

2ej. 5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y CALCULO DE ESTAMPAS PARA FORJA

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A I
JOSE MIGUEL ANGELES HERNANDEZ

ASESOR: ING. ARMANDO ORTIZ PRADO



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

	Pag.
I.- ANTECEDENTES DE LA FORJA	1
1.1. Definición de forja.	
1.2. Breve descripción histórica.	
1.3. Importancia de la forja.	
II.- CLASIFICACION DE LA FORJA	2
2.1. Forja en frío.	
2.2. Forja en caliente.	
2.3. Forja con matriz abierta o libre.	
2.4. Forja con matriz cerrada.	
III.- OPERACIONES DE FORJA	12
3.1. Dobladora.	
3.2. Iniciadoras.	
3.3. Preparadoras.	
3.4. Acabadoras.	
3.5. Recalcado.	
3.6. Rebordeado	
3.7. Estrangulación o Degüello.	
3.8. Estirado.	
3.9. Troquelado.	
IV.- MATERIALES QUE PUEDEN SER FORJADOS	17
V.- SELECCION DE ACERO PARA MATRICES	18
5.1. Factores a considerar.	
5.2. Calidad metalúrgica.	
5.2.1. Resistencia al desgaste en caliente.	
5.2.2. Resistencia al desgaste y a la erosión.	

5.2.3. Resistencia a los cambios de temperatura.

5.2.4. Templabilidad.

5.2.5. Otros factores a tomar en cuenta.

VI.- CLASIFICACION DE LAS MAQUINAS PARA FORJA	26
6.1. Por choque	
6.1.1. Martillo de tabla.	
6.1.2. Martillos de caída libre elevados por aire.	
6.1.3. Martillos de potencia de caída libre o de vapor.	
6.1.4. Martillos de contragolpe.	
6.1.5. Martillos para forja con matriz abierta.	
6.2. A Presión	
6.2.1. Prensa mecánica.	
6.2.1.1. Prensa de husillo.	
6.2.1.2. Prensa de cuña.	
6.2.1.3. Prensa de rodilleras.	
6.2.2. Prensa hidráulica.	
VII.- SELECCION DE MARTILLOS Y PRENSA PARA FORJA	47
VIII.- METODO DEL ELEMENTO FINITO APLICADO AL PROCESO DE FORJA.	49
IX.- REDUCCION DE ESPESOR EN PLACAS	53
X.- ANALISIS TEORICO DE LA PRESION Y DE LA CARGA PARA LA FORJA CONSIDERANDO DEFORMACION PLANA	56
XI.- PASOS PARA EL CALCULO TEORICO DE LA CARGA PARA FORJA EN ESTAMPA.	67
XII.- IMPORTANCIA DE LA ELECCION DE LA TEMPERATURA A LA QUE SE VA A FORJAR EL MATERIAL.	76

	Pag.
XIII.- CALCULO TEORICO DE LA CARGA PARA FORJA EN ESTAMPA.	77
XIV.- CALCULO DE UN PROBLEMA DE FORJA SEGUN PROCEDIMIENTO QUE SE LLEVA A CABO EN LA PRACTICA A NIVEL EMPRESA.	84
XV.- SELECCION DEL ACERO	97
XVI.- CONCLUSIONES	103
XVII.- BIBLIOGRAFIA	106

I.- ANTECEDENTES DE LA FORJA

1.1. Definición de forja.

Es la operación que modifica la forma de los metales, mediante la aplicación de esfuerzos de compresión aprovechando las características plásticas de éstos.

Plasticidad es una propiedad que poseen ciertos materiales que admiten determinados grados de desplazamiento atómico sin perder para ello su cohesión.

1.2. Breve descripción histórica.

La forja es la forma más antigua de trabajar los metales, encontrándose sus antecedentes en la labor de los herreros y en las fraguas de los tiempos bíblicos y mitológicos. Este trabajo consistía básicamente en lo siguiente: Primeramente, se calienta la pieza de trabajo en una fragua, que emplea una cama de carbón que se quema en un fogón abierto; la alta temperatura se mantiene mediante un fuelle, para que la pieza de trabajo que ha sido rodeada por el carbón incandescente obtenga la temperatura adecuada para que sea martillada sobre el yunque. El yunque es un vaciado de acero pesado con una mesa plana, un cuerno con una superficie curva para moldear diferentes radios y un agujero cuadrado sobre la mesa para el acomodo de varias herramientas. Para sujetar la pieza de trabajo se emplea un par de tenazas. El herrero sujeta la pieza mientras su compañero golpea el extremo de la herramienta formadora con un marro.

La Revolución Industrial significó la sustitución del brazo del herrero por las máquinas, y en la actualidad

existe una gran variedad de éstas para la forja, las cuáles permiten la obtención de piezas de tamaños que van desde un remache a un rotor de turbina.

1.3. Importancia de la forja.

Este proceso en la actualidad es de suma importancia ya que permite fabricar piezas de materiales ferrosos y no ferrosos en dimensiones, geometrías y pesos muy altos que sería imposible formarlas mediante otras operaciones.

Una de sus principales ventajas es que la pieza de trabajo sale de éste proceso casi con sus medidas finales, implicando mayor facilidad y rapidez para su maquinado.

II.- CLASIFICACION DE LA FORJA

El proceso de forja se puede llevar a cabo en cuatro formas, dependiendo del estado del metal a forjar y de la forma del proceso, esto es:

FORJA	{	Por las condiciones del proceso	{ 2.1. FRIO
		Por las características de la herramienta.	{ 2.2. CALIENTE
			{ 2.3. MATRIZ ABIERTA
			{ 2.4. MATRIZ CERRADA

2.1. Forja en frío.

En éste método no se calienta la pieza de trabajo pero la maquinaria usada es más compleja, presentando ventajas y desventajas las cuales no mencionaremos ya que nos dedicaremos exclusivamente a la forja en caliente.

2.2. Forja en caliente.

El 90% de piezas forjadas son hechas con este método el cual consiste en el calentamiento del metal de trabajo elevando su maleabilidad y forjabilidad, reduciendo su resistencia a la deformación. Con el calentamiento correcto de la pieza se eleva la capacidad de ésta para cambiar su forma y la dimensión inicial sin que se presenten fallas o agrietamientos.

Este método se clasifica según la complejidad del diseño de la matriz, por la cuál entendemos que es un par de bloques con dimensiones e impresiones determinadas que nos sirven para dar forma al metal mediante un mecanismo que acciona a las herramientas formadoras y que hacen contacto con las piezas de trabajo comprimiéndola ya sea por presión (Prensa), o por impacto (Martillo).

2.3. Forja con matriz abierta o libre.

Este tipo de proceso se emplea para producir formas simples en poco tiempo y con bajo costo, esto es debido a que carecen de detalles y dimensiones exactas. Las formas producidas con matriz abierta, usualmente requieren de maquinaria adicional para poder terminar la geometría de la pieza. Las matrices planas (Fig 1a), sirven para producir formas de secciones rectangulares y cuadradas, así como para efectuar el doblado, recalcado y agujereado en caliente de las piezas forjadas.

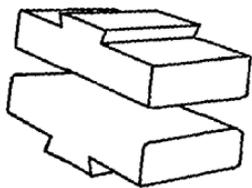
Las matrices recortadas (Fig 1b), con entalladura redonda se utilizan para obtener forjas redondas así como árboles y ejes. En la forja con matrices recortadas se asegura la obtención de formas con superficie de alta calidad, con diámetros constantes y sin grietas.

Las matrices combinadas (Fig 1c), constituidas por la matriz superior (1) y el inferior rómbico (2) sirven para producir forjas redondas. Estas matrices permiten hacer forjas con mayor diferencia en las dimensiones de los diámetros que con las matrices recortadas, la ventaja de las matrices combinadas, en comparación con las recortadas, consiste en su mayor universalidad.

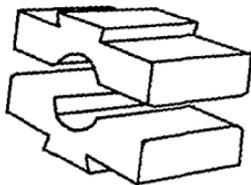
Los aceros usados en la fabricación de estampas para forja abierta son generalmente los mismos que se utilizan para la forja con matriz cerrada por ejemplo, aceros 6F o 6G. Algunas empresas que se dedican a la forja prefieren aceros con alto contenido de carbono y usan aceros con un contenido del 0.70%, como son los 4370, aunque no se trata de aceros comerciales.

La dureza para las matrices abiertas es generalmente más baja que para las matrices cerradas, y la vida de éstas matrices expresada en horas de producción en vez de número de forjados, es más grande en comparación de las matrices cerradas debido a que éstas últimas hacen forjas más complejas y también porque utilizan varias impresiones en la misma matriz.

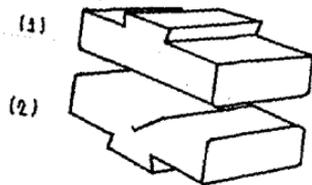
Si usamos un material 6G o 6F2 para fabricar una matriz abierta, su dureza estará entre 302 a 331 Bhn. Si la matriz es hecha con acero 4150 o un acero similar su dureza será de 277 a 321 Bhn.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 1

En la tabla "A" se muestran los componentes de los aceros mas utilizados para la fabricación de las matrices.

Tabla "A"

ACERO	COMPOSICION NOMINAL %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V
AISI-SAE TIPOS DE ACEROS PARA HERRAMIENTAS								
H10	0.40	.....	.....	3.25	.....	2.50	.....	0.40
H11	0.35	.....	.....	5.00	.....	1.50	.....	0.40
H12	0.35	.....	.....	5.00	.....	1.50	1.50	0.40
H13	0.35	.....	.....	5.00	.....	1.50	.....	0.40
H14	0.40	.....	.....	5.00	.....	.....	5.00	.....
H21	0.35	.....	.....	3.50	.....	.....	9.00	.....
H26	0.50	.....	.....	4.00	.....	.....	18.00	1.00
O1	0.90	1.00	.....	0.50	.....	.....	0.50	.....
A2	1.00	.....	.....	5.00	.....	1.00	.....	.....
D2	1.50	.....	.....	12.00	.....	1.00	.....	.....
OTRAS ALEACIONES PARA ACEROS DE HERRAMIENTAS (a).								
6G	0.55	0.80	0.25	1.00	.....	0.45	.....	0.10
6F2	0.55	0.75	0.25	1.00	1.00	0.30	.....	0.10 opt
6F3	0.55	0.60	0.85	1.00	1.80	0.75	.....	0.10 opt
6F4	0.20	0.70	0.25	.....	3.00	3.35	.....	.....
6F5	0.55	1.00	1.00	0.50	2.70	0.50	.....	0.10
6F6	0.50	.....	1.50	1.50	.....	0.20	.....	.....
6F7	0.40	0.35	.....	1.50	4.25	0.75	.....	.....
6H1	0.55	.....	.....	4.00	.....	0.45	.....	0.85
6H2	0.55	0.40	1.10	5.00	.....	1.50	.....	1.00

(a) AISI Y SAE NO TIENEN NUMEROS ASIGNADOS PARA ESTOS ACEROS PARA HERRAMIENTAS.

Ejemplos de matriz abierta más comunes:

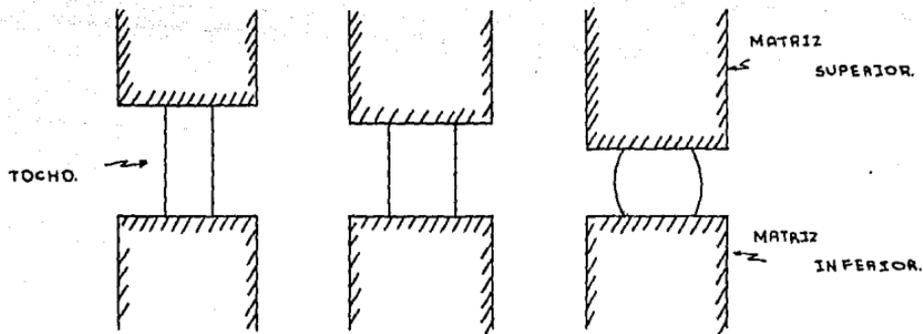


FIGURA 2(a)

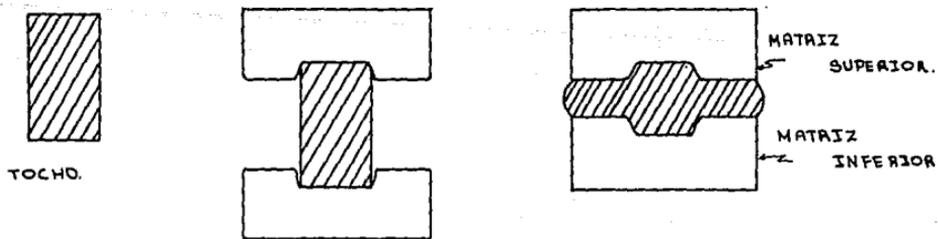


FIGURA 2(b)

2.4 Forja con matriz cerrada.

En este proceso se utiliza una matriz de impresión cerrada para formar una pieza de metal caliente. En ésta - matriz el metal es totalmente encerrado en la cavidad de la misma, la mitad del cuál se sujeta a la maza y la otra mitad al yunque. El impacto de la maza o la presión del émbolo sobre la pieza de trabajo calentada, la obliga a llenar todo el hueco de las matrices coincidentes.

Un material se puede procesar en una matriz simple ésto es, que su impresión tiene una cavidad la cuál es adecuada para determinados trabajos y posteriormente la pieza que resulte se lleva a maquinari (ver Figuras 3 y 4).

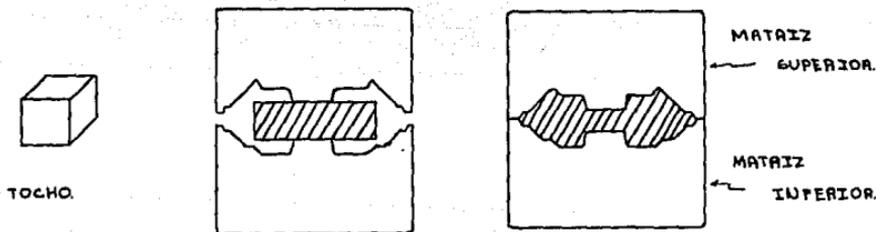


FIGURA 3

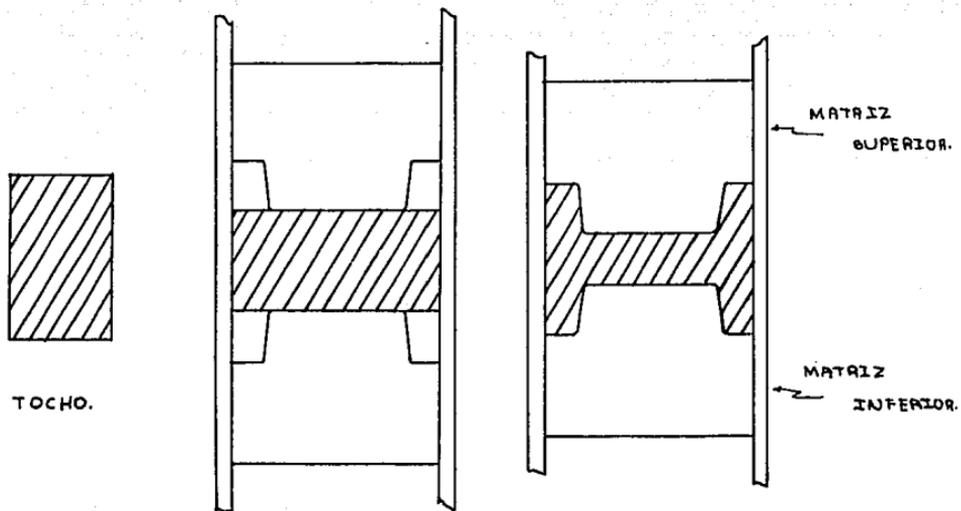


FIGURA 4

A medida que la pieza a formar sea más compleja implicará que la fabricación de los dados sea más detallada.

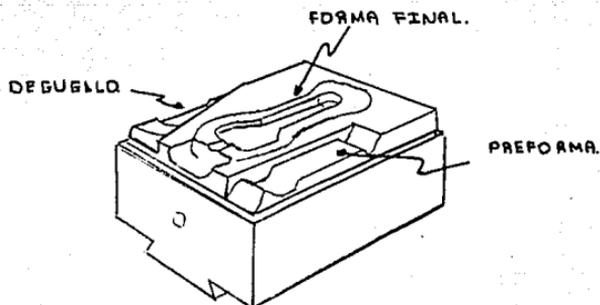


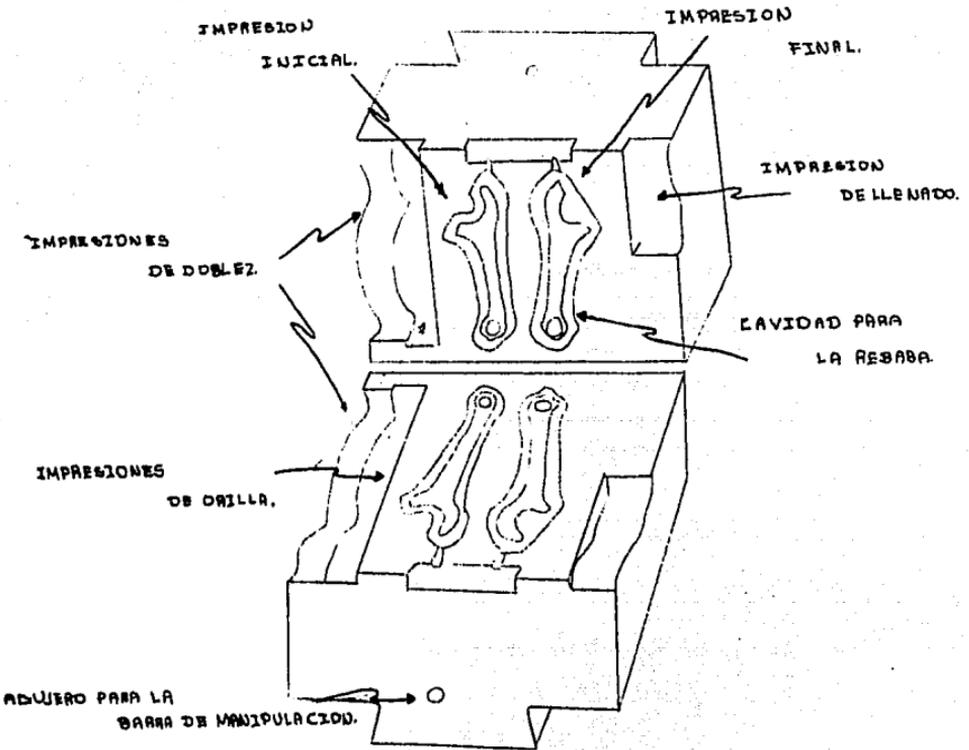
FIGURA 5.

En el degüello se reduce la sección transversal y la longitud del material que va a ser procesado, éste es el primer paso para dar la forma adecuada al metal de trabajo.

El segundo paso es la preforma, la cual ajusta al material, de tal forma que al pasar a la impresión final - lleve todas las cavidades de dicha impresión por complicadas que sean.

La complejidad en el diseño de éstas matrices toma el número y la forma de las impresiones preformadas.

Cuando se desea una mayor producción de una pieza y aprovechar los impactos o la presión entregados por la máquina se utiliza la matriz múltiple.



