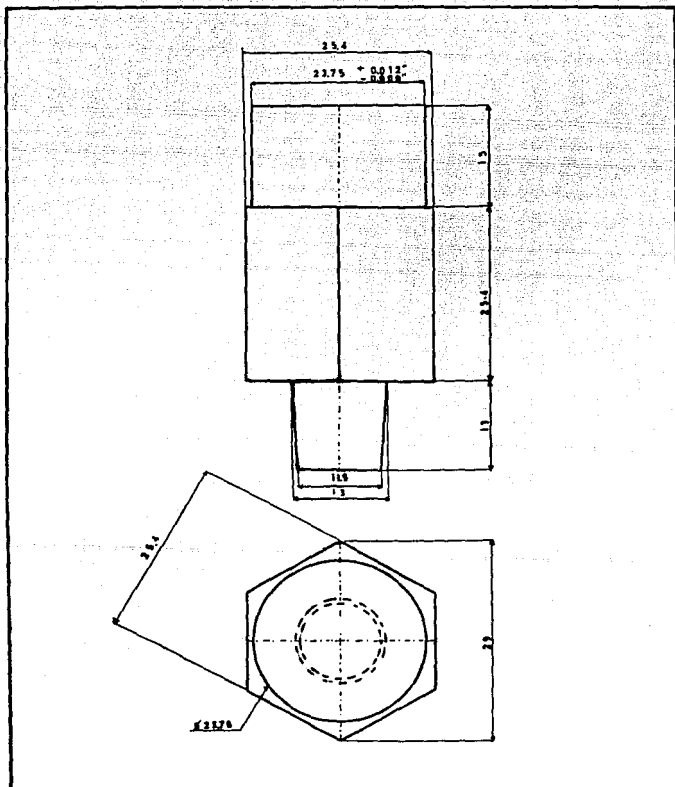


MATRIZ  
SUPERIOR

MATERIAL:  
acero 1015

ACOTACIONES:  
en mm

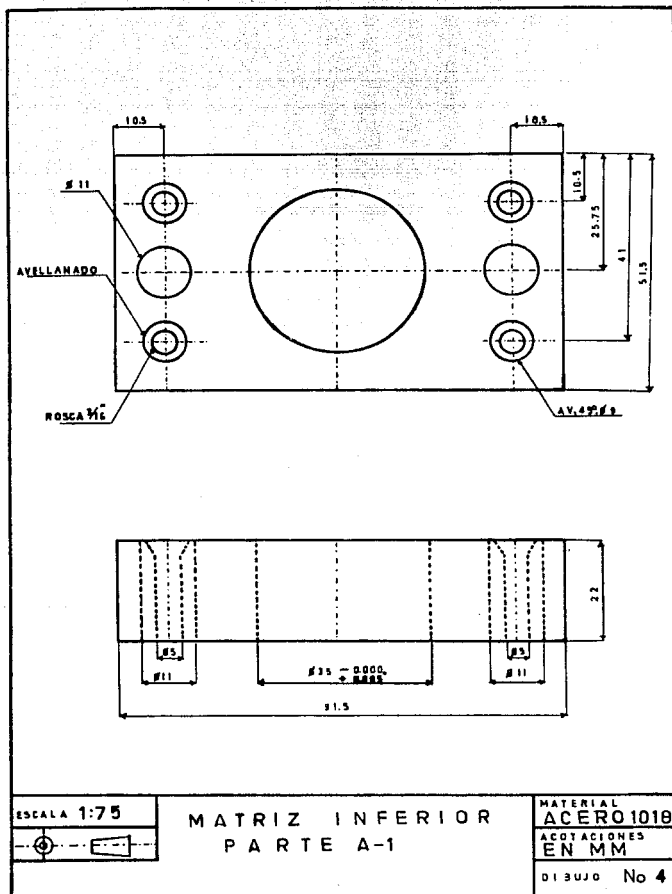
DISUJO: No 2

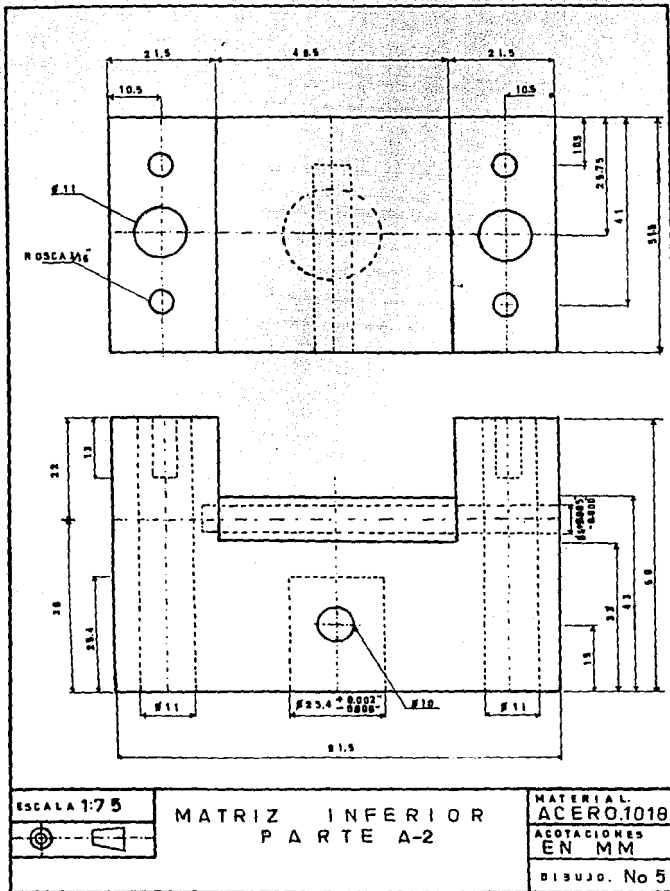


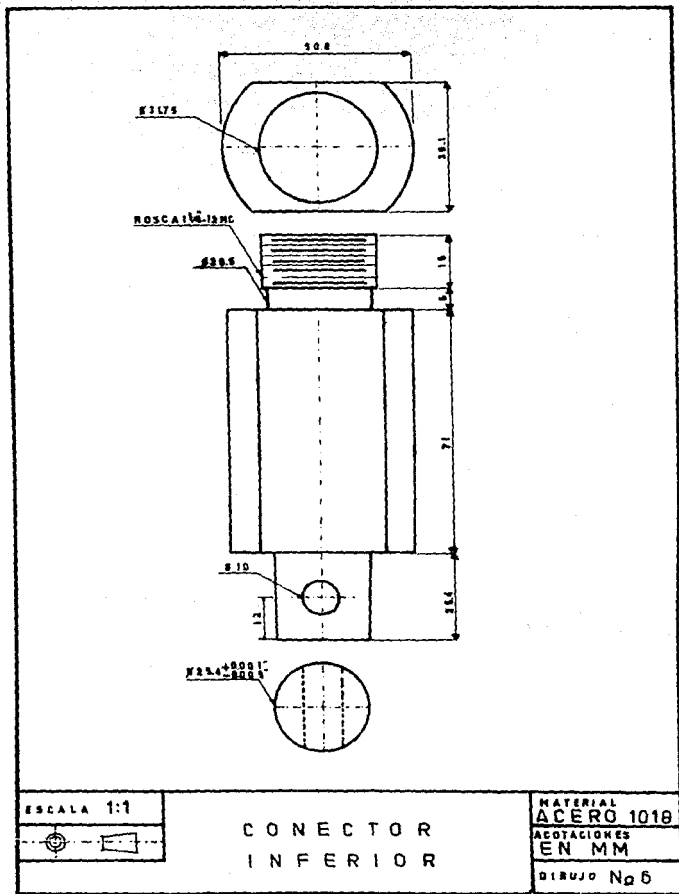
ESCALA. 2:1

PUNZON

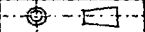
MATERIAL.  
**ACERO 9840**  
 ACOTACIONES.  
 EN MM  
 DIBUJO. N° 3







ESCALA 1:1



CONECTOR  
INFERIOR

MATERIAL  
ACERO 1018

ADAPTACIONES  
EN MM

DIBUJO N° 6

#### IV.13 CALCULO DE LA FUERZA

La predicción de la carga de forja y presión en operaciones de forja cerrada es un cálculo bastante difícil. Hay aproximaciones al problema. La aproximación usada en muchos talleres de forja, es considerar la carga de forja necesaria para una nueva pieza, de información disponible de forjados anteriores del mismo material y forma similar. Existe la aproximación empírica de Schey quien ha expresado la carga de forja como:

$$F = \sqrt{A} \cdot C_1$$

Donde:

$A$ , es el área de la sección transversal del forjado incluyendo la de la rebaba.

$C_1$  es un factor de compresión que depende de la complejidad de el forjado

$\sqrt{\quad}$  es el esfuerzo de flujo

En el capítulo III en teoría de la forja se hace la deducción de la ecuación para calcular la fuerza o carga de forja para matriz cerrada. Esta ecuación es similar a la obtenida por Schey considerando deformación homogénea en el forjado de un cilindro. Ya que las dos ecuaciones son aproximaciones para estimar la carga de forja y tomando en cuenta que disponíamos de datos tabulados en relación a la ecuación deducida en el capítulo III decidimos utilizar esta última.

De la ecuación de carga para forja en matriz cerrada, considerando fricción tenemos la siguiente ecuación del capítulo III :

$$F = \sqrt{r} Q_c A_p \dots \quad \text{Ec. ( 24 )}$$

donde

$Q_c$  : es una constante que se obtiene de datos experimentales y se encuentra tabulada en la tabla 3.1

Tomando como guía la clasificación de forma de Spies, la cual de acuerdo a una serie de características y principalmente considerando su forma, divide en tres grupos al forjado de piezas.

Forjados simples y compactos corresponden a las categorías 1 y 2 de la clasificación de forma de Spies, que son piezas que no requieren de pasos intermedios para su formado final.

La categoría 3 corresponde a forjados complejos donde el material de partida es adaptado aproximadamente a la forma final del forjado.

De lo anterior consideramos que nuestra pieza está dentro de la categoría 3 de la clasificación de forma de Spies, ya que no tiene pasos intermedios de formado, existen cavidades estrechas que llenar y con elementos simétricos a un eje principal. (Ver figura de clasificación de forma de Spies IV.4).

Por lo tanto la consideramos como forjado complejo y sin rebaba adquiriendo el factor  $Q_c$  el valor de B (Ver tabla 3.1).



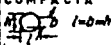





























<b>CLASE 1</b> <b>FORMA COMPACTA</b>  <b>CUBICA Y ESFERICA</b>	<b>SUB GRUPO</b> <b>GRUPO FORMA</b>	<b>101 ELEMENTOS SIN FORMA SECUENCIAL</b> 	<b>102 CONFORMADO DE ELEMENTOS SEC. EN UN SOLO LADO</b> 	<b>103 CON ELEM-ENTOS FORMADOS EN LA CIRCUNFEREN CIA.</b> 	<b>104 CONFORMADO DE ELEM. EN LA CIRC. Y EN UN LADO</b> 	
<b>CLASE 2</b> <b>FORMA DE DISCO</b>  <b>PARTES CON CONTORNOS CIRCULARES Y CUADRADOS</b> <b>PIEZA CON BRAZOS O RAMAS CORTAS</b> <b>FORMAS LARGAS Y CON CABEZA</b>	<b>SUB GRUPO</b> <b>GRUPO FORMA</b>  <b>21</b> <b>DISCOS CON ELEM-ENTOS EN UN SOLO LADO</b>  <b>22</b> <b>DISCO CON ELEM-ENTOS EN AMBOS LADOS</b>	<b>ELEMENTOS SIN FORMA SECUENCIAL</b>  <b>211</b> 	<b>CON CENTRO DE ACTIVIDAD</b>  <b>212</b> 	<b>CON CENTRO Y AGUJERO ACTIVO</b>  <b>213</b> 	<b>CON UN BORDE CENTRAL</b>  <b>214</b> 	<b>CON BORDES MAQUINADOS</b>  <b>215</b> 
<b>CLASE 3</b> <b>FORMAS LARGAS</b>  <b>PARTES CON EJES LONGITUDINALES</b> <b>GRUPOS LARGOS</b> <b>1 PARTES CORTAS</b> <b>1 &lt;math&gt;2 &lt; b &lt; /math&gt;</b> <b>2 LONGITUD MEDIA</b> <b>1 &lt;math&gt;3 &lt; b &lt; /math&gt; &lt; math&gt;2 &lt; b &lt; /math&gt;</b> <b>3 PARTES LARGAS</b> <b>1 &lt;math&gt;8 &lt; b &lt; /math&gt; 16 &lt; b &lt; /math&gt;</b> <b>4 MUY LARGAS</b> <b>1 &lt;math&gt; &gt; 16 &lt; b &lt; /math&gt;</b>	<b>SUB GRUPO</b> <b>GRUPO FORMA</b>  <b>FORMA CON EL EJE PRINCIPAL RECTO CON EJE PRINCIPAL CURVADO EN UN LADO</b>  <b>2 LONGITUD EN EL EJE PRINCIPAL CON ELEMENTOS CURVADOS EN UN PLANO</b>  <b>3 FORMAS LARGAS EN EJE PRINCIPAL CON ELEM. CURVADOS EN MAS DE UN PLANO</b>	<b>ELEMENTOS SIN FORMA SECUENCIAL</b>  <b>311</b> 	<b>CONFORMADO SECUENCIAL DE ELEMENTOS SIMETRICOS AL EJE PRINCIPAL</b>  <b>312</b> 	<b>CON HORQUILLA ABIERTA O CERRADA</b>  <b>313</b> 	<b>CON ELEMENTOS ASIMETRICOS A EJE PRINCIPAL</b>  <b>314</b> 	<b>CON DOS O MAS FORMAS SECUENCIALES DE TAMAÑO SIMILAR</b>  <b>315</b> 
<b>1 PARTES CORTAS</b> <b>1 &lt;math&gt;2 &lt; b &lt; /math&gt;</b>	<b>FORMA CON EL EJE PRINCIPAL RECTO CON EJE PRINCIPAL CURVADO EN UN LADO</b>	<b>321</b> 	<b>322</b> 	<b>323</b> 	<b>324</b> 	<b>325</b> 
<b>2 LONGITUD MEDIA</b> <b>1 &lt;math&gt;3 &lt; b &lt; /math&gt; &lt; math&gt;2 &lt; b &lt; /math&gt;</b>	<b>2 LONGITUD EN EL EJE PRINCIPAL CON ELEMENTOS CURVADOS EN UN PLANO</b>	<b>331</b> 	<b>332</b> 	<b>333</b> 	<b>334</b> 	<b>335</b> 
<b>3 PARTES LARGAS</b> <b>1 &lt;math&gt;8 &lt; b &lt; /math&gt; 16 &lt; b &lt; /math&gt;</b>	<b>3 FORMAS LARGAS EN EJE PRINCIPAL CON ELEM. CURVADOS EN MAS DE UN PLANO</b>	<b>331</b> 	<b>332</b> 	<b>333</b> 	<b>334</b> 	<b>335</b> 

Fig. IV.4 Clasificación de forma de Spies para forja.

Ahora la presión media de flujo  $\bar{V}_r$  se puede determinar por la ecuación :

$$\bar{V}_r = C \dot{\xi}_m^m \text{ donde } \bar{V}_r \text{ [ MPa ] } \quad \text{Ec. ( 26 )}$$

El material a forjar seleccionado es el aluminio 1100 cuyas características se dan en la tabla 4.1 del apéndice A de donde tenemos los valores siguientes:

$C = 60$  si temperatura de forja es de  $300^\circ\text{C}$

$C = 14$  si temperatura de forja es de  $500^\circ\text{C}$

$m = 0.08$  a  $300^\circ\text{C}$

$m = 0.22$  a  $500^\circ\text{C}$

Recordando de la ecuación ( 25 )

$$\dot{\xi}_m = V / h = v A_p / V$$

De la fórmula del área de un hexágono.

$A = 2 a^2 ( 3 )^{0.5}$  donde  $a$  es el apotema

$a = 12.7$  [ mm ]

$$A = 2(12.7)^2(3)^{0.5}$$

$$A = 558.72 \text{ [ mm}^2 \text{ ]}$$

Por lo tanto el área proyectada es :

$$\underline{A_p = 558.72 \text{ [ mm}^2 \text{ ]}}$$

La velocidad de aplicación de la carga se obtiene de las especificaciones de la máquina a emplear. En este caso la máquina para pruebas mecánicas Instron cuyo rango de velocidad de aplicación de carga es : (0.001 - 1000) [ mm/min ]

Recordando que  $\dot{\xi}_m = v A_p / V$

Calculando el volumen de la pieza para determinar la velocidad de deformación  $\dot{\xi}_m$ .

V = Volumen hexagono - Volumen cono (agujero central)

$$V = h ( 2a^2(3)^{0.5} ) - [ h/3 * Pi/4 ( D^2 + d^2 + D * d ) ]$$

$$h = 15 \text{ [ mm ]}$$

$$D = 13 \text{ [ mm ]}$$

$$d = 11.7 \text{ [ mm ]}$$

$$V = 15(2(12.7)^2(3)^{0.5}) - [15/3 * 3.1416/4(13^2 + 11.7^2 + 13 * 11.7)]$$

$$V = 8380.8 - 1798.52$$

$$\underline{V = 6582.28 \text{ [ mm}^3 \text{ ]}}$$

Ahora la presión media de flujo  $\bar{\sigma}_r$  se puede determinar por la ecuación :

$$\bar{\sigma}_r = C \dot{\xi}_m \quad \text{donde } \bar{\sigma}_r \text{ [ MPa ] } \quad \text{Ec. ( 26 )}$$

El material a forjar seleccionado es el aluminio 1100 cuyas características se dan en la tabla 4.1 del apéndice A de donde tenemos los valores siguientes:

$C = 60$  si temperatura de forja es de  $300^\circ\text{C}$

$C = 14$  si temperatura de forja es de  $500^\circ\text{C}$

$m = 0.08$  a  $300^\circ\text{C}$

$m = 0.22$  a  $500^\circ\text{C}$

Recordando de la ecuación ( 25 )

$$\dot{\xi}_m = V / h = \sqrt{A_p} / V$$

De la fórmula del área de un hexágono,

$A = 2 a^2 ( 3 )^{0.5}$  donde  $a$  es el apotema

$a = 12.7$  [ mm ]

$$A = 2(12.7)^2 (3)^{0.5}$$

$$A = 558.72 \text{ [ mm}^2 \text{ ]}$$

Por lo tanto el área proyectada es :

$$\underline{A_p = 558.72 \text{ [ mm}^2 \text{ ]}}$$

La velocidad de aplicación de la carga se obtiene de las especificaciones de la máquina a emplear. En este caso la máquina para pruebas mecánicas Instron cuyo rango de velocidad de aplicación de carga es : (0.001 - 1000 ) [ mm/min ]

Recordando que  $\dot{\epsilon}_m = v A_p / V$

Calculando el volumen de la pieza para determinar la velocidad de deformación  $\dot{\epsilon}_m$ .

$$V = \text{Volumen hexágono} - \text{Volumen cono (agujero central)}$$

$$V = h ( 2a^2 ( 3 )^{0.5} ) - [ h/3 * \pi/4 ( D^2 + d^2 + D * d ) ]$$

$$h = 15 \text{ [ mm ]}$$

$$D = 13 \text{ [ mm ]}$$

$$d = 11.7 \text{ [ mm ]}$$

$$V = 15(2(12.7)^2(3)^{0.5}) - [(15/3)*\pi/4(13^2 + 11.7^2 + 13*11.7)]$$

$$V = 8380.8 - 1798.52$$

$$\underline{V = 6582.28 \text{ [ mm}^3 \text{ ]}}$$

Calculando la velocidad de deformación :

$$\dot{\xi}_m = v/h = v A_p/V$$

Considerando del intervalo de velocidad de aplicación de carga [0.001 a 1000 mm/min] una velocidad de 10 mm/min que puede ser registrada por el graficador tenemos lo siguiente:

$$\dot{\xi}_m = \frac{10 \text{ mm/min} * 558.72 \text{ mm}^2 * 1/60 \text{ min/s}}{6582.3 \text{ mm}^3} = .01414 \text{ [ s}^{-1} \text{ ]}$$

Calculando  $\sqrt{\sigma}$  presión media de flujo :

$$\sqrt{\sigma} = C \dot{\xi}_m \quad \text{para} \quad T = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\sqrt{\sigma} = 60 ( .014 )^{0.008} = 42.68 \text{ [ MPa ]}$$

Por lo tanto la fuerza o carga requerida es :

$$F = \sqrt{\sigma} Q_c A_p$$

$$F = ( 42.68 ) ( 8 ) ( 558.72 ) = 190769.4 \text{ [ MPa*mm}^2 \text{ ]}$$

Analizando las unidades nos queda :

$$F = 190769.4 * 10^4 \text{ N/m}^2 * \text{mm}^2 \text{ m}^2/10^4 \text{ mm}^2 = 190769.4 \text{ [ N ]}$$

Por lo que en toneladas tomando la equivalencia :

$$1 \text{ Kg}_f = 9.78 \text{ [ N ]}$$

$$\therefore \underline{F = 19.5 \text{ Toneladas a } 300^\circ\text{C}}$$

La fuerza de 19.5 toneladas indica que estamos fuera de nuestro límite de carga que es de 10 toneladas.

