



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**"ESTUDIO DE LA FORJA
DE METALES"**

TRABAJO MONOGRAFICO DE

ACTUALIZACION.

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A :

JUAN MANUEL VIZZUETT CRUZ

México, D. F.

Julio de 1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Jurado Asignado :

Presidente : Profr. Jorge Ornelas Tabares .
Vocal : Profr. Manuel Vázquez Islas .
Secretario : Profr. Roberto Francisco Rodríguez
Vázquez.

EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA

1er. Suplente : Carlos López Sánchez.

2o. Suplente : Manuel Jesús Aguilar Gómez.

Sitio donde se desarrolló el tema :

Biblioteca del Edificio A y Biblioteca del Edificio D.

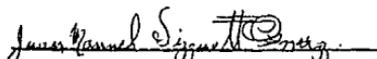
Facultad de Química.

U.N.A.M. .

Nombre del Asesor del tema :


Ing. Roberto Francisco
Rodríguez Vázquez.

Nombre del Sustentante :


Juan Manuel Vizzuett Cruz.

Dedicatorius :

" A la Muchacha de los Ojos Zarcos " .

La única mujer que he Amado en mi vida.

Muñeca de rococó , sacada de un Aparador de Lujo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México .

Gracias por haberme dado todo .

Mi más sincero agradecimiento .

A todas las personas que no son de mi familia.

Muchas gracias por sus consejos y su ayuda .

Para todos ellos (as) , mi más sincera gratitud.

A un soldado de la Wehrmacht : Kurt Hermann Nadler

Gundehaimer .

Por último a mis padres :

Padre : Marcelo Vizduett Ramos .

Madre : María Isabel Cruz Rosas .

Gracias por su ayuda económica .

A mis hermanos :

Marcelo , Guadalupe , Miguel Angel y Rosa María .

Gracias por su ayuda .

"ESTUDIO DE LA FORJA DE METALES"

INDICE.

Introducción.

Objetivo.

Definición de Forja

I.- HISTORIA DE LA FORJA.

1

I.1.-Antecedentes Historicos.

II.- Fundamentos Metalurgicos de la Forja.

6

II.1.- Diagrama Esfuerzos-Expansión.

II.2.- El cuerpo estampado.

II.3.-Cambios de forma del cristal.

II.4.-Leyes de la deformación plástica.

a).- Ley del volumen constante.

b).- La ley de semejanza.

c).- La ley de resistencia minima

d).- La velocidad de los cambios de forma.

e).- Fricción de la deformación plástica.

f).- Resistencia al cambio de forma.

g).- Resistencia total al cambio de forma.

h).- Curvas de Fluencia.

i).- Deformación en frío.

j).- Deformación en caliente.

III.-Tipos y Equipos de Forja. 56 .

III.1.- Forja de Polvos.

III.2.- Forjado con dados.

IV.- Materiales de Forja.111.

IV.1.- Usos:Forja Artistica.

IV.2.- Usos:Comerciales Modernos e
Industriales de la Forja.

V.- Hornos de Forja.150.

V.1.- Horno Rotatorio.

V.2.- Horno de Campana.

V.3.- Horno de Pozo.

VI.- Microestructura Esperada.155.

VII.- Avances en el Proceso de Forja.160.

VII.1.- Aplicaciones de microaleaciones de acero en un
alto porcentaje en Procesos de Forja en
caliente.

VII.2.- Fundición-Forja.

Bibliografía.

INTRODUCCION

La forja es un proceso muy antiguo e importante en la metalurgia y se define como: un proceso mecánico metalúrgico con deformación plástica, en frío o en caliente, de metales y aleaciones.

En la actualidad es poco usada por su elevado costo y escasa mano de obra calificada. En México tuvo su esplendor en la época de la Colonia, por la influencia del auge de las Artes en Europa.

En esta Monografía se expone una cronología de los avances y usos de la forja, seguido de los fundamentos metalúrgicos de la forja y las aplicaciones artísticas e industriales más importante; también se mencionan los diversos hornos empleados en el proceso.

La forja presenta mejoras en propiedades mecánicas y en la resistencia a la corrosión de los metales o aleaciones.

Finalmente se describen la influencia de las microestructuras en las propiedades mecánicas de la forja, los avances y expectativas de la forja en México.

OBJETIVO

Actualizar el conocimiento del Proceso de Forja en sus diferentes etapas, materiales, tipos de forja, hornos y su desarrollo tecnológico.

Definición de Forja.

Forja es la deformación de metales y aleaciones a temperatura y presión por medio del trabajo mecánico-metalúrgico.

I.- Historia de la Forja.

I.1.- Antecedentes Históricos.

-20,000 años a.c. se conoce la forja.(1).

-18,000 años a.c. .Cerámica Danubiana. Los Etruscos forjaron vasijas de cobre y éstas se encontraron , a orillas del río Danubio (1).

- 4,241 años a.c..Los Egipcios Forjaron Uranio radioactivo (en formas de planchas), colocandolas en el piso de las cámaras mortuorias de los Faraones en las Pirámides de Keops, Kefern y Mikerinos.

- 2,500 años a.c. .En la región de Sumeria (hoy Irak). Se forjaron estatuas de idolos (en bronce, acero y cobre).(1).

- 1,800 años a.c. .En el Norte de España, se encontró la Dama de Elche. Escultura de Arte Ibérico de la Edad del Hierro, totalmente forjada (1).

- 1,400 años a.c. Los Fenicios. Pueblo de comerciantes navieros, forjaron las primeras anclas de bronce.(1).

- 1,293 años a.c. En Grecia, durante la Guerra de Troya utilizan las tropas Troyanas : Espadas,Escudos,Lanzas y Mazas de bronce y latón forjadas.(1).

- 753 años a.c. Fundación de Roma. Para las Legiones Romanas se construyeron las carretas forjadas de Bronce. Los barrotes de las mazmorras eran de hierro forjado .(1).

- 504-449 años a.c. En Grecia, durante las Guerras Médicas, hubo un gran auge en la forja de cascos, armaduras de bronce y latón.(1).

- 445-431 años a.c. Grecia. Siglo de Pericles. florecio la forja Artística en las esculturas forjadas de bronce.(1).

- 323 años a.c. Alejandro Magno (nació en Macedonia), hoy una exrepublica de lo que fue Yugoslavia. Mandó construir muchos palacios con herrería forjada, columnas y esculturas. Mandaba forjar el oro y la plata para joyería. A las vajillas de porcelana les mandaba incrustar figuras de oro.(1).

- 527-565 años después de Cristo. En Mongolia, los herreros de Atila forjaban una gran variedad de hachas.(1).

- 1,095 años d.c. En Palestina, empiezan las Cruzadas. Los Cristianos usan Armaduras forjadas de hierro de cuerpo entero.(1).

- 1215 años d.c. En Inglaterra, los caballeros en los torneos, utilizaban grandes lanzas de hierro forjado.(1).

- 1453 años d.c. Los turcos usan los primeros cañones de Bronce forjado en la conquista de Constantinopla.(1).

- 1500 años d.c. En Europa surge el Renacimiento. En las Bellas Artes, alcanza su máximo esplendor la forja artística se forjan: Canceles, balcones, estatuas, candelabros, aldabones, rejas, barandales de Iglesias, etc.(1).

- 1521 años d.c. Mexico. Hernan Cortés, trajo el cañón de bronce facetado (en su superficie) y forjado en su cuerpo.(1).

- 1533 años d.c. Perú. Las tropas de Francisco Pizarro, utilizan arcabuzes y cañones forjados.(1).

- 1661 años d.c. Francia, alcanza su máximo esplendor en la forja artística. Se hacen trabajos muy bellos y finos: Forja de Arañas o Candelabros Platinados.(1).

- 1789 años d.c. En Francia se desarrolló en forma de Forja La Guillotina y tuvo mucha aplicación durante la Revolución Francesa.(1).

- 1796-1803 años d.c. En la Ciudad de México, Manuel Tolsá; forjó con martillo de bola y cincel la Estatua de Bronce, ecuestre de Carlos IV (EL CABALLITO) como se observa en la Fig. 1.(1).



Fig. 1 Estatua ecuestre de Carlos IV (El caballito) (1)

- 1804 años d.c. En Francia, Napoleón I con su artillería (cañones forjados), conquista países de Europa y Oriente (Egipto). (1).

- 1815 años d.c. Waterloo (Flandés, hoy el norte de Bélgica). Napoleón es derrotado por una coalición de barcos de guerra con artillería forjada. (1).

- 1910 años d.c. México. En la Revolución Mexicana se utilizaron granadas y cañones forjados, produciendo muchas víctimas por las esquirlas (fragmentación de metal). (1).

- 1914-1918 años d.c. Europa. Primera Guerra Mundial.

Se producen los primeros tanques forjados.

Los cañones de los Acorazados, alcanzaban los 17 km. (1).

- 1936-1938 años d.c. España. En la Guerra Civil Española se utilizan miles de bombas forjadas. (1).

- 1939-1945 años d.c. Europa. Segunda Guerra Mundial.

Se fabrican los Misiles Forjados Alemanes: V-1 y V-2. (2).

- 1950 años d.c. Guerra de Corea. Se usa la bomba forjada y llena de Gasolina. Al explotar, incendia un radio de 2Km. (1).

- 1964 años d.c. Vietnam. Estados Unidos, utiliza los bombardeos B-52 y las bombas Napalm forjadas. (1).

- 1993 años d.c. Torre de Pisa (Italia).

Para evitar que se siga inclinando, le colocan 800 placas de plomo forjado. Esta torre fue construida en el año de 1173. (3).

II. FUNDAMENTOS METALÚRGICOS DE FORJA

II.1.- DIAGRAMA ESFUERZOS - EXPANSION.

El diagrama de Esfuerzos-Expansión es una valoración gráfica del experimento de tensión.

Este diagrama es el más importante de las pruebas para determinar algunas de las propiedades mecánicas del material.

El efecto de un esfuerzo sobre un cuerpo, produce una fuerza contraria correspondiente. Si ésta fuerza F se aplica a la

superficie transversal A_0 del cuerpo, se obtiene el Esfuerzo σ

$$\sigma = F/A_0$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$$\text{donde: } F = \text{kp}$$

$$\text{donde: } F = \text{kp}$$

$$A_0 = \text{mm}^2$$

$$\epsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100$$

$$\text{donde: } \epsilon = \text{Expansión} \%$$

donde: $F = \text{kp}$

$$A_0 = \text{mm}^2$$

Al aplicar la máxima fuerza F_{max} sobre la sección transversal inicial A_0 del material de prueba de tensión, se obtiene el esfuerzo denominado resistencia a la tensión.

En la Fig. 2. se observa el diagrama esfuerzo-expansion para un acero al bajo carbono. Esta curva se logra para experimentos de tensión y presión.

FUERZO Y TENSION EN $\text{KP} \cdot \text{mm}^{-2}$.

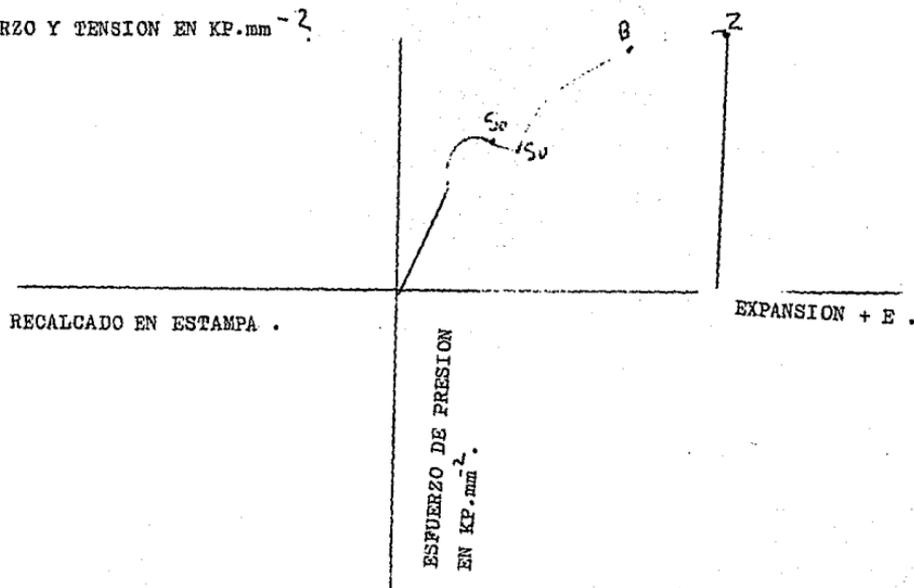


Fig. 2. Diagrama de esfuerzo- expansión de un acero blando. (4)

El experimento a presión se debe observar como el contrario al experimento de tensión.

En este diagrama se representa también la dependencia de la expansión del esfuerzo.

No todos los parámetros mostrados en el diagrama se obtienen de manera instantánea, al trazar el experimento de tensión.

Se distingue durante el experimento de tensión, la medición macroscópica. Para la primera se determinan: el límite de fluencia, resistencia a la tensión, reducción de área y la expansión que da lugar a la fractura. La exactitud de las mediciones es suficiente obtener de manera rápida y sencilla las propiedades mecánicas del material.

Si se requiere una gran exactitud en la evaluación de la tensión, se debe utilizar la medición microscópica. Aquí una expansión de hasta 10^{-4} mm se determina de manera exacta.

A través del uso del equipo adecuado, que permiten obtener este grado de exactitud, son determinados, los grandes puntos de proporcionalidad, el punto de elasticidad arriba y abajo del límite de fluencia, en la parte derecha superior del diagrama

los puntos P, E, S₀, S₁, B y Z, tienen el siguiente significado:

- P = Punto de proporcionalidad
- E = Punto de Elasticidad
- S₀ = Limite de fluencia superior
- S₁ = Limite de fluencia inferior
- B = Carga máxima de la prueba
- Z = Punto de ruptura

Ademas de estos puntos mencionados, se puede establecer para cada esfuerzo, la expansion correspondiente.

La expansion ϵ representa el cambio de longitud de una prueba, despues de su expansion, expresado en por ciento de la longitud inicial L₀. Para el calculo matemático de la expansion es válida la siguiente expresion:

$$\epsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100$$

donde:

- ϵ = Expansion en %
- L₀ = Longitud inicial de la prueba en mm
- L₁ = Longitud L₀ en cada instante del experimento en mm
- L₁ - L₀ = Diferencia de longitud o expansion de la prueba en mm

Una expansion especial, relacionada a la característica del material, representa la máxima expansion de la prueba. Esta aparece un poco antes de la fractura y se designa con la letra griega δ .

La expansion de fractura δ es la alargación permanente de la longitud medida despues de la fractura, expresada en por ciento de la longitud inicial.

La expansion de fractura se expresa de manera matemática como sigue:

$$\delta = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$$

donde:

- δ = Expansión de fractura.
- L_0 = Longitud inicial.
- L_f = Longitud después del experimento.

El punto de proporcionalidad en la prueba de tensión, caracteriza el comportamiento del materia, expresada en general como ley de Hook. La ley de Hook se representa por la línea ascendente de la curva hasta el punto P. Esta expresa, una proporcionalidad entre el esfuerzo σ y la expansión ϵ .

Expresada de manera matemática se tiene

$$\alpha = \epsilon / \sigma$$

donde: α = factor de proporcionalidad (número de expansión).
Ya que α tiene una valor numérico muy pequeño, se utiliza el valor recíproco, el módulo de elasticidad E.

$$1/\alpha = E$$

Relacionando este hecho con las anteriores ecuaciones, resulta:

$$\epsilon = \sigma/E \quad \text{o} \quad \sigma = \epsilon E$$

El valor numérico de expansión o módulo de elasticidad son para cada material valores constantes.

En la trayectoria de la curva hasta el punto E, caracteriza la región elástica del material. Cuando a un material se le aplica un esfuerzo hasta este punto, recupera de nuevo su forma inicial, después de separar el esfuerzo.

Este punto de elasticidad no debe confundirse en ningún caso con el módulo de elasticidad.

Si el esfuerzo sobre la prueba, pasa al punto E, tiene lugar un cambio de forma permanente, también denominado deformación plástica.

Si el esfuerzo sobre un material, alcanza el límite de fluencia σ_{sup} , entonces fluye el material.

Si se observa una disminución de la fuerza, se establece el

limite de fluencia inferior σ_{su} .

Para materiales que no muestran ningún limite de fluencia, se establece en lugar de σ_s , el limite de $\sigma_{0.2}$.

El indice 0.2 muestra que, el limite superior fue determinado, para una expansión permanente de 0.2 %.

No todos los materiales permiten conocer claramente su limite de fluencia en un experimento (por Ej. Al).

El conocimiento del limite de fluencia superior es muy importante, para la deformación plástica de los metales.

En el punto B aparece, durante el desarrollo del experimento aparece un cuello de botella en la sección transversal. La siguiente expansión, se designa como extensión a la contracción.

En experimentos de presión se tienen relaciones similares a las de experimentos de tensión.

El limite de aplastamiento σ_c es importante para la deformación por presión, este limite corresponde al limite de fluencia en experimentos de tensión.

Todos los demás puntos no pueden determinarse de manera exacta en los experimentos a presión.

Resulta ningún valor análogo a los experimentos de tensión, pues hay muchos materiales (por Ej. Cu, Pb, acero, Al, etc.), que sin dificultad se pueden prensar hasta hojas, sin alcanzar la fractura.

Para un esfuerzo de presión, es válida la siguiente relación matemática:

$$\sigma_c = F/A_0$$

donde:

σ_c = Esfuerzo de presión

F = Fuerza de compresión

A_0 = Area de sección transversal inicial

11.2.- EL CUERPO ESTAMPADO.

En experimentos a presión se utilizan materiales metálicos, con objeto de conocer su comportamiento detallado durante su carga a presión. Los resultados de este comportamiento en metales dan lugar a investigaciones en el cuerpo estampado.

En la Fig. 3. se representa la deformación del cuerpo estampado en sus diferentes fases.

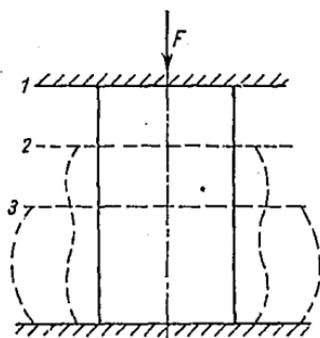


Fig. 3. Cuerpo estampado en diferentes etapas de su deformación bajo una superficie de presión paralela y plana.

En la etapa No. 1 se muestra el instante en donde la superficie de presión paralela y plana tiene contacto con el cuerpo a estampar.

En la etapa No. 2 se muestra el cuerpo estampado después de una determinada deformación dada. Se debe observar, que en la proximidad de la superficie de presión, aparece una retención en el material. A una pequeña distancia de la superficie de presión aparece una ondulación en el cuerpo a estampar. Esta ondulación se debe al inicio de la deformación.

La etapa No. 3 muestra la completa deformación. Aquí el cuerpo estampado adquiere la forma de un tonel. En esta etapa se ha alcanzado la deformación completa. También en esta 3a. etapa se observa claramente que la superficie del material en la proximidad de la superficie de presión, permanece constante, ya que la superficie de presión evita que el material fluya, la causa de este comportamiento se debe a la fricción que aparece entre el cuerpo a estampar y la superficie de presión. La fricción puede evitar la formación de un estampado, cuando la superficie de presión sea inclinada, como se observa en la Fig. 4.

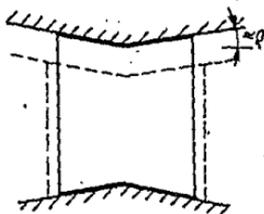


Fig. 4. Flujo de material de un cuerpo estampado bajo superficies de presión inclinadas.

Si el coeficiente de fricción μ es conocido, se puede determinar el ángulo, bajo el cual la superficie de presión debe inclinarse. Para esto es válida la siguiente expresión:

$$\mu = \tan \alpha$$

donde:

μ = Coeficiente de fricción

α = ángulo de fricción

A través de la inclinación de la superficie de presión se establece que, se forma una fuerza lateral, la cual tiene una dirección contraria a la fuerza de fricción y con esto da lugar a un flujo homogéneo de material en la altura total del cuerpo a estampar, como se observa en la Fig. 5.

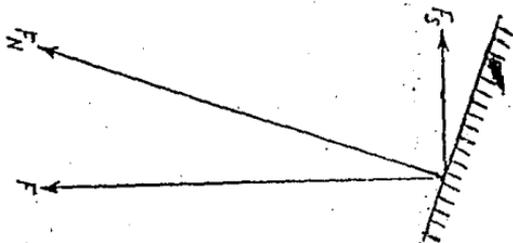


Fig. 5. Distribución de fuerzas en una superficie de presión inclinada.

En este caso es la magnitud de la fuerza lateral formada igual a la fuerza de fricción que aparece en las superficies de presión.

$$F_f = F_l$$

$$F_f = F_n \mu$$

donde :

F_f = Fuerza de fricción.

F_l = Fuerza lateral

F_n = Fuerza normal, perpendicular a la superficie de presión inclinada.

μ = Coeficiente de fricción.

La fuerza de fricción, como también el coeficiente de fricción puede conocerse a través de experimentación.

Si es necesaria una mayor inclinación de la superficie de presión a la superficie contigua, para vencer a la fricción, entonces tiene lugar un mayor flujo del material en las superficies de presión, Fig.6

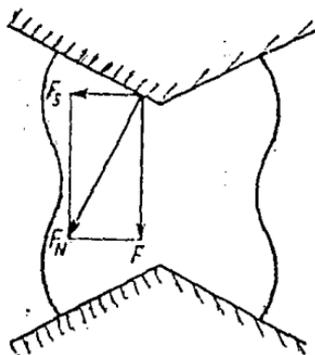


Fig. 6. Flujo de material en superficies de presión muy inclinadas.

El conocimiento adquirido, se hace útil en la práctica de procesos de deformación. Así por ejemplo en la laminación los calibres de lingotes se contemplan con una estricción. Fig. 7.

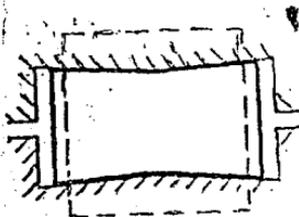


Fig. 7. Calibre de laminación con estricción.

Al someter un material bajo una superficie de presión paralela y plana, se establece que, el flujo homogéneo del material se inicia de la mitad del cuerpo estampado hacia los lados.

En el cuerpo estampado se presenta un sitio, en donde no tiene lugar el flujo de material y es denominado "flujo separado" Fig. 8.

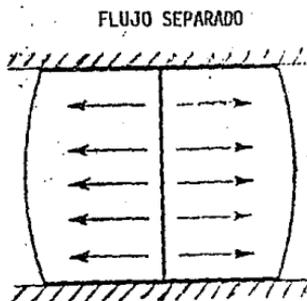


Fig. No. 8. Formación del "flujo separado" bajo superficies de presión paralelas planas.