MATRIZ MULTIPLE.

FIGURA 6

III.- OPERACIONES DE FORJA

Para la fabricación de una pieza forjada, lo normal suele ser la utilización de varias fases hasta llegar a la forma final. Estas fases pueden estar grabadas en dos únicos bloques, uno para la matriz superior y otro para la matriz inferior, constituyendo una matriz múltiple o en bloques distintos formando pares de matrices para cada operación. La denominación de cada una de éstas fases se realiza en función de la operación que tienen encomendada:

3.1. Dobladora.

Su misión es hacer curva, para permitir una operación posterior mas racional.

3.2. Iniciadoras.

Es el primer paso de la deformación del material.

3.3. Preparadoras.

Cuando son ya muy aproximadas a la forma final.

3.4. Acabadoras.

Son las matrices finales, que llevan incorporado el mecanismo formador de rebaba y que configuran definitivamente la geometría de la pieza.

3.5. Recalcado.

En el recalcado de un cilindro entre dos herramientas planas (Fig. 7a), la fuerza de compresión hace fluir el metal en todas direcciones por lo que, idealmente, el producto final sería un cilindro de mayor diámetro y menor altura (Fig. 7b). La existencia de fricción entre las herramientas y el metal que no puede evitarse, da lugar a que el

flujo sea menor en dichas intercaras que en el centro, por lo que la forma final es un cilindro abarrilado, con mayor diámetro hacia la mitad de su altura (Fig. 7c). Este ejemplo indica que generalmente el metal fluye con más facilidad hacia la superficie libre más próxima que es el lugar de menor resistencia. Si la pieza no tiene forma cilíndrica (Fig. 7d), el flujo máximo se producirá paralelamente a las caras más estrechas (Fig. 7e).

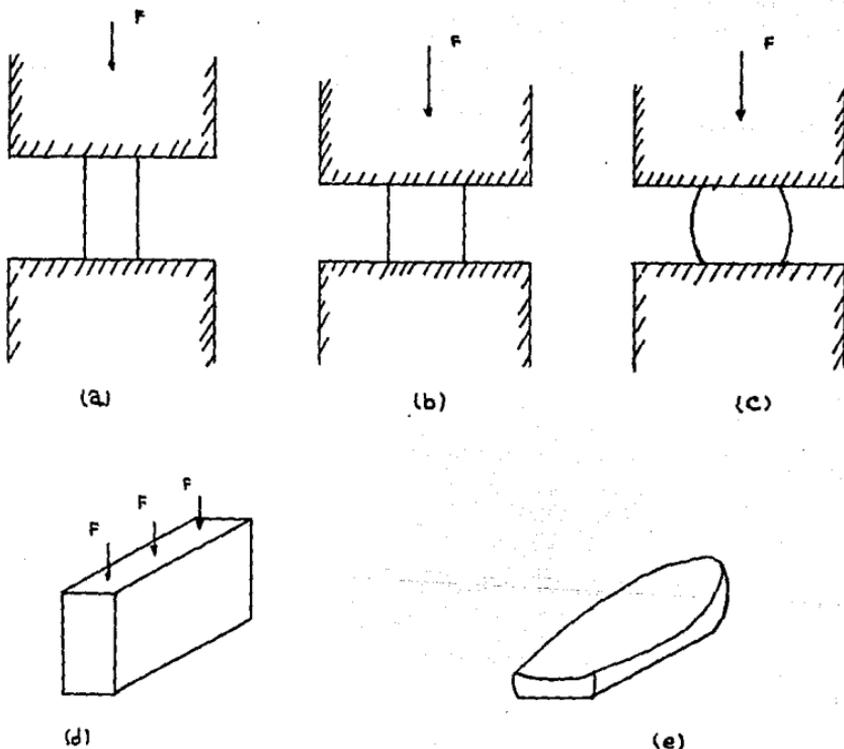


FIGURA 7

3.6. El Rebordeado.

Este se hace con estampas, para dar forma a los extremos de las barras y acumular metal, como se muestra en la figura 8 (a) y (b). Las estampas sólo permiten al metal el flujo libre necesario para llenarlas.

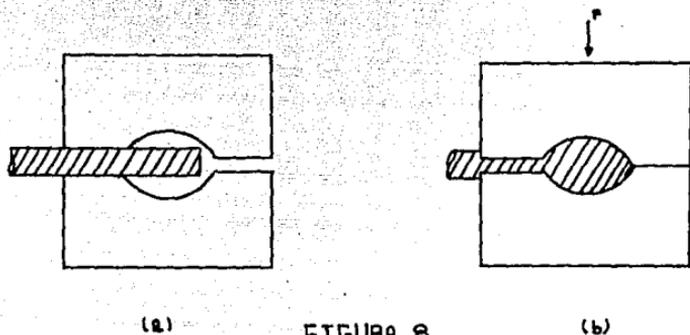


FIGURA 8

3.7. Estrangulación o Degüello.

En la estrangulación se reduce el espesor de una región del metal donde este fluye desde el centro de la matriz (Fig. 9).

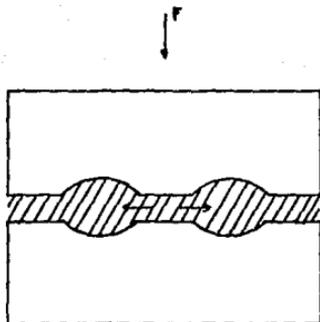


FIGURA 9

3.8. Estirado.

El estirado es la disminución de la sección transversal con aumento de la longitud, esto se muestra en la -- figura 10.

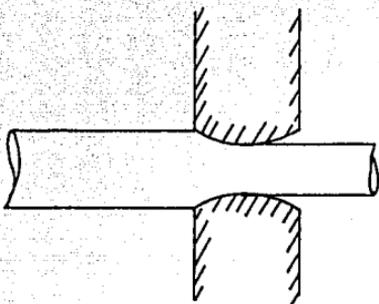


FIGURA 10

3.9. Troquelado.

Es la operación que consiste en perforar una pieza -- za (Fig. 11).

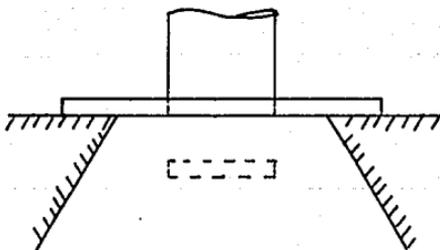


FIGURA 11

El diseñar correctamente el proceso de fabricación de piezas y definir las fases y las máquinas en que éstas - deben emplearse, es fundamental para obtener piezas mediante procedimientos racionales y económicos que permitan, además la máxima utilización del material empleado, desperdi - ciando la menor cantidad posible. Como ideas importantes que ayuden a diseñar dichos procesos de fabricación, diremos que puede ser útil la utilización de varias máquinas que traba - jen en cadena y que se ajusten bien a cada una de las fases que se les encomiende, ya que la mano de obra no es muy im - portante en el costo y este método de las mayores cadencias es el mas recomendable para el mejor aprovechamiento de las matrices, sobre todo si las series de fabricación son largas, en cambio si la mano de obra influye en el costo, tendremos que reducir dicha cadena y utilizar una matriz múltiple, la cual hará el trabajo de las anteriores matrices.

La utilización de martillos es aconsejable para - series cortas por su mayor facilidad para el cambio de úti - les, pero si deben fabricarse grandes cantidades de piezas - iguales es mejor utilizar prensas mecánicas que, aunque pre - cisan de mayores tiempos para la puesta a punto de los úti - les, dan mayores rendimientos de los mismos, son mas fácil - mente automatizables en todo o en partes y permiten menores salidas de estampas y mayor precisión en los productos for - jados. También la calidad de las matrices, tanto desde el - punto de vista del material usado en su fabricación, como - desde el punto de vista de la precisión y acabado de su me - canizado, es una función de la cantidad de piezas a fabri - car.

Si tuvieran que fabricarse unas pocas piezas de un determinado modelo, sería suficiente una matriz de un acero

de poca calidad e incluso de no mucha precisión, ya que el mecanizado posterior compensaría las deficiencias y habríamos ahorrado mucho dinero en la fabricación de la matriz. En cambio si se trata de una gran serie de piezas, conviene realizar los menores cambios posibles de matriz y por lo -- tanto esmerarse en un perfecto acabado del mismo, y utilizar para su fabricación materiales de alta resistencia en calien -- te que permitan su uso continuado sin desgastes ni deforma -- ciones. Incluso el proceso de fabricación depende del número de piezas; para grandes series, es importante llegar a dise -- ñar el número suficiente de fases que permita una buena uti -- lización del material y grandes duraciones de las matrices. En cambio, si se fueran a fabricar unas cuantas piezas, qui -- zá sea suficiente construir solamente una matriz de acabado, sin ninguna otra fase previa, e introducir directamente el -- taco en el mismo, aunque ésto deteriore rápidamente la matriz; o bien realizar a mano, en un martinete, la preparación del -- taco antes de meterlo en la forja definitiva en la matriz -- acabadora, con lo que ésto supone de pérdida de tiempo y dig -- minución de la cadencia.

IV.- MATERIALES QUE PUEDEN SER FORJADOS

Son todos los materiales que a determinadas tempe -- raturas presentan propiedades plásticas y a temperatura am -- biente sean dúctiles y maleables:

- ACEROS
- LATONES
- COBRE
- ALGUNOS BRONCES ESPECIALES
- PLOMO
- ESTAÑO
- ALUMINIO

En esta tésis nos dedicaremos a estudiar exclusivamente la forja de piezas de acero.

V.- SELECCION DE ACERO PARA MATRICES

La elección del material más apropiado para la fabricación de las matrices para una pieza forjada en caliente, está en función de un sinnúmero de variables, sin embargo, el problema es abordable siguiendo un cierto orden.

Especificaremos cada una de las más importantes variables, con el objeto de poder elegir el mejor material para la fabricación de matrices que configura la pieza forjada.

Como primera premisa estableceremos que resultará ser mejor material aquél que, siendo más económico, sea suficientemente bueno para fabricar la serie de piezas que deba hacerse.

5.1. Factores a considerar.

Un primer factor que influye fundamentalmente en la elección del material para las matrices, con destino a la fabricación de una pieza, es el número de piezas a producir. Por ejemplo, si se requieren hacer 50 ó 100 unidades de cierta pieza relativamente sencilla, quizá sea suficiente una matriz fabricada con un acero barato al carbono, en cambio, si lo que se pretende es fabricar grandes series de una misma pieza, lo más conveniente sería elegir un acero aleado que dé buen rendimiento, sin importar su mayor costo, el cuál será compensado en la duración de la estampa. Un elemento que influye directamente en la duración de la matriz, es decir, el número de piezas que ésta matriz fabrica sin necesidad de desmontarla, es el diseño de las diferentes fases de trabajo. En efecto, no dura lo mismo una matriz final acabado para una pieza, si ésta a llevado una serie de operaciones anteriores que distribuyen el material de forma que la -

matriz en la última operación no trabaja excesivamente ya que si desde el principio el taco caliente se introduce en la matriz de acabado, y es ésta la que se encarga de realizar todas las deformaciones necesarias para el adecuado llenado de la cavidad. También es importante la elección de la máquina para la fabricación de la pieza, no es bueno que ésta resulte escasa de energía, ya que sería necesario dar varios golpes para conseguir el llenado de la pieza con el consiguiente su frimiento de la matriz, pero tampoco es bueno que la máquina tenga un enorme exceso de energía, ya que ésta se desperdicia ría en el golpe de la matriz con matriz, en forma de calor, de vibraciones y en definitiva de dinero.

Otro factor que debe tenerse en cuenta es el elegir para cada pieza, para cada máquina y para cada diseño del -- utilaje, el lubricante mas apropiado. A éste respecto cabe -- señalar que la elección de un buen lubricante es esencial pa ra la duración de la matriz, así como resulta esencial la do sificación exacta de la cantidad a añadir sobre la matriz en cada golpe o cada cierto número de golpes.

Otro factor es eliminar de la cavidad de la matriz los desperdicios sólidos procedentes tanto de la cascarilla (óxido de hierro) de la pieza, como de los residuos sólidos dejados por la combustión del lubricante utilizado. Es impor tante la eliminación de éstos residuos por algún método, qui zá el mejor procedimiento sea usar un chorro de aire a pre -- sión después de cada golpe. Muy importante también en la du -- ración de las matrices, es la temperatura de trabajo y el -- precalentamiento de éstas. Si la temperatura resultara alta esto implicaría que la matriz se desgastara más rápido, ya que pierde su dureza característica, en cambio si es baja, la matriz estaría soportando la alta temperatura de la pie-

za de trabajo existiendo una diferencia entre las temperaturas de la pieza y la estampa originando la ruptura de la matriz.

Existe otra variable a tomar en cuenta y es la viscoplasticidad en caliente del material que va a forjarse en la matriz. No es lo mismo forjar un acero al carbono que un acero inoxidable o de muy alta aleación.

En el supuesto caso de una buena elección de todas las condiciones mencionadas, para obtener una adecuada duración de la matriz, será necesario mencionar la variable más importante que es contar con la condición metalúrgica apropiada es decir, su composición, dureza y tratamiento térmico.

5.2.- Calidad metalúrgica.

Vamos a analizar como debe seleccionarse el acero más apropiado para fabricar las matrices. Los aceros, para ello, deben reunir una serie de características que en esencia son las siguientes: los aceros para trabajos en caliente deben poseer una gran resistencia y una gran tenacidad pero éstas dos cualidades deben ser buenas en caliente, ya que durante el trabajo práctico las matrices se encuentran a cierta temperatura. Estas dos características se requieren con objeto de que no se produzcan en la estampa deformaciones permanentes o roturas por baja resiliencia, con el consiguiente perjuicio para la calidad dimensional de las piezas en ellas conformadas, o por la matriz misma respectivamente. Además de esto, deben conservar durante largo tiempo éstas propiedades, ya que de lo contrario al cabo de pocas piezas las matrices resultarían inadecuadas para seguir el ritmo de la fabricación.

Por otra parte debe tener buena resistencia al - desgaste o a la erosión, con objeto de aguantar sin agrietarse la fricción que inevitablemente se produce al deslizarse el material sobre la estampa, y sobre todo por la acción esmerilante de la cascarilla de óxido de la pieza, y la erosión ocasionada en el cordón de matriz a la salida de la rebaba.

También las matrices deben resistir sin agrietarse a los cambios bruscos de temperatura, que inevitablemente - se producen a lo largo de la fabricación.

Las matrices deben ser fabricadas en un acero que tenga templeabilidad, con el objeto de conseguir resistencia tanto en la zona superficial como en el núcleo.

Indudablemente otro factor que debe tenerse en -- cuenta a la hora de decidir el acero para fabricar una matriz es su precio. Los fabricantes de aceros para matrices deben indicar en sus catálogos todos aquéllos datos relativos a los aceros que ofrecen para que el consumidor pueda - elegir el que se ajuste a las necesidades de cada pieza.

5.2.1. Resistencia y Tenacidad en caliente.

La resistencia en caliente de un acero depende de los elementos de aleación y de la forma y tipo de tratamiento dado.

El mejor elemento para comparar la resistencia en caliente de los aceros, son los gráficos confeccionados por medio de ensayos en caliente, los cuales deben dar, en función de las temperaturas de revenido, la resistencia obtenida en ensayo de fractura para distintas temperaturas de - ensayo. Comparando gráficos correspondientes a distintos --

aceros, puede verse la influencia sobre la resistencia en caliente de los distintos elementos de aleación y así seleccionar el que mejor cumpla con nuestras necesidades.

Respecto a la capacidad para conservar sus propiedades a distintas temperaturas, el mejor ensayo que puede hacerse, del cual siempre debería disponer el usuario de este tipo de aceros, son los llamados curvas de resistencia al revenido.

Para trabajos en caliente, debe construirse un diagrama en el que se refleje la resistencia con que queda el acero después del revenido y dibujando en este diagrama las distintas curvas correspondientes a distintos tiempos de permanencia del material a la temperatura de revenido, se puede observar que es lo que ocurrirá cuando el troquel está trabajando cierto número de horas a la temperatura en cuestión. Juzgando cual será la mayor temperatura que se exigirá a la matriz durante su trabajo, debe elegirse aquél acero cuya curva esté siempre por encima de ésta temperatura máxima para el tiempo de utilización necesario, con lo cual sus características no se perderán a lo largo del trabajo.

5.2.2. Resistencia al desgaste y la erosión.

Las características de resistencia al desgaste y la erosión dependen de la dureza en caliente de los aceros que constituyen la estampa. Con objeto de endurecer superficialmente ciertas matrices muy expuestas a desgaste y erosiones, es conveniente recurrir a técnicas especiales, como cementación o nitruración de las zonas de desgaste, o rellenado por aportación de soldadura, con electrodos, de ciertas aleaciones, especialmente preparadas para resistir fuertes fricciones.

Respecto a éstas características, es aconsejable elegir el acero con relación a lo descrito anteriormente, y si existen problemas de desgaste recurrir entonces a algunas de las técnicas citadas. De todas formas, podría hacerse un ensayo normalizado, que deberá consistir en forjar, en una prensa tipificada entre dos discos planos del acero que se ensaya, tacos cilíndricos de un acero tipo de medidas estandarizadas, recalcándolos hasta un disco de dimensiones fijas; los tacos deben ser previamente calentados hasta una temperatura determinada y fija, en un tiempo prefijado, y a un ritmo constante alimentar la prensa hasta la formación de las piezas.

Al finalizar el ensayo, la medida del volumen del material desgastado en el troquel, da una evaluación de su capacidad de resistencia a la erosión. El ensayo debe hacerse para distintas durezas de las matrices y en idénticas -- condiciones de lubricación y limpieza superficial.

5.2.3. Resistencia a los cambios de temperatura.

Durante el trabajo deben evitarse los cambios bruscos de temperatura, sin embargo, si por el procedimiento de trabajo no pudiera evitarse por completo, debe tenerse en cuenta que en la superficie de las herramientas se podrían llegar a originar grietas en forma de red, debidas al choque térmico, éstas a menudo provocan la necesidad de cambio de matriz. Desde luego, es prácticamente imposible evitar totalmente este defecto, pudiéndose únicamente atacar su origen o influir en su formación. La sensibilidad al agrietamiento en caliente de los materiales, depende de una gran variedad de factores entre los cuáles quizá los más importantes sean la resistencia del acero, su difusividad térmica, la oxidación

de la superficie de la herramienta.

Montar herramientas con baja resistencia, por lo regular retrasa el comienzo de la formación de grietas de calor, y hace que éstas aguanten los índices más elevados de cambios de temperatura. Para aumentar la duración de las herramientas expuestas al peligro de grietas a menudo es necesario un equilibrio entre la alta resistencia en caliente y la sensibilidad al agrietamiento requerido.

Eligiendo aceros con difusividad térmica alta (bajo contenido de aleación), precalentando las superficies de las herramientas y regulando las condiciones de enfriamiento a que se someten las matrices, en determinados casos se puede conseguir una mejora en la resistencia contra la formación de grietas. Para evitarlas deben tomarse en cuenta las siguientes precauciones:

- Mantener caliente las matrices.
- Eliminar tensiones en las matrices después del uso prolongado.
- Evitar la construcción de matrices con ángulos vivos o grandes diferencias de secciones.