Tomando una velocidad de aplicación de carga más baja para ver cual es la variación de ésta:

$v = 0.005$  mm/min el valor extremo del rango.

$$\dot{\epsilon}_m = \frac{.005 * 558.72 * 1/60}{6582.3} = 7.07 * 10^{-6} \text{ [ s}^{-1} \text{ ]}$$

Calculando  $\sigma_r$  para  $T = 300$  °C

$$\sigma_r = 60( 7.07 * 10^{-6} )^{0.08} = 23.23 \text{ [ MPa ]}$$

Por lo tanto la fuerza o carga es :

$$F = ( 23.23 ) ( 8 ) ( 558.72 ) = 103832.5 \text{ [ N ]}$$

$$F = 10.6 \text{ [ Toneladas ]}$$

Variando ahora la aplicación de la carga con  $v = 60$  mm/min y considerando la misma temperatura:

$$\dot{\epsilon}_m = \frac{60 * 558.72 * 1/60}{6582.3} = .085 \text{ [ s}^{-1} \text{ ]}$$

Calculando  $\sigma_r$  a  $T = 300$  °C

$$\sigma_r = 60( .085 )^{0.08} = 49.25 \text{ [ MPa ]}$$

Por lo tanto la fuerza es:

$$F = 22.5 \text{ [ Toneladas ]}$$

Observando los resultados anteriores podemos apreciar que con una velocidad baja de aplicación de carga, la fuerza requerida es también baja. Con una velocidad de aplicación de carga mayor también la fuerza requerida aumenta. De donde podemos concluir que cuando la carga se aplica lentamente se requiere menos fuerza para poder forjar una pieza, pues casi toda la carga se aprovecha en la deformación.

Si calculamos la fuerza para una temperatura mayor de forja de  $T = 500^{\circ}\text{C}$  los valores de  $C$  y  $m$  son respectivamente 14 y 0.22

Con una velocidad de aplicación de la carga de 10 mm/min la velocidad de deformación es 0.014  $[\text{s}^{-1}]$ .

Por lo que:

$$\sigma_r = C \dot{\epsilon}_m^m$$

$$\sigma_r = 14 (0.014)^{0.22} = 5.5 \text{ [ MPa ]}$$

Por lo tanto

$$F = \sigma_r Q_c A_p = 5.5 (8) 558.72 = 24589.7 \text{ [ N ]}$$

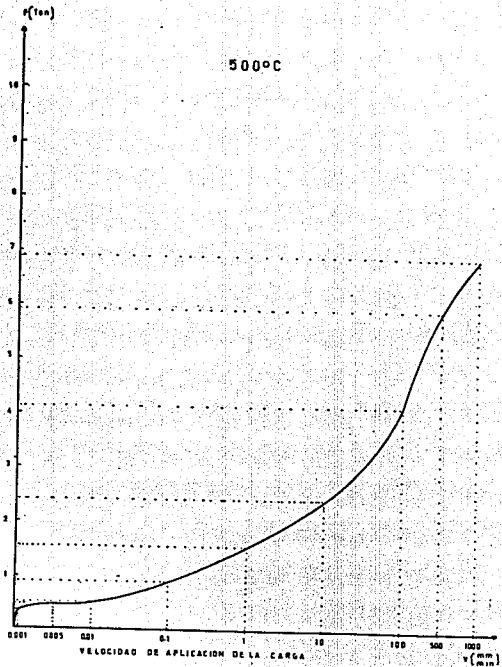
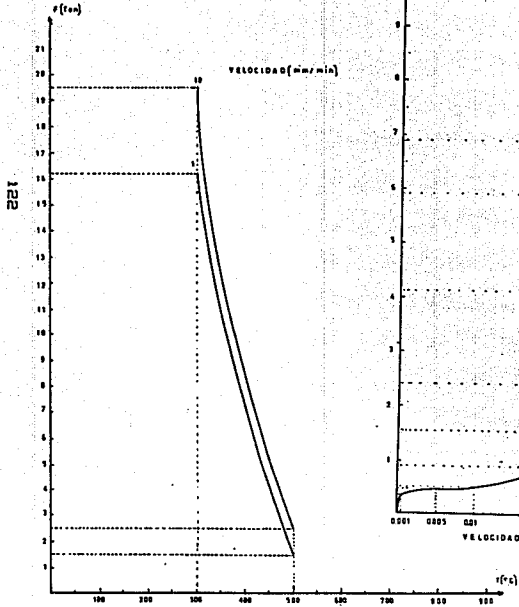
$$F = 2.5 \text{ Ton.}$$

Se nota que a  $500^{\circ}\text{C}$  la fuerza disminuye notablemente.



Ahora para una velocidad de aplicación de la carga de 60 mm/min y  $T = 500^{\circ}\text{C}$  la fuerza es de  $F = 3.7$  Ton., lo cual indica que si forjamos nuestra pieza a una temperatura alta la fuerza se reduce notablemente y podríamos forjar con relativa facilidad ocupando solamente de un 25 a 40% de nuestra máxima carga disponible que es de 10 Ton.

También se observa que a 500 grados centígrados la fuerza requerida varía poco en relación con el gran aumento de velocidad de aplicación de la carga. ( Ver gráficas A y B).



#### IV.14 SUJECION DE LAS MATRICES EN LA PRENSA

La prensa hidráulica de doble columna presenta dos movimientos verticales.

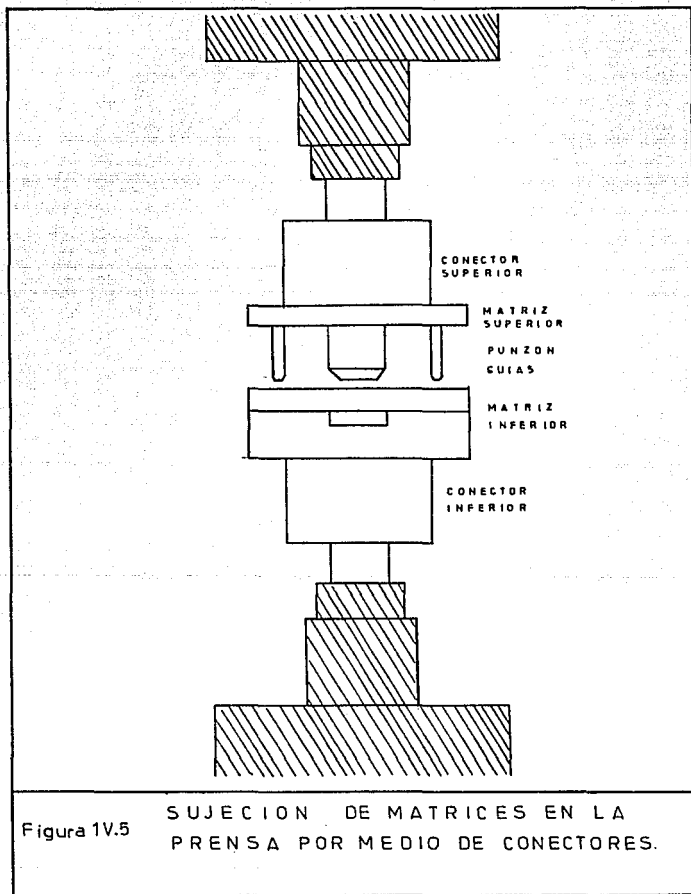
Uno que corresponde al movimiento del cabezal y que se hace mediante controles manuales. Este movimiento no tiene un control preciso y sirve para posicionar el cabezal a una distancia adecuada que nos facilite la sujeción de las matrices.

Otro que corresponde al movimiento del pistón que se encuentra en la parte inferior o base, y que propiamente es el movimiento que aplica la carga. Este movimiento se puede aplicar manual o automáticamente.

Tanto el cabezal como el pistón cuentan con agujeros roscados por lo que pueden utilizarse conectores para el acoplamiento de las matrices en la prensa.

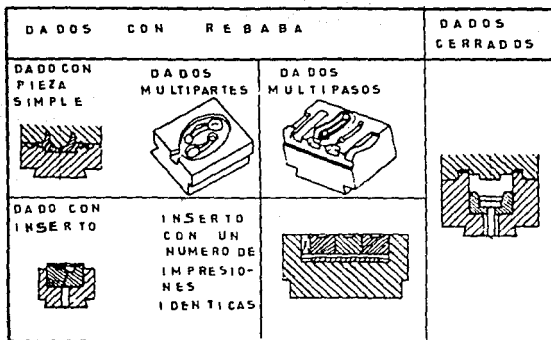
Existe una distancia máxima de cierre entre pistón y cabezal por lo que los conectores deben tener una longitud mínima que asegure el cierre completo de las matrices.

Los conectores se fijan al cabezal y pistón por medio de espigas roscadas y en las matrices existe acoplamiento a presión además de un pasador de seguridad. (Ver fig. IV.5 )



#### IV.15 DIMENSIONAMIENTO DE LA MATRIZ A PARTIR DE LA PIEZA

Los más importantes tipos de dados de forja cerrada se muestran en la siguiente figura.



Diferentes tipos de dados o matrices de forja.

Dados con varias impresiones son denominados, dados "multipartes" o multicavidades, cuando en la misma operación son formados simultáneamente un número de piezas de trabajo diferentes. Dados "multipasos", en la otra manera, contiene varias impresiones en la misma herramienta para llevar a cabo una secuencia de operaciones diferentes. Dados combinados multipartes y multipasos también existen para ciertos forjados pequeños.

El uso de insertos en dados puede llevar a ahorros en costosos materiales de herramienta, por ejemplo, en forjado en

prensa de acero de alta temperatura, sus principales ventajas son que pueden ser producidas económicamente y ello requiere relativamente de poco precio.

La operación de forja se realizará en un sólo paso obteniéndose una pieza semiterminada, de tal manera que, la matriz sólo constara de una impresión o cavidad. De acuerdo con la geometría de la pieza se hace necesario el uso de un inserto ya que el maquinado de la cavidad es difícil con las máquinas herramientas disponibles. Además, se reduce el costo de fabricación y se tiene un importante ahorro del uso de aceros especiales.

Para asegurar el posicionamiento exacto de los dados o matrices se hace necesario el uso de guías, en éste caso se seleccionó guías cilíndricas largas.

Además para el dimensionamiento de las matrices hay que considerar la cavidad para la extracción de la pieza, y el acoplamiento matrices - conectores.

El inserto que contiene la cavidad de la pieza tendrá las dimensiones siguientes.

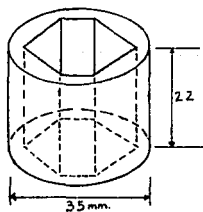


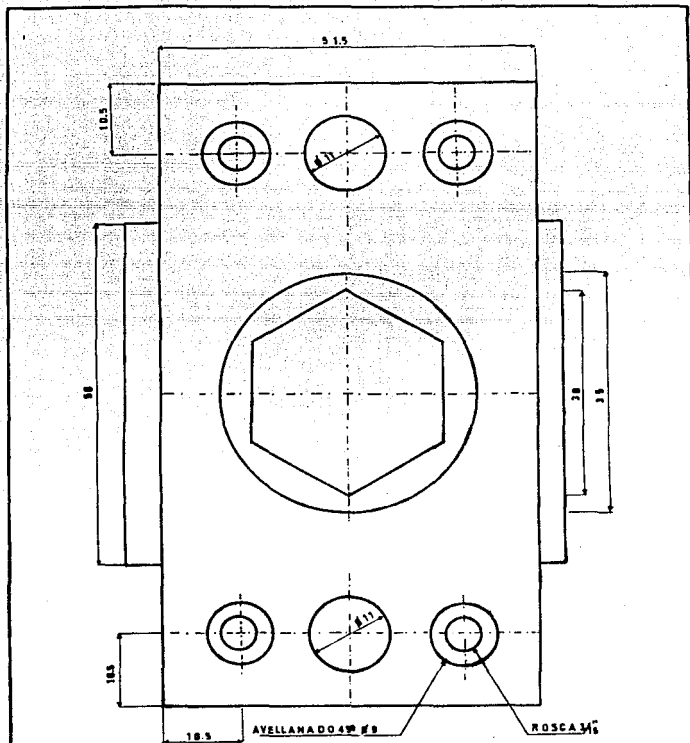
Fig. IV.6 Dibujo del inserto.

Tomando en cuenta las dimensiones del inserto que contiene la cavidad de la pieza, en el siguiente dibujo se muestran las dimensiones del bloque de la matriz inferior.

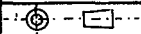
Vista de planta de la matriz inferior con dimensiones del bloque, barrenos para guías, tornillos de fijación y espacio ocupado por la cavidad de extracción de la pieza. (Ver dibujo No. 7 )

La matriz superior se compone de bloque, guías y punzón hexagonal. En el siguiente dibujo se presenta el arreglo del conjunto. (Ver dibujo No. 8 ).

Para las condiciones de cierre de las matrices y del espacio mínimo entre cabezal y pistón de la prensa, se utilizan dos conectores que además nos sirven para acoplar las matrices con la prensa. El conjunto de matrices y conectores debe de ser de una longitud mínima de 25 [cm] (Ver dibujos No. 1 y 6 ).



ESCALA 2:1



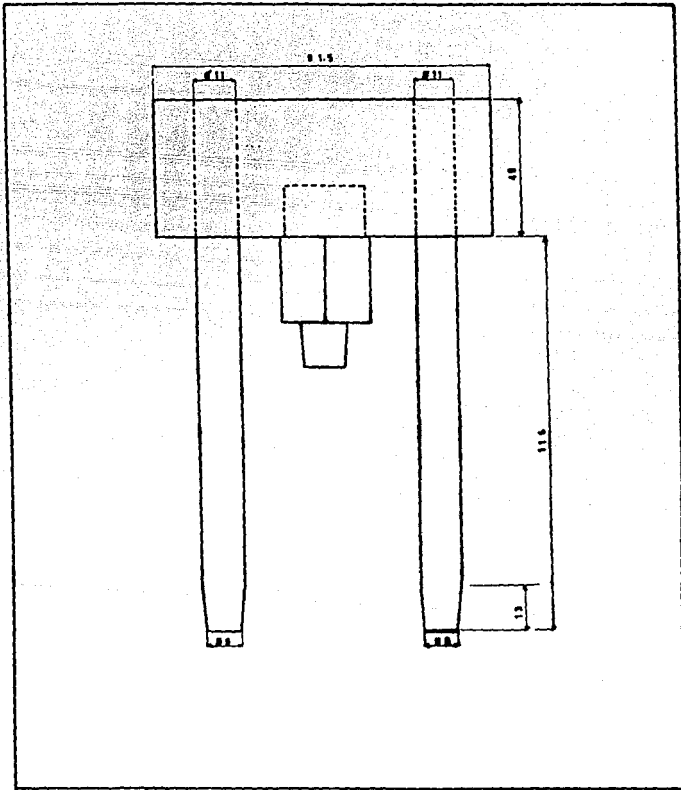
VISTA DE PLANTA DE MATRIZ  
 INFERIOR CON BLOQUE GUIAS  
 BARRENOS DE FIJACION Y  
 CAVIDAD

MATERIAL  
**ACERO 1018**

ACOTACIONES  
 EN MM

DIBUJO No 7





ESCALA 1:1

MATRIZ  
SUPERIOR

MATERIAL  
**ACERO 1018**  
ACOTACIONES  
EN MM  
DIBUJO N<sup>o</sup> 8

#### IV.16 GUIAS

Para el alineamiento de matrices para forja cerrada se usan comúnmente guías de diferentes tipos. Estas guías que aseguran el posicionamiento exacto de las matrices, necesitan material adicional y una buena cantidad de maquinado que debe ser evitado en casos donde sea posible. Diferentes tipos de guías se muestran en la siguiente figura. ( Fig IV.7 )

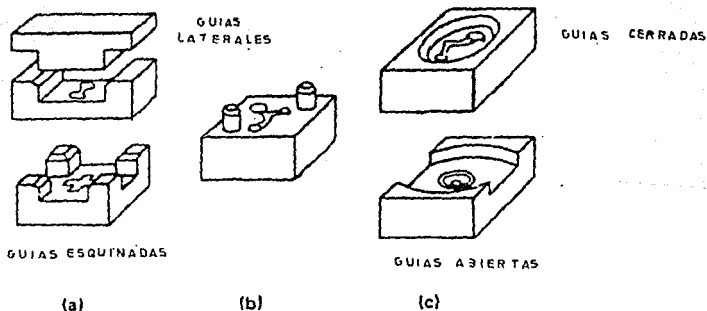


Fig. IV.7 Tipos de guías para dados o matrices de forja. (a) Guías de caras planas. (b) Pernos guía. (c) Guías cilíndricas.

#### IV.17 TOLERANCIAS

Cuando las matrices o dados trabajan, están sometidos continuamente a esfuerzos térmicos y mecánicos, los cuales pueden producir variaciones en las dimensiones del dado o matriz. Estas variaciones en dimensión pueden ocurrir debido al desgaste y contracción que sufren los materiales de las matrices o dados y por ello se deben dar tolerancias correctas a fin de evitar una pieza fuera de dimensiones, sobre todo cuando se trata de forjados de alta precisión.

Las dimensiones de la cavidad del dado (creadas por moldeo, trabajo en frío, trabajo en caliente, torneado, chispa erosionadora, etc.) deben tener una calidad superior que la precisión requerida para la pieza de trabajo.

Hay que señalar que el desgaste no solamente depende de la forma del forjado y en el material del dado sino también en como es calentada la pieza de trabajo, sobre el tratamiento térmico y revestimiento de la superficie. En resumen se deben considerar tolerancias para maquinado después de forjar, tolerancias por contracción y tolerancias por desgaste. Aunque las tolerancias por desgaste dependen más de la experiencia por parte del diseñador que de una formulación.

A continuación se indican las tolerancias para maquinado y contracción.

a) Sobreespesores para maquinado después de forjar.

b) Tolerancias o sobreespesores por contracción.

a)

Espesor, Anchura o Diámetro de la pieza ( mm )	Sobreespesor en c/cara ( mm )
30	1
31 a 60	1.5
61 a 120	2
121 a 250	2.5
251 a 500	3 a 6
500	5 a 8

Ya que nuestra pieza no requiere un maquinado posterior a la forja sólo consideramos tolerancias por contracción.

b) Tolerancias por contracción

Material	Coefficiente de dilatación lineal $\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
Acero	$11 \times 10^{-6}$
Aluminio	$23.8 \times 10^{-6}$
Bronce	$17.5 \times 10^{-6}$
cobre	$16.5 \times 10^{-6}$
Latón	$18.5 \times 10^{-6}$

Aplicando el coeficiente de dilatación lineal tenemos:

$$\text{Diámetro} = 30 \text{ mm.}$$

$$T_{\text{amb}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{forja}} = 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$D = D_0 \alpha \Delta T$$

$$\begin{aligned} \Delta D &= 30 ( 23.8 \times 10^{-6} ) ( 500 - 20 ) \\ &= 0.36 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Por lo tanto el diámetro con tolerancia por contracción será:

$$D = 30 + 0.36$$

$$D = 30.36 \text{ mm.}$$

Esta tolerancia por contracción es bastante baja pues representa apenas un 0.13 % de nuestra dimensión original por lo que no consideramos conveniente adicionarla ya que no realizamos un forjado de alta precisión ni producción en serie.

## CAPITULO V

### FABRICACION

**V.1 INTRODUCCION:** Las máquinas y herramientas, el equipo más sencillo es conjuntado por medio de piezas tales como: pernos, ejes, manguitos, discos, ruedas dentadas, tornillos, placas, tuercas, carcasas, rondanas, soportes y piezas de unión. Estas piezas pueden obtener su forma mediante, fundición, forjado, laminado, estirado, corte de barras, arranque de viruta, etc. Por arranque de viruta se pueden obtener diferentes formas como las que se necesitan para la elaboración de nuestras piezas.

Después de haber hecho un estudio de materiales que nos diera las características adecuadas y necesarias para la elaboración de nuestras piezas fue necesario inspeccionar el laboratorio de conformado y corte de materiales, para conocer con que equipo se disponía para la elaboración de las piezas así como la herramienta que existe en el almacén.

