

12  
2-4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"CUAUTITLAN"

ESTUDIO DE LA FORJA EN CALIENTE  
DE LOS METALES

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N  
AMERICO CLAUDIO DI COLA CEJAS  
OTILIO GOMEZ ALCANTARA

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. SAMUEL PEREZ DIAZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**ESTUDIO DE LA FORJA EN CALIENTE**  
**DE LOS METALES**

INDICE

PAGINA

1.	INTRODUCCION	1
2.	ANTECEDENTES	3
	2.1. Reseña histórica	3
	2.2. Ventajas inherentes del proceso de forja	6
3.	APLICACIONES DE LAS PIEZAS FORJADAS	10
4.	EL PROCESO DE FORJA	14
	4.1. Distintos procedimientos de forja en caliente	14
	- Forja libre o abierta	14
	- Forja cerrada	15
	- Recalcado	15
	- Martillado	16
	- Electrorrecalcado	16
	- Rolado	16
	4.2. Ciclo genérico de las piezas forjadas en caliente	17
	4.3. Operaciones posibles de forja	22
	- Recalcado	22
	- Doblado	24
	- Tronzado	25
	- Estirado	26
	- Agujereado	29
	- Aplanado	32

	PAGINA
- Estrangulado	33
- Modelado	34
- Torcido	35
- Soldadura	36
4.4. Criterios de selección de un procedimiento de forja	37
4.5. Condiciones y temperaturas de forja de algunos materiales metálicos.	38
5. EQUIPO USADO EN EL PROCESO DE FORJA	40
5.1. Martillos de forja	40
5.1.1. Martillos de caída libre	41
- De correas	49
- De tablas	51
- De cilindro neumático	51
- Oleodinámicos	54
- De cadena	54
5.1.2. Martillos de doble efecto	56
- De mando neumático	61
- De mando oleodinámico	63
5.1.3. Martillos de contragolpe	68
- Masas unidas por cintas	74
- Masas unidas hidráulicamente	75

5.2. Prensas	78
- Generalidades	78
- Prensas mecánicas	79
- Prensas hidráulicas	87
5.3. Recalcadoras	91
- Generalidades	91
- Recalcadoras horizontales	93
5.4. Martilladoras	99
- Generalidades	99
- Martilladoras verticales	100
- Martilladoras horizontales	103
5.5. Preformadoras o roladoras a rodillo	105
5.6. Equipo auxiliar	109
- Máquinas para corte de barras	109
- Hornos para calentamiento y tratamiento termico	115
- Equipo para limpieza de piezas forjadas	132
5. DESARROLLO DE HERRAMIENTAS Y PROCESO PARA FABRICAR UN ENGRANE	142
7. CONCLUSIONES	149
8. BIBLIOGRAFIA	152

## 1. INTRODUCCION

La idea de agrupar en un solo texto el conjunto de información referida a la forja como proceso de manufactura, surge como consecuencia de la experiencia vivida durante la primera parte de vida profesional.

No resulta fácil encontrar en nuestro idioma un compendio en el cual se dé una idea completa del alcance y magnitud de esta técnica. Por ese motivo es que surge como idea la posibilidad de hacer una aportación desde el punto de vista de la investigación bibliográfica y del plasmado de una experiencia eminentemente práctica en este trabajo de tesis.

Por la forma en que estan agrupados los temas se facilita la obtención de una idea general o de conjunto en los antecedentes, yendo desde el enfoque histórico hasta las ventajas técnicas del proceso desde un marco de referencia lo suficientemente amplio como para permitir la clara fijación de los conceptos generales.

El punto tres hace una amplia explicación del campo de la aplicación de las piezas forjadas para pasar posteriormente a definir cada una de las operaciones más usadas dentro del proceso de forja. Como parte del cuarto punto se mencionan los criterios básicos para la selección de un procedimiento de forja.

El punto cinco hace una descripción completa de los distintos tipos de equipo disponibles para la manufactura de partes forja

das así como también cálculos referidos a sus capacidades de deformación. Casi tan importantes como el equipo de forja propiamente dicho resultan los dispositivos y máquinas auxiliares que son analizados en la última parte de éste capítulo.

Finalmente el capítulo seis explica paso a paso cuales son las diferentes etapas y procesos requeridos para la manufactura de una pieza determinada.

La idea es que este trabajo cumpla la función de explicar y clarificar conceptos que durante la carrera se ven independientes y que en la experiencia práctica aparecen formando parte de un esquema mucho más amplio en el cual las interrelaciones de procesos son muy estrechas y complejas.

De esta manera se sintetiza el conocimiento teórico y la experiencia práctica en esta muy importante rama de la industria metalmeccánica.



## 2. ANTECEDENTES.

### 2.1. Reseña histórica.

Forjar es la operación de deformar plásticamente y bajo -- control a los metales, en caliente o en frío, por medio de la aplicación de golpes o presión.

Desde tiempos remotos se habla de este proceso. La mitología griega por ejemplo, menciona que la espada de Aquiles fué -- forjada por Vulcano en las profundidades del Etna.

Ya en la realidad el arte de trabajar los metales en caliente se remonta a los años 1200 A.C., cuando los antiguos egipcios -- empezaron a fabricar objetos metálicos rudimentarios; se extendió después a Europa hacia el año 1000 A.C., a través de Italia Meri-- dional y los Balcanes. La técnica metalúrgica se reafirmó en el siglo VII A.C. con la elaboración del bronce en chapas más o menos delgadas para obtener escudos, yelmos, espaldares y cinturones. Se construyeron vasos y copas metálicas en lugar de los frágiles -- recipientes de tierra cocida, así como objetos de adorno, espadas, etc., ya en el año 300 A.C., muchos artesanos trabajaron el hierro.

En 1200 D.C., se difundió en Europa el sistema de "Forja -- en Paquetes" técnica importada del Japón para la fabricación de -- hojas de cuchillo; el sistema consiste en soldar un paquete de láminas de acero alternativamente dulce y duro por medio del proceso de forja. Este método se empleaba especialmente en Persia, Siria y España para la fabricación de las hojas de acero templado.

En el año de 133 D.C., prosperaban las fábricas de yelmos, corazas y escudos en Italia, España, Francia y Alemania. En esa misma época se difundió en Italia el arte del hierro batido, mediante el cual excelentes artesanos construyeron hermosísimos -- cancelos y hierros de barcas que llevaban grabadas ornamentas - con gran maestría.

A Leonardo da Vinci (1452-1519) se le considera como el -- iniciador de un gran desarrollo del proceso de forja por su proyecto de los martillos automáticos para la forja de los metales. Más tarde, en el siglo XVIII, se contruyeron mazos a "Vaiven" - movidos por ruedas hidráulicas. Con el descubrimiento del vapor se construyeron en 1838 los "Mazos a Embolo", donde el mazo era accionado por un cilindro provisto de caja de distribución. Más tarde, en vez del vapor se empleó el aire comprimido para -- accionar las mazas batientes de los martillos. Con estas nue-- vas máquinas se alcanzó un nuevo desarrollo en la elaboración en caliente de los diversos metales.

Los perfeccionamientos, que permitían forjar los metales - con más facilidad y el menor tiempo, eran propicios al desarro-- llo que estaban alcanzando los medios de transporte como locomotoras y automóviles alrededor del año 1890. Los "mecanismos" - requerían piezas de acero muy resistentes al desgaste, por lo -- que la forja en caliente sirvió como proceso adecuado para mejorar notablemente la resistencia mecánica de los metales. Con los perfeccionamientos que alcanzaron el automóvil, las locomoto

ras, los motores de navegación aérea, marítima y terrestres, -- nacieron verdaderas industrias organizadas en establecimientos -- mecánicos de producción en serie. De esto nació también la necesidad de extender los perfeccionamientos a la técnica de la -- forja en caliente, sobre todo en lo concerniente a la obtención de formas precisas; éste avance se realizó con el empleo de las estampas cerradas aplicadas en los martillos o prensas, permiti--- tiendo obtener partes en bruto con el mínimo sobre-material para maquinar y muy resistentes mecánicamente. En los últimos años el desarrollo en la industria de la forja está muy influenciado por los requerimientos cada vez más importantes y complejos de -- fabricación de componentes. Las necesidades presentes y futu-- ras de la industria aeroespacial, en partes tales como trenes de aterrizaje, soportes de fuselaje, ojiva, etc., el incremento en la demanda de sistemas estacionarios de potencia, turbinas para aviones y la cada vez más fuerte competencia requiere una continua adaptación de la tecnología encaminada a obtener piezas que satisfagan con mayor economía cada una de las aplicaciones espe-- cíficas.

## 2.2. VENTAJAS INHERENTES DEL PROCESO DE FORJA.

Durante siglos el proceso de trabajar en caliente los metales ha sido conocido y usado para asegurar resistencia, tenacidad, confiabilidad y alta calidad en muchos tipos de productos. Hoy las ventajas de los componentes forjados asumen mayor importancia dado que las cargas y tensiones aumentan y la confiabilidad y tenacidad se vuelven aún más críticas. Con el objeto de aclarar estos conceptos, la revisión de las ventajas fundamentales de los productos forjados se considera importante por las siguientes razones:

- Los componentes forjados han hecho posibles muchos diseños que responden a las grandes cargas y tensiones del mundo de hoy.
- Los recientes avances en la tecnología de forja incluyen algunos materiales en otro tiempo "inforjables", han incrementado grandemente el rango de propiedades disponibles en parte forjadas.
- Desde el punto de vista técnico, los productos forjados resultan más atractivos que nunca debido a la alta confiabilidad de producirlos con estrechas tolerancias y por la alta eficiencia con que las piezas forjadas pueden ser maquinadas y procesadas por métodos automáticos.

Así, estas ventajas pueden analizarse desde los siguientes puntos de vista:

#### Calidad de los Materiales.

En muchos casos el trozo a forjar ha sido previamente procesado por el proveedor del material para refinar la estructura granular del lingote, remover los defectos propios del proceso de fundición y mejorar la calidad de la estructura interna. Esto se logra generalmente por medio de procesos de rolado ó laminado con los que se reduce la sección transversal del material eliminando posibles porosidades, refinando la estructura cristalina del metal base, y orientando algunas segregaciones no metálicas y de aleación en la dirección del laminado.

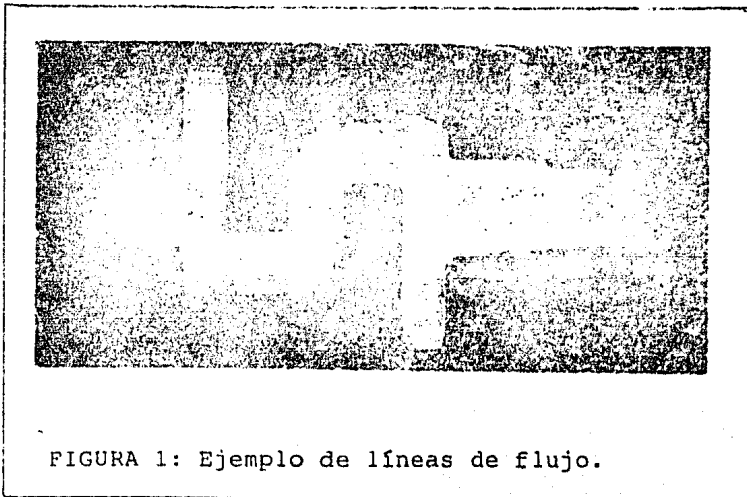


FIGURA 1: Ejemplo de líneas de flujo.

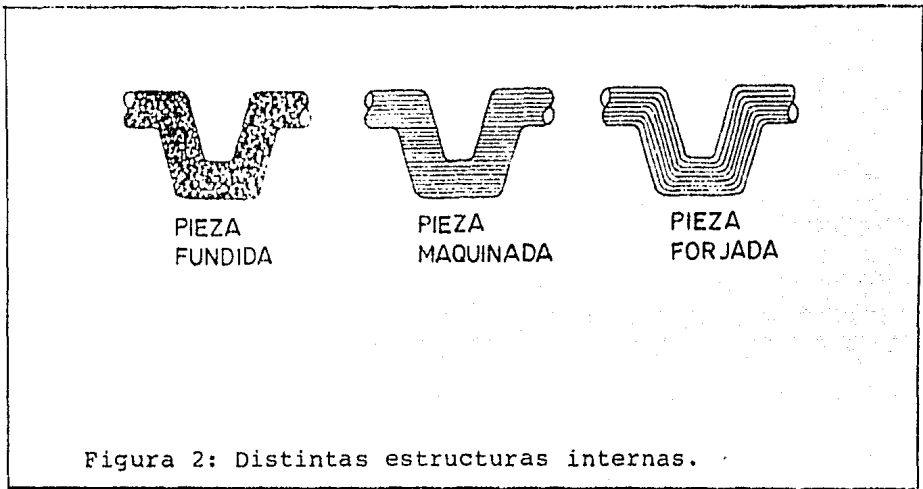
Este alineamiento direccional, que puede observarse en la figura anterior se conoce como "Líneas de Flujo". De alguna manera estas líneas de flujo producen características en propieda-

des tales como la tensión, ductilidad, y resistencia al impacto y fatiga. De esta forma el proceso de forja emplea esta direccionalidad para brindar una especial e importante ventaja por medio de la orientación de las líneas de flujo en la pieza producida, de manera tal que aquellas se encuentran en la dirección con mayor requerimiento de resistencia. El posicionamiento de estas líneas de flujo en la parte forjada se logra durante los sucesivos pasos del proceso y está definido por las características del dado de forja. La materia prima a utilizarse en el proceso de forja es regularmente controlada por medio de análisis químico, micro-estructuras, macro-estructura, ultrasonido y pruebas mecánicas para asegurar la ausencia de porosidades, segregaciones y otros defectos.

#### MEJORA DE PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS.

Otros beneficios obtenidos durante el proceso de forja -- son una recristalización y refinamiento de granos que ayudan a obtener una óptima respuesta al tratamiento térmico. Así es posible desarrollar la máxima resistencia potencial de un material en particular, con un mínimo de variación de propiedades entre pieza y pieza. Debido a la gran resistencia y ductilidad en determinados materiales, así como la uniformidad en composición química y fineza de grano, las partes forjadas durante su proceso, no están sujetas a cambios en su estado o en volumen como lo están las fundiciones durante la solidificación. Cuando está adecuadamente desarrollado el proceso de forja, las líneas de flujo siguen el perfil de la pieza forjada. En

contraste con lo anterior las barras y placas tienen las líneas de flujo orientadas en una sola dirección y los cambios en el contorno implican cortes en estas líneas exponiendo los extremos de éstas y haciendo el material más susceptible de fatiga y más sensible al efecto de las tensiones.



Además, las piezas diseñadas a la forma final aproximada, hacen posible una mejor utilización del material que en el caso de las partes maquinadas a partir de barra o placas. El grado en el cual la pieza forjada se aproxime a la configuración de la pieza terminada depende de la decisión de gastar relativamente más dinero por dados de forja más elaborados y relativamente menos dinero por maquinados subsecuentes ó viceversa. Los componentes forjados son también más resistentes que las piezas soldadas dado que la eficiencia de la soldadura, rara vez alcanza el cien por ciento y además porque las soldaduras nunca quedan libres de porosidades.

### 3. APLICACION DE LAS PIEZAS FORJADAS

Las piezas forjadas son producidas para usarse virtualmente en cualquier rama de la industria. Los avances en esta tecnología han expandido el rango de formas, tamaños y propiedades disponibles en los productos forjados. Por conveniencia, las aplicaciones típicas pueden ser divididas en 13 categorías básicas de acuerdo a las industrias o mercados, como se aprecia en el siguiente cuadro:

#### MAYORES USUARIOS DE PRODUCTOS FORJADOS

(Porcentaje de Ventas en E.E.U.U., 1965-1969)

Automóviles y camiones (excepto motores)	20.5 %
Partes para motores y turbinas	15.4 %
Partes para aviones	13.2 %
Equipo para construcción, minería y manejo de materiales	12.2 %
Armas	11.4 %
Agricultura	4.2 %
Potencia	4.0 %
Valvulas y conexiones	3.1 %
Equipo Ferroviario	2.8 %
Petroquímica	2.0 %
Maquinas especiales para la industria	1.0 %
Bombas y compresores	0.9 %
Turbinas de vapor	0.5 %
Otros	8.8 %
T o t a l	100 %



Las forjas, particularmente aquellas de aceros aleados y al carbón son utilizadas en muchas aplicaciones vitales en vehículos automotrices. Las características de resistencia, confiabilidad y economía importantes en muchas aplicaciones mecánicas son particularmente críticas en este caso. Debido a su inherente resistencia y confiabilidad los componentes forjados son comunmente encontrados en puntos de impacto y esfuerzo, así muchos modelos de autos y camiones contienen hasta 250 piezas forjadas. Los ejemplos familiares son los componenetes de motor y transmisión tales como bielas, ejes de transmisión y engranes de diferencial, flechas motrices, volantes, juntas universales, etc.. Partes tales como barras de torsión, brazos pitman, brazos de dirección, eslabones etc. representan ejemplos del uso extensivo de la forja en la industria automotriz. En particular estos últimos son llamados piezas de seguridad y están diseñados para tener resistencia particularmente alta en esta aplicación.

La relación resistencia-peso y confiabilidad es esencial en los componentes estructurales para las aplicaciones de la industria aeroespacial dado que el uso eficiente de los materiales puede influir favorablemente en las características de desempeño de aviones, helicópteros, etc.. Muchos tipos de aviones están literalmente "Diseñados Alrededor" de forjas, dado que contienen más de 450 forjas estructurales independientes de los cientos de partes forjadas que contienen los motores. Las partes estructurales en estos casos generalmente están fabricadas de distintas aleaciones de titanio, aluminio y acero de alta resistencia. Los motores de estos aviones dependen en gran medida

de partes que tengan gran resistencia y confiabilidad a elevadas temperaturas de operación. En una turbina por ejemplo, coples, discos, aletas, anillos, cámaras, etc., son forjadas de aleaciones con base de acero, níquel, cobalto y otros metales.

En el caso de los vehículos espaciales es común encontrar partes forjadas a partir de materiales tales como titanio, columbio, superaleaciones y materiales refractarios. Para equipos de movimiento de materiales es muy importante contar con piezas de alta resistencia, tenacidad y maquinabilidad, así además de los componentes forjados de motor y transmisión se observan piezas tales como engranes, catarinas, levas, flechas, husillos, rótulas, yugos, etc.. Las pistas de los vehículos de orugas por si solas contienen cientos de forjas individuales, similares características son requeridas en la manufactura de piezas para implementos agrícolas, de esta manera se encuentran piezas forjadas tales como ganchos, discos de arado, cuchillas, zancos, etc.. En el campo de las válvulas y conexiones las forjas son ampliamente usadas. Sus propiedades mecánicas y la ausencia de porosidades las hacen especialmente adecuadas para aplicaciones de alta presión. Regularmente suelen forjarse bridas, cuerpos de válvulas, tees, reductores y otras conexiones de materiales resistentes a la corrosión y al calor. En el campo de las aplicaciones de la industria de la minería se observan piezas forjadas tales como brocas, barrenas, trépanos y una gran variedad de accesorios para la perforación. Los ferrocarriles también utilizan gran variedad de piezas forjadas, particularmente de materiales ferrosos. Normalmente pueden encontrarse

partes tales como ejes, centros de volantes, asientos de baleros, etc..

Virtualmente todos los tipos de motores estacionarios y máquinas-herramientas usan partes forjadas. Los motores estacionarios incluyen normalmente piezas forjadas tales como cigueñales, bielas, arboles de levas, válvulas, engranes y eslabones. En el caso de los equipos industriales se consumen anualmente toneladas de forjas en sistemas de manejo de materiales, transportadores y ensambles de cadena de transporte.

La palabra "Forjado" ha sido tradicionalmente marca de calidad en herramienta de mano. Ejemplos comunes de esta aplicación pueden ser: pinzas, martillos, llaves, implementos de jardinería, etc. la resistencia al impacto, a la tensión y a la fatiga unida a una excelente apariencia son importantes en estos casos. Por esta razón el proceso de forjar un estandar de calidad en estos productos desde siempre. Los mismos conceptos anteriores son válidos para productos relacionados al campo de la instrumentación quirúrgica. Este repaso de aplicaciones nos da una idea de los millares de diferentes productos disponibles de la industria de forja. Cabe --mencionar que día a día la lista de aplicaciones se incrementa invariablemente.

#### 4. EL PROCESO DE FORJA.

##### 4.1. Distintos Procedimientos de Forja en Caliente.

Con el término "Forja" entendemos algunos procesos por los cuales, actuando una fuerza dinámica o gradual, se imprime una forma diversa de la inicial a una masa de material metálico previamente calentada a una temperatura adecuada. Los procedimientos más comunes son:

-Forja libre ó abierta

-Forja cerrada

-Recalcado

-Martillado

-Electrorrecalcado

-Rolado

-Forja libre ó abierta.

Este proceso puede realizarse en martillo o prensa con ayuda de herramientas genéricas, como lo son tenzas, herramientas tronzadoras y punzones de agujerear. La forja libre no se considera como procedimiento rentable para la producción en serie; más bien es un procedimiento que requiere la habilidad de operarios especializados los cuales, como artistas, transforman los lingotes en formas según un diseño en máquinas especiales, por ejemplo: martillos de golpe, recalcadoras, laminadoras con rodillos perfilados para desbaste, etc. Por tanto se conside-

ra como forja libre al procedimiento de deformación plástica en caliente, donde el material tiene la posibilidad de fluir libremente sin estas vinculando a paredes completamente cerradas.

#### -Forja cerrada.

Se diferencia de la forja abierta o libre por las herramientas especiales que se utilizan a fin de imprimir al material calentado una forma bien definida, con una dimensión constante y una superficie bastante lisa y uniforme, esta operación se realiza mediante la interposición de un juego de matrices entre el pilón y el yunque del martillo, o de la prensa. De este modo, el material se deforma plásticamente en caliente en la matriz y adopta la forma incisa de la misma por acción indirecta del pilón que no está en contacto con el material. Dependiendo del equipo usado para este proceso tenemos que la "Operación de Forja en Martillo" se caracteriza como procedimiento dinámico mientras que la "Operación de Forja en Prensas" se considera como procedimiento estático.

#### -Recalcado.

Es una operación de deformación plástica que tiene como objeto transformar geoméricamente un trozo cilíndrico de barras aumentando en algunas partes la sección transversal. Esta transformación se realiza mediante varias herramientas específicas aplicadas a diversas máquinas como son: recaladoras horizontales, recaladoras verticales, prensas horizontales y verticales, tanto mecánicas como hidráulicas, etc.

### -Martillado.

Este procedimiento es el opuesto al recalcado y se utiliza para reducir algunas secciones en trozos cilíndricos de materiales previamente calentados. Las máquinas usadas para esta operación se llaman martilladoras y pueden ser tanto verticales - - como horizontales.

### -Electrorrecalcado.

Para éste proceso el material a deformar, generalmente un trozo cilíndrico, no se calienta previamente en un horno como - en la forja abierta o cerrada, si no que alcanza la temperatura de proceso en la misma máquina, que permite la transformación - de la energía eléctrica en energía térmica sobre la misma pieza. Esta, sometida a una presión axial, se deforma y aplasta sobre la matriz, progresivamente en forma de hongo a medida que se ca - lienta, hasta alcanzar una deformación determinada.

### -Rolado.

Es un procedimiento de preformado que generalmente antecede a una operación de forja en martillo o prensa, tiene como ob - jectivo desplazar ciertos volúmenes de material de la barra ori - ginal hacia secciones en las que se requiera una mayor concen - tración, dependiendo de las características de la pieza deseada.

#### 4.2. Ciclo genérico de las piezas forjadas en caliente.

Aunque los elementos que se han de forjar en caliente pueden adoptar las formas y dimensiones más diversas, existen algunas operaciones que son comunes a todos los procedimientos de forja anteriormente mencionados. Estos procesos comprenden -- básicamente los siguientes pasos:

- Corte
- Calentamiento
- Esbozado o preformado
- Forjado
- Corte de rebabas
- Tratamiento térmico
- Limpieza o decapado
- Acuñado
- Control

El "corte" del trozo de material para la pieza es fundamental para un buen resultado. En este paso se consideran puntos tales como peso de la pieza ya forjada, sección adecuada de la barra para posicionarse sobre las cavidades, pérdida de material por oxidación al calentar, si son piezas chicas, cuantas conviene sacar de un sólo corte, tamaño de la rebaba, etc.

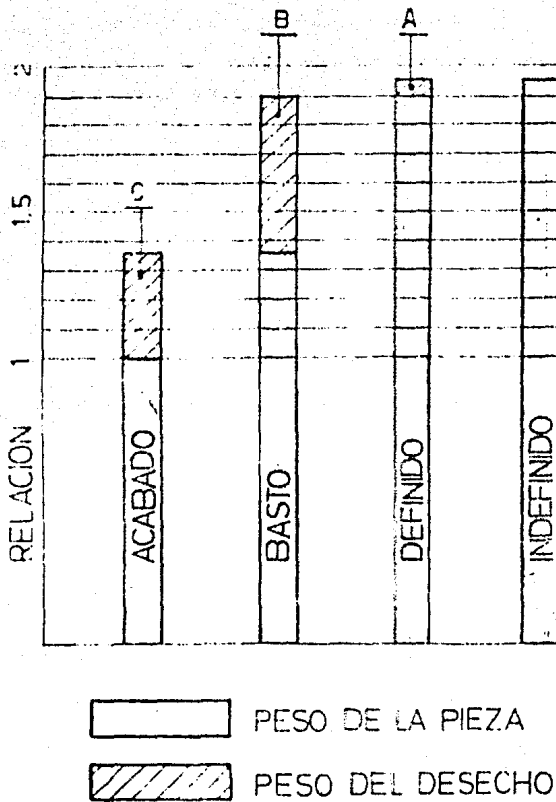


Figura 3: Representación gráfica de los desechos de material perdido con las diversas elaboraciones: A, material perdido por el corte del trozo de barra y por el porcentaje de residuo fondo de barra; B, material perdido durante la elaboración en caliente; C, material perdido durante el trabajo de arranque de viruta en las máquinas-herramientas.



En la operación de "calentamiento" se introducen los cortes en un horno, que puede ser de diversas características, dependiendo del tamaño y tipo del trozo. Estos pueden ser de gas, diesel ó combinado, aunque en la actualidad se están difundiendo con gran rapidez equipos de calentamiento por resistencia, inducción etc. La temperatura a que se eleva el material está definida por sus características propias y en general podemos decir que para aceros oscila entre 900 y 1150°C dependiendo de la composición química y sección.

El "esbozo o preformado" es el procedimiento previo al forjado y tiene como objetivos desplazar ciertos volúmenes de metal de la sección original de la barra hacia las partes en que la pieza final tiene concentraciones de material, por lo general se realiza en máquinas especiales para este fin (ver 5.5) también pueden realizarse en martillos normales, martilladoras, etc.

La operación de "forja" propiamente dicha es el paso consecutivo y básicamente consiste en colocar el trozo de material preformado, caliente a temperatura de forja sobre la media matriz inferior (en el caso de martillos y prensas) para ser sometido a deformación plástica. Esta deformación es consecuencia de la presión ejercida sobre la media matriz superior por el mecanismo de la máquina en cuestión.

Posteriormente se debe pasar a la siguiente operación que es "corte de rebabas", este puede realizarse en caliente o frío, dependiendo de su espesor. Esta rebaba se produce debido a que el material sobrante del trozo original fluye hacia afuera de las cavidades de la pieza, en la matriz y se distribuye alrededor de la línea de partición entre las dos estampas. Las máquinas típicas para esta operación son las prensas de recorte - en las que se montan punzones y matrices adecuados a cada pieza.

El siguiente paso es el "tratamiento térmico", su objetivo es lograr que las piezas alcancen un alto grado de homogeneidad estructural o lo que es lo mismo que no existan puntos con una dureza o características mecánicas diferentes dentro de la misma pieza. Los tratamientos más usuales son el recocido, -- que generalmente precede a cualquier maquinado por arranque de viruta y el normalizado para relevar esfuerzos internos provenientes de la forja.

Como consecuencia de los calentamientos sufridos en las distintas etapas del proceso se forman en la superficie de las piezas capas más o menos gruesas de óxido que deben ser removidas antes de cualquier paso posterior, esto se logra por medio del "decapado o limpieza" de las partes. Existen varias técnicas para lograr piezas perfectamente limpias destacándose en -- ellas chorro de arena (SAND BLAST), chorro de granalla de acero, baños de ácidos, ultrasonido, etc.