La resistencia a los cambios bruscos de temperatura, es muy difícil de determinar, aunque puede evaluarse subjetivamente, según las características particulares de cada acero.

5.2.4. Templabilidad.

Otra característica importante a tener en cuenta es la templabilidad del acero. Los fabricantes de éstos materiales deben proporcionar curvas correspondientes a la templabilidad de éstos.

5.2.5. Otros factores a tener en cuenta.

En ocasiones, para conjugar el carácter económico de una fabricación con su mejor rendimiento es aconsejable el uso de insertos en las matrices en aquellas zonas donde se presentan problemas particulares y localizados de desgastes, grietas, poca resistencia mecánica etc.

Otro factor importante para que los aceros respondan a las especificaciones que a él le requieren es que el tratamiento térmico de la matriz se realice en perfectas condiciones. A este respecto debemos indicar:

- Al adquirir aceros para trabajos por deformación plástica en caliente, la acería proveedora indicará los datos de temperatura y medio de temple, así como la curva de revenido con la que se puede encajar el acero en la dureza deseada; sin embargo, es interesante que antes de templar se efectue un recocido de la matriz, con objeto de eliminar tensiones de mecanizado. Dado que al actuar así, es posible una ligera deformación y conviene prever un pequeño aumento sobre las medidas finales de la herramienta para poder retocar el troquel, después de este recocido preliminar.
- Para templar las matrices suele ser necesario un precalentamiento, debido a la mala conductividad térmica de los aceros que normalmente se utilizan para las matrices, sobre todo si éstas son altamente aleadas. Después del precalentamiento deben introducirse las matrices a la temperatura de temple, cuidando de mantenerlos a esta temperatura el tiempo necesario.
- Las superficies de trabajo grabadas deben protegerse en éste calentamiento de la oxidación y descarburación. La

mejor manera de hacerlo es colocar sobre ella una capa de carbón vegetal.

- Posteriormente al temple, debe efectuarse el enfriamiento en el medio indicado por el acerista, llevando las herramientas después del enfriamiento al horno de revenido.
- El revenido tiene la misión de eliminar las tensiones del temple y obtener la resistencia de trabajo deseado. La temperatura de revenido deberá ser la misma o más alta que --aquella a la que posteriormente debe trabajarse la herramienta, con objeto de obtener una estructura de tratamiento lo más estable posible y evitar una disminución de la --resistencia y del rendimiento durante el trabajo.
- Normalmente es importante dar a las matrices un segundo --tratamiento con objeto de revenir la martensita secundaria y dar al acero una mayor tenacidad.

VI.- CLASIFICACION DE LAS MAQUINAS PARA FORJA

Estas máquinas se dividen por la forma de hacer contacto con el material del trabajo, esto es, por choque y a --presión.

6.1. POR CHOQUE

- a) Martillo de caída libre de tabla.
- b) Martillos de caída libre elevados por aire.
- c) Martillos de potencia o martillos de vapor.
- d) Martillos de contragolpe.
- e) Martillos para forja con matriz abierta.

Los martillos, exceptuando los de contragolpe, tienen un peso que desliza en una corredera la cuál, cuando el movimiento es vertical tiene una carrera descendente, ejerciendo una fuerza de golpeo contra un componente estacionario del yunque que cerca de la base del martillo. La mitad superior de un par de matrices está sostenida por la corredera que tiene el peso, y la mitad inferior se encuentra colocada sobre el yunque de la máquina. El metal de trabajo en forma de barra o lingote caliente está sobre la matriz inferior, y la fuerza de golpeo es suministrada sobre el metal de trabajo por la matriz superior y la corredera, causando por cada golpe sucesivo la deformación plástica de dicho metal, aunque todos los martillos operan con el principio del alto impacto, su diseño es diferente.

6.1.1.) Martillo de tabla.

Estos son ampliamente usados especialmente para producir forja con pocos golpes. En éste martillo la corredera se levanta por medio de dos rodillos de fricción colocados en la cabeza del martillo. Las tablas son mecánicamente soltadas, permitiendo a la corredera caer libremente desde su altura máxima, la potencia para levantar la corredera es suministrada por varios motores. El tamaño del martillo depende de su capacidad, el rango estándar es de 454 a 2269 Kg --- (1000 a 5000 lb), en incremento de 227 a 454 Kg (500 a 1000 lb). La altura de la caída (carrera), de la corredera varía con la capacidad del martillo 0.889 m (35 pulgadas de carrera para un martillo de 181 Kg (400 lb); para una carrera de 1.9 m. (75 pulgadas), para un martillo de 3403 Kg (7500 lb).

La carrera y así la fuerza de golpeo del martillo es constante. Para hacer un cambio es necesario poner en alto a la máquina y ajustar la longitud de la carrera. Los yun-

ques de los martillos de tabla son de 20 a 25 veces el peso de la corredera. Los componentes de un típico martillo de tabla se muestran en la figura 12.

Este martillo es utilizado para forja con matriz cerrada, el metal está sobre un sitio de la cavidad en la matriz inferior, la matriz superior es accionada mediante un pedal para ejercer el impacto sobre la matriz inferior y el yunque. Cuando el pedal se deja de presionar la corredera cae por gravedad y regresa a su posición para ser levantada. El operador puede causar sucesivos golpes pisando el pedal una y otra vez. En la práctica de forja con matriz cerrada simple, usualmente el martillo está capacitado para dar golpes en un tiempo determinado, el operador mueve la pieza de trabajo desde una impresión a otra sin parar el martillo.

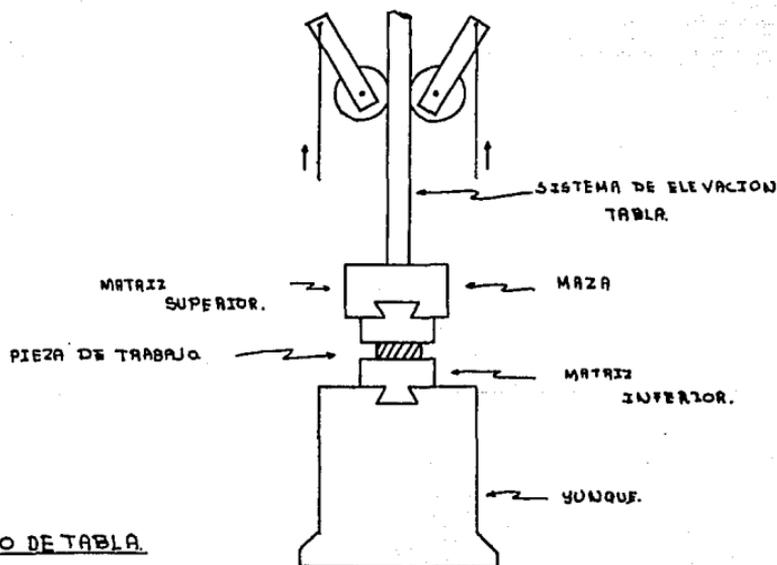
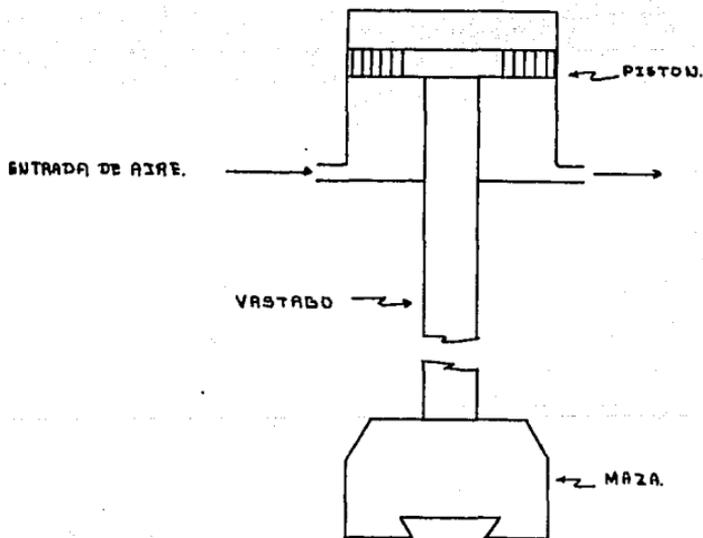


FIGURA 12

6.1.2.). Martillos de caída libres elevados por aire.

Estos son similares a los martillos de tabla en la que la fuerza de forja es debida a la energía potencial de la maza. La diferencia entre estos martillos está en que el martillo elevado por aire tiene una corredera que es elevada por un sistema de potencia (Fig. 13).

El tamaño disponible de estos martillos es de 227 a 4537 Kg. (500 a 10,000 lb), el peso de la pieza puede ser igual al producido por el martillo de tabla.



MARTILLO ELEVADO POR AIRE.

FIGURA 13

6.1.3) Martillos de potencia de caída libre de vapor.

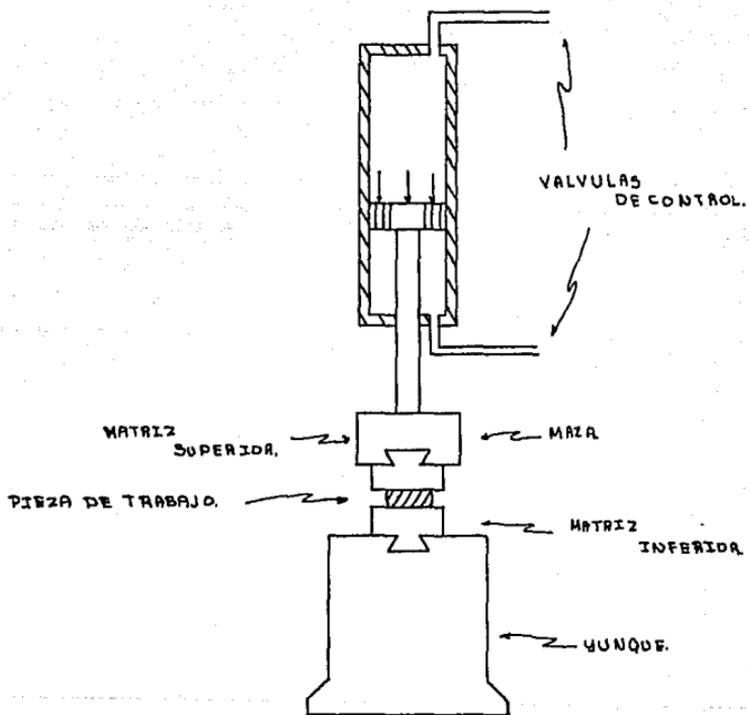
Estos generalmente funcionan con aire más bien que con vapor, sus componentes se muestran en la figura 14. Este equipo es utilizado casi exclusivamente para forja con matriz cerrada ya que es la máquina más potente para su producción por impacto.

Estos martillos están en proporción con el peso de la maza de golpeo, exceptuando la matriz superior, se clasifican desde 227 a 15,880 Kg. (500 a 35,000 lb) y ocasionalmente llegan a encontrarse de 22,686 Kg. (50,000 lb). La corredera, el pistón y el vástago del martillo tienen un peso de 22,686 Kg (50,000lb). La velocidad del golpeo obtenida por la presión descendente sobre el pistón algunas veces excede de los 7.62 m/s (25.7 ft/seg).

Estas máquinas forman piezas que van de 23 Kg (50 lb), a varias toneladas, con una fuerza de golpeo que se puede controlar mediante un pedal. Una de las desventajas de éste martillo es que del 25 al 30% de la energía cinética de la corredera se disipa en el yunque, por lo tanto, no contribuye para la deformación de la pieza de trabajo.

Las clasificaciones, capacidades y dimensiones operarias de los martillos mencionados anteriormente, están resumidas en la tabla B.

En esta lista hay martillos de caída libre elevados por aire para capacidades de 454 a 4537 Kg (1000 a 10,000 lb), con una energía máxima dependiendo de la carrera de 532 Kg-m a 7186 Kg-m (384 a 52,000 lb-ft), y para martillos de potencia con capacidad de 454 a 15,888 Kg (1000 a 35,000 lb), con un máximo de energía de 134 a 58,735 Kg-m (11,100 a 425,000 lb-ft).



MARTILLO DE POTENCIA

FIGURA 14

Tabla B

PROPORCIONES, CAPACIDADES Y DIMENSIONES DE OPERACION DE LOS
MARTILLOS DE CAIDA LIBRE ELEVADOS POR AIRE Y DE POTENCIA

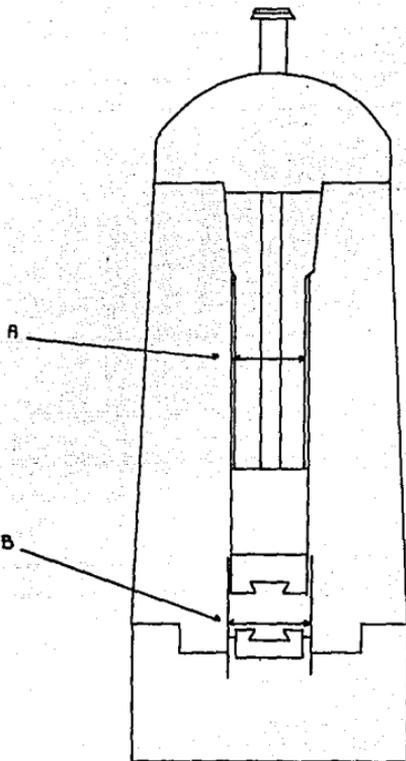
PROPORCION DE LAMINAS 1b	MAXIMA ENERGIA 1a-1b	ENERGIA 98.8	LONGITUD ENTRE CORREDERA CUIAS (A)		LONGITUD ENTRE ZONES (B)	ALTEZA DE LA ENTRE MATERIA CERRADA PULGADAS (C)	MAXIMA MATERIA	MAXIMA CARRERA PULGADAS	
			PULGADAS	PULGADAS					
1000	3850	533	14	17	21	211/4	12	6	37
1500	5870	812	16	18	23	223/8	15	8	381/2
2000	8830	1220	20	19	26	24	16	9	421/2
2500	11320	1570	21	20 1/2	27	25 1/4	16	9	431/2
3000	14200	1960	23	23	30	28 1/2	17	10	451/2
4000	19400	2690	25	25	32	30 3/4	18	11	46 1/2
5000	24700	3420	27	27 1/4	36	33 1/4	19	12	47 1/2
6000	30000	4160	30	28	36	35 1/2	21	13	48
8000	41600	5770	33	29	40	36 3/4	22	14	50
10000	52000	7230	36	30	44	38 3/4	23	15	50

MARTILLO DE CAIDA LIBRE ELEVADO POR AIRE

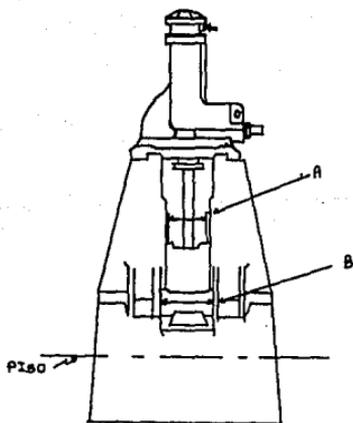
MARTILLO DE POTENCIA

1000	11100	1540	16	16	20	211/4	....	9	....
1500	16700	2310	19	18	23	231/4	....	9	....
2000	22500	3120	21	20	26	253/4	....	9	....
2500	28500	3950	22	21	27	27 1/4	....	11	....
3000	34400	4770	25	23	30	29 1/4	....	11	....
4000	46000	6370	27	25	32	31 1/4	....	12	....
5000	58000	8030	29	27	36	34	....	14	....
6000	70000	9700	31	28	36	36	....	14	....
8000	94000	13000	35	29	40	38	....	16	....
10000	118000	16300	38	30	44	38 7/8	....	16	....
12000	142000	19600	42	32	48	40 7/8	....	16	....
16000	190000	26300	44	34	51	43 3/8	....	18	....
20000	240000	33200	46	37	58	46 7/8	....	20	....
25000	300000	41500	50	39	62	48 7/8	....	20	....
35000	425000	59000	54	44	73	54 7/8	....	22	....

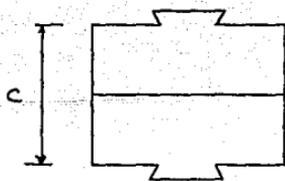
NOTA: ver en la siguiente hoja las letras A, B, C.



MARTILLO ELEVADO
POR AIRE.



MARTILLO DE
POTENCIA.



JUEGO DE MATRICES.

6.1.4.). Martillos de contragolpe.

Este martillo es una variación del martillo de potencia, es más reciente que el elevado por aire y no es de uso común. Estos desarrollan su fuerza de golpeo por el movimiento de dos correderas las cuales se aproximan simultáneamente desde direcciones contrarias, encontrándose en un punto equidistante. Algunos martillos son neumáticos o hidráulicos. Un martillo de contragolpe vertical con un sistema vapor-hidráulico es mostrado en la figura 15. En éste, el vapor es admitido por el cilindro superior y conduce a la corredera superior a través de un eslabonamiento hidráulico forzando la corredera inferior hacia arriba logrando la deformación del metal. Como el peso de la corredera inferior y el ensamblaje con el pistón es mayor que aquéllos del ensamblaje superior, la corredera se retracta automáticamente después del golpe. La velocidad de retracción es aumentada por presión del vapor actuando hacia arriba, sobre el pistón.

Las correderas de un martillo de contragolpe son capaces de golpear repetidamente desarrollando velocidades combinadas de 5 a 6 m/s (16 a 20 ft/seg).

Comparando con martillos de simple acción, la vibración de impacto es reducida y aproximadamente el 100% de la energía de cada golpe es empleada en la deformación de la pieza de trabajo sin tener pérdida en el yunque. (Fig.15).

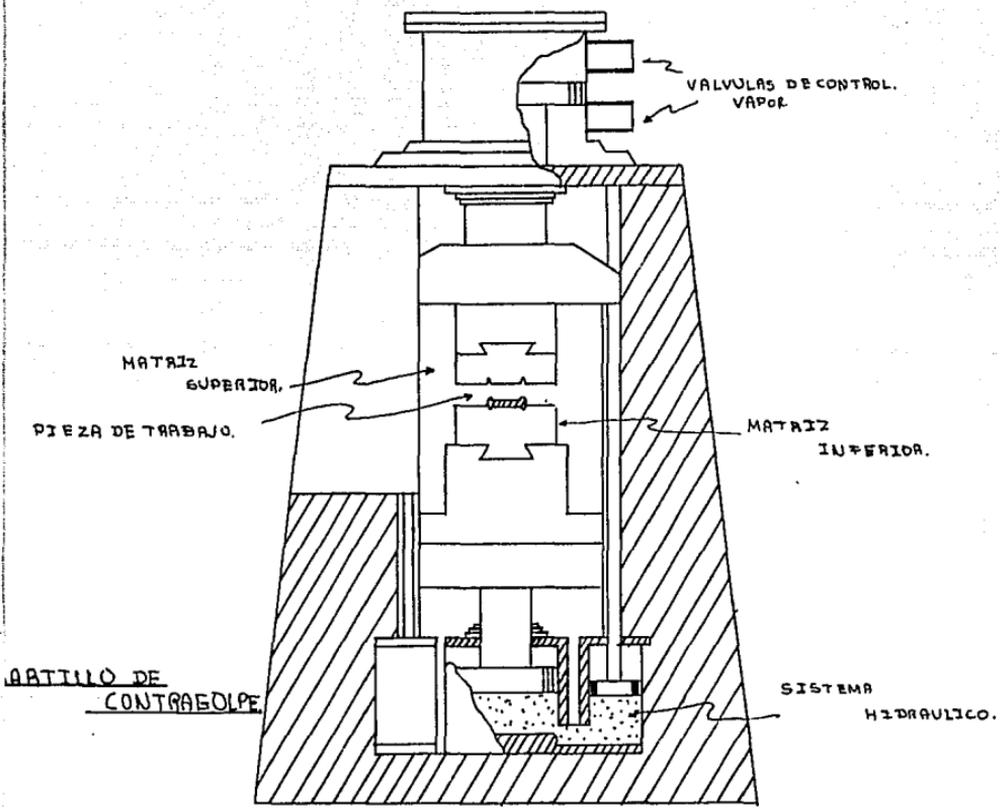


FIGURA 15

6.1.5.). Martillos para forja con matriz abierta.