## V.2 EQUIPO Y HERRAMENTAL

Algunas características del equipo que utilizaremos para la construcción de las matrices previamente diseñadas son :

### FRESADORA

TIPO : Fresadora vertical

VELOCIDAD : 2713 rpm

LONGITUD DE BANCADA : 65 a 70 cm

LONGITUD TRANSVERSAL : 65 cm

DIAMETRO DEL ARBOL : 31.73 mm

POTENCIA : 2.5 HP

### TALADRO

TIPO : Taladro de columna

VELOCIDAD : 1725 rpm

DISTANCIA DE HUSILLO A

MESA DE APOYO : 25 cm

MECANISMO DE MOVIMIENTO VERTICAL : 15 cm

POTENCIA : 1 HP

DIAMETRO MAXIMO BROQUERO : 25.4 mm

## T O R N O

TIPO : Torno horizontal  
POTENCIA : 3 HP  
DISTANCIA ENTRE CENTROS : 90 cm  
POTENCIA : 1/2 HP  
DIAMETRO MAXIMO DEL HUSILLO : 10PLG

## C E P I L L O

TIPO : Cepillo de codo  
ANCHO DE RANURA : 6.34 mm  
POTENCIA : 3 HP  
LONGUITUD DE CARRERA : 50 cm  
EXACTITUD : 0.005"

Después de haber conocido las características del equipo con que trabajaremos, no podemos olvidar que el herramental y accesorios que auxilian a las máquinas o equipos es también importante pero éstos se mencionarán durante el proceso de fabricación de cada una de las piezas que conforman el arreglo.

En la elaboración de cada pieza de trabajo es necesario conocer la función que desempeñaran para poder determinar que tipo de proceso se debe llevar a cabo en cada pieza. El tipo de proceso debe contemplar la forma, material y dureza de éste para un correcto maquinado.



A continuación se mencionan los procesos de fabricación de algunas de las piezas del arreglo.

### MATRIZ INFERIOR

La matriz inferior consta de tres partes que son: el bloque metálico, la cuña y la placa donde se aloja el inserto que lleva impresa la cavidad de la pieza a forjar.

La placa donde se aloja el inserto se une al bloque metálico por medio de tornillos y la cuña entra a presión en el hueco que dejan estos dos asegurándose al bloque por medio de un pasador.

El proceso de fabricación que se describe es el de la placa donde se aloja el inserto ya que en esta se combinan los procesos de taladrado, cepillado, rimado, machueleado, etc., es decir, es la pieza más completa que involucra varios procesos de arranque de viruta. La parte de arriba de la matriz inferior es una de las más importantes del arreglo ya que alojará el inserto que dará la forma al material a forjar. En este proceso de fabricación sólo mencionaremos el que se refiere a la placa donde se monta el inserto. El proceso de fabricación del inserto es por forjado con acero para herramientas y se obtuvo comprando un dado común del que utilizan los mecánicos para aflojar tornillos de cabeza hexagonal. Como no disponíamos de la herramienta adecuada para el maquinado de la cavidad hexagonal, se hizo necesario adaptar a la placa un dado comercial recortándolo y metiéndolo a presión, además de reforzarlo con soldadura para evitar que éste pudiera moverse o tener juego.

Proceso de fabricación (Ver dibujo No.4 y 5 en el capítulo IV).

- Cortar material acero 1018 de  $(4 \times 1 \times 2 \frac{1}{4})''$  con auxilio de sierra cinta y flexómetro
- Cepillar cara A y B con caras paralelas a 22 mm.
- Cepillar cara C y E con caras paralelas a 51.5 mm.
- Cepillar cara F y D con caras paralelas a 91.5 mm.
- Verificar el paralelismo, perpendicularidad y medidas con auxilio de calibrador y escuadra universal.
- Realizar barreno central a 35 mm aproximadamente con auxilio de brocas de  $\frac{1}{4}''$ ,  $\frac{3}{8}''$ ,  $\frac{3}{4}''$ ,  $\frac{15}{16}''$ ,  $1''$  y con ayuda de la barra de interiores para dar el diámetro requerido.
- Realizar 4 barrenos de diámetro  $\frac{3}{16}''$  de 20 NC para acoplar las dos partes que conforman la matriz inferior con auxilio de machuelo y una broca de aproximación de  $\frac{5}{32}''$ .
- Realizar 2 barrenos de diámetro 11 mm. para guías aproximándonos con brocas  $\frac{1}{4}''$ ,  $\frac{3}{4}''$  y  $\frac{7}{16}''$ .
- Lijado de acabado fino con lijas de 180, 220, 300, 360 y 500 .
- Avellanado de barrenos de  $\frac{3}{16}''$  a 60 grados.

## PUNZON

Para la elaboración del punzón se debe tener mucho cuidado para su maquinado, ya que será introducido en el inserto de forma hexagonal y el material elegido no debe tener problema de maquinado ya que se maquina por medio de fresado.

El acero usado es el 9840 para después del maquinado proceder a templearlo en aceite y que adquiriera más dureza.

Proceso de fabricación del punzón (Ver dibujo No.3 en cap.IV).

- Corte de material con diámetro de 31,7 mm y una L= 70 mm con el auxilio de sierra cinta y flexómetro.
- Montar pieza para refrentar y cilindrar ambos lados.
- Cilindrado de aproximación a M con un diámetro de 30 mm y una L= 25.4 mm .
- Cilindrado de lado A a un diámetro de 25.4 mm .
- Cilindrado de lado B a un diámetro de 13 mm x 13 mm .
- Desbaste de M con una L= 25.4 y girando 30 grados para cada una de las caras del hexágono con cuatro pasadas de 0.020".
- Afinado de cada una de las caras con dos pasadas de 0.005" .
- Montar pieza para hacer cono con ángulo de cuatro grados y una longitud de 13 mm .
- Desmontar, limpiar y verificar

## MATRIZ SUPERIOR

La matriz superior será la conductora de la presión que ejerza ésta en conjunto con el punzón para darle forma al material. Esta contiene dos barrenos equidistantes del punzón, donde serán introducidas dos guías que sirven como un medio de alineamiento o un centrado para la matriz superior e inferior.

Proceso de fabricación (Ver dibujo No.2 en cap.IV).

- Corte de material de acero 1018 de ( 50.8x63x101 )mm con

auxilio de sierra cinta y flexómetro.

- Montar pieza y escuadrar con prensa y escuadra universal.
- Desbaste de pieza con cepillo a (40x51.5x91.5)mm con buril de acero rápido de 5/16" .
- Localizar y trazar centros para taladrar con punto de golpe y martillo .
- Taladrado previo de aproximación para diámetro de 25.4x25mm siendo el agujero central con brocas de diámetro : 3/8", 1/2", 3/4", 7/8", 15/16" y 1" .
- Taladrado de agujeros equidistantes con un diámetro de 11.1x40mm con auxilio de brocas de diámetro 1/4", 3/8" y 7/16".
- Desmontar y girar pieza 180 grados para taladrar.
- Taladrado previo de aproximación con diámetro de .950" que es el agujero central .
- Girar pieza 90 grados para taladrado con diámetro de 4.76x51.5mm para sujetar conector superior.
- Rinar barreno con diámetro de .950" operación tecnomaneal con rima variable de 7/8" a 1".
- Hacer machuelo de diámetro 3/16" para sujetar punzón.
- Desmontar, limpiar y verificar medidas de la pieza.

### V.3 RUTAS DE TRABAJO

Para la elaboración de las rutas de trabajo de cada una de las piezas que conforman nuestro arreglo sería muy repetitivo el mencionar la ruta de trabajo de todas ellas por lo que solamente mencionaremos las más importantes así como su memoria de cálculos respectivamente. Para cada ruta de trabajo sólo se discutirán los parámetros que se consideren importantes para dichas operaciones, mencionando a continuación lo siguiente:

- Tipo de operación.
- Máquina a emplear.
- Herramienta de corte.
- Instrumentos de medición.
- Herramienta general.
- Velocidad de corte en m/min .
- Avance en mm/rev .
- Número de revoluciones RPM .

Donde:

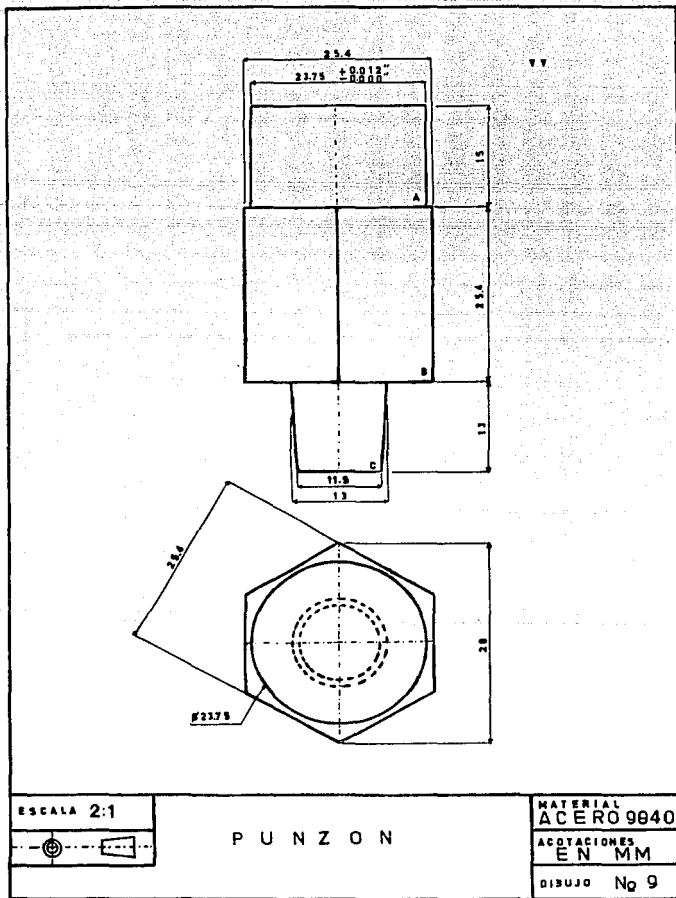
$$V_c = \frac{3.1416 \times d \times n}{1000} \quad (\text{m/min})$$

$$n = \frac{1000 \times V_c}{3.1416 \times d}$$

$V_c$  = velocidad de corte en m/min

$d$  = diámetro en mm.

$n$  = número de revoluciones en rpm.



Nº	OPERACION	SUJECCION	HERRAMIENTA DE CORTE	INSTRUMENTO DE MEDICION	MAQUINA A EMPLEAR	HERRAMIENTA GENERAL	V m/ min	S mm/rev	n [rpm]
1	CORTE DE MATERIAL ACERO 9840 ϕ 31.7x70 mm	PRENSA SIERRA CINTA HORIZONTAL	SIERRA CINTA 6 dir/cm	FLEXOMETRO	SIERRA CINTA HORIZONTAL 1 HP	JUEGO DE LLAVES	35		
2	MONTAR PIEZA REFERENT-ARCARA*FRONTAL	CHUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	BURIL DE ACERO RAPIDO 1/4"	VERNIER	TORNO PARALELO 1 HP	JUEGO DE LLAVES	15	.2	150.61
3	CENTRAR POR AMBOS LADOS *Y FRONTAL	CHUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	BROCA DE CENTROS No 2 ϕ 2 mm X 60° AVELLANADO CORTE DERECHO	VERNIER	TORNO PARALELO	JUEGO DE LLAVES BROQUERO No 34	29	.04	4615.4V
4	CILINDRADO APROXIMACION PARA B ϕ 30x 25.4 mm	CHUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	BURIL CON FILO PARA DESBASTE ACERO RAPIDO 1/4"	VERNIER	TORNO PARALELO	JUEGO DE LLAVES	35	.2	351.44
5	CILINDRADO LADO "A" ϕ 25.5 mm	CHUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	BURIL DE ACERO RAPIDO 1/4"	VERNIER	TORNO PARALELO	JUEGO DE LLAVES	35	.2	371.36
6	AFINADO LADO "A"	CHUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	BURIL CON FILO FRESCO ACERO RRAPIDO 1/4"	VERNIER	TORNO PARALELO	JUEGO DE LLAVES	45	1	561.72
7	DESMONTAR PIEZA E INVERTIR LADO "C"	CHUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS			TORNO PARALELO	JUEGO DE LLAVES			
8	CILINDRADO APROXIMACION LADO "C" ϕ 13 x 13 mm	CHUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	BURIL CON FILO FRESCO 1/4"	VERNIER	TORNO PARALELO	JUEGO DE LLAVES	35	.2	371.36
9	DESMONTAR Y MONTAR PARA DESBASTE DE "B"	PRENSA DE LA MAQUINA			FRESADORA VERTICAL	CABEZAL DIVISOR CONTRA PUNTO PLATO DIVISOR			

No	OPERACION	SUJECION	HERRAMIENTA DE CORTE	INSTRUMENTO DE MEDICION	MAQUINA A EMPLEAR	HERRAMIENTA GENERAL	V	S	n
							$\frac{m}{min}$	$\frac{mm}{REV}$	r p m
10	DESABASTE 3 L-25.4 Y GIRAR 30° PARA CADA UNA DE LAS CARAS DE 020" 4 PASADAS	PRENSA DE LA MAQUINA	FRESA $\phi$ 1/4" CILINDRICA DE CORTE FRONTAL	VERNIER	FRESADORA VERTICAL	CABEZAL DIVISOR CONTRA PUNTO PLATO DIVISOR	12	150 mm/min	20061
11	A FINADO DE CADA UNA DE LAS CARAS DE 0.005"	PRENSA DE LA MAQUINA	FRESA $\phi$ 3/4" CILINDRICA DE CORTE FRONTAL	VERNIER	FRESADORA VERTICAL	CABEZAL DIVISOR CONTRA PUNTO PLATO DIVISOR	20	8356 $\frac{mm}{min}$	334.35
12	DESMONTAR LIMPIAR Y MONTAR PARA CONO C $\phi$ 13 mm	C HUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	BURIL CON FILO FRESCO DE 1/4"	VERNIER	TORNO PARALELO	JUEGO DE LLAVES	50	0.05	1214
13	DESMONTAR LIMPIAR Y VERIFICAR			VERNIER					



#### V.4 MEMORIA DE CALCULO

NOMBRE DE LA PIEZA : PUNZON

VER DIBUJO No. 9

OPERACION 1

CORTE DE MATERIAL

De apéndice tabla IV.

sierra cinta de 6 d/cm

Vc= 35 m/min

OPERACION 2

REFRENTADO CARA FRONTAL 'A' y 'C'

De apéndice tabla V.

Vc= 15 m/min

s= 0.2 mm/rev

d= 31.7 mm

$$n = \frac{V_c \times 1000}{3.1416 \times d} = \frac{15 \times 1000}{3.1416 \times 31.7} = 150.61 \text{ rpm}$$

OPERACION 3

CENTRADO CARA FRONTAL 'A'

De apéndice tabla VI y VII.

Vc= 29 m/min

s= 0.04 mm/rev

d= 2 mm

$$n = \frac{29 \times 1000}{3.1416 \times 2} = 4615.49 \text{ rpm}$$

OPERACION 4

CILINDRADO DE APROXIMACION PARA LADO 'B'

De apéndice tabla I

$$d = 31.7 \text{ mm.}$$

$$V_c = 35 \text{ m/min}$$

$$s = 0.2 \text{ mm/rev}$$

$$n = \frac{35 \times 1000}{3.14 \times 31.7} = 351.44 \text{ rpm}$$

OPERACION 5

CILINDRADO LADO 'A'

De apéndice tabla I

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$V_c = 35 \text{ m/min}$$

$$s = 0.2 \text{ mm/rev}$$

$$n = \frac{1000 \times 35}{3.14 \times 30} = 371.36 \text{ rpm}$$

OPERACION 6

AFINADO LADO 'A'

De apéndice tabla I.

$$d = 25.5 \text{ mm}$$

$$V_c = 45 \text{ m/min}$$

$$s = 0.1 \text{ mm/rev}$$

$$n = 563.93 \text{ rpm}$$

OPERACION 7

DESMTONTAR E INVERTIR LADO 'C'

Operación tecnomaneual

OPERACION 8

CILINDRADO LADO 'C'

De apéndice tabla I

d= 30 mm

V= 35 m/min

s= 0.2 mm/rev

n= 371.76 rpm

OPERACION 9

DESMTONTAR, LIMPIAR Y VERIFICAR

Operación tecnomaneual

OPERACION 10

DESBASTE DE 'B' EN FRESA

De apéndice tabla VIII.

Vc= 12 m/min

s= 0.15 mm/diente

d= diámetro cortador= 19.04 mm

número de dientes = 5

$$n = \frac{12 \times 1000}{3.14 \times 19.04} = 200.61 \text{ rpm}$$

s= avance mm/diente X número de diente X RPM

$$s = 0.15 \times 5 \times 200.61 = 150.45 \text{ mm/min}$$

OPERACION 11

AFINADO DE 'B' CON FRESA

De apéndice tabla VIII.

$V_c = 20$  mm/min

$s = 0.05$  mm/diente

$d = 19.04$  mm

$$n = \frac{20 \times 1000}{3.14 \times 19.04} = 334.35 \text{ RPM}$$

$$s = 0.05 \times 5 \times 334.35 = 83.58 \text{ mm/min}$$

OPERACION 12

REALIZAR CONO LADO 'C'

De apéndice tabla I

ángulo =  $3^\circ$

$L = 13$  mm

$V_c = 50$  m/min

$s = 0.05$  mm/rev

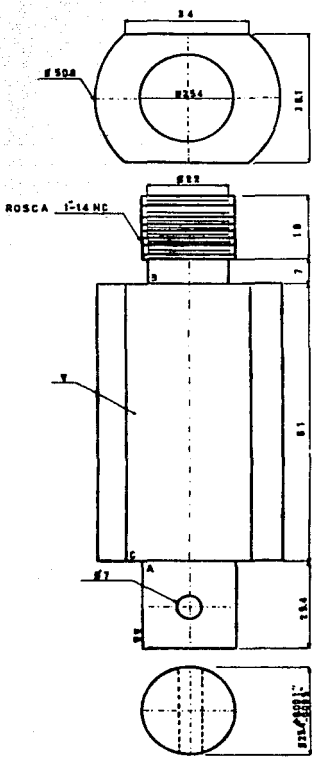
$d = 13$  mm

$$n = \frac{50 \times 1000}{3.14 \times 13} = 1224.26 \text{ rpm}$$

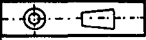
OPERACION 13

DESMDNTAR, LIMPIAR Y VERIFICAR.

NOTA: LA MEMORIA DE CALCULO DE LAS SIGUIENTES PIEZAS SE ENCUENTRA  
AL FINAL DEL APENDICE A.