El proceso rutinario posterior a la limpieza es el - - - "acuñado" que tiene como finalidad calibrar algunos espesores - críticos en las partes, como así también enderezar secciones de la pieza que como consecuencia de haberse amontonado una sobre otra para enfriarse se doblan o deforman. Las matrices para acuñado deben ser construidas con mayor precisión y mejor que las de forja dado que son el último paso del proceso en el área de forja. Cabe mencionar que este trabajo se debe realizar en frío y las máquinas usadas son martillos o prensas especiales - para este propósito.

Finalmente, y dado que las piezas forjadas son generalmente aplicadas en mecanismos en los cuales la confiabilidad de la parte es fundamental, se realizan estudios de tipo dimensional, de dureza, flujo, estructura, etc. De esa manera es posible -- asegurar que las partes cumplan exactamente con los puntos críticos considerados en su diseño.

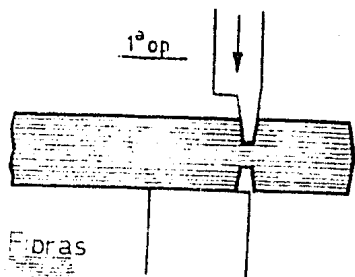
#### 4.3. Operaciones posibles de forja.

La configuración final de los elementos metálicos a producir depende de una o varias operaciones elementales de forja. En primer término serán mencionadas para luego desarrollar más ampliamente los conceptos de cada una, así tenemos como operaciones básicas a las siguientes:

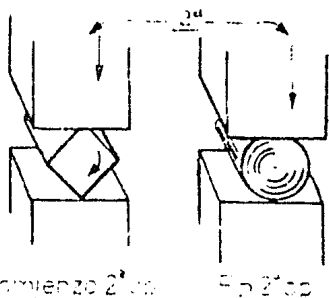
- Recalcado
- Doblado o plegado
- Tronzado
- Estirado
- Agujereado
- Aplanado
- Estrangulación
- Modelado
- Torcido
- Soldadura

#### - Recalcado.

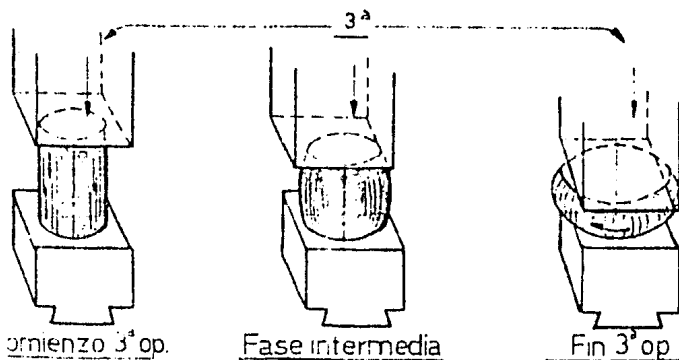
Consiste en aplastar, normalmente a las fibras, un trozo de barra con el fin de provocar un aumento de la sección transversal. Con este sistema se pueden obtener uno o varios discos de un tocho o lingote grueso, graficamente los distintos pasos serían los que se muestran en la figura No. 4.



- 1) Corte de tocho con peso igual al del disco a obtener.



- 2) Aplastamiento en diagonal de las aristas para redondear el tocho.



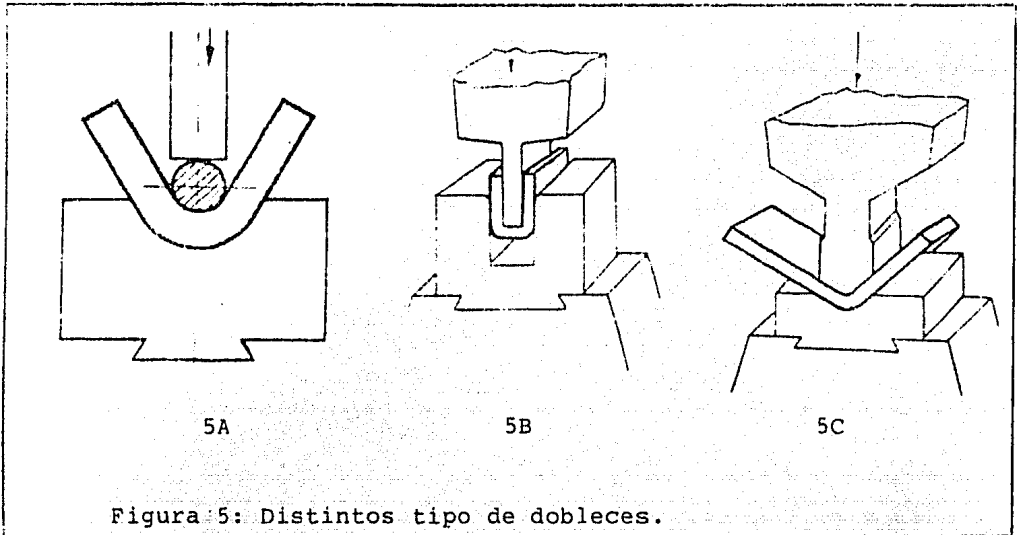
- 3) Aplastamiento normal a las fibras.

Figura 4: Secuencia de pasos para recalado.

Es importante tener presente que los mismos discos pueden obtenerse de una barra del diámetro final cortándolos por algún medio (torno, sierra, etc.), pero estos no tendrían condiciones de resistencia que como consecuencia de la forja obtienen los discos de las figuras anteriores. Estos se pueden también obtener por el recalado de un trozo de barra cilíndrica eliminando el segundo paso.

-Doblado.

Esta operación asume un papel muy importante como preliminar de preparación para el forjado de grandes series. Caben dentro de esta clasificación las operaciones de forja que tienen por objeto "Curvar" según un determinado radio, ángulo o perfil a un trozo de material, la operación en sí puede realizarse tanto en martillo como en prensas considerando que en el primer caso se requieren una serie de golpes ligeros, mientras que en el caso de deformación en prensas el doblado se produce por la aplicación de una fuerza gradual y sostenida. Para esta aplicación se requiere el uso de matrices que teniendo la sección final deseada, forjan el material adaptando el perfil según diseño.

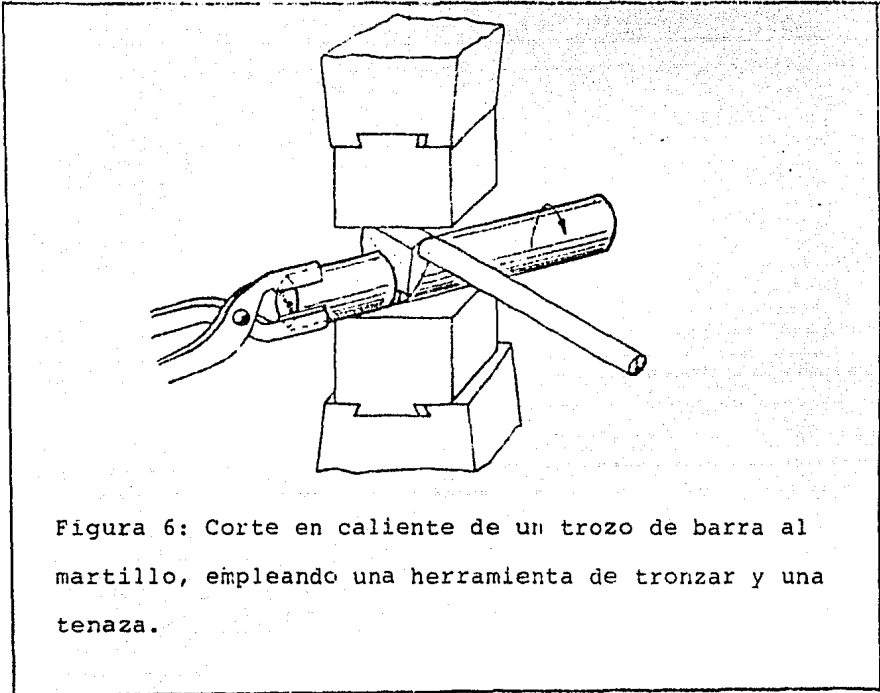


La figura 5A, muestra el doblado de una placa siguiendo - un determinado radio. En el caso de la figura 5B, se ve el - doblado de un perfil de sección "U". Finalmente la figura 5C, muestra el doblado, el ángulo de una placa en caliente por medio de estampas.

#### - Tronzado.

Las barras a los tochos pueden también cortarse en el martillo, empleando una herramienta en forma de cuchilla manejada a mano. La barra a cortar es calentada a la temperatura de forja y colocada sobre el yunque del martillo cogida con una tenaza, se hace girar gradualmente a cada subida de la maza, después del golpe que ésta ha dado a la herramienta, así, los golpes se suceden hasta el corte completo del trozo. El tronzado se puede efectuar más efectivamente disponiendo dos cuchi-

llas, una de las cuales va fija a la maza y la otra en junque, así puede obtenerse un excelente rendimiento de corte en esta operación.



-Estirado.

Pertenece siempre a las operaciones elementales de forja que se realizan en el martillo sin matrices especiales, consiste en extender el material longitudinalmente en el sentido de las fibras de modo que se alargue, reduciendo la sección y eventualmente cambiando la forma. Con la operación de estirado se obtiene una barra más larga y de menor diámetro partiendo de otra más corta y de mayor diámetro.



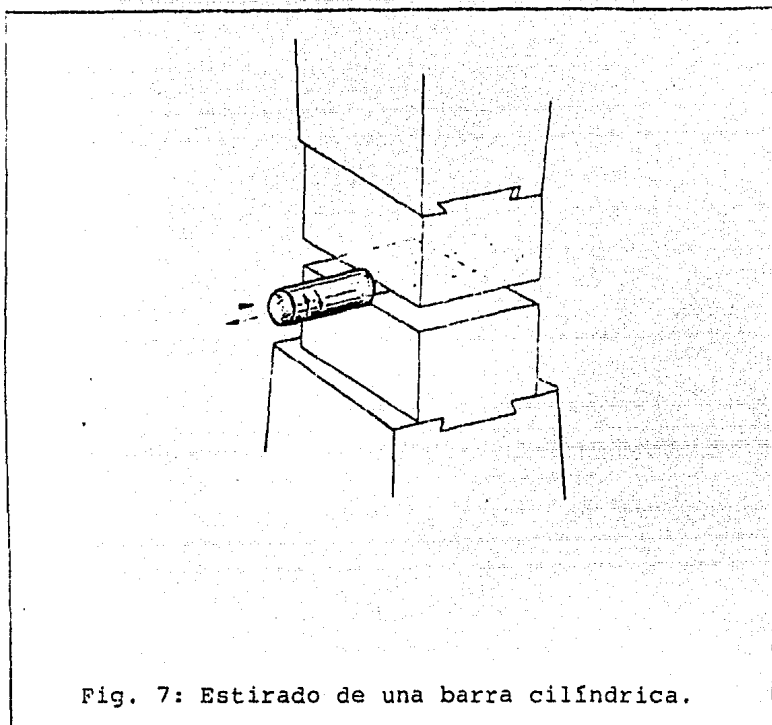


Fig. 7: Estirado de una barra cilíndrica.

En la figura siete se observa el estirado de una barra con un par de mazas planas aplicadas al martinete. La operación se desarrolla en martillo haciendo girar la pieza en un sentido y en otro durante la subida de la maza. Si se desea obtener una superficie más uniforme, es conveniente abarcar la pieza empleando dos moldes que tienen la huella semicilíndrica o semicónica, con estos moldes se pueden realizar operaciones completas. Para producir grandes cantidades de barras "estiradas" es bueno conocer que tal operación puede desarrollarse fácilmente con una máquina llamada Forjadora Vertical, ó Martilla

dora que permite efectuar el martillado mediante tres macetas; éstas actúan simultáneamente y concéntricamente de modo que realizan el estirado de la barra mientras ésta gira alrededor de su eje y avanza gradualmente pasando por los tres martillos. Con dicha máquina se obtienen árboles cilíndricos ó cónicos, -- con un mínimo de material sobrante además de presentar una superficie regular y lisa. Una barra de sección rectangular puede estirarse con el fin de alargarla reduciendo la sección, -- dicha operación se realiza en martillo o prensa empleando un simple punzón redondeado mediante una sucesión de golpes, que son aplicados a la barra mientras ésta se desplaza según un paso muy fino que produce el estiramiento gradual del material.

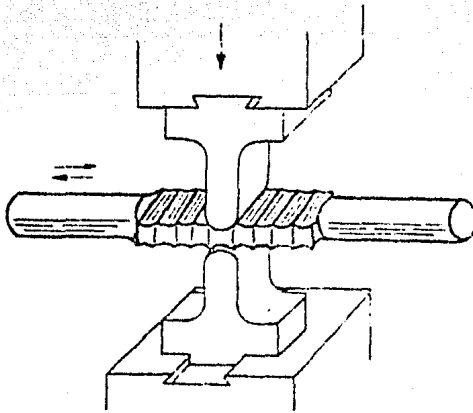


Fig. 8: Estirado central de una barra.

En la figura ocho se observa el estiramiento central de un trozo de barra cilíndrica para estrecharla cambiando también la forma de la sección, de circular a rectangular.

#### Agujereado.

Esta operación tiene por objeto practicar un agujero en una masa de metal previamente calentada a la temperatura de forja. En general se recurre a herramental sencillo constituido, por un punzón o punta y por una placa que puede llamarse matriz aplicados en martillos o prensas.

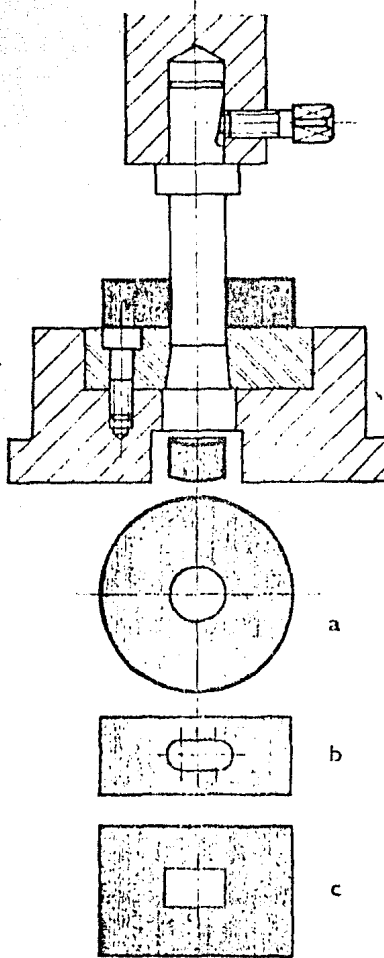


Figura 9: Disposición genérica de punzon y matriz.

En la figura nueve se observa la disposición genérica de punzón y matriz. También se observan a) piezas con barrenado circular, b) piezas con barrenado oblongo y c) piezas con barrenado rectangular. Naturalmente, los agujeros pueden obtenerse de cualquier perfil, siempre que el punzón y la matriz estén contruidos con la correspondiente forma. La operación de agujerear es usada de modo amplio inmediatamente después del forjado de engranajes, bridas, etc., donde es preciso, eliminar la membrana central, como se observa en la figura diez.

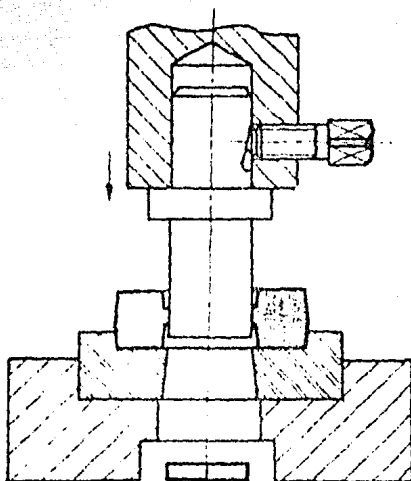


Figura 10: Agujerado de disco previamente forjado.

- Aplanado.

Es la operación mediante la cual es posible hacer planas las superficies irregulares de elementos ya sometidos a las operaciones de recalado, estirado u otras. Consiste en ejercer una presión sobre los planos deformados actuando dinámicamente en el martillo ó estáticamente en la prensa con un punzón plano.

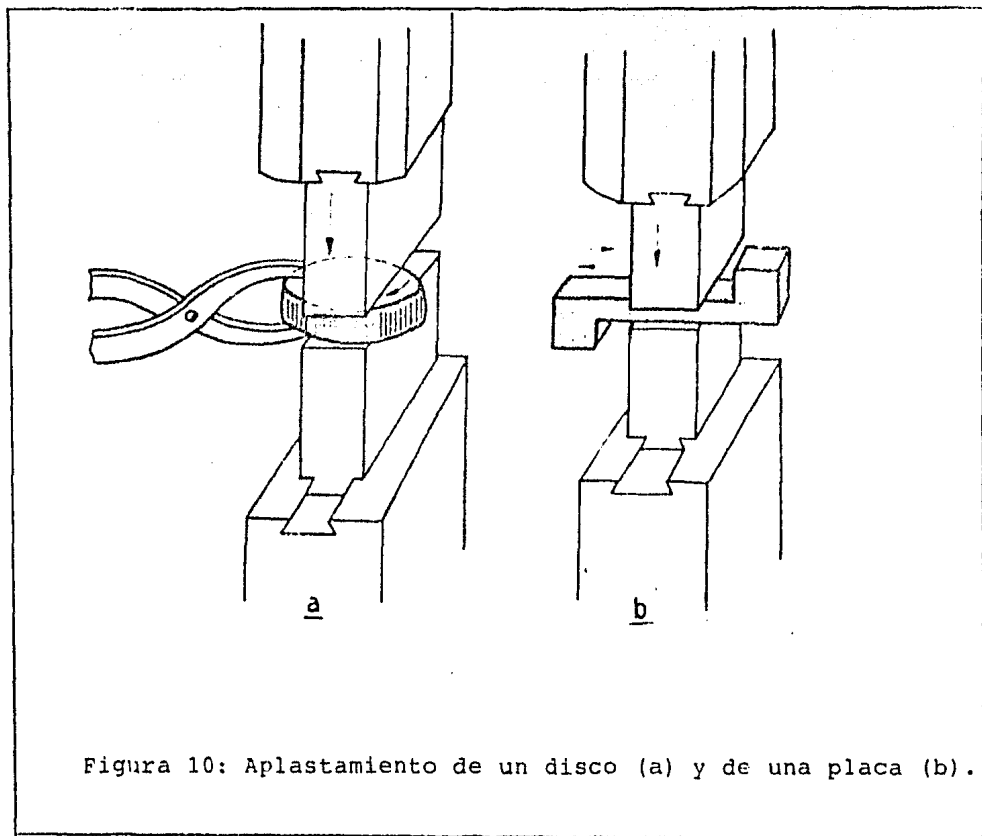


Figura 10: Aplastamiento de un disco (a) y de una placa (b).

- Estrangulación.

Consiste en practicar un surco transversal o periférico a un elemento de cualquier forma (barra, tocho, placa, etc.), de modo que reduzca, con la estrangulación el área de la - - sección.

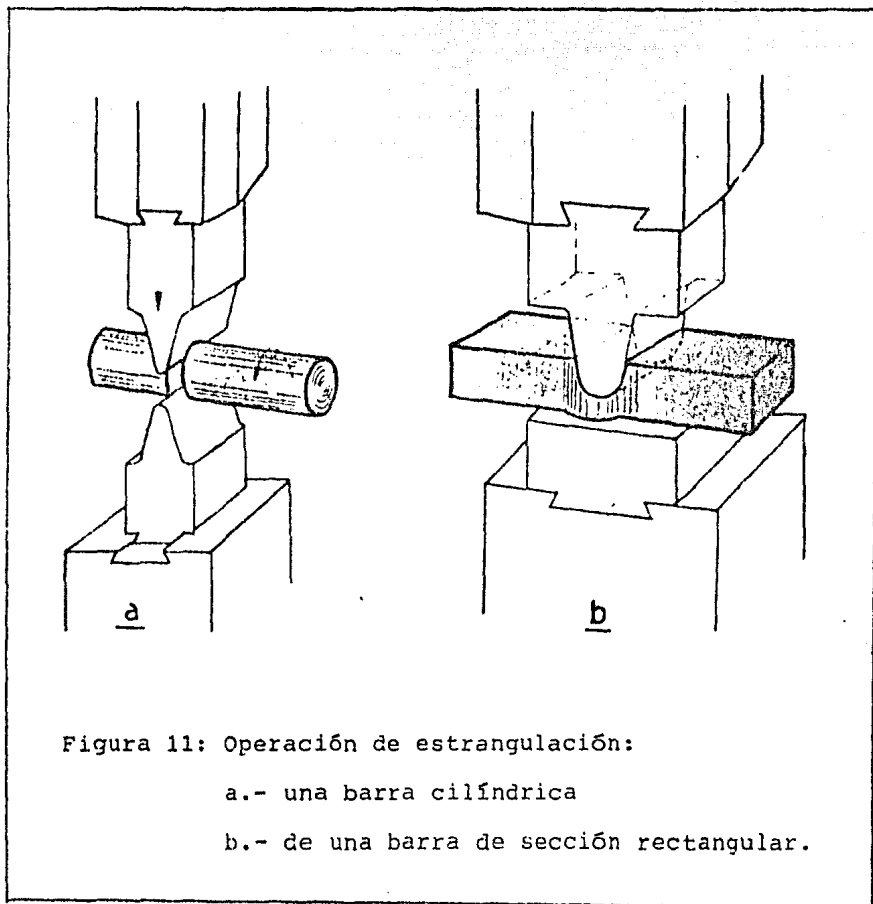


Figura 11: Operación de estrangulación:

a.- una barra cilíndrica

b.- de una barra de sección rectangular.

- Modelado.

Es la operación mediante la cual es posible formar piezas, valiéndose de matrices que llevan incisa la forma o perfil deseado, estas herramientas hacen que la operación de forja resulta más fácil y rápida, lo cual permite su empleo en lotes de producción medianos y grandes. Este procedimiento es empleado para el preformado y formado definitivo, mediante matrices aplicadas en martillos o en prensas.

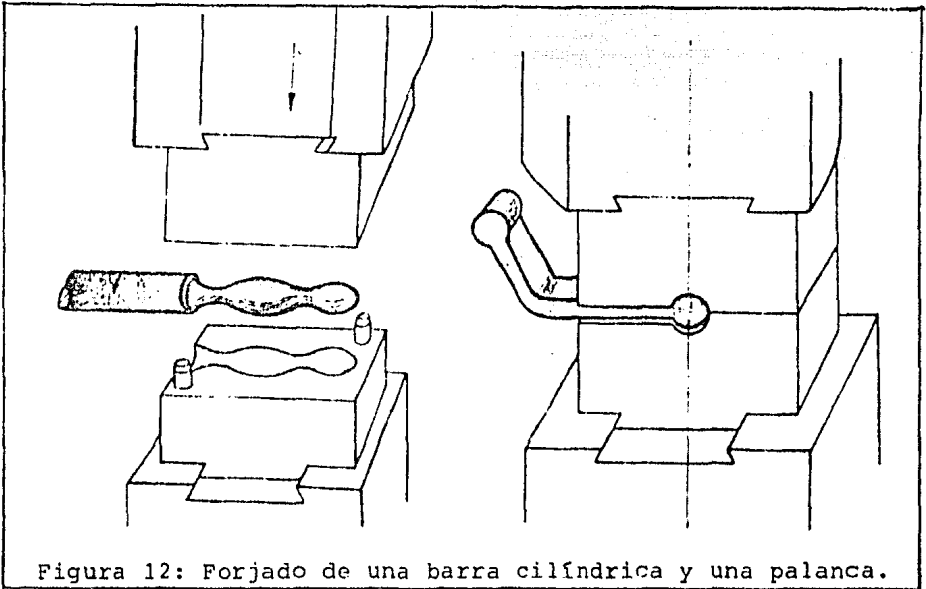


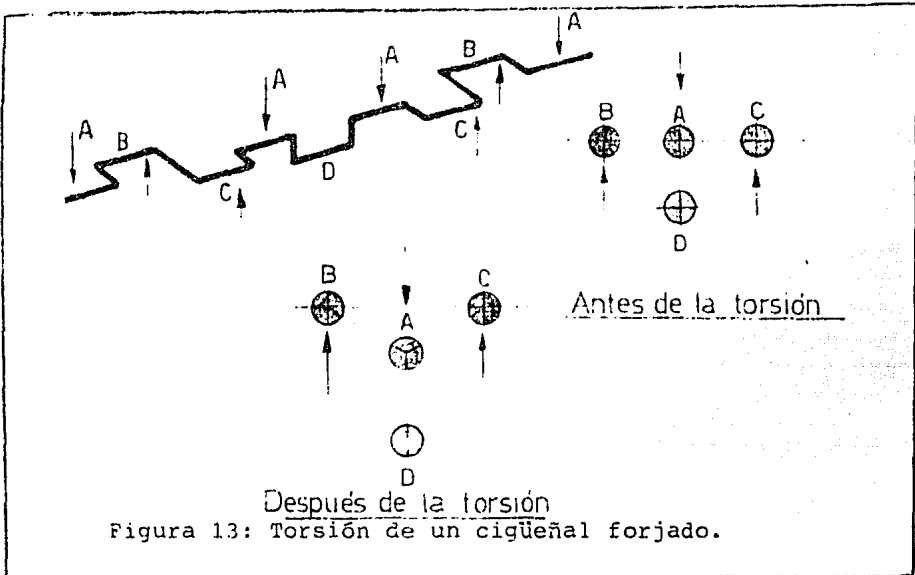
Figura 12: Forjado de una barra cilíndrica y una palanca.

En los esquemas se observan en primer término el formado de una barra inicialmente cilíndrica y en el segundo el forjado de los extremos de una palanca mediante la estampa aplicada al martillo.



## - Torcido.

Este nombre ya indica por si mismo la operación de torcer o hacer girar un ángulo, un elemento alrededor de su eje, a fin de modificar su figura geométrica.



Un cigüeñal como el de la figura, completamente forjado - con todas las manivelas sobre un plano único, puede hacerse girar alrededor de su eje, según un cierto ángulo, a fin de imponer a las manivelas la posición requerida según tres ejes. - Esta operación se obtiene después del desbarabado, empleado una matriz de torsión aplicada a una prensa hidráulica. Es evidente que este procedimiento se diferencia de la simple forja efectuada con los medios comunes; por otra parte la operación de torcido, no obstante que la acción se realice a mano o con ma-

trices, no presenta diferencias desde el punto de vista físico, varía desde el punto de vista económico porque, usando matrices, se realiza en menos tiempo y con más precisión.

#### -Soldadura.

Se llama también soldadura autógena a la forja porque el acero, llevado al color blanco, tiene la propiedad de ser autoadhesivo. En efecto si superponemos dos piezas de acero calentados previamente hasta el color blanco y las batimos a martillo (o a yunque), obtendremos una unión completa, insistiendo en que con la operación de batido, resultará un cuerpo único. Para eliminar la formación inicial de óxido sobre las superficies próximas (perjudicial para la unión) hay que protegerlas con plaquitas desoxidantes de borax. La operación debe realizarse con rapidez y destreza, este procedimiento ha sido expuesto para ilustrar una aplicación que, aunque no tiene un interés de carácter industrial, pone en evidencia el principio de la soldadura. Hoy naturalmente, se recurre al sistema de soldadura autógena o de arco eléctrico.

#### 4.4. Criterios de selección de un procedimiento de forja.

Los distintos procedimientos de forja mencionados en 4.1. se ajustan para distintos tipos de piezas. Con el objeto de aclarar más el campo de aplicación de cada uno diremos que el proceso de forja libre ó abierta resulta apropiado cuando:

- Las cantidades de piezas son pequeñas
- La mejor resistencia mecánica es importante
- Se requiere obtener una forma aproximada, no muy exacta, de las piezas.
- Es necesario preformar elementos antes de proceder a la forja cerrada.
- Resulta necesario habilitar lingotes, transformarlos en cuadrados, hexágonos, etc.

De igual forma la forja cerrada se recomienda para:

- Lotes medianos y grandes de producción
- En piezas que no exceden de un tamaño regular (más de 50 Kg).
- Formas muy complicadas
- Lograr homogeneidad interna en las piezas.

#### 4.5. Condiciones y temperaturas de forja de algunos materiales metálicos.

Para el buen resultado de la elaboración plástica de forja, es necesario realizar la operación completa con aquellos -- criterios técnicos que interesan no tan solo para el logro de -- una temperatura adecuada, sino también para la elección de los materiales, el modo de calentarlos y deformarlos después. -- Generalmente deben emplearse las barras laminadas en especial -- para las aleaciones ligeras. Los materiales preparados por -- fusión, incluido el acero, pueden contener cavidades (o sopladu -- ras) que influirán sobre la resistencia mecánica por la forma -- ción de hendiduras.