Los martillos con matriz abierta, comunmente conocidos como martillos generales de forja o de matriz plana, se emplean básicamente en talleres pequeños o en los departamentos de reparación de herramientas de las empresas. La capacidad de éstas máquinas para piezas de 12 a 23 Kg (25 a 50 lb), está arriba de los 10,890 Kg (24,000 lb). Los martillos pequeños, por debajo de los 454 Kg (1000 lb), son básicamente usados para reparaciones en los departamentos de mantenimiento de las plantas de manufactura, donde son usados para reparaciones de herramientas, partes de forja y para diversos artículos que se hacen en la planta.

En general los martillos son operados por vapor o aire comprimido, con presiones de 7 a 8.5 Kg/cm² (100 a 120 psi), para vapor y de 6.4 a 7 Kg/cm² (90 a 100 psi), para aire comprimido. Estas condiciones son similares para los martillos de potencia usados para forja con matriz cerrada.

Hay dos diferencias básicas entre los martillos de potencia usados para forja con matriz cerrada y para con matriz abierta, en el primer caso el martillo es operado y controlado con un pedal exceptuando los martillos muy grandes, y en el segundo es controlado a través de dos palancas de mano; una palanca es conectada a la válvula reguladora de admisión de vapor o aire comprimido y la otra palanca controla la longitud de la carrera de forja.

La segunda diferencia en el diseño del martillo consiste en que el yunque es independiente del armazón que contiene la corredera de golpeo y el tope de la matriz. La separación del yunque y la forma del bastidor permite conformar grandes lingotes. El yunque puede reposar sobre un amor-

tiguador de roble, el cual absorbe los impactos del martillo (Fig. 16).

El martillo con matriz abierta es hecho con bastidores simples, los cuáles son conocidos como C-bastidor o -- martillo de arco simple o con bastidor doble llamado frecuentemente martillo de doble arco.

El martillo de simple bastidor (Fig. 16), tiene una variedad de tamaños que van de 454 a 2723 Kg. (1000a 6000 lb). La clasificación de todos los martillos están basadas sobre el peso de las partes de golpeo, las cuáles son la corredera, el pistón, vástago y la matriz tope.

Un martillo de doble armazón (Fig. 17), se encuentra en los tamaños de 2723 a 10890 Kg (6000 a 24000 lb). Una de las ventajas de ésta máquina es que la corredera es rígidamente guiada y son convenientes para trabajos de producción, forja en general, para la forja de aceros de alta resistencia, - aleaciones resistentes al calor u otro metal resistente.

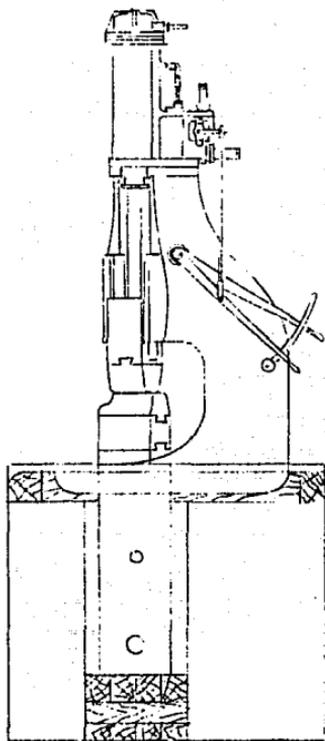


FIGURA 16

MARTILLO DE ARMAGON
SIMPLE

MARTILLO DE DOBLE
ARMAGON.

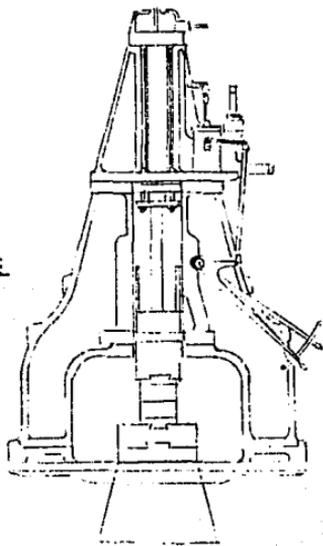


FIGURA 17

6.2. A Presión.

Generalmente las prensas para forja incorporan una corredera que se mueve en dirección vertical para ejercer un estrechamiento sobre la pieza de trabajo, en contraste con los característicos golpes repetidos de los martillos. Dependiendo de su accionamiento, las prensas están clasificadas como mecánicas e hidráulicas. Las máximas capacidades de los martillos de potencia son desarrolladas por la prensa hidráulica. En general, todas las prensas pueden producir todos los tipos de forjas producidos por los martillos.

6.2.1. Prensa mecánica.

Esta funciona por un motor y es controlada por un embrague neumático, la prensa mecánica tiene un tipo de excentricidad total de la flecha motriz que imparte una carrera de longitud constante para una operación vertical de la corredera (Fig. 18). La carrera de la corredera es corta a comparación de la del martillo o de la prensa hidráulica. La velocidad de la corredera es máxima en el centro de la carrera, pero la fuerza es máxima al final de la carrera.

Las capacidades de estas prensas están en proporción de la máxima fuerza aplicada y el rango es de 300 a 800 toneladas.

Ventajas de la prensa mecánica:

- 1.- Se tiene un alto porcentaje de producción en la que con los martillos. Muchas pueden dar arriba de 70 carreras por minuto.
- 2.- El impacto es menor en la prensa que en el martillo, por lo que las matrices pueden ser menos sólidas. Como las -

presas producen un menor choque, las matrices pueden hacerse con material más duro lo cual garantiza mayor vida de la matriz.

- 3.- En las presas se requieren menos habilidades de sus operarios que en la requerida en los martillos.

Desventajas de las presas:

- 1.- Costo inicial alto, aproximadamente tres veces el costo de un martillo produciendo la misma pieza.
- 2.- La presión de una prensa es comparada con varios impactos de un martillo, por lo que es menos conveniente para hacer operaciones como son el degollado y el laminado.
- 3.- Las presas son generalmente menos usadas para forjar piezas no simétricas.

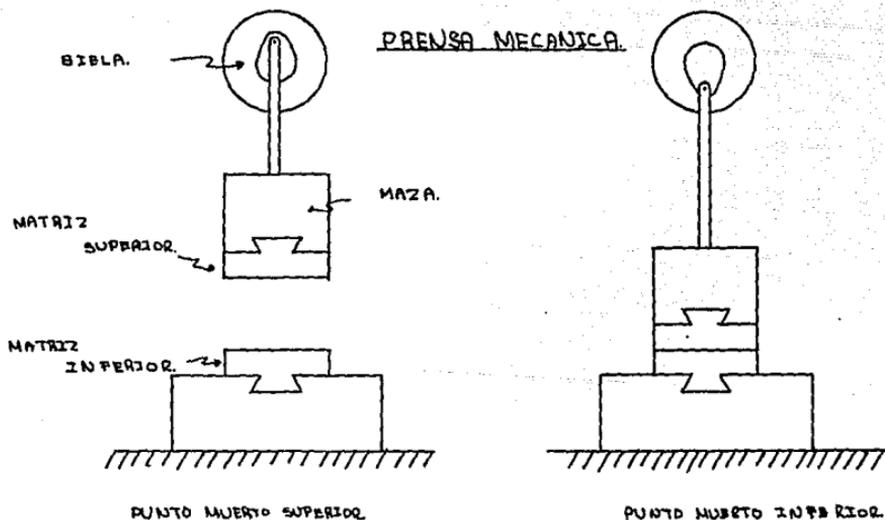


FIGURA 18

6.2.1.1. Prensa de husillo.

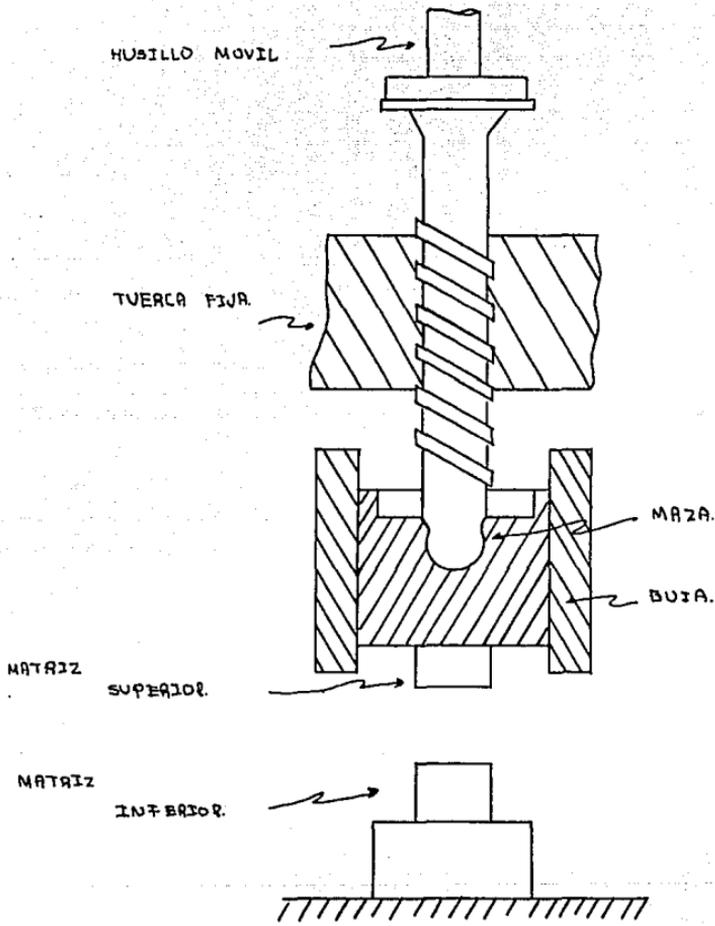
Se basan en el principio del tornillo-tuerca. Si la tuerca permanece fija al girar el husillo, éste se desliza - subiendo o bajando, dependiendo del giro que se genere; si es el tornillo el que gira pero permanece fijo en el espacio, y se hace que la tuerca no gire sujetándola con una deslizadera apropiada, será ésta la que suba o baje, dependiendo del giro que se de al tornillo. Las prensas más usadas son las de tuerca fija y tornillo móvil, también llamada de husillo.

En la figura 19 se esquematiza el principio de la -- prensa de husillo con tornillo móvil.

Según el método que se use para hacer girar el husi - llo se clasifican en:

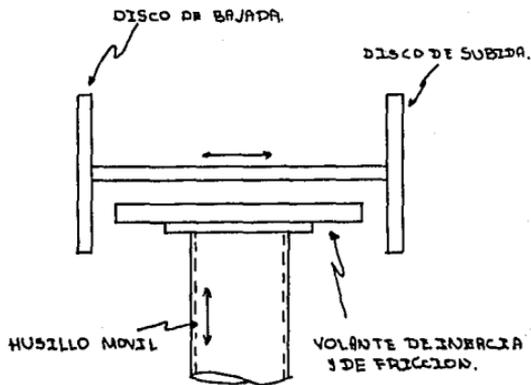
- Disco de fricción.
- De motor directamente acoplado al husillo.
- De engranaje.

En todos los casos, el husillo lleva incorporado en su parte superior un volante, que hace la función de acumulador de energía; en la figura 20 se muestran dichos equipos.

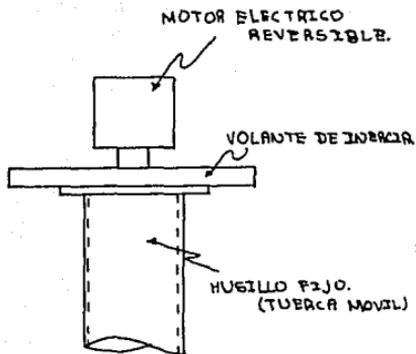


PRENSA DE HUSILLO.

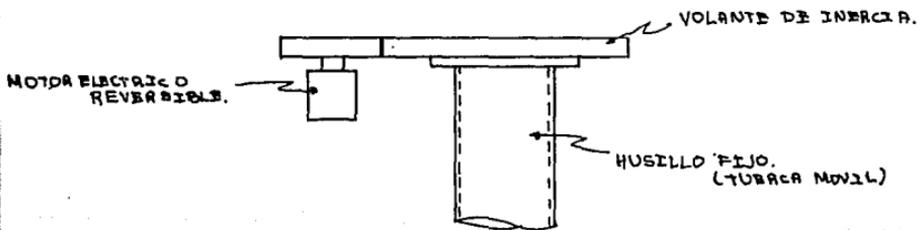
FIGURA 19



ACCIONAMIENTO POR DISCOS DE FRICCION.



ACCIONAMIENTO DE MOTOR DIRECTAMENTE
ACOPADO AL HUSILLO.



ACCIONAMIENTO DE ENGRANAJES.

FIGURA 20

6.2.1.2. Prensa de cuña.

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.

6.2.1.3. Prensa de rodilleras.

Son prensas verticales mecánicas cuyo funcionamiento consiste en un mecanismo de rótulas teniendo fija la superior y unida a la maza la inferior. Un dispositivo de cigüeñal-biela desplaza horizontalmente la articulación intermedia y ésta en su movimiento, origina un desplazamiento vertical de la maza. Se consigue así una gran rigidez, poca deformación elástica del bastidor y gran superficie de apoyo.

6.2.2. Prensa hidráulica.

La corredera de una prensa hidráulica es manejada por cilindros y pistones hidráulicos. Siguiendo una rápida aproximación de velocidad, la corredera (fija en la matriz superior), se mueve con una velocidad baja realizando la compresión de la pieza de trabajo, la cuál se retiene en la matriz inferior. La velocidad de compresión puede ser exactamente controlada así, permitiendo el control de la velocidad del flujo del metal. Esta característica es particularmente ventajosa produciendo forjas con tolerancia cerrada. Los principales componentes de una prensa hidráulica se muestran en la figura 21.

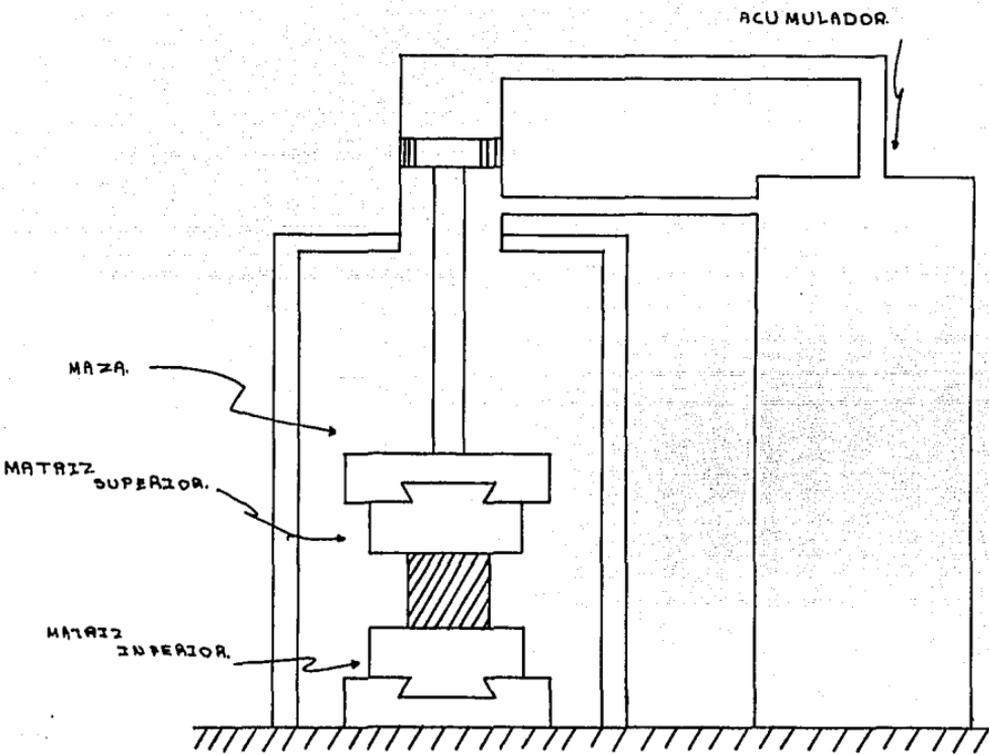
Las capacidades de las prensas hidráulicas están entre 300 a 50,000 toneladas.

Principales ventajas de la prensa hidráulica.

- 1.- La presión puede ser cambiada de acuerdo a las necesidades, en cualquier punto de la carrera para ajustar la -- presión con la válvula de control.
- 2.- El porcentaje de deformación puede ser controlado, al -- igual que la variación uniforme durante la carrera si se requiere.

Desventajas de las prensas hidráulicas.

- 1.- El costo inicial de la prensa hidráulica es más alto que la prensa mecánica de equivalente capacidad.
- 2.- La acción de la prensa hidráulica comparada con la mecánica es muy lenta.
- 3.- La lenta acción de una prensa hidráulica permite contactos largos entre las matrices y la pieza de trabajo; así la vida de la matriz es algunas veces corta porque hay -- transferencia de calor desde la pieza de trabajo a las matrices.



PRENSA HIDRAULICA

FIGURA 21

VII.- SELECCION DE MARTILLOS Y PRENSAS PARA FORJA

La selección de equipos para producir forjas depende idealmente, del tipo de metal de trabajo y el diseño de la forja. En la práctica, sin embargo, la selección del tamaño y tipo del equipo depende primeramente en el costo y en la cantidad a producir, en el tipo y tamaño del equipo disponible - en un taller específico. El metal de trabajo y el diseño de la forja determina la selección de la máquina solamente cuando -- las propiedades del metal de trabajo y la forma de la forja -- dificulta el ser transformado.

Es difícil relacionar la energía (pie-libra), de los martillos de caída libre para los pesos y dimensiones de las forjas que puedan producirse, debido a las limitaciones impuestas por el material y la forma específica de la forja. - En general, un martillo de tabla de 454 Kg.(1000 lb), puede producir piezas de acero al carbono y aleaciones pesando -- arriba de los 1.36 Kg.(3 lb). Un martillo de tabla de 1361 Kg. (3000 lb), con una potencia de golpeo alrededor de 1935 Kg-m (14000 ft-lb), puede producir piezas pesando arriba de 11.4 kg (25 lb). Los martillos de tabla con capacidad por - encima de 1361 Kg. (3000 lb), son relativamente poco comunes sin embargo, un martillo de tabla de 2537 Kg.(10,000 lb) si está disponible, puede fabricar forjas convencionales pesando arriba de 454 kg. (100 lb). Con capacidades similares se pueden encontrar los martillos elevados por aire.