ESCALA 1:1



CONECTOR  
SUPERIOR

MATERIAL  
**ACERO 1018**  
ACOTACIONES  
EN MM

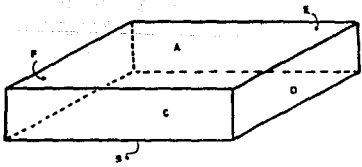
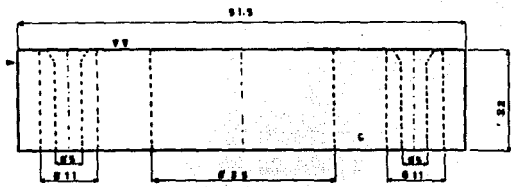
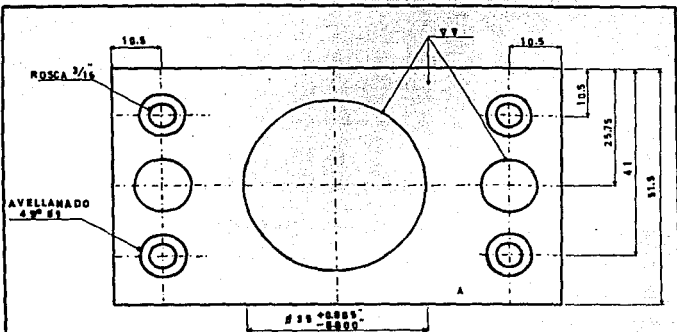
DIBUJO No 10

Nº	OPERACION	SUJECION	HERRAMIENTA DE CORTE	INSTRUMENTO DE MEDICION	MAQUINA A EMPLEAR	HERRAMIENTA GENERAL	v m/min	S mm/rev	n r.p.m
1	CORTE DE MATERIAL	PRESA DE SIERRA CINTA	SIERRA CINTA DE 6 d/cm	FLEXOMETRO	SIERRA CINTA HORIZONTAL		45		
2	REFRENTA-DO CARA 'A'	CHUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	BURIL DE ACERO RAPIDO 1/4"	VERNIE	TORNO HORIZONTAL	ACCESORIOS DE LA MAQUINA Y JOGO DE LLAVES	20	0.5	124
3	BARRENADO PARA CENTRAR CARA 'A' FRON-	CHUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	Broca centros No 3 D=3 mm X 60° AVELLANADO		TORNO HORIZONTAL	Broquero No 34 CON LLAVE	25	.04	3076.9
4	REFRENTAR CARA 'B' L=131.4 mm	CHUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	BURIL DE ACERO RAPIDO 1/4"	VERNIER	TORNO HORIZONTAL	ACCESORIOS DE LA MAQUINA	20	0.5	124
5	BARRENAR CARA 'B' FRONTAL	CHUCK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	Broca de centros No 3 D=3 mm AVELLANADO 60°	VERNIER	TORNO HORIZONTAL	ACCESORIOS DE LA MAQUINA	29	.04	3076.9
6	CILINDRADO A Ø 50.2 mm	ENTRE PUNTOS Y PERRO DE ARRASTRE	BURIL DE ACERO RAPIDO 1/4"	VERNIER	TORNO HORIZONTAL	ACCESORIOS DE LA MAQUINA	60	.3	372
7	CILINDRADO DE APROX. LADO 'A' Ø 25.4 mm L=25.4	ENTRE PUNTOS PLATO Y PERRO DE ARRASTRE	BURIL DE ACERO RAPIDO 1/4"	VERNIER	TORNO HORIZONTAL	ACCESORIOS DE LA MAQUINA	60	.3	380.45
8	AFINADO LADO A Ø 25.15 mm L=25.4 mm			VERNIER	TORNO HORIZONTAL	ACCESORIOS DE LA MAQUINA	90	1	1002.55
9	DESMONTAR VOLTEAR LADO. 'A' 'B'				TORNO HORIZONTAL	JUEGO DE LLAVES			

No	OPERACION	SUJECION	HERRAMIENTA DE CORTE	INSTRUMENTO DE MEDICION	MAQUINA A EMPLEAR	HERRAMIENTA GENERAL	v m min	S mm FTV	n r pm
10	CILINDRADO LADO B Ø 254 mm L=19 mm	ENTRE PUNTOS PLATO Y PERRO DE ARRASTRE	BURIL DE ACERO RAPIDO DE 14	VERNIER	TORNO HORIZONTAL	ACCESORIOS DE LA MAQUINA	60	2	380.45
11	HACER CUERDA EXTERIOR L=18 mm x 1 6 PASADAS	ENTRE PUNTOS PLATO Y PERRO DE ARRASTRE	BURIL CON FILO FRESCO 45°	VERNIER	TORNO HORIZONTAL	ACCESORIOS DE LA MAQUINA	20	12	200
12	DESABASTE LADO C Ø 50.78 L=01 mm	ENTRE PUNTOS PLATO Y PERRO DE ARRASTRE	BURIL CON FILO ACERO RAPIDO 14	VERNIER	TORNO HORIZONTAL	ACCESORIOS DE LA MAQUINA JUEGO DE LLAVES	90	15	507.26
13	DESMONTAR LIMPIAR Y VERIFICAR			VERNIER		JUEGO DE LLAVES. ESCUADRA UNIVERSAL.			
14	MONTAR PIEZA PARA DESABASTE LADO C Ø 51,635 mm	PRESA DE LA MAQUINA	BURIL DE ACERO RAPIDO 5/16	VERNIER	CEPILLO DE CODO	JUEGO DE LLAVES ACCESORIOS DE LA MAQUINA	14	1.2	65 CARR MIN
15	AFINADO LADO C P=6319	PRESA DE LA MAQUINA	BURIL DE ACERO RAPIDO 5/16	VERNIER	CEPILLO DE CODO	JUEGO DE LLAVES Y ACCESORIOS DE LA MAQUINA	23	.8	100 CARR MIN
16	DESMONTAR Y GIRAR 180° LA PIEZA					JUEGO DE LLAVES			
17	DESABASTE L=91 mm P=635 mm LADO C	PRESA DE LA MAQUINA	BURIL DE ACERO RAPIDO 5/16	VERNIER	CEPILLO DE CODO	JUEGO DE LLAVES Y ACCESORIOS DE LA MAQUINA	14	1.2	65 CARR MTR
18	AFINADO LADO C P=635	PRESA DE LA MAQUINA	BURIL DE ACERO RAPIDO 5/16	VERNIER	CEPILLO DE CODO	JUEGO DE LLAVES Y ACCESORIOS DE LA MAQUINA	23	.8	100 CARR MIN

Nº	OPERACION	SUJECION	HERRAMIENTA DE CORTE	INSTRUMENTO DE MEDICION	MAQUINA A EMPLEAR	HERRAMIENTA GENERAL	V m min	S mm REV	n r p m
19	DESMONTAR LIMPIAR Y VERIFICAR			VERNIER		JUEGO DE LLAVES			
20	LOCALIZAR Y TRAZAR CENTROS PARA TALADRO LADO 'A'	PRENSA DE LA MAQUINA		VERNIER		ESCUADRA UNIVERSAL PUNTO DE GOLPE Y MARTILLO.			
21	TALADRADO DE AGUJERO Ø = 634 mm L = 254 mm	PRENSA DE LA MAQUINA	3 ROCAS Ø 317 mm 10 Ø 634 mm 14	VERNIER	TALADRO DE COLUMNA	JUEGO DE LLAVES Y ACCESORIOS DE LA MAQUINA	21 24	0.05 0.15	2136 1122
22	DESMONTAR LIMPIAR Y VERIFICAR			VERNIER					





ESCALA: 1:75

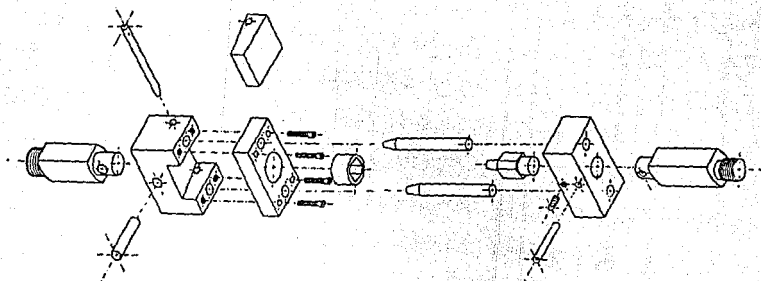
MATRIZ INFERIOR  
PARTE A-1


MATERIAL  
ACERO 1018  
ACOTACIONES  
EN MM

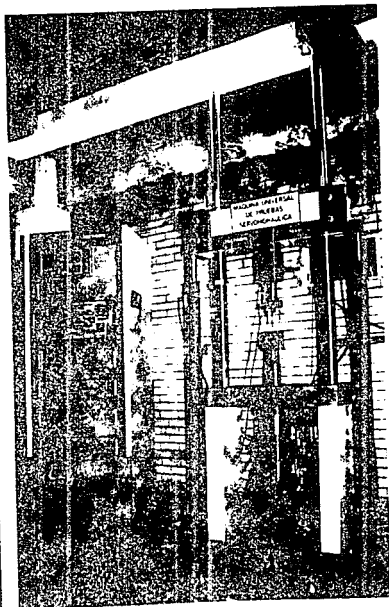
DIBUJO No 11

N <sup>o</sup>	OPERACION	SUJECION	HERRAMIENTA DE CORTE	INSTRUMENTO DE MEDICION	MAQUINA A EMPLEAR	HERRAMIENTA GENERAL	V m/min	S mm/rev	n r.p.m.
1	CORTE DE MATERIAL 4 x 1 x 2 1/4"	PRENSA DE SIERRA CINTA HORIZONTAL	SIERRA CINTA 6 d/cm	FLEXOMETRO	SIERRA CINTA HORIZONTAL	ESCUADRA UNIVERSAL LUBRICANTE	45		
2	CEPILLAR CARA "A" ESPESOR 23,5 mm	PRENSA DE LA MAQUINA	BURIL DE ACERO RAPIDO 5/16"	VERNIER	CEPILLO DE CODO	JUEGO DE LLAVES ACCESORIOS DE LA MAQUINA	17	1,5	65 $\frac{\text{CARR}}{\text{MIN}}$
3	CEPILLAR CARA "A" AFINADO ESPESOR 23mm	PRENSA DE LA MAQUINA	BURIL ACERO RAPIDO 5/16"	VERNIER	CEPILLO DE CODO	JUEGO LLAVES ACCESORIOS DE LA MAQUINA NIVEL, E.UNIV.	23	.8	100 $\frac{\text{CARR}}{\text{MIN}}$
4	CEPILLAR CARA "B" PARA ESCUADRAR CARAS PARALELAS A ESR 27mm	PRENSA DE LA MAQUINA	BURIL ACERO RAPIDO 5/16"	VERNIER	CEPILLO DE CODO	JUEGO LLAVES ACCESORIOS DE LA MAQUINA NIVEL, E.UNIV	17	1,5	65 $\frac{\text{CARR}}{\text{MIN}}$
5	DESBASTE CARA "C" CON ANCHO DE 54 mm	PRENSA DE LA MAQUINA	BURIL ACERO RAPIDO 5/16"	VERNIER	CEPILLO DE CODO	JUEGO DE LLAVES ACCESORIOS DE LA MAQUINA E.UNIVERSAL NIVEL	17	1,5	65 $\frac{\text{CARR}}{\text{MIN}}$
6	DESBASTE CARA "E" PARA ESCUADRAR A UN ANCHO DE 51,5 mm	PRENSA DE LA MAQUINA	BURIL ACERO RAPIDO 5/16"	VERNIER	CEPILLO DE CODO	JUEGO DE LLAVES ACCESORIOS DE LA MAQUINA E.UNIVERSAL	17	1,5	65 $\frac{\text{CARR}}{\text{MIN}}$
7	DESBASTE CARA "F" UNA LONGITUD DE 95 mm PERPENDICULAR	PRENSA DE LA MAQUINA	BURIL ACERO RAPIDO 5/16"	VERNIER	CEPILLO DE CODO	JUEGO DE LLAVES ACCESORIOS DE LA MAQUINA E.UNIVERSAL NIVEL	17	1,5	65 $\frac{\text{CARR}}{\text{MIN}}$
8	DESBASTE CARA "D" ESCUADRAR Y NIVELAR A UNA LONG. DE 91,3 mm	PRENSA DE LA MAQUINA	BURIL ACERO RAPIDO 5/16"	VERNIER	CEPILLO DE CODO	JUEGO DE LLAVES ACCESORIOS DE LA MAQUINA E.UNIVERSAL NIVEL	17	1,5	65 $\frac{\text{CARR}}{\text{MIN}}$
9	DESMONTAR LIMPIAR VERIFICAR PARALELISMO			VERNIER		E.UNIVERSAL NIVEL			

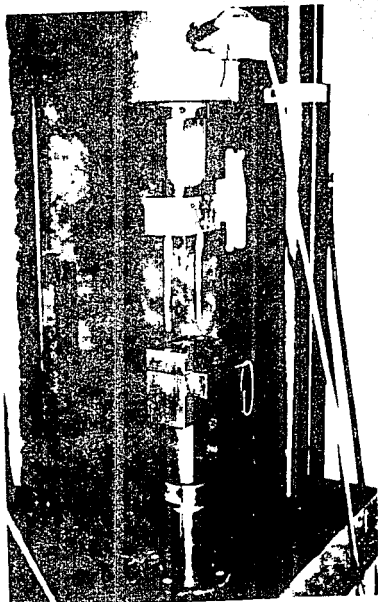
Nº	OPERACION	SUJECION	HERRAMIENTA DE CORTE	INSTRUMENTO DE MEDICION	MAQUINA A EMPLEAR	HERRAMIENTA GENERAL	V m/min	S mm/rev	n rpm
10	LOCALIZAR Y TRAZAR CENTROS PARA BARRENO			VERNIER		E. UNIVERSAL MARTILLO DE GOLPE PUNTO DE GOLPE			
11	BARRENADO CENTRAL DE 24.5 mm	CHUK UNIVERSAL 3 MORDAZAS	BROCAS 1/4" 5/8" 3/8" 3/4" 1/2" 1"	VERNIER	TORNO HORIZONTAL	BROQUERO No 36 JUEGO DE LLA VES	23-1/4" 23-3/8" 23-1/2" 23-5/8" 23-3/4" 30-1"	.15 .20 .25 .3 .33 .30	1220 816 616 488 408 382
12	CIRCULO CENTRAL DE 35 mm	CHUK UNIVERSAL 4 MORDAZAS	BURIL DE ACERO RAPIDO 3/16"	VERNIER	TORNO HORIZONTAL	CONO MORSE BARRA DE INTERIORES LUBRICANTE	40	0.1	501.27
13	LOCALIZAR TRAZAR CENTROS PARA TALADRAR			VERNIER		E UNIVERSAL MARTILLO PUNTO DE GOLPE			
14	BARRENO DE 11 mm EN EXTREMOS	PRENSA DE LA MAQUINA	BROCAS 1/4", 3/8", 7/16"	VERNIER	TALADRO DE COLUMNA	JUEGO DE LLAVES ACCESORIOS DE LA MAQUINA	23 24.3 25	.15 .20 .24	1220 1020 872
15	MARCAR Y TRAZAR CENTROS PARA BARRENOS			VERNIER		E UNIVERSAL RALLADOR MARTILLO PUNTO DE GOLPE			
16	BARRENO APROXIMACION. 3/16"	PRENSA DE LA MAQUINA	BROCAS 3/16" 5/32"	VERNIER	TALADRO DE COLUMNA	JUEGO DE LLAVES ACCESORIOS DE LA MAQUINA	18.2 21.3	.04 .1	4896 2136
17	BARRENOS DE 3/16" 20 NC	PRENSA DE LA MAQUINA	MACHUELO 3/16"			TECNOMANUAL			
18	DESMONTAR LIMPIAR VERIFICAR			VERNIER					



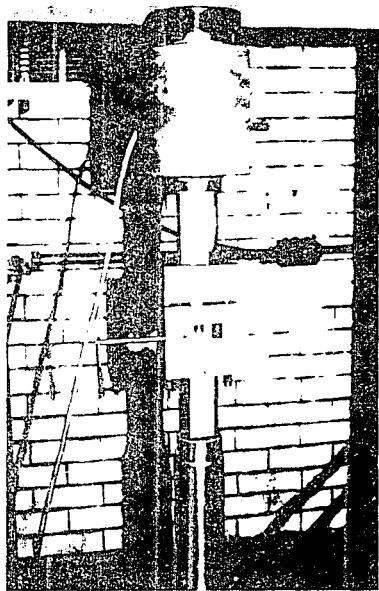
ENSAMBLE	ACOT : MM	ESCALA 1:5
	FAC. INGENIERIA	



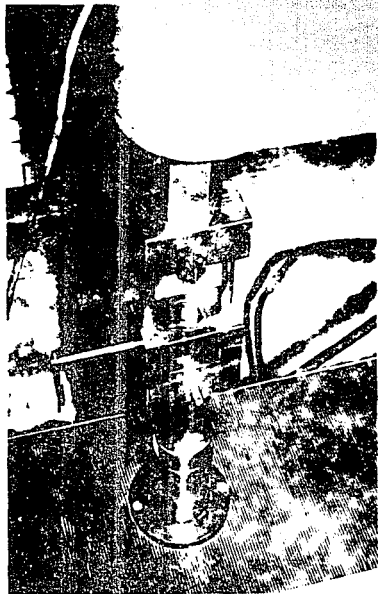
ASPECTO GENERAL DE LA MAQUINA  
DE ENSAYOS



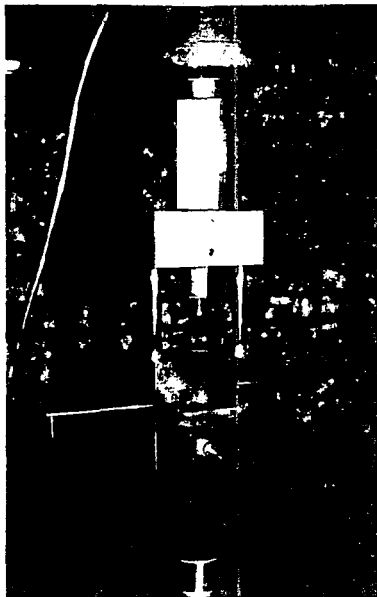
DETALLE DE LA MATRIZ  
FABRICADA



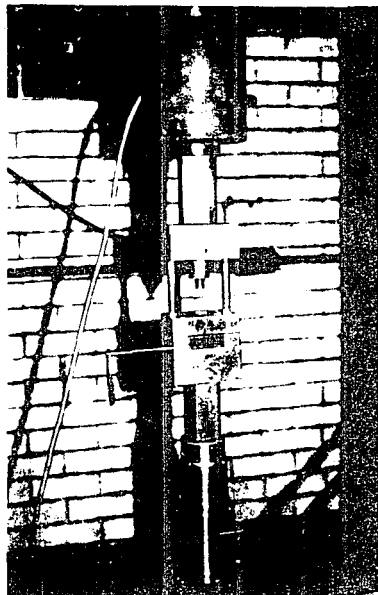
MATRIZ LERRADA



03SERVACION DE LA  
CAVIDAD



MATRIZ ABIERTA



MATRIZ CON CUÑA

## CAPITULO VI

### PRUEBAS Y RESULTADOS

Después de concluidas las etapas de fabricación y ensamble, para la realización de nuestras pruebas era necesario contar con un material de alta plasticidad además de que presentara la característica de fluidez para poder deformarlo con facilidad. Este material nos permitiría observar si la pieza se conformaba en un sólo paso y observar los defectos que pudieran presentarse al hacer la compresión.

#### VI.1 PRUEBAS CON PLOMO

El material elegido para realizar nuestras pruebas fué el plomo. Este tiene un punto de fusión muy bajo, alrededor de los 330 grados centígrados y una densidad de  $11.34 \text{ g/cm}^3$  que además presenta una alta fluidez. La alta fluidez de este material nos permite observar si las matrices cierran perfectamente y comprobar que éstas le proporcionan la forma deseada a la pieza cuando aplicamos la carga.

Otro material que se podría utilizar para hacer las pruebas es el estaño, éste tiene un punto de fusión muy bajo, alrededor de los



232 grados centígrados y una densidad de  $7.2 \text{ g/cm}^3$ , ya que es un material muy maleable y dúctil pero es a su vez más difícil de adquirir y menos económico que el plomo.

Primeramente para realizar las pruebas con plomo se tenían que fabricar los tochos de plomo con un diámetro y altura equivalentes al volumen de la pieza forjada ( $d = 23 \text{ mm}$  ;  $h = 16 \text{ mm}$  ). Para esto se fabricó un molde con las características del tocho y poder vaciar el plomo en él. El molde consiste en un bloque metálico con un cilindro hueco y con una base móvil para poder extraer el tocho.

La fusión del plomo se hizo en un horno eléctrico a una temperatura de  $400^\circ\text{C}$  para después de retirar la escoria vaciarlo en el molde, esperar a que solidifique y extraerlo del molde.

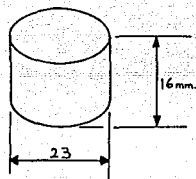
Después de haber hecho los tochos procedimos a realizar las primeras pruebas en las matrices utilizando el tocho de plomo a la temperatura ambiente y sin calentar las matrices, se observó que la pieza terminada presentaba una rebaba no considerada en el diseño de las matrices ya que estamos considerando un forjado sin rebaba. En una mitad de la pieza no llenaba por completo y la otra presentaba rebaba. Esto nos indicaba que: no había una distribución correcta del material o que existía un exceso de material.

Al repetirse esta característica en varias piezas se determinó que el centrado del tocho en la matriz no era correcto, ya que el diámetro del tocho no ajustaba lo suficiente en la cavidad de la matriz y al momento de introducirlo podía quedar más hacia un

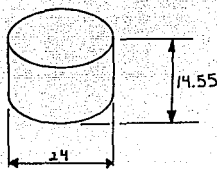
lado, por lo que, al aplicarse la compresión había más material de un lado que del otro y entonces se producía la rebaba de un lado y la falta de llenado del otro (Ver foto de pza después de forja en la página siguiente)

Para tener un centrado correcto del tocho en la matriz había que modificar el diámetro del tocho. Esto es, ajustarlo lo más cercano al diámetro de la cavidad de la matriz y evitar a su vez que se moviera al iniciar la compresión.

Al modificar el diámetro del tocho se modificó la altura, de tal forma que se conserve el volumen de material. (Ver dibujo de modificación antes y después).



MODIFICACION  
ANTES



MODIFICACION  
DESPUES

Al efectuarse las siguientes pruebas con el diámetro modificado se pudo observar una mejor distribución del material y por lo tanto una pieza mejor formada con un exceso de rebaba pequeñísima. (Foto de pieza terminada en la página siguiente).