También es preferible la elección de materiales con la -- estructura formada por pequeños granos y distribuidos uniformemente.

A continuación se enlistan algunos materiales y sus temperaturas normales de forja.

ACEROS AL CARBON Y ALEADOS	TEMPERATURA °C
1010	1315
1030	1280
1030	1280
1040	1250
1050	1215

## ACEROS AL CARBON Y ALEADOS

TEMPERATURA ° C

1070	1140
4120	1200
4140	1200
6150	1215
8620	1200

## ALEACIONES DE ALUMINIO

145	440
255	460
615	470

## ALEACIONES DE MAGNESIO

AT35	426
AZ61X	370

## ALEACIONES DE COBRE

Cobre	815
Bronce	840

## ACEROS INOXIDABLES

302	1170
304	1170
410	1120
416	1175

## 5. EQUIPO USADO EN EL PROCESO DE FORJA

Al considerar las distintas operaciones referentes a este proceso, analizados en el capítulo anterior, se está en condiciones de escoger una para la aplicación específica en la manufactura de determinada pieza. En función de dichas exigencias, deben emplearse máquinas apropiadas y capaces de ejercer adecuadamente una fuerza sobre el material. Es evidente que, para satisfacer toda la técnica de la elaboración plástica en caliente, se han tenido que diseñar máquinas en una amplia gama de tipos, adecuados a cada problema. En una primera clasificación, podemos hacer siete grandes grupos de máquinas:

- Martillos
- Prensas
- Recalcadoras
- Martilladoras
- Electrorrecalcadoras
- Roladoras
- Otras máquinas especiales

### 5.1. Martillos

Las primeras máquinas que tomaremos en consideración serán martillos porque son los más antiguos en la tecnología de la deformación plástica de los metales y han constituido la base del-

desarrollo de esta técnica de producción. Efectivamente, éstas - han sufrido una gradual y progresiva transformación que parte del sistema de elevación de la maza por medio del agua, hasta la elevación oleodinámica y de doble efecto. En los martillos se utiliza la fuerza viva de la maza al caer sobre el material. En el momento del choque la maza está dotada de una cierta velocidad final que determina una fuerza deformadora como consecuencia de su empuje cinético. Los martillos se clasifican atendiendo a su método de accionamiento en:

- Caída libre
- De doble efecto
- De contragolpe

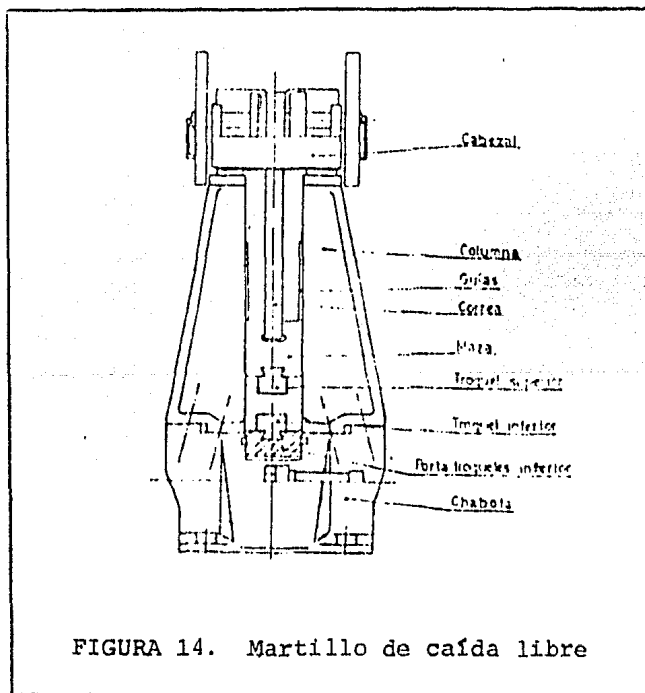
#### 5.1.1. Martillos de caída libre:

Su principio de operación consiste en elevar una maza a determinada altura y luego dejarla caer. La energía potencial gravitatoria acumulada en la elevación, se transforma en energía cinética en la caída. Para amortiguar el golpe, se dispone de una pieza que hace las funciones de la maza de las prensas, que se denomina yunque y que es mucho más pesada que la maza. A la maza y el yunque se sujetan los portatonqueles respectivos y a éstos los troqueles. La maza, en su caída, es guiada por "guías" apropiadas - sujetas a las "columnas" del martillo. El mecanismo de elevación de la maza suele estar emplazado encima de las columnas y constituye la parte de la máquina que se denomina "cabezal". Dependiendo-

de la naturaleza del mecanismo del cabezal, existen martillos de -  
caída libre de:

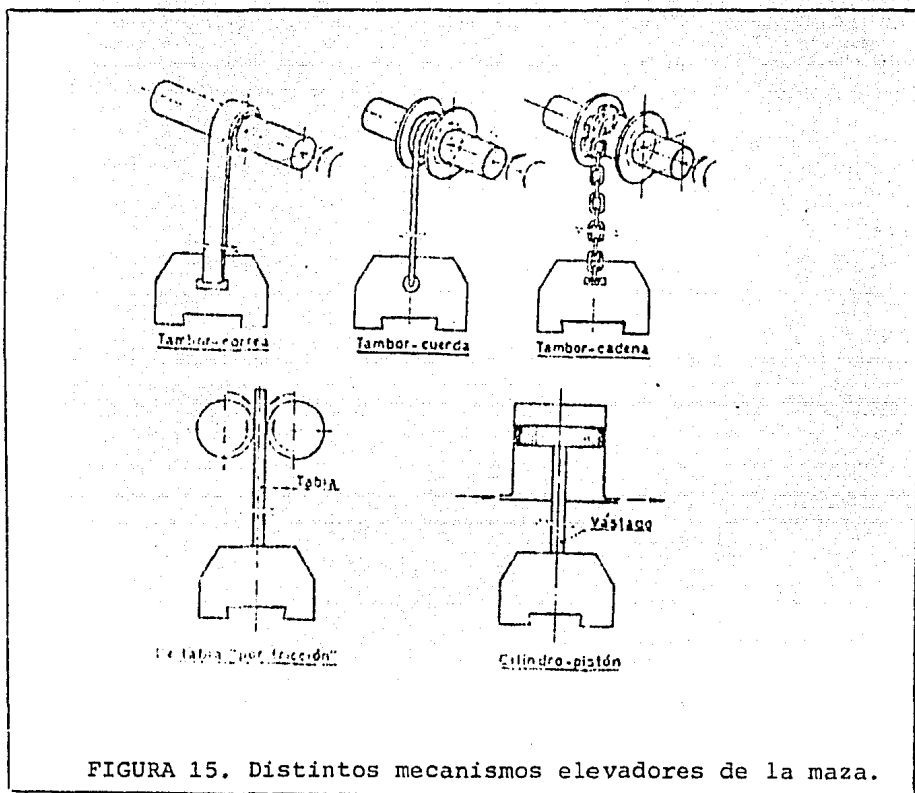
- Tambor y correa
- Tabla de madera
- Hidráulicos
- Aire comprimido
- De motor lineal

En la figura catorce puede verse un esquema de un marti-  
llo de caída libre mostrando sus partes fundamentales.





En la figura quince aparecen los distintos mecanismos -- elevadores de la maza, representados de manera gráfica.



Los dispositivos de elevación a base de motor líneal son de muy reciente desarrollo; consisten en la aplicación directa de un motor líneal, cuyo inducido va unido a la maza en movimiento.

Trabajo desarrollado por el mecanismo de un martillo de caída libre.

El trabajo desarrollado en un martillo de caída libre depende principalmente del peso del mecanismo de caída (maza, dados de forja, órganos de elevación) y de la velocidad final en el momento del choque. En los martillos de caída libre puede hablarse de altura; para la introducción de la velocidad final es válida también para los otros tipos de martillos por lo tanto tenemos que:

L = Trabajo realizado por el mecanismo de caída, en Kgm.

Q = Peso, en Kg, del mecanismo de caída

H = Altura de caída sobre el material M.

$M = \frac{Q}{G}$ , Masa del mecanismo de caída

G = Aceleración de la gravedad (9.81 m/seg<sup>2</sup>)

V = Velocidad final m/seg. de la masa en el momento del choque.

El trabajo será:

$$L = \frac{M \cdot V^2}{2}$$

Y la velocidad:

$$V = \sqrt{2 G H}$$

Por lo que:

$$V^2 = 2GH$$

Sustituyendo valores de  $M$  y  $v^2$  tenemos:

$$L = \frac{Q}{G} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2GH$$

Por lo tanto:  $L = Q \cdot H$

Rendimientos del martillo de caída libre.

En los martillos de caída libre tiene gran importancia - la relación  $\frac{Q_i}{Q}$  en la determinación de los mazos, donde:

$Q_i$  = Peso del yunque en Kg;

$Q$  = Peso del mecanismo de caída en Kg.

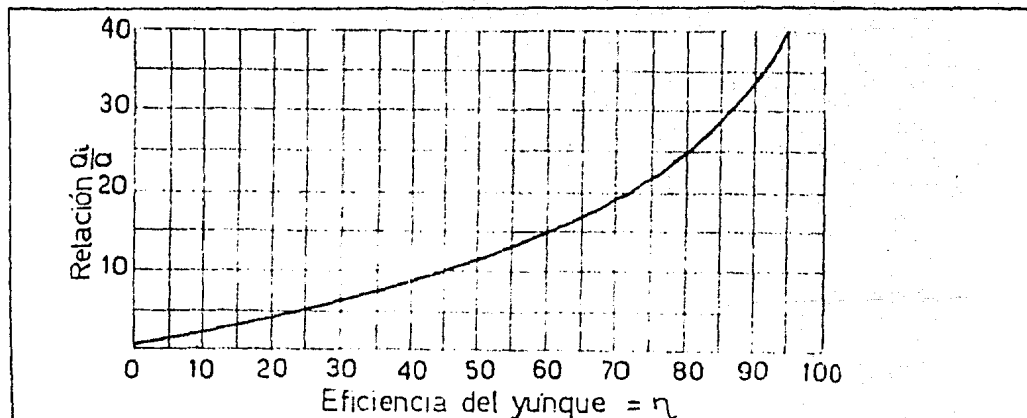


DIAGRAMA 1. Eficiencia del yunque de un martinete a caída libre en función de:

$$\frac{Q_i}{Q} = \frac{\text{peso del yunque}}{\text{peso del mecanismo que cae}}$$

En el diagrama uno resulta evidente el aumento de la eficiencia del yunque al aumentar la relación  $Q_1/Q$ .

Para $Q_1/Q = 1$ ;	eficiencia	$N = 0$
" = 10;	"	$N = 45\%$
" = 20;	"	$N = 72\%$
" = 30;	"	$N = 87\%$ relación más usual.
" = 00	"	$N = 100\%$ límite teórico.

Por lo tanto el trabajo utilizado estará expresado - por:

$$L_u = Q \cdot H \cdot \eta$$

que tiene en cuenta el porcentaje de trabajo que absorbe el yunque y los rozamientos de la masa entre las guías por las que se desliza.

-Fuerza que actúa sobre el material.

Para conocer la fuerza media que actúa sobre el material hay que tener en cuenta que el aplastamiento del material

se suma al retroceso del yunque, por lo cual la fuerza media  $P_{md}$  necesaria para el aplastamiento del material y el retroceso del yunque está basada en el siguiente diagrama:

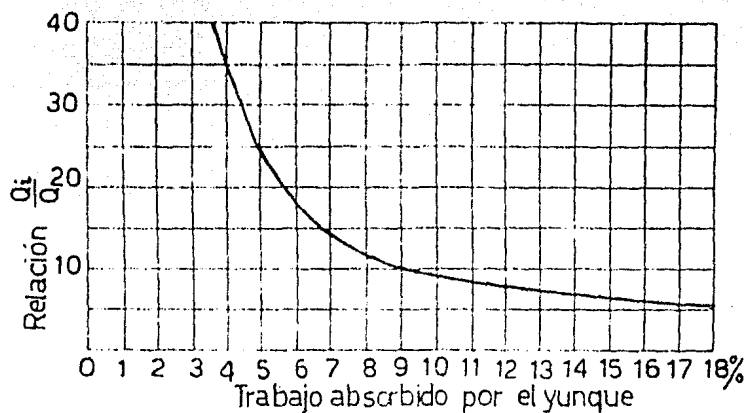


DIAGRAMA 2. Trabajo absorbido por el yunque en un martillo a caída libre en función  $Q_i/Q$ .

Llamando:  $C$  = Retroceso en mm. del yunque, teniendo en cuenta la solidéz del basamiento y del pavimento sobre el que está emplazado.

$L_i$  = Trabajo en Kgm. absorbido por el yunque

$L$  = Trabajo total en Kgm: proporcionado por el mecanismo de caída desde la altura  $H$  en m. y de peso  $Q$  en Kg.

$S$  = Aplastamiento en mm. del material por el choque recibido por la masa.

$P_{md}$  = Fuerza media en Kg., necesaria para provocar el desplazamiento total  $C + S$ .

$P$  = Fuerza máxima en Kg. que actúa sobre el material.

Podemos decir que:  $C = L_i / Q_i$ .

Por otra parte, el mecanismo de caída de peso  $Q$  produce un trabajo total teórico.

$$L = Q \cdot H$$

de éste podemos sacar la fuerza máxima  $P$  que actúa sobre  $C$  y  $S$ .

$$P = (L - L_i) / C$$

ahora conociendo la fuerza máxima, el aplastamiento y el retroceso del yunque, podemos definir:

$$P_{md} = ( L - L_i ) / ( C + S )$$

de todo lo que hemos expuesto hasta ahora resulta evidente que para forjar los metales duros, donde se requiere fuerzas específicas - muy elevadas, se prefieren martillos con una relación  $Q_i/Q$  normal, ya que son más económicos.

-Martillos de caída libre con correa de levantamiento de la masa.

Se caracterizan por el modo de levantar la maza por medio de una banda que puede ser de cuero o de tejido especial. Estos - martillos de caída libre, llamados también "bertas" son las máquinas más extendidas para el forjado en caliente de elementos en acero. Las masas de estos tipos de martillos, construidos de varios tamaños, pueden pesar desde 50 Kg. para los más pequeños, hasta 300 Kg. para los de mayor tamaño; la altura de caída puede ser de 1400 a -- 2200 milímetros; el número de golpes varía de 40 a 30 por minuto. El martillo pequeño pesa 2,350 Kg. y el mayor 75,000 Kg.

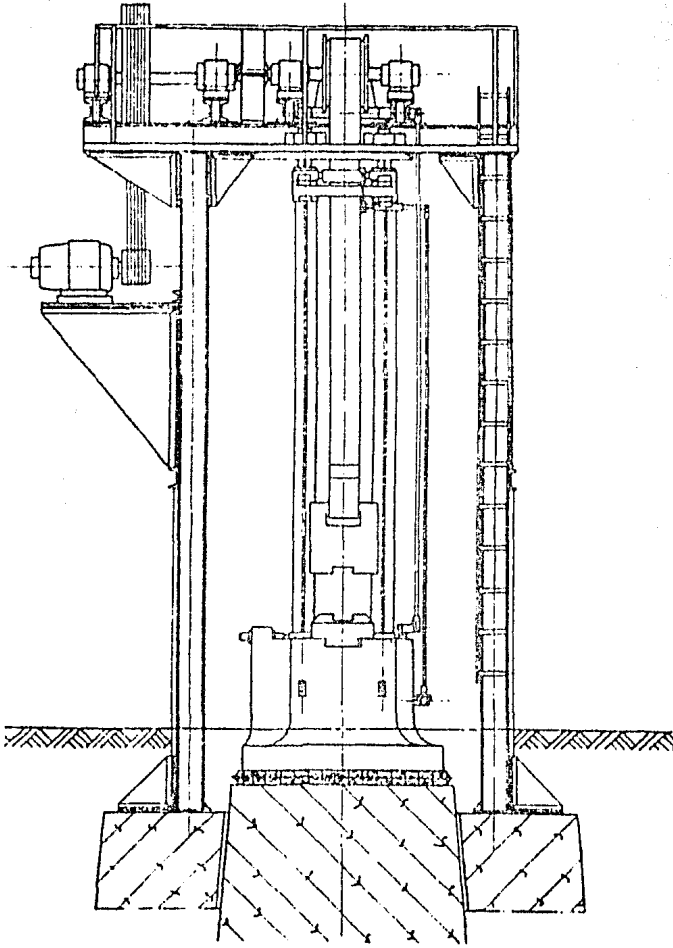


FIGURA 16. Esquema de un martinete a caída libre, con correas de levantamiento de la maza.



- Martillo de caída libre con tablón de madera para levantamiento de la maza.

Para éstos martillos su forma constitutiva no cambió en el conjunto, respecto a la anterior. La diferencia está en el empleo de un tablón de madera especial indeformable en lugar de la correa para el levantamiento de la maza. En este caso el tablón es levantado, junto con la maza, por rodillo del mismo diámetro; uno de ellos es motor. El otro rodillo en oposición, está impulsado por un sistema de palancas y por una rueda excéntrica que le obliga a empujar el tablón contra el rodillo motor, levantándolo juntamente con la masa. Estos tipos de martillos se emplean en los países que pueden disponer fácilmente de maderas muy apreciadas cuyo costo es muy elevado.

- Martillos con cilindro neumático para el levantamiento de la masa.

La maza en estos tipos de martillos. es levantada por la presión que ejerce el aire comprimido sobre la carga de un émbolo que se desliza en un cilindro en la cabeza del martillo.

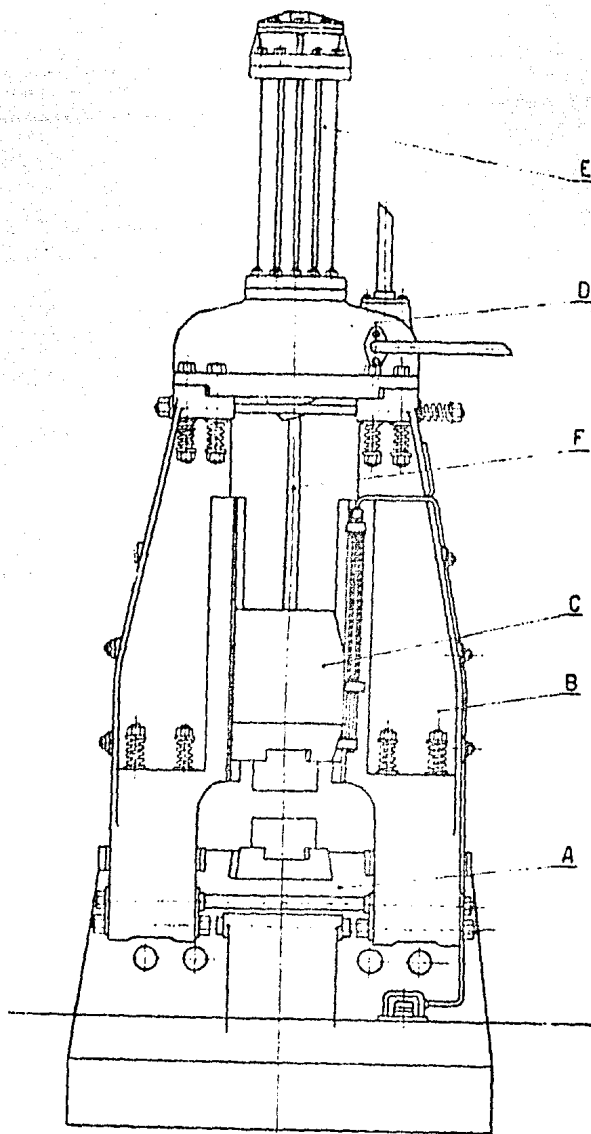


FIGURA 17. "Martillo de caída libre con elevación en la maza mediante cilindro neumático".

En la figura diecisiete podemos observar que la máquina está constituida esencialmente por el yunque A, los dos montantes B, la maza C, el casquete D, el cilindro neumático E, y la barra F, de unión del émbolo con la maza. Esta se deja caer libremente al final de la carrera, como en los otros martillos que hemos examinado. Este martillo ha sido construido según los nuevos conceptos de hacer caer una maza de mayor peso desde una altura menor. En efecto partiendo de la teoría de que una misma cantidad de trabajo es producido por masas diversas siempre que caigan de alturas proporcionalmente inversas, pueden construirse martillos con una masa de 1000 Kg., cayendo desde una altura de 2 metros. los cuales producirán el mismo trabajo que -- otros martillos con la con la masa de 200 Kg., cayendo desde -- una altura de 1 metro; o bien:

$$1000 \text{ Kg} \times 2 \text{ Mt} = 2000 \text{ Kg} \times 1 \text{ Mt} = 2000 \text{ Kg} - \text{Mt}.$$

Estos martillos, con el cilindro neumático para el levantamiento de la maza ofrecen la ventaja de una velocidad mayor y por tanto de un mayor rendimiento. También pueden estar provistas de un mecanismo automático por medio del cual -- teniendo bajado el pedal, se obtiene el automatismo en la subida y bajada de la masa a caída libre.

- Martillos de caída libre con el cilindro oleodinámico para el levantamiento de la maza.

Están contruidos con el mismo criterio que los de levantamiento neumático. La maza tiene una velocidad de subida bastante rápida, ya que está levantada por un émbolo que se desliza en un cilindro. Generalmente es una bomba de aceite la que determina la presión en el cilindro para el levantamiento de la maza. También en este tipo de martillos la maza, en cierto punto, se separa del sistema ascensional y cae libremente sobre el material o sobre las matrices o dados.

- Martillos de caída libre con levantamiento por cadena de la maza.

El levantamiento de la maza se produce mecánicamente mediante una cadena enrollada a una polea especial. Esta polea a su vez conducida por pares de engranes que reducen también el número de vueltas, ya que el mando está asumido por un motor eléctrico.

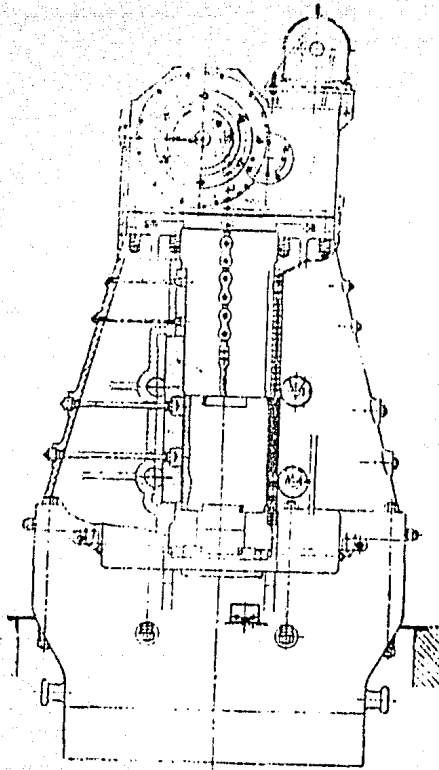


FIGURA 18. Martillo con elevación mecánica de la maza mediante cadena y motor eléctrico.

### 5.1.2. Martillos de doble efecto.

Se consideran de doble efecto los martillos cuyo émbolo - de mando de la maza recibe, sobre su cara superior un empuje que incrementa la velocidad de caída. Esta, al final de su recorrido, llega con una velocidad superior a la que habría alcanzado -- con la simple acción debida a la sola fuerza de la gravedad. Para confrontar la capacidad productiva de los martillos de caída libre y los de doble efecto, es necesario tener presente que es - más importante la cantidad de trabajo proporcionada por un martillo en un minuto que la que proporciona por cada golpe. Por tan to, si comparamos dos martillos, uno de simple efecto y otro de - efecto, con las mazas del mismo peso y trabajo proporcionando en cada golpe, encontraremos: un menor recorrido en el martillo de doble efecto y por tanto menor altura; un funcionamiento más rápido y un número más elevado de golpes por minuto; si estos dos - martillos tienen las mazas del mismo peso y caen de la misma altu ra, encontraremos: un funcionamiento más rápido en el martillo de doble efecto y un mayor trabajo proporcionado en cada golpe porque la maza tiene mayor velocidad final. Por tanto, la conclusión de estas comparaciones es que el martillo de doble efecto tienen más factores favorables. Por otro lado el martillo de caída --- libre es más simple, cuesta menos y requiere menos gastos de operación, mientras que el martillo neumático de doble efecto tiene un mayor consumo de aire dado que la presión sobre el émbolo se - ejerce incluso en la caída de la maza, además de la subida.

En la figura diecinueve se observa un martillo de doble efecto con un corte que permite observar el mecanismo de elevación e impulso de la maza.

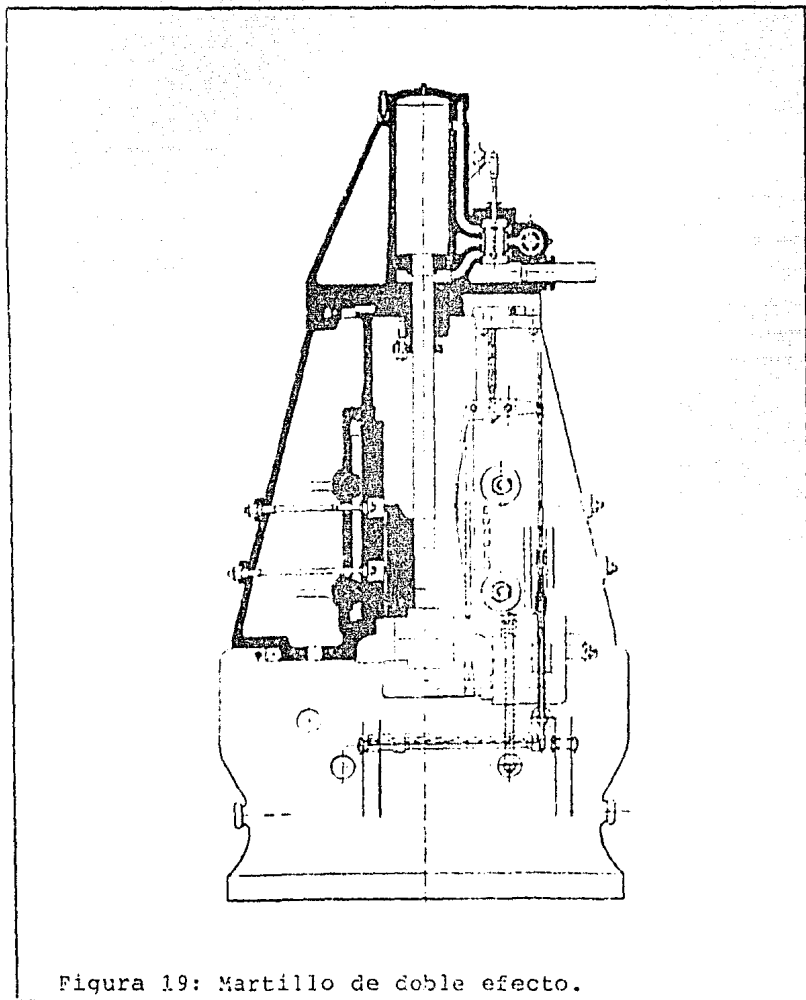


Figura 19: Martillo de doble efecto.

- Velocidad de la maza y trabajo máximo, en el momento del choque.

En los martillos de doble efecto la maza recibe el impulso de una fuerza que, por sí sola, produce una aceleración igual a:

$$a = \frac{F}{m}$$

donde:

F = Fuerza en Kg. ejercida sobre la cara del émbolo para imprimir una aceleración mayor a la maza.

a = Aceleración en m/seg<sup>2</sup>

m = Masa

La velocidad final de la maza, en el momento del choque, esta en función de la suma de las dos aceleraciones (g + a). Por la mecánica sabemos que la velocidad final de un cuerpo pesado que cae desde la altura H es:

$$Vg = \sqrt{2gH}$$

Si la aceleración es g + a tenemos

$$Vt = \sqrt{2gH + 2 \frac{F}{m} H}$$

Sustituyendo  $a = \frac{F}{m}$  y  $m = \frac{Q}{g}$  y poniendo a 2 gH como factor común.

$$Vt = \sqrt{2gH \left( 1 + \frac{F}{Q} \right)}$$



Donde:

$g = 9.81 \text{ m/seg}^2$  fuerza de gravedad

$Q =$  Peso en Kg. del mecanismo que cae.

$H =$  Altura en Mt. en caída.

$V_t =$  Velocidad teórica en m/seg en el momento del choque de la maza.

$V_g =$  Velocidad m/seg debido a la acción de la gravedad.

De esta fórmula resulta evidente que la velocidad del --- choque depende de la relación  $F/Q$  y de la altura  $H$ .