Los martillos de caída libre se adaptan mejor para producir forjas de secciones de perfiles cruzados uniformes con baja proporción de elevada pestaña para el alma de espesor. Estos martillos no se adaptan para la producción de forjas que requieren considerable degüello, trazos o canteadora.

El porcentaje, capacidades y dimensiones de operación de los martillos tanto elevados por aire como de potencia, se muestran en la tabla B. Note que mientras el tamaño del martillo de caída libres es desde 454 Kg (1000 lb), a 4537 Kg (10,000 lb), el porcentaje de la energía máxima para carrera para éste martillo es de 532 a 7187 Kg-m (3850 a 5200 ft-lb), respectivamente.

Los tamaños de los martillos de potencia están entre 1534 a 5874 Kg-m (11,100 a 42,500 ft-lb) respectivamente, la máxima capacidad de los martillos de potencia es de 85,302 Kg-m (610,000 ft-lb), y su tamaño es de 22,686 Kg (50,000 lb). Las dimensiones dadas en la tabla B, son útiles aproximando el tamaño de la forja que puede ser acomodada por el equipo.

VIII.- METODO DEL ELEMENTO FINITO APLICADO AL PROCESO DE FORJA

Este método muestra el análisis de esfuerzos, deformaciones y cargas en el proceso de forja. Para el cual se considera un análisis elastoplástico, además de fricción adherente en la interfase material-herramienta y condiciones de frontera constante. Los resultados permiten determinar el comportamiento del material así como las condiciones a las que se ve sometido a través de la deformación continua que sufre en el proceso.

El método del elemento finito se ha convertido hoy en día en una técnica numérica que se aplica a diversos problemas, incluyéndose en ellos a los problemas no lineales, como lo son los problemas de conformado, ya que su funcionalidad no tiene un carácter lineal completamente. Este tipo de problemas donde la deformación plástica del material es excesiva, requiere para su mayor efectividad de un análisis rígido-plástico, y un análisis elasto-plástico.

El hecho es que para deformaciones pequeñas donde un análisis preciso es indispensable, es más conveniente considerar el comportamiento elástico, así como obviamente la plasticidad del material y para grandes deformaciones se tiene la ventaja de prescindir de un gran número de cálculos matemáticos y computacionales para considerar exclusivamente el comportamiento plástico del material.

En la actualidad se conocen muchas de las potencialidades del método del elemento finito, pero sin duda, en cada una de las aplicaciones se requiere de un estudio y hasta cierto punto de un dominio del proceso en que se esté aplicando. No perdiendo de vista éste razonamiento, se muestra a continuación la aplicación de ésta técnica en el campo del con -

formado de los metales.

Consideraciones:

Para el análisis del proceso, un factor importante es considerar la simetría de la pieza, lo que permite analizar -- una fracción de ésta, sobre la cuál es desarrollado el proceso computacional, reduciendo de ésta manera fuertemente el orden de la matriz de rigidez y con ello la utilización de memorias de computador. Las siguientes consideraciones se insertan como datos en un programa de computadora en la que de una forma iterativa e incremental simula el proceso de deformación. Cada uno de los modelos se discretizan triangularmente en el cuál cada elemento queda definido por las siguientes características:

- a) Coordenadas: cartesianas X, Y.
- b) Conexión: tres nodos por elemento.
- c) Grados de libertad: dos por cada nodo.

Ux= dirección de desplazamiento horizontal.

Uy= dirección de desplazamiento vertical.

- d) Material: elastoplástico, teniendo como consecuencia que la deformación se divide en una porción elástica y en otra plástica. La forma de considerar la relación de ésta deformación plástica con el esfuerzo es haciendo uso de las ecuaciones -- de Prandtl-Reuss, las cuales permiten la formación de la matriz elasto-plástica. Por otro lado, por el método de Gradiente conjugado se resuelve la matriz de rigidez y se establece un incremento de desplazamiento el cuál permite determinar el incremento de deformación y esfuerzo, formando todo un proceso iterativo y por etapas.

e) Propiedades: para el material al cual vamos a deformar se le deben conocer sus principales características:

- Esfuerzo de cedencia.
- Temperatura de forja.
- Módulo de Young.
- Relación de Poisson.

f) Estado de deformación: deformación plana.

g) Criterio de cedencia: Von-Mises.

h) Fricción en la superficie de contacto entre el material y la matriz: adherente.

i) Velocidad de deformación: estacionaria.

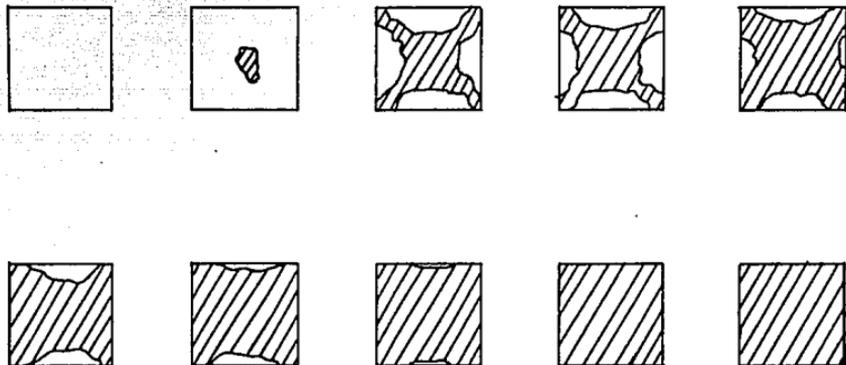
j) Propiedad del dado o matriz: rígido.

Resultados:

Forja:

Secuencia de deformación del material a usarse.

La forma en que el material consecutivamente se va deformando plásticamente para una relación $h/d = 1.0$, se muestra en - la figura siguiente:



ELASTICO.



PLASTICO.

SECUENCIA DE DEFORMACION DEL MATERIAL EN EL
PROCESO DE FORJA.

h = ALTURA DE LA PIEZA.

d = ANCHO DE LA PIEZA.

Es necesario puntualizar que la forja desarrollada, es una de las más simples por considerarse efectuada por matrices planas y sin algún otro fin que reducir la altura del material, pero esto no significa que no pueda efectuarse la forja a través de matrices no planas, eje simétricas o totalmente asimétricas, aunque en cada caso es indispensable los ajustes necesarios; como el modificar las condiciones límite de cada nodo de la periferia en el momento preciso de tocar el dado, con el fin de que el material vaya llenando la cavidad de las matrices.

IX.- REDUCCION DE ESPESOR EN PLACAS

Con la reducción del espesor nos implica un alargamiento del material o un aumento en el ancho. Estos alargamientos y extensiones no pueden ser calculados teóricamente, sino que éstos son obtenidos empíricamente para ciertos materiales.

La relación de mordedura es el parámetro que usan los operadores de las máquinas para saber las dimensiones de dichos alargamientos y extensiones.

$$\text{relación de mordedura} = \frac{b}{W_0}$$

dónde: W_0 = ancho inicial de la pieza

b = es la longitud que va a ser deformada.

tanto el alargamiento como la extensión pueden ser definidos de la siguiente manera:

$$\text{Coeficiente de ensanchamiento} = S = \frac{\text{aumento del ancho}}{\text{contracción del espesor}}$$

$$S = \ln \frac{W_1}{W_0}$$

Coefficiente de alargamiento = $1-S = \frac{\text{aumento de lo largo}}{\text{contracción del espesor}}$

$$1-S = \frac{\ln \frac{L_1}{L_0}}{\ln \frac{h_0}{h_1}}$$

dónde: L_0 = Longitud inicial

L_1 = Longitud final

W_0 = anchura inicial

W_1 = anchura final

De lo anterior observamos que si $S=1$ sólo existirá ensanchamiento y si $S=0$ sólo habrá alargamiento.

Esta operación es para preparar el material, o sea, una forja abierta, posteriormente se llevará a una máquina la cual contenga a la matriz acabadora.

Esto se hace comúnmente cuando hay que forjar pocas piezas y no conviene hacer una matriz múltiple, además para piezas muy grandes.

Otra forma de sacar el coeficiente de extensión es con la siguiente ecuación:

$$S = 0.14 + 0.36 m - 0.054 m^2$$

dónde: $m = \text{relación de mordedura} = \frac{b}{w_0}$

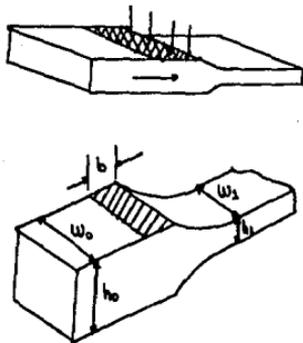
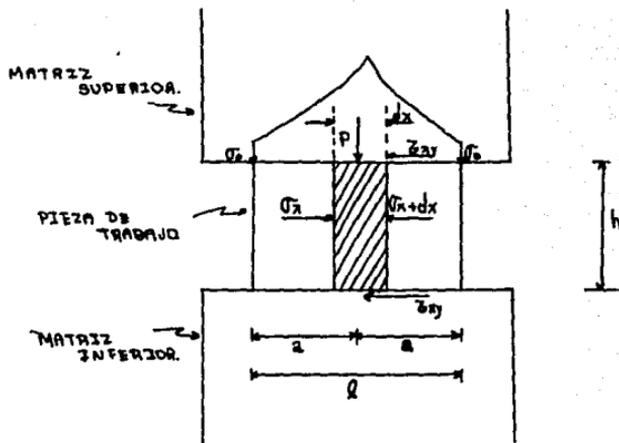


FIGURA 22

X.- ANALISIS TEORICO DE LA PRESION Y DE LA CARGA PARA LA FORJA LIBRE CONSIDERANDO DEFORMACION PLANA



Sabemos que:

$$P_F = plb$$

dónde

P_F = Carga

p = Presión promedio

l = longitud de la pieza

b = ancho de la pieza.

Haciendo:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sigma_x h - [\sigma_x + d\sigma_x] h - 2\tau_{xy} = 0 \dots (1)$$

dónde τ_{xy} = fuerza de fricción

Por deformación:

$$\tau_{xy} = N\mu \quad \Rightarrow \quad N = p$$

$$\tau_{xy} = p\mu \dots (2)$$

de (1) y (2)

$$-d\sigma_x h - 2 p\mu dx = 0$$

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = - \frac{2\mu p}{h} \dots (3)$$

Relacionando σ_x con p : Con base al criterio de fluencia de Von-Mises.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 2 / \sqrt{3} \sigma_0 = \sigma_0$$

$$\sigma_0 = \sigma_1 - \sigma_3 \dots (4)$$

si

$$\sigma_1 = p$$

$$\sigma_3 = \sigma_x$$

de la ecuación (4)

$$p - \sigma_x = \sigma_0$$

$$\sigma_x = p - \sigma_0$$

Sustituyendo en (3) en el 1er. término:

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{-d\sigma_0}{dx} + \frac{dp}{dx}$$

como $\frac{d\sigma_0}{dx} = \text{cte} \quad \therefore = 0$

quedando

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{dp}{dx}$$

de (3)

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{2\mu p}{h}$$

$$\frac{dp}{p} = -\frac{2\mu dx}{h}$$

integrando:

$$\int \frac{dp}{p} = -\frac{2\mu}{h} \int dx$$

$$\ln p + c = -\frac{2\mu}{h} x$$

dónde:

$$p = c \exp\left[-\frac{2\mu x}{h}\right] \quad \dots(5)$$

evaluando c para $x=a$:

$$P_x = a = \sigma_0$$

$$\sigma_0 = C \exp \left[\frac{-2\mu a}{h} \right]$$

$$C = \sigma_0 \exp \left[\frac{+2\mu a}{h} \right] \dots \dots (6)$$

Sustituyendo (6) en (5):

$$p = \sigma_0 \exp \left[\frac{2\mu a}{h} \right] \exp \left[\frac{-2\mu x}{h} \right]$$

$$p = \sigma_0 \exp \left[2 \frac{\mu}{h} (a-x) \right] \text{ Presión}$$

como

$$P = \bar{p} b l$$

$$\bar{p} = \int_0^a \frac{p dx}{a}$$

$$\bar{p} = \int_0^a \frac{\sigma_0 \exp \left[\frac{2\mu}{h} (a-x) \right]}{a} dx$$

$$\bar{p} = \frac{\sigma_0}{a} \int_0^a e^w dw \quad w = \frac{2\mu}{h} (a-x)$$

$$dw = \frac{-2\mu}{h} dx$$

$$\bar{p} = \frac{\sigma_0}{a} \left[\frac{-h}{2\mu} \right]_0^a e^w dw$$

$$\bar{p} = \frac{\sigma_0}{a} \left[\frac{-h}{2\mu} \right] \exp \left[\frac{2\mu}{h} (a-x) \right] \Big|_0^a$$

$$\bar{p} = \frac{\sigma_0 h}{a 2\mu} - \left[\frac{-\sigma_0 h}{a 2\mu} \exp \left(\frac{2\mu a}{h} \right) \right]$$

$$\bar{p} = \frac{\bar{\sigma}_o}{\left[\frac{2\mu a}{h} \right]} \left[\exp \left(\frac{2\mu a}{h} \right) - 1 \right]$$

Presión Promedio

$$P = \bar{p} b l \text{ Carga}$$

La carga para forja ya sea en matriz abierta como en cerrada, se puede calcular de la siguiente manera:

$$P = \bar{\sigma}_o A C$$

dónde

$\bar{\sigma}_o$ = Esfuerzo de cedencia promedio durante la deformación.

A = Area proyectada por la pieza perpendicular al desplazamiento de la estampa.

C = Es un valor que dependera de las características del proceso. Para forja abierta de formas sencillas se han propuesto diversos métodos para calcular éste, entre otros podemos mencionar la ecuación definida por Hill:

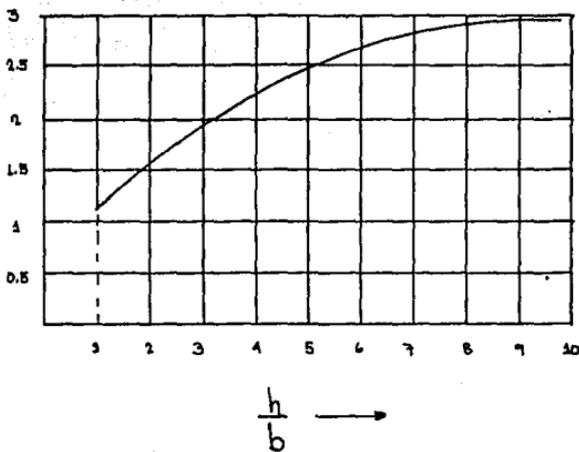
Para piezas que se van a formar no homogéneas:

$$C = 0.8 + 0.2 \frac{h}{b}$$

h = espesor

b = ancho de la herramienta.

$$C = Q_1 = \frac{P_1}{\sigma_1}$$



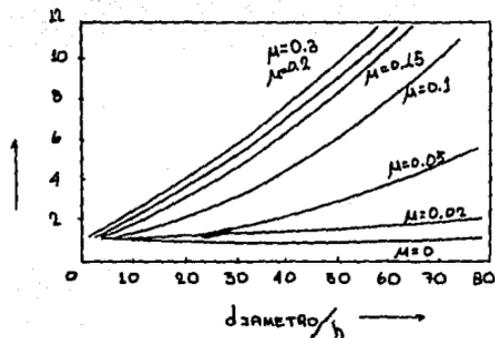
PIEZAS NO HOMDBENAS.

GRAFICA 1

Para piezas que se van a forjar homogéneas:

Cilindros:

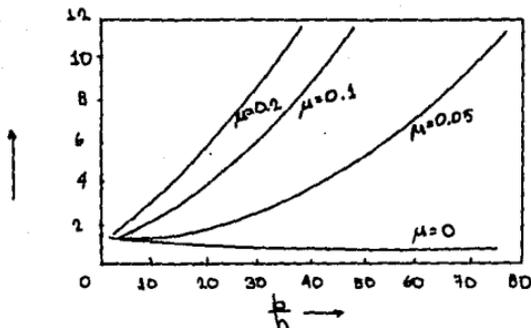
$$C = Q_a = P_a / \sigma_f$$



GRAFICA 2

Rectangulares:

$$C = Q_f = P_f / \sigma_f$$



GRAFICA 3

cuando w=largo de la herramienta es 10 veces el ancho de dicha herramienta.

Para forjas en estampa tenemos que:

	C
Estampas planas	1.2 a 2.5
Estampas para forjas simples.	3 a 8
Estampas de geometrias complejas.	8 a 12

TABLA C

En la forja con matriz cerrada se pueden forjar piezas que van desde muy simples hasta piezas con geometría muy complicada. La siguiente tabla nos muestra como van aumentando el grado de complejidad de las piezas que se van a forjar mediante éste método.

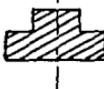
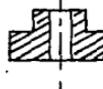
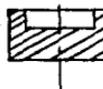
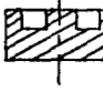
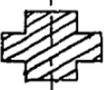
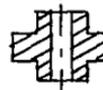
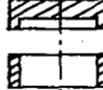
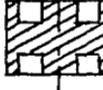
LASE 1: FORMA COMPACTA.  $\phi = b = h$ CILINDRICA Y CUBICA.	SUBGRUPO / FORMAS	101 	102 	103 	104 
LASE 2: FORMA DEL DISCO.  $\phi = b > h$	SUBGRUPO / FORMAS		CON TETON.	CON TETON Y BARENADO.	
11 DISCO CON ELEMENTO UNILATERAL	211 	212 	213 	214 	215 
21 DISCO CON ELEMENTO BILATERAL		222 	223 	224 	225 

TABLA D

	ALGORITMO					
	FORMAS					
1 ^o GRADO	21 	211 	212 	213 	214 	215 
2 ^o GRADO	22 	221 	222 	223 	224 	225 
3 ^o GRADO	23 	231 	232 	233 	234 	235 

CLASIFICACION DE LA FORJA.

TABLA E.

Los parámetros que se deben tomar en cuenta para el diseño de una forja cerrada son los siguientes:

- 1.- Número de piezas a producir, geometría y peso de dichas piezas.
- 2.- Número y configuración de los pasos de preformado.
- 3.- Dimensiones de la rebaba en preformas y pasos acabadores.
- 4.- Carga y energía para cada operación de forja.
- 5.- Tolerancias requeridas así como en el acabado.

XI.- PASOS PARA EL CALCULO TEORICO DE LA CARGA PARA FORJA EN ESTAMPA

Los parámetros a considerar para el cálculo de ésta carga son los siguientes:

1.- Dimensionar la pieza

1.1.- Angulo de salida de 7°

1.2.- Sobreespesor para maquinado.

ESPESOR, ANCHURA O DIAMETRO DE LA PIEZA (mm).	SOBREESPESOR EN CADA 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

TABLA F

1.3.- Tolerancias o sobreespesores por contracción

M A T E R I A L	COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL (α) °C (°C ⁻¹)
ACERO	11 x 10 ⁻⁶
ALUMINIO	23.8 x 10 ⁻⁶
BRONCE	17.5 x 10 ⁻⁶
COBRE	16.5 x 10 ⁻⁶
LATON	18.5 x 10 ⁻⁶

TABLA G

2.- Elegir la línea de partición y el tipo (o posición) del cordón de la rebaba.