Si las superficies de presión paralelas planas, presentan una inclinación, tiene lugar un desplazamiento del "flujo separado". El desplazamiento tiene lugar en la dirección donde las superficies de presión se cierran Fig. 9 ya que el flujo del material en esta dirección se evita y con esto (corresponde la formación de la fuerza lateral) se sustituye por un flujo de material hacia las superficies de presión abiertas.

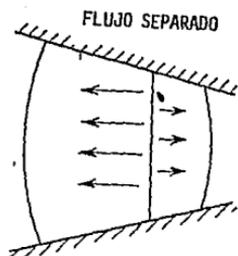


Fig. No. 9. Formación del "flujo separado" bajo superficies de presión planas e inclinadas.

Con objeto de poder determinar con exactitud el flujo de materia en cuerpos estampados, Tresca (1865) desarrolló un modelo de estampación con placas de plomo, las cuales las colocó unas sobre otras y las presionó. FigNo. 10.

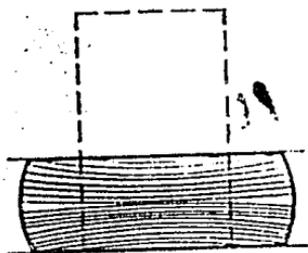


Fig.No 10. Representacion esquemática del experimento de compresión de Tresca.

En sus experimentos encontró, que se forman tres diferentes zonas del flujo de material. Fig.No 11.

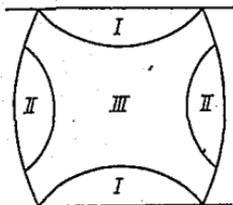


Fig.No 11. Efecto del experimento de compactación de Tresca.

Las zonas I y II son áreas, en donde la tendencia del material a fluir es obstruido. La zona III representa por el contrario la parte del cuerpo de estampación en donde el material puede fluir sin problema.

11.3.- CAMBIOS DE FORMA DEL CRISTAL.

La correspondiente anisotropía de los cristlitos dominantes, cuyas propiedades son función de la dirección no son al exterior notorias. En cada cristalito se ve la influencia de la propiedad direccional.

La posición de la celda unitaria en el cristalito es de gran importancia en la formación de la propiedad correspondiente.
Fig.No 12.

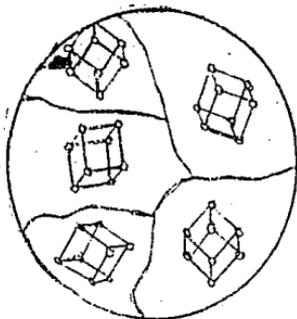


Fig.No 12 Posición de la celda unitaria en un cuerpo policristalino.

La influencia, en la formación y la posición de la celda unitaria que se ejerce en el proceso de deformación, se ejemplifica en un monocristal. Un monocristal es un material metálico que está formado de un solo cristal o de varios con la misma orientación. En un monocristal la celda unitaria tiene una posición y formación única. Al realizar una deformación plástica, esta se realiza en planos cristalográficos bien determinados. Si en una deformación plástica tiene lugar un desplazamiento de la celda unitaria, este desplazamiento aparece como un efecto de empuje, el cual a través de una fuerza exterior se elimina. A través de este efecto de empuje en las partículas elementales tiene lugar un desplazamiento. Este proceso tiene lugar en determinados planos cristalográficos (planos de desplazamiento). Los planos, en donde se tiene un desplazamiento total, se caracterizan por poseer una elevada densidad de átomos. El proceso de desplazamiento en cristales, es observable como líneas

de desplazamiento, a través de un microscopio. Estas aparecen en casos normales a un ángulo de 45 grados de la dirección de la fuerza. También es de observarse que en un ángulo de 90 grados se cortan.

Si un monocristal se deforma, este proceso tiene lugar bajo dos condiciones.

La primera condición de la deformación es: En un deformación plástica tiene lugar un desplazamiento de las partes componentes individuales. Se tiene un completo deslizamiento. Fig.No 13.

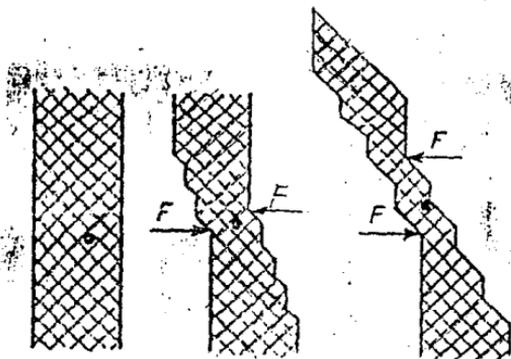


Fig.No 13. Deslizamiento completo en una deformación plástica.

La segunda condición de la deformación es: La deformación plástica tiene su origen en la formación de bandas gemelas. El desplazamiento de las partículas es de tal manera, que la simetría de las partículas limitantes se mantiene. Fig.No 14.

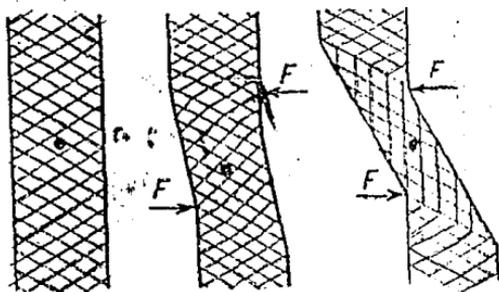


Fig.No 14. Desplazamiento de las partículas en la aparición de bandas gemelas.

Si un cuerpo policristalino se deforma, sin que la composición del material se interrumpa, entonces no todos los cristales participan de manera simultánea en la deformación plástica. Primero toman parte los cristalitas activos en el proceso de deformación, cuyas líneas de deslizamiento con las líneas de acción de la fuerza forman un ángulo correspondiente.

Estos cristalitas que tomaron parte en la deformación se endurecen. Además aparece una alineación del alargamiento de los cristalitas. Al aplicar una nueva fuerza los cristalitas que serán abarcados, son aquellos cuyas líneas de desplazamiento coinciden primeramente con el ángulo dado. También para estos se debe reconocer, que además de una dureza todavía aparece un lineamiento y alargamiento del cristal.

Es de observarse además en la deformación, que los cristalitas individuales influyen unos contra otros en el proceso de deslizamiento. Con esto se aclara, que siempre más cristalitas toman parte en el proceso de deformación. El endurecimiento de los metales, la orientación y el alargamiento se incrementa cada vez más en los cristalitas. Este proceso en la microestructura del metal conduce finalmente a una estructura de fibras.

Aparece inmediatamente una disminución de la capacidad de deformación del material. Si esta agotada la capacidad de deformación, no puede tener lugar una deformación posterior. La causa de esto es el endurecimiento o bloqueo de los planos de deslizamiento por los átomos.

Todos los metales obtienen su primera forma por vaciado (deformación por vaciado). Al observar la microestructura de una parte deformada por vaciado, no se puede establecer ninguna orientación del cristal (estructura de fibras).

Una microestructura de fibras puede lograrse después de una deformación plástica (forjado).

A través del alineamiento de deformación de los cristales, aparece simultáneamente un giro de las líneas de desplazamiento.

En una de deformación, los cristales no únicamente son alineados, sino también simultáneamente alargados. Este efecto se observa en la microestructura del metal en la Fig.No 15.

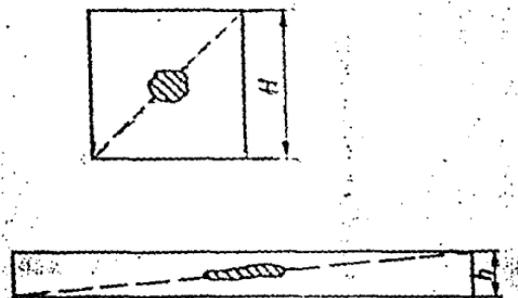


Fig.No 15. Giro y alargamiento de los cristales en una deformación plástica.

Si continúa la deformación plástica correspondiente y no se interrumpe por recristalización como efecto posterior, aparece en un tiempo un fuerte giro de los cristales tal que, estos cristales toman una posición paralela. Se establece simultáneamente, que las líneas de desplazamiento, han girado de tal manera que, toman un ángulo de 90 grados con respecto a la dirección de la fuerza. Esta alineación del cristal en determinadas direcciones se denomina Textura. Fig. No.16.

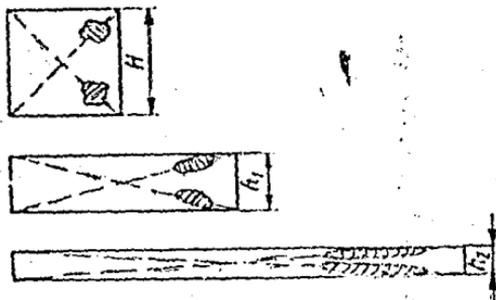


Fig. No.16. Formación de textura.

11.4.- LEYES DE LA DEFORMACION PLASTICA

a).- Ley del volumen constante.

En la deformación de un metal se acepta que, durante el proceso de deformación el volumen permanece constante. Aparece finalmente un cambio de área y de altura o largo.

Expresado de manera matemática se tiene:

$$V_1 = V_2 = V_3 = V = \text{constante.}$$

donde:

$V_1 : V_2 : V_3$ volumen de las etapas de deformación.
 V valor constante del volumen.

Eventualmente aparecen pérdidas, debidas a un proceso de calentamiento, estas se consideran y van de salida. La ley del volumen constante se refiere unicamente a al proceso de deformación.

Debido a que en el proceso de deformación en frio aparece un calentamiento, debido a la deformación, aparece un cambio de la microestructura y con esto un pequeño incremento en el volumen. Este puede despreciarse.

b).- La ley de Semejanza.

La ley de semejanza para la deformación plastica se define como sigue:

Cuerpos geométricos semejantes son aquellos, cuya relación de volúmenes es igual a la tercera potencia de sus mediciones lineales y la relación de superficies es igual al cuadrado de las mediciones lineales.

La expresión matemática de esta ley es como sigue:

$$V_1/V_2 = h_1 b_1 l_1 / h_2 b_2 l_2 =$$

$$= a \cdot a \cdot a = a^3$$

$$y A_1/A_2 = h_1 b_1/h_2 b_2 = a \cdot a = a^2$$

en donde:

V_1, V_2 volúmenes de ambos cuerpos semejantes.

A_1, A_2 superficies de ambos cuerpos semejantes

h_1, h_2 mediciones lineales, altura.

b_1, b_2 mediciones lineales, ancho.

l_1, l_2 mediciones lineales, largo.

a relación lineal de las mediciones de los cuerpos.

A partir de la ley se puede deducir que: cuando cuerpos geométricos semejantes bajo las mismas condiciones, aparecen cambios geométricos semejantes, el trabajo utilizado por volumen o masa de estos cuerpos es directamente proporcional.

Matemáticamente se puede expresar como sigue:

$$W_1/W_2 = V_1/V_2 = m_1/m_2 = a^3$$

donde:

W_1, W_2 Trabajo utilizado necesario para la deformación de dos cuerpos geométricos semejantes.

m_1 , m_2 masa de los cuerpos.

A partir de la ley también se puede deducir la relación entre fuerza y superficie.

Para la deformación de cuerpos geométricos semejantes, las fuerzas son directamente proporcionales a sus superficies.

Expresado de manera matemática:

$$F_1/F_2 = A_1/A_2 = a^2$$

donde:

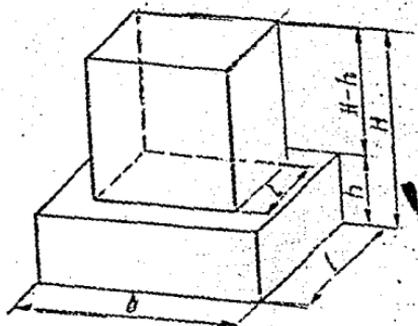
F_1 , F_2 son las fuerzas necesarias para la deformación de cuerpos geométricos semejantes.

Estas leyes de semejanzas tienen en la práctica gran importancia. Debe ser posible la determinación exacta del cambio de forma considerando las condiciones físicas.

c).- La ley de resistencia mínima.

Cuando una fuerza exterior incide sobre un cuerpo, éste busca la manera de desviar el efecto de esta fuerza. Esta desviación será visible a través flujo del material empleado.

Las tres direcciones principales, en las cuales un esfuerzo tiene lugar se observan en la Fig. No.17).

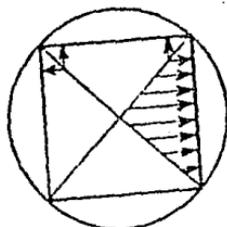
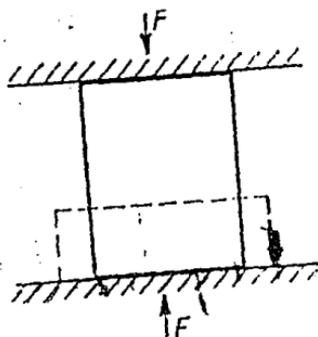


Si en una de estas direcciones no actua ninguna fuerza, inmediatamente tiene lugar una flujo del material en esa direcci3n.

Esta "desviaciones" del material se denominan Ley de Resistencia m3nima. El material fluye en la direcci3n, en el cual el flujo del material presenta la resistencia m3nima.

Si un cuerpo con una superficie transversal rectangular es deformado por presi3n, entonces la forma transversal cuadr3tica no es estable.

El material fluye por el camino m3s corto al deformarse pl3sticamente. Para una correspondiente deformaci3n, es necesario observar la formaci3n de un circulo. Se obtiene un cuerpo como el representado en la Fig. No.18.



Si un cuerpo cilindrico se deforma por presión, el flujo del material se dirige a los radios del cuerpo.

Si un cuerpo con superficie transversal rectangular se deforma por aplastamiento, se forma primero una superficie rectangular eliptica, si prosigue la deformación, se obtiene un cuerpo con sección transversal circular.

Durante la laminación se presenta la ley de la resistencia mínima, por Ej. a través de la aparición de la avanzada, del residuo y del ancho.

d).- La velocidad de los cambios de forma.

Cada proceso de deformación plástica esta acoplado con una dislocación de las partes del material (eliminación del volumen). Sin embargo se garantiza, que el volumen en total permanece constante.

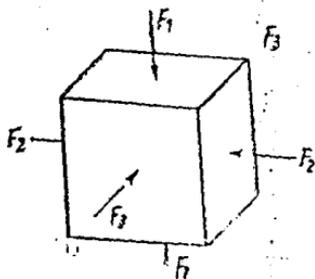


Fig. No.19. Direcciones de las fuerzas en tres diferentes direcciones.

El volumen desplazado, como se ha mostrado en la Fig. 18, se calcula de la siguiente manera:

$$V_2 = HBL - hbl$$

agrupando términos y sacando factor común:

$$V_d = (H - h) BL$$

donde:

V_d = volumen desplazado.

B = ancho del cuerpo aplastado antes de la deformación.

L = largo del cuerpo aplastado antes de la deformación.

H = altura del cuerpo aplastado antes de la deformación.

h = altura del cuerpo aplastado después de la deformación.

Es éste volumen (el que ha sido desplazado) referido al volumen inicial del cuerpo aplastado, se obtiene el volumen desplazado referido. Esto es:

$$V_b = V_d / V = (H - h) . BL / HBL = H - h / H$$

donde: V_b = volumen desplazado referido.

Como velocidad de cambio de forma, se denomina a la velocidad con la cual el cambio de forma tiene lugar. La expresión numérica es como sigue:

$$c = V_b / t$$

donde:

c = velocidad de cambio de forma.

t = tiempo en el cual, el cambio de forma tiene lugar.

Si no se tiene cuidado de la velocidad de cambio de forma, se obtiene un desecho Fig. No. 20. El material se desgarró y no es adecuado para un posterior tratamiento.

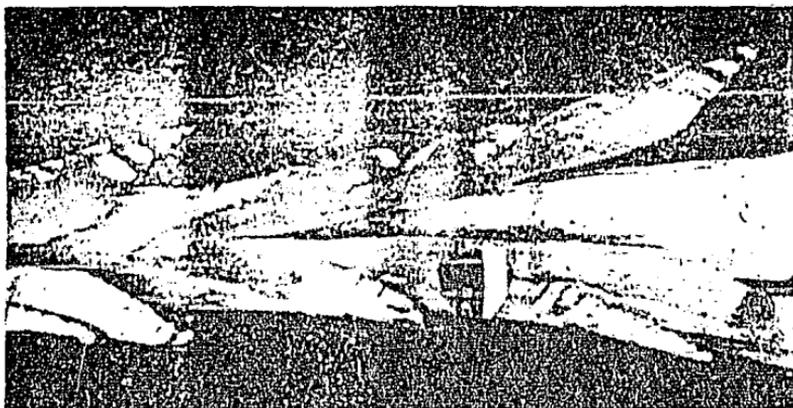


Fig. No. 20. Falla del material, debido a la falta de cuidado de la velocidad de cambio de forma.

e).- Fricción de la deformación plástica.

La aparición de fricción significa en cada caso, pérdida de trabajo. También en una deformación plástica la fricción producida esta relacionada con pérdidas.

Una parte del proceso de deformación esta enfocada, a mantener a un mínimo la fricción, en algunos otros procesos la fricción se utiliza como medio de transferencia de fuerzas.

En el estirado y prensado parte de la fricción producida es disminuida por el uso de lubricantes adecuados. En el laminado la fricción se utiliza como medio de transferencia de fuerzas.

f).- Resistencia al cambio de forma.

Como resistencia al cambio de forma, se designa a la resistencia a vencer, de un material para lograr una deformación plástica. Esta resistencia al cambio de forma se puede estimar con ayuda del diagrama esfuerzos-deformaciones.

La resistencia a la deformación es idéntica con el límite de estiraje o el límite de aplastamiento del material y es además una característica del material. Estos pueden ser determinados de manera experimental para una relación dada.

La resistencia a la deformación k_f , esta referida, como el esfuerzo en el límite de fluencia σ_u en kp sobre un mm² de la sección transversal del material a conformar.

El valor característico de la resistencia a la deformación, contiene además de la resistencia a la deformación determinados factores de influencia por Ej.: condiciones especiales del proceso de conformado.

Estos son:

- grado de conformado
- temperatura de conformado.

El grado de conformado es de importancia sobre todo, para la deformación en frío. El incremento en el grado de conformación es directamente proporcional a la resistencia al cambio de forma.

Al elevar la temperatura en el conformado (conformado en caliente) disminuye la resistencia al cambio a la deformación.

g).- Resistencia total al cambio de forma.

Además de la resistencia al cambio de forma, la fricción es un factor de influencia, en el proceso de deformación. Esta fricción aparece una vez entre el material a conformar y el metal. Por otro lado existe fricción entre las partículas individuales, la cual se observa en la microestructura. La fricción total se designa como k_r .

La resistencia total de la conformación, es la suma de las resistencias.

$$K_{rt} = K_f + K_r$$

h).- Curvas de fluencia.

Las curvas de fluencia representan la resistencia al cambio de forma en función del grado de conformación o en función de la temperatura.

En una deformación en frío se caracteriza por un creciente grado de deformación y una mayor resistencia al cambio de forma. Para una deformación en caliente se incrementa la resistencia al cambio de forma al disminuir la temperatura.

La resistencia al cambio de forma es de importancia para la determinación de las fuerzas en un proceso de conformación y con esto también determinar su fuerza y potencia necesarias de planta.

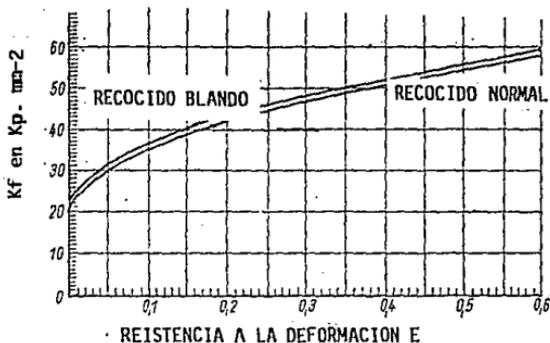


Fig. No.21. Variación del esfuerzo en el límite de fluencia k_f , en función del compartamiento de la resistencia a la deformación ϵ de un hierro Armco, de acuerdo a la VDI (Verein Deutsche Ingenieur), durante un recocido normal y un recocido (oscilando alrededor de la línea de transformación)

Análisis: 0.02 % C
 trazas de Si
 0.03 % Mn
 0.021 % P
 0.010 % S
 0.060 % Cu

Recocido normal a 925° C, enfriado en aire

Recocido suave (oscilando en la línea de transformación, enfriado en el horno.

ordenada: k_f , en $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$

abscisa: Cambio de deformación ϵ

Recocido normal Recocido suave

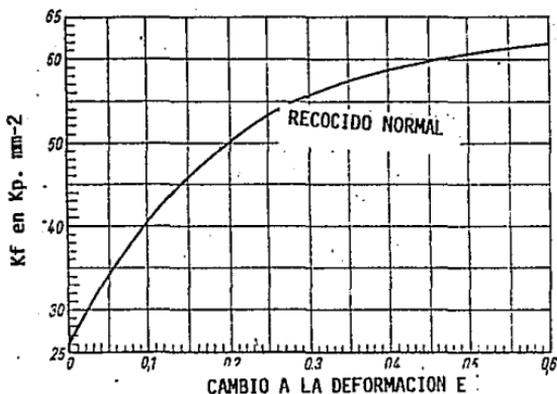


Fig. No.22. Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación ϵ , de un acero Siemens Martin calmado (segun H.G. Müller u P. Funke)

Análisis: 0.10 % C
 0.01 % Si
 0.36 % Mn
 0.019 % P
 0.042 % S
 0.003 % N
 0.005 % Al

ordenada: k_f en kp . mm²

abscisa: Cambio de deformación ϵ

Recocido normal

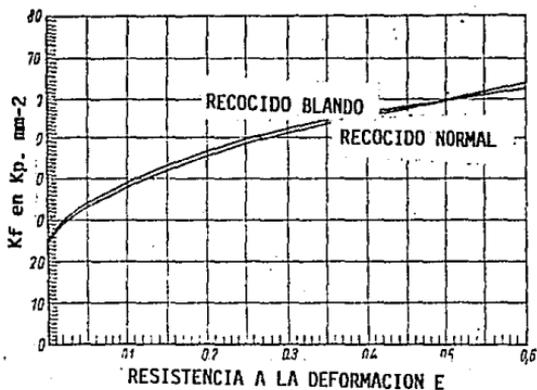


Fig. No. 23. Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación e de un acero St 34 (acero SM, de acuerdo a la VDI)

Análisis: 0.05 % C
 --- Si
 0.37 % Mn
 0.024 % P
 0.038 % S
 0.004 % N

Recocido suave

Recocido normal

ordenada: k_f en $k_p. mm^{-2}$

abscisa: Cambio de deformación e

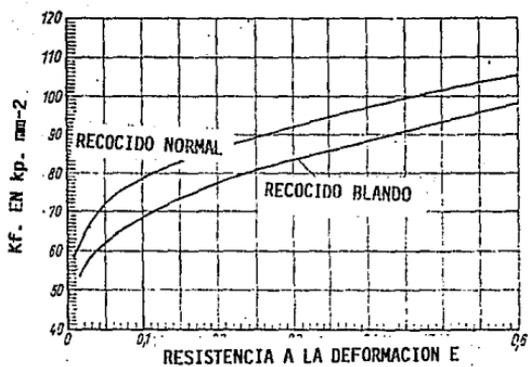


Fig. No.24 . Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación ϵ de un acero St 70 de acuerdo a la VDI.