En el siguiente diagrama pueden verse las velocidades - - teóricas de caída en m/seg, para distintas relaciones fuerza entre peso y altura de caída.

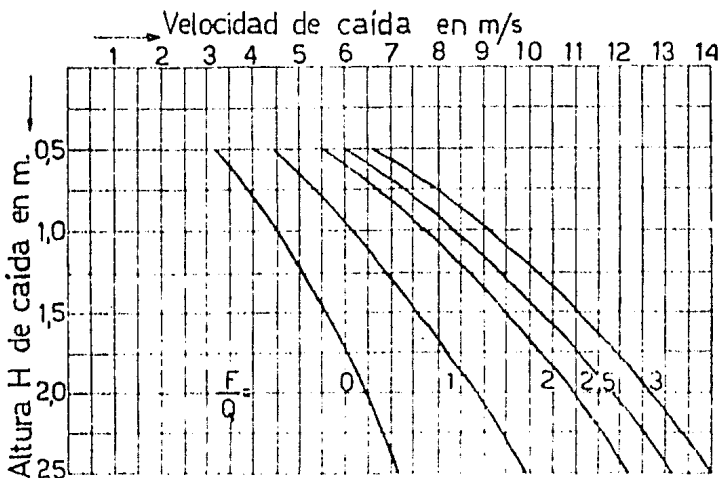


Diagrama 3: Velocidades teóricas de choque para máquinas de doble efecto.

Para el trabajo proporcionado en cada golpe (L), tenemos

$$L = \frac{m \cdot v_t^2}{2}$$

Donde:  $m = Q/g$  y  $v_t^2 = 2 gH (1 + F/Q)$

Sustituyendo tenemos que:

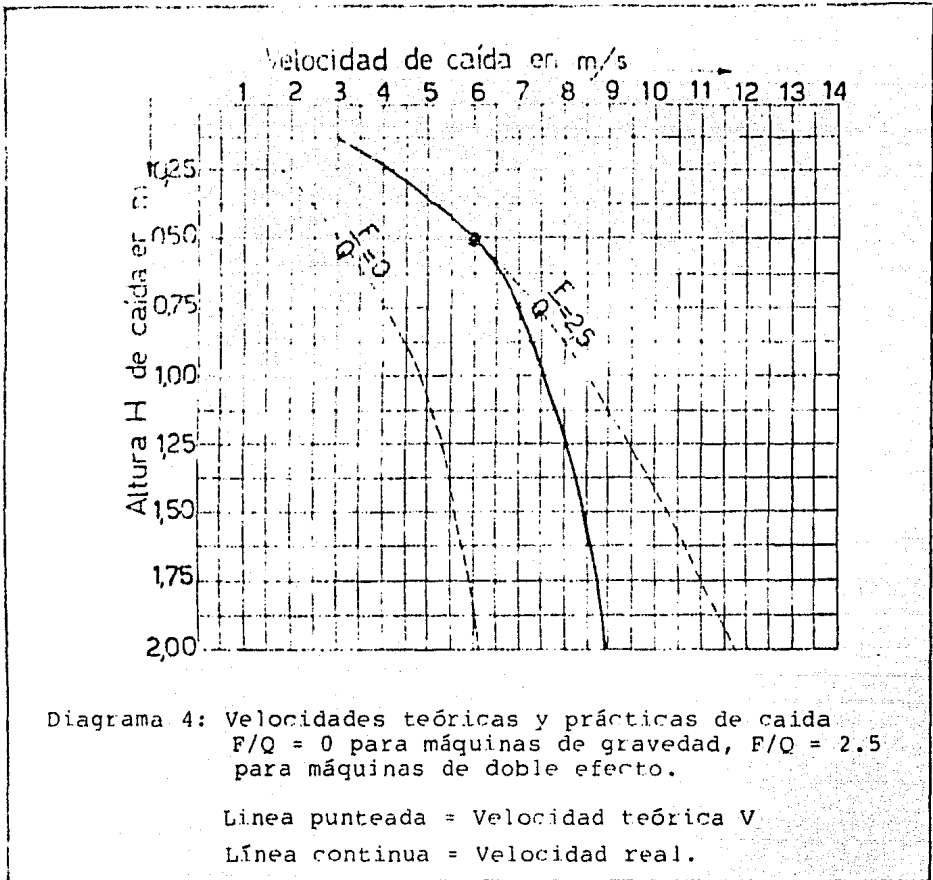
$$L = (Q + F) \cdot H$$

Este trabajo no se obtiene en la práctica dado que la fuerza F sobre el émbolo no es constante desde el principio al final de la caída. Por lo tanto la cantidad práctica de trabajo producido en cada golpe es inferior a la teoría.

Esta relación teórico-práctica puede observarse en la gráfica cuatro.

En base a la velocidad real alcanzada por la maza al final de la carrera obtenible en el diagrama cuatro, se calcula el trabajo con la siguiente fórmula:

$$L = \frac{m \cdot v^2}{2}$$



Para su estudio los martillos de doble efecto se dividen en dos tipos que son:

- Mando neumático.
- Mando oleodinámico.

-Martillos de doble efecto de mando neumático.

Se recuerda que en estos martillos el mando de la maza se produce por la presión que ejerce el aire comprimido que actúa ya sobre una u otra cara de un émbolo que se desliza en un cilindro situado en la cabeza del martillo.

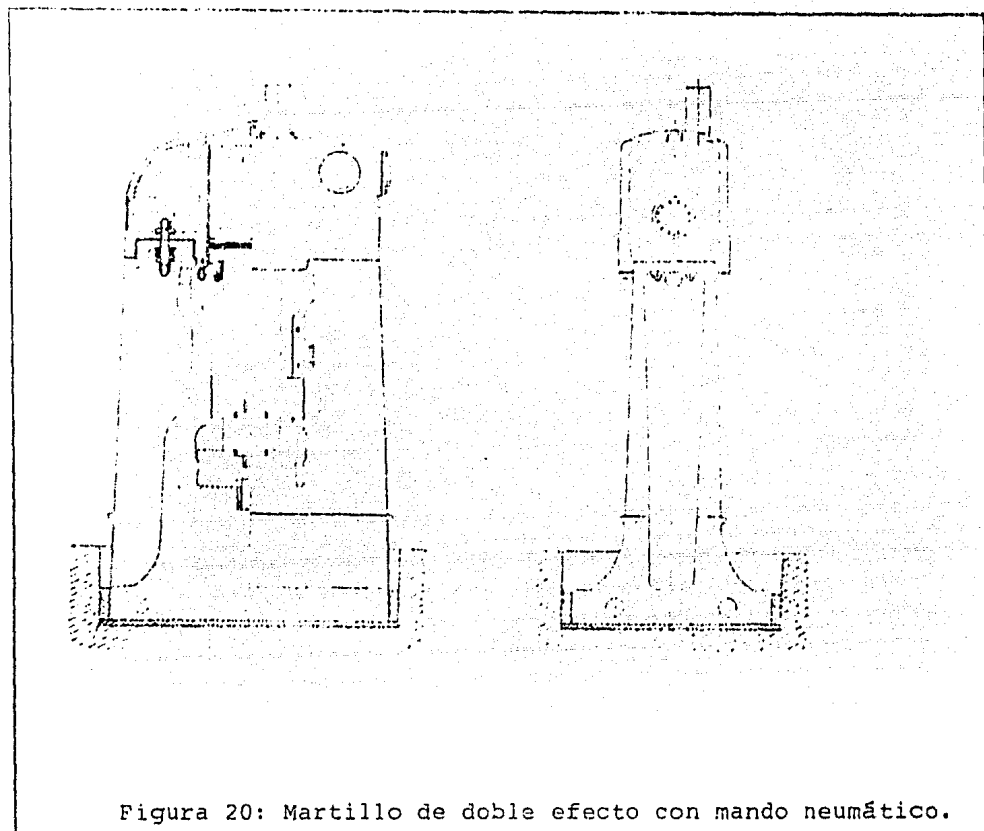


Figura 20: Martillo de doble efecto con mando neumático.

La distribución se produce mediante una válvula cilíndrica que dirige el aire que llega alternativamente sobre una de los dos lados del émbolo. Para que pueda efectuarse una distribución más fácil, es necesario emplear aire caliente eliminando el uso de post-enfriadores a la descarga de los compresores o bien disponiendo de un calentador especial para temperaturas hasta de  $150^{\circ}\text{C}$ . El mando de la maza se consigue por medio de un pedal que permite obtener todas las variaciones necesarias de los golpes. Una segunda válvula rotativa suplementaria, dispuesta antes de la válvula principal de distribución del aire, puede regularse a mano oportunamente.

Los martillos de doble efecto de mandos neumáticos están compuestos esencialmente del yunque de acero especial, de dos montantes de acero fundido, de la maza del casquete -- que contiene el cilindro con la válvula de distribución, de la barra de unión del émbolo con la maza.

Los golpes en la cabeza del émbolo están amortiguados por un dispositivo también neumático del tipo cilindro-pistón.

Estos martillos están contruidos en diversos tamaños; el más pequeño tiene una maza de 300 kg. hasta llegar gradualmente al mas grande, que tiene una maza de 7,500 kg. la altura total de la máquina varía proporcionalmente de 3000mm. a 7,300 mm del plano del suelo.

-Martillos de doble efecto de mando oleodinámico.

Se distinguen de los nuemáticos porque el émbolo está mandado por aceite a presión.

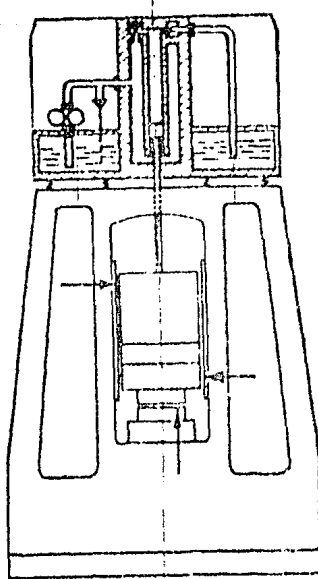


Figura 21: Martillo de doble efecto con mando oleodinámico.

El tipo de martillo esquematizado en la figura veintiuno tiene la base y los montantes contruídos en una sola pieza de -- acero fundido; además, los montantes están unidos en la parte superior por un puente que constituye una estructura muy sólida. La maza como en los mejores martillos para forja, está guiado lateralmente por correderas cuyas superficies están templadas y rectificadas; las guías admiten también una perfecta regulación en el deslizamiento.

La maza está unida superiormente por un tirante delgado - con relación al émbolo, también de diámetro pequeño; su objeto es el de no repercutir los golpes de la maza en el émbolo y de tener una cierta elasticidad sin provocar roturas. En la figura anterior se ve que en la parte superior de los montantes se ha emplazado la caja que contiene todos los elementos que constituyen el circuito oleodinámico incluido el depósito.

El aceite es aspirado del depósito a través de un tubo -- unido a una bomba para presiones elevadas con caudal constante y enviado a una cámara exterior (pulmón) en comunicación con la --- parte inferior del cilindro donde se desliza el pistón de fuerza. Una válvula instalada en el recorrido del tubo de envío asegura - la descarga del aceite cuando el émbolo ha terminado su carrera, ya que los órganos de la bomba continúan girando.

El circuito está diseñado de modo que el aceite que pasa a través de la válvula, llegue también a la cara superior del --- émbolo, a fin de obtener el doble efecto.

También puede regularse en estos martillos la presión y el número de golpes. Generalmente pueden darse de 50 a 75 gol-- pes por minuto y en operaciones ligeras de preformado puede lle-- garse de 80 a 100 golpes por minuto según el tamaño del martillo.

Estas máquinas para forjar son construidas según una gama de varios tamaños de modo que desarrollen un trabajo que va de -

800 Kgm. en los tipos más pequeños hasta 8000 kgm. en los mayores.

Para determinar practicamente el trabajo necesario para forjar en caliente elementos mecánicos con martillos de doble efecto se puede usar el diagrama cinco.

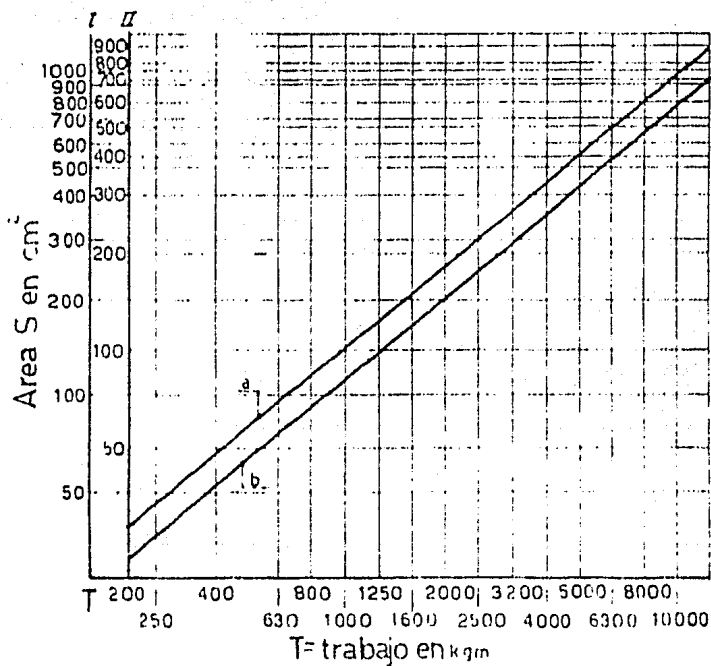


Diagrama 5: Relaciones-Area a deformar-trabajo requerido.



Este ha sido construido teniendo en cuenta que el trabajo de deformación ha de aplicarse sobre una superficie "S" en  $\text{cm}^2$  -- que incluye las rebabas periféricas, cuenta además en el eje de las absisas con dos escalas, la I que se usa en piezas sencillas, con angulos redondeados y la II usada para piezas con esquinas vivas y nervaduras profundas y delgadas. Además la línea "a" corresponde a materiales como una resistencia en frío aproximado a  $40 \text{ kg/mm}^2$  y la "b" para resistencias de 60 a  $70 \text{ kg/mm}^2$ .

Como ejemplo diremos que para una pieza sencilla a forjar en un martillo de doble efecto, con una resistencia en frío de --  $40 \text{ kg/mm}^2$  y con una superficie de  $200 \text{ cm}^2$  se requiere un martillo que desarrolle un trabajo de  $1500 \text{ kgm}$ .

### 5.1.3. Martillos de contragolpe.

Se caracterizan especialmnte por tener, en vez del yunque fijo, una segunda maza que se mueven sentido opuesto a la primera. Ambas mazas, dotadas de la misma velocidad, se encuentran a la mitad del recorrido.

Al carecer de un yunque fijo no se verifica la transmisión del golpe sobre en terreno en que se halla instalado el martillo; ésta es una ventaja notable porque se pueden efectuar operaciones de forjado pesado con un absorción máxima de 100,000 Kgm sin que se produzcan vibraciones sensibles en los edificios cercanos o en las demás secciones de fabricación del mismo edificio. Además el volumen de la cimentación de los martillos de contragolpe se reduce en un 15% respecto a los martillos normales.

La maza superior, accionada por un émbolo a aire comprimido (o a vapor), está unida a la maza inferior según diversos sistemas pero en cada caso esta última es movida a expensas de la primera. La maza inferior, para que pueda mantenerse baja cuando está en reposo, debe pesar 5% más que la superior. Esto es también una ventaja cuando se piensa que en los martillos de simple efecto o de doble efecto la base debe pesar al menos 15 veces la maza. Por tanto, las ventajas de los martillos de contragolpe se pueden agrupar como sigue:

- 1.- Mayor rendimiento porque el trabajo, al desarrollarse en el momento del choque de las mazas, no es absorbido parcialmente por la cimentación, como en los martillos normales.
- 2.- A igualdad de potencia el martillo de contragolpe es sensiblemente más ligero que el martillo de yunque.
- 3.- La cimentación resiente sólo mínimas vibraciones.
- 4.- La misma cimentación de hormigón está construída con un vólumen inferior al 15% respecto a las de los martillos de caída libre.

Las desventajas principales son:

- 1.- Los juegos de la maza entre las guías al sumarse repercuten sobre la precisión en la alineación de los dados.
- 2.- La fuerza, durante el forjado, debe incidir en el centro de la matriz; de no ser así se generan notables rozamientos a lo largo de las guías laterales de las mazas; se deduce entonces que los dados deben construirse de modo que contengan las figuras laterales, para el eventual preformado, mientras que la figura de acabado debe encontrarse en el centro.
- 3.- Como las dos mazas se mueven al mismo tiempo, llevando cada una la medida matriz que le corresponde, no se puede de ningún modo acompañar la pieza durante el forjado en barras o en piezas salientes.
- 4.- Las matrices y la maza, al recibir la fuerza viva de los golpes sin posibilidad de amortiguarla con algún medio elástico, están más sujetas a roturas; por tanto no se aconseja el estampado con estos martillos de aleaciones ligeras o de piezas que tengan un espesor muy reducido con grandes superficies

##### 5. Mayores gastos de mantenimiento.

Por consiguiente los martillos de contragolpe han de preferirse para los trabajos de grueso forjado ( de 10,000 - Kgm en adelante ó cuando no se debe transmitir las vibraciones a los edificios circundantes.

En esta máquina la acción de la gravedad es nula porque la maza superior, cuando es empujada hacia abajo por el -- comprimido, debe levantar la maza inferior. La velocidad de la maza y el trabajo máximo suministrado están por tanto determinados por la presión del aire que actúa sobre la cara superior del émbolo. Teniendo en cuenta que la presión del aire no actúa constantemente desde el principio al final de la -- carrera del émbolo, sino sólo en un espacio que puede considerarse como el 0.7 de la carrera y faltando la aceleración de la gravedad, la velocidad se mantendrá constante a causa de los razonamientos que se oponen a los movimientos de las mazas.

Por tanto el trabajo proporcionado por el aire comprimido se deriva de las siguientes fórmulas:

$$F = M_2 \cdot a$$

Donde:

$a$  = aceleración en  $m/seg^2$  provocada por fuerza  $F$ .

$M_2$  = suma de la masa de la maza inferior ( $M_1$ ) y la superior ( $M$ ) con sus respectivas estampas.

$F$  = Fuerza en Kg. que actúa sobre la maza superior

Definiendo:

$$V_t = \sqrt{2 a H}$$

Donde:  $V_t$  = Velocidad teórica del choque de una maza

$H$  = Carrera en Mt. de la maza.

Por el movimiento relativo la velocidad teórica del choque de las dos mazas, imaginando una quieta y la otra en movimiento, es  $2 V_t$ . y señalando que la presión  $P$  sobre la cara del émbolo pueden considerar practicamente para un recorrido igual a  $0.7$  de  $H$ . Considerarcmos por tanto la velocidad efectiva de choque de una maza, expresada por la fórmula.

$$V = \sqrt{2 a \cdot 0.7 \cdot H} = \sqrt{1.4 \cdot a \cdot H}$$

La velocidad efectiva de las dos mazas será doble:

$$V_2 = 2V = 2\sqrt{1.4 \cdot a \cdot H}$$

Las dos mazas tienen la misma velocidad por estar vinculadas entre sí.

La maza superior de peso  $Q$  y su media matriz de peso  $q$  proporcionan al final de la carrera, un trabajo o energía cinética - (  $L$  ) expresada por:

$$L = \frac{M V^2}{2} \quad \text{y la inferior} \quad L_1 = \frac{M_1 \cdot V^2}{2}$$

Por lo tanto el trabajo de las dos mazas y sus medias matrices estarán expresadas por la suma de los trabajos:

$$L + L_1 = \frac{M \cdot V^2}{2} + \frac{M_1 V^2}{2}$$

o bien:  $L + L_1 = (M + M_1) \frac{V^2}{2}$

$$L + L_1 = \frac{M_2 \cdot V^2}{2}$$

Dado que  $M_2 = M_1 + M$

Por tanto, el trabajo proporcionado por el aire comprimido que actúa sobre la cara del émbolo será:

$$L_2 = L + L_1 = F \cdot 0.7 H$$

Así, el trabajo suministrado por el aire comprimido que actúa sobre la cara del émbolo para mover las dos mazas y de la de las matrices es igual a la suma de la energía cinética de las dos mazas y de las matrices desarrolladas en el momento del choque.

Si se quiere considerar el rendimiento total, dicho trabajo habrá de multiplicarse por el coeficiente N (menor que la unidad) que tiene en cuenta los rozamientos y otros factores.

- Martillos de contragolpe con las mazas unidas mecánicamente por dos cintas.

En estos martillos, la masa superior, con el vástago y el émbolo, constituye un sólo cuerpo macizo en acero fundido.

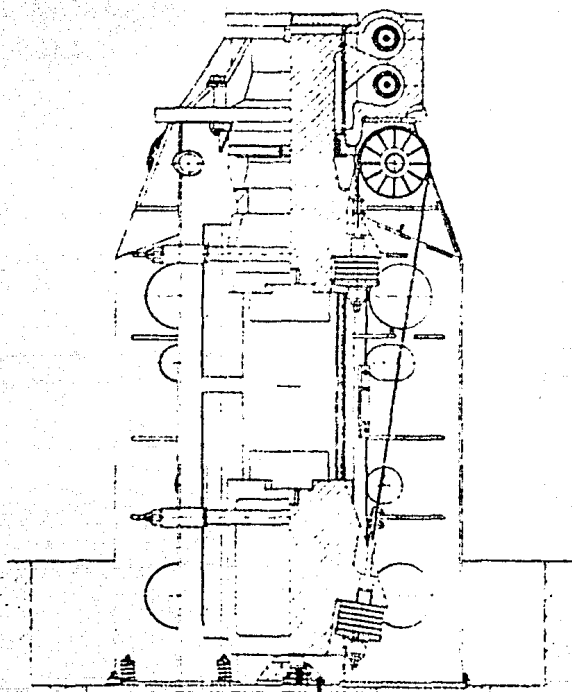


FIGURA 22. Martillo de contragolpe con masas unidas por cintas.



El émbolo como puede verse en la figura veintidos, está movido por aire o por vapor para ejercer un empuje de intensidad considerable sobre la masa superior. Esta masa está unida mecánicamente con la inferior mediante un haz de cintas de acero especial enrolladas en dos tambores simétricamente, a derecha y a izquierda en lo alto. Resulta evidente que, al bajar la masa superior, las cintas levantarán simultáneamente la masa inferior a la cual están unidas. Para compensar las diferencias que pueden verificarse en la disposición de las cintas sobre los dos flancos, se ha realizado una unión elástica con amortiguadores, en la figura puede verse la construcción que es de dos montantes que llevan, en la luz central las guías donde se deslizan las masas. Las reglillas, que permiten la regulación en el deslizamiento, pueden corregirse fácilmente. La entrada del aire comprimido se realiza través de mandos hidráulicos, montados al lado del cilindro. El aire, antes de entrar en el distribuidor pasa por un celentador que eleva su temperatura a, fin de mejorar las condiciones de funcionamiento. Estos martillos se construyen para potencias de -- 20,000 a 40,000 Kgm. y su peso total varía, gradualmente, de 110 a 215 toneladas.

-Martillos de contragolpe con las masas unidas hidráulicamente.

Para estos martillos el sistema de unión de las masas es mediante émbolos de inmersión.

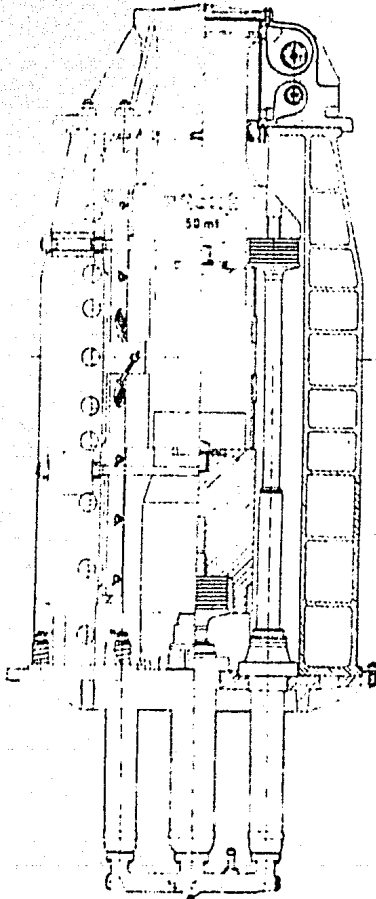


FIGURA 23. Martillo de contragolpe con las mazas unidas hidráulicamente.

En la figura veintitres podemos observar que la masa superior descansa apoyándose en dos mandriles laterales que se sumergen por su parte inferior, en el aceite contenido en las cámaras de un cuerpo de fundición situado bajo el martillo. Cuando la maza superior se hace descender por la presión ejercida por el aire -- sobre la cara del émbolo superior, los dos mandriles se ven forzados a sumergirse en el aceite contenido en el citado cuerpo, por lo cual dado el carácter incomprensible del fluido, el émbolo central se ve obligado a efectuar la fase ascendente, elevado al mismo tiempo la masa inferior del martillo. Para obtener la misma velocidad de desplazamiento de la maza es necesario que el flujo de -- aceite esté movido por los pistones según un caudal constante. En la fase de ascenso de la masa superior baja también el émbolo y la masa inferior. Los tres émbolos sumergibles están nitrurados y lapidados para asegurar un cierre perfecto en los prensa estopas. Casquetes de protección apropiados y raspadores dobles impiden que las escorias de la forja y otros cuerpos extraños se -- pongan en contacto con los pistones. Las válvulas de distribución del aire en el cilindro están accionadas por aceite a presión. La admisión se cierra automáticamente cuando el pistón ha efectuado un recorrido determinado de tal modo que durante el espacio que le queda por recorrer, el aire comprimido puede expansionarse. Este procedimiento realiza un ahorro de energía del 23% respecto a los martillos que trabajan a plena presión. Los martillos de unión-hidráulicos se construyen para potencias que van de 50,000 a --- 100,000 Kgm y su peso total varía de 350 a 700 toneladas en proporción a su potencia.

## 5.2. Prensas.

### -Generalidades.

El gradual desarrollo de la técnica constructiva en todos los campos de los productos mecánicos ha inducido a que se hagan peticiones cada vez mayores de elementos forjados en caliente, -- más precisos y mejor pagados. Por este motivo los técnicos constructores de máquinas para el forjado se han visto obligados a -- orientarse hacia criterios distintos de los tradicionales, que -- creían que la elaboración plástica en caliente solo podía reali-- zarse por golpe. Para satisfacer el criterio opuesto, o sea, el de formar en caliente los materiales sin golpe, se han construido las "prensas", que ejercen su acción sobre el material de un modo gradualmente creciente. Por el amplio empleo de estas máquinas, numerosas fábricas europeas y americanas se han dedicado a dichas construcciones presentando una vasta gama de tipos, según las - - exigencias.

La prensa mecánica ofrece la ventaja de realizar un número elevado de piezas por hora. A veces el empleo de las - - prensas ha permitido alcanzar producciones hasta cuatro veces superiores respecto a las realizadas con los martillos. Con las prensas se logra también mayor precisión empleando obreros menos calificados.

Además, las prensas, al no tener un yunque voluminoso como el de los martillos de forja, admiten la posibilidad de aplicar -

el extractor bajo la matriz haciendo más fácil y rápida la expulsión de la pieza y reduciendo, a la vez, el tiempo de contacto de las piezas con la matriz; esto es muy ventajoso para conseguir -- mayor duración de las figuras, aun teniendo en cuenta que éstas -- pueden realizarse con un ángulo de salida menor. La suma de todas estas ventajas se traduce en un menor tiempo de forjado y por tanto en un mayor empleo de las prensas en la producción de grandes series. El empleo de laminadoras de rodillos para el pre--- formado, las hace aún más atractivas para labores con grandes lotes.

Por último, el estampado en las prensas, al no producir -- vibraciones sensibles, admite un emplazamiento de las máquinas me -- nos complicado respecto al de los martillos, las cimentaciones re -- sultan, por lo tanto, menos costosas y no requieren revisiones -- tan frecuentes como los martillos.

#### -Prensas mecánicas.

Este tipo de prensas asume, respecto a los demás una posi -- ción predominante por ser muy prácticas de maniobrar y de bajo -- costo de mantenimiento. Generalmente están construidas según el principio de ejercer la fuerza sobre el material por medio de un carro mandado por un excéntrico.

Por otra parte, con una presión adecuada se ofrece al -- material la posibilidad de deformarse plásticamente aunque la ve-

locidad sea relativamente baja, permitiendo a las partículas de la masa deslizarse regularmente y establecerse definitivamente en la nueva posición adoptada.