3.- Definir las líneas de flujo del material con la finalidad de reconocer o determinar las regiones del llenado difícil.

- 4.- Corregir los elementos característicos por enfriamiento o anisotermia (radios críticos).

Corrección por Anisotermia.

RADIO REAL (mm)	RADIO A ADOPTAR PARA EL CALCULO DE		
	MARTILLO (mm)	PRENSA MECANICA (mm)	PRENSA HIDRAULICA (mm)
5	5	5	5
4.5	4.5	4.45	4.45
4	4	3.95	3.95
3.5	3.5	3.45	3.4
3	3	2.95	2.5
2.5	2.5	2.4	2.35
2	2	1.9	1.85
1.75	1.7	1.65	1.60
1.50	1.45	1.35	1.30
1.25	1.15	1.10	1.05
1.0	0.9	0.75	0.80

TABLA H

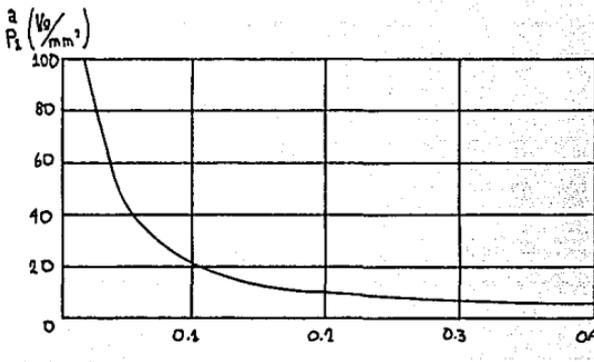
- 5.- Calcular la presión P_1 necesaria para el adecuado llenado de las regiones características, las cuales presentan un radio r_1 y un ancho L_1 o diámetro D .

Para lo anterior se entrará en la gráfica de umbral de plasticidad con:

$$K_1 = \frac{2r_1^*}{D}$$

$$\text{o.} \quad K_1 = \frac{r_1^*}{L}$$

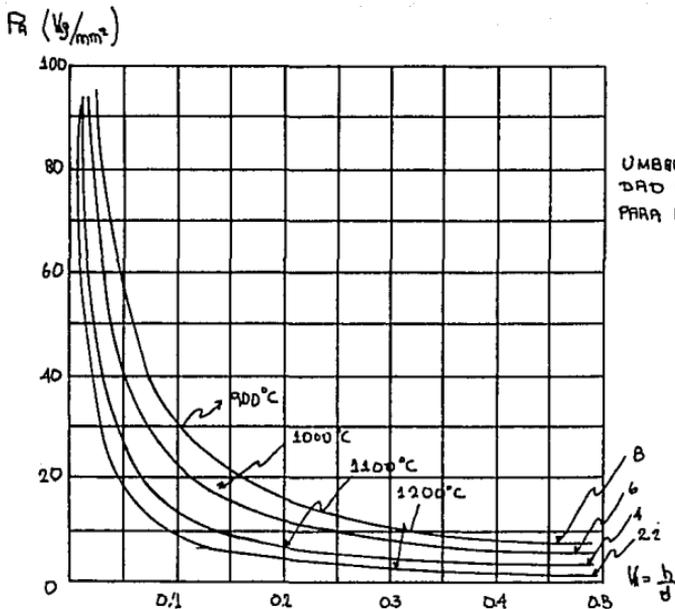
dónde r_1^* es el radio del elemento característico corregido por enfriamiento.



CALCULO GRAFICO DE LA
PRESION P_1 Y 2 PARA ACEROS

$$W_0 = \frac{F^2}{L} \cdot \frac{h}{L}$$

GRAFICA 4



UMBRALES DE PLASTICIDAD AL APLASTAMIENTO
PARA ACEROS ORDINARIOS.

GRAFICA 5

6.- Calcular la presión necesaria para el correcto llenado de las cavidades o nervios de la pieza (P_2).

Esta cavidad presenta un radio en el fondo (r_2), la sección en el fondo es (A_f), la sección en la entrada es -- (A_g), el coeficiente de fricción del material con las -- paredes laterales de la estampa es (μ).

l = es el ancho en el fondo de la cavidad.

l_m = es el ancho promedio de la cavidad.

a_m = umbral de plasticidad al aplastamiento.

r_m = umbral de plasticidad a la retención.

h = altura del nervio o tetón.

Δ_p = Exceso de presión requerida cuando la cavidad no es asimétrica.

P_2 se calcula gráficamente.

$$P_2 = P_2 + a_m + r_m + \alpha + \Delta_p$$

pero

$a_m + r_m + \alpha = 21 \text{ Kg/mm}^2$ para los aceros a 1000 °C.

$$P_2 = (m - \alpha) \left[1 + \ln \frac{A_g}{A_f} \right] \exp(4\mu K_1) + a_m + r_m + \alpha + \Delta_p$$

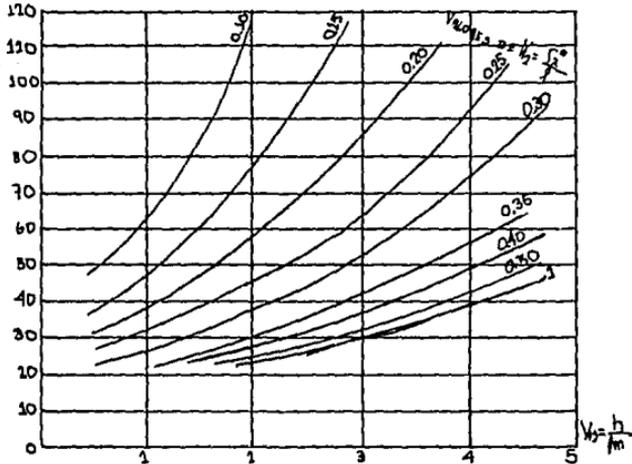
"m" se obtiene de las curvas de umbrales de plasticidad con:

$$K_m = \frac{r_2^*}{l}$$

o

$$K_m = \frac{2r_2^*}{d}$$

P_2 (kg/mm²)



CALCULO GRAFICO DE LA PRESION P_2 PARA ACEROS

GRAFICA 6

Ae= sección transversal a la entrada de la cavidad.

Af= sección transversal en el fondo de la cavidad

μ = coeficiente de fricción.

Para piezas a forjar de acero y con matrices de acero se emplea como lubricante el grafito disuelto en agua.

$T < 900^{\circ}\text{C} \Rightarrow \mu = 0.15$

$T \approx 1000^{\circ}\text{C} \Rightarrow \mu = 0.16$

$T = 1100^{\circ}\text{C} \Rightarrow \mu = 0.17$

Sin lubricación:

A C E R O		C O B R E		ALUMINIO		L A T O N	
T°C	μ	T°C	μ	T°C	μ	T°C	μ
900	0.23	850	0.16	450	0.15	650	0.18
1000	0.20	900	0.15	500	0.14	700	0.17
1100	0.19	950	0.14	550	0.13	750	0.16

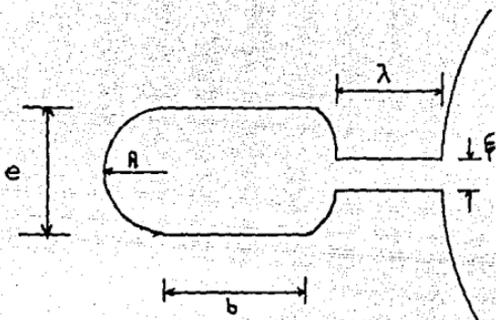
am= umbral de plasticidad al aplastamiento.

$$K_a = \frac{H}{D}$$

Km= umbral de plasticidad a la retención.

$$K_r = \frac{1}{H}$$

7.- Diseño de la cavidad de la rebaba:



λ } Cordón de rebaba
 e }
 b } Cavidad de la rebaba
 R }

λ = está en función del diámetro $\lambda = f(D)$

b = ancho de la pieza.

Dimensión del alojamiento o cavidad de la rebaba:

λ	$e/2$	
	R	b
4 a 6	3	20
7	3	22
8	3	24
9	3.5	25
10	4	28
12	5	32
14	6	36
16	8	44

TABLA J

Valores de la anchura del cordón de la matriz en función del diámetro o espesor de la pieza:

VALORES DEL ϕ	anchura del cordón de la matriz (mm) PRENSA:
40	4
50	4.5
60	5
70	5.5
80	6
90	6.5
100	7
120	7.5
140	8
160	8.5
180	9
200	9.5
220	10
240	11
260	12
280	13
300	14
350	15
400	17
450	18

TABLA K.

Espesor del cordón de rebaba:

$\phi = f(\text{resistencia del material alojado, presión de forja, temperatura, } \mu)$

$\phi = 1 \text{ a } 6 \text{ mm}$

$8 < \frac{2\lambda}{\phi} < 14$

$e = 2\phi \text{ a } 3\phi$

$$\frac{\lambda}{\phi} = \sqrt{\frac{P\phi - a - P_b}{4\mu'Q'}}$$

$$Q = f(T, \text{material})$$

T °C	Q
870	3.24
950	2.57
1000	2.17
1050	1.86
1100	1.52
1150	1.25

TABLA L

Pf = presión de forja

$$Pf = P_1 \text{ ó } P_2$$

"a" = representa la pérdida de carga al transmitir la presión de forja a la rebaba.

"a" se obtiene con:

$$K = \frac{H}{L} \text{ ó } K = \frac{2H}{D} \text{ de la gráfica de umbral de plasticidad}$$

$$P_b = \frac{\sigma_0 2\lambda}{D}$$

σ_0 = esfuerzo de cedencia del material alojado en el cordón de rebaba

∴ La carga aplicada por la prensa:

$$P = P_p A_p + P_R A_R$$

Dónde:

P = carga de forja

A_p = sección transversal de la pieza

P_p = presión necesaria para el correcto llenado de la cavidad.

A_R = sección transversal de la rebaba.

P_R = presión ejercida sobre el cordón de la rebaba.

XII.- IMPORTANCIA DE LA ELECCION DE LA TEMPERATURA A QUE SE VA A FORJAR EL MATERIAL

El material que va a ser forjado debe tener una temperatura adecuada, ya que esto nos implica:

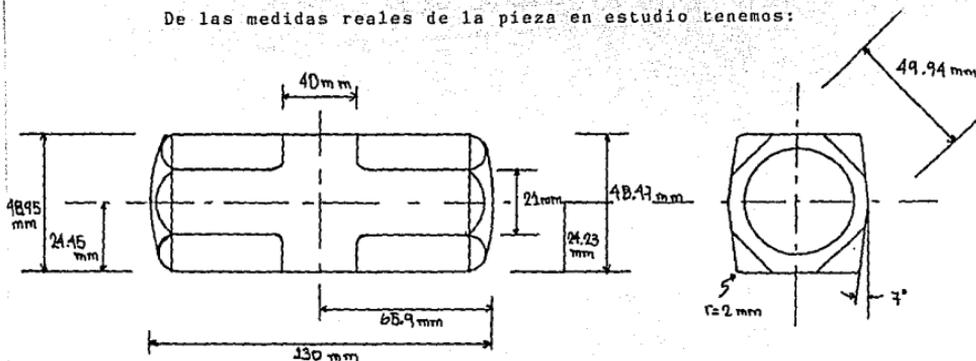
- Reducir el trabajo de forja.
- Aumentar la vida de las matrices.
- Saber la microestructura de nuestro material a forjar y sus principales características.

	MAXIMA °C	MINIMA °C
Aceros al carbono dulces $C > 0.20\%$	1050	900
Aceros al carbono tratables $0.25\% < C < 1.25\%$	1100	850
Aceros al carbono de herramientas $0.60\% < c < 1.25\%$	950	800
Aceros aleados tratables	1000	900
Aceros aleados de herramientas	950	900
Aceros rápidos	100	950

Tabla M. TEMPERATURAS DE FORJA

XIII.- CALCULO TEORICO DE LA CARGA PARA FORJA EN ESTAMPA

De las medidas reales de la pieza en estudio tenemos:



Material del marro → Acero 1060

A.- Sobreepesor para maquinado:

- 1) $135/2 = 67.5$ mm.
- 2) $130 + (2.5)2 = 135$ mm

B.- Contracciones:

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T \dots (1)$$

Para el acero 1060 la temperatura de forja es de 1100°C

$$l_1 = 135 \times (11 \times 10^{-6}) \times 1100$$
$$= 1.633$$

$$l_{1c} = 135 + 1.633 = 136.65 \text{ mm}$$

$$l_{1c} = 136.63 \text{ mm}$$

$$l_{2c} = 48.95 \times (11 \times 10^{-6}) \times 1100$$

$$= 0.5922$$

$$l_{2c} = 49.54 \text{ mm}$$

$$l_{3c} = 48.47 \times (11 \times 10^{-6}) \times 1100$$

$$= 0.5864$$

$$l_{3c} = 49.05 \text{ mm.}$$

3) Cálculo de P_1 o sea, presión necesaria para el llenado de la cavidad principal.

$$D = 135 \text{ mm} ; h = 49.54 \text{ mm} ; r_1 = 2 \text{ mm}$$

r_1 se corrige por anisotermia:

$$r_1 = 2 \text{ mm corregido } r_1^* = 1.9 \text{ mm esto para prensas}$$

$$\therefore r_1^* = 2(1.9) \text{ mm } r_1^* = 3.8 \text{ mm}$$

Para el cálculo de P_1 entramos a tablas con:

$$K_0 = \frac{r_1^*}{L} \quad \text{o} \quad K_0 = \frac{2r_1^*}{D_1}$$

$$K_0 = \frac{2(3.8)}{49.54} = 0.153$$

$$\therefore K_0 = 0.153$$

con este dato en la gráfica (1):

$$P_1 = 14 \text{ kg/mm}^2$$

Presión necesaria para el correcto llenado de las regiones características.

La presión que necesitamos para deformar el material es la aplicada en el área transversal del tocho. Se le aumenta un 15% de su medida original al tocho para asegurarnos que llene correctamente la cavidad.

Area=

$$49.54 + 15\% = 56.97 \text{ mm}$$

$$135 + 15\% = 155.25 \text{ mm}$$

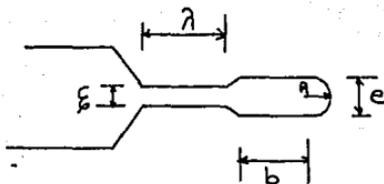
$$A = 8,845 \text{ mm}^2$$

$$P = 14 \text{ Kg/mm}^2 \times 8845 \text{ mm}^2$$

$$P_p = 123.830 \text{ Ton.}$$

Presión necesaria para el correcto llenado de la cavidad.

Cálculo del cordón de rebaba



e = diámetro del cordón de rebaba.

λ = cordón

b = cavidad

ξ = espesor del cordón de rebaba.

Los rangos principales para el cálculo del cordón de rebaba son los siguientes:

$$1 < \xi < 6 \quad \text{en mm} \dots\dots(1)$$

$$8 < \frac{2\lambda}{6} < 14 \quad \text{en mm} \dots\dots(2)$$

$$\frac{\lambda}{6} = \left[\frac{P-a-Pb}{4 \mu Q} \right]^{1/2} \dots\dots(3)$$

De la tabla K tomamos un valor de λ para iniciar nuestro cálculo

Valor del diámetro o anchura mínima	Valor de la anchura del cordón de matriz λ (mm) Prensa
220 mm	10 mm

De la ecuación (3) sabemos que:

P= presión del llenado.

a= pérdida de presión por la rebaba

μ = coeficiente de fricción

Q= función de la temperatura y del material

Pb= resistencia a la tracción de la rebaba.

Obteniendo valores:

$$P_1 = 14 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\therefore Q(T=1000 \text{ }^\circ\text{C}) = 2.17$$

T [°] C	Q
870	3.34
950	2.57
1050	1.88
1100	1.52
1150	1.25

TABLA W

T ^o C	μ
900	0.23
1100	0.19

TABLA O

$$\mu = 0.20$$

Tanto Q como μ se toman con la temperatura de fin de forja o sea a 1000°C.

Por lo general el valor de P_b es de 2 a 3 Kg/mm².

$$P_b = 2 \text{ Kg/mm}^2$$

La pérdida de presión por la rebaba (a) se saca mediante la gráfica (4).

Para entrar a dicha gráfica se necesita:

$$K_a = \frac{H}{d} \quad K_a = \frac{\text{altura de la pieza}}{\text{ancho de la pieza}}$$

Esta relación K_a es cuando se presenta rebaba central.

$$K_a = \frac{49.2}{49.2} \quad K_a = 1$$

Con valores mayores a 0.4 la curva se vuelve asintótica, el valor de "a" es igual al valor de 0.4:

$$a = 5$$

Sustituyendo valores en (3):

$$\frac{\lambda}{F} = \frac{14 - 5 - 2}{4(0.20)(2.17)} \Rightarrow \frac{\lambda}{F} = 4.03$$

$$\frac{\lambda}{F} = \frac{2}{4.03} \Rightarrow \frac{10}{4.03} \quad F = 2.48$$

$$\frac{\lambda}{F} = 2.48 > 1$$

$$1 < 2.48 < 6$$

$$\phi = 2.48 \text{ mm}$$

$$\lambda = 10 \text{ mm}$$

$$8 < \frac{2(10)}{2} = 8.06 < 14$$

Carga total aplicada por la prensa:

$$P = P_p A_p + P_R A_R \dots (4)$$

$$P_p = 14 \text{ Kg/mm}^2$$

$$A_p = 8,845 \text{ mm}^2$$

P_R = se saca de la tabla umbral de plasticidad entrando con:

$$K = \frac{\phi}{2\lambda} = \frac{2.48}{20} = 0.124 \quad (\text{Gráfica 5})$$

Temperatura = 1050 °C

$$P_R = 12 \text{ Kg/mm}^2$$

Presión ejercida sobre el cordón de la rebaba.

$$A_R = (76.58)(174) = 13324 - 8845 \dots A_R = 4479 \text{ mm}^2 \text{ Sección transversal de la rebaba.}$$

$$P = (14)(8845) + (12)(4479)$$

$$= 123,830 + 53,748$$

$$P = 178 \text{ Ton} \text{ Presión de forja}$$

Necesitamos una prensa con una capacidad mayor a 200 Ton.

Presión de la prensa debido a tocho real:

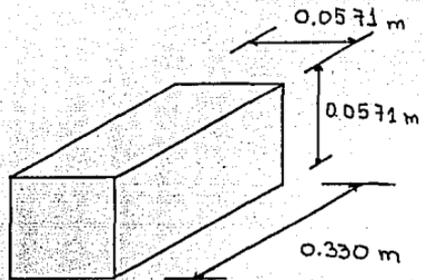
$$P = P_p A_p + P_R A_R$$

$$(57.15)(330) = 18860 \text{ mm}^2$$

$$A_p = 18860 \text{ mm}^2$$

$$P = (14)(18860) + (12)(4479) \cdot 2$$

$$= 264,040 + 107,496$$



$$P = 372$$

Presión de forja para dos piezas.

Se está ocupando un 37.2% de su capacidad de la prensa Ajax de 1000 toneladas.

XIV.- CALCULO DE UN PROBLEMA DE FORJA SEGUN EL PROCEDIMIENTO QUE SE LLEVA A CABO EN LA PRACTICA A NIVEL EMPRESA

1.- Pieza a forjar:

Marro MD-4 (Marro de doble fase).