Análisis: 0.51 % C
0.28 % Si
0.55 % Mn
0.016 % P
0.041 % S
0.006 % N
0.03 % Al

Recocido normal Recocido suave

ordenada: k , en kp. mm²

abscisa: Cambio de deformación ϵ

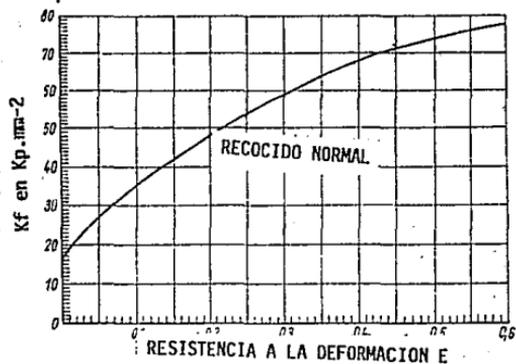


Fig. No. 25. Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación e de un latón (Ms 59 según VDI).

Análisis: 58.6 % Cu
 trazas de Fe
 39.6 % Zn
 1.7 % Pb

Recocido suave.

ordenada: k_f en $\text{kp} \cdot \text{mm}^2$

abscisa: Cambio de deformación e

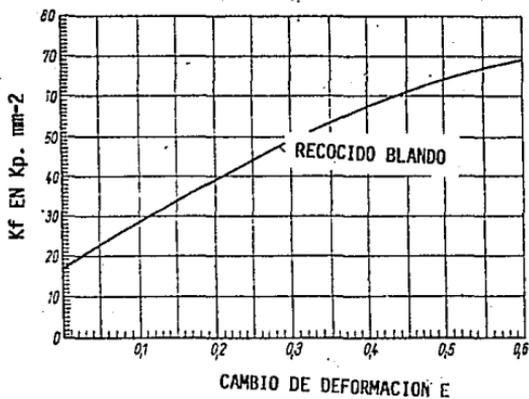


Fig. No. 26. Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación ϵ de un latón (Ms 63 según VDI).

Análisis: 63.3 % Cu
36.7 % Zn

Recocido suave.

ordenada : k_f en $kp. mm^2$

abscisa: Cambio de deformación ϵ

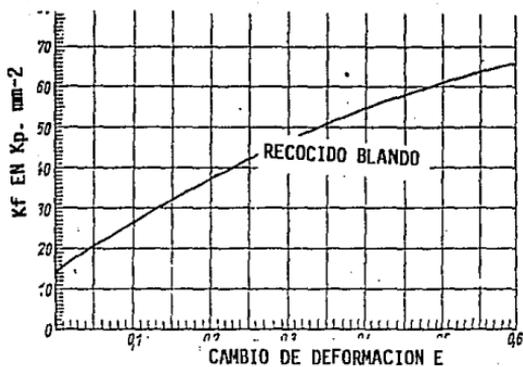


Fig.No.27. Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación ϵ de un latón Ms 70 según la VDI.

Análisis: 70.8 % Cu
29.2 % Zn

ordenada: k_p en $kg \cdot mm^{-2}$

abscisa: Cambio de deformación ϵ

Recocido suave

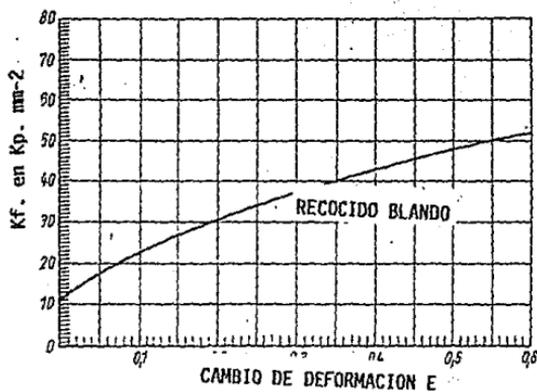


Fig. No. 28. Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación ϵ de un latón Ms 85 según VDI

Análisis: 84.3 % Cu
15.7 % Zn

ordenada: k_f en $kp \cdot mm^2$

abscisa: Cambio de deformación ϵ

Recocido suave

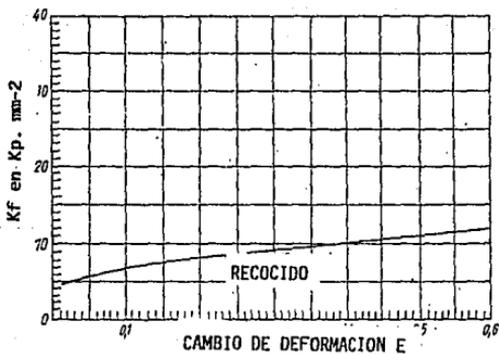


Fig. No. 29. Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación ϵ de Al 99.5 según VDI.

Análisis: 0.01 % Cu
 0.01 % Mg
 0.01 % Mn
 0.10 % Si
 0.16 % Fe
 0.03 % Zn

ordenada: k , en $kp. mm^2$

abscisa: Cambio de deformación ϵ

Recocido

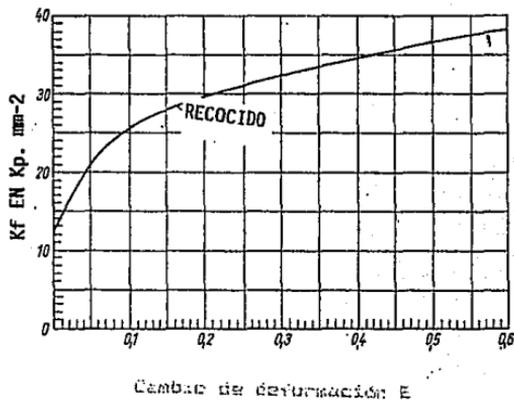


Fig. No. 30. Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación ϵ de Al Mg 3 aleación forjable según VDI.

Análisis: 2.50 % Mg
 0.23 % Mn
 0.16 % Fe
 0.13 % Si
 0.05 % Zn
 0.09 % Cu
 el resto % Al

ordenada: k_f , en $\text{kp} \cdot \text{mm}^2$

abscisa: Cambio de deformación ϵ

Recocido

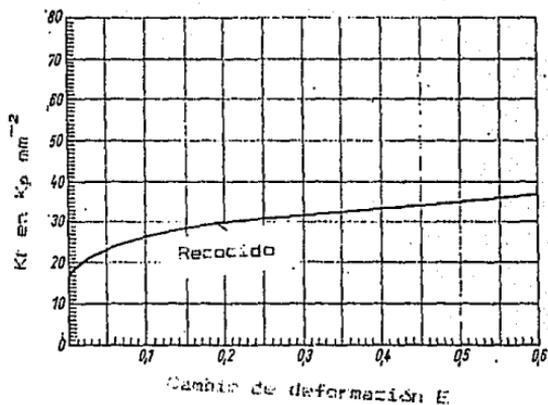


Fig. No. 31. Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación ϵ de Al Mg / (aleación de Al forjable según la VDI)

Analisis: 7.00 % Mg
 0.20 % Mn
 0.24 % Fe
 0.15 % Si
 0.16 % Zn
 0.03 % Cu
 el resto % Al

ordenada: k_p en $kp \cdot mm^2$

abscisa: Cambio de deformación ϵ

Recocido

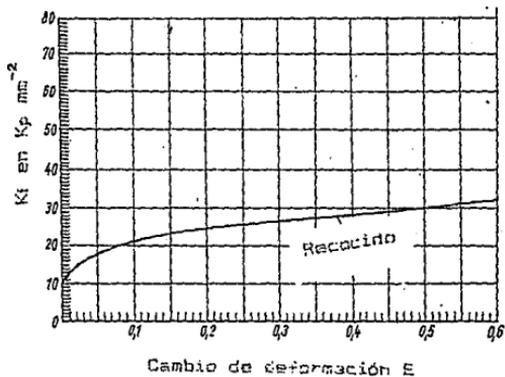


Fig. No. 32. Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación ϵ , Al-Cu-Mg aleación forjable normal según VDI.

Análisis: 4.04 % Cu
 0.76 % Mg
 0.55 % Mn
 0.70 % Si
 0.45 % Fe
 0.22 % Zn
 0.06 % Pb
 el resto % Al

ordenada: k_t en $K_p \cdot \text{mm}^2$

abscisa: Cambio de deformación ϵ

Recocido

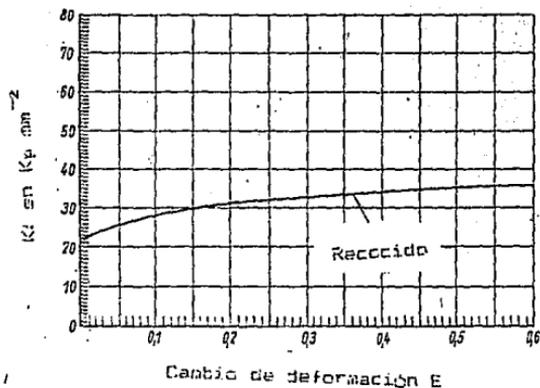


Fig. No. 33. Variación del esfuerzo en función del comportamiento de la resistencia a la deformación ϵ , de Al-Mn (aleación forjable de Al según VDI).

Análisis: 0.76 % Mn
 0.24 % Fe
 0.16 % Si
 0.03 % Mg
 0.06 % Zn
 0.02 % Cu
 el resto % Al

ordenada: k_f en $kp \cdot mm^2$

abscisa: Cambio de deformación ϵ

Recocido

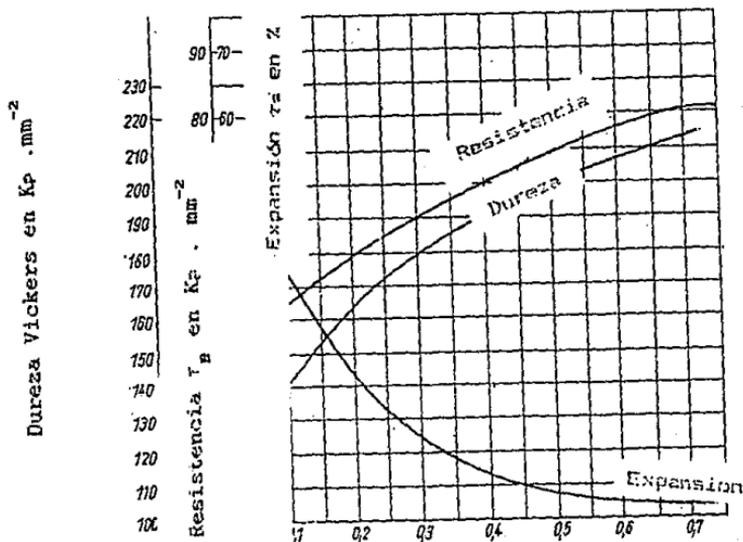
1).- Deformación en frío.

La deformación en frío se realiza a temperatura ambiente. Esto significa que, el material está obligado a cambios de forma por laminación, estirado o prensado en frío.

Se designa a todos los procesos de deformación, que tienen lugar abajo de la temperatura de recristalización, como procesos de deformación en frío. Esta diferenciación debe establecerse, ya que algunos metales como por Ej. plomo a temperatura ambiente presenta procesos de recristalización.

En una deformación en frío se produce un cambio de microestructura y propiedades mecánicas. El cambio en microestructura de un material deformado en frío se muestra por medio de cambios de textura fibrosa.

Con el incremento en el grado de deformación aumenta la compactación de materiales metálicos. Como compactación se entiende un incremento en la resistencia y dureza y una disminución en expansión y tenacidad como se observó en la Fig. No. 34



La mayor compactación del material está unida a una menor capacidad de deformación.

El cambio de forma o el grado de deformación indican la magnitud del grado de deformación que ha experimentado el material. Este grado de deformación se refiere a la deformación en frío del estado de recristalización del material.

La determinación del grado de deformación en base en las siguientes suposiciones:

-En cada deformación aparece en el cuerpo deformado un cambio en la superficie transversal. Relacionando las superficies de sección transversal, se obtiene el grado de deformación:

$$\epsilon = A_0 - A_1 / A_0$$

O

$$\epsilon \% = A_0 - A_1 / A_0 \times 100$$

en donde:

ϵ = Grado de deformación o cambio de forma.

$\epsilon \%$ = Grado de deformación en %

A_0 = Superficie transversal del material antes de la deformación

A_1 = Superficie transversal después de la deformación.

Fig. No.34. Variación de la dureza, resistencia y expansión en función del grado de deformación o cambio de forma, de un latón especial MS 70

ordenada: Dureza Vickers en $kp \cdot mm^{-2}$

Resistencia σ_s $kp \cdot mm^2$

Expansión σ_s en %

abscisa: Cambio de forma o grado de deformación ϵ .

líneas: Resistencia.

Dureza

Expansión

Fig. No. 35. Variación de la resistencia a la tracción σ_B en $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$ y expansión δ en % en función de la disminución del área de sección transversal en % para Cu.

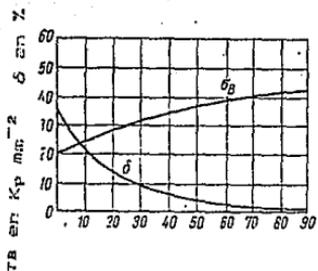
lineas: σ_B

δ

ordenada: Resistencia a la tracción σ_B en $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$

δ % de Expansion

abscisa: Disminución de la sección transversal en %



Disminución del área en %

Fig. No.36 . Variación de la resistencia a la tracción σ_b en $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$ en función de la disminución del área de sección transversal para: 1) Zn, 2) Al, 3) Al-Cu-Mg, 4) Cu, 5) Latón Ms.68.

ordenada: Resistencia a la tracción σ_b en $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$

abscisa: Disminución de la sección transversal en %

Ya que para una deformación plástica V es constante es válido:

$$V_2 = V_1$$

o

$$V_2 / V_1 = 1$$

ya que $V = A l$, se obtiene $A_2 l_2 / A_1 l_1 = 1$

$$\text{o } A_2 / A_1 = l_1 / l_2$$

Estas relaciones de superficies y longitudes se denominan como coeficientes de estiraje o grado de estirado (λ)

asi se expresa como: $\lambda = A_2 / A_1 = l_1 / l_2$

J).- Deformación en caliente.

En una deformación en caliente aparecen simultáneamente dos procesos contrarios:

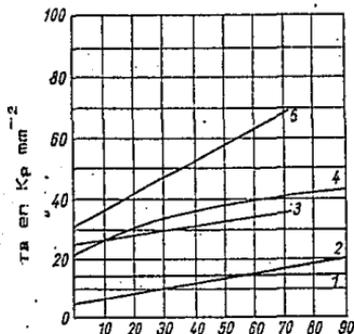
1.) Durante el proceso de deformación se lleva a cabo una compactación de la microestructura.

2.) Debido a la temperatura dominante de deformación durante el proceso de deformación, tiene lugar una recrystalización de la microestructura.

Como recrystalización se designa a la nueva formación de microestructura, la cual tiene lugar a lo largo de los bordes de grano y de las líneas de deslizamiento. La temperatura más baja a la cual tiene lugar todavía una recrystalización, se denomina como temperatura de recrystalización mínima.

Se distingue en la recrystalización dos fases. La primera fase es caracterizada por una constante y completa formación de microestructura a partir de la microestructura transformada. La segunda fase de recrystalización es caracterizada por un constante crecimiento de grano.

Ya que la primera fase de recrystalización pasa inmediatamente a la segunda, es importante observar sobre todo en la deformación en caliente, que se deformara fuera del grado crítico de deformación.



Disminución del Área en %

En la Fig. No.37 . Se observa la recristalización en función del grado de deformación crítico. Se reconoce que, en el intervalo del grado de deformación crítico un rápido crecimiento del tamaño de partícula es observado.

Los siguientes sucesos, los cuales aparecen todavía en el conformado no deben menospreciarse. Con el incremento en el grado de deformación disminuye la temperatura para la nueva formación de los cristalitas. Con esto se establece que será disminuido el límite inferior, en el cual todavía aparece una recristalización, con mayores grados de deformación aplicados.

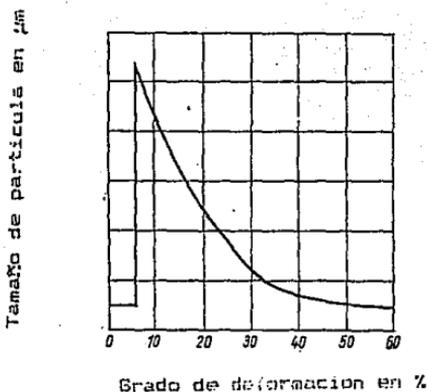


Fig. No.38 .

De esta Figura se observa también que, en un proceso de deformación en frío debe estar acoplado, un recocido de recristalización. El valor de la temperatura de recristalización se entiende como la mínima temperatura de recristalización. La influencia de la temperatura con la resistencia a la deformación ya se menciona. Con esto se observa la estrecha relación de la influencia de la temperatura en la flexibilidad del material. A mayor temperatura se incrementa la flexibilidad del material y éste adquiere su nueva forma de una manera más sencilla, debe mantenerse sin embargo su forma sólida. La temperatura, a la cual tiene lugar el cambio de forma, es de gran importancia para la formación de su microestructura. Si la temperatura de deformación, está muy arriba de la temperatura más baja de recristalización y el tiempo entre cada paso de deformación es muy grande, entonces predomina en un tratamiento térmico la segunda fase de recristalización. El material que tiene una microestructura de grano grueso presenta poca resistencia y flexibilidad. Una tendencia a la microestructura de grano fino se presenta, si la temperatura de la deformación en caliente final, está un poco arriba de la temperatura más baja de recristalización. Si la deformación se lleva muy lentamente, a la más baja temperatura de recristalización, tiene lugar ya una deformación en frío. Aparece una compactación de la microestructura y una elevada carga sobre la herramienta y máquina de deformación.

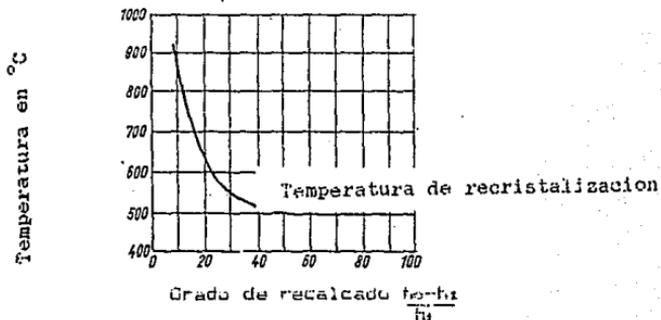
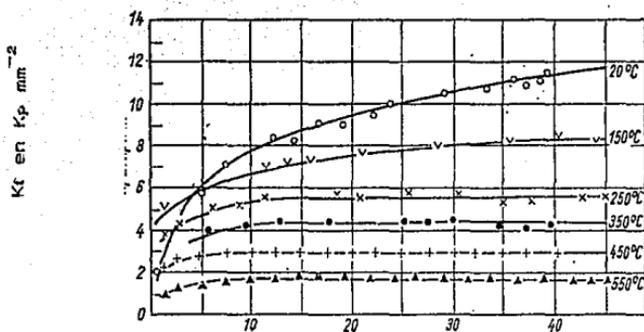


Fig. No.39 . Curvas de fluencia. Variación de k_f en función del por ciento de cambio de deformación, a diferentes temperaturas para Al puro (Al 99.6 %)



ϵ en %

Fig. No. 40. Curvas de fluencia. Variación de k_f en función del porcentaje de cambio de deformación, a diferentes temperaturas para AlCuMg.

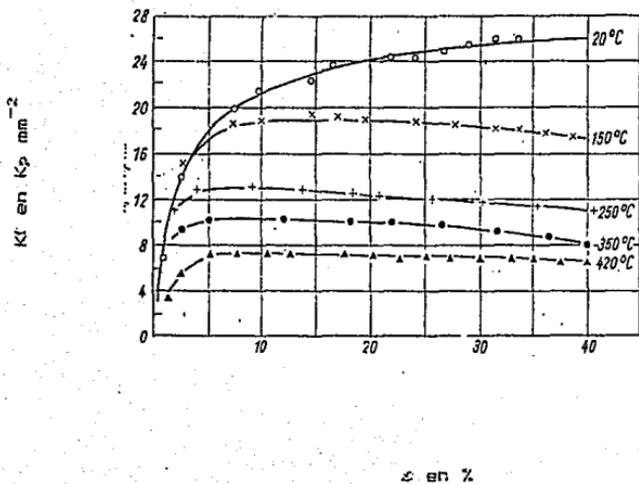
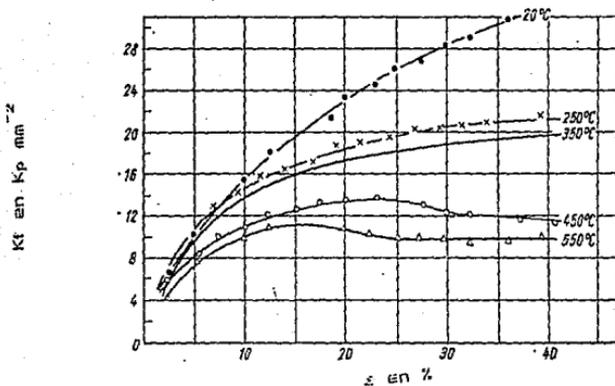


Fig. No.41. Curvas de fluencia. Variación de k_f en función del porcentaje de cambio de deformación, a diferentes temperaturas para Cu electrolítico.



III.- Tipos y Equipos de Forja

La Estampación.

ES un proceso industrial para forjar el Acero y Aleaciones para herramientas.

Para ello, el martillo de forja, utiliza un molde que tiene la figura que se va a forjar y recibe las siguientes denominaciones:

Chapas o matrices o troqueles.

Y que tienen la forma geométrica grabada en relieve del tipo de herramienta que se desea estampar (ej. Perico).

Debido a la cavidades en los troqueles, la rebaba producida durante la estampación se elimina con el maquinado.

La estampación se realiza a 1200 C cuando el acero tiene un color amarillo (5). Por medio del estampado se sueldan grietas a los 1400 C un color blanco (5).