La velocidad del carro y la presión de forjado se determina mediante las siguientes simplificaciones de carácter práctico:

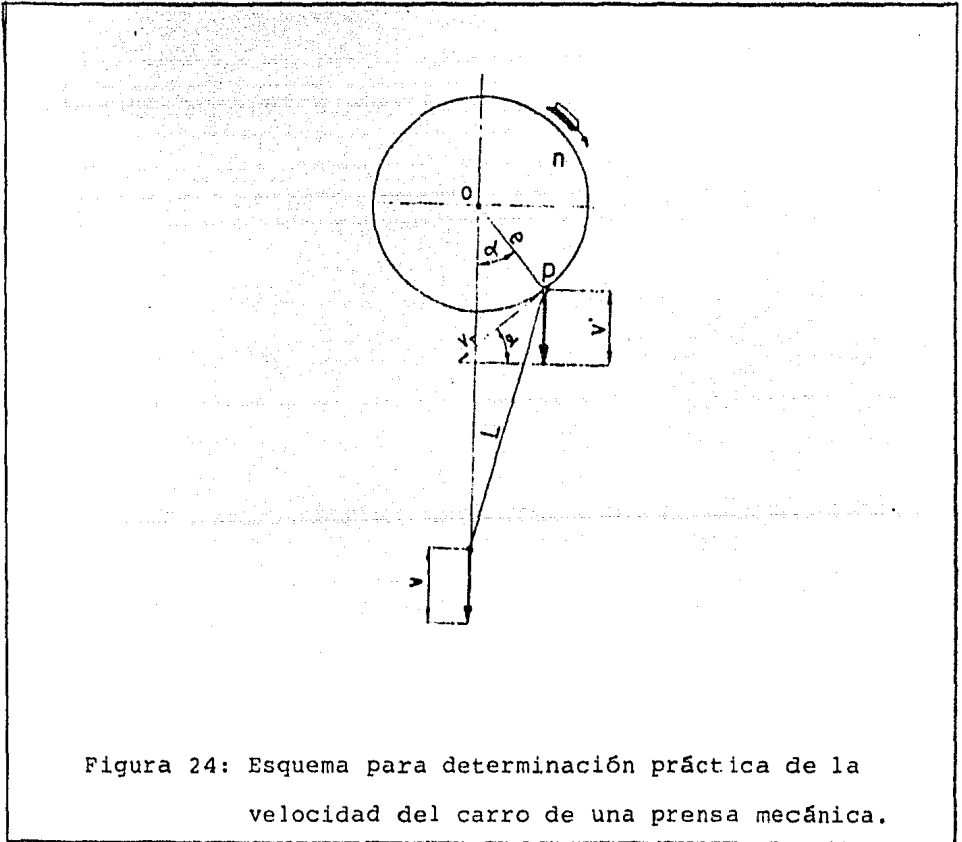


Figura 24: Esquema para determinación práctica de la velocidad del carro de una prensa mecánica.

Según la figura veinticuatro llamaremos a:

$v$  = Velocidad del carro de la prensa en m/seg.

$e$  = Excentricidad del árbol de mando en m.

$L$  = Longitud de la biela en m.

$n$  = Número de vueltas por minuto de la excéntrica.

$\alpha$  = Angulo formado por el radio vector  $O-p$

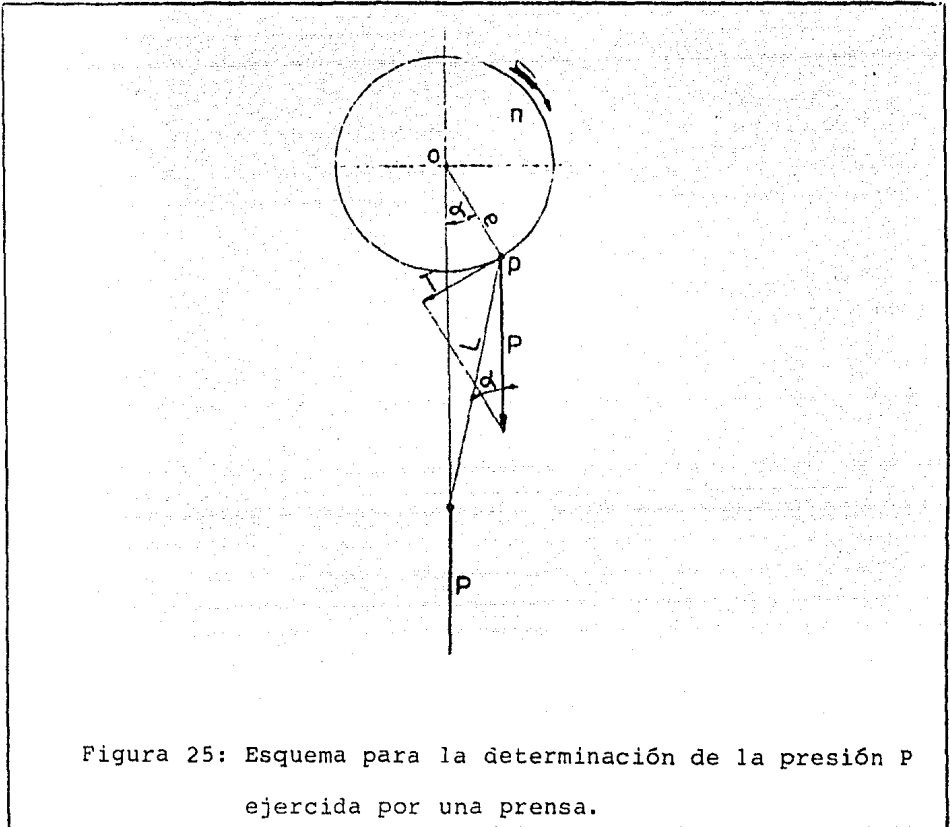
$v_t$  = Velocidad tangencial (cte) en el punto  $p$  en  
m/seg.

$$v_t = \frac{2 \cdot e \cdot n}{60}$$

de las que obtenemos una aproximación diciendo que

$$V = v_t \cdot \sin \alpha$$

Con el mismo criterio de simplificación, dado que la relación  $L/e$  es bastante grande, se calcula la fuerza  $P$  - ejercida en el carro y por tanto sobre la forja.



Además de los valores ya indicados, llamamos

P = Fuerza en kg. ejercida sobre el carro de la prensa

T = Fuerza tangencial constante en Kg. ejercida sobre el punto p de la excéntrica.

tenemos entonces:

$$P = \frac{T}{\text{sen}\alpha}$$



Téngase presente que los constructores de las prensas -- consideran la máxima presión cuando el radio vector  $e$ , que une el punto  $p$  de la excéntrica, forma el ángulo  $\alpha = 15^\circ$ ; para  $\alpha = 90^\circ$ , la presión es mínima, ya que el seno de  $90 = 1$ ; y  $\text{sen } 0^\circ = 0$ ;

En una prensa mecánica se puede encontrar entonces la presión ejercida en una posición cualquiera de la excéntrica después de haber determinado la fuerza tangencial  $T$  y conociendo la fuerza máxima  $p$  suministrada a  $15^\circ$ , o bien:

$$T = P \text{ sen } 15^\circ$$

$$T = .2588.P$$

De un diagrama diseñado a propósito para el tipo de prensa que se quiere considerar, se puede leer el ángulo  $L$  en función de las diferentes posiciones que toma el carro durante su carrera descendiente en relación a la excentricidad  $e$ .

La mayor parte de las prensas mecánicas para forjar en -- caliente transforman el movimiento giratorio de un árbol en movimiento rectilíneo de un carro, mediante un excéntrico integrado -- en el mismo árbol.

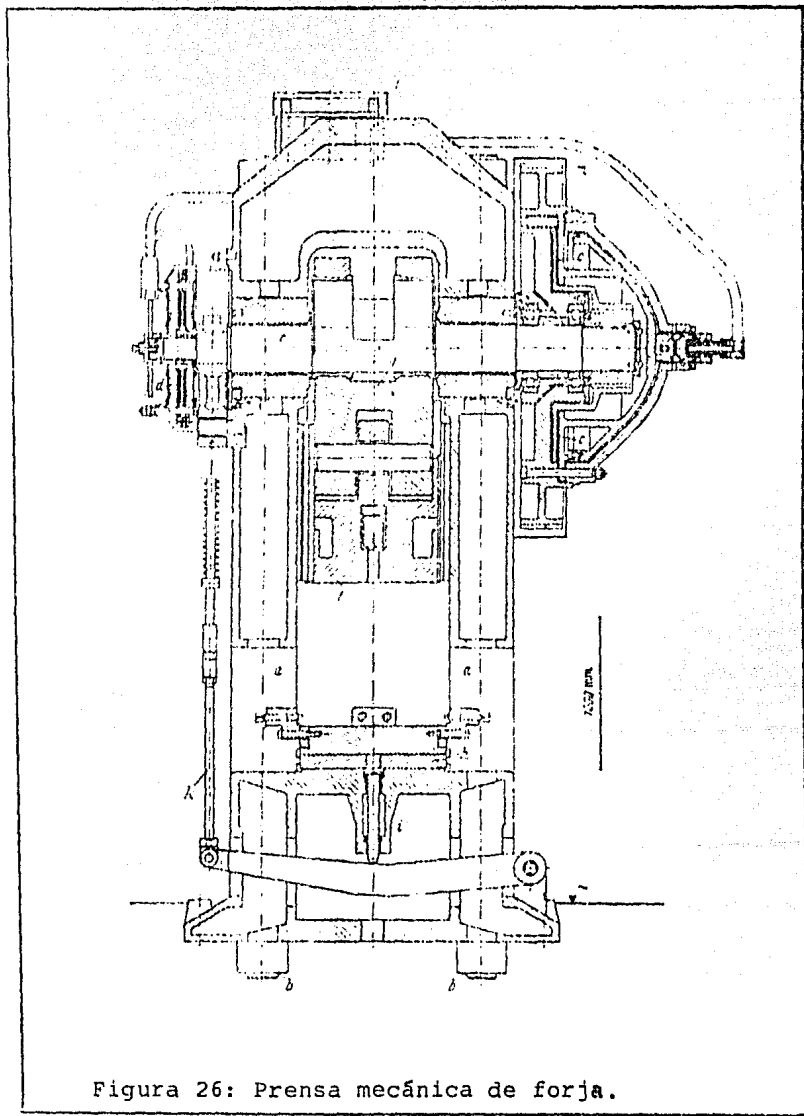


Figura 26: Prensa mecánica de forja.

En la figura puede verse una sección de una prensa excéntrica. El bastidor a, de acero fundido, lleva todos los mecanismos que hacen funcionar a la prensa. Entre los montantes del bastidor se desliza, a lo largo de unas guías apropiadas, el carro f que recibe el mando a través de la biela g del excéntrico e, obsérvese que el árbol principal, solidario con el -- excéntrico, puede girar libremente en los asientos de los cojinetes que lo soportan en la parte superior de los montantes. El movimiento de rotación es obtenido, en el momento requerido, al acoplar el embrague que funciona con aire comprimido que hace solidario el volante con el árbol excéntrico. Al final de la rotación de una vuelta se separa automáticamente el embrague, mientras actúa el freno que detiene el árbol e y por tanto el carro f. El volante tiene la misión de almacenar una cantidad de energía - que en parte se cede a la corredera cada vez que se acopla el embrague. Naturalmente, esta energía se utiliza en forma de fuerza p que se ejerce sobre el material. El motor eléctrico, tiene la misión de restablecer el regimen normal de vueltas a las - ruedas de transmisión después de su disminución debida a la cesación de energía al carro.

Finalmente la prensa está dotada del extractor i movido en el momento oportuno por el travesaño situado debajo, - acoplado por un extremo y movido por el opuesto por el tirante k.

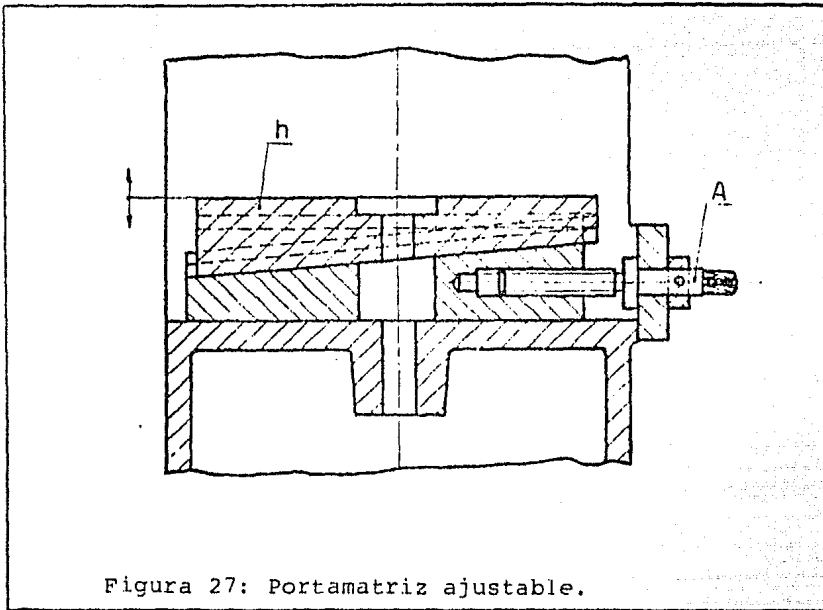


Figura 27: Portamatriz ajustable.

Algunas casas constructoras han hecho los extractores con mando neumático que intervienen durante el movimiento ascensional de la corredera o carro. La base *h* que se observa en la figura veintisiete puede ajustarse verticalmente maniobrando el husillo *Z* para ajustar la matriz inferior.

Las prensas están dotadas, además de paros de seguridad contra las sobrecargas, aparatos para medir la presión, etc.

Una prensa para forjar, puede estar provista de un sistema de transferencia automática de la pieza bajo la matriz.

Las piezas son manipuladas una a una y transportadas al hueco correspondiente de la matriz. Después de la fase de forjado la pieza es extraída automáticamente de la matriz y colocada sobre un canal en declive que la conduce a una caja de almacenamiento, el operario puede observar las piezas al lado de la máquina mientras ésta continúa produciendo. Con estas prensas resulta menos costoso el gasto de producción obteniéndose al mismo tiempo, piezas forjadas muy precisas.

#### -Prensas hidráulicas.

En este tipo de prensas se usa el sistema de envío del aceite bajo presión directamente de la bomba a la cámara del cilindro.

La presión de trabajo puede alcanzar las 400 atmósferas. La gran ventaja de usar el sistema de mando individual directo reside en el hecho de que la bomba debe suministrar solo la presión hidráulica y el caudal necesario a la prensa. Para este tipo de prensas las bombas preferidas son las de émbolos radiales de caudal variable. Por tanto, el rendimiento del mando directo es muy elevado, si se tiene también en cuenta que la potencia de la bomba se adapte a la de la prensa.

En ciertas aplicaciones se adoptan también las bombas de émbolos con engranajes o de tornillo de caudal constante. En estos últimos tipos la presión de aceite, más baja, llega hasta 60 ó 100 atmósferas según la construcción de la prensa.

Con las bombas oleodinámicas de émbolos radiales ó axiales el caudal puede regularse desde cero a un máximo de modo continuo. En conclusión el accionamiento oleodinámico es preferible para las prensas de pequeño y medio tonelaje rápidas, o bien para las grandes prensas que funcionan a velocidades reducidas. Los dispositivos más usados para la distribución del aceite a presión son las válvulas de corredera, ya que deben soportar, por el modo según el cual funcionan, esfuerzos pequeños. Según sean las exigencias de funcionamiento de las prensas, dichas válvulas pueden ser mandadas a mano o electromagnéticamente.

En este último sistema se puede hacer funcionar las prensas según un programa de distribución automatizado para el forjado en caliente.

Una prensa hidráulica para el forjado en caliente del acero y duraluminio de construcción italiana está compuesta de cuatro columnas de guía, la parte móvil, que ejerce la presión al material, es accionada por tres émbolos que se deslizan en tres cilindros, desarrollando una fuerza de 3000 toneladas.

De modo análogo a lo que hemos dicho para los martillos, también es posible para las prensas, determinar la presión de forjado haciendo uso del diagrama correspondiente.

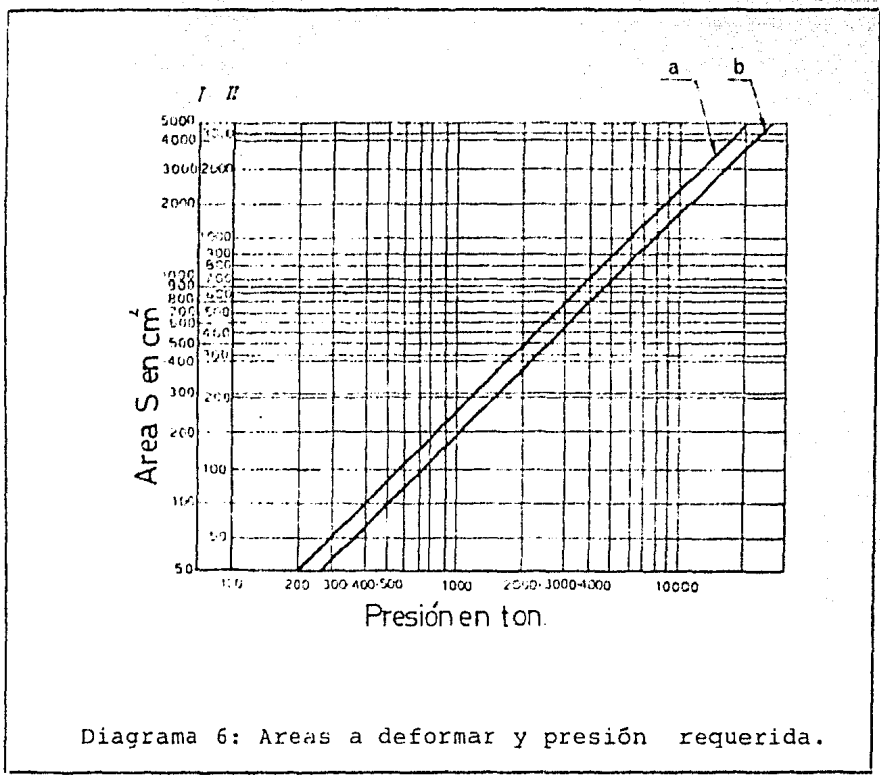


Diagrama 6: Areas a deformar y presión requerida.

Este diagrama ha sido construido teniendo en cuenta que se ha de ejercer una presión determinada sobre una superficie de material incluyendo la rebaba periferica, en Cm2.

Como en los casos anteriores se tienen dos escalas, la I para piezas sencillas, con esquinas redondeadas y la II para piezas complicadas y aristas vivas, además la recta "a" es para - -

piezas con una resistencia en frío de 40 Kg/mm<sup>2</sup> y la "B" para aquellos con resistencia entre 60 y 70 Kg/mm<sup>2</sup>.

Por ejemplo para forjar una pieza de forma complicada, con una resistencia en frío de 60 a 70 Kg/mm<sup>2</sup> y una superficie de 500 Cm<sup>2</sup>, hace falta una presión de 3500 toneladas. Se ha usado la - columna II y la recta b. La prensa deberá por tanto, elegir de acuerdo a la fuerza necesaria.



### 5.3. Recalcadoras.

#### -Generalidades.

Estas máquinas pueden efectuar una deformación plástica en caliente, engrosando un trozo de barra para imponerle la forma contenida en matrices apropiadas. Con las recaladoras no se pueden obtener nunca reducciones dimensionales de trozos de barra.

Generalmente, estas máquinas están dotadas de dos movimientos fundamentales:

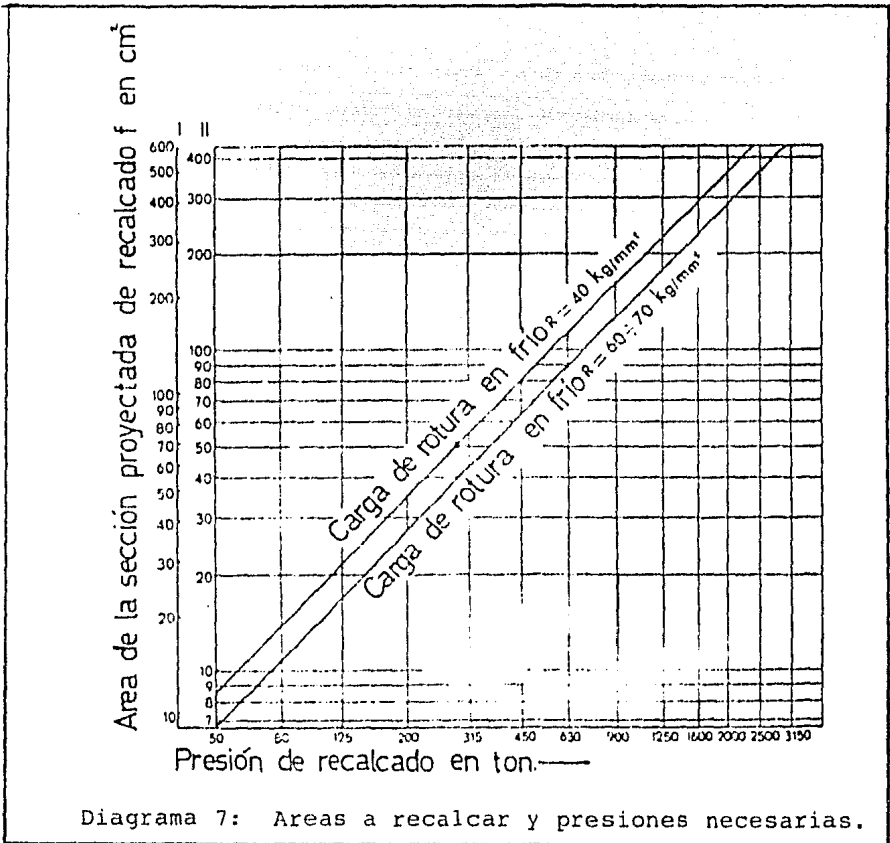
El primero tiene por objeto bloquear el trozo de barra entre las dos matrices de forja y el segundo movimiento permite actuar, con un punzón, a lo largo del eje de la barra para obtener la deformación del material.

Las recaladoras están por tanto dotadas, a diferencia de las prensas, del "segundo efecto", que tiene el objeto de bloquear el trozo de barra antes de que la extremidad libre sea embestida por el correspondiente punzón.

Los movimientos coordinados de los órganos porta matrices con los de los porta punzones pueden realizarse de diferentes modos que dependen, además de la forma de las piezas que se quieran obtener, de los puntos de vista de cada diseñador.

Algunas máquinas recaladoras permiten separar la pieza de la barra en la última fase del forjado, haciendo actuar cuchillas adecuadas durante el movimiento de cierre de las matrices.

La presión que se necesita para recalcar una barra con -- una recaladora se determina generalmente en base al diámetro -- máximo de la barra. Naturalmente influyen otros factores, como la resistencia del material y la forma de las piezas a deformar.



El diagrama indica la presión en toneladas que se necesita para deformar una barra; el área a considerar (P), en la correspondiente a la sección final proyectada de la pieza a recalcar; la escala I se ajusta para piezas simples con vértices redondeados y la II para piezas más complicadas con vértices pronunciados y nervaduras.

Si por ejemplo, hay que hallar la fuerza en toneladas necesarias para aplastar una barra de acero de 80 mm. de diámetro, con una forma complicada. El área de la sección (f) será:

$$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.14 \times 8^2}{4} = 50.25 \text{ Cm}^2$$

Por tanto, según el diagrama anterior resulta que para un acero de una resistencia en frío de 40 kg/mm<sup>2</sup> se necesita una presión de 300 ton., mientras que para el acero con R = 60 KG/mm<sup>2</sup>, se precisa una presión de 380 ton., ambos valores deben leerse en la escala II correspondiente a piezas complicadas, por el supuesto inicial.

#### -Recalcadoras Horizontales.

Con las recalcadoras se efectúa el estampado en caliente de elementos sacados directamente de trozos de barra. Por la diversidad de las formas que pueden realizarse mediante estampas apropiadas y por sustituir con ventaja a los martillos y las presas, para determinadas aplicaciones, estas máquinas se llaman también "forjadoras horizontales".

I. Recaladoras con las placas portamatrices dispuestas -  
verticalmente.

El esquema nos muestra el funcionamiento de una recalcado  
ra horizontal para la forja de trozos de barra.

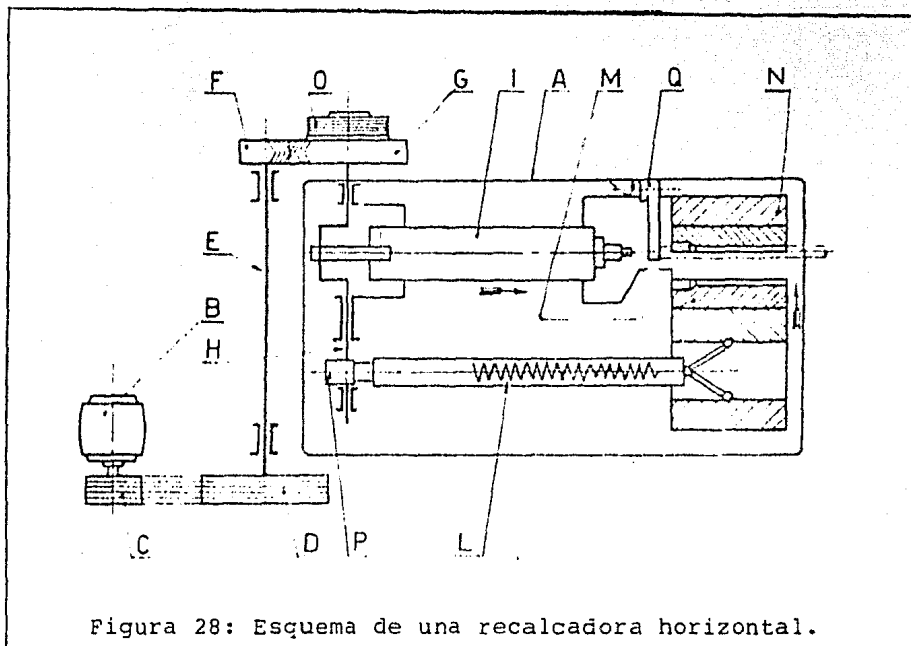


Figura 28: Esquema de una recaladora horizontal.

El armazón A, de acero fundido, contiene las guías para -  
los organos en movimiento, los soportes de los arboles, los carros  
y el motor, además de los tirantes de refuerzo para reaccionar a  
los esfuerzos que se manifiestan durante el recalcado.

En la parte superior del armazón está instalado el motor  
eléctrico B, que a través del par de poleas C y D unidas por co-  
rreas trapezoidales, transmite el movimiento el árbol E. - -

Téngase presente que la polea D actúa también de volante para almacenar la energía suficiente para realizar la fase útil de recalado. El citado árbol E, transmite el movimiento giratorio al par de engranajes F y G, y por tanto el árbol excéntrico principal H. Este árbol excéntrico obliga al porta punzones I a avanzar en el sentido que indica la flecha durante la fase de recalado y a detenerse en la fase pasiva. El mismo árbol H lleva la leva P que acciona la corredera L de cierre a rótula de la placa móvil M - portamatriz contra la fija N. En la extremidad exterior del mismo árbol excéntrico H, se encuentra el embrague D y el freno. En el esquema se observa la corredera L protegida por un dispositivo de seguridad que permite superar también el punto muerto de la rótula sin daño alguno, venciendo la presión de un muelle.

De este modo cualquier variación de espesor que pueda determinarse entre las placas portamatrices M y N no impide a la excéntrica P realizar su rotación completa.

Existen también recaladoras construidas con el criterio de obtener los dos movimientos (el de la placa porta punzones I y el de la portamatrices M) independientemente mediante dos grupos que comprende cada uno el motor, el embrague y el freno.

La recaladora ilustrada en el esquema anterior ha sido construida con el principio de disponer verticalmente las placas portamatrices M y N.

Esta construcción que puede considerarse tradicional, --- admite una disposición superpuesta de matrices y punzones y favorece la caída por gravedad de la pieza forjada después de su separación de la barra.

Con objeto de exponer con más claridad las características de la máquina, describimos brevemente el desarrollo de las fases de recalcado refiriendonos al esquema anterior.

Después de haber sacado con la tenaza un trozo de barra - del horno, se coloca en la primera cavidad (la superior) de la -- matriz en la placa N; esta fase se efectúa cuando la placa M, que lleva una media matriz está abierta y el porta punzones I se en-- cuentra también en la posición de retroceso.