Material Acero 1060.

Para sacar el diseño de una pieza para forja se toman las medidas de una pieza muestra que proporciona el cliente o el ingeniero de planta. Estas medidas son comparadas con una serie de normas preestablecidas para ciertos productos, en nuestro caso un marro de doble fase.

Normas:

TABLA P . MARRO DE DOBLE FASE

PESO (Tolerancia en onzas) Libras	LONGITUD ENTRE CARAS Pulgadas	ANCHO DE LA PIEZA Pulgadas	TIPO DE MANGOS Pulgadas	DIMENSIONES DEL OJO		
				NUMERO	DIMENSIONES MINIMAS B Pulgadas	C Pulgadas
2.5 } + 4	4-1/2"	1-1/2"	15"	2 o 3	5/8"	7/8"
3 } - 3/4	4-3/4"	1-5/8"	15"	2 o 3	3/4"	1"
4 } + 8	5-1/4"	1-3/4"	15"	2	3/4"	1"
4 } - 1	5-1/4"	1-3/4"	32"	2	3/4"	1"
6 } + 8	6"	2-1/8"	32"	2	1"	1-1/4"
8 } - 1	6-1/2"	2-1/4"	32"	2	1"	1-1/4"
10 } + 8	7"	2-1/2"	32"	2	1"	1-3/8"
12 } - 1	7-1/2"	2-1/2"	34"	2	1"	1-3/8"
16 } + 8	8-1/4"	2-7/8"	34"	2	1"	1-3/8"
20 } - 1	8-3/4"	3	36"	2	1-1/4"	1-1/2"

Nota: Las medidas que se encuentran fuera de la llave tanto en el peso como en la longitud entre caras son tolerancias-- las cuales pueden variar para poder ajustarse a las normas.

Medidas reales del marro MD-4:

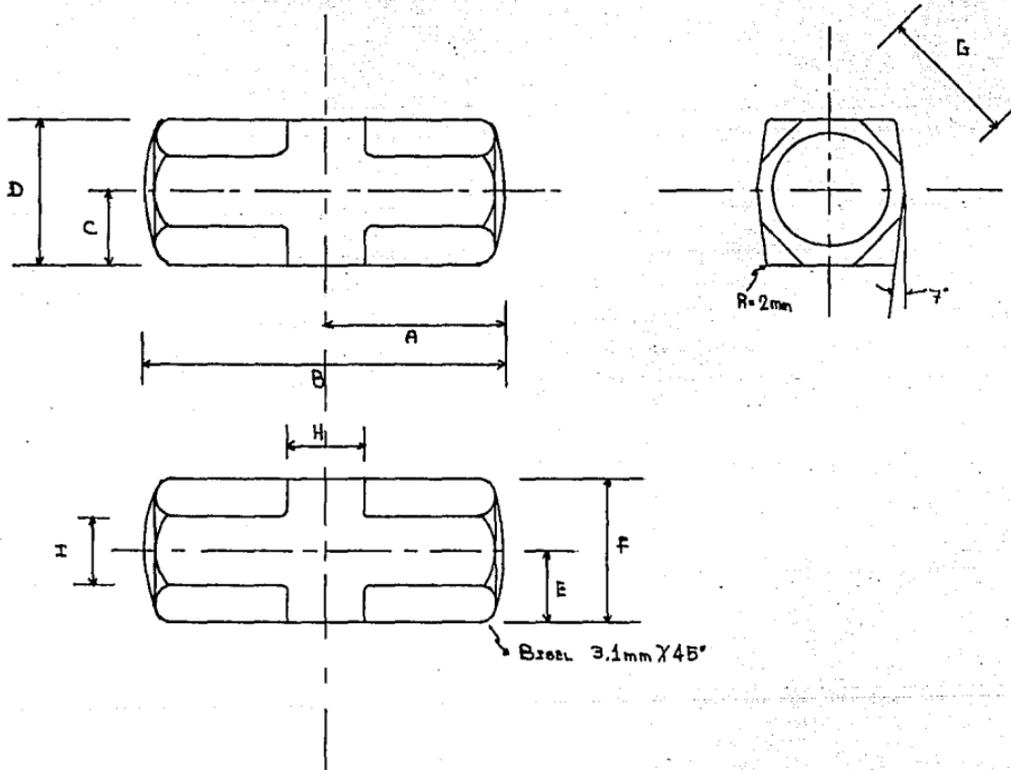


FIGURA 23

A= 65.9 mm	F= 48.47 mm
B= 130 mm	G= 49.94 mm
C= 24.45 mm	H= 40.0 mm
D= 48.95 mm	I= 21.0 mm
E= 24.23 mm	

Peso de la pieza real 1.9 Kg.

Peso de normas: $P_1 = 2$ Kg

$P_2 = 1.6$ Kg

... la pieza real si está dentro de normas.

Con las medidas reales obtenemos las medidas de la pieza en caliente, esto se logra aumentando el 1.5% a las anteriores medidas debido a la contracción del material.

Medidas Pieza en caliente:

A= $65.9 + 1.5\% = 67$ mm
B= $130 + 2$ (maquinado) + $1.5\% = 134$ mm
C= 24.8 mm
D= 49.7 mm
E= 24.6 mm
F= 49.2 mm
G= 50.7 mm
H= 40.6 mm
I= 21.3 mm

Con estas medidas se diseñan las cavidades que van a llevar nuestras matrices para que nos den las medidas reales.

2.- Número de piezas a fabricar.

15,000 piezas

Tiempo de entrega: 3 semanas.

3.- Selección de la Máquina:

a) Cálculo de la presión:

El tocho que utilizaremos sera:

Redondo 2" X 5-1/2"

$$\text{Area} = dh$$

$$= (50.8)(139.7)$$

$$\text{Area} = 22295 \text{ mm}^2$$

Se le da un 18% más para que llene correctamente.

Redondo 2-3/8" X 6-1/2"

$$= (60.325)(164.84)$$

$$A = 31,240 \text{ mm}^2$$

Para un espesor de 2-3/8" tenemos de gráfica 7.

$$P = 4 \text{ Kg/mm}^2$$

$$P_T = 4 \text{ Kg/mm}^2 \times 31,240 \text{ mm}^2$$

$$P_{TE} = 124,960 \text{ Kg}$$

Presión total de forja en empresa

Necesito una máquina de:

200 Toneladas.

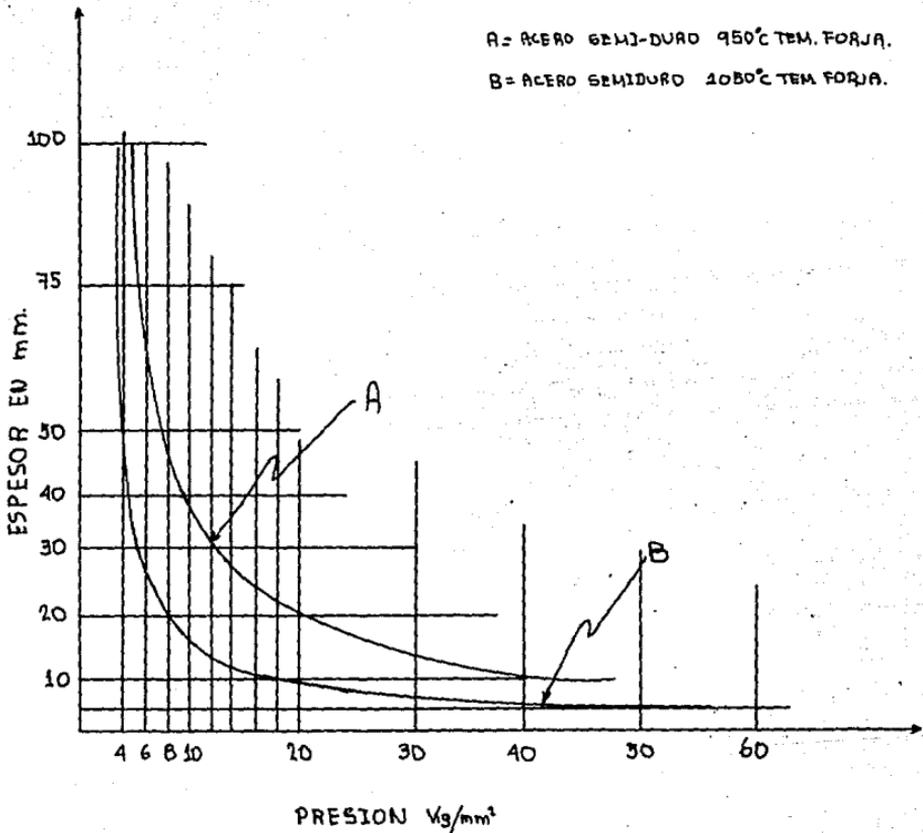
b) Tanto el martillo de tabla, el martillo neumático (Baning) y la prensa (Ajax) tienen la capacidad para realizar la formación del marro MD-4.

El número de piezas y el tiempo en que se deben realizar es uno de los factores que deciden cual de las tres máquinas mencionadas es la adecuada para éste - trabajo.

VARIACION DE LA PRESION EN FUNCION DEL
 ESPESOR DE LA PIEZA.

A= ACERO 62M3-DURO 950°C TEM. FORJA.

B= ACERO SEMIDURO 1050°C TEM. FORJA.



GRAFICA 7

Las dimensiones del portatroquel es otro factor muy importante en la elección de la máquina y en el diseño de la matriz. Este factor nos da las dimensiones y las etapas que puede tener dicha matriz.

Tanto en el martillo de tabla como en el neumático las dimensiones del portatroquel son de 25 cm X 25 cm, éstas nos limitan porque solamente podríamos sacar 1 pieza en un ciclo (desde que entra al tocho hasta que sale la pieza terminada) implicando que no podríamos sacar la producción en 3 semanas.

Usando la prensa Ajax (1000 Toneladas) las dimensiones del portatroquel son las siguientes:

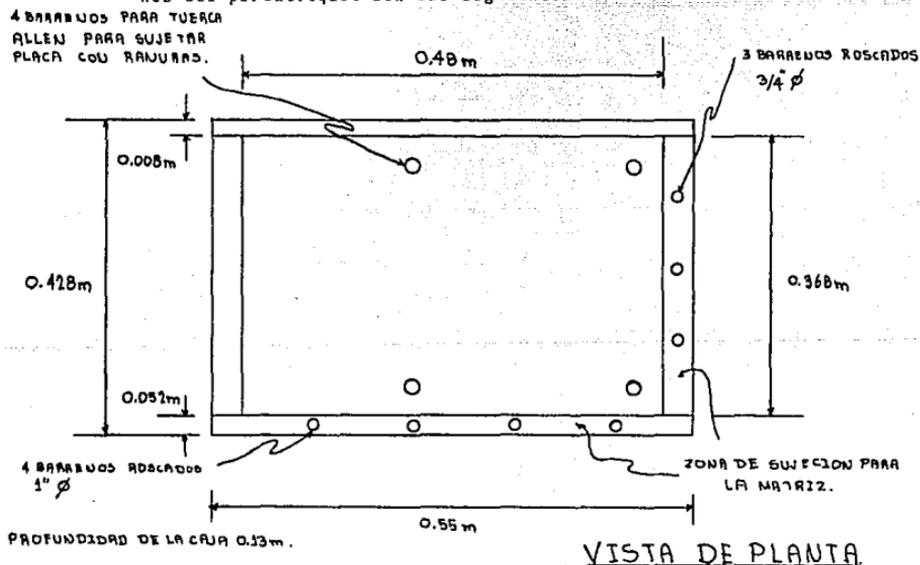
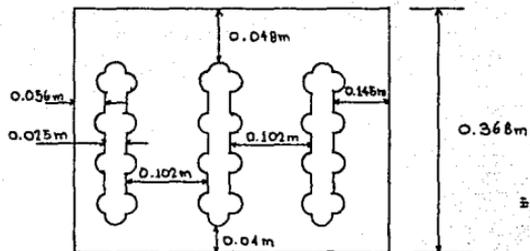


FIGURA 24

0.48m

PLACA PRINCIPAL DEL PORTATROQUEL
DE LA PRENSA AJAX



VISTA DE PLANTA

ESPESOR DE PLACA 0.0162m.

FIGURA 25

PIEZA MACHO PARA RAJURAS
DE PLACA PRINCIPAL PARA
PORTATROQUEL.

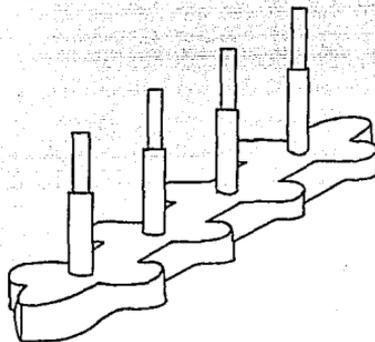
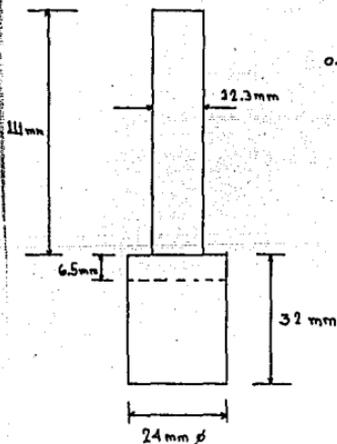


FIGURA 26



ROTADOR

MATERIAL 1045 DUREZA 46 a 48 Rc.

FIGURA 27

La sujeción de las matrices con el portatroquel superior e inferior se hacen con cuñas.

En base a las dimensiones del portatroquel, y el número de piezas a formar, es conveniente diseñar una matriz múltiple, o sea, que tenga las etapas adecuadas y así darle mayor vida a nuestro juego de matrices y por lo tanto sacar la producción.

Como la pieza en caliente mide 134 mm, podemos fabricar en la matriz dos marros en lugar de uno. Con esto, en 3 - semanas sacaríamos la producción que se nos pide y ocuparíamos más capacidad de la prensa Ajax.

Teniendo la máquina a utilizar que en este caso será la prensa Ajax de 1000 toneladas, las medidas del portatroquel y las de la pieza en caliente, empezaremos a diseñar los dados los cuales formarán al marro MD-4.

Basándonos en la placa (Fig.25) observamos que lleva tres ranuras, las cuales nos indican las posibles etapas que puede llevar la matriz.

En estas ranuras se introduce su macho (Fig. 26), - los cuales tienen por función el accionamiento de los botadores.

Funcionamiento de los botadores:

Paso (1). La máquina ejerce la presión sobre el metal de trabajo.

Paso (2). Al subir el carnero se acciona un dispositivo mecánico el cual mediante dos redondos de 3/4" y material hecho de acero 1045 hace subir aproximadamente una pulgada (0.0254 m) el macho que a su vez hace funcionar a los botadores (Fig. 27).

La función de los botadores es de sacar el metal de trabajo de las cavidades y así evitar que éste se pegue con la matriz y así prolongar la vida de dichas matrices.

Los botadores se encuentran tanto en la matriz superior como en la inferior.

Distribución de las etapas de la matriz:

Como utilizaremos un redonde de $2-3/8"$ x $6-1/2"$ (0.06 m x 0.165 m), para la fabricación del marro y queremos -- producir 15,000 piezas en tres semanas y en el portatroquel hay tres ranuras para las posibles etapas. Debemos distribuir los pasos limitándonos a tres etapas:

(1) Preparadora:

El redondo es de $2-3/8"$ x $6-1/2"$ (0.06m. x 0.165 m). si queremos que la matriz nos dure las tres semanas y nos -- saque la producción y sabiendo las medidas del material del marro, es necesario una etapa preparadora para no desgastar a la siguiente etapa y darle más vida a nuestra matriz. La preparadora aproxima al redondo a las medidas de la siguiente etapa.

(2) Previo:

En esta etapa tendremos medidas aproximadas a la de la pieza en caliente. La medida del ancho de la pieza será -- más corta que la de la etapa final, la profundidad y los radios serán mayores que la definitiva.

Estas diferencias de medidas es para que la etapa previa acumule más material y al pasar a la final pueda llenar correctamente las partes más críticas y evitarnos los -- posibles defectos en la forja.

(3). Definitiva:

La cavidad definitiva tiene las medidas de la pieza en caliente. En esta etapa la pieza sale con sus medidas finales y posteriormente se pasa a una prensa de 100 toneladas donde se le troquela y se le quita la rebaba.

Entre más etapas se logre hacer en una matriz, su desgaste va a ser mínimo. Estas matrices se diseñan para producciones altas y para piezas que no van a necesitar maquinado posterior.

El espacio entre las orillas de las cavidades previo, definitivo y preparadora es 1.7 veces la dimensión del previo, o sea:

$$46.2 \text{ mm} \times 1.7 \text{ mm} = 78.5 \text{ mm}$$

La dimensión de 1.7 veces es la medida menor de las cavidades. Esta se toma en base al rango que se maneja en la empresa:

$$1.5 \leq x \leq 2 \text{ esto a lo largo de la placa } y$$

$$3.5 \leq y \leq 4.5 \text{ en el espesor de la matriz}$$

esta última se saca de la siguiente manera:

$$23.8 \text{ mm} \times 4 = 95.2 \text{ mm}$$

23.8 mm es la profundidad de la etapa previa

$$95.2 \text{ mm} + 23.8 \text{ mm} = 119 \text{ mm total}$$

* Altura total = 119 mm

* Largo total = 393 mm

La dimensión de lo ancho de la matriz se obtiene en base a las ranuras de la placa principal, esto es, se deja la medida del ancho del portatroquel:

* Ancho Total = 368 mm.

Zona de rebaba:

Para sacar las medidas de la rebaba manejaremos los rangos siguientes:

a lo largo:

$$3.5 \leq A \leq 4$$

$$\frac{46.2}{3.63} = 12.7 \dots a = 12,7 \text{ mm}$$

a= teóricamente igual a λ , longitud del cordón de rebaba.

A= rango que debe de tener el dividendo para poder sacar la medida de "a" con la dimensión de divisor de la etapa previa.

En caso que tengamos exceso de material, se nos puede aumentar la medida de "a" ocasionándonos problemas con la matriz, puesto que habría más área de contacto matriz y material de trabajo y por lo tanto los botadores en algunas forjas no alcanzarían a despegar el material. Por esto se hace un desahogo a 45° dependiendo de la profundidad de la cavidad:

$$3.5 \leq B \leq 4$$

$$\frac{23.8}{3.77} = 6.3 \dots b = 6.3 \text{ mm}$$

b= altura del desahogo de la rebaba

B= rango para poder sacar la altura del desahogo dependiendo de la profundidad de la cavidad del previo.

El espesor de la rebaba por regla se deja a 4 mm. Esto es, la matriz superior no hace contacto con la inferior dejando un espacio de 4 mm.

Distribución de las etapas en la matriz:

Tenemos tres etapas:

- 1).- Preparadora
- 2).- Previo
- 3).- Definitiva

Como utilizaremos un tocho de $2-3/8" \times 13"$ y éste pesa aproximadamente:

$$0.3302 \times 22.5 = 7.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso Tocho} = 7.5 \text{ Kg}$$

más dos kilos de las tenazas sumarán 9.5 Kg en total.