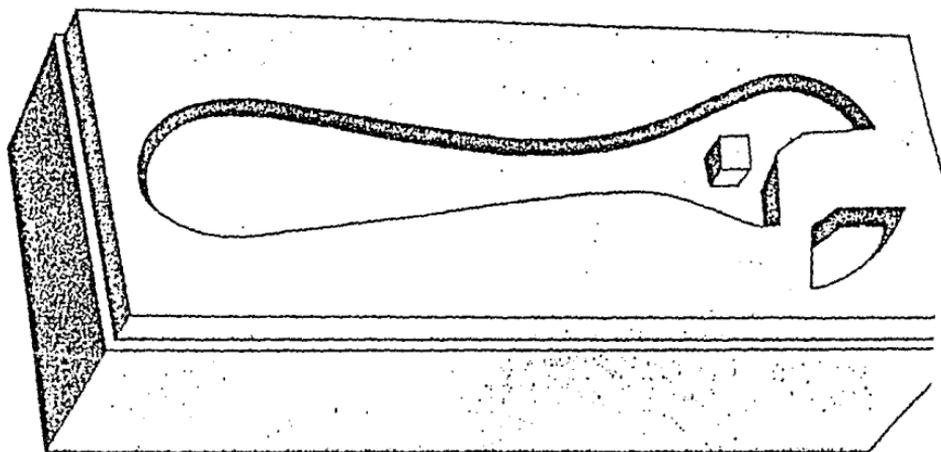


Figura.No 42.
Troquel de un Perico.

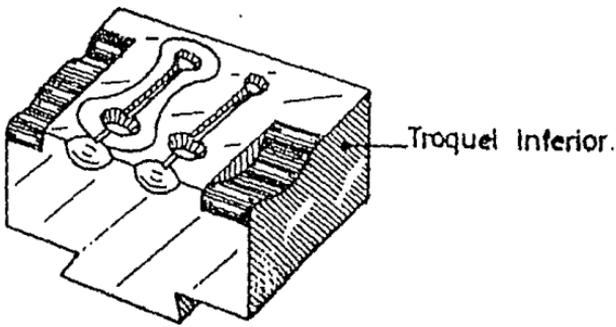
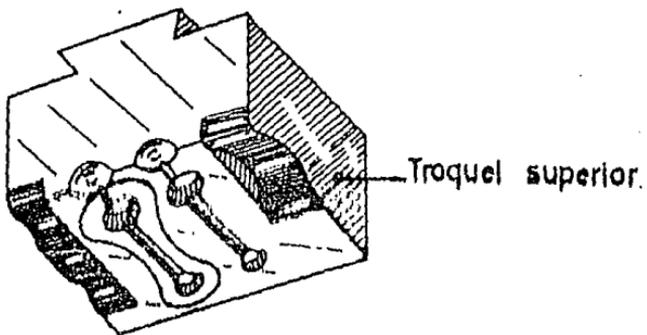


Figura No 43.

Troqueles de Barras.

Forja en Matriz Cerrada.

En este tipo de forja, no existen cavidades en los troqueles, pero no son planos (no se fuga el metal), no hay rebaba* y estas son las principales diferencias con el estampado. ej. (forjado de latas).

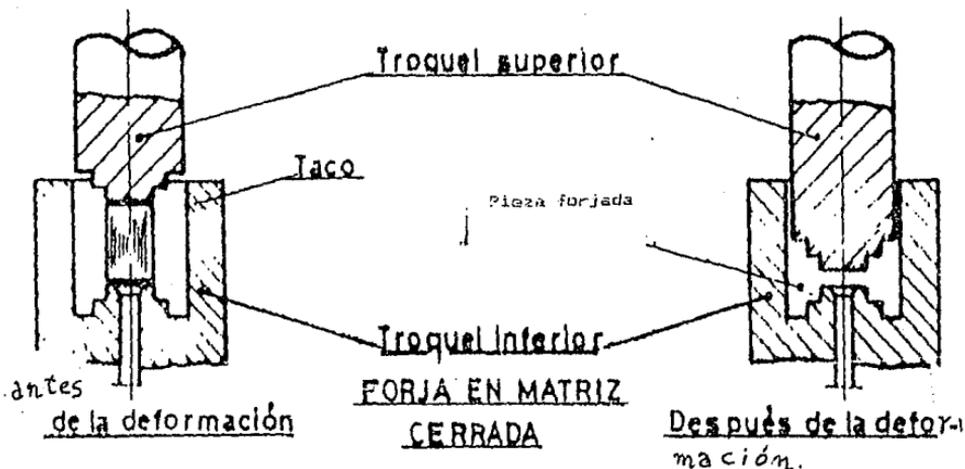


Figura.No 44.

* El troquel superior se cierra con el inferior.

Forja Libre.
Los troqueles son planos y no llegan a tener contacto. Se aplica en la deformación de barras de acero, como se observa en la figura No45.

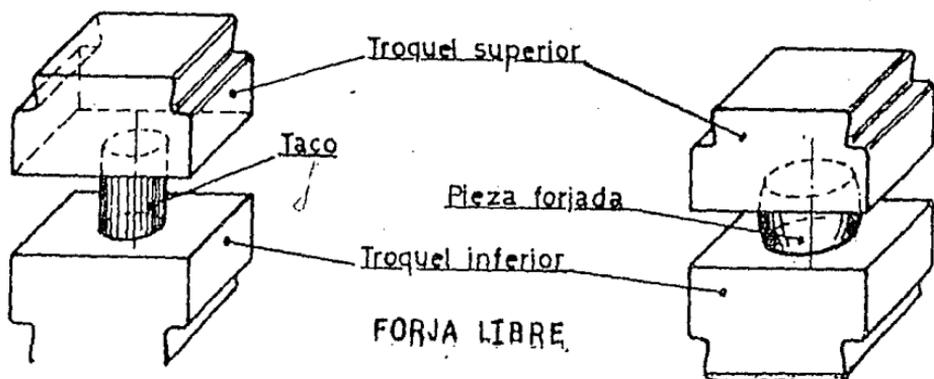


Figura.No 45.

Laminación.

La laminación consiste, en deformar un determinado material (Tocho, redondo, palanquilla, llanta etc.)

Comprimiendolo entre dos cilindros que giran en sentido contrario, de tal forma que se produzca una reducción de la sección transversal inicial, consiguiendo en todos los casos una sección menor a expensas de una mayor longitud.

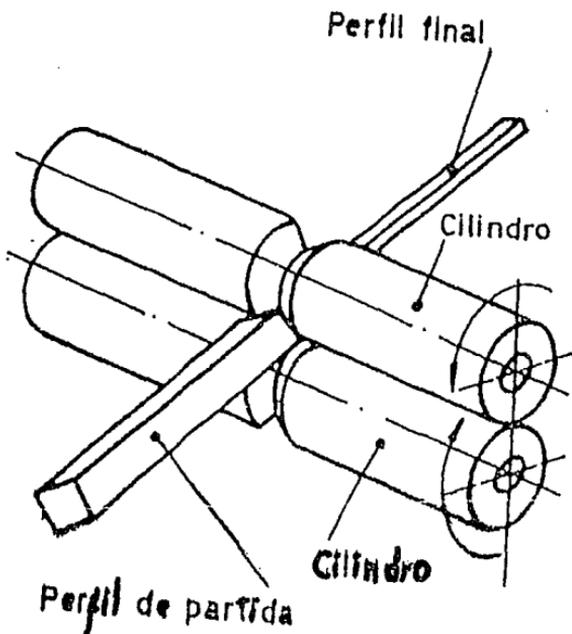
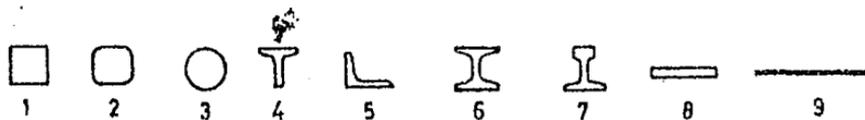


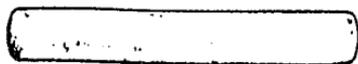
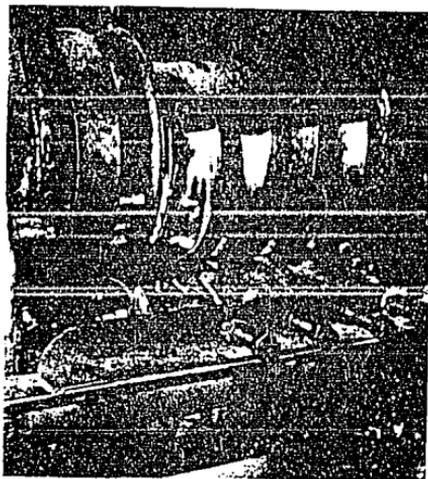
Figura.No46.

Proceso de Laminación.



1. Cuadrado "canto vivo" - 2. Palanquilla - 3. Redondo - 4. Perfil en "T"
5. Angular - 6. Perfil en doble "T" - 7. Carril - 8. Llanta - 9. Fleje.

Figura No47.
Perfiles Laminados.



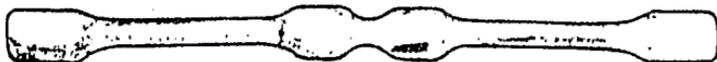
Perfil inicial



1ª Pasada



2ª Pasada



3ª Pasada

Tanto la forja como la laminación son procesos que pueden ser realizados con los materiales a deformar a muy distintas temperaturas.

La forja y la laminación se realizan en los siguientes tres intervalos de temperatura.

- 1.- En frío (20 C).
- 2.- Temperatura Media (600 C).
- 3.- En caliente (700 - 1200 C).

Otros Tipos de Forjas.

La calderería.

Consiste en modificar las chapas, los perfiles, los tubos etc., por deformación parcial y localizadas de algunas de sus zonas, con deformación simultánea del diámetro de los brazos de arañas.

Esta técnica se utiliza mucho en la fabricación de candelabros o arañas

La Extrusión.

Es la deformación de un metal o aleación con cambio de diámetro (para cerámicas u otros materiales se denomina Embutición).

Este proceso, utiliza un intervalo de temperatura.

La Extrusión se realiza de tres formas:

a).- La extrusión directa, consiste en hacer fluir el material, a través del orificio de extrusión que se encuentra en la matriz, aplicando el esfuerzo necesario (F) de una manera directa, a través del punzón. Figura, a).

b).- La extrusión inversa, en la que, el orificio de extrusión esta situado en el propio punzón y queda en éste la reacción en la matriz, la que hace fluir al material para atravesar ese orificio.

A su vez existen dos variantes fundamentales:

- 1.- Extrusión Inversa Central. Figura b).
- 2.- Extrusión Periférica. Figura d).

c).- La Extrusión lateral; cuyo orificio de extrusión se encuentra situado en una pared lateral. Figura c).

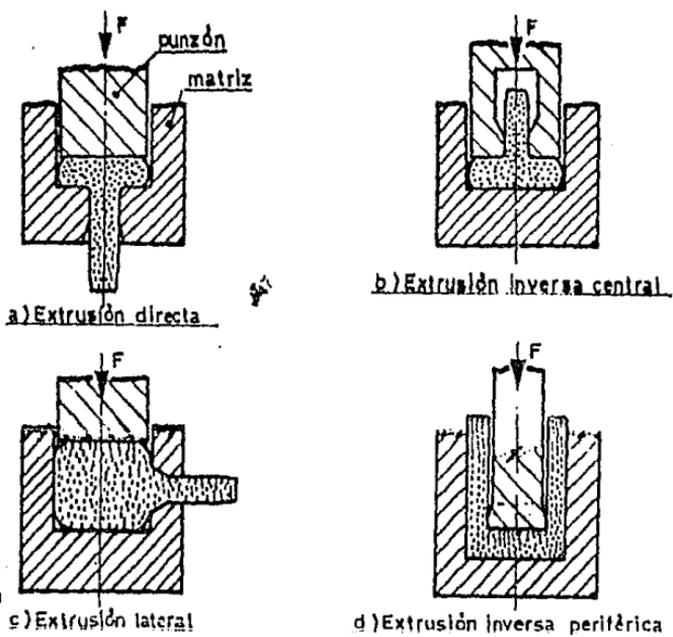


Figura # 49. Diferentes tipos de extrusión

Maquinaria Principal usada en la industria para la forja y laminación.

Tipos del Equipo.

- A).- Prensas.
- B).- Martillos.
- C).- Marteladoras.
- CH).- Laminadores.

La Prensa es un equipo de forja.

A).- Las prensas, a su vez, admiten una clasificación.

Por el método de accionamiento en:

- 1).- Prensas de husillo simple (Figura No. 50) y prensas de husillo de fricción (Figura No. 51).
 - 2).- Prensas mecánicas (o de biela - cigüeñal). (Figura No 52).
 - 3).- Prensas de cuña. (Fig. No. 53).
 - 4).- Prensas de Rodillera. (Fig. No. 54).
 - 5).- Prensas Hidráulicas. (Fig. No. 55 y 56).
- y según su posición geométrica en :
- a).- Prensas hidráulicas horizontales.
 - b).- Prensas hidráulicas verticales.

A.1.- Prensas de Husillo (Figuras 50 y 51).

Funcionamiento:

Se basan en el principio de tornillo-tuerca.

Si la tuerca permanece fija al girar el tornillo, este se desliza subiendo y bajando; según el giro que se produzca en un sentido y en el sentido contrario.

Si es el tornillo el que gira, pero permanece fijo en el espacio y se hace que la tuerca no gire, sujetandola con unas deslizaderas apropiadas, sean estas últimas, las que suban y bajen; según el sentido del giro que se imprima al tornillo móvil (también denominado husillo).

Según el método que se use para hacer girar el husillo, las prensas pueden ser:

- a).- De disco de fricción.
- b).- De motor directamente acoplado al husillo.
- c).- De engranaje.
- ch).- De otros tipos de accionamiento.

En todos casos el husillo lleva incorporado en su parte superior un volante, que hace la función de acumulador de energía.

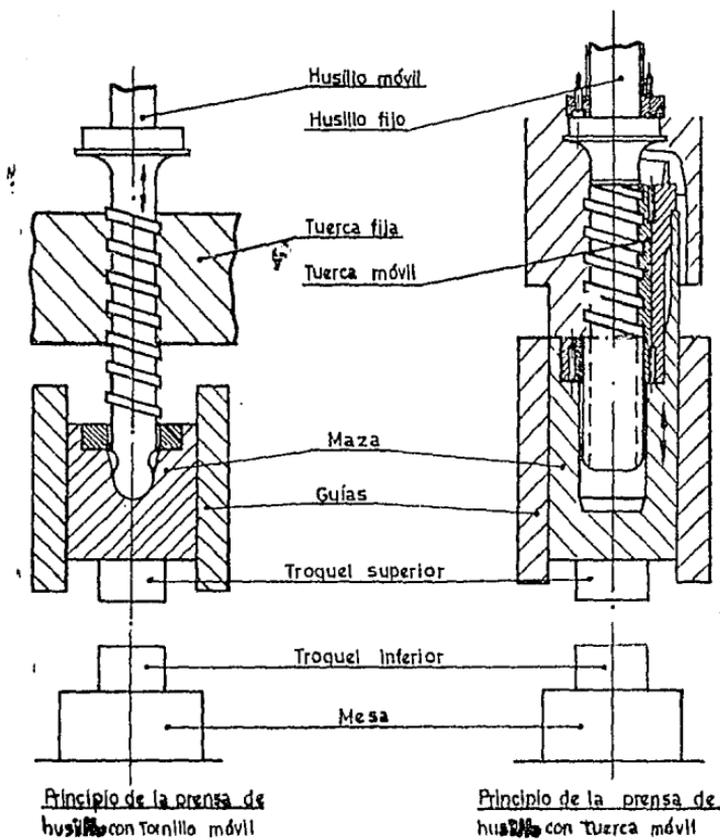


Figura No 50.

Prensa de Husillo Simple.

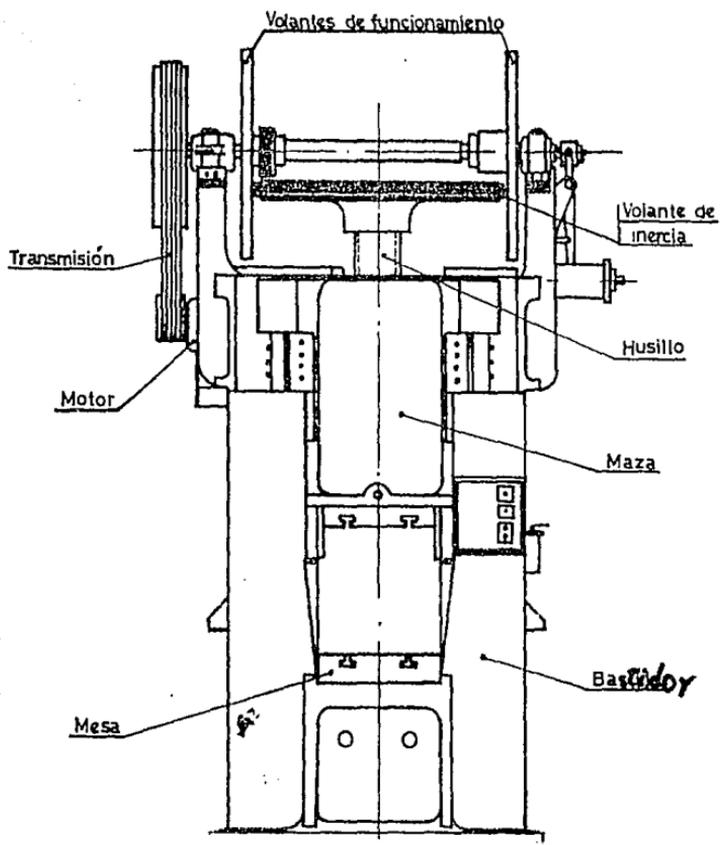


Figura No 51.

Prensa de Husillo de Fricción.

A.2.- Prensas Mecánicas. (Fig. No. 52).

Se basan en el principio cigüeñal-biela.

Al girar el cigüeñal arrastra a la biela, cuyo pie esta unido a la masa, que al ser guiada por deslizadoras apropiadas realiza, en una vuelta del cigüeñal, el movimiento completo de subida y bajada.

Unido al cigüeñal se sitúa un volante de inercia, que acumula la energía necesaria para el trabajo que realizará la prensa.

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

Al embragar, el volante se acopla al cigüeñal que gira una vuelta completa, arrastrando a la biela y con ella a la masa y generando la sollicitación necesaria para la deformación plástica del taco situado entre los troqueles unidos a mesa y masa. Al finalizar esta vuelta, actúa el freno, fijando el cigüeñal en su punto muerto superior y desacoplado el volante de inercia, con la que la prensa queda dispuesta para recomenzar el ciclo dando el siguiente golpe.

Prensa mecánica de forja de
accionamiento por biela-cigüeñal

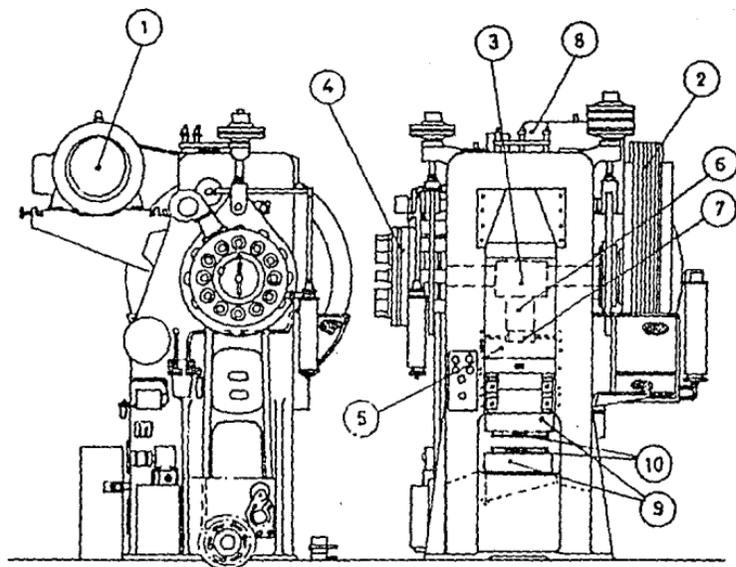


Figura # 52

- 1 - motor eléctrico
 2 - volante con acoplamiento
 3 - cigüeñal
 4 - freno
 5 - maza

- 6 - biela
 7 - gorrón de pie de biela
 8 - sistema equilibrador del peso de la maza
 9 - porta-troqueles
 10 - troqueles

A.3.- Prensas de Cuña. (Figura No 53).

Son prensas verticales mecánicas, que se basan en intercalar, entre el bastidor de la máquina y la masa, una masa horizontal accionada por un mecanismo cigüeñal-biela.

Esta disposición consigue una unión directa y rígida sobre una gran superficie de contacto y una menor deformación elástica del conjunto de la prensa.

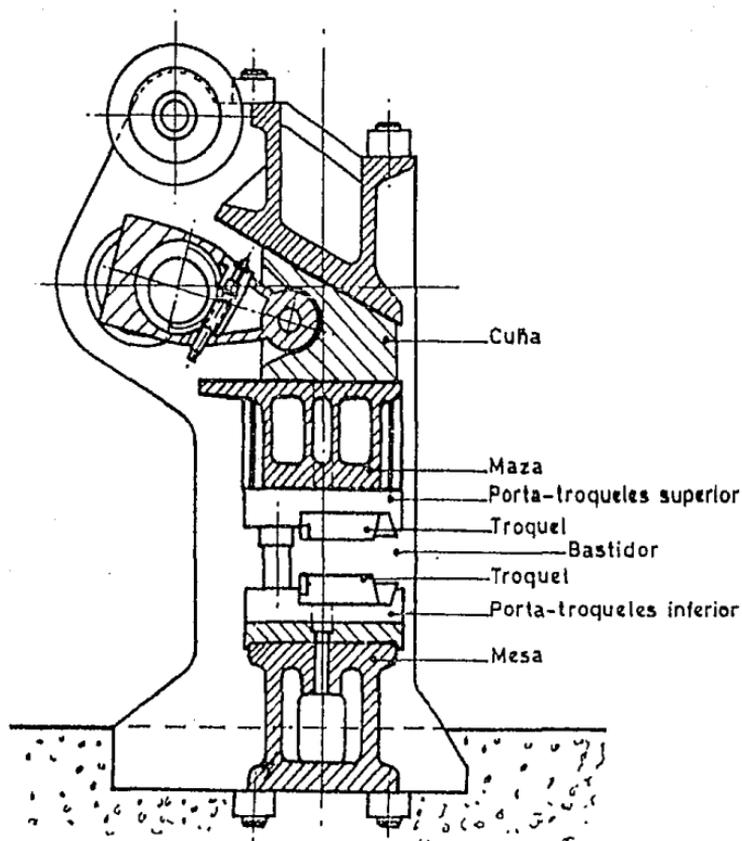
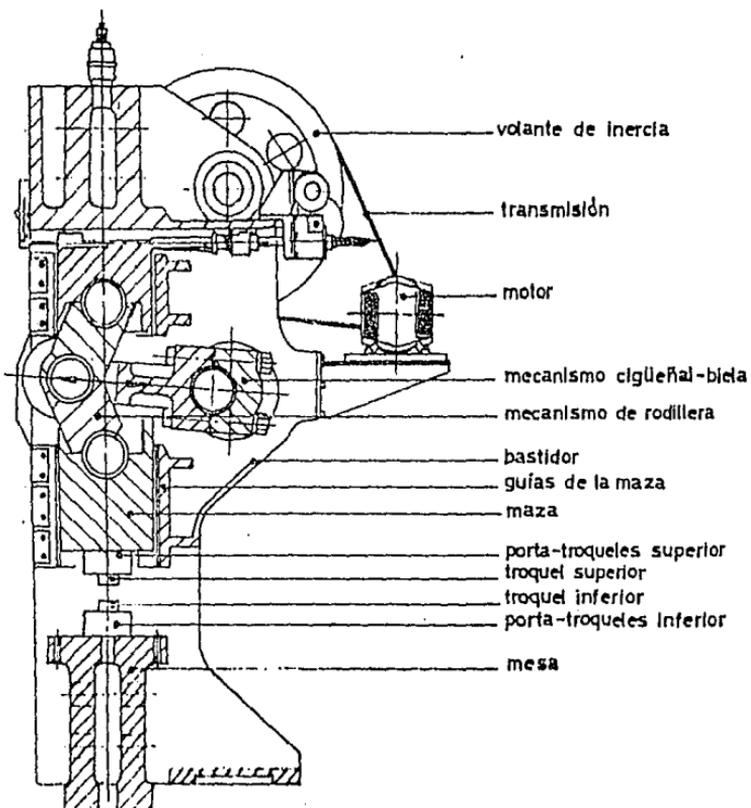


Figura No.53.
Prensa de Cuña.