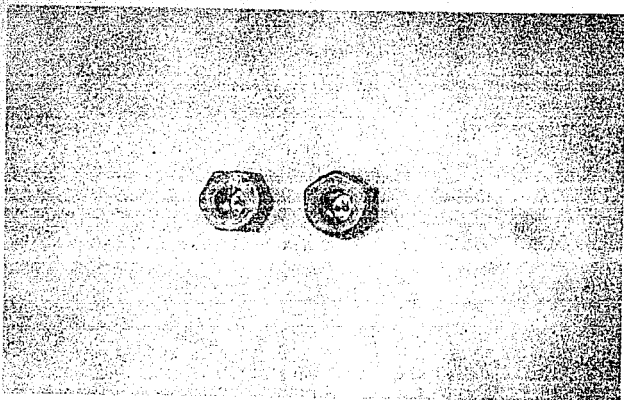


Foto de pieza después del forjado.

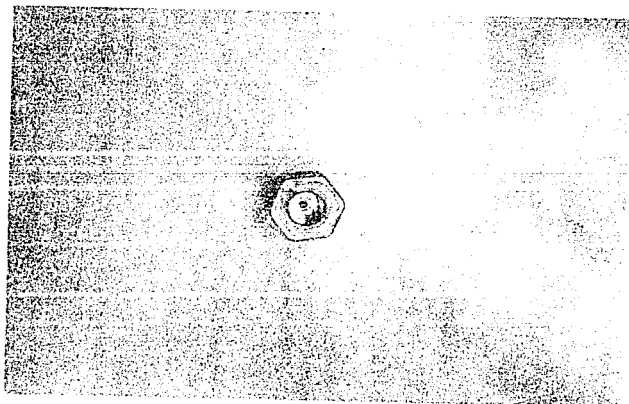


Foto de pieza terminada

La rebaba se presenta en el espacio existente entre la cavidad de la matriz y el punzón hexagonal. Consideramos que ésta se eliminaría dando una tolerancia más cerrada entre punzón y cavidad evitando con esto el flujo por el espacio antes mencionado.

Esta última consideración no podíamos efectuarla con las máquinas herramientas disponibles ya que, para dar una tolerancia tan cerrada necesitaríamos de maquinaria más precisa y mano de obra especializada que implicaría un costo adicional.

Como la pieza presentaba todavía una pequeñísima rebaba en la parte superior, pero ahora uniformemente distribuida en la periferia, nos indicaba que había un pequeño exceso de material. Siendo que ésta rebaba se presenta en la mayoría de los procesos de forja debido a que no se trabaja con volúmenes exactos, para asegurar un llenado completo se utiliza un exceso de material. Este material sobrante en el caso de nuestra pieza es debido también al material acumulado en el fondo del punzonado ya que no fluye lateral ni verticalmente con la carga establecida.

Posteriormente se realizaron varias pruebas variando el volumen del material para eliminar la rebaba existente y el llenado correcto de la pieza.

## VI.2 PRUEBAS CON VARIACION DE VELOCIDAD DE APLICACION DE LA CARGA

Para analizar que efecto produce la velocidad de aplicación de la carga, se realizaron pruebas variando ésta característica, conservando constante la temperatura y volumen de material sin utilizar lubricante.

De acuerdo a la teoría de forja del capítulo III al aplicar una velocidad baja como en el prensado se tiene una mejor conformación de la pieza, además con esta velocidad se requiere de menor carga. De la misma manera a una mayor velocidad de aplicación de la carga se necesitan de mayor carga.

De las pruebas efectuadas se comprobó que efectivamente la velocidad de aplicación de la carga influyó directamente en el aumento o disminución de la carga para un determinado ( 70 % ) porcentaje de deformación. Esto se confirma con las gráficas obtenidas de la prensa directamente.

Trabajando en el rango de velocidad de aplicación de la carga de 1 mm/min. y tomando arbitrariamente el valor de la carga a un 70% de deformación de la pieza, podemos observar que el valor de la carga varía muy poco entre una velocidad y la siguiente ( Ver gráfica VI.1 ).

Para una variación pequeña de velocidad de aplicación de la carga el efecto de variación de la carga no es muy visible en las gráficas. En las gráficas con rangos de velocidades de 0.1 mm/min. y 0.01 mm/min. se observa también que la carga varía muy poco entre una velocidad de aplicación de carga y la siguiente (Ver gráficas VI.2 y VI.3 ).

Para poder ver mejor el efecto de la variación en la aplicación de velocidad de la carga comparamos las curvas de velocidades 0.001, 0.05 y 0.15 mm/min. cuya variación entre una y otra velocidad es más grande lo cual nos permite observar una variación mayor en la carga. Es decir, podemos ver que a la

velocidad de aplicación de carga de 0.001 mm/min. la carga es de 1.32 ton., a 0.05 mm/min. la carga tiene un valor de 2.0 ton. y a 0.15 mm/min. el valor de carga es de 2.48 ton., con lo cual se confirma que si la velocidad de aplicación de carga aumenta la carga aumenta y por el contrario si disminuye la velocidad de aplicación de la carga también la carga disminuye. (Ver graf. VI.4)

Posteriormente se realizaron otras pruebas en plomo con el fin de visualizar que sucedía con la pieza en el proceso de forjado al ir aplicando la carga gradualmente. Es decir, hacer una secuencia de forjado para ver como la pieza iba conformándose a una determinada carga. Por ejemplo, a 1 ton. de carga podemos observar que el tocho toma una forma de barril y el punzón apenas se marca; a 2 ton. las caras de lo que sería la tuerca hexagonal empiezan a formarse y el agujero producido por el punzón es más profundo; de 3 ton. en adelante y hasta 8 ton. no se observan cambios tan fuertes como en el que se observa en el paso de 1 a 2 ton. ya que las caras y aristas del hexágono son muy difíciles de formar porque la fluencia del material para llenar cavidades estrechas o reducidas que presentan las aristas debe vencer una resistencia mayor. Por último observamos que a 9 ton. la pieza está casi terminada pero las aristas en su parte superior se forman completamente hasta las 10 ton. (Ver gráficas de secuencia de carga).

Como complemento queremos señalar que la carga teórica calculada con la relación  $F = \nabla A_p Q_c$  es aproximada a la carga práctica de forjado.

$$A_p = 558.72 \text{ mm}^2$$

$$Q_c = \theta \text{ para forma compleja}$$

$$\nabla \gamma = 239 \text{ kg/cm}^2 \text{ para plomo a } 20^\circ\text{C} \text{ ( 80 Pb, 15 Sb, 5 Sn ) ( Ver la tabla XI del apéndice A).}$$

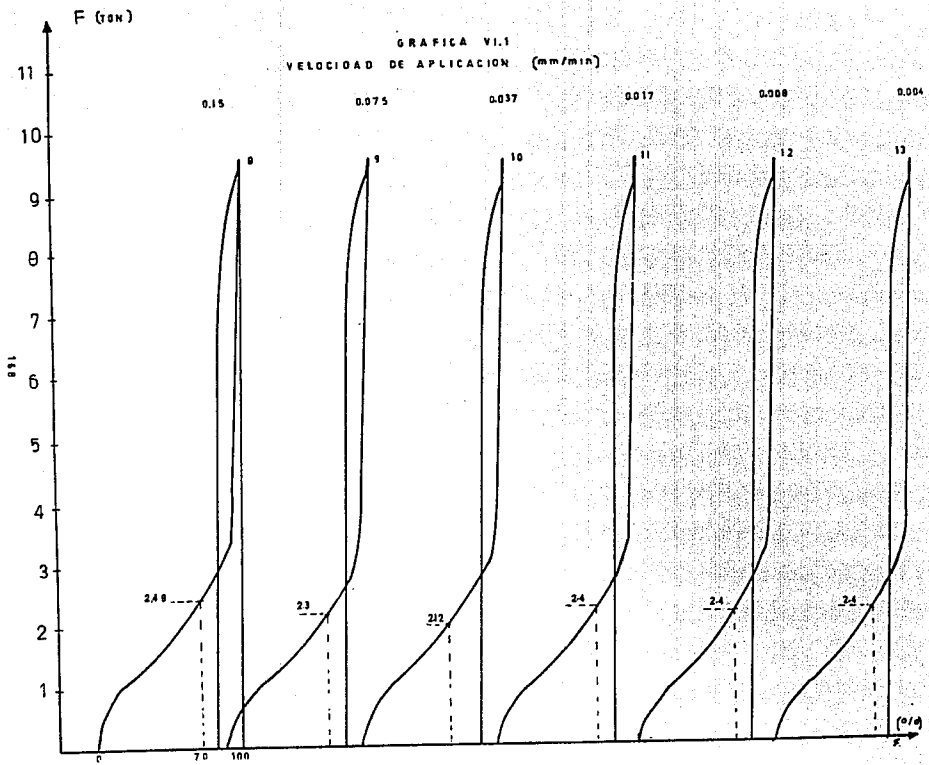
por lo que:

$$F = 2.39 \text{ kg/mm}^2 \cdot \theta \cdot 558.72 \text{ mm}^2 = 10682.7 \text{ kg.}$$

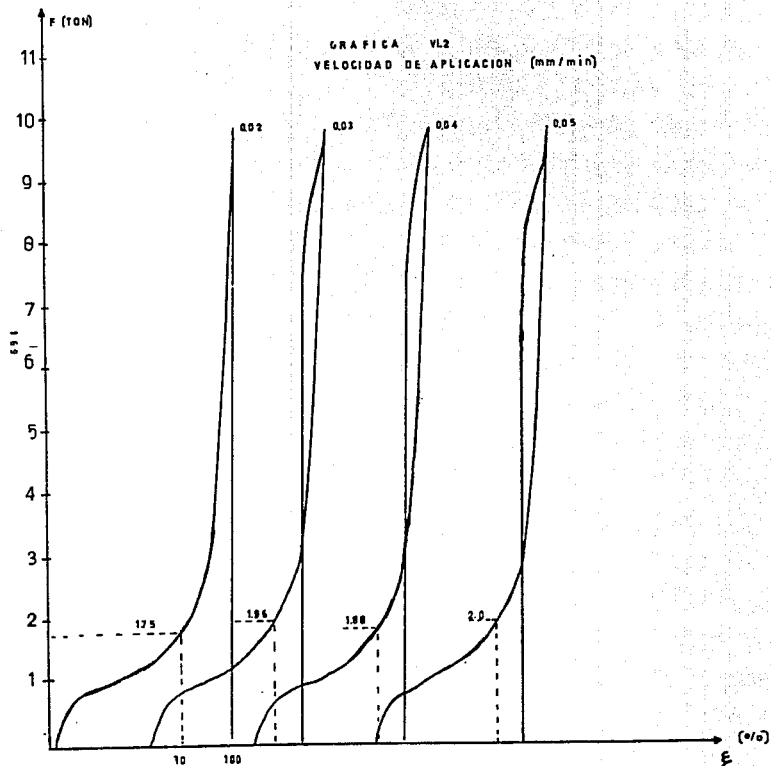
$$F = 10.68 \text{ ton.}$$

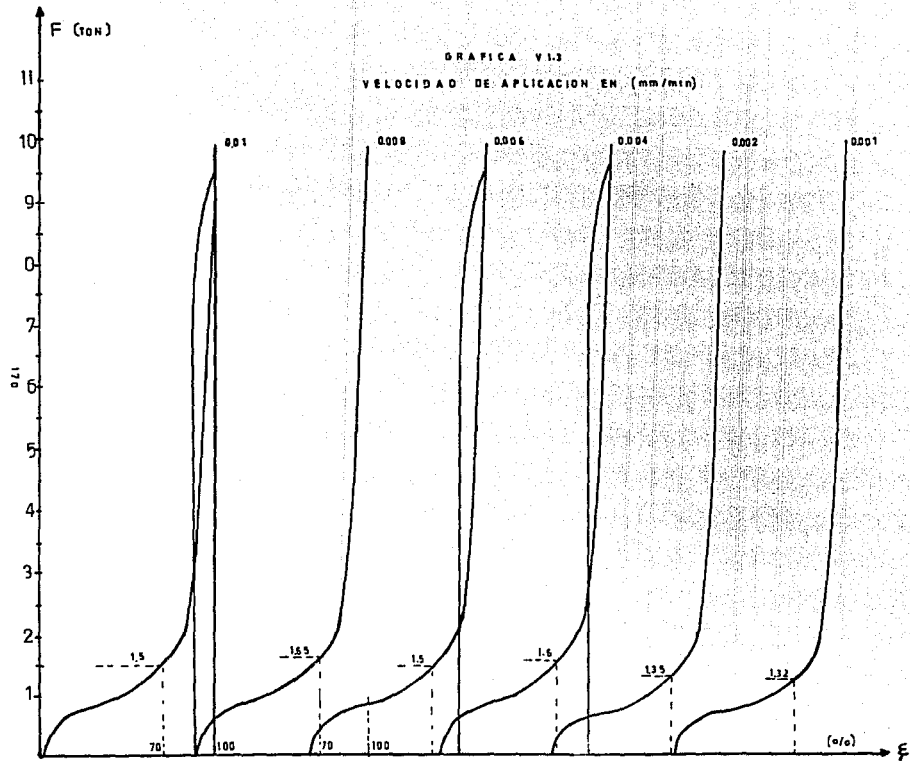
Esta carga obtenida se aproxima a las 10 ton. requeridas para conformar la tuerca hexagonal.

Se puede agregar que utilizando materiales más puros la aproximación a la carga será mayor.

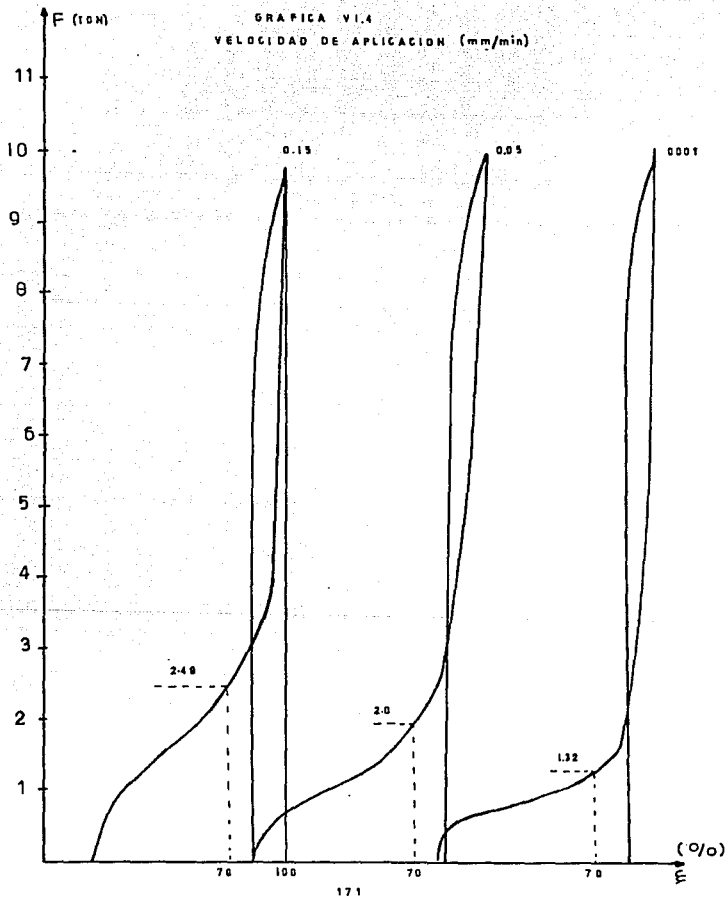






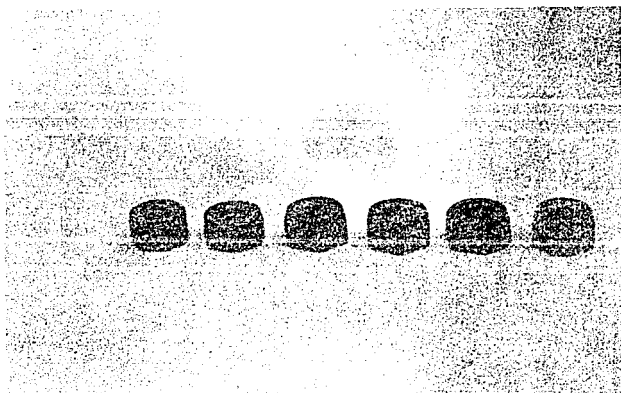
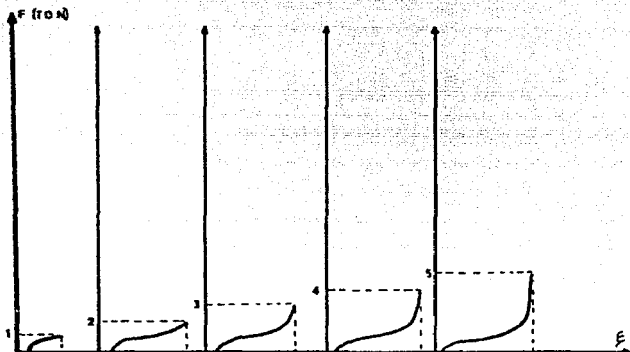


GRAFICA VI.4  
VELOCIDAD DE APLICACION (mm/min)

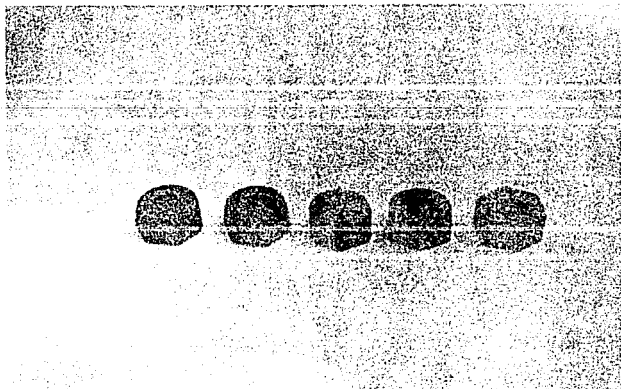
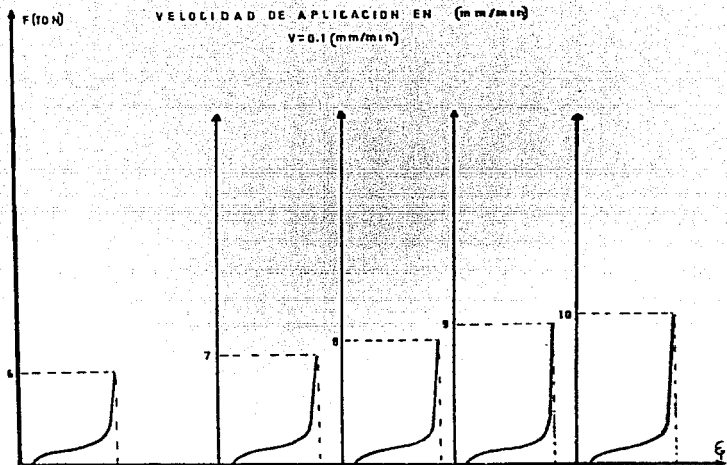


VELOCIDAD DE APLICACION EH (mm/min)

$v = 0.1$  (mm/min)



Gráficas de Secuencia de Aplicación de Carga.



Gráficas de Secuencia de Aplicación de Carga.

### VI.3 PRUEBAS CON VARIACION DE TEMPERATURA

Ahora para ver el efecto de la temperatura sobre el tocho de plomo, se varió ésta conservando una velocidad de aplicación de carga constante.

De acuerdo a la teoría, para disminuir la resistencia del material a fluir se necesita adicionarle calor. Al calentarlo y aplicarle la carga ésta tiene que disminuir con respecto a una temperatura más baja.