Para alimentar a la prensa de material tenemos un horno, el cual mediante una banda transportadora suministra tochos por la parte izquierda del operario. Por ello es que la etapa preparadora este del lado izquierdo de dicho operario.

La etapa difinitiva se colocó primero que la previa por los siguientes factores:

- 1).- Operación del forjado:

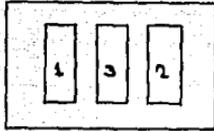
En la etapa preparadora el tocho recibe un golpe, se gira la pieza 90° y se le da otro golpe.

Como la distancia preparadora-previo es más larga que la preparadora-definitivo el operador como tiene las manos a 90° con la pieza gira 90° la pieza y coloca en la etapa previa el tocho, tiene más espacio por lo que se le hace más fácil. Se le da un tercer golpe en la etapa previa. Ahora se gira el tocho 180° y se pasa a la etapa definitiva y se le da su cuarto golpe.

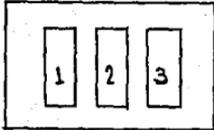
Paso seguido el operador pasa las piezas forjadas a una banda transportadora donde posteriormente se le punzona y se les quita la rebaba.

- 2).- Rapidez de forjado:

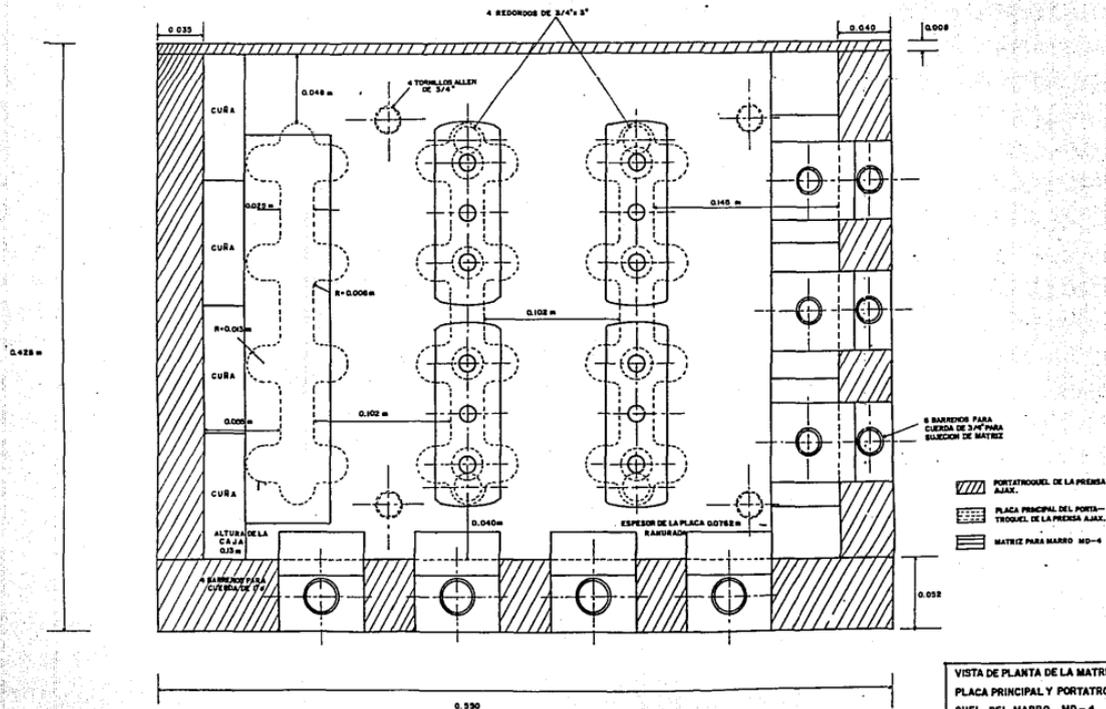
Se comprueba que se sacan más piezas del modo



que de la forma



Los planos siguientes muestran las dimensiones finales de la matriz que se ocupará para forjar el marro MD-4.



VISTA DE PLANTA DE LA MATRIZ,
PLACA PRINCIPAL Y PORTATROQUEL
QUEL DEL MARRO MD-6.

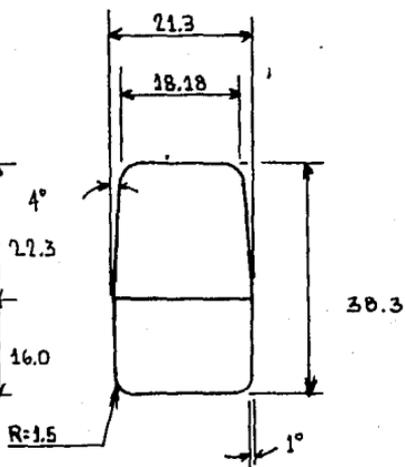
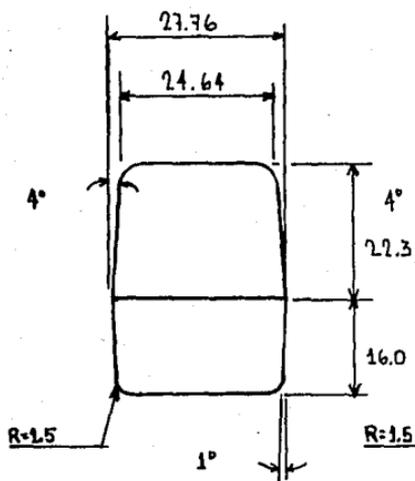
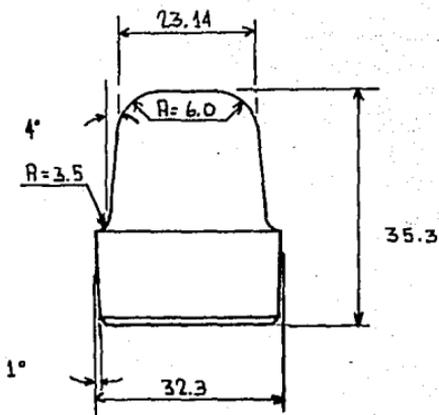
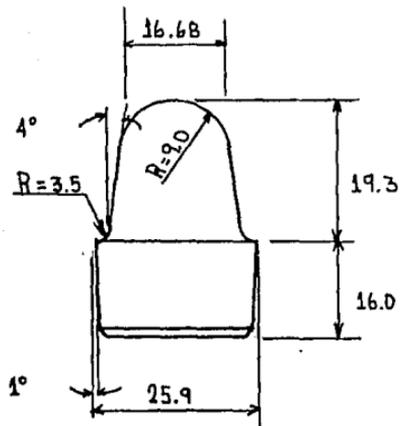
FECHA:

ASINACION:

18-OCTUBRE-1988

ED. M.

MAMELON PREVIO.



MAMELON DEFINITIVO.

Acot: mm.

XV.- SELECCION DEL ACERO

Para la selección del acero es importante considerar las condiciones de trabajo a que han de someterse para elegir con seguridad el acero adecuado.

Tipos de Aceros:

- a).- Alta Velocidad.
- b).- Trabajo en caliente.
- c).- Trabajo en frío.
- d).- Resistentes al choque.
- e).- Temple al agua.

Para el proceso de forja utilizaremos aceros para trabajo en caliente.

Tabla Q.

PRINCIPALES ACEROS PARA LA FABRICACION DE MATRICES PARA FORJA.

MARCA DEL ACERO	COMPOSICION QUIMICA								
	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Si	W	V	DUREZA RC
H - 12	0.35	-	5	-	1.5	-	1.5	0.4	42 a 46
GF3/L6	0.55	0.6	1	1.8	0.75	0.85	-	-	50 - 52
*CRVAR	0.37	-	5.3	-	1.3	-	-	1	-
*SNOIE	0.48	-	1.2	1	0.57	-	-	-	-
*HARDIEM	0.5/0.6	0.6/0.95	0.85/1.15	0.44/0.6	0.38/0.48	0.2/0.35	-	-	37 - 41
PYROTEM	0.5/0.6	0.5/0.7	0.7/1	1.9/2.4	0.65/0.85	0.5/0.7	-	-	-
PERMADIE	0.56	0.78	1.05	0.5	0.4	0.28	-	-	-
ORO 80	0.4	-	2.6	-	2	-	-	1.2	-
FINKL	0.36	0.6	5	-	1.85	1	-	0.3	-

Nota: Los primeros 5 aceros que aparecen en la tabla son los más usados para fabricar matrices para forja en caliente.

* Aceros que se deben importar

La dureza para las matrices está en un rango de 37 a 50 RC

En la tabla anterior se muestran los principales aceros para las matrices de forja en caliente, así como su composición química.

El acero puede ser aleado con otros elementos para mejorar sus características físicas y mecánicas y para producir propiedades especiales como resistencia a la corrosión, a la abrasión o al calor.

Los efectos principales de estos elementos son los siguientes:

Carbono (C).

Aumenta la resistencia a la tracción, aumenta la dureza y da resistencia contra abrasión y desgaste. Baja la tenacidad y baja la facilidad de maquinado.

Manganeso (Mn).

Se combina con azufre para dar mayor facilidad de maquinado. Aumenta la resistencia a la tracción, aumenta la dureza y la resistencia contra abrasión y desgaste. Disminuye la tendencia de inestabilidad y aumenta la facilidad de cementado. Imparte templabilidad a bajo costo.

Fósforo (P).

Aumenta la dureza y aumenta la facilidad de maquinado. Sin embargo, produce fragilidad y una tendencia a que sea quebradizo el acero.

Azufre (S).

Aumenta la facilidad del maquinado en los aceros y disminuye la facilidad de soldar y la tenacidad. Produce fragilidad en caliente.

Silicio (Si).

Es desoxidante y desgasificante. Aumenta la resistencia a la tracción, aumenta la dureza y la permeabilidad magnética.

Cromo (Cr).

Aumenta la resistencia a la tracción, la dureza y la tenacidad, da resistencia a la abrasión y al desgaste. Produce resistencia a la corrosión y a la oxidación.

Níquel (Ni).

Aumenta la resistencia a la tracción, la dureza sin sacrificar tenacidad. Aumenta la resistencia a la corrosión - cuando se introduce suficiente 8% por lo menos.

Molibdeno (Mo).

Aumenta la resistencia a la tracción, la dureza y la tenacidad y conserva la dureza a temperaturas elevadas.

Tungsteno (W).

Aumenta dureza y tenacidad, produce resistencia a temperaturas elevadas y mantenimiento de filo.

Vanadio (V).

Aumenta dureza, produce resistencia al golpe y choque. Mantiene un grano fino. Intensifica el efecto de otras aleaciones.

Cobalto (Co).

Mantiene la dureza al rojo y aumenta la tenacidad e - intensifica el efecto de otras aleaciones.

El acero seleccionado para la fabricación de la matriz en estudio es el H12. Este acero es para trabajos en caliente - y además se encuentra con facilidad en cualquier aceria.

CARACTERISTICAS DEL H12:

ANALISIS TIPICO	C	Mn	Si	W	Cr	V	Mo
	0.35	0.3	1.0	1.4	5.0	0.45	1.4

Tipo:

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

Estado de entrega:

Recocido- Dureza Brinell 187-217 aproximadamente.

Características:

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 370-595°C, a altas temperaturas conserva su tenacidad y resistencia al choque térmico.

Usos típicos:

Matrices para forja, hojas de cisalla para corte de material en caliente, cabeceadoras en caliente de remaches, tuercas o tornillos.

Tratamientos térmicos:

Recocido:

Caliéntese lentamente hasta 840-870 °C manteniendo ésta temperatura de una a dos horas por pulgada de diámetro de espesor, Enfríese lentamente en el horno hasta 320 °C. La temperatura de enfriamiento no debe bajar más de 10 °C por hora hasta que alcance 540 °C para obtener mejores resultados. Para evitar la decarburación y asegurar un enfriamiento lento, se recomienda el -

recocido en empaque de una mezcla de una parte de carbón de leña con unas seis partes de arena por volumen.

Temple:

Antes del temple es muy conveniente un precalentamiento en un horno separado a una temperatura de 705 °C hasta 760 °C. Luego se calienta lentamente en el horno de templar hasta una temperatura de 965-1020 °C y se mantiene a esta temperatura diez minutos por pulgada de espesor y se temple al aire recomendándose un chorro de aire de 12-18 onzas y mantener la pieza bajo éste chorro hasta que la temperatura sea -- alrededor de 150 °C. Para el buen éxito del temple es esencial el uso de un buen horno con minucioso control de la temperatura y de la atmósfera.

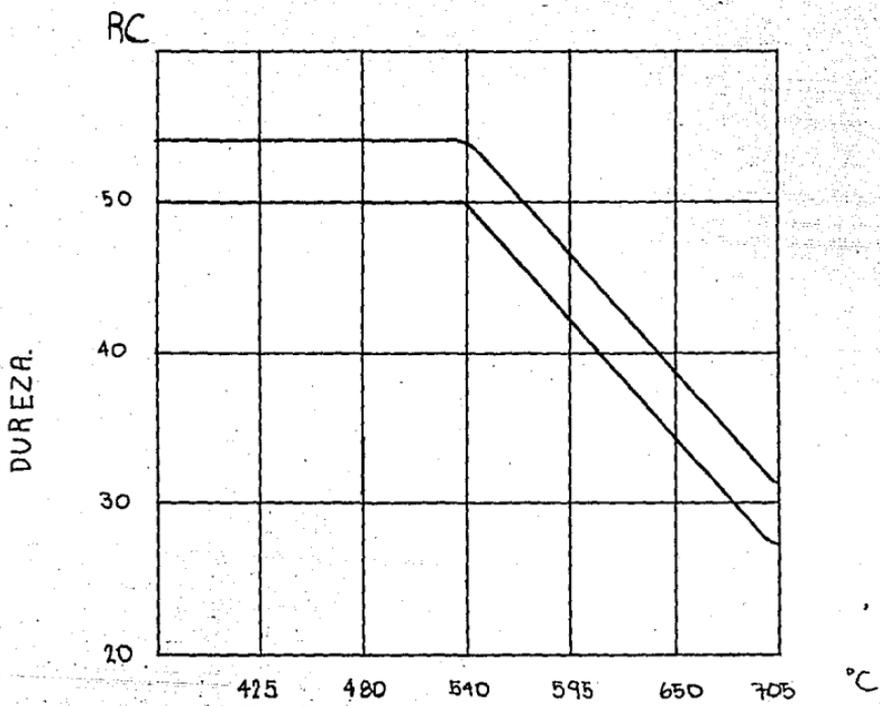
Revenido:

Debe efectuarse inmediatamente después del temple y su duración debe ser de dos horas por pulgada de espesor y se pueden obtener las durezas siguientes:

TEMPERATURA	DUREZA ROCKWELL-C (RC)
Sin revenido	50 - 54
425 °C	50 - 54
540 °C	50 - 54
595 °C	45 - 49
650 °C	34 - 38
705 °C	25 - 29

TABLA A

El acero H12 debe tener una dureza de 42-46 RC para poder realizar éste trabajo.



CURVA DE REYENIDO PARA
EL ACERO H-12

XVI.- CONCLUSIONES

- 1.- La presión teórica se calculó sacando el área transversal de la pieza a forjar respecto a dicha presión. En cambio la presión Empresa se sacó del área total de dicha pieza. Los resultados de estas dos presiones son las siguientes:

$$P_{TT} = 178 \text{ Toneladas}$$

$$P_{TE} = 124.960 \text{ Toneladas}$$

La diferencia entre las dos presiones anteriores estriba en que la P_{TE} no se tomó en cuenta la presión ejercida - sobre el cordón de rebaba.

Si comparamos la presión necesaria para el correcto llenado de la cavidad teórica P_p con la presión total Empresa P_{TE} ; o sea:

$$P_p = 123.830 \text{ Toneladas}$$

$$P_{TE} = 124.960 \text{ Toneladas}$$

la diferencia es de

$$1.130 \text{ Toneladas}$$

esto nos reafirma lo dicho anteriormente.

La prensa ocupada para realizar este trabajo es la Ajax. Prensa mecánica con capacidad de 1000 Toneladas.

Como la matriz está diseñada para hacer dos marros MD-4

en un ciclo, la presión teórica necesaria para la forja será de:

$$P_{Tf} = 372 \text{ Toneladas}$$

lo que nos muestra que solo un 37.2% de la capacidad de dicha prensa es ocupada.

El parámetro más importante del proceso que es la presión total de forja, para la empresa, queda en un segundo término. Lo que significa que un 62.8% de la capacidad de la prensa no se está ocupando y por lo tanto esto significa que hay un mal aprovechamiento de las máquinas.

2.- La presión ejercida sobre el cordón de rebaba que es de:

$$P_R = 53.748 \text{ Toneladas}$$

no se toma en cuenta a nivel empresa.

Esto es porque la máquina a emplear tiene una capacidad superior a la requerida para fabricar los dos marros.

Si hacemos una comparación en porcentaje de las presiones que intervienen en el proceso en base a la presión total, obtendremos:

Presión total de forja	178 Ton	100%
Presión necesaria para el correcto llenado de la cavidad	123,830 Ton	70%
Presión sobre el cordón de rebaba.	53,748 Ton	30%

Para piezas chicas (aproximadamente de 2 a 10 Kg) se podrá omitir la presión de la rebaba, si se tiene una prensa que tenga seis veces la capacidad necesaria para forjar dicho marro, esto en empresa.

La presión de rebaba es un 30% de la presión total de forja por lo que se debe tomar en cuenta tanto en piezas chicas, medianas y grandes, no importando las máquinas con que cuenta dicha empresa.

3.- Las matrices se diseñan en base a los siguientes parámetros.

- A.- Dimensiones y peso de la pieza a forjar.
- B.- Número de piezas.
- C.- Complejidad de forja.
- D.- Capacidad y dimensiones del portatroquel de la máquina.
- E.- Etapas de la matriz.
- F.- Características del acero para la matriz.

4.- Por lo general en las empresas donde se trabaja la forja no se hacen cálculos, si no que en base a la experiencia de los trabajadores es como sacan adelante dicho proceso y la producción.

XVII.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Metals Handbook. Volumen 5. Equipos, procesos y matrices para forja. Sociedad Americana de Metales.
- 2.- Deformación Plástica de los materiales, la forja y la laminación en caliente. Jesús del Río. Ed. Gustavo Gili, SA.
- 3.- Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones. Richard A - Flinn y Paul K. Trojan. Ed. McGraw Hill.
- 4.- Naturaleza y propiedades de los Materiales para ingeniería. Zbigniew D. Jastrzebsnj. Ed. Intersamericana.
- 5.- Estampado en Frio. S.A. Elenev. Ed. Mir.
- 6.- Metalografía y Tratamiento térmico de los metales. Yu M. Lajtin. Ed. Mir.
- 7.- Ingeniería Metalúrgica. Tomo I. Raymond A Higgins. Ed. C.E.C.S.A.
- 8.- Forja. División de Ingeniería Metalúrgica. Sección de - Graduados. ESIQUIE, IPN.
- 9.- Apuntes de Proceso de Conformado de Materiales. Fac. Ingeniería. Ing. Armando Ortiz Prado.
- 10.- Mechanical Metallurgy. George E. Dieter. Ed. Gustavo - Gili, SA.
- 11.- Mechanical Working of Metals. J.N. Harris. Ed. Pergamon, Press.
- 12.- Elements of Metalworking Theory. G.W. Rowe. Ed. Eduard Arnold.