A.4.-Prensas de rodillera (figura No. 54).



Forjado por Compresión.

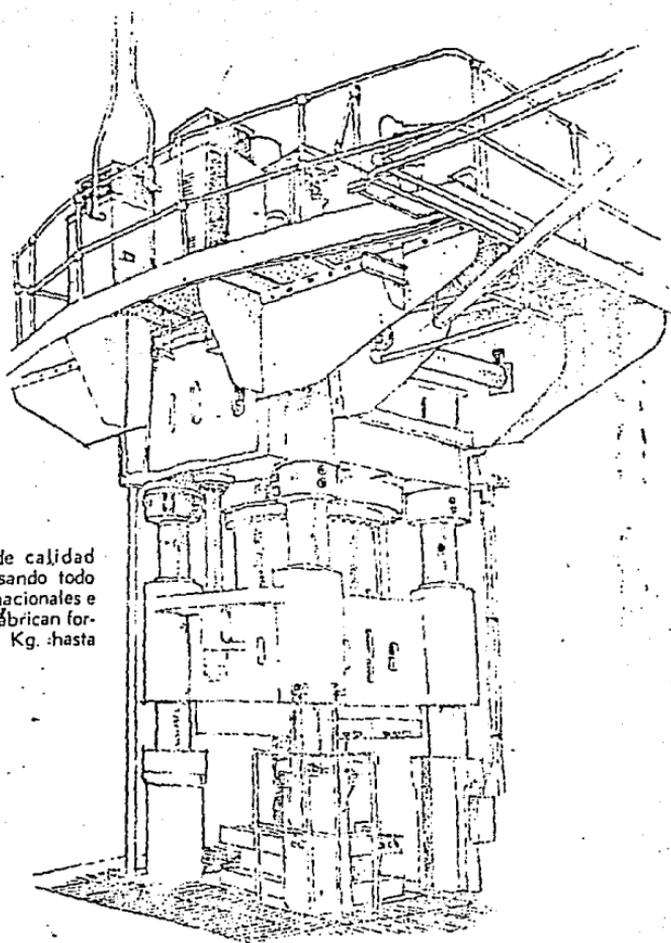
Forja por Prensa Hidráulica (figuras No.55 y 56).

Estas máquinas son para la forja de cualquier tamaño de pieza.

Desarrollan compresiones por peso hasta de 15,000 toneladas.

Estas prensas realizan el trabajo por presión solamente sin provocar vibraciones intensas. La plancha de la prensa hidráulica, esta hecha de carburo de titanio. Seleccionado por su excelente resistencia a la temperatura y a la corrosión.

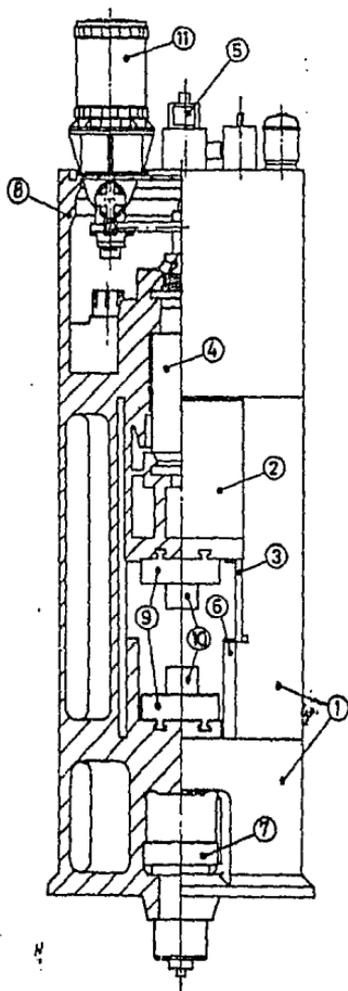
Se usan para deformar planchones de 2m. de grueso por 5m. de largo con un peso de 10 toneladas.



Con normas de calidad muy altas y usando todo tipo de aceros nacionales e importados se fabrican forjas desde 1/2 Kg. hasta 1/2 tonelada.

Figura # 65

Frensa hidráulica de 3000 toneladas



- ① Bastidor
- ② Pistón, que hace a la vez de maza de la prensa
- ③ Guías de la maza
- ④ Cilindro
- ⑤ Dispositivos de accionamiento
- ⑥ Topes rígidos, desplazables hidráulicamente, para limitación de la carrera de la maza
- ⑦ Expulsor hidráulico
- ⑧ Cámara que sirve de recipiente del aceite
- ⑨ Porta-estampas
- ⑩ Troqueles
- ⑪ Grupo motor-bomba

Figura No. 56. Partes que forman una Prensa Hidráulica.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

A.5.- Prensas Hidráulicas Verticales.

En esencia, todas se basan en el dispositivo cilindro-pistón. El pistón está unido directamente a la masa de la prensa o bien a través de una transmisión compleja. A igualdad de esfuerzo máximo, las prensas hidráulicas dan más capacidad de deformación. Se utilizan mucho para el proceso de estampación.

A.5.1.- Prensas Hidráulicas Horizontales.

Llamadas máquinas horizontales de forjar. Son prensas mecánicas de cigueñal-biela, tumbadas, pero con la particularidad de que la mesa de la prensa este partida y una de sus partes posee movimientos respecto a la otra, de forma que utiliza tres porta-estampas (en lugar de dos, como en las prensas verticales) y en consecuencia también los troqueles se fabrican en tres partes. El movimiento horizontal de la masa, denominada en este caso, carro o porta punzones, es producido por el mecanismo biela-manivela y el movimiento transversal de una de las dos partes de la mesa, denominadas mordazas, se consigue por un mecanismo de rodillera, que suele ser accionado por un dispositivo derivado mecánicamente del movimiento principal. Existen, también otras prensas auxiliares y se utilizan para la realización de operaciones auxiliares. Se les denomina en función de la operación que realizan y son las siguientes:

a).- Prensas de "Rebabar".

Cuando tienen encomendada la operación de eliminar de la pieza forjada, el exceso de material que contornea a la misma después de la forja y que ha rebasado la zona de unión de los troqueles, pasando a través del "cordón de matriz" al "alojamiento de rebaba".

b).- Prensas de "Funzonar".

Cuando con ellas se realizan operaciones de taladro de orificios y eliminación de las "pepitas" residuales.

c).- Prensas de "acuñar o calibrar."

Se utilizan para acuñar monedas por medio de troqueles. Es usada por la casa de moneda ubicada en San Luis Potosí.

ch).- Prensas de "Doblar".

Se utilizan en la operación de doblez (deformar).

d).- Prensas de "Enderezar".

Se utilizan para enderezar ciertos ejes.

Otras máquinas y dispositivos auxiliares (Jesus del Río).

En los talleres de forja y laminación se utilizan igualmente ciertos equipos, especialmente previstos para algunas operaciones características del proceso de fabricación.

Dispositivos de Descarrillado.

Son usados para la limpieza superficial de los materiales metálicos, que en el calentamiento previo a su deformación se recubren de una capa de óxido (cascarilla), que perjudicaría a

las herramientas del forjador, (les quitaría filo).

La eliminación de la cascarilla se consigue por medio de cepillos de púas de acero que, por acción mecánica; eliminan estos óxidos, o por bombardeo de la superficie afectada por chorros de aire, por agua a presión, lo que produce, por efecto combinado los choques mecánico-térmico, la limpieza superficial deseada.

Son igualmente muy usados los equipos de lubricación automática de las herramientas, cuya misión es inyectar sobre la superficie de los mismos, los lubricantes apropiados para disminuir el rozamiento entre el material a deformar y las herramientas de deformación.

Estos equipos se proyectan de muy variadas maneras, dependiendo del lubricante usado (aceite, disulfuro de molibdeno, grafito coloidal disuelto en agua o aceite, vidrio fundido, etcétera) y de la máquina de deformación empleada.

A.- Equipo de Martillo.

Se clasifica de acuerdo, a su método de accionamiento:

- 1).- De caída libre.
- 2).- De alto impacto o doble efecto.
- 3).- De contragolpe.
- 4).- Martillos Pilonos Estampadores.

B.- Forja de Martillo.

Esta se realiza sobre una superficie; el martillo utiliza como energía el vapor o el aire. Se utiliza en la industria para deformar el metal entre dos superficies duras de acero.

Una de ellas (generalmente la inferior) fija, que es denominada yunque y la otra móvil, denominada martillo.

En la figura No. 57 se muestra el martillo y en la No. 58 sus dimensiones.

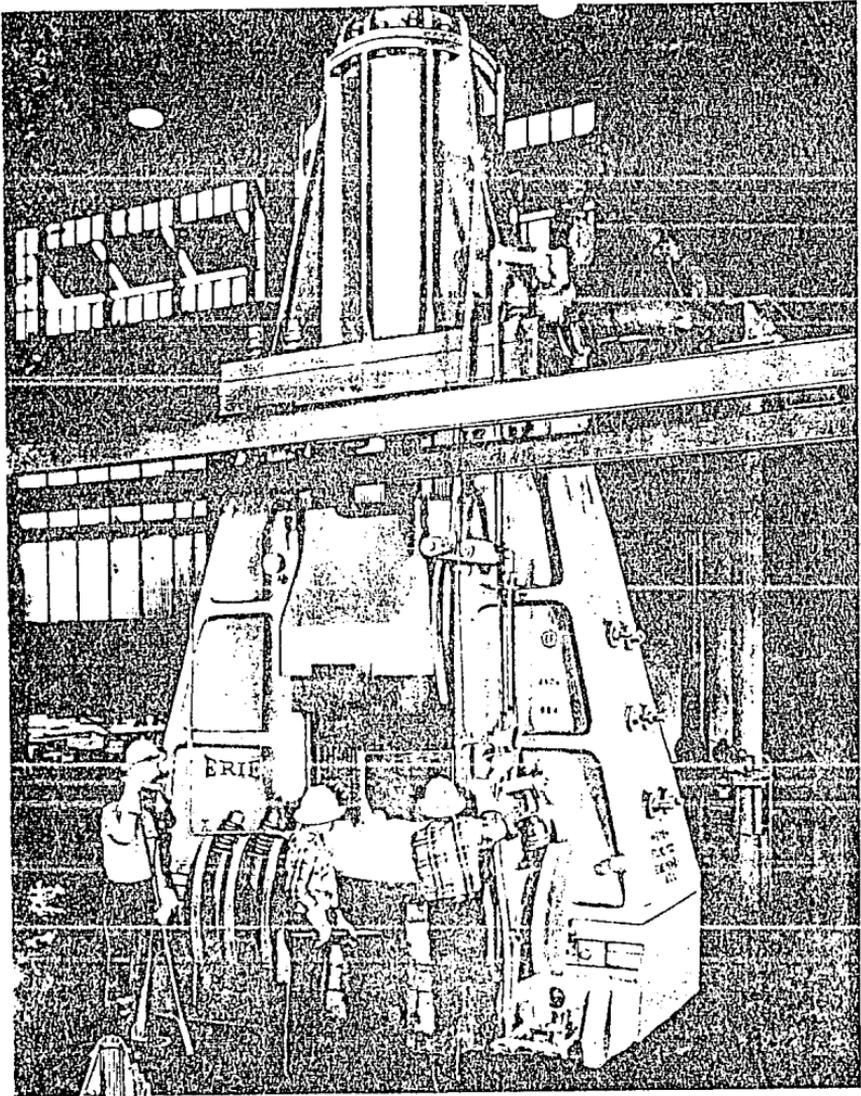


Figura 4. 61.

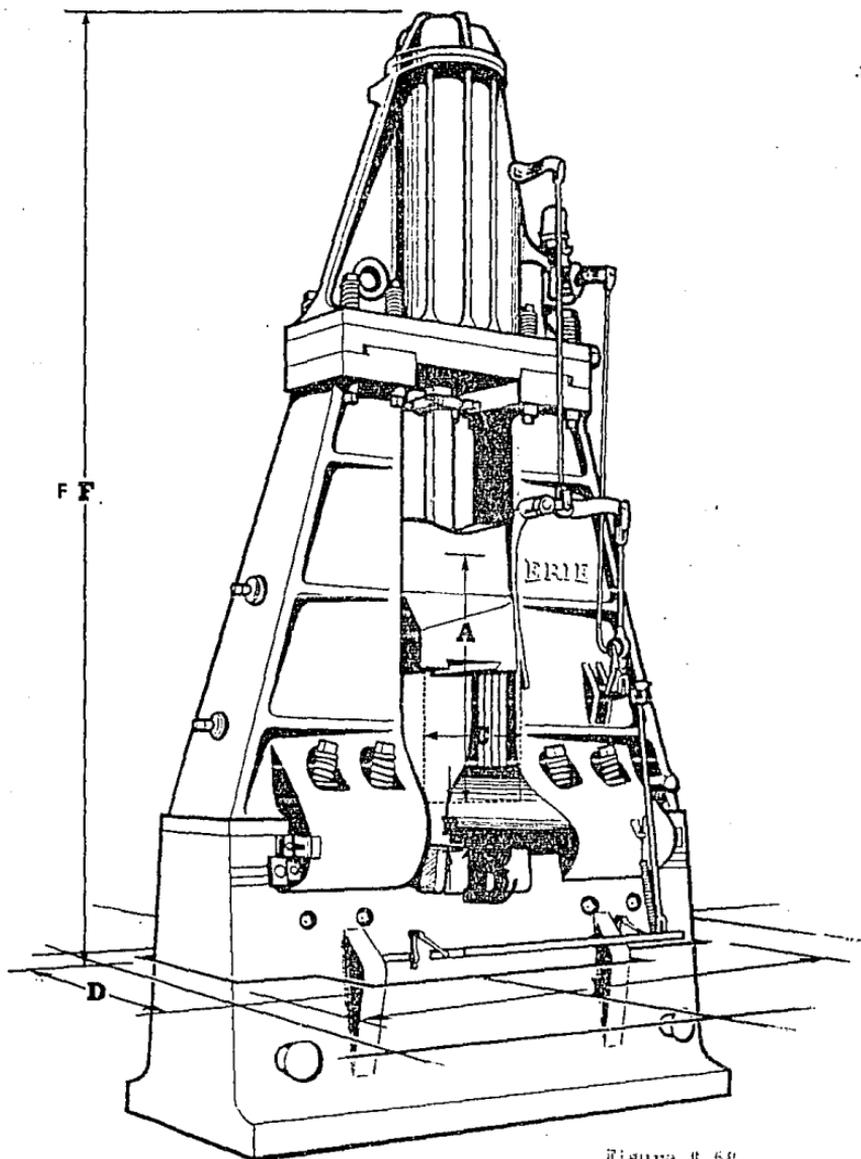


Figura # 58

Sus dimensiones son las siguientes:

F= Altura=10m.

D= Ancho= 4m.

A= Dado= 1m. de largo.

B= Yunque= 1m. de ancho.

C= A lo ancho y largo que hay entre el dado y el yunque.

El dado es acero especial (Steam Druplammers).

Composición:

Tungsteno (35%).

Molibdeno (25%).

Vanadio (1%).

Titanio (15%).

Cromo (8%).

El yunque es de acero al manganeso (Chambersburg Engineering Company).

El manganeso en el acero permite un mejor trabajo de deformación y resistencia al impacto mecánico.

La energía potencial del choque del martillo ocasiona un desplazamiento plástico del metal que esta sobre el yunque hacia los extremos.

La temperatura de la pieza a forjar por martillo es de 900 C a 1000 C en forja caliente, mientras que para forja en frio es de 20 C.

Se observan a detalle las especificaciones del martillo en la figura No. 59.

a= Autodesague del cilindro.

b= Cubierta de seguridad.

c= Tornillo de banco, operado con aire, con el cual se eleva el cilindro.

ch= Platos de desgaste.

d= Varilla de grapa con caras removibles.

e= Válvula de mejor acción.

f= Lengua y ranura-unida al armazón conectada con una almohadilla FABREEKA.

g= Ferro de seguridad.

h= Varilla de acero aleado.

i= Amortiguador de choque.

j= Guía de succión.

k= Ajuste de golpe en la parte de arriba.

l= Perros de economía.

li= Guías de lubricación automática.

m= Carnero de acero forjado.

n= Ferro fuera de golpe.

ñ= Nueva armazón, tipo pirámide.

o= Válvula reguladora.

p= Armazón patentada, construida con todo y yunque.

q= Tapa del yunque forjada en Acero.

r= Cuña ajustada a la armazón de acero.

rr= Yunque en escala 20:1.

s= Fácil operación del martillo (subirlo y bajarlo).

Pedal operado con aire de manera sencilla.

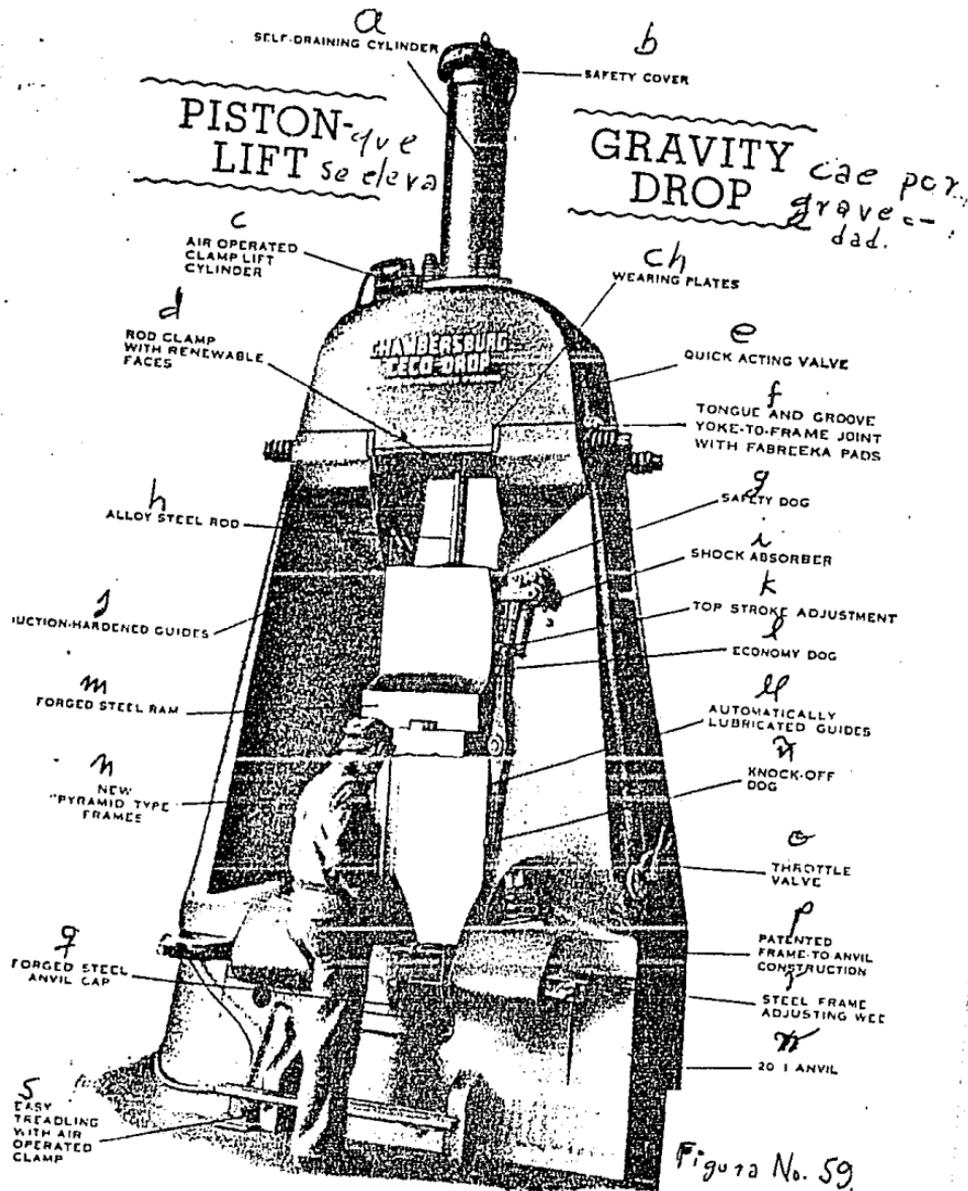


Figura No. 59.

En la figura No.60 se observa un martillo tipo cuello, que se usa para darle la forma, desde el principio hasta el final a una botella o cilindro de gas.

En Monclova, Coahuila se forjaban de esta manera tanques de gas. Proceso para darle la forma cilíndrica al tanque.

1).- Se lámina (se rola) , la hoja de acero; para darle la forma redonda.

2).- Se le da el acabado con el martillo de cuello.

3).- Y se suelda.

Esta es una forja especial y completa. Los tanques de gas tienen gran resistencia al choque.