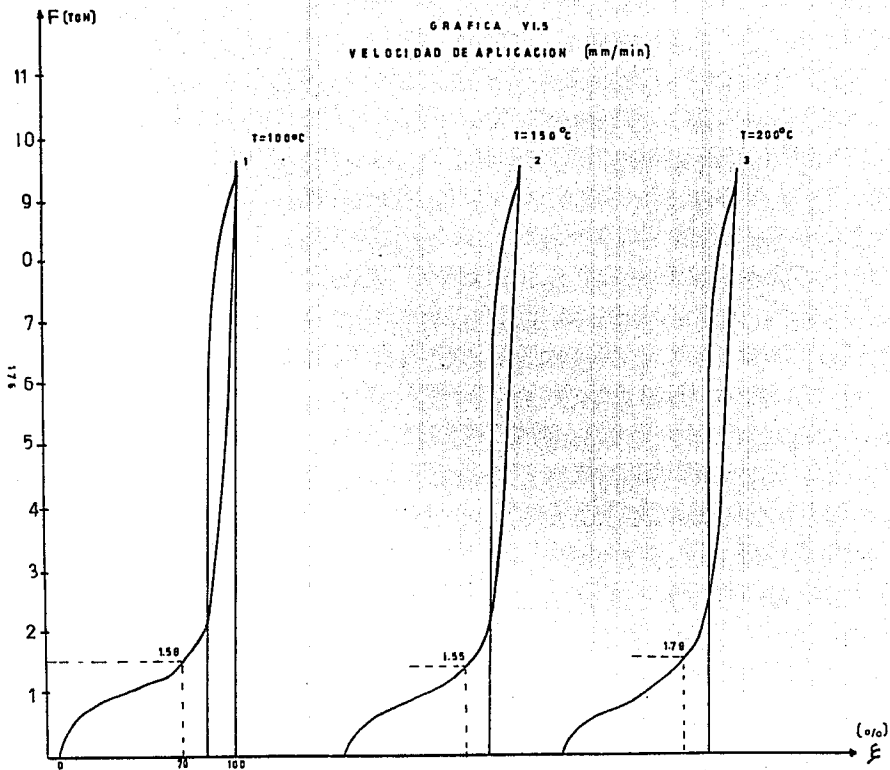
Para calentar el tocho de plomo se utilizó un horno eléctrico para controlar mejor la temperatura. Se calentó el material a una temperatura de 320°C que es una temperatura antes de la cual se funde el plomo (funde a 330°C aproximadamente). Se dejó en el horno alrededor de 10 a 15 minutos para que el calor fuera homogéneo en todo el material. La operación siguiente era sacar el tocho del horno para introducirlo en la cavidad de la matriz y aplicar la carga teniendo la prensa previamente preparada. El sacar el tocho del horno y proporcionarle la carga requería que se hiciera en el menor tiempo posible para que la temperatura del tocho no se modificara mucho. Puesto que éstas operaciones se hacen manualmente el horno debe de estar cerca de la prensa para poder trasladar el tocho (con ayuda de unas pinzas de fundición) a la cavidad de la matriz en poco tiempo.

Se realizaron pruebas a 315°C, 300°C, 250°C, 200°C, 150°C, y 100°C con velocidad de aplicación de carga constante ( en el rango de velocidad de 0.01 mm/min. al 20% ) de 0.002 mm/min.

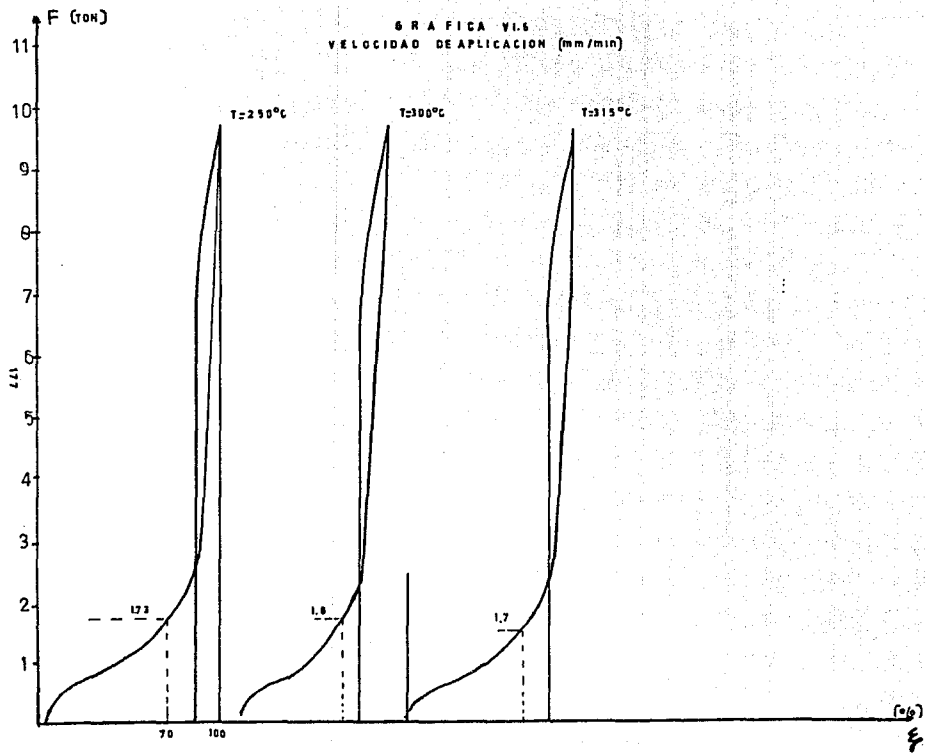
Ver gráficas VI.5 y VI.6

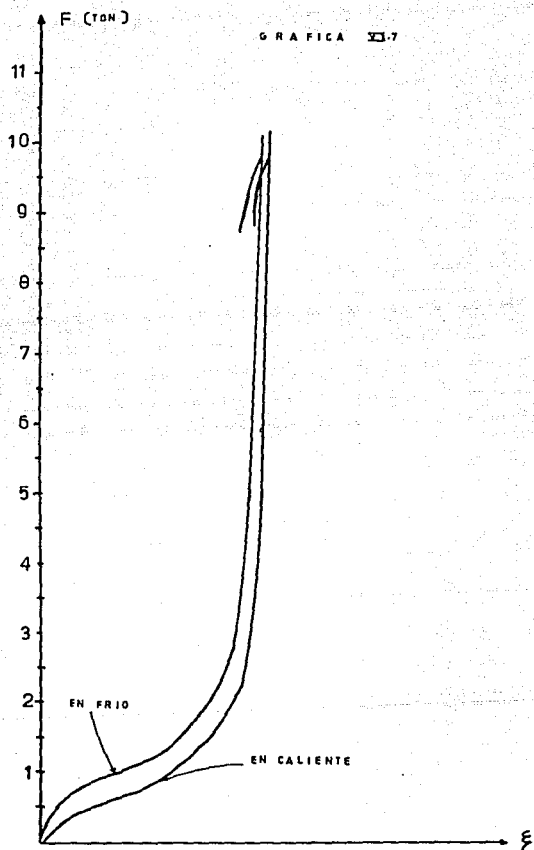
Después de aplicar la carga a diferentes temperaturas, podemos observar en las gráficas que el efecto debido a la temperatura no es muy apreciable. Si tomamos los valores de carga a un 70% de deformación vemos que la carga casi no cambia entre una temperatura y la siguiente. Por ejemplo a 100 °C y 150 °C las cargas son de 1.58 y 1.55 ton. respectivamente. Después a 200 °C de 1.78 ton.; a 250 °C de 1.78 ton.; a 300 °C de 1.80 ton. y a 315 °C de 1.70 ton. lo cual indica que todas las cargas obtenidas después de la de 100 °C eran mayores y esto no es posible ya que a mayor temperatura la carga tiene que disminuir. Estos resultados se deben principalmente, a que, el tiempo que se emplea en el traslado del tocho a la cavidad de la matriz y la aplicación de la carga no es el mismo en cada evento, por lo tanto provoca un enfriamiento mayor o menor en el tocho, además del provocado por las paredes de la cavidad de la matriz (ver gráficas VI.5 y VI.6). Se decidió entonces que para observar mejor el efecto de la temperatura se hiciera una prueba a temperatura ambiente y otra calentando el tocho. En la gráfica VI.7 se pueden observar las dos curvas y el efecto causado. Es decir, la curva del ensayo en caliente es más aplanada y por lo tanto la carga es menor.

GRAFICA YI.5  
VELOCIDAD DE APLICACION (mm/min)









#### VI.4 PRUEBAS CON ALUMINIO

Al haber realizado las pruebas con plomo y comprobar que las matrices conformaban la tuerca correctamente se procedió a utilizar las matrices con aluminio.

Las matrices fueron diseñadas para forjar aluminio ya que es uno de los materiales que puede forjarse con mayor facilidad.

Primero se procedió a la fabricación de los tochos de aluminio. De una barra de aluminio de diámetro 25.4 mm. y con ayuda de un torno se hicieron pequeños cilindros de dimensiones  $d = 23 \text{ mm.}$  y altura  $h = 15.5 \text{ mm.}$  que nos daba el volumen de material necesario para conformar la tuerca.

Según los cálculos realizados la temperatura de forja para aluminio es de 560 °C, pero como se tenía que calentar y trasladar desde el horno eléctrico hacia las matrices se decidió calentar el tocho a unos 600 °C.

Las matrices deben precalentarse a una temperatura que no provoque choques térmicos, pero debido a que no se puede aplicar calor directamente a las matrices montadas sobre la prensa, ni es cómodo manipular éstas a temperaturas de 200 y 300 °C se decidió realizar una prueba calentando sólo el tocho de aluminio.

El tocho de aluminio se calentó a 600 °C con un tiempo de 15 a 20 minutos para que el calor fuera homogéneo en éste.

Ya preparada la prensa, se introdujo el tocho en la cavidad de la matriz y se aplicó la carga límite con una velocidad de 0.002 mm/min. para que la pieza no se enfriara tan rápido.

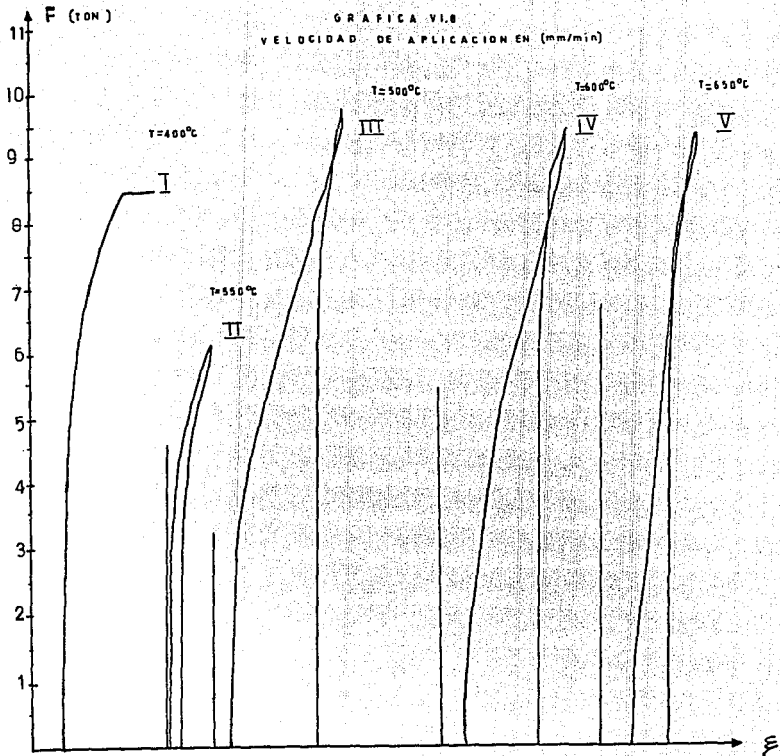
Al extraer la pieza de la matriz se notó que la carga era insuficiente pues apenas se marcaba el punzón y la pieza salía fría. Se aumentó la temperatura del tocho hasta 650°C un poco antes de la fusión y se realizó la prueba observándose el mismo resultado.

Todo lo anterior indicaba que había una gran disipación de calor a una gran velocidad, es decir, que el tiempo que se llevaba el traslado del tocho desde el horno a la cavidad de la matriz, el tiempo en que se aplicaba la carga y la disipación de calor por conducción debido al contacto entre matriz y tocho eran elementos definitivos que no permitían la reducción de la resistencia del material a fluir y por lo tanto la carga resultaba insuficiente para la conformación. (Ver gráfica VI.8).

Luego de esta prueba se confirmó que el control de temperatura era fundamental además de la forma de calentamiento de matrices y tocho.

Se confirmó entonces en que forzosamente las matrices debían de precalentarse y reducir el tiempo de traslado y aplicación de la carga. Para el calentamiento de las matrices se podía utilizar flama directa a través de un soplete, pero ésta forma de calentar no daba un calentamiento uniforme en toda la matriz. Otra forma de calentamiento que se contempló era a través de resistencias eléctricas haciéndolas pasar entre las matrices sólo que las matrices se complicarían más en su diseño.

Debido a que la prensa utilizada no está diseñada para un proceso de forjado y ya que éste es un proceso de trabajo en caliente se dificulta mucho el calentamiento de las matrices por el riesgo de



causar alguna deformación en la prensa y por lo tanto dañarla. De todas estas pruebas se puede concluir que para poder forjar aluminio con las matrices diseñadas, es necesario implementar un sistema de calentamiento efectivo tanto para el tocho como para dichas matrices. También podemos decir que nuestra pieza se puede conformar en aluminio realizando el proceso en varios pasos. Esto es, del material de partida diseñar un paso intermedio por lo menos y un paso de acabado o final. Como sabemos esto último nos obligaría a diseñar matrices de preformado y acabado final lo que nos llevaría mayor tiempo y dinero. Otra forma para alcanzar a conformar la tuerca en aluminio sería el utilizar una prensa con mayor capacidad que la Instron, pero esto último no es posible ya que es la única disponible.

Como las matrices están diseñadas con fines didácticos, el trabajar a altas temperaturas resulta incómodo y peligroso por lo que el proceso de forjado se puede realizar con plomo trabajándolo a temperatura ambiente.



## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES

- 1.- Se cumple el objetivo principal que es el diseño y fabricación de matrices de forja así como el análisis del proceso, utilizando los distintos elementos y características de un proceso tan usado en la industria para la conformación de piezas y poder mostrar la problemática que implica, sobretodo cuando se trata de forja en matriz cerrada sin rebaba.
- 2.- Este trabajo es importante ya que en él se puede visualizar que en la fabricación de matrices se utilizan varios tipos de máquinas-herramientas (tornos, cepillos, fresadora, taladro de columna, etc.) de uso general, pero también que en la fabricación de cavidades complejas se requiere de máquinas de uso especial (electroerosionadoras).
- 3.- Un punto importante tanto para el diseño y fabricación de matrices es saber con el tipo de máquinas-herramientas de que se dispone.
- 4.- La importancia de éste trabajo es la contribución que hace al desarrollo de equipo didáctico necesario en laboratorios, ya que éstos no cuentan con equipo para forja en matriz cerrada, pues anteriormente sólo se mostraba el proceso de

forja básica o de herrero.

- 5.- Este trabajo pretende que las matrices sirvan de apoyo para el análisis y la comprensión del proceso de forja en matriz cerrada y que los futuros ingenieros refuercen sus conocimientos teóricos con la aplicación práctica.
- 6.- Con este diseño se puede ampliar la variedad de formas ya que tanto el punzón como la cavidad que contiene la geometría de la pieza se pueden intercambiar.
- 7.- Con este diseño se puede comprobar que el cálculo de la fuerza teórica para forjar la tuerca es una aproximación solamente a la fuerza real y que ésta aproximación se acercará más a la real si utilizamos materiales más puros y se tiene mejor control de temperatura.
- 8.- Para que el proceso se desarrolle en forma óptima es importante que la forma de calentamiento sea efectiva, que los tiempos de preparación y aplicación de carga estén controlados para evitar enfriamiento de matrices y pieza a forjar.
- 9.- Las matrices se deben diseñar en base a lo siguiente:
  - Geometría y dimensiones de la pieza a forjar.
  - Material de pieza y matrices.
  - Número de piezas.
  - Complejidad del forjado.
  - Etapas de forjado.
  - Capacidad de la prensa.



10.- En general la mayoría de las piezas elaboradas por forja en matriz cerrada se producen de acuerdo a datos obtenidos en base a la experiencia, es decir, las empresas para elaborar una pieza toman en cuenta los datos de una pieza ya forjada con características similares a la que se producirá.

11.- Este trabajo nos ha dado la oportunidad de aplicar los conocimientos científicos y técnicos adquiridos durante la carrera y de alguna forma demostrar la capacidad que cada uno de nosotros, los egresados, tenemos para resolver problemas específicos. Además nos ha permitido desarrollar nuestro criterio en la selección de alternativas.

12.- En general éste trabajo permite que la persona interesada en el proceso de forja, se familiarize con todos los factores que intervienen en el diseño y fabricación de matrices para la realización de una pieza de manera práctica.

## BIBLIOGRAFIA

- Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones.  
Richard A. Flinn y Paul K. Trojan.  
Editorial Mc. Graw Hill. 1a. Edición 1979.
- Introducción a la Metalurgia Física.  
Sidney H. Avner.  
Editorial Mc. Graw Hill. 2a. Edición 1979.
- Procesos de Manufactura.  
Amstead, B.H. y Myron, L. Begeman.  
Editorial C.E.C.S.A. 2a. Edición 1972.
- Tecnología de Fabricación Metalmeccánica.  
Zeferino Damián Noriega.  
Editorial AGT.S.A. 1a. Edición 1986.
- Tecnología de los Materiales Industriales.  
José Ma. Lasheras Esteban.  
Editorial Cedel. Bilbao, España. 1967.
- Manual de Métodos de Fabricación Metalmeccánica.  
Sergio A. Villanueva Pruneda y Jorge Ramos Watanave.  
Editorial AGT.S.A. 3a. Edición 1983.
- Formado de Metales.  
American Machinist Magazine.  
Editorial Mc. Graw Hill. 1a. Edición 1988.

- Deformación Plástica de los Materiales, la Forja y la Laminación en Caliente.

Jesús del Río.

Editorial Gustavo Gili, S.A. 1a. Edición 1980.

- Metals Handbook. Equipos, Procesos y matrices para Forja.

ASM. 5a. Edición.

- Mechanical Metallurgy.

George E. Dieter.

Editorial Gustavo Gili, S.A. 2a. Edición 1981.

- Handbook of Metal Forming.

Kurt Lange.

Editorial Mc. Graw Hill. 1a. Edición 1985.

- Alrededor de las Máquinas y Herramientas.

Gerling.

Editorial C.E.C.S.A. 2a. Edición 1982.

- Técnica de la Forja Embutición Corte y Soldadura.

Doménico Lucchesi.

Editorial Labor. 1a. Edición 1973.

## APENDICE A

TABLA 4.1  
 PROPIEDADES DE TRABAJO EN CALIENTE Y TRABAJO EN FRIO DE ACEROS  
 Y ALEACIONES DE COBRE

DESIGNACION Y COMPOSICION %	LIQUIDOS SOLIDOS °C	TRABAJO EN CALIENTE				TRABAJO EN FRIO				ELONGACION UTS 10N MPa	R.A. % °/o	TEMP °C	
		USUAL TEMP °C	ESFUERZO DE FLUJO MPa			ESFUERZO DE FLUJO MPa		σ MPa					
			at	°C	c	m	k		n				
<b>ACEROS</b>													
1008 (008C) LAMINA		1250	1000	100	0.1	600	0.25	100	320	40	70	850-F 500	
1015 (0.15C) BARRA		1250	800	150	0.1	620	0.18	300	450	35	70	850	
			1000	120	0.1							900 F	
			1200	50	0.17								
1045 (0.45C)		1150	800	180	0.07	950	0.12	410	700	22	45	750	
			1000	120	0.13							870 F	
			1000	120	0.1								
8620 (0.2C, 1Mn, 0.4Ni, 0.5Cr, 0.4Mo)			1000	120	0.1			350	620	30	60		
D2 ACERO PARA HERRAMIENTA (1.5C, 12Cr, 1Mo)		900-	1000	150	0.11	1300	0.3					880 F	
		1080											
H13 ACERO PARA HERRAMIENTA (0.4C, 5Cr, 1.5Mo, 1V)			1000	80	0.26								
		1420/ 1400	930- 1200	1000	170	0.1	1300	0.3	250	600	55	65	1010- 1120 F
302SS (18Cr, 9Ni)		1530/ 1400	870 1150	1000	140	0.08	960	0.1	200	520	30	65	650 800
<b>ALEACIONES BASE COBRE</b>													
Cu (99.94%)		1083/ 1065	750- 950	600	130	0.06 0.17	450	0.33	70	220	50	78	375- 650
				900	48	0.2							
CARTUCHOS DE LATON-BRONCE (30Zn)		955/ 915	725- 850	600	100	0.24 0.15	500	0.41	100	310	65	75	425- 750
				800	48	0.15							
METAL (40Zn)		985/ 900	625- 000	600	38	0.3 0.24	800	0.5	120	380	45	70	425- 600
				800	20	0.24							
GUÍAS DE BRONCE (1Pb 39Zn)		900/ 855	625- 800	600	58	0.14 0.20	800	0.33	130	340	50	55	425- 600
				800	14	0.20							
FOSFORO BRONCE (3 Sn)		1050/ 950		700	160	0.35	720	0.46	150	340	57		480- 675
BRONCE ALUMINIO (5 Al)		1060/ 1050	815- 870						170	400	65		425- 750

TABLA 4-1a

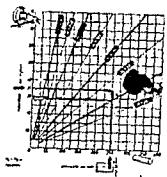
PROPIEDADES DE TRABAJO EN CALIENTE Y TRABAJO EN FRIO  
DE ALEACIONES NO FERROSAS