El trozo de barra es detenido por el tope Q rebatible. Después de haber puesto en marcha la máquina avanza inmediatamente la placa M (que bloquea al trozo de barra entre la matriz ---- opuesta), más tarde se abate el tope Q, avanza el porta punzones I (que actúa sobre el material con el primer punzón), se para este último, se abre la placa M y se para toda la máquina.

Inmediatamente el forjador desplaza el trozo de la barra de la primera a la segunda estación (la inferior) repitiéndose -- el ciclo como se describió anteriormente.

De igual manera se procede pasando la pieza de la segunda a la tercera estación de la tercera a la cuarta y así sucesivamente hasta su terminación.

## II. Recaladoras con Placas Portamatrices dispuestas Horizontalmente.

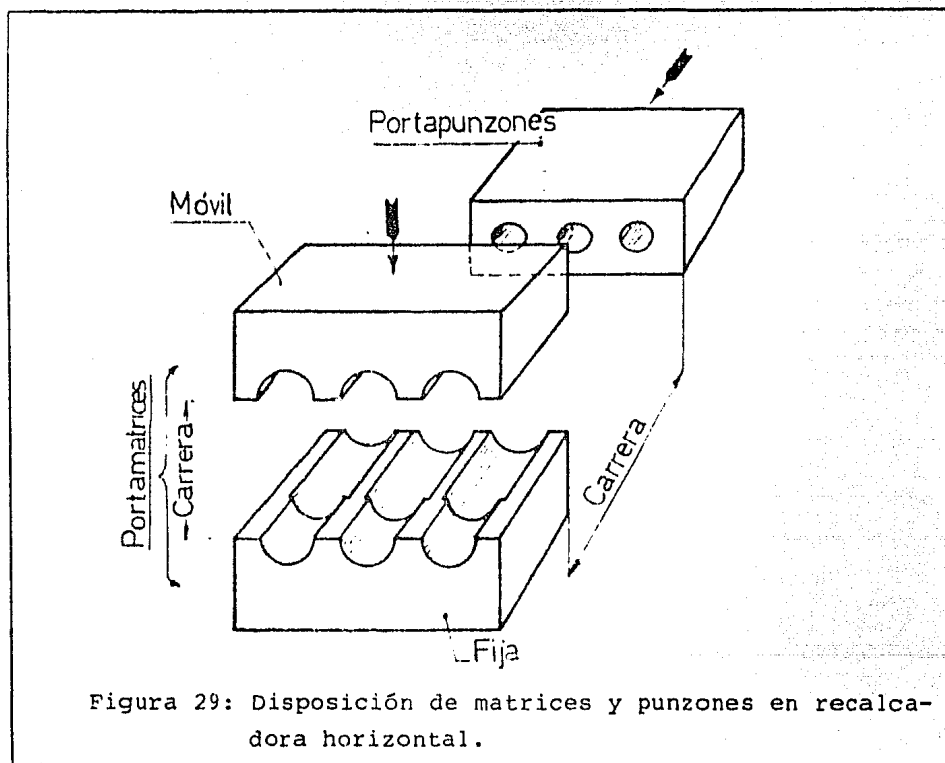


Figura 29: Disposición de matrices y punzones en recaladora horizontal.

Con respecto a la vertical presentan ciertas ventajas entre las cuales destacan una fácil accesibilidad en el montaje y -desmontaje de los punzones y matrices; posibilidad de regular la presión de bloqueo de las matrices mediante un volante y una escala graduada, exclusión en las correderas de las infiltraciones

de óxidos y sustancias abrasivas por que se deslizan fuera de la zona de recalcado y posibilidad de que queden bien asentados los trozos de barra en las cavidades de la matriz sin peligro de - - caída.

El desarrollo de las fases es del todo análogo al de la máquina expuesta anteriormente:

- Descenso de la matriz superior para el bloqueo del trozo de barra.
- Avance de la corredera horizontal porta punzones para el recalcado.
- Detención de la misma.
- Apertura de la matriz superior.

El trozo de barra es trasladado de una cavidad a otra --- después de cada apertura de matriz, a fin de someterlo a la serie de fases que lo transforman de un indefinido en una pieza acabada.



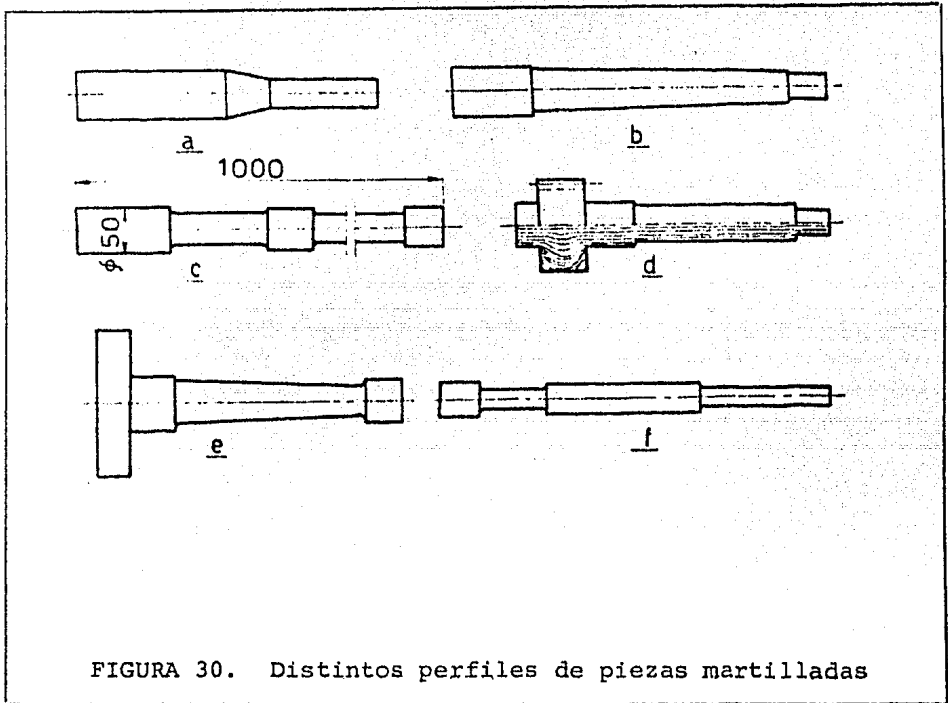
#### 5.4. Martilladoras.

##### - Generalidades

Estas máquinas tienen la finalidad de reducir el diámetro -- de trozos de barra cilíndrica en una parte o toda su longitud, -- con objeto de estirarlos, creando también superficies cónicas, gargantas o superficies cilíndricas rebajadas según un perfil prefijado.

Las martilladoras sustituyen a los martillos en la operación de estirado, donde el resultado depende de la habilidad del obrero forjador. En otros términos las martilladoras realizan automáticamente las operaciones de estirado de trozos de barra cilíndrica, produciendo elementos forjados iguales entre sí. Evidentemente estas máquinas encuentran un uso muy amplio en las producciones en serie de elementos de acero, mientras que las pequeñas producciones se procede al estirado normal en martillo.

Una de las ventajas de estas máquinas es la de preparar las piezas en bruto ya definidas en su forma, a fin de que luego puedan pasar directamente a las máquinas-herramientas, después de -- los eventuales tratamientos térmicos.



Los elementos a, b, c, f se obtienen directamente con martilladoras; los elementos c y d requieren de una operación de recalcado.

- Martilladoras Verticales.

Actúan sobre el material o los trozos de barra de sección circular, martillando perpendicularmente a la disposición de lami

nación de las fibras.

Las martilladoras realizan exclusivamente una operación de reducción de diámetro. El trozo de barra, para que pueda estirarse regularmente, es sometido a un movimiento giratorio en torno a su eje y de avance vertical hacia abajo. Con la imposición de estos dos movimientos todo el material que ha de ser martillado se ve forzado a pasar, girando y avanzando, delante de tres (o cuatro) martillos concéntricos de la máquina.

Evidentemente el material, a la temperatura de forja, es estirado fácilmente obteniendo la superficie exterior según un perfil prefijado.

Una máquina martilladora vertical comprende las siguientes partes principales:

- La base, que contiene los mandos para el martillado concéntrico.

- El armazón superior, que está construido por dos montantes laterales y uno central. Sirve para llevar las guías de deslizamiento vertical de la cabeza y de los otros órganos de mando.

- La cabeza móvil portapieza que se desliza entre las guías situadas a los lados de los montantes conteniendo una mordaza-

para fijar el trozo de barra por su extremo. La cabeza completa - está dotada de un movimiento alternativo de subida y bajada, a fin de hacer pasar el trozo de barra entre los tres martillos. Al mismo tiempo la mordaza está dotada también de un movimiento giratorio que asegura el paso de todo el material a la acción periférica de martilladora.

-Los mandos oleodinámicos permiten controlar los diferentes movimientos, tanto para obtener el giro de la mordaza portapieza como para la acción de martillado.

El funcionamiento típico puede describirse como sigue:

Las tres garras autocentrantes de la mordaza se controlan por un mando a pedal; después de haber introducido el trozo de barra previamente calentado a la temperatura de forja, se pone en funcionamiento la máquina apretando un pulsador. De este modo se inicia el movimiento de rotación del cabezal y su avance hacia abajo; el trozo de barra pasa entre los martillos; los cuales actúan periféricamente e imponen un perfil en relación a las posiciones de las lavas de mando del cabezal y los martillos.

Por la combinación de sus movimientos (que actúan sobre la carrera vertical y sobre la transversal de martillado) se obtiene la forma de la pieza en bruto. Una vez que han terminado el recorrido vertical útil se inicia el de ascenso; la rotación se detiene en cuanto termina esta carrera. A este respecto cabe señalar --

lar que los martillos siguen funcionando aunque el cabezal esté parado, para mantener constante la inercia de los volantes de mando de las bielas de martillado. Con el pedal se abren las garras del cabezal y se saca la pieza martillada.

En ocasiones puede ser necesario efectuar el martillado en dos veces; en este caso se invierte la posición de la pieza respecto a la mordaza. Como ilustración se presentan las características de una máquina martilladora de mediana capacidad.

Número de martillos	3 ó 4
Número de golpes	540 g/min.
Campo de Desplazamiento de martillos	55 mm.
Potencia de Forjado	176 toneladas
Diámetro máximo de la Pieza	Hasta 120 mm.
Velocidad de avance	1,000 mm/min.
Longitud Máxima de la Pieza martillada	1,200 mm.
Potencia Total Instalada	55 C.V.
Peso total de la Máquina	19 toneladas

#### Martilladoras Horizontales.

Estas máquinas son las más indicadas para la forja en caliente de extremos de piezas a fin de hacerlas cónicas; reducir su diámetro o imprimir alguna forma específica. Se construyen en

una gama de tamaños que reciben materiales de hasta 125 mm. de diámetro y la potencia de los motores varía, proporcionalmente, de 15 a 100 caballos .

Una máquina media puede formar 380 extremidades de piezas de 15 mm. de diámetro por hora.

- Martilladora Horizontal para conficar en frío ó en caliente.

Esta construida con el principio de hacer actuar cuatro -- martillos que reciben el movimiento por la cabeza mediante otros tantos rodillos mantenidos en una superficie de jaula, que actúa concéntricamente; al final de cada carrera de trabajo los martillos son empujados hacia el extremo, volviendo a la posición inicial.

Hay que tener en cuenta que los cuatro martillos, actuan simultanea y concéntricamente, realizando forjas muy uniformes en acabado y dimensión.

Naturalmente los órganos sometidos a los choques y a grandes esfuerzos están contruidos en acero especial templado.

Los tubos o barras a confiar, son introducidos en el agujero, que se presenta frontalmente a la máquina y se hace avanzar a mano regulamente con una tenaza y según el tipo de forja que se quiere realizar deberán ser seleccionados los martillos apropiados.

### 5.5. Preformadoras o Roladoras a Rodillo.

Si la producción en serie de elementos forjados en caliente en los martillos o en las prensas quiere alcanzar los resultados que exige hoy la técnica de la deformación plástica en caliente de los metales (elementos resistentes, precisos y a bajo costo), debe tenerse especial cuidado en la selección de máquinas adecuadas de preformado o desbaste.

En otros términos, las prensas y martillos deben estar -- ayudados por máquinas que puedan preformar rápidamente los elementos mecánicos, antes de que estos sean introducidos entre las dos medias matrices de acabado de la forma. El preformado en -- los martillos requiere siempre un obrero muy especializado aunque se efectúe con matrices simples de preformado.

Estas operaciones preliminares de preformado en serie se efectúan hoy con menor tiempo mediante los "Laminadores Preformadores a Rodillos". Estas son máquinas de moderna concepción y -- las piezas que resultan tienen la ventaja de ser constantes en -- forma y en dimensiones.

Su principio de operación se basa en dos rodillos dispuestos paralelamente según ejes horizontales, los cuales reciben por un lado un trozo de barra o un tocho y después de haber efectuado una serie de estiramientos progresivos mediante -- segmentos en rotación intermitente, sacan la pieza preformada por el lado opuesto.

Las máquinas preformadoras a rodillos están constituidas por una sólida bancada de fundición de alta resistencia y por dos montantes en acero fundido que llevan los respectivos arboles por tarodillos.

Sobre estos árboles se hallan montados los sectores intercambiables que contienen, perifericamente, una sucesión de incisiones para el estirado progresivo de cada trozo de barra.

Inicialmente el trozo de barra es introducido en la primera incisión y tomado por los sectores al comienzo de la primera vuelta. Con la rotación de los cilindros la pieza es obligada a estirarse, avanzando tangencialmente a los sectores para salir libre por la parte opuesta. Al final de esta primera pasada los cilindros vuelven a su posición inicial. Luego la pieza es sucesivamente introducida y estirada del mismo modo, pasando de incisión en incisión hasta el preformado completo.

El tiempo de contacto de la pieza con las formas incisas en los sectores es muy breve por la elevada velocidad de giro de los cilindros, por consiguiente, la pieza mantiene la temperatura de forja hasta la última pasada y por tanto hasta el forjado definitivo en la prensa o en el martillo. Naturalmente, las piezas son manipuladas por un operario mediante una tenaza. Los segmentos varían de amplitud y de incisión según la forma de las piezas que se quieran obtener; las piezas largas, por ejemplo, requieren segmentos que abarquen medio cilindro y las cortas un giro de 90 grados o menor.



En la figura número treinta y uno se exponen dos tipos de sectores para obtención de diferentes piezas.

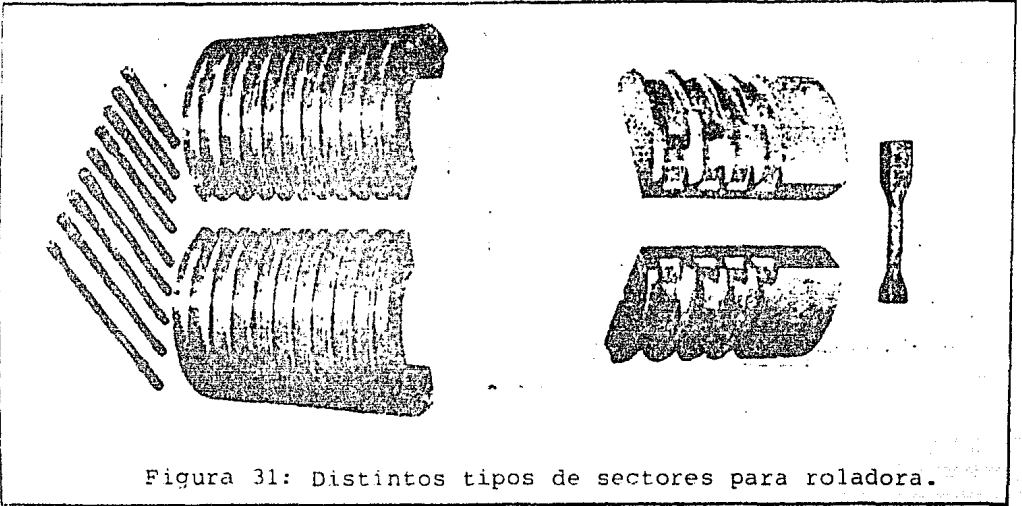


Figura 31: Distintos tipos de sectores para roladora.

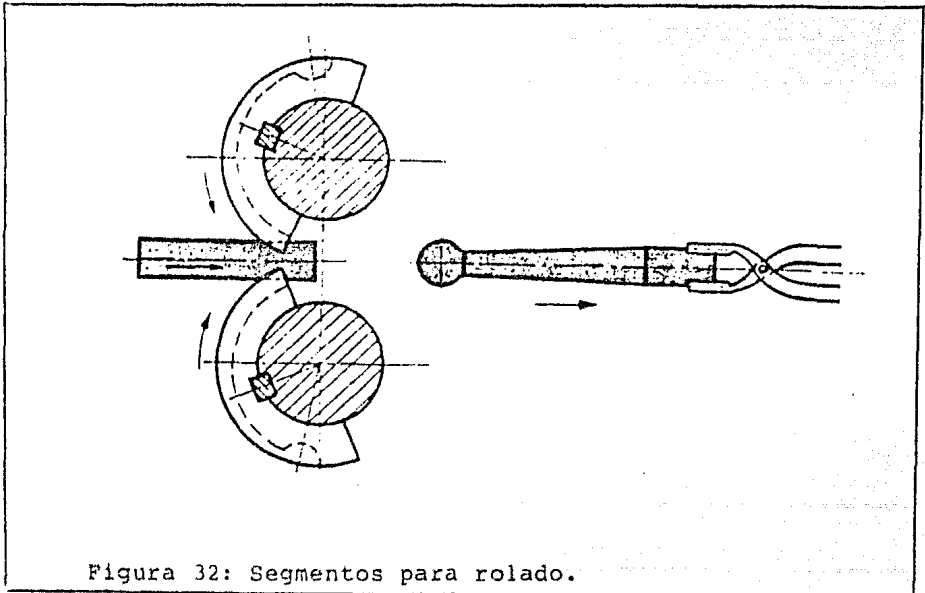


Figura 32: Segmentos para rolado.

Los sectores (o segmentos) pueden desmontarse fácilmente de los cilindros sólo con quitar algunos tornillos de presión; - están retenidos también, como puede verse en la figura mediante cuñas tangenciales de arrastre.

Los dos cilindros están unidos entre sí, en la rotación - por engranajes de modo que no haya ningún desfase entre los perfi les incisos en los sectores opuestos.

Los cilindros pueden ser regulados en la distancia entre centros mediante el ajuste excéntrico del árbol inferior. El -- cilindro superior en cambio, puede regularse en sentido axial.

El acoplamiento entre el volante (accionado por un motor eléctrico) y los cilindros se obtiene mediante un embrague de dis co único de accionamiento neumático. También el freno, situado en la parte opuesta del árbol, es mandado igualmente por un em-- brague a disco.

Con un pedal se ponen marcha los cilindros por cada rota- ción (o media rotación si se requiere) y se provoca automaticamen- te el paro de la marcha con interruptores de final de carrera que actúan sobre el freno, estos están mandados por una LEVA regula-- ble situada en la extremidad del cilindro superior.

### 5.6. Equipo Auxiliar.

-Maquinas para el corte de barras.

En la determinación de los costos de los elementos forjados en caliente se debe considerar también el tiempo empleado -- para la preparación de los tochos laminados, cuanto menor sea este tiempo, menor será su repercusión en el costo total de cada -- pieza.

La preparación de los tochos consiste, esencialmente, en cortar una o varias barras en trozos de igual longitud. Los diversos modos de efectuar el corte pueden ser:

-El martillo, mediante un cortador que actúa sobre la barra, después de haber calentado el extremo en un horno.

-Mediante sierras de cinta o circulares.

-Mediante máquinas corta barras (cizallas).

El corte en caliente, efectuado en el martillo con un cortador, se considera como el más artesano y por tanto el menos rentable; se usa solo ocasionalmente y cuando no se dispone de otros medios mejores.

El corte mediante sierras de cinta o circulares, aunque se realice con las mejores máquinas y automáticamente, requiere un cierto tiempo que repercute sobre el costo de la pieza forjada; lo mismo puede decirse para el corte con las muellas diamantadas. Estos dos últimos sistemas pueden usarse para barras de pequeño diámetro y para medianas cantidades.

Ninguno de estos sistemas es adecuado para satisfacer las exigencias de efectuar los cortes en un tiempo mínimo.

El sistema más moderno es el de cortar las barras mediante máquinas especiales llamadas cizallas. Dichas máquinas permiten realizar el corte limpio de barras de acero, incluso aleado, siempre que sea de una dureza tal que no compromete la integridad de las cuchillas. Cuando los aceros son de elevada resistencia se requiere un calentamiento de las barras a una temperatura que puede variar, según los casos entre 100°C y 800°C, pudiendo cortarse barras cuadradas de 26 a 200 milímetros de lado; redondas desde 20 a 220 milímetros de diámetro y planas de 75 x 10 a 200 x 120 milímetros.

#### Cizallas.

Son máquinas basadas en el principio de cortar limpiamente las barras metálicas mediante la acción de corte a guillotina, por medio de cuchillas apropiadas.

La barra es colocada a mano ó automaticamente, sobre una batería de rodillos perfilados que la conducen hasta la zona de corte. La longitud del trozo a cortar es fijada mediante una -- barra de tope, la cual retrocede en cuanto al pisador ha ejercido su acción de fijación de la barra sobre la cuchilla inferior.

Este retroceso tiene por objeto el no obstaculizar el tocho en la fase de tronzado que se produce por la cuchilla que actúa de arriba hacia abajo.

A modo de aclaración se expone el desarrollo de las fases en un ciclo de tronzado.

1 Colocación de la barra a entre las gargantas guías de los rodillos A regulables en altura.

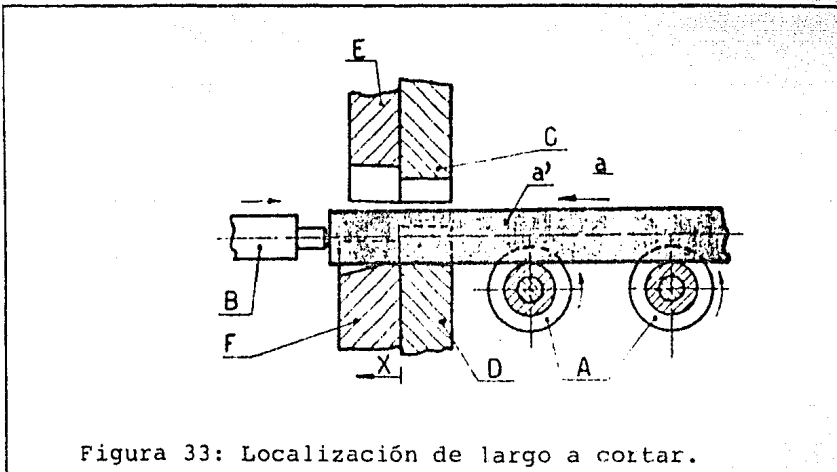


Figura 33: Localización de largo a cortar.

- 2 Avance automático de la barra a (impulsada por los --  
ridollos A) hasta el paro frontal sobre el tope B.
- 3 Por un contacto eléctrico es sincronizado el descenso  
del pisador C que fija la barra a sobre la cuchilla D.

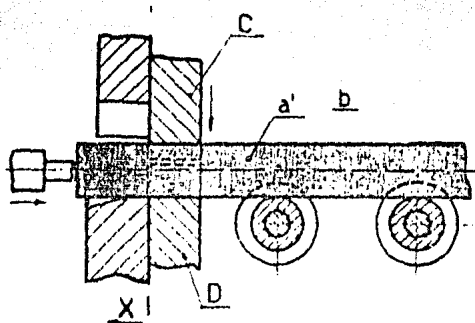


Figura 34: descenso del pisador.

- 4 Por otro mando eléctrico se produce, a secuencia sin-  
cronizada, el descenso de la corredera que lleva la -  
cuchilla E, la cual, con un corte progresivo, separa  
la barra b sostenida por el soporte de reacción F.

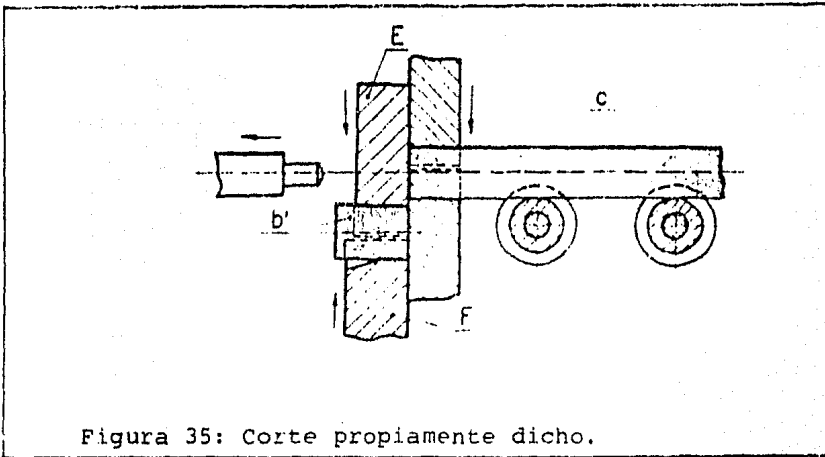


Figura 35: Corte propiamente dicho.

5 Retorno ascensional de la corredera que lleva la cuchilla E y, al mismo tiempo, caída del trozo b por un plano inclinado.

6 Retorno ascensional del pisador C.

En ciertos tipos de máquinas cortabarras el soporte de reacción F, situado bajo la cuchilla de corte E, como se muestra en la figura anterior, es accionado hidráulicamente por un émbolo que se desliza en su respectivo cilindro. La presión oleodinámica es suministrada por una bomba de engranajes a caudal constante.

En otros tipos de máquinas la reacción del soporte F, es realizada mecánicamente según un sistema de palancas que permiten la adaptación de la fuerza a la acción de corte de la cuchilla E, o bien, a mayor fuerza ejercida por dicha cuchilla, reacciona el soporte F, en medida también mayor.

En la figura treinta y seis se muestra un tipo de máquina cortabarras.

Cabe señalar que existe una gran variedad de máquinas que se adaptan prácticamente a cualquier tipo de corte, realizando - este trabajo con un alto nivel de economía y calidad.

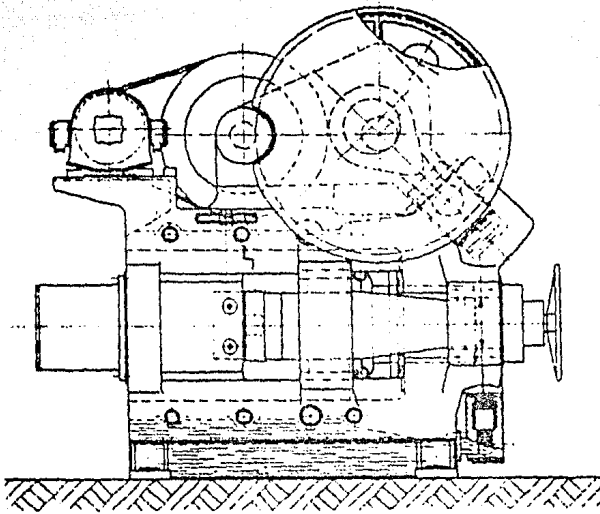


Figura 36: Vista lateral de una cizalla cortabarras.



-Hornos para Calentamiento y Tratamientos Térmicos.

Existen diversos tipos de hornos construidos en función a la aplicación a que se destinaran. La subdivisión puede, por -- tanto hacerse según criterios que consideran la forma de generar el calor y el tipo de tratamiento térmico. Así tenemos:

-Hornos para el calentamiento del material para forjado.

-Hornos para el tratamiento térmico de los elementos ya -- forjados.

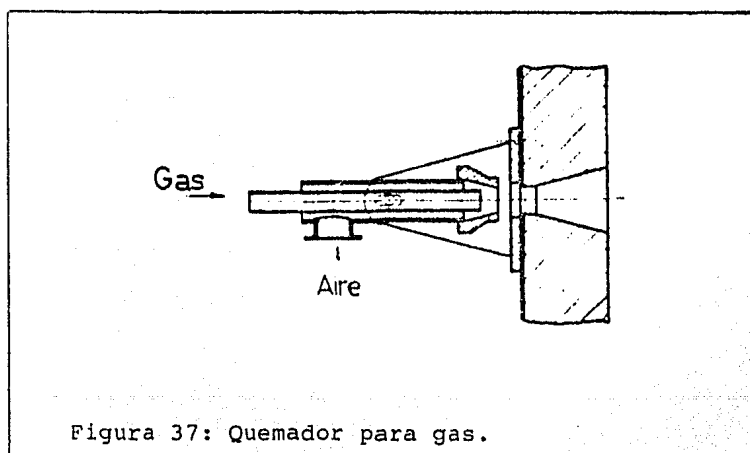
Cada uno de estos tipos de hornos pueden ser calentados: electricamente por diesel, por Gas Natural, etc.