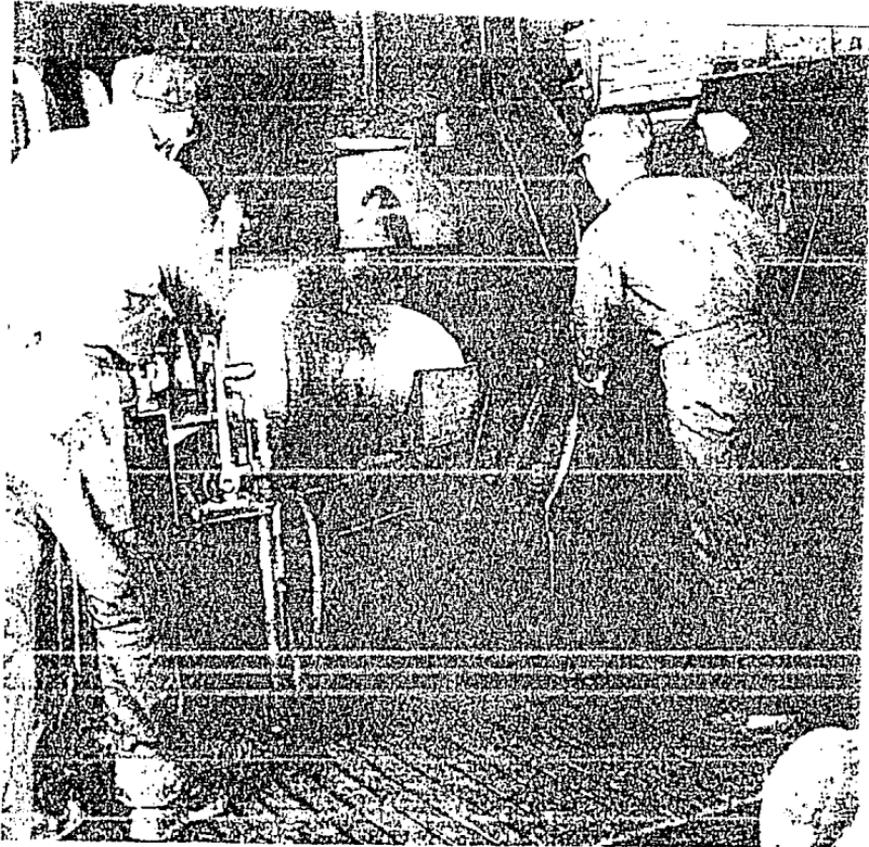


Figura No.60.

En la figura No.61, observamos un martillo de doble armazón con guía de acero, donde se descarga un peso de 20,000 Kg. se utiliza para la forja de herramientas.

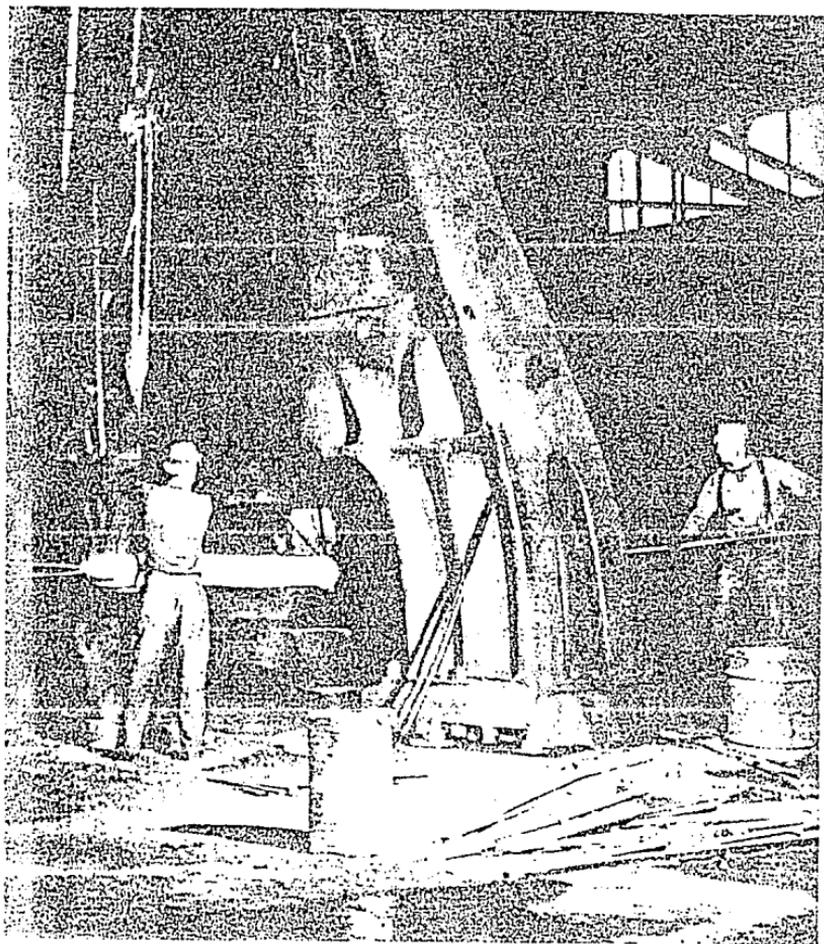


Figura # 61

B-1.- Martillos de caída libre (figura No.62).

Su funcionamiento consiste en elevar a una determinada altura una masa (dimensión peso:maza) y luego dejarla caer.

La energía potencial gravitatoria acumulada en la elevación, se transforma en energía cinética en la caída.

Para amortiguar el golpe contra el suelo, se dispone de una pieza, que hace las funciones de la mesa de las prensas, que se denomina chabota y que es mucho más pesada que la maza.

A la masa y a la chabota se sujetan los porta troqueles 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.

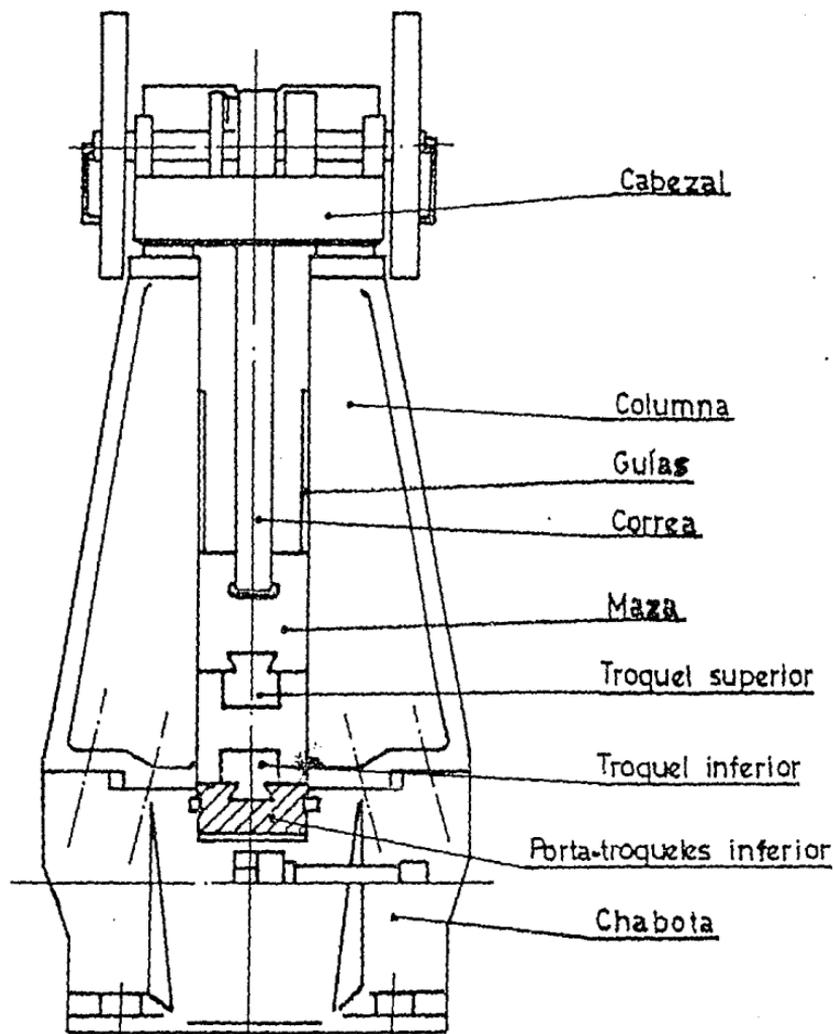
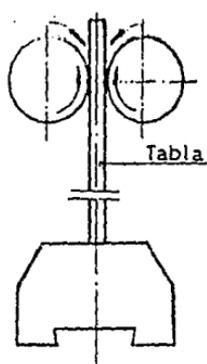
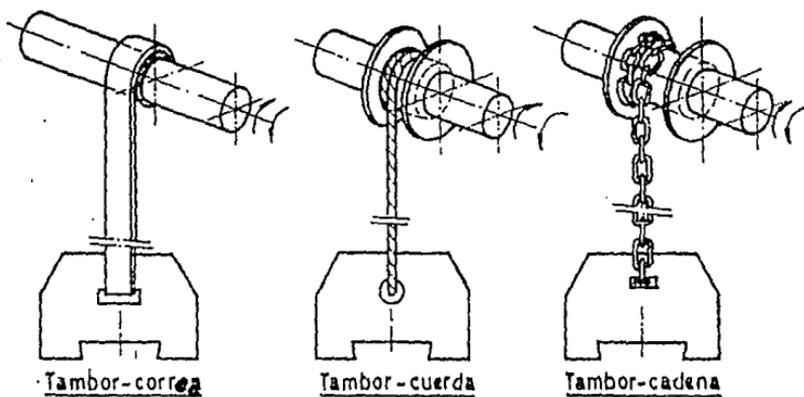


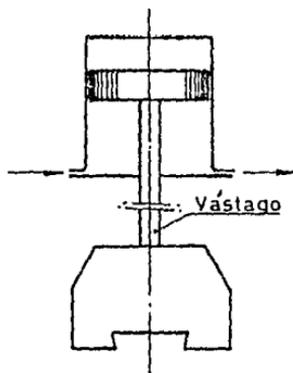
Figura # 62

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

- a).- Tabla.
- b).- Tambor y Correa, Cadena o Cuerda.
- c).- Hidráulicos.
- ch).- Aire comprimido.
- d).- De motor lineal.



De tabla "por fricción"



Cilindro-pistón

Mecanismos elevadores de la maza. Figura No. 63.

B-2.- Martillos de doble efecto (figura No.64).

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

Según esto el cabezal es algo distinto que el de los martillos de caída libre, ya que los mecanismos en él emplazados; no solamente tienen por finalidad subir la maza para luego dejarla caer, sino que en el movimiento de bajada, impulsan a ésta, añadiendo a la energía alcanzada por caída libre el trabajo producido por el recorrido forzado del pistón superior.

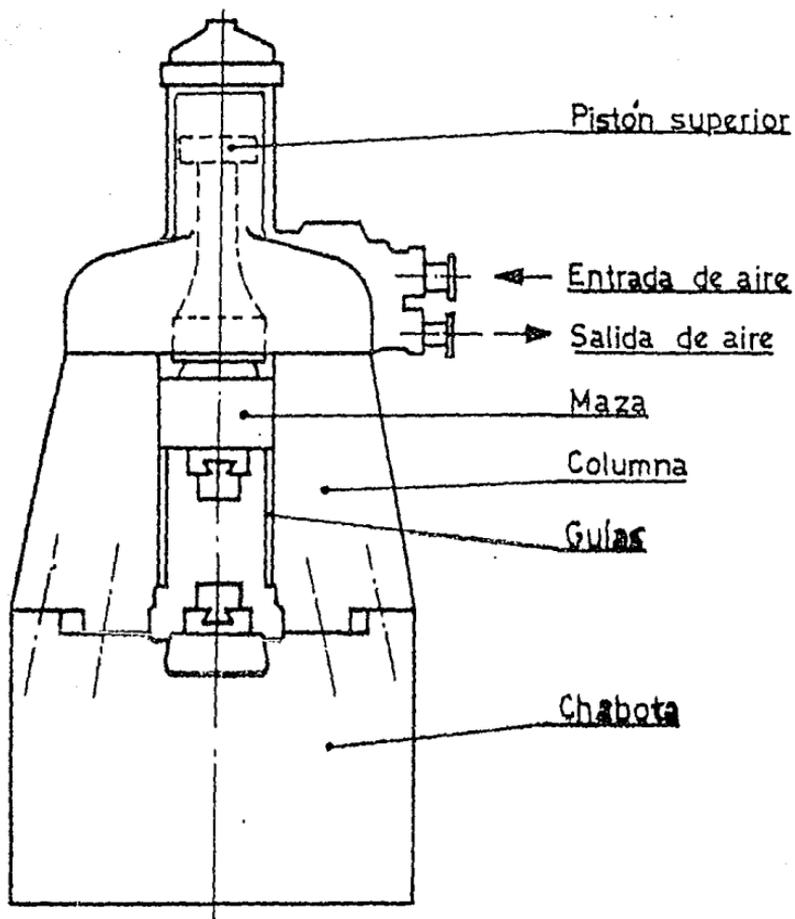


Figura No. 64.

Existen unos martillos de alto impacto.

Disparan la maza sobre la chabota a enorme velocidad, como consecuencia de la expansión rápida, sobre la pieza a forjar, originando una auténtica explosión en la maza plástica.

Se libera un gas (nitrogeno), que se comprime en la maza metálica a grandes presiones, del orden de 180 atmosferas.

La elevación de la maza y la compresión del gas se realiza, después de cada golpe, por medio de unos cilindros hidráulicos de elevación y carga.

Se utilizan este tipo de martillos para forjar discos (delanteros) para coches de lujo: Lincoln, Cadillac, Rolls-Royce, Mercedes-Benz.

B-3.- Martillos de Contragolpe (figura No.65).

Para conseguir mejores energías y evitar las enormes mazas de las chabotas que les corresponderían, se han ideado los martillos de contragolpe.

Estas máquinas funcionan de manera, que mientras la maza cae, la mesa sube, encontrándose ambas en su recorrido, por lo que todo el exceso de energía del golpe no pasa a la estructura de la máquina.

Evidentemente, los recorridos de la mesa se proyectan mucho menores que los de la maza, para conseguir el correcto posicionado del taco o tajo (sobre el troquel inferior).

Se llama "Taco" o "Tajo", a la barra que se va a forjar.

Normalmente maza y mesa, adquieren su movimiento relativo de una misma cadena cinemática.

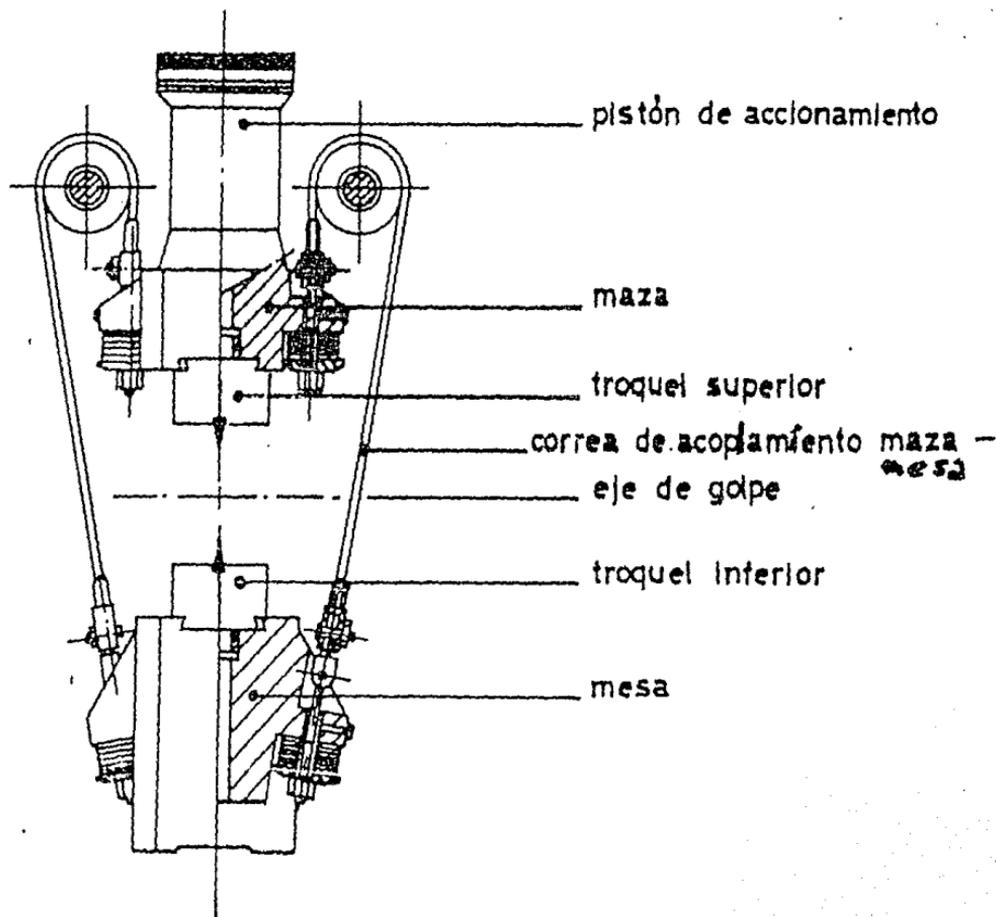


Figura No.65.

Martillos Pilonés Estampadores (figura No.66).

Son accionados por vapor o aire comprimido o son del tipo auto-compresor.

La maza superior es controlada por guías ajustables que suprimen cualquier juego en la carrera.

Las columnas pueden desplazarse lateralmente para poder fijar bien la posición del dado y luego se aseguran por medio de cuñas. Un pedal accionado por el operario, inicia el funcionamiento de la máquina.

Se utilizan, como su nombre lo dice, para estampar herramientas y partes de suspensión de automóvil (rótulas, bielas, etc.).

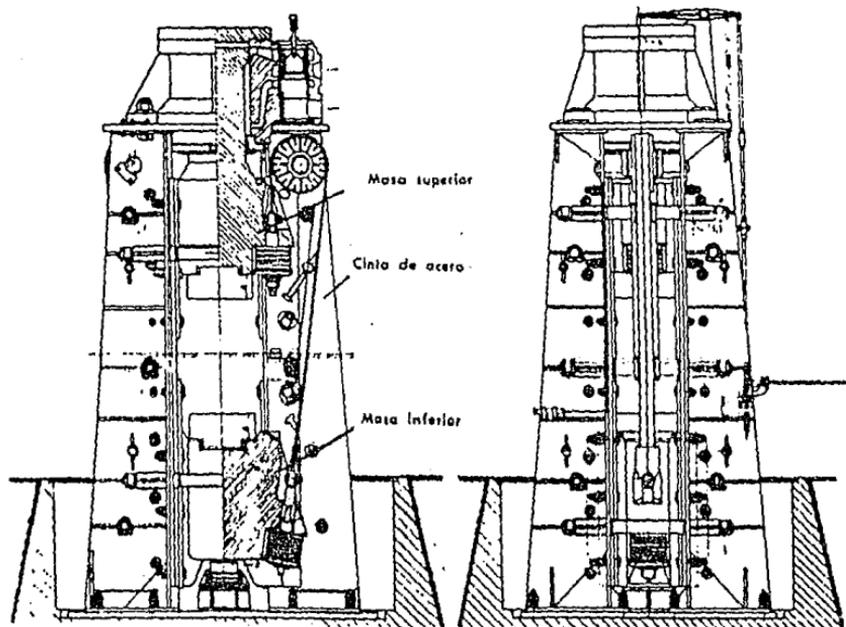


Figura No.66.

C.1.- Marteladoras Horizontales (figura No.67).

Son máquinas utilizadas normalmente para estirar barras, perfiles y obtener piezas con cambios de secciones e incluso con partes cónicas.

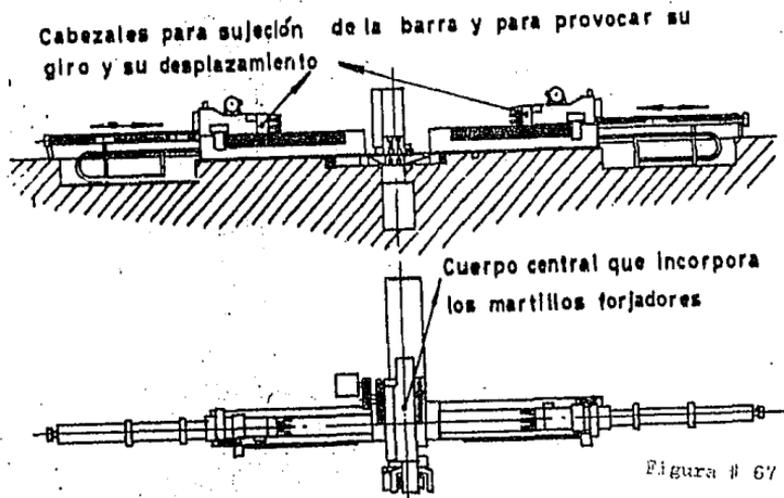
Son muy apropiadas para la fabricación de talleres de pailería (construcción de tanques de lámina de acero para diesel, aceite, gas y agua).

Su principio de funcionamiento se basa en la acción simultánea sobre la sección de la barra a deformar, de 4 ó 5 martillitos que golpean consecutivamente toda la longitud de la barra, abriendo o cerrando su recorrido en función de la forma que se desea obtener.

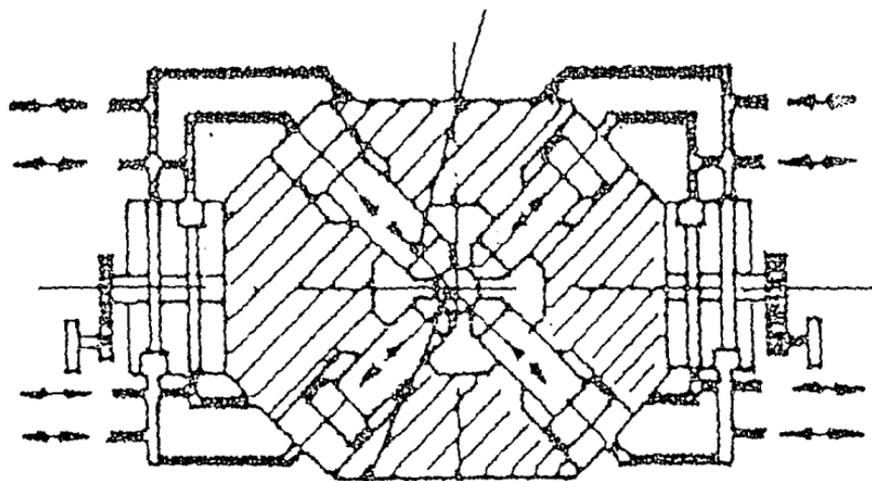
Los movimientos longitudinal y de rotación, necesarios en la barra de partida, se obtienen por medio de un manipulador que sujeta la barra por un extremo a la vez que le obliga a rotar y desplazarse... (Jesus del Rio)..(6).

Pueden usarse con una programación de secciones y recorridos o copiando a través de plantillas adecuadas.

Para barras de 50 mm. de diámetro, se ejercen presiones por martillo que originan esfuerzos del orden de 120 toneladas y frecuencias de golpeteo de 1000 golpes por minuto, llegando a deformar piezas de 4m. de longitud.



MARTILLOS OSCILANTES
A GRAN VELOCIDAD.



BARRA QUE ES GOLPEADA
POR LOS 4 MARTILLOS, MIENTRAS
GIRA Y AVANZA.

Figura No.67.

C-2.- Marteladoras Verticales.

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

Poseen un único manipulador que se desplaza a lo largo de una columna vertical.

D-1.- Laminadores longitudinales.

Son cajas laminadoras preparadas para preconformar piezas que posteriormente por lo general, se acaban en prensas de forjar.

Sobre los cilindros de laminar se sujetan varios pares de segmentos que llevan grabada, en bajo relieve, la forma desarrollada del perfil deseado, el cual se va consiguiendo por aproximaciones sucesivas, a lo largo de varias pasadas.