DESIGNACION COMPOSICION %	LIQUIDOS SOLIDOS °C	TRABAJO EN CALIENTE				TRABAJO EN FRIO							
		USUAL TEMP. °C	ESFUERZO, F. MPa			ESFUERZO FLUJO MPa		ELONGACION %		TEMP. °C			
			at	°C	mm	K	n	σ	UTS ON. R. A.				
		°C	at	°C	mm	K	n	MPa	MPa	%	%	°C	
<b>METALES LIGEROS</b>													
1100 Al (99.0%)	657/	250-	300	60	0.08	140	0.25	35	90	35		340	
	643	550	500	14	0.22								
2017 Al (13Cu, 0.5Mn, 0.5Mg)	635/	260-	400	90	0.12	380	0.15	100	180	20		415 F	
	510	480	500	36	0.12								
5052 Al (2.5Mg)	650/	260-	480	35	0.13	210	0.13	90	190	25		340	
	530	510											
7075 Al (Zn 2Mg, 1Cu)	640/	260-	450	40	0.13	400	0.17	100	230	16		415	
	475	455											
Al+Mg (1Mn)	649/	290-	400	14	0.3			130	230	10		370	
	640	540											
<b>METALES FUNDIDOS</b>													
Sn (98.8%)	232	100-								15	45	100	150
		200											
Pb (99.7%)	327	20-	100	10	0.1					12	35	100	20-
		200											200
Zn (99.99% Pb)	417	120-	75	260	0.1					130/	65/		100
		275	225	40	0.1					170	50		
<b>ALEACIONES DE ALTA TEMPERATURA</b>													
Ni (99.4 Ni-C)	1446/	650-						140	440	45	65	650-	
	1435	1250										760	
<b>ALEACION RAPIDA</b>													
X (47 Ni, 9Mg, 22Cr, 10Fe, 1.5Co, 0.6W)	1290	980-	1190	140	0.2			360	770	42		1175	
		1200											
Ti (99.0%)	1660	750-	600	200	0.11			480	620	20		59.0-	
		1000	900	38	0.25							730	
Ti-6Al-4V	1660/	790-	600	550	0.08			900	950	12		700-	
	1600	1000	900	140	0.16							825	
ZIRCONIO	1852	600-	900	50	0.25			210	340	35		500-	
		1000										800	
URANIO (99.8%)	1132	700	700	110	0.1			190	380	4	10		

TABLA I

MATERIAL DE HERRAMIENTA RAZCERO RAPIDO RAZCERO SUPERRAPIDO WPLAQUITA DE METAL DURO ACEROS Vc (m/min)	TORNEADO EXTERIOR						TORNEADO INTERIOR		PERFILAR		SEGAR	MANDRINAR CON ESCARINADOR	ROSCAR CON TERRAJA	ROSCAR CON HERRAMIENTA	ROSCAR INTERIOR	TALADRAR		
	DESASTADO			ACABADO			DESASTADO Y ACABADO		ANCHURA MEDIA 15mm									
	R	RR	W	R	RR	W	R	W	R	W	R	R	R	R	R	RR		
EXTRALARGO	60	90	100	60	120	150	40	70	70	100	45	65	50	15	15	20	7	35
DURO	35	50	55	45	70	120	25	40	50	55	50	70	30	5	8	18	6	31
EXTRADURO	30	40	45	40	50	60	20	30	40	45	10	55	25	8	6	10	5	23
BONIFICADOS	20	25	30	30	35	70	15	18	25	60	15	50	20	7	5	8	4	20
FUNDO-DULCE	40	60	60	50	70	100	30	40	65	90	25	00	30	14	7	10	6	22
FUNDO-DURA	20	40	60	30	55	70	15	20	40	60	10	55	18	8	6	8	4	20
CORONCEJA	45	65	145	60	80	260	35	45	80	160	30	100	40	14	11	16	9	50
LATON	100	200	220	200	300	350	75	100	100	220	55	200	80	20	15	20	10	85
ALUMINIO	200	300	400	300	500	600	150	200	300	400	150	300	150	30	24	30	15	175

S (mm/rev)	TORNEADO EXTERIOR		TORNEADO INTERIOR		PERFILAR	SEGAR
	DESASTADO	ACABADO	DESASTADO	ACABADO		
DULCE	0.1-0.4	0.05-0.2	0.05-0.3	0.05-0.2	0.02-0.05	0.05-0.1
DURO	0.1-0.4	0.05-0.25	0.05-0.3	0.05-0.2	0.02-0.05	0.06-0.1
EXTRADURO	0.1-0.4	0.05-0.2	0.05-0.3	0.05-0.2	0.02-0.05	0.05
TREATADO	0.1-0.4	0.05-0.2	0.05-0.3	0.05-0.2	0.02-0.05	0.05
FUNDO-DULCE	0.1-0.8	0.05-0.2	0.05-0.4	0.05-0.2	0.02-0.05	0.05-0.1
FUNDO-DURA	0.1-0.6	0.05-0.25	0.05-0.5	0.05-0.2	0.02-0.05	0.02-0.05
CORONCEJA	0.1-0.6	0.05-0.25	0.05-0.5	0.05-0.25	0.02-0.05	0.05-0.1
LATON	0.1-0.8	0.05-0.25	0.05-0.4	0.05-0.2	0.02-0.1	0.05-0.2
ALUMINIO	0.1-0.8	0.05-0.25	0.05-0.4	0.05-0.2	0.02-0.2	0.05-0.2



161

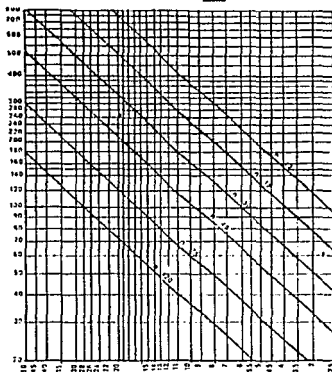
T A B L A II

VELOCIDAD DE CORTE Y AVANCE

	HERRAMIENTA DE	ACERO	ACERO	ACERO	FUNDICION	LATON	METAL
		St 37 11	St 60 11	MOLDEADO	GRIS	LATON ROJO	LIGERO
VELOCIDAD DE CORTE EN m-min							
DESASTADO ▽	Ac.herram.	10..... 15	8..... 12	9..... 12	8..... 12	15..... 20	—
	Ac.rápido.	15..... 20	12..... 16	12..... 16	12..... 16	20..... 25	30..... 35
AFINADO ▽▽	Ac.herram.	15..... 20	12..... 16	12..... 16	14..... 18	20..... 25	
	Ac.rápido.	20..... 25	16..... 20	16..... 20	18..... 22	30..... 40	50..... 60
AVANCE EN mm.rev							
	Ac.herram.	0,2.....6					
	Ac.rápido.	0,6.....12					0,1.....1



TABLA III



VELOCIDAD MEDIA EN m/min

MATERIAL	DESABASTE		ACABADO	
	AC. RAPIDO	ALEACIONES DURAS	AC. RAPIDO	ALEACIONES DURAS
ACEROS BLANDOS	20-24		24-25	
ACEROS DUROS	16-20		20-24	
FUNDICION BLANDA	24-26	30-35	20-30	35-40
FUNDICION DURA	10 20	25 30	24 26	35 40
BRONCE	25 30	30 35	25 30	35 40
ALUMINIO	200		200	

LONGITUD DE LA CARRERA EN minutos	VELOCIDAD DE CORTE			
	No CARRERAS POR MINUTO			
	43	65	100	150
20	2.6	3.9	6	9.1
40	5	7.5	11.6	17.4
60	7.1	10.7	16.5	25
80	9.1	13.7	21.1	31.7
100	10.0	16.3	25.1	37.7
120	12.5	18.0	29	43.5
140	14	21	32.5	48.7
160	15.3	23.1	35.6	53.4

TABLA IV

PARAMETROS DE OPERACION CON SIERRA HORIZONTAL

MATERIAL		ACEROS RAPIDOS	ACEROS PARA HERRAMIENTAS	ACEROS PARA CONSTRUCCION	FUNDICION GRIS	METALES Y ALEACIONES LIGERAS	
VELOCIDAD DE CORTE (m/min)		20	30-40	40-55	55-65	100	
ESPAF ESPESOR DE LA PIEZA EN MM	10	6 d/cm	0.4	0.3	0.2	0.05	0.05
	20		0.8	0.6	0.45	0.1	0.08
	30	14 d/plq	1.3	0.8	0.65	0.2	0.11
	40		1.75	1.1	0.8	0.3	0.15
ESPESOR DE LA PIEZA EN MM	50		2.25	1.3	0.9	0.35	0.17
	60	4 d/cm	4.0	2.1	1.2	0.65	0.23
	100		5.2	2.8	1.4	0.75	0.36
	120	10 d/plq	6.8	3.5	1.55	1.0	0.45
150	3 d/cm	9.0	4.8	2.05	1.4	0.65	
200	8 d/plq	15.0	7.7	3.3	2.45	1.5	

$$Pot = \frac{q \cdot Z \cdot K_s \cdot V_c}{4500 \cdot \eta} = CV$$

$$Pot = \frac{q \cdot Z \cdot K_s \cdot V_c}{60(102K)} = KW$$

$$T_{maq} = \frac{F}{P} = \text{minutos}$$

q = SECCION DE LA VIRUTA EN mm<sup>2</sup>

Z = No DE DIENTES EN CORTE SIMULTANEO

K<sub>s</sub> = FUERZA ESPECIFICA DE CORTE DADA EN Kg/cm<sup>2</sup>

η = RENDIMIENTO MECANICO DE LA MAQUINA

V<sub>c</sub> = VELOCIDAD DE CORTE EN m/min

F = SUPERFICIE DE CORTE EN cm<sup>2</sup>

P = SUPERFICIE CORTADA POR MINUTO EN cm<sup>2</sup>/min

T A B L A V

T A B L A DE LAS VELOCIDADES DE CORTE PARA HERRAMIENTAS  
DE ACERO FUNDIDO O DE ACERO DE CORTE RÁPIDO

CLASE DE HERRAMIENTA	ACERO FUNDIDO				ACERO RAPIDO			
	DESABASTE	ACABADO	REFRENTADO	ROSCADO	DESABASTE	ACABADO	REFRENTADO	ROSCADO
OPERACIONES A EFECTUAR	METROS POR MINUTO				METROS POR MINUTO			
MATERIALES A TRABAJAR								
ACEROS:								
30 x 40 kg/mm <sup>2</sup> .....	10	22	13	11	26	30	20	16
50 x 70 kg/mm <sup>2</sup> .....	12	16	10	8	19	23	18	12
80 x 90 kg/mm <sup>2</sup> .....	6	10	7	5	11	14	15	10
ACEROS ESPECIALES								
140-100 kg/mm <sup>2</sup> .....	5	7	5	4	8	10	8	6
FUNDICION .....	7	12	8	6	18	20	12	8
FUNDICION MALEABLE .....	10	11	6	6	16	15	10	8
ACERO MOLDEADO..	9	8	5	5	13	15	9	8
LATON .....	30	40	20	16	48	65	35	25
BRONCE .....	12	12	9	6	15	20	14	9
DURALUMINIO....	80	100	90	65	130	170	120	100

TABLA VI

VELOCIDAD PERIFERICA SUGERIDA PARA  
BROCAS DE ALTA VELOCIDAD

MATERIAL POR TALADRAR	VELOCIDAD PERIFERICA EN metros por minuto	VELOCIDAD PERIFERICA EN pies por minuto
ACEROS ALEADOS DE 29 Rc. DE DUREZA	15.2 A 21.3	50 A 70
ACEROS ALEADOS ARRIBA DE 29RcA30Rc	9.1 A 15.2	30 A 50
ACEROS ALEADOS DE MÁS DE 30Rc. DE DUREZA	4.5 A 9.1	15 A 30
ACEROS FORJADOS	15.2 A 19.2	50 A 60
ACEROS INOXIDABLES "MAGNETICOS"	12.2 A 19.2	40 A 60
ACEROS INOXIDABLES "NOMAGNETICOS"	6.1 15.2	20 A 50
ACEROS DE LIBRE MAQUINADO	22.8 A 38.1	75 A 125
ACEROS MAQ O ESTRUC 0.10 A 0.30% DE C.	24.3 A 33.5	80 A 110
ACEROS MAQ O ESTRUC 0.30 A 0.70% DE C.	21.3 A 24.3	70 A 80
ACEROS MAQ O ESTRUC 0.70 A 1.20% DE C.	12.2 A 19.2	40 A 60
ALUMINIO Y SUS ALEACIONES	60.9 A 91.4	200 A 300
BAKELITA	30.4 A 45.7	100 A 150
BRONCE	45.7 A 91.4	150 A 300
BRONCE DE ALTA RESISTENCIA TENSIL	21.3 A 45.7	70 A 150
HIERRO FUNDIDO ALEADO	15.2 A 21.3	50 A 70
HIERRO FUNDIDO "GRIS"	24.3 A 30.4	80 A 100
HIERRO MALLEABLE	24.3 A 27.4	80 A 90
LATÓN	30.4 A 60.9	100 A 200
MADERA	91.4 A 121.9	300 A 400
MÁRMOL PIZARRA Y PIEDRA DE CONSTRUCCIÓN	4.5 A 7.6	15 A 25
METAL MONEL	12.2 A 15.2	40 A 50

LAS BROCAS AL CARBONO DEBERAN TRABAJARSE EN UN 40 A 50% MENOS DE LA VELOCIDAD PERIFERICA INDICADA PARA LAS BROCAS DE ALTA VELOCIDAD

## AVANCE O ALIMENTACION PARA BROCAS DE ALTA VELOCIDAD

El avance en las brocas está gobernado por el diámetro de las brocas y por la clase de material por taladrar.

Diámetro de la broca en mm.	Diámetro de la broca en Pulg.	Para trabajo en general. Avance por revolución en mm.	Para trabajo en general. Avance por revolución en Pulg.	Para Acero Inox. austenítico. Avance por Rev. en mm.	Para Acero Inox. austenítico. Avance por Rev. en Pulg.
Hasta 2.38	Hasta 3/32	0.04 0.06	0.0015 0.0025	0.05 0.08	0.002 0.0035
3.17 a 3.96	1/8 a 5/32	0.05 0.10	0.002 0.004	0.06 0.15	0.0025 0.006
4.76 a 5.56	3/16 a 7/32	0.07 0.15	0.003 0.006	0.10 0.23	0.004 0.009
6.35 a 7.94	1/4 a 5/16	0.10 0.20	0.004 0.008	0.13 0.30	0.005 0.012
9.52 a 11.11	3/8 a 7/16	0.15 0.25	0.006 0.010	0.19 0.38	0.0075 0.015
12.70 a 14.29	1/2 a 9/16	0.20 0.30	0.008 0.012	0.25 0.46	0.010 0.018
15.87 a 17.46	5/8 a 11/16	0.22 0.33	0.009 0.013	0.28 0.51	0.011 0.020
19.05 a 20.64	3/4 a 13/16	0.25 0.35	0.010 0.014	0.32 0.53	0.0125 0.021
22.22 a 23.81	7/8 a 15/16	0.27 0.38	0.011 0.015	0.34 0.56	0.0135 0.022
25.40 a 28.57	1 a 1 1/8	0.30 0.40	0.012 0.016	0.38 0.61	0.015 0.024
31.75 a 38.10	1 1/4 a 1 1/2	0.30 0.46	0.014 0.018	0.44 0.69	0.0175 0.027
Arriba de 38.10	Arriba de 1 1/2	0.40 0.51	0.016 0.020	0.51 0.76	0.020 0.030

Todo trabajo nuevo deberá empezarse a taladrar con la velocidad recomendada más baja y el avance menos pesado, aumentando gradualmente la velocidad hasta obtener el máximo rendimiento por afilado.

T A B L A V I I I

DATOS TECNICOS

VELOCIDAD DE CORTE EN METROS/MIN  
SUGERIDA PARA FRESADO

MATERIAL A TRABAJAR	CORTADOR CILINDRICO PARA FRESADO PLANO A.V.		CORTADOR CILINDRICO FRONTAL A.V.		CORTADOR CIRCULAR A.V.		CORTADOR TIPO WOODRUFF A.V.
	DESABASTE prof. 5 mm.	AFINADO prof. 0.5 mm.	DESABASTE prof. 5 mm.	AFINADO prof. 0.5 mm.	DESABASTE prof. 5 mm.	AFINADO prof. 0.5 mm.	
Acero Extra-Duro	8-12	13-18	8-12	13-18	9-12	13-16	8-10
Acero Duro	10-16	16-16	12-16	16-25	12-18	16-25	10-12
Acero Suave	15-20	20-35	16-22	25-35	18-25	20-30	12-13
Fundición Gris	12-18	18-25	12-15	18-25	12-18	18-25	8-10
Fundición Semi-Dura	20-25	25-30	16-22	25-30	20-25	25-30	18-22
Bronce	30-40	40-50	30-40	40-50	30-40	40-50	25-30
Latón	35-50	50-70	35-50	50-70	35-50	50-70	40-45
Cobre	30-50	45-60	30-50	45-80	30-50	45-80	22-25
Aluminio	150 220	250 300	200 250	300 350	150 220	300 350	150 200

$$RPM = \frac{\text{Velocidad de corte en M/MIN.} \times 1000}{3.1416 \times \text{Diámetro del cortador en MM.}}$$

T A B L A IX

MATERIAL	RESISTENCIA EN $K_j/mm^2$	1) ANGULOS UTIL	AVANCE S EN (mm/rev)						AVANCE S EN (mm/rev)							
			CORTÉ		0.1		0.2		0.1		0.2		0.4		0.8	
			$\alpha$	$\beta$	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.8		
ACERO SIN ALEAR S1 S4, S1 S7, S1 S2	D1a 50	SS S1	0 3	14 10	120 230	25 200	34 170	25 67	19 55	360	260	190	130			
S1 S0, S1 S0	50...70	SS S1	0 5	14 10	240 205	32 175	24 145	18 50	14 42	410	295	215	154			
S1 S0	70...85	SS S1	0 5	14 10	200 200	32 170	24 132	18 104	15 34	70	440	315	230	164		
ACERO MOLDEADO	50...70	SS S1	0 5	10 6	110	54 100	25 85	15 71	14 24	20	360	260	190	136		
ACEROS ALEADOS	65...100	SS S1	0 5	10 6	150	24 110	17 95	12 75	8.5 24	(5)	300	360	260	185		
Ac. Hb, Ac. Cr-Ni Ac. Cr-Mn	100...140	SS S1	0 5	6 6	95	16 75	11 60	8 50	(5.6)	13	330	300	275	200		
Y OTROS ACEROS ALEADOS.	140...180	SS S1	0 5	6 6	60	35 48	23 38	10 32	8	8	370	410	300	215		
ACERO DE HERRAMIENTAS	150...180	SS S1	0 5	6 6	50	40 32	25 27	8.5 6.7	6.7	6.7	370	410	300	215		
ACERO DURO AL UN		SS S1	5 6	6 6	40	32 25	25 20	6.5 5.3	5.3	5.3	660	400	350	252		
HIERRO FUNDIDO GG-12, GG-15	Dureza Brinell hasta 200	SS G1	0 5	0 0	140	48 118	27 25	18 60	14 67	9.5	100	126	100	72		
GG-18, GG-20	Dureza Brinell 200...250	SS G1	0 5	0 0	106	32 90	10 73	13 63	9.3	6.3	290	200	150	100		
FUNDICION MALLABLE		SS G1	0 5	10 10	106	15 20	25 73	20 63	13 53	9	240	175	125	92		
ALEACIONES DE Cu LATON	Dureza Brinell 60...120	SS G1	0 5	0 6	600	128 330	85 250	56 400	36 355		160	115	85	60		
LATON ROJO		SS G1	0 5	0 6	500	35 240	25 375	40 335	24 200	24	140	100	70	52		
FUNDICION DE BRONCE		SS G1	0 5	0 6	355	63 200	53 256	43 200	50 100	20	340	245	180	120		
METALES LIGEROS ALUMINIO TECNICO		SS G1	12 12	30 30	400 1320	305 1120	200 950	110 650	75 710		105	76	55	40		
ALEACIONES DE Al (11...13% Si)		SS G1	12 12	10 10	100 224	67 150	49 160	30 140	110		140	100	70	50		
ALEACIONES PARA PISTONES GAI-SI (11...13% Si)		SS G1	12 12	14 14	25	22	20	18	17		125	90	65	40		
ALEACIONES DE MAGNESIO		SS G1	0 5	6 6	1000 1500	900 1500	000 1000	750 1000	110		50	42	50	22		
SINTETICOS Y PRENSADOS SOMA DURA		SS G1	12 12	10 10	500	280	250	224	200		48	35	25	15		
NASA FRENGADA NOVOTEXT, PERTINAX		SS G1	12 12	13 14	200	212	170	132	100		48	35	25	10		

FACULTAD DE INGENIERIA  
(M.A.N.)  
CENTRO DE MULTIMEDIOS  
DIDACTICOS  
MATERIA:

TITULO:  
VELOCIDAD, ANGULO Y PRESION  
DE CORTE

No.  
Dib. E.A.R.  
ESC. FECHA  
10-A-18-31

T A B L A X

## TABLA DE VELOCIDADES DE CORTE PARA BROCAS DE TIPO ESTANDAR

Velocidad de corte en metros/minuto		15.2	18.2	21.3	24.3	30.4
Velocidad de corte en pies/minuto		50	60	70	80	100
Diámetro de la broca en mm.	Diámetro de la broca en fracciones de pulgada	REVOLUCIONES POR MINUTO				
		0.32	1/34	12,224	14,655	17,088
0.79	1/32	6,112	7,320	8,544	9,760	12,224
1.19	3/64	4,064	4,886	5,696	6,528	8,160
1.59	1/16	3,056	3,664	4,272	4,880	6,112
1.93	5/64	2,448	2,928	3,424	3,904	4,896
2.33	3/32	2,032	2,448	2,848	3,264	4,080
3.18	1/8	1,528	1,832	2,136	2,440	3,056
3.57	5/32	1,224	1,464	1,712	1,952	2,448
4.76	3/16	1,016	1,224	1,424	1,632	2,040
5.56	7/32	672	1,048	1,224	1,400	1,744
6.35	1/4	764	916	1,068	1,220	1,528
7.94	5/16	612	732	856	976	1,224
9.52	3/8	508	612	712	816	1,020
11.11	7/16	436	524	612	700	872
12.70	1/2	382	458	534	610	764
14.29	9/16	340	408	476	544	680
15.87	5/8	306	366	428	488	612
17.46	11/16	278	334	388	444	556
19.05	3/4	254	306	356	408	510
20.64	13/16	234	282	330	376	470
22.22	7/8	218	262	306	350	436
23.81	15/16	204	244	286	326	408
25.40	1	191	229	267	305	382
28.57	1 1/8	170	204	238	272	340
31.75	1 1/4	153	183	214	244	306
34.92	1 3/8	139	167	194	222	278
38.10	1 1/2	127	153	178	204	255
41.27	1 5/8	117	141	165	188	235
44.45	1 3/4	109	131	153	175	218
47.62	1 7/8	102	122	143	163	204
50.80	2	95	114	133	152	191
57.15	2 1/4	85	102	119	136	170
63.50	2 1/2	76	92	107	122	153
69.85	2 3/4	69	83	97	111	139
76.20	3	64	76	89	102	127
101.60	4	48	57	67	76	95
127.00	5	38	46	53	61	76
152.40	6	32	38	45	51	64

Los R.P.M. para velocidades de corte no dadas aquí se pueden obtener sumando o restando.  
Ejemplo: 45.6 Metros por minuto igual a  $30.4 + 15.2 = 1,146$  R.P.M. (para broca de 12.7 mm. de diámetro).