Los hornos eléctricos están basados en el principio de -- hacer circular la corriente eléctrica a través de una resistencia en serpentina, dispuesta entre los huecos de los ladrillos refragarios que constituyen las paredes internas del horno. La lon-- gitud de resistencia y la sección del conductor están calculadas en base a la temperatura que se quiere alcanzar en el horno en un tiempo determinado considerando, como es lógico, el voltaje de la red de alimentación.

Los hornos de combustión, utilizan el calor generado por -- la llama de un combustible determinado, que puede ser líquido o -- gaseoso. Por tanto, en uno o varios puntos del horno se instalan

"quemadores" que, según sea el combustible empleado, tienen características diferentes. En cada caso, por las temperaturas que se alcanzan, es necesario que la cámara del horno esté construida con materiales de elevada resistencia pirométrica, generalmente no inferior a 1600°C.

Los combustibles más usados son: el diesel, el combustóleo y el gas natural. Los quemadores empleados pueden ser de diferentes tipos, algunos producen una llama alargada, no muy caliente, pero bastante luminosa; otros producen una llama corta, poco luminosa pero muy caliente. También se usan tipos regulables -- que permiten emanar una llama intermedia entre los dos extremos. Los quemadores tienen forma de tubo instalado en el interior de otro más grande que actúa de cámara de aspiración del aire. Estos quemadores están fijados frontalmente, mediante una brida, en un agujero practicado en el horno, como se muestra en la figura.



Los hornos están dotados también de "pirómetros" y de "termostatos" para la regulación automática de la temperatura.

En cualquier horno, aún en el construido más racionalmente, se tienen pérdidas de calor a través de las paredes, a través de la boca de apertura, o por cualquier otro motivo. A veces es conveniente conocer su rendimiento que puede expresarse como:

$$n = \frac{Q}{Q_f}$$

$$Q = c_p \times \Delta t$$

donde

$n$  = Rendimiento del horno

$Q$  = Calorías utilizadas por el metal para ponerse a la temperatura de forjado.

$Q_f$  = Calorías totales producidas en el horno para calentar el metal a dicha temperatura.

$c.p.$  = Calor específico en cal/kg. del metal a calentar.

$\Delta t$  = Diferencial entre temperatura ambiente y temperatura a que se desea calentar la pieza.

-Hornos para el Calentamiento del Material a Forjar.

Fundamentalmente estos tipo de hornos deben elegirse en función de la calidad del material a calentar, de la cantidad de piezas a forjar por hora y de las dimensiones de éstas.

Practicamente puede hacerse la elección con siguiente criterio:

- a) Para calentar pequeñas cantidades de trozos se utilizan hornos de mufla eléctricos, de diesel o de gas.
  
- b) Para grandes cantidades, donde se requiere que las piezas salgan del horno a ritmo constante correspondiente al tiempo de preformado de cada pieza individualmente, se utilizan generalmente hornos giratorios ó lineales - eléctricos, de diesel o gas. Es natural que, según -- los materiales a forjar, habrá de regularse en el horno la temperatura adecuada.

a) Hornos de mufla.

Los hornos de mufla son los más sencillos y se emplean - para el calentamiento de trozos de barra en pequeñas cantidades, para forjar ó también para el tratamiento térmico de los elementos ya forjados.

Un horno de mufla eléctrico típico esta constituido por la cámara de calentamiento, que está construida de ladrillos refractarios que llevan las resistencias eléctricas, la compuerta que - está equilibrada por un contrapeso y la regulación automática de temperatura que se obtiene por un temostato. Estos hornos se -- construyen en varios tamaños con cámaras desde 300 x 550 x 200 - milímetros y potencias de 50 Kw. según el tamaño.

Un horno similar al eléctrico de mufla pero que funciona con diesel, dispone de quemadores especiales de llama corta que permiten una combustión completa y se construyen con cámaras de 420 x 310 x 600 mm. hasta 600 x 460 x 1600 mm. consumiendo de 10 a 25 kg/hr de combustible para alcanzar una temperatura de régimen de 1100 a 1350°C.

Tipos semejantes se construyen también para su funcionamiento con gas natural.

#### b) Hornos Lineales.

Se construyen para satisfacer exigencias especiales de producción, ya que pueden calentar una serie de tochos alineados, -- los cuales, atravesando la galería del horno, se presentan uno por uno a la salida después de haber alcanzado gradualmente la -- temperatura de forja.

En la figura siguiente se ilustra uno de estos hornos -- lineales.

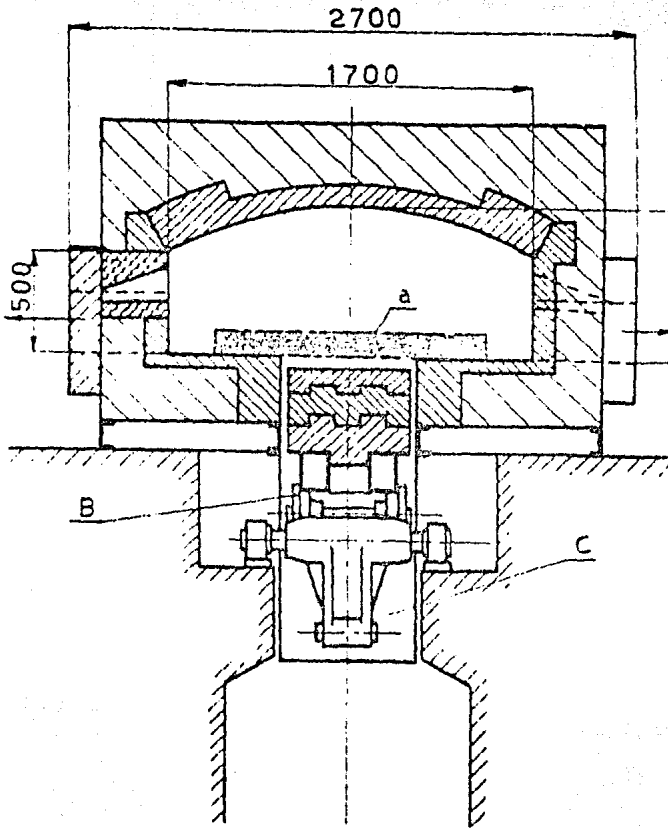


Figura 38: Horno lineal para calentamiento de barras.

Cada uno de los tochos es introducido en el horno cada vez que sale otro caliente. Inicialmente, con maniobras oportunas se hace la carga completa. Observese que todos los tochos están apoyados, por los extremos, sobre los márgenes de una abertura longitudinal hecha a propósito en el lecho del horno. En esta abertura puede moverse la solera A, de material refractario, llevada por dos largueros. El conjunto es sostenido por dos rodillos dobles B que giran en el extremo superior de cada una de las palancas C estas dos palancas están unidas entre sí por el tirante que las hace oscilar simultáneamente.

La oscilación es tal que los rodillos B conducidos por dichas palancas, levantan la solera A con los dos largueros y por tanto los tochos a. En este momento un émbolo empuja hacia adelante a dicha solera un espacio suficiente para que simultáneamente los tochos levantados avancen un paso. Después la solera baja y vuelve a su posición inicial, una vez que el primer tocho se ha apoyado sobre una parrilla móvil para ser transportado fuera de la cámara.

Este horno ha sido construido para calentar tochos de acero de 120 x 120 x 1250 mm. a la temperatura de 1200°C. es alimentado por Gas-Oil consumiendo 60 Kg/hr. por medio de varios quemadores dispuestos a los lados de cámara de calentamiento.

### Hornos Giratorios.

Se adaptan perfectamente al ritmo de producción en el forjado en caliente en serie. Estan contruidos según el principio de cargar los tochos fríos en un punto del horno, de calentarlos durante el tiempo empleado por la plataforma en cumplir una vuelta casi completa y descargarlos uno a uno por una portezuela a medida que se presentan adelante de aquella.

En la figura treinta y nueve se ilustra una horno eléctrico giratorio. Como puede observarse, comprende una parte fija cuyas paredes constituyen, junto con la tapa B, de material refractario, la cámara de calentamiento en forma de galería circular. En el interior de las dos paredes verticales van dispuestas oportunamente las resistencias eléctricas C. La solera D del horno, en forma de corona circular, está guiada por carriles y soportada por una serie de rodillos E que giran en torno a la pista F. Dicha solera D es conducida, en su rotación, por dos brazos G, en unión con el reductor central H a través de engranajes cónicos. El accionamiento procede de un motor eléctrico y los tochos se cargan fríos a través de la puerta I. La velocidad de rotación de la plataforma D está regulada de tal modo que satisfaga el ritmo de producción y de dar tiempo a que se calienten los tochos a la temperatura deseada en menos de una vuelta.

También las resistencias deberán estar dimensionadas de modo que produzcan las calorías suficientes para llevar a los tochos



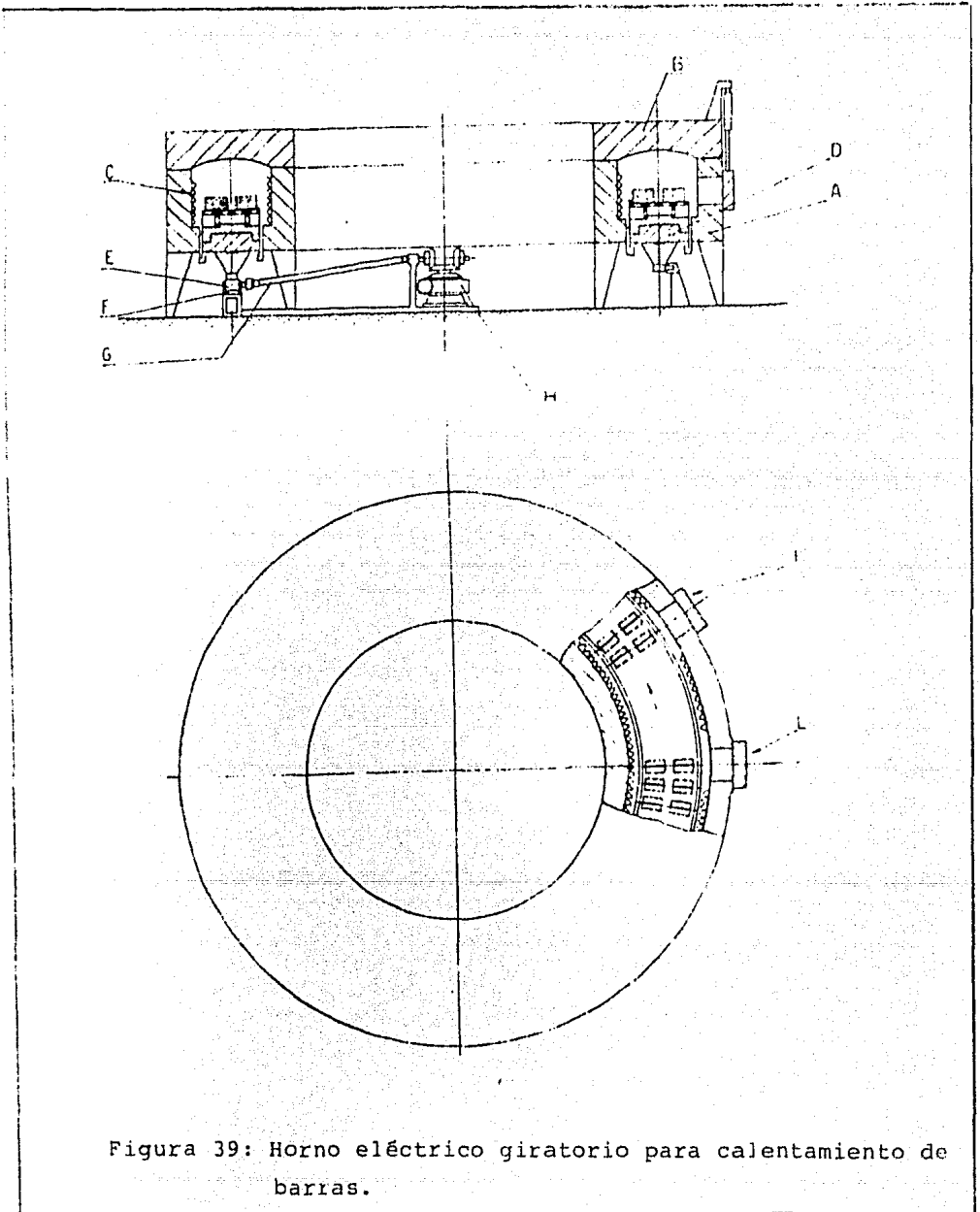
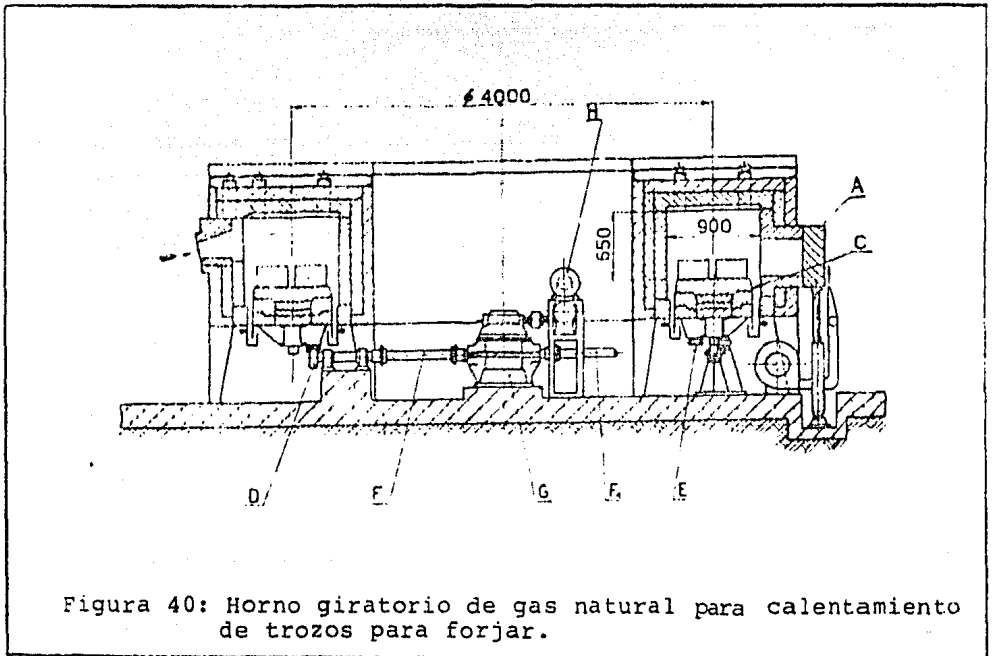


Figura 39: Horno eléctrico giratorio para calentamiento de barras.

a la temperatura de forja. Por la otra puerta L se extraen los tochos uno a uno o dos a la vez para ser sometidos a forja. Este horno giratorio es muy adecuado para el calentamiento a  $500^{\circ}\text{C}$  - - tochos de aleación ligera; la potencia de este equipo es de 150 Kw.

Otro tipo de horno giratorio, para el calentamiento de trozos de barra de acero de  $180 \times 180 \times 300$  mm. es el ilustrado en la figura cuarenta.



Este horno está alimentado por gas natural mediante ocho quemadores periféricos. Los tochos alcanzan la temperatura de  $1250^{\circ}\text{C}$  y se cargan a través de la abertura A descargándose en caliente por otra puerta, después de casi una vuelta. El funcionamiento mecánico es análogo al ya ilustrado en el horno giratorio

eléctrico. La diferencia sustancial, además de la de tener quemadores en lugar de resistencias eléctricas, consiste en el modo de hacer girar la plataforma C. En este horno la rotación de dicha plataforma se produce a través de dos piñones D que engranan con la corona dentada E. Estos piñones son accionados por dos semiejes F y FI que reciben el movimiento giratorio del reductor G movido por el motor eléctrico H.

#### -Hornos de Inducción.

El calentamiento de los tochos metálicos o de los trozos de barra adquiere una importancia considerable, especialmente en las producciones en serie de piezas que se han de forjar en caliente, donde los costos deben ser mínimos.

El problema de la presentación condicionada de los trozos de barra calentados según un ritmo constante y continuo se ha resuelto con los hornos giratorios de gas. Pero también estos hornos como los demás, deben ser mantenidos calientes durante las horas nocturnas de suspensión del trabajo y esto representa un gasto considerable de energía térmica. Por otra parte, cuando se dejan enfriar, requieren bastante tiempo antes de estar listos para reemprender el trabajo. Estos inconvenientes ha inducido a los técnicos al estudio de un procedimiento distinto de calentamiento de los trozos de barra, tochos, lingotes, etc., que se han de forjar. Este procedimiento consiste por una parte en utilizar el calor provocado por el efecto Joule de la corriente

eléctrica al atravesar un cuerpo conductor y otra la facultad de generar dicha corriente por efecto electromagnético, sin contacto directo entre la fuente y el cuerpo a calentar.

El principio del calentamiento por inducción, se funda en la teoría de hacer circular por el cuerpo metálico que se ha de calentar una corriente inducida, sometiéndolo a un fuerte campo magnético alterno. En otros términos, la inducción se produce como en un simple transformador de corriente alterna. La diferencia consiste en tener colocado el cuerpo metálico a calentar en lugar del arrollamiento secundario inducido. Resulta evidente que el cuerpo M, al encontrarse en el campo magnético engendrado por la corriente inductora del circuito primario L, es recorrido por una corriente inducida que, por el efecto Joule, se transforma en calor como se aprecia en el siguiente esquema.

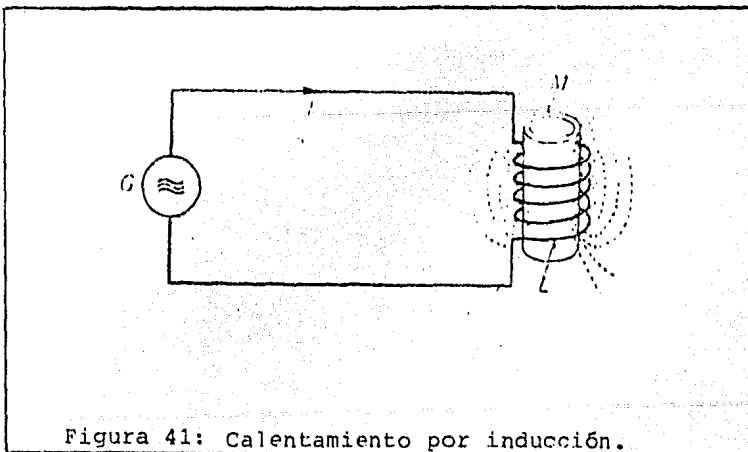


Figura 41: Calentamiento por inducción.

En un primer examen distinguimos a) hornos de inducción a frecuencia industrial (60 Hz); b) hornos de inducción a frecuencia media. En el primer caso puede hacerse el enlace monofásico a la red normal existente. La instalación, como puede verse, es muy sencilla. La regulación de la potencia se obtiene variando la tensión de alimentación con un autotransformador.

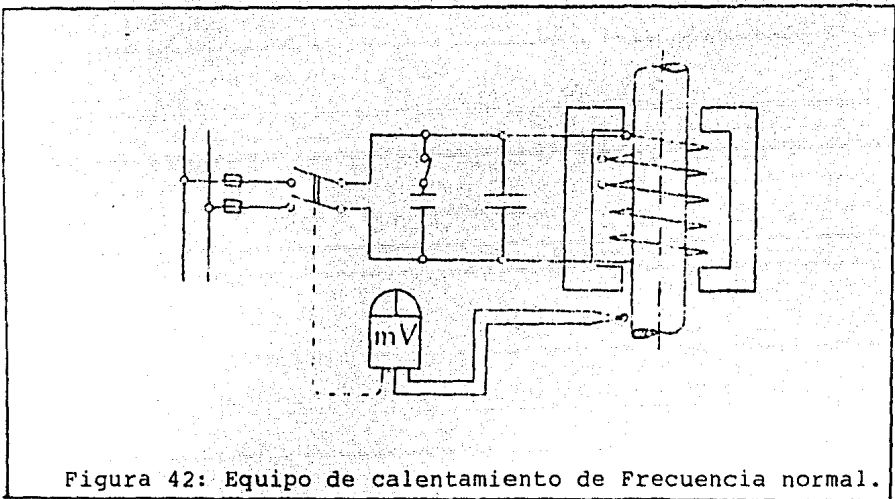


Figura 42: Equipo de calentamiento de Frecuencia normal.

En el segundo caso, donde la frecuencia es superior a la industrial (frecuencia media), se precisan grupos convertidores de frecuencia.

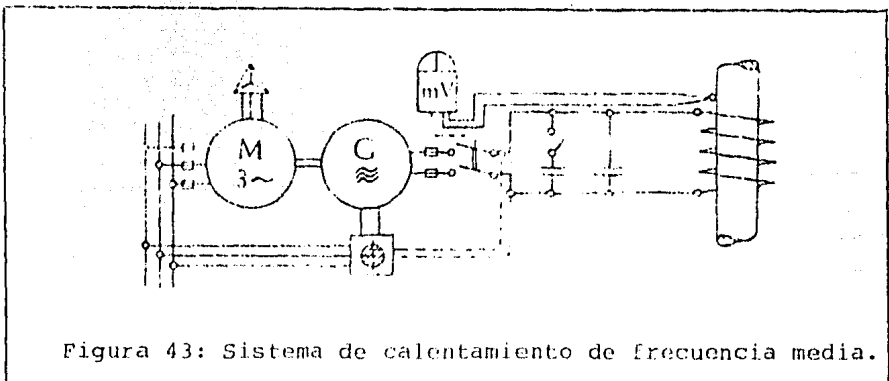


Figura 43: Sistema de calentamiento de frecuencia media.

Estos están constituidos por un motor asíncrono, o bien -- síncrono, acoplado directamente a un alternador de frecuencia - - media.

El horno eléctrico a inducción es bastante sencillo en su conjunto. Está constituido por una espiral de cobre (bobina) y por la envoltura que la separa del material que se ha de calentar. Como el cobre es un buen conductor, se calienta mucho con el paso de la corriente; por tanto, se requiere el enfriamiento con agua que circule en la bobina. El conductor está, por tanto, cons--- tituido por un tubo de cobre de sección redonda o rectangular en el cual circula el agua de refrigeración.

Los hornos de inducción de pequeña potencia tienen una sola bobina inductora alimentada por corriente de frecuencia industrial.

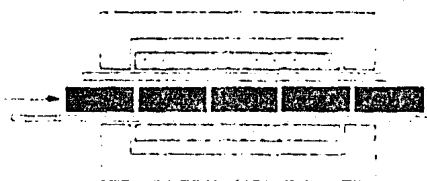


Figura 44: Bobina inductora para calentamiento de trozos.

En la figura se ve como las piezas metálicas entran en el tubo refractario envuelto por la bobina inductora. El horno está revestido de material refractario y en el caso de que tengan que alcanzar temperaturas elevadas, por una capa de material aislante

que limita las pérdidas hacia el exterior. En la parte exterior de la bobina van emplazados núcleos de chapa magnética con la función de conducir y evitar la dispersión. Todo el conjunto está encerrado en una armadura metálica.

**-Hornos para tratamiento termico.**

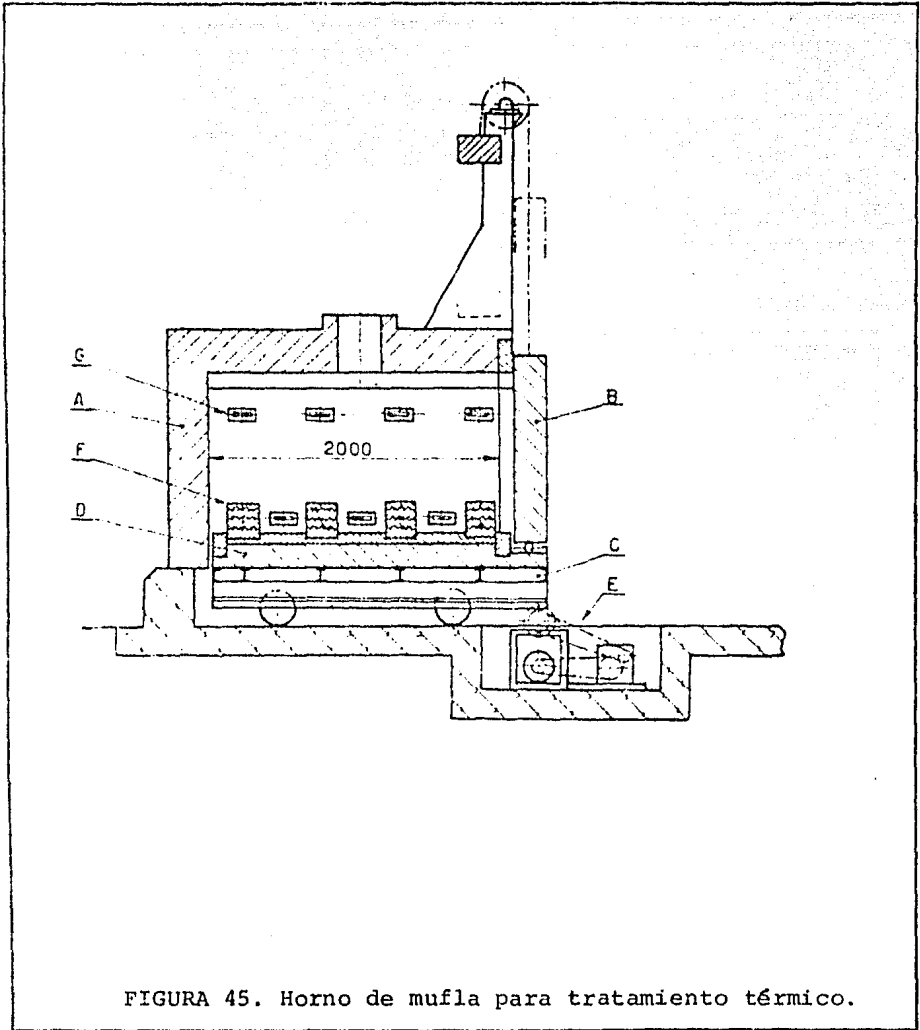
Las temperaturas necesarias para efectuar los tratamiento de normalizado en los aceros de construcción son aproximadamente de 850 a 950 °C. En este caso, debido a que no existe urgencia por sacar las piezas del horno a ritmo constante, los hornos pueden ser de mufla simple.

Independientemente de la temperatura que pueden alcanzar, el sistema constructivo es análogo al de los hornos de mufla para el calentamiento de tochos o trozos de barras que se mostraron en la primera parte de este tema.

En los hornos de cámara profunda se han previsto un sistema que permite efectuar la carga y descarga de las piezas sobre un carro cuando ésta se halla fuera de la cámara.

La figura cuarenta y cinco ilustra el diseño, de un horno de mufla que funciona con gas natural construido con dicho principio, o sea de carro móvil. La cámara de tratamiento está limitada por las paredes laterales A y por el techo construido de material refractario. La puerta B, también de este material, se abre por un sistema de equilibrio a contra peso. El bastidor C, formado por vigas, lleva en la parte superior la solera D, de material refractario y en la parte inferior un sistema de largueros con cuatro ruedas que giran sobre rieles.





También observese un dispositivo E de accionamiento por motor; que permite la traslación mediante un piñon y una cremallera de la solera completa con los caballetes F de apoyo del contenedor porta piezas.

Los quemadores de gas están instalados en correspondencia con las ventanas a laterales G. Con este horno que consume en promedio 42 m<sup>3</sup>/hora de gas se pueden obtener temperaturas hasta de 1000 °C, en la cámara.

Se construyen también hornos eléctricos con carro móvil a mano, con cámara desde 500 x 400 x 800 milímetros. Las potencias van de 15 a 150 Kilowatts, para temperaturas de 550 °C a 750 °C .

- Equipo de Limpieza para Piezas Forjadas.

Los elementos de acero forjado y sometidos sucesivamente a los tratamientos térmicos de normalización y recocido presentan incrustaciones superficiales de óxido de hierro, provocadas por los diversos calentamientos que han tenido que soportar las piezas en los hornos durante el ciclo completo de forjado al tratarse térmicamente. Por otra parte es necesario que las máquinas-herramientas reciban las piezas limpias a fin de poder realizar un mejor y más económico arranque de viruta, puesto que las herramientas experimentarían una más rápida pérdida de su filo de corte si tuvieran que eliminar las costras de óxido, generalmente más duras que el metal. Los elementos de latón, bronce y aleaciones ligeras,-

forjados en caliente, aunque se oxiden en presencia del oxígeno del aire durante el calentamiento, no presentan el problema de la limpieza antes de su elaboración mecánica en las máquinas herramientas.