A cada revolución, la máquina se detiene para permitir al operario, presentar la pieza en la siguiente pasada, que de nuevo se consigue con una única revolución del laminado.

D-2.- Laminadoras Circulares (figura No.68).

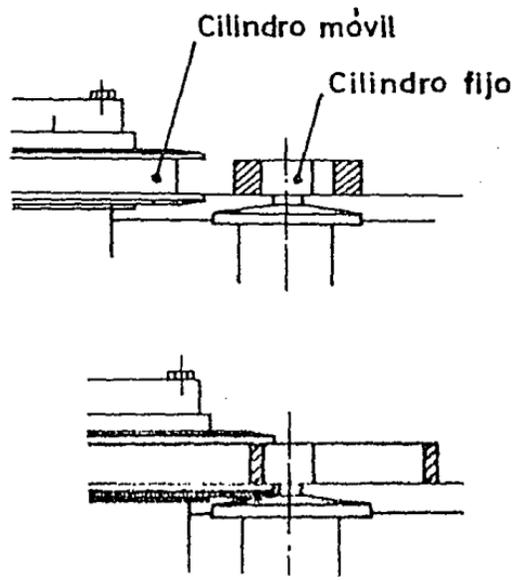
En estas máquinas, como materiales de partida, se utilizan discos previamente forjados y con un agujero en su centro, de manera que constituyen un cilindro recto con base en una corona circular.

Estas coronas se introducen por su orificio central en un mandril, que es uno de los cilindros de laminar.

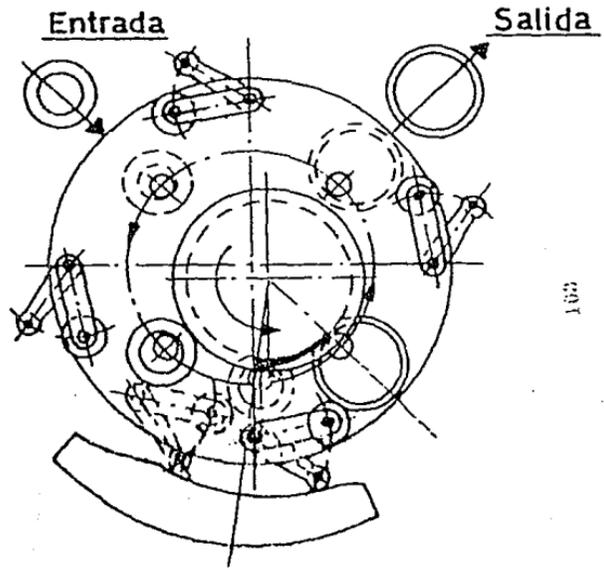
Se aplica el otro cilindro sobre la superficie exterior de la corona y se da movimiento a ambos cilindros, con lo que la sección correspondiente se reduce y el diámetro de la corona se agranda, ya que, este segundo cilindro esta dotado de un lento movimiento de aproximación al mandril.

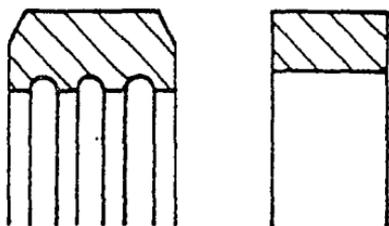
Por este procedimiento se fabrican grandes coronas laminadas de mucha precisión en sus tolerancias.

Dando formas determinadas a los cilindros, pueden obtenerse "coronas" con variada geometría (figura 69).



Laminadores circulares





Coronas con variada geometria

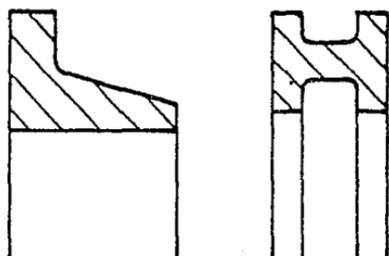
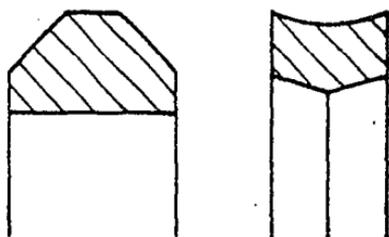


Figura 169

D-3.- Laminadores lineales (figura No. 70).

En estas maquinas los cilindros de laminar no existen.

En su lugar actuan dos placas paralelas a las que se sujetan los
utillajes, que consisten en sobrerrelieves en forma de cuña que
va abriendose hasta la anchura de los rebajes a obtener en la
pieza.

Estas placas se desplazan, la una respecto de la otra, a todo lo
largo de su longitud, haciendo rodar entre ellas el material a
deformar, que siempre es un taco cilindrico.

En su rodadura este taco va encontrando las cuñas sujetas a las
placas. Estas cuñas se clavan en su diametro y le van
conformando.

De una pasada se obtiene la pieza...(Jesus del Rio)..(6).

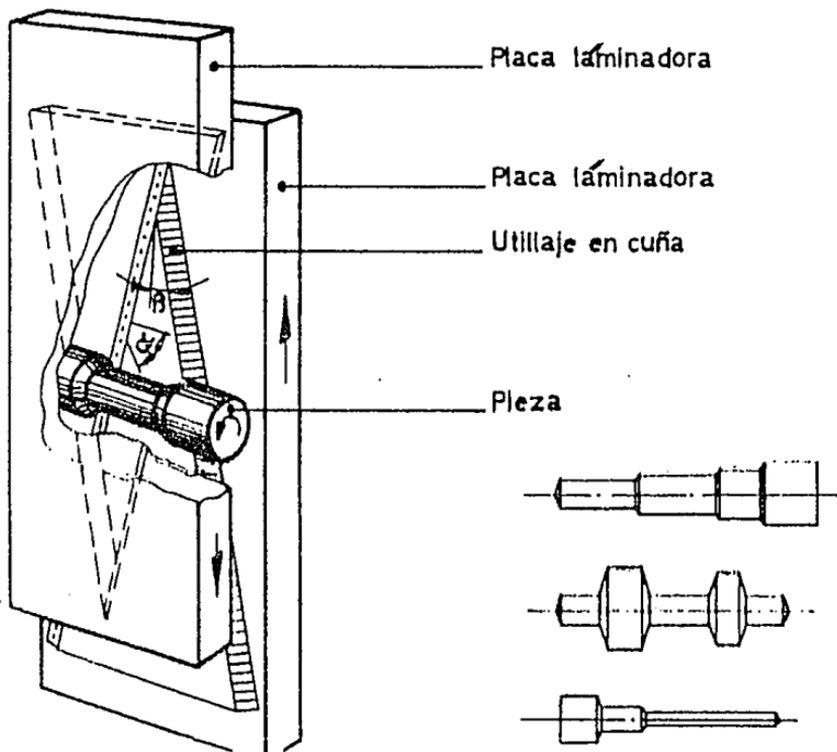


Figura No.70.

D-4.- Laminadores Transversales (figura No.71).

Tienen la particularidad de que el material de partida (siempre de sección circular), se sitúa con su eje paralelo a los ejes del cilindro a laminar.

Estos cilindros llevan arrollados sobre ellos los útiles de deformación que, en forma de cuña, se van incrustando en el material de partida hasta llegar a configurar la forma precisa.

(Jesus del Rio)..(6).

Superficies cilíndricas
de enderezar

Cuchilla que se
^{separa}
de la barra
el producto ter-
minado

Cilindros de
Trabajo

Superficies
helicoidales

Material de
partida

Herramienta
conformadora

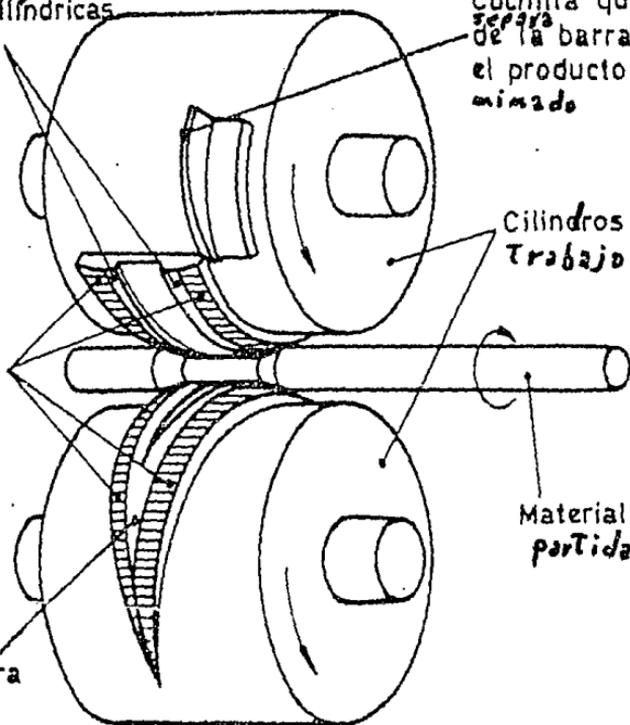


Figura No. 71.

D-5.- Trenes de laminación (Jesus del Rio)... (6).

Cuando se desea obtener un producto de sección transversal constante sea esta sección circular, cuadrada, rectangular, hexagonal, en doble T, en forma de carril, en forma singular Z, o cualquier otra, pero siempre con la condición de que sea constante y partiendo de un determinado perfil inicial y si este producto se ha de obtener con grandes variaciones de la sección transversal y en grandes cantidades, es necesario recurrir a los trenes de laminación.

Son una sucesión de cajas laminadoras longitudinales que, perfectamente sincronizadas entre si, realizan las sucesivas "pasadas" que permiten, partiendo de un determinado perfil inicial, obtener el deseado perfil final.

Su movimiento es continuo y no intermitente.

Según sea el perfil final obtenido, estos trenes de laminar reciben una u otra denominación:

a).- Blooming.

Si el producto final son "blooms", es decir, grandes perfiles cuadrados.

b).- Slabing.

Si el producto final son "slabs", es decir grandes perfiles de sección rectangular.

c).- Tren de palanquilla.

Si el producto final son perfiles cuadrados de cantos redondos.

ch).- Tren de redondos, si es de sección circular.

cl).- Tren de rodillos.

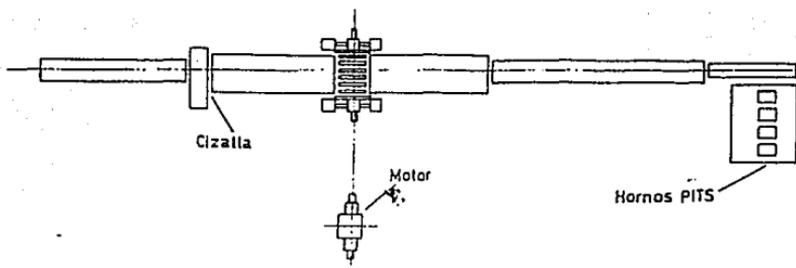
Si es de sección circular de pequeño diámetro y además se obtiene el producto en "rollos".

e).- Tren de bandas.

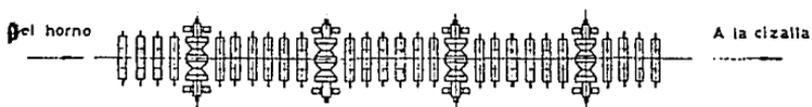
Si se obtienen chapas de distintos espesores y anchuras.

f).- Trenes estructurales.

Si el producto obtenido son perfiles, tales como angulares, dobles "tees", etc. .

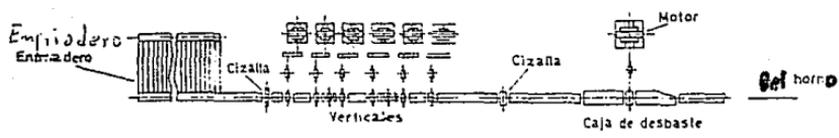


a) Distribución en planta de un tren blooming de desbaste con caja dúo reversible

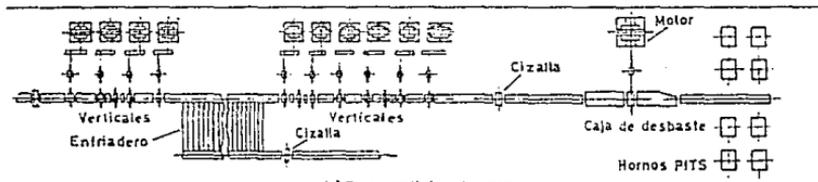


b) Cajas blooming en tándem, para grandísimas producciones

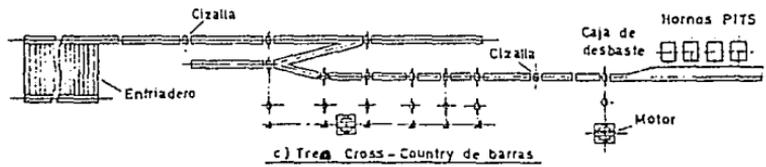
Dos distribuidores en planta de trenes "Blooming". Figura No.72.



a) Tren continuo de barras

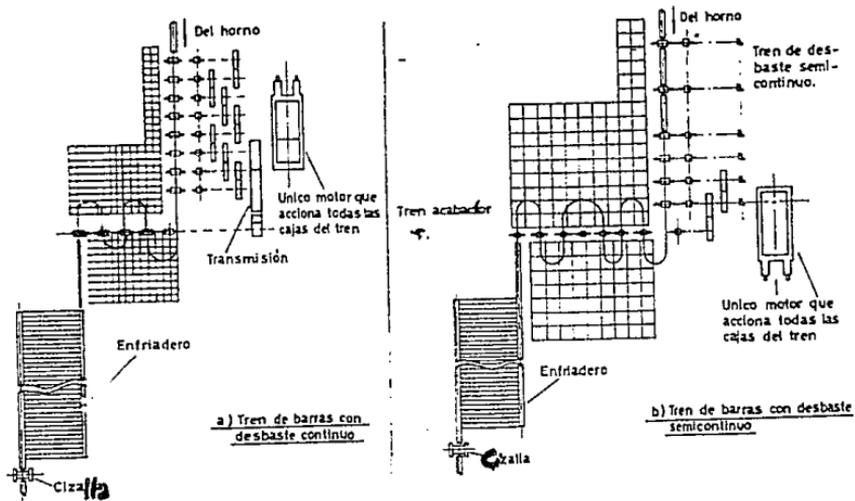


b) Tren continuo de barras

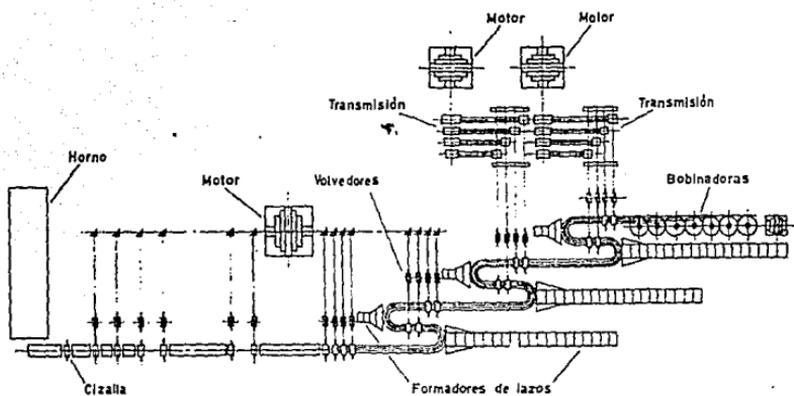


c) Tren Cross-Country de barras

Trenes de Laminación. Figura No. 73.



Trenes de Laminación.Figura No.74.



Tren de Rollos. Figura No.75.

Cada tren de laminación puede estar constituido por una o varias cajas de laminar. Si estas cajas son de dos cilindros se denominan "duos", si pueden laminar en los dos sentidos "duos reversibles", si son de tres cilindros se denominan "trios"; si son de cuatro cilindros, laminando cada par en sentido contrario se denominan "dobles duos" (figura No.76); si tiene dos cilindros de laminar, apoyados en otros dos de mayor diámetro que les sirven de apoyo, se denominan "cuartos", si llevan cilindros con ejes horizontales y verticales, se denominan "cajas universales". Además de las cajas laminadoras llevan incorporados otra serie de mecanismos y dispositivos, tales como "formadores de lazos", "cizallas", "enfriaderos", etc., para permitir la operación completa de laminar de un producto en varias cajas, a la vez y obtenerlo en las medidas y en las condiciones deseadas.

Los trenes de laminación, atendiendo a su disposición "en planta"

; pueden ser:

1.- En línea.

Compuestos por cajas alineadas o dispuestas en líneas paralelas. Normalmente, un único motor principal acciona todas las cajas del tren, uniendo los ejes de los cilindros por medio de árboles de transmisión acoplados a los "trefles" por unos manguitos, llamados "chocolateras".

Entre caja y caja hay dispositivos volvedores y formadores de lazos, de forma que puede laminarse la misma barra en varias cajas a la vez.

2.-Continuos.

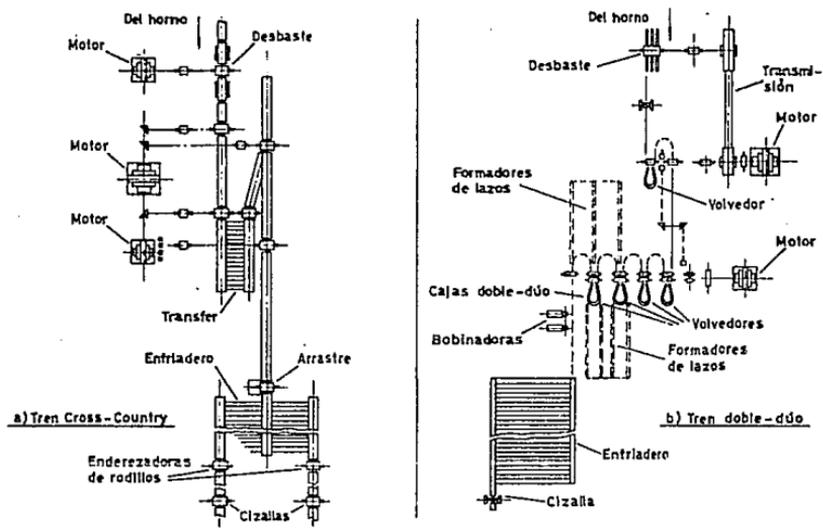
Constituidos por cajas dispuestas una a continuación de la otra, pasando el material que se esta laminando de una a otra caja sin interrupción, laminando la misma barra varias cajas a la vez.

3.- Semicontinuos.

En los que se deja suficiente espacio entre caja y caja para poder retirar el material después de cada pasada.

4.- En Zigzag.

Que son trenes mixtos de "continuos" y en "línea".



a).- Tren Cross-Country y b).- Tren Doble- Dúo.

Figura No.76.

Forjado con Máquinas Laminadoras (figura No.77).

La laminadora es una máquina que permite estirar lingotes, transformandolos en barras de sección menor.

Los lingotes se llevan a la temperatura de forja (900-1000 C) y se hacen pasar por trenes de laminación que consisten en parejas de cilindros de material muy duro que al girar en sentido inverso, arrastran el material y van dandole la forma deseada en pasadas sucesivas con perfiles previamente determinados.

El material con que estan hechos los cilindros es un acero especial (que contiene C,Mo,W,V,Fe).

Otros detalles importantes de la laminación son:

Los grupos de cilindros que dan formas intermedias, llamandose:

Trenes de Desbaste y los cilindros finales: Trenes de Acabado.

El grupo de dos cilindros se llama Dúo y al de tres, Trio.

En el caso de los Dúos, la barra debe regresar por encima de los cilindros por lo que se pierden tiempo y trabajo en la operación, mientras que en los trios, todas las pasadas de uno a otro lado son efectivas.

Al conjunto de varios dúos o trios se le llama:

Tren de Laminación.

Laminadores Universales.

Son los que tienen cilindros que limitan ancho y grueso de la barra.

Laminadores Reversibles.

Son aquellos en que los cilindros giran en ambos sentidos (se corrige el defecto de los Dúos).

Para facilitar el acercamiento de la barra a los cilindros, hay un tren de rodillos que forma un plano inclinado (regulable) por donde se desliza la barra en operación.

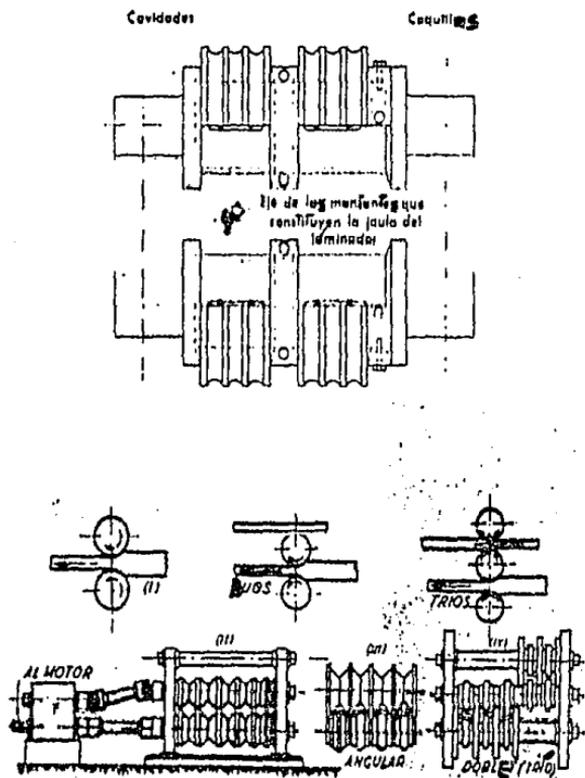


Figura No. 77.

III.1.- Forja de Polvos.

Proceso de Metalurgia de Polvos.

Las principales operaciones del Proceso de Polvo de Metal son: Compactado y Sinterizado.

El Compactado.

El compactado o presionado consiste en someter las mezclas de polvo adecuadamente preparadas, a temperatura normal o elevada, a presión considerable.

El comprimido de polvo resultante se conoce como:

Aglomerado y se dice, que en ésta forma, es Verde, relativamente frágil y quebradizo.

La compactación se hace en frío.

Las técnicas de compactación pueden ser:

Técnicas de Presión.

Como Troquel, Forjado y Extrusión.

Compactado por Troquel.

Es el método más ampliamente utilizado.

Que consiste en llenar la cavidad del troquel con un volumen definido de polvo; la aplicación de la presión requerida, mediante el movimiento de punzones superior e inferior uno hacia el otro y la expulsión del comprimido verde por el accionar del punzón inferior.

La figura No. 78. muestra estas operaciones esquemáticamente.

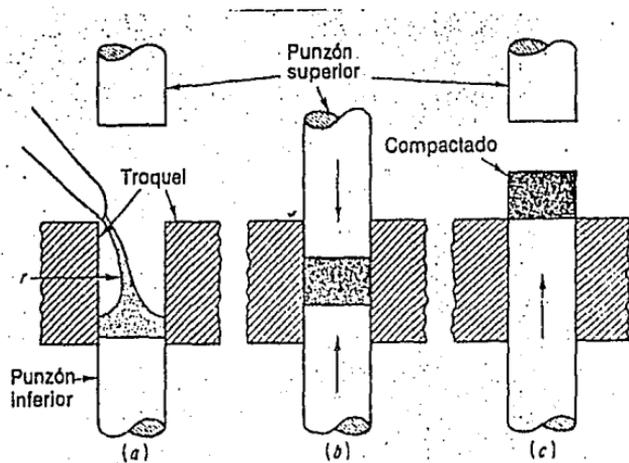


Figura No.78.