TABLA XI

PROPIEDADES TÍPICAS DE ALGUNOS METALES NO FERROSOS (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)

MATERIAL (N.º especificación ASTM)	CONDICIÓN (estado)	RESISTENCIA MÉDIA		LÍMITE DE FLEXIÓN	RESISTENCIA A LA FATIGA		MÓDULO DE ELASTICIDAD TRANSV. E púlg × 10 <sup>4</sup>	MÓDULO DE ELASTICIDAD EN 50 mm (E) (t)	DUREZA ROCKWELL	DENSIDAD lb/pulg <sup>3</sup>	α × 10 <sup>6</sup> pulg/pulg °F	PORCENTAJES DE ELEMENTOS	
		R <sub>m</sub> ksi	R <sub>0.2</sub> ksi		R <sub>eH</sub> ksi	Núm. de ciclos a que correspon- den estos valores de R <sub>m</sub>							MÓDULO DE ELASTICIDAD E púlg × 10 <sup>4</sup>
<b>ALEACIONES DE COBRE</b>													
Látón del Almirantazgo (B111)	Recocido	53		22(c)	18	10 <sup>7</sup>	15	5,8	65	F75	0,308	11,2	71 Cu, 28 Zn, 1 Sn
Varilla estruñada (B150-2)	Recocido a 800°-F	120		70(a)	32	3 × 10 <sup>6</sup>	16	6,5	12	B102	0,274	9	81,5 Cu, 9,5 Al, 5 Ni, 2,5 Fe, 1 Mn
Bronce de aluminio (B150-1)	Recocido a 800°-F	100		100	28	8 × 10 <sup>6</sup>	15	6,5	25	B90	0,274	9,2	91 Cu, 9 Al
Cobre al berilio (B194)	HT	125	130	35	10 <sup>6</sup> (b)	19	7,3	5	C37	C297	9,3	1,9 Be, 0,2 Ni o Co	
Látón de cartucheta (B134-6)	1/2H, varilla	70	42	52(a)	22	5 × 10 <sup>6</sup>	16	6	30	B81	0,308	11,1	70 Cu, 30 Zn
Bronce comercial (B136-2)	Flexible H(g)	72	42	62(a)	21	15 × 10 <sup>6</sup>	17	6,4	3	B78	0,318	10,2	90 Cu, 10 Zn
Látón de fácil mecanización (B16)	Barras 2 pulg 1/2H	55	32	44(a)	20	10 <sup>7</sup>	14	5,1	32	B75	0,307	11,4	61,5 Cu, 35,5 Zn, 3 Pb
Bronce al manganeso (B138-A)	1/2H, barra	75	48	65(a)	30	10 <sup>6</sup> (g)(g)	16	6	25	B80	0,302	11,8	55 Cu, 39 Zn, máx
Látón naval (B124-3)	1/2H, barra	70	43	48(a)	15	3 × 10 <sup>6</sup> (b)	15	5,6	25	B80	0,304	11,8	60 Cu, 39,25 Zn, 0,75 Sn
Plata-níquel B	H(g)	100		85(a)	19		18	3	3	B91	0,314	9,3	55 Cu, 27 Zn, 18 Ni
Bronce tolorenco (B139-C)	1/2H, barra	80		65(a)	31	10 <sup>6</sup> (t)	16	6	33	B85	0,318	10,1	92 Cu, 8 Sn
Bronce al silicio (B98-B)	H, varilla 1 pulg	65	45	35(a)	25	10 <sup>6</sup>	17	6,4	10	B80	0,316	9,9	97,7 Cu, 1,5 Si, máx
Látón amarillo (B36-8)	1/2H, var. 1 pulg	65	36	40(a)	11	10 <sup>6</sup> (z)	15	5,6	48	B55	0,306	11,3	65 Cu, 35 Zn
Látón amarillo (B36-8)	1/2H (e)	51	40	50(a)	13		15	5,6	21	B70	0,306	11,3	65 Cu, 35 Zn
<b>ALEACIONES DE ALUMINIO</b>													
3003H14 (M1A)	Estado duro	22	14	21(c)	9	5 × 10 <sup>6</sup>	10	3,85	16	40(c)	0,099	12,9	1,0 Mn, otros
2014-T6 (C64A)	HT, envejecido	70	42	60(c)	18	5 × 10 <sup>6</sup>	10,6	4,0	13	135(c)	0,101	12,8	3,9 Cu, 0,5 Si, 0,4 Mg, 0,2 Mg
2024-T4 (C64Z)	HT, envejecido	68	41	41(c)(g)	20	5 × 10 <sup>6</sup>	10,6	4,0	20	120(c)	0,098	13,0	3,8 Cu, 1,2 Mg, 0,3 Mn
6061-T5 (g) (C631A)	HT, envejecido	45	30	40(c)	14	5 × 10 <sup>6</sup>	10	3,75	17	95(c)	0,100	12,7	0,15 Cu, 0,8 Mg, 0,4 Si
7075-T6 (C66Z)	HT, envejecido	82	48	72(c)	23	5 × 10 <sup>6</sup>	10,4	3,9	10	150(c)	0,101	12,9	5,1 Zn, 2,1 Mg, 1,2 Cu
360	Fund. a presión en molde metálico	40	27	24(c)	17	5 × 10 <sup>6</sup>	10,3	3,85	1,8	70(c)	0,095	11,7	9 Si, 0,4 Mg
355-T6	Fundido en arena	35	28	25(c)	9	5 × 10 <sup>6</sup>	10,3	3,85	3	80(c)	0,098	11,7	1 Cu, 4,5 Si, 0,4 Mg
<b>ALEACIONES DE MAGNESIO</b>													
AZ61A-F	Barras extruñadas	45	30	33(c)	17	5 × 10 <sup>6</sup>	6,5	2,4	16	E72	0,065	14,4	6 Al, 1 Zn, 0,2 Mn
AZ80A-T5	Fov, envejecido	50	23	36(c)	16	5 × 10 <sup>6</sup>	6,5	2,4	6	E82	0,065	14,4	8,5 Al, 0,5 Zn, 0,15 Mn
AZ91C-T5	Fundido en arena	40	28	19(c)	14	5 × 10 <sup>6</sup> (t)	6,5	2,4	5	E77	0,066	14,4	9 Al, 0,7 Zn, 0,2 Mn
<b>ALEACIONES DE PLOMO Y ESTADNO (fundición)</b>													
Babbitt (B21-46T-4)	A 68° F (t)	10	r <sub>m</sub> = 3,4 (m)		3,9	2 × 10 <sup>6</sup>	4,2		5	20(c)	0,36	17,3	80 Pb, 15 Sn, 5 Sn
Babbitt (B21-46T-3)	A 212° F (t)	5,4	r <sub>m</sub> = 1,7 (m)						2	10(c)	0,36	13,3	80 Pb, 15 Sn, 5 Sn
Babbitt de estano (B21-49-1)	A 68° F (t)	9,3	r <sub>m</sub> = 4,4 (m)		3,8	2 × 10 <sup>6</sup>	7,3		27	11(c)	0,265	14,4	91 Sn, 4,5 Sb, 4,5 Cu
<b>DIVERSAS</b>													
Hastelloy B	Fundido en arena	90		50(c)	66	10 <sup>6</sup> (a)	26,5		10	B93	0,334	5,55	62 Ni, 28 Mo, 5 Fe
Monel K	Estir. en frío, env.	140	98	100(c)	42		26		20	C30	0,336	7,8	66 Ni, 29 Cu, 1 Al
Alcación de platino	Recocido	45							15	90(c)	0,722	5,0(9)	10 Rodio
Titanio (B65, g 3) (t)	Recocido (s)	135		130(c)	42(9)	10 <sup>6</sup>	15(9)		32		0,160	5,8	f 6 Al, 4 V
Titanio (B65, g 3) (t)	Endurecido (t)(x)	170		158(c)	61(9)		15(9)		7		0,160	5,8	1 Servicio aeronáut. temp. elevada
Zinc (AC41A)	Fund. a presión en molde metálico (w)	47,6	38		8		2(a)		7	91(c)	0,24	15,2	4 Al, 1 Cu, 0,04 Mg

## MEMORIA DE CALCULO

NOMBRE DE LA PIEZA : CONECTOR SUPERIOR

VER DIBUJO No. 10

OPERACION 1

CORTE DE MATERIAL

De apéndice tabla IV.

Sierra cinta de 6 dientes/cm

$V_c = 45$  m/min

OPERACION 2

REFRENTADO CARA 'A'

De apéndice tabla I y IV.

$V_c = 20$  m/min

$s = 0.5$  mm/rev

$d = 51.34$  mm

$$n = \frac{20 \times 1000}{3.14 \times 51.34} = 124 \text{ rpm}$$

OPERACION 3

CENTRADO CARA FRONTAL 'A'

Diámetro de la broca 3 mm

De apéndice tabla II-III

$V_c = 29$  m/min

$s = 0.04$  mm/rev

$$n = \frac{29 \times 1000}{3.1416 \times 3} = 3076.99 \text{ rpm}$$

OPERACION 4

REFRENTADO CARA FRONTAL 'B'

De apéndice tabla I y IV.

Diámetro = 51.34 mm

Vc = 20 m/min

s = 0.5 mm/rev

n = 124 rpm

OPERACION 5

BARRENADO CARA FRONTAL 'B'

Diámetro de broca = 3 mm

De apéndice tablas II-III

Vc = 29 m/min

s = 0.04 mm/rev

$$n = \frac{29000}{3.1416 \times 3} = 3076.99 \text{ rpm}$$

OPERACION 6

CILINDRADO TOTAL

De apéndice tabla I

Diámetro = 51.34 mm

Vc = 60 m/min

s = 0.3 mm/rev

$$n = \frac{60000}{3.1416 \times 51.34} = 372 \text{ rpm}$$

OPERACION 7

CILINDRADO LADO 'A'

De apéndice tabla I

Diámetro = 50.2 mm

Vc = 60 m/min

s = 0.3 mm/rev

$$n = \frac{80000}{3.14 \times 50.2} = 380.45 \text{ rpm}$$

OPERACION 8

AFINADO LADO 'A'

De apéndice tabla I

Diámetro = 25.4 mm

Vc = 80 m/min

s = 0.1 mm/rev

$$n = \frac{80000}{3.14 \times 25.4} = 1002.55 \text{ rpm}$$

OPERACION 9

DESMONTAR , LIMPIAR Y VOLTEAR LADO 'B'

OPERACION TECNOMANUAL

OPERACION 10

CILINDRADO LADO 'B'

De apéndice tabla I

Diámetro = 50.2 mm

Vc = 60 m/min

s = 0.3 mm/rev

n = 380.45 rpm

**OPERACION 11**

**REALIZAR CUERDA LADO 'B'**

**Diámetro de 1" - 14 NC.**

**De apéndice tabla I**

**Vc= 20 m/min**

**s= 1.2 mm/rev**

**n= 208 rpm**

**OPERACION 12**

**DESBASTE LADO 'C'**

**Diámetro = 50.2 mm**

**De apéndice tabla I**

**Vc= 80 m/min**

**s= 0.15 mm/rev**

$$n = \frac{80 \ 000}{3.14 \times 50.2} = 507.26 \text{ mm}$$

**OPERACION 13**

**DESMONTAR , LIMPIAR Y VERIFICAR**

**OPERACION TECNOMANUAL**

**OPERACION 14**

**CEPILLADO DE DEBASTE LADO 'C'**

**De apéndice tabla II-III**

**Profundidad = 6.35 mm**

**Vc= 14 m/min**

**s= 1.2 mm/rev**

**n= 65 carr./min**

OPERACION 15

CEPILLADO DE AFINADO LADO 'C'

De apéndice tabla II-III

$V_c = 23 \text{ m/min.}$

$s = 0.8 \text{ mm./rev.}$

$n = 100 \text{ carr./min.}$

OPERACION 16

DESMONTAR Y GIRAR 180 GRADOS

OPERACION TECNOMANUAL

OPERACION 17

CEPILLADO DE DESBASTE LADO 'C'

De apéndice tabla II-III

Profundidad= 6.35 mm

$V_c = 14 \text{ m/min}$

$s = 1.2 \text{ mm/rev}$

$n = 65 \text{ car/min}$

OPERACION 18

CEPILLADO DE AFINADO LADO 'C'

De apéndice tabla II-III

$V_c = 23 \text{ m/min}$

$s = 0.8 \text{ mm/rev}$

$n = 100 \text{ carr./min}$

OPERACION 19

DESMONTAR , LIMPIAR Y VERIFICAR MEDIDAS

OPERACION TECNOMANUAL

OPERACION 20

LOCALIZAR Y TRAZAR CENTROS PARA AGUJERO LADO 'A'

OPERACION TECNOMANUAL

OPERACION 21

TALADRADO DE AGUJERO LADO 'A'

Para realizar barreno a 6.34 mm (1/4")

De apéndice tabla VI, VII y X.

Diámetro de broca = 3.17 mm (1/8")

$V_c = 21$  m/min

$s = 0.05$  mm/rev

$n = 2136$  rpm

Diámetro de broca = 6.34 mm (1/4")

$V_c = 24$  m/min

$s = 0.15$  mm/rev

$n = 1122$  rpm

OPERACION 22

DESMONTAR LIMPIAR Y VERIFICAR

OPERACION TECNOMANUAL

## MEMORIA DE CALCULO

NOMBRE DE LA PIEZA : Matriz inferior parte A-1

VER DIBUJO No. 11

OPERACION 1

CORTE DE MATERIAL A 4" X 1" X 2 1/4"

De apéndice tabla IV.

Sierra cinta horizontal de 6 dientes/cm

$V_c = 45 \text{ m/min}$

OPERACION 2

CEPILLADO DE DESBASTE CARA 'A'

De apéndice tabla II-III

A un espesor de 23.5 mm

$V_c = 17 \text{ m/min}$

$s = 1.5 \text{ mm/rev}$

$n = 65 \text{ carr./min}$

OPERACION 3

CEPILLADO DE AFINADO CARA 'A'

De apéndice tablas II-III

A un espesor de 23 mm

$V_c = 23 \text{ m/min}$

$s = 0.8 \text{ mm/rev}$

$n = 100 \text{ carr./min}$

OPERACION 4

CEPILLADO DE DESBASTE CARA 'B'

De apéndice tablas II-III

A un espesor de 22 mm

$V_c = 17 \text{ m/min}$

$s = 1.5 \text{ mm/rev}$

$n = 65 \text{ carr./min}$



OPERACION 5

CEPILLADO DE DEBASTE CARA 'C'

De apéndice tablas II-III

A un ancho de 54 mm

$V_c = 17$  m/min

$s = 1.5$  mm/rev

$n = 65$  carr./min

OPERACION 6

CEPILLADO DE DESBASTE CARA 'E'

De apéndice tablas II-III

A un ancho de 51.5 mm

$V_c = 17$  m/min

$s = 1.5$  mm/rev

$n = 65$  carr./min

OPERACION 7

CEPILLADO DE DESBASTE CARA 'F'

De apéndice tablas II-III

A una longitud de 95 mm.

$V_c = 17$  m/min

$s = 1.5$  mm/rev

$n = 65$  carr./min

OPERACION 8

CEPILLADO DE DESBASTE CARA 'D'

De apéndice de tablas II-III

A una longitud perpendicular de 91.5 mm

$V_c = 17$  m/min

s= 1.5 mm/rev

n= 65 carr./min

OPERACION 9

DESMONTAR, LIMPIAR Y VERIFICAR

OPERACION TECNOMANUAL

OPERACION 10

LOCALIZAR Y TRAZAR CENTROS PARA TALADRAR

OPERACION TECNOMANUAL

OPERACION 11

BARRENO CENTRAL DE DIAMETRO 25.4 MM CARA 'A'

De apéndice tablas VI, VII y X.

Diámetro de la broca 1/4"

Vc= 23 m/min s= 0.15 mm/rev n= 1220 rpm

Diámetro de la broca 3/8"

Vc= 23 m/min s= 0.20 mm/rev n= 816 rpm

Diámetro de la broca 1/2"

Vc= 23 m/min s= 0.25 mm/rev n= 610 rpm

Diámetro de la broca 5/8"

Vc= 23 m/min s= 0.3 mm/rev n= 488 rpm

Diámetro de la broca 3/4"

Vc= 23 m/min s= 0.33 mm/rev n= 408 rpm

Diámetro de la broca 1"

Vc= 30 m/min s= 0.38 mm/rev n= 382 rpm

OPERACION 12

REALIZAR AGUJERO DE CARA 'A'

De apéndice tabla I

A un diámetro interior de 35 mm

Diámetro = 25.4 mm

Vc = 40 m/min

s = 0.1 mm/rev

$$n = \frac{40000}{3.14 \times 25.4} = 501.27 \text{ rpm}$$

OPERACION 13

LOCALIZAR Y TRAZAR CENTROS PARA TALADRAR

OPERACION TECNOMANUAL

OPERACION 14

BARREND LATERAL CARA 'A'

De apéndice tabla VI, VII y X.

Para un diámetro de 11 mm

Diámetro de la broca 1/4"

Vc = 23 m/min      s = 0.15 mm/rev      n = 1220 rpm

Diámetro de la broca 3/8"

Vc = 24.3 m/min      s = 0.20 mm/rev      n = 1020 rpm

Diámetro de la broca 7/16"

Vc = 30.4 m/min      s = 0.24 mm/rev      n = 872 rpm

OPERACION 15

LOCALIZAR Y MARCAR CENTROS PARA BARREND

OPERACION TECNOMANUAL

**OPERACION 16**

**BARRENAR AGUJERO A 5/32"**

De apéndice tablas VI, VII y X.

**Diámetro de la broca 3/64"**

**Vc = 18.2 m/min s = 0.04 mm/rev n = 4896 rpm**

**Diámetro de la broca 5/32"**

**Vc = 21.3 m/min s = 0.1 mm/rev n = 2136 rpm**

**OPERACION 17**

**MACHUELEAR BARRENOS A 3/16"**

**OPERACION TECNOMANUAL**

**OPERACION 18**

**DESMONTAR, LIMPIAR Y VERIFICAR MEDIDAS FINALES**