Existen tres sistemas para eliminar los óxidos de las superficies de las piezas.

1. Decapado químico en baño ácidos
2. Decapado mecánico con arena
3. Decapado mecánico con granalla metálica

El primer sistema puede emplearse para todos los metales ferrosos y no ferrosos.

El segundo sistema, o sea, el de arenado con arena de cuarzo y sílice, puede emplearse para la limpieza de elementos de aleación ligera, latón y de pequeñas dimensiones.

El tercer sistema, conocido también como "granallado", se emplea generalmente para la limpieza de elementos de acero forjado y tratados térmicamente.

En cada caso el "arenado" o el "granallado", consiste en lanzar violentamente, en el interior de máquinas llamadas arenadoras, o granalladoras, un chorro de arena o de pequeños gránulos metálicos duros contra las superficies de las piezas a limpiar.

Los granos, con su fuerza viva, arrancan las incrustaciones y las pulveriza dejando al descubierto la superficie metálica.

Es importante destacar que en el curso de estos últimos años, el procedimiento de limpieza con la granalla metálica ha alcanzado de sarrollo tal que con granalla metálica fina se pueden limpiar y pulir elementos de latón y alineaciones ligeras.

Los motivos por los que se prefiere el "granallado" en vez del "arenado" son los siguientes:

- 1.- La granalla, que está constituida por granos muy duros y de elevado peso específico, alcanza, en el momento del choque sobre las piezas, una fuerza viva muy superior a la de los granos de cuarzo o de arena.
- 2.- La arena, cuando es lanzada violentamente por una tobera contra un obstáculo, produce un volumen de polvo -- muy grande que resulta malsano para quien este cerca.
- 3.- Los granos metálicos, por el contrario no producen de por sí polvo y aunque debido a la trituración de las incrustaciones de óxido que recubren las piezas producen ciertos volúmenes de contaminante, este puede eliminarse fácilmente con una buena ventilación.
- 4.- Desaparición del peligro de la silicosis"

También desde el punto de vista económico la granalla --- ofrece la ventaja de gastarse lentamente; en otros términos y haciendo una comparación práctica en lugar de consumir 30 toneladas de arena se consume una tonelada de granalla, como la consiguiente economía de transporte, de manutención y de espacio. La granalla por ser metálica no es higroscópica o sea, no absorbe la humedad del aire como ocurre por el contrario con la arena, que muchas -- veces debe ser secada antes de emplearla. Como resulta obvio la granalla metálica, al fabricarse con procedimientos industriales, cuesta más que la arena que se encuentra al estado natural.

La granalla, de fundición templada o de acero tratado, puede tener una forma esférica, angular o cilíndrica, dependiendo -- del tamaño de las partes a limpiar y los acabados requeridos.

El consumo de granalla es aproximadamente del 1% del peso de las piezas pulidas, empleando buenas máquinas.

La granalla metálica puede ser lanzada sobre las piezas de dos modos diferentes, ya sea por medio de aire comprimido o bien mediante acción centrífuga.

-Arenadoras o Granalladoras con Lanzamiento del Abrasivo - por el Aire comprimido.

En las máquinas arenadoras el lanzamiento se produce me-- diante un chorro de aire comprimido que arrastra los granos y los

hace batir violentamente contra la superficie de las piezas a limpiar. Del mismo modo que se lanza la arena puede lanzarse la granalla metálica, de tal forma que las arenadoras pueden emplearse para lanzar la granalla sin necesidad de ser transformadas.

Las máquinas arenadoras o granalladoras están constituidas generalmente por una caja de lámina que sirve de cámara de limpieza, un compresor para aire, un recipiente para recoger la arena o granalla; un sistema de tuberías para el paso del material abrasivo y una tobera para el lanzamiento de la arena o de la granalla.

-Granalladoras de lanzamiento del Abrasivo mediante la acción de la fuerza centrífuga.

Los constructores de máquinas, después de los resultados positivos logrados con el empleo de la granalla metálica, han querido introducir nuevos principios para el lanzamiento de los granos abrasivos. Cada uno de estos, al tener una masa muy superior a la del grano de arena, no necesita la presión del aire que lo empuje con su cojín elástico. Los granos metálicos, en otros términos, pueden ser lanzados como proyectiles y después dejados libres.

Por tanto los constructores de las máquinas han introducido el sistema de lanzamiento utilizando la fuerza centrífuga que se genera por la rotación de una tubina.

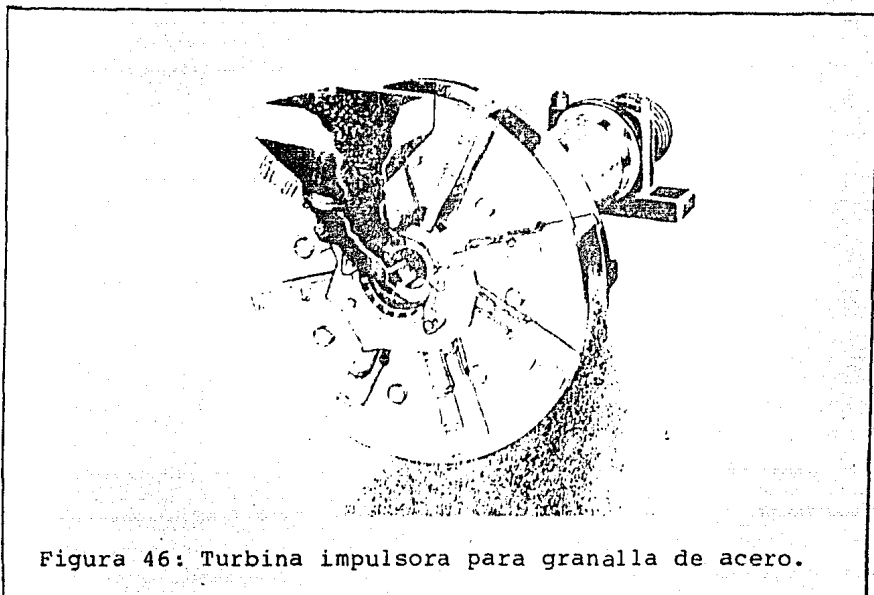


Figura 46: Turbina impulsora para granalla de acero.

Como se aprecia en la figura anterior los granos metálicos son lanzados desde palas rectas o ligeramente curvadas que giran a una velocidad de 2000 a 3000 rpm. Este sistema de lanzamiento del abrasivo permite obtener resultados económicos considerables; basta con decir que la granalla puesta en circulación por una -- buena máquina de turbina puede alcanzar un peso de 130 kilogramos por minuto, empleando una potencia de 15 C.V., mientras que con una máquina que funcione con aire comprimido la cantidad de granos metálicos lanzados es sólo de 10 kg. empleando una potencia de 17 C.V.

El motivo económico ha orientado, por tanto, a los constructores hacia el sistema de lanzamiento de la granalla exclusivamente con turbinas.

## 1. Granalladoras de mesa giratoria sobre un carro móvil.

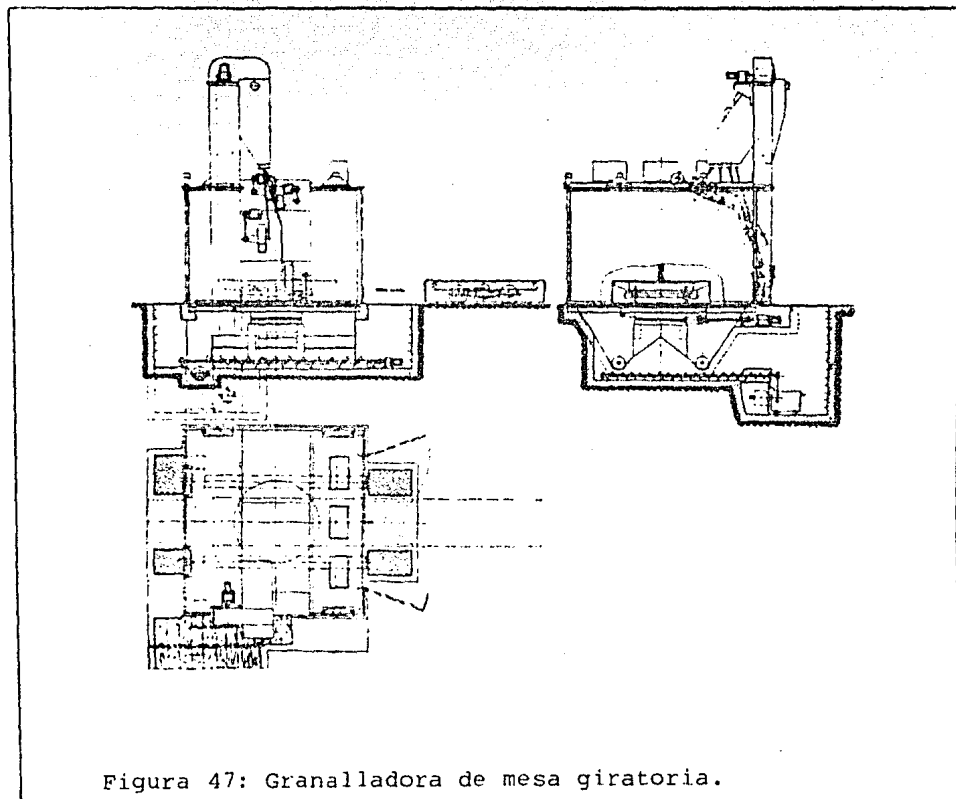


Figura 47: Granalladora de mesa giratoria.

La máquina mostrada en la figura cuarenta y siete se compone esencialmente de una cabina de lámina para granallar, dos turbinas para el lanzamiento de la granalla, un carro que lleva en la parte superior una mesa giratoria de funcionamiento eléctrico, un sistema de recuperación del grano obtenido mediante un sinfín de transporte y un elevador de cangilones. Un aparato aspirador para la eliminación de todo el polvo y una instalación de turbinas y motores eléctricos.



La granalladora funciona del siguiente modo: las piezas a limpiar se colocan oportunamente sobre la mesa del carro cuando este está fuera de la cabina. Al ponerse en marcha un motor eléctrico el carro es trasladado dentro de la cabina. Después de haber cerrado la puerta de la cabina se ponen en funcionamiento el motor para la rotación de la mesa, los motores para el giro de las turbinas y el sinfin de recuperación. Evidentemente el bombardeo de la granalla actúa sobre la maza de las piezas situadas encima de la mesa, la cual, al ponerse a girar, permite la exposición de las superficies en todas las posiciones posibles. Mientras tanto los granos metálicos pueden pasar por la espiral del sinfin para ser transportados a los cangilones del elevador y recuperados más tarde en el depósito de recogida, después de haber sido limpiados del polvo con un dispositivo de separación.

Al final de la operación de granallado se puede parar la alimentación de los granos metálicos, abrir la puerta, hacer retroceder el carro sobre los rieles y quitar las piezas.

Estas granalladoras se construyen en tamaños que van desde una cabina de 2.3 x 2.3 x 2.2 metros, con una turbina de 20 CV, hasta una cabina de 8.0 x 8.0 x 6.5 metros, con 6 turbinas de 20 CV cada una.

## II Granalladoras continuas de tambor giratorio.

Un tipo de máquina adecuada para la limpieza de grandes cantidades de pequeñas piezas forjadas en caliente y tratadas térmicamente es el que ilustramos a continuación.

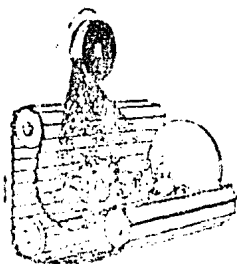


Figura 48: Granalladora de tambor giratorio.

Esta granalladora se compone de una cámara donde son introducidas las piezas, un sistema de transporte interno de las piezas tipo tambor giratorio, turbina para la proyección de los granos metálicos, un sistema de recuperación de los granos metálicos y de un separador de polvo.

Las piezas son introducidas al tambor para ser sometidas a la operación de granallado. El desarrollo de la operación es continuo y no tiene interrupción hasta la salida del tambor de las piezas limpias.

Los elementos de las turbinas, las bridas laterales, las palas y otras partes expuestas están construidas en acero fundido al manganeso, resistente particularmente al desgaste.

## 6. DESARROLLO DE HERRAMIENTAS Y PROCESO PARA FABRICAR UN ENGRANE

Como conclusión al desarrollo realizado en los capítulos anteriores tenemos ahora un ejemplo práctico de forja para una pieza sencilla.

Las características de este caso son las siguientes:

Se trata de un engrane, parte de un mecanismo de transmisión que deberá fabricarse según la especificación, en acero - - aleado del tipo "AISI 8620".

La composición química de este acero es:

Carbono:	0.20%
Silicio:	0.25%
Manganeso:	0.80%
Cromo:	0.50%
Molibdeno:	0.20%
Niquel:	0.60%

Dadas estas características se espera que luego de pasar los procesos de maquinado la pieza sea sometida a un tratamiento de carburización y endurecimiento.

Los lotes de producción ordenados son de 20,000 piezas.

En la figura 49 se observa la pieza forjada y marcado con una línea de puntos se aprecian las dimensiones posteriores al maquinado.

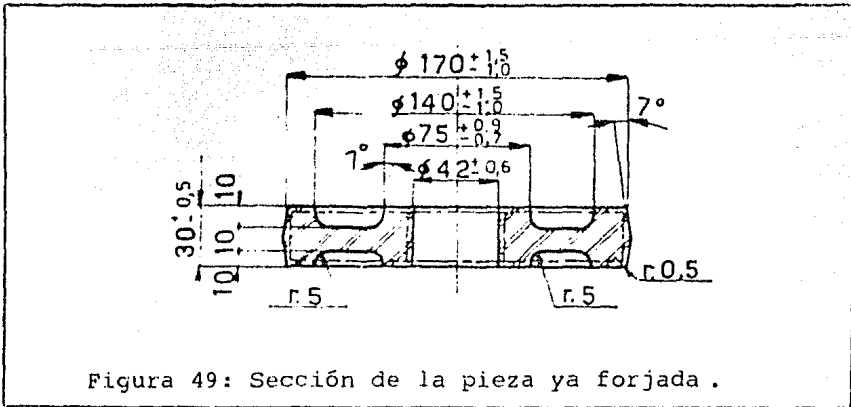
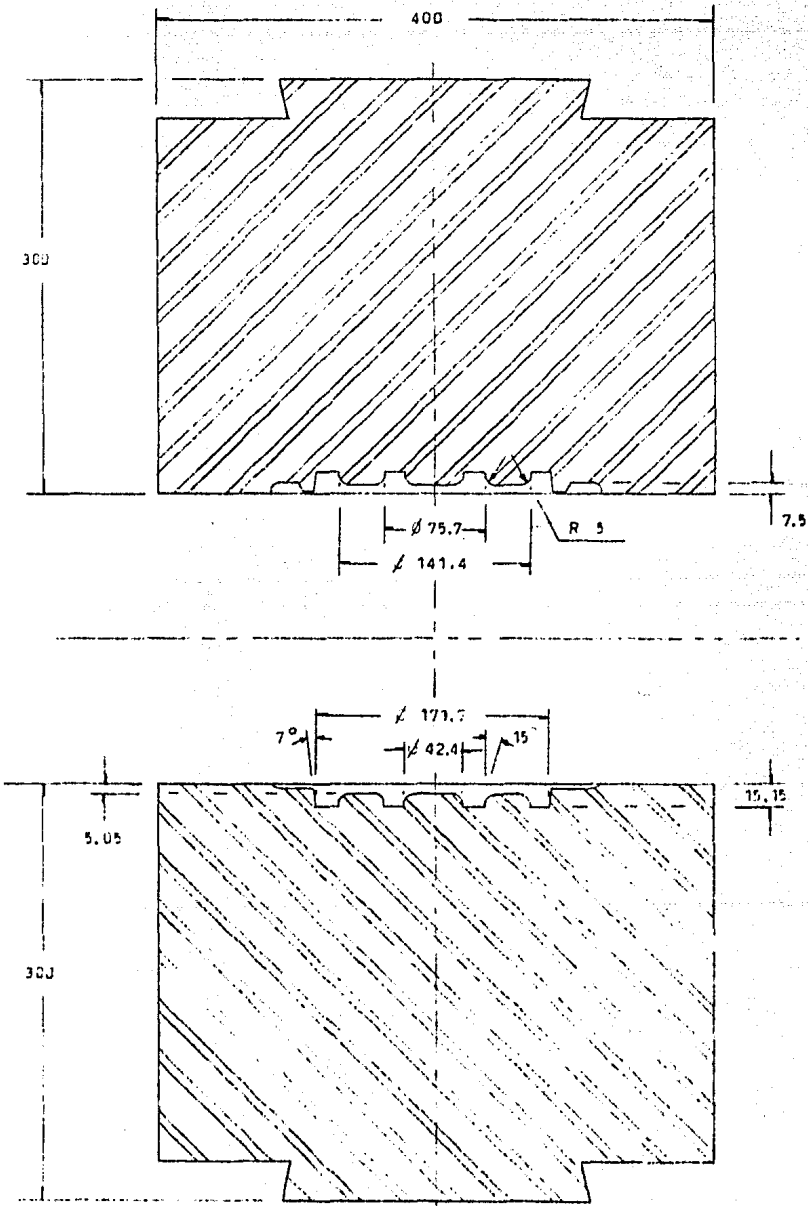


Figura 49: Sección de la pieza ya forjada .

Como es conocido, todos los metales al someterse a calentamiento sufren una dilatación que esta en función a la temperatura y al material considerado.

Para el caso de nuestro ejemplo consideramos que los aceros normales (al carbón o aleados) sufren, a la temperatura de forja una dilatación aproximada del 1.6%. Tomando en cuenta este factor se presenta a continuación un corte del dado de forja con las dimensiones de las cavidades para la pieza en caliente, de manera tal que al descender a temperatura ambiente las dimensiones se ajusten a la especificación original.

Dadas las características de la pieza, el trozo de material requerido es de 90 x 90 x 60 mm. Para obtener estos trozos se procede a realizar el corte en una sizalla similar a las ya descritas, con la que pueden proporcionarse los volúmenes requeridos de cortes con la precisión necesaria (el peso no podría variar más de 5%)



ACOTACIONES EN m.m.

FIG. 50.-VISTA EN CORTE DE DADOS DE FORJA SUP. E INF.

El siguiente paso es el calentamiento de las barras, el cual puede realizarse en un horno rotativo o de mufla hasta una temperatura de  $1150^{\circ}\text{C}$  lo que deja a los cortes listos para proceder a forjar.

Este procedimiento se inicia con el "estirado", que consiste en golpear diagonalmente al tocho, manipulándolo con una tenaza, a manera de dejarlo practicamente cilíndrico como se ilustra a continuación.

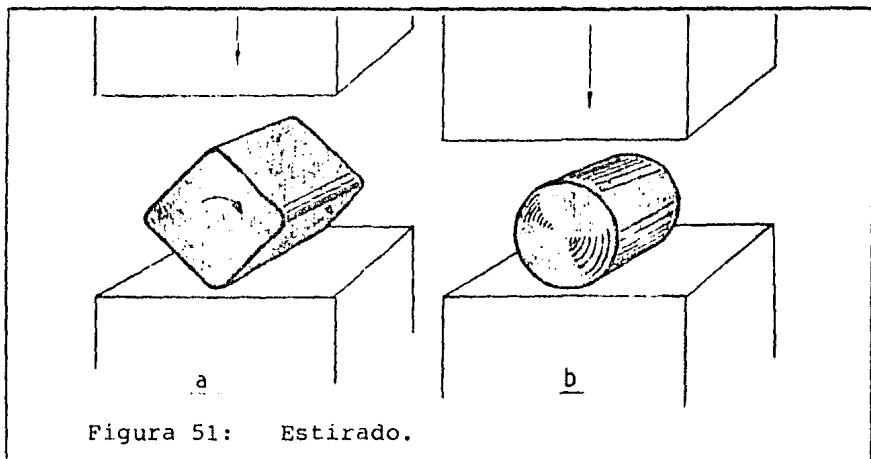
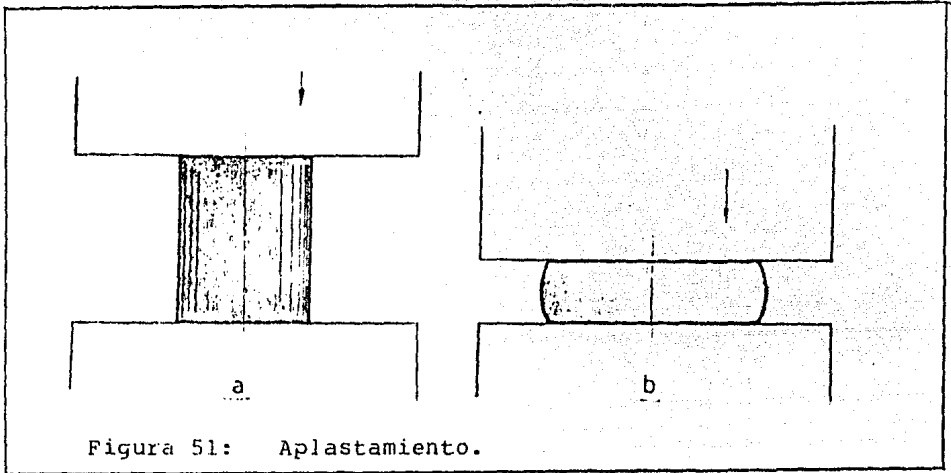


Figura 51: Estirado.

Esta operación requiere de aproximadamente diez golpes y un tiempo de 30 segundos.

Posteriormente se procede a dar el "aplastamiento", en el mismo martinete, colocando la pieza verticalmente y recalcándola hasta una forma aproximada a la final. Para esto se requieren 20 segundos y 3 golpes.



En estas condiciones nos encontramos en posibilidades de proceder al "estampado" propiamente con los dados ilustrados al principio de esta sección.

Para lograr una deformación completa de este engrane requerimos un martinete de una potencia cercana a los 5000 kgm. dado que se ha considerado a esta pieza con un área, incluyendo rebabas, de  $450 \text{ cm}^2$ , con una dificultad de forjado tipo II y con un acero escala "b". Este valor se obtiene del análisis de la gráfica correspondiente a energías para deformación, al final del capítulo de martillos.

Al primer golpe de la maza, observaremos un gran desplazamiento de material, mismo que ira disminuyendo con los sucesivos golpes en la medida que se obtiene un contacto completo entre la



superficie de la pieza forjada y las cavidades del dado de forja. Esta operación requiere de un tiempo de 30 segundos por pieza y de aproximadamente 6 golpes.

Una vez completado el proceso de forja se pasa inmediatamente la pieza a una prensa auxiliar, en la que mediante los dispositivos siguientes se procede a recortar la rebaba sobrante y a punzonar el orificio central.

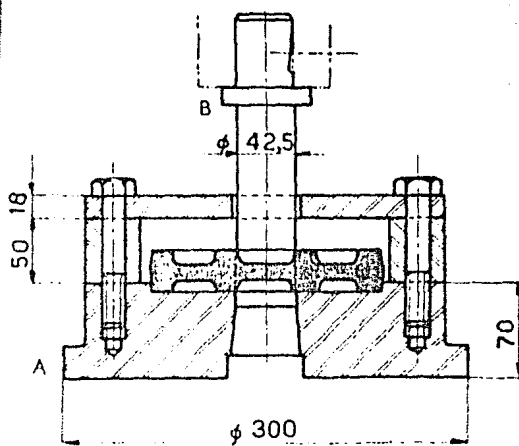


Figura 5: Punzonado

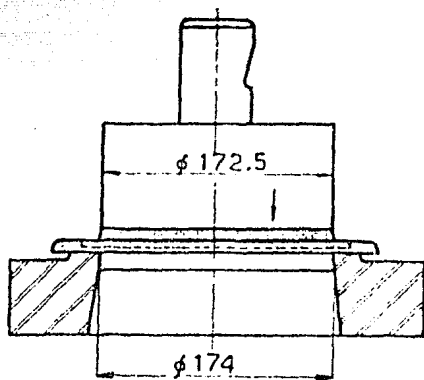


Fig. 54: Recorte de rebaba

Estas dos operaciones se realizan a una temperatura cercana a los 900°C dado que por el tiempo transcurrido, la pieza se ha ido enfriando.

Estas operaciones tomarán otros 20 segundos. Posteriormente se requiere enderezar la pieza, ya que como consecuencia del punzanado se manifiesta una deformación debida a la fuerza axial del punzón. Para realizar este enderezado se requiere otra prensa auxiliar y el tiempo por pieza se acerca a los 15 segundos.

En estas condiciones la pieza se encuentra casi terminada, restando realizar un normalizado, que para este acero, debe llegar a los 860 - 880°C, para luego proceder a granallar e inspeccionar dejando la pieza ya terminada y lista para ser maquinada de la manera mas conveniente.

En una operación continua se estima que el tiempo de producción por pieza, desde que se inicia el forjado, hasta que se endereza la pieza oscila alrededor de 2 minutos.

## 7. CONCLUSIONES

La industria nacional, como todas en el mundo, es una - - gran consumidora de productos forjados. Si recordamos los auto móviles, las herramientas, la petroquímica, podemos rápidamente tener una idea de la cantidad de piezas que por sus características deben ser forjadas.

De manera congruente con lo planteado en la introducción, y luego de haber analizado cada una de las partes que integran - el conjunto de conocimientos relacionados con el forjado, se pueden establecer algunas conclusiones fundamentalmente desde los - puntos de vista técnico y económico:

- 1) Este proceso resulta imprescindible cuando se desea mejorar las características mecánicas de los materiales .
- 2) Aunque se han desarrollado procesos muy avanzados y con-- fiables para sustitución de piezas forjadas como lo son - la pulvimetalurgia y las fundiciones especiales, ninguno ha alcanzado la calidad de los productos forjados.
- 3) Dependiendo del tipo de piezas, el proceso es flexible en cuando a los lotes de producción, yendo desde volúmenes - muy pequeños, como en el caso de esbozos de piezas reali-- zadas en forja abierta, hasta altísimas producciones como

las observadas en el caso de herramientas o partes automotrices.

- 4) En función del punto anterior existe una gran variedad de equipos apropiados para cada proceso cuyo único denominador comun parece ser la elevada inversión requerida para su adquisición. Por esta misma razón son máquinas con una muy prolongada vida útil; de allí que sea muy importante la realización de profundos estudios de mercado para planear una inversión de este tipo.
- 5) En relación a los problemas económicos a que se enfrenta México, existe la seguridad de que puede darse en el país una política de sustitución de importaciones de productos forjados, que en la actualidad constituyen un gran porcentaje del consumo total y del cual no existen cifras exactas. Esta convicción se fundamenta en el conocimiento del equipo instalado en la República y de su potencial de producción, mismo que totaliza alrededor de treinta plantas con una amplia gama de capacidades de producción a la que puede ajustarse practicamente la mayoría de las piezas de consumo generalizado.
- 6) Finalmente se considera que este trabajo cumple con el objetivo mencionado al principio, de realizar un compendio de conocimientos teorico-practicos basados en las - -

experiencias adquiridas que puede ser de utilidad a quienes busquen información más amplia y detallada, que la -- normalmente encontrada en los libros de texto, acerca de los diferentes procesos de forja.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Forging Industry Handbook  
Forging Industry Association  
Cleveland, Ohio, 1970.
  
- Estampado en Caliente de los Metales  
Mario Rossi  
Hoepli, Barcelona 1971.
  
- Mechanical Metalurgy  
George E. Dieter  
Mc Graw Hill, Tokyo, 1976.
  
- Ensayos Industriales  
Antonio González, Alfredo Palazon  
Ediciones Litenia, Buenos Aires, 1976.
  
- Machinery's Handbook  
Erik Ober, Franklin Jones  
Industrial Press, Nueva York, 1980.
  
- Tool & Manufacturing Engineers Handbook  
Society of Manufacturing Engineers  
Mc Graw Hill, Nueva York 1976.

- Guide to Die Making  
George Drabing  
Chambersburg Engineering Co,  
Chambersburg, Pa, 1966.
  
- La Deformación Plástica de los Materiales  
Del Rio Cabrerizo  
Editorial Gustavo Gili, Barcelona 1976.
  
- Mark's Standard Handbook For Mechanical  
Engineers  
T. Baumeister (Editor)  
Mc. Graw Hill, Nueva York 1978.
  
- Engineer's Dictionary  
Louis A. Robb  
John Willey & Sons, Nueva York, 1976.