Las presiones utilizadas comunmente varian de 19 a 50 toneladas. La presión puede obtenerse por prensas mecánicas o hidráulicas. Las prensas mecánicas están disponibles con variaciones de presión de 10 a 150 toneladas y velocidades de 6 a 150 golpes por minuto.

Las características importantes de las prensas mecánicas son rapidez de producción a alta velocidad, flexibilidad en el diseño, simplicidad y economía de operación y costos de inversión y mantenimientos relativamente bajos.

La figura No.79, muestra una prensa mecánica.

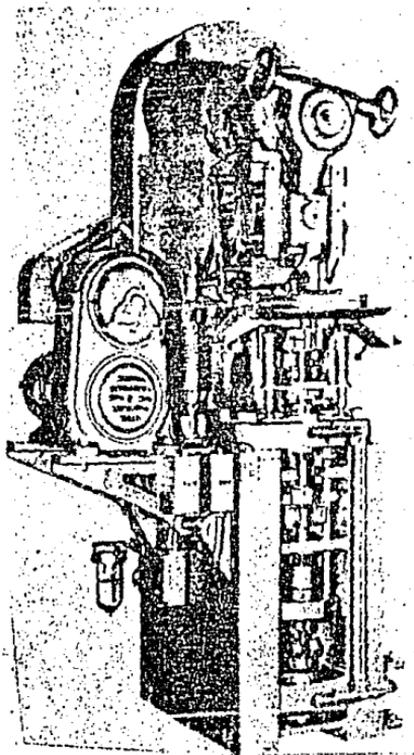


Figura No.79.

La figura No.80, muestra una prensa de 20 toneladas de movimiento múltiple que combina un movimiento desde arriba con dos movimientos independientes mecánicamente eslabonados desde abajo.

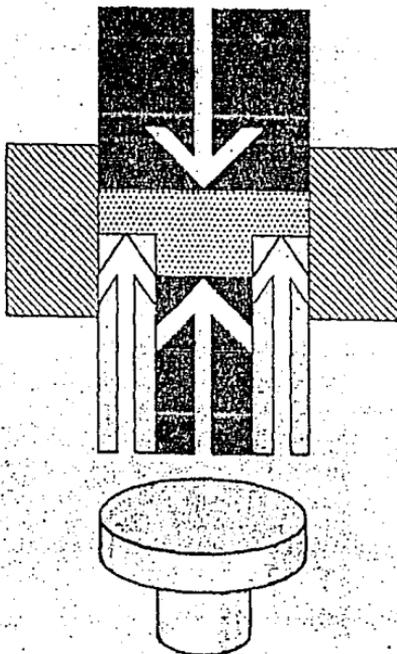


Figura No.80.

El movimiento secundario inferior permite producir comprimidos de varios niveles, mediante adaptaciones simples y puede utilizarse también como núcleo móvil para ayudar a producir piezas de paredes delgadas.

Las prensas hidráulicas tienen mayores rangos de presión, hasta de 5000 toneladas, pero menores velocidades de golpeo, generalmente inferiores a 20 golpes por minuto.

Estas prensas se utilizan para piezas de metal en polvo más complicadas que requieren mayor presión.

Los troqueles se hacen de acero de herramientas (que contienen Mo., W., V., Cr., Ni., C), endurecidos, esmerilados y pulidos.

Los punzones son también de un acero para herramientas, con la misma composición química.

Compactado por Forja.

El polvo se enlata en alguna clase de recipiente de metal.

El recipiente sellado se calienta y luego se comprime por medio de un punzón.

Por último se extrae el lingote. Figura No. 81.



Figura No.81.

125.

La figura No. 82 , muestra el compactado de alambre o varilla; a partir del metal en forma de polvo.

Aplicaciones de la Metalurgia de Polvos.

Fabricación de : Discos para esmerilar (W,C,Mo.,Co.,Cr.,V).

Brocas (W,Mo.,C).

Buriles (W,Mo.,C).

Sierras (W,Mo.,C,Co..).

Asi como la fabricacion de Imanes; hechos con una aleación más plástica : Aluminio,Niquel,Cobalto,Hierro.

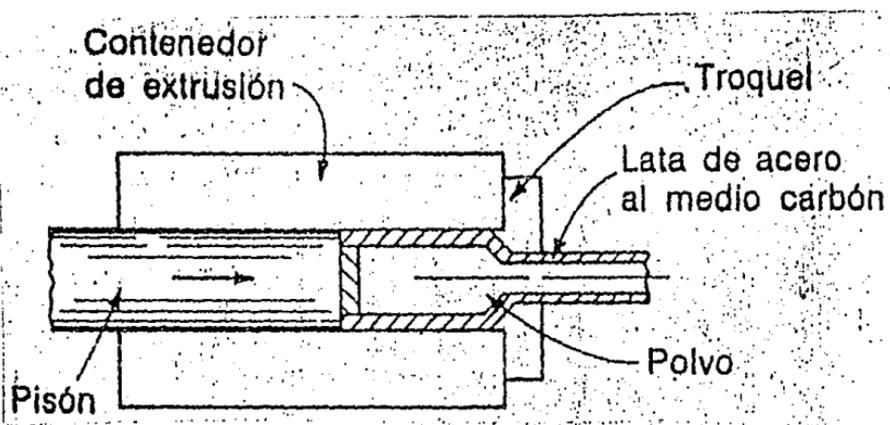


Figura No. 82.

III.2.-Forjado con Dados.

Es un ejemplo de forja por percusión.

Quando se requiere un gran número de piezas forjadas idénticas, se utiliza un forjado con dado.

En este proceso, se emplea un dado preformado cuya mitad esta unida al martillo y la otra al yunque.

Con formas más complicadas, pueden usarse dados en serie.

El martillo que trabaja entre dos guías verticales, se eleva mecánicamente a una cierta distancia sobre el yunque y se deja caer bajo su propio peso, sobre el metal que se forja.

Este consiste de una barra caliente de metal, que se sujeta sobre el yunque por medio de tenazas.

Al caer el martillo, forja al metal entre las dos mitades del dado. Las estampas, o dados, o matrices (que es lo mismo), son hechas de un acero al W,V,Cr.,Mo..

Se utilizan para la forja en caliente y en frío de hierro, acero y metales no ferrosos (Cr,Mo.).

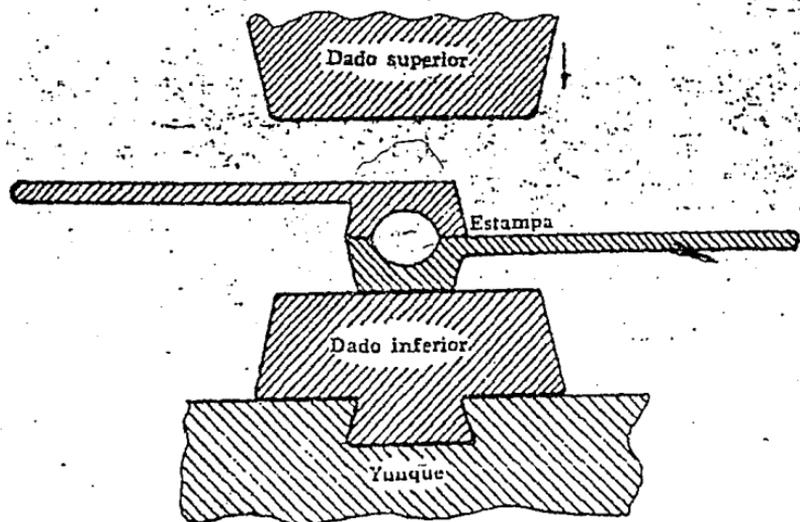
El dado en caliente tiene un color rojo-verde a 630 C y en frío tiene un color gris-parduzco a 20 C.

El dado en caliente posee una alta resistencia al calor, a la compresión y al golpe (2000 Kg. x cm.).

El analisis químico de los dados es:

Carbono.....	0.55%.
Silicio.....	0.25%.
Manganeso.....	0.10%.
Cromo.....	1.10%.
Molibdeno.....	0.50%.
Niquel.....	1.70%.
Vanadio.....	0.10%.

En la figura No. 83, se observa la colocación de los dados y movimientos del dado superior, el cual cae sobre una estampa.



Forjado en estampa por medio de Dados.Figura No. 83.

IV .- Materiales de Forja.

Los materiales forjables, son aquellos que a determinada temperatura presentan propiedades plásticas (a temperatura ambiente son dúctiles y maleables).

Estos metales son: Hierro dulce (contiene menos de 0.35% de carbono , latones, bronce, zinc, estaño, cobre, aluminio, magnesio, titanio, vanadio...(5).

Para forjar estos metales se procede de la siguiente manera:

1o.- Se fabrican tochos, 8 barras (laminadas).

2o.- Se meten al horno (para tener la temperatura de forja 900 C).

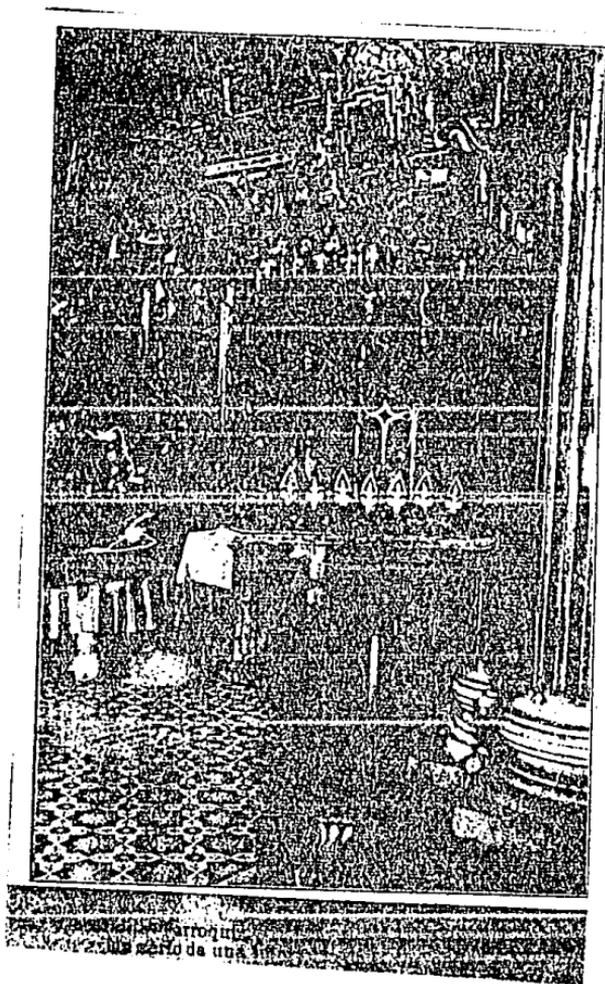
La temperatura idónea para forjar el hierro y los aceros dulces es de 900 a 1000 C , cuando el metal presenta un color naranja-amarillo.

3o.- Se sacan del horno y se forjan.

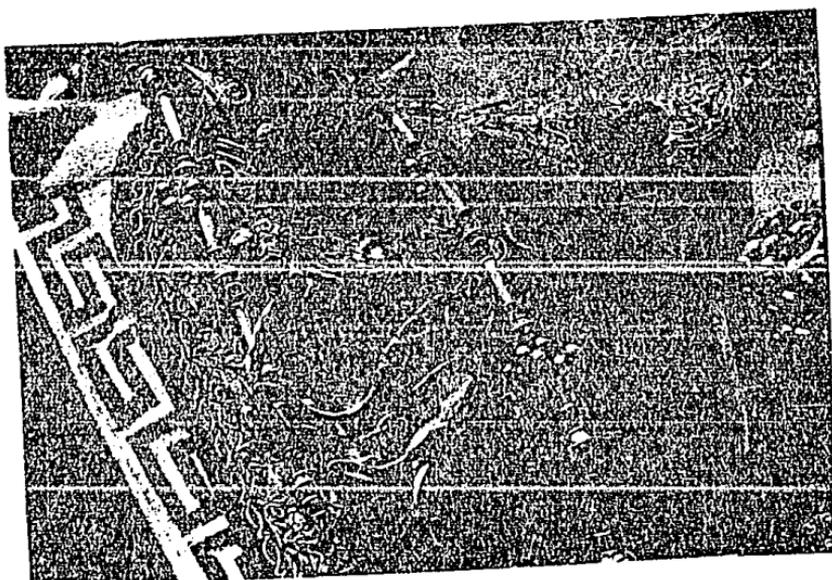
El hierro colado, no es forjable por el alto contenido de carbono (2.5 a 5%). Es frágil y quebradizo; por lo tanto no es forjable...(5).

IV.1.- Usos: Forja Artística.

Se entiende por forja artística, al conjunto de ornamentos estéticos que realzan un templo, convento, mansión, castillo, etc.
Ejemplos: Púlpito de Hierro Forjado (figura No. 84).
Y silla de gala para montar (figura No. 85).



Puibito de Hierro Forjado. Figura No 84



Silla de gala para montar. Figura No. 85.

Para la forja artistica se utiliza un horno llamado:

Fragua (figura No. 86).

En 86 (a), se observan las partes principales de una fragua.

En 86 (b), se observa el forjón o payol.

Este horno tiene una campana para la salida de los gases de combustion.

Emplea combustibles diversos, como carbon vegetal, carbon de coque y huila grasa.

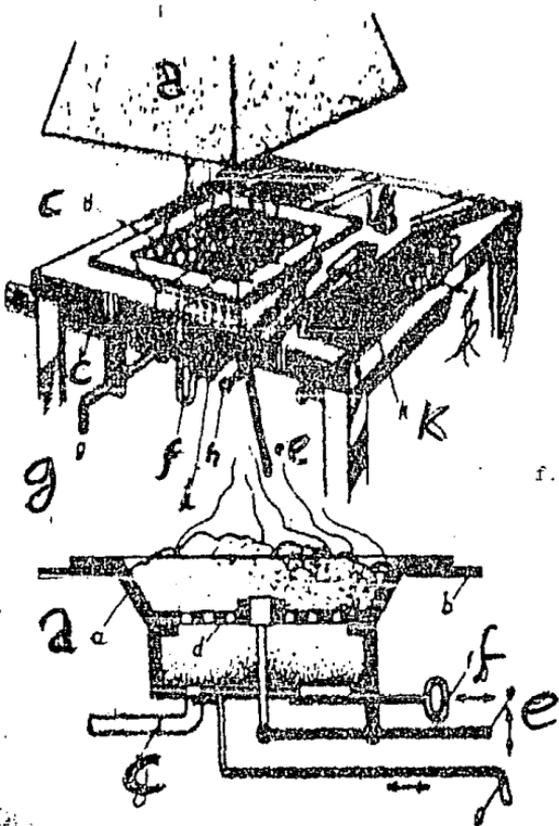
En la fragua se meten a calentar las piezas a forjar.

Cuando adquieren un color naranja-amarillo (900-1000 C),

se pueden empezar a deformar con martillo de bola y cincel.

Se dice, que se empieza a Esculpir el metal.

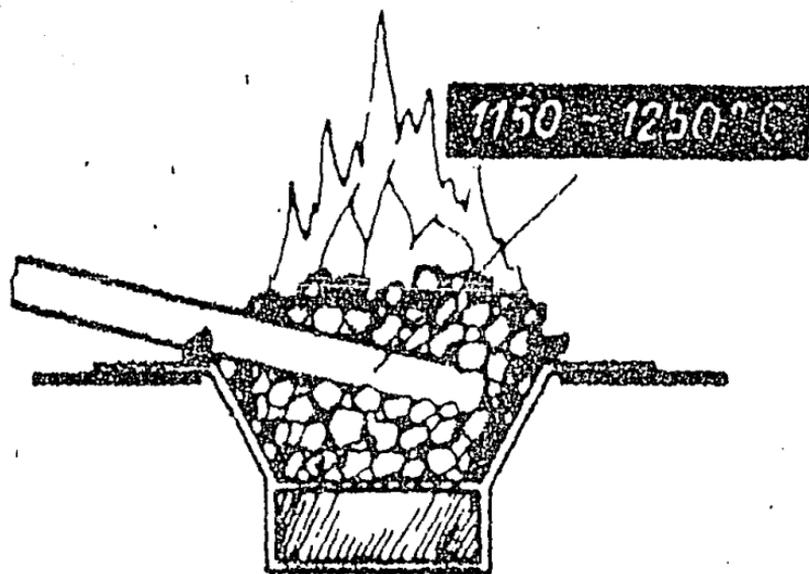
Fragua y sus partes



(a).

- a.-Hogar
- b.-Placa soporte del hogar
- c.-Ducto para el aire a presión
- d.-Parrilla
- e.-Rompedor de la escoria
- f.-Manija del extractor de cinizas
- g.-Regulador del aire
- h.-Pala de fragua
- i.-Atizador de gancho
- j.-Cubeta del agua
- k.-Apagador

Figura No. 86 (a).



(b).

Figura No. 86 (b).

Se forjan de esta manera: Arañas o Candelabros (estilo Luis XVI) , bañados de plata, oro, platino; los cuales tienen un costo de N\$25000. También se forjan en la fragua las siguientes piezas: Aidsbones, Chapetones (que son incrustaciones de metal que van en las puertas de los templos, son hechos de bronce). Balcones, barandales, ventanas, rejas francesas, puertas, cancelos barrocos, escaleras (en forma de serpentina), etc. . Una variante de la forja artística es: El Repujado.

Es un proceso manual para la fabricación de piezas huecas de todas clases, que por su configuración irregular , no pueden obtenerse por prensado , ni por embutido a máquina.

El Repujado Artístico se realiza con martillo de bola y cincel de Bronce (los detalles de ornamentación se sacan con estas herramientas).

Por ejemplo: Los Chapetones Repujados de Bronce que se encuentran en las puertas de madera de los templos.

Otro ejemplo son los cancelos repujados de hierro con incrustaciones de hojas de árbol de latón.

El repujado es factible en todos los materiales que poseean gran alargamiento , como el acero, cobre, aleaciones de cobre, zinc, estano, aluminio , aleaciones de aluminio, plata, aleaciones de plata, oro, aleaciones de oro y platino con sus aleaciones.

Herreros de Huamantla, Tlaxcala, hacían estos trabajos de forja artística.

Los costos de piezas de forja artística, dependen del trabajo , belleza, tamaño y tipo de material; a manera de ejemplo en 1993 se cobraba como mano de obra N\$5000 por forjar una granada de 20 cm. de diámetro de hierro.

En Enero de 1994, hubo una exposición en la Ciudad de México. Llamada: Tesoros Artísticos del Vaticano.

En la cual se expusieron : Píxides o Caliz repujados en plata. Hechos por artistas Italianos.

Ver un Caliz repujado en plata (figura No. 87).

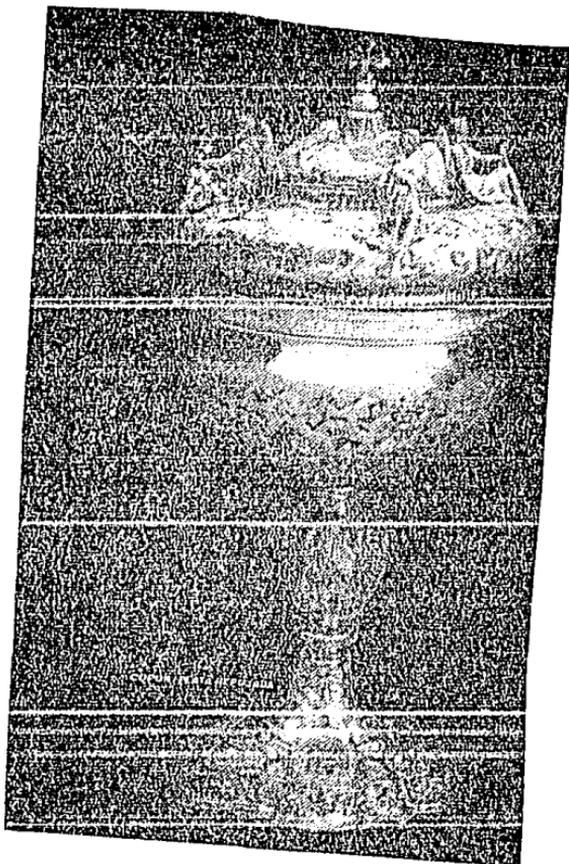


Figura No. 87.

IV.2.-Usos comerciales modernos e industriales de la forja.

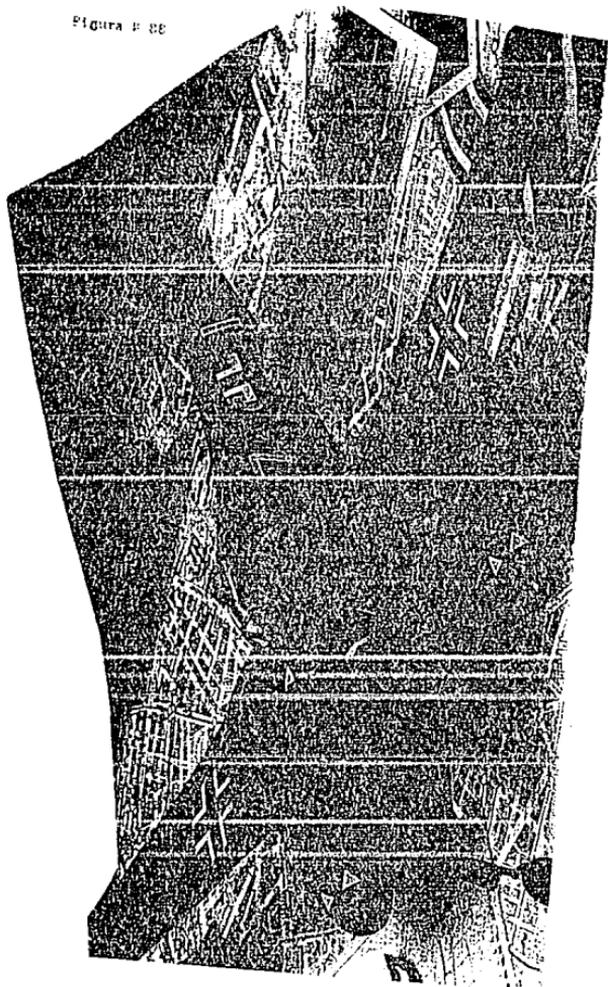
Los usos comerciales de la forja se ejemplifican a través de turbinas, tanques, rines- ejes, martinetes, piezas de forja para autos y válvulas para el petróleo.

La turbina es una pieza forjada por martillo al Titanio-Vanadio.

La uso el primer avión de propulsión a chorro en el mundo: el avión de caza Alemán Me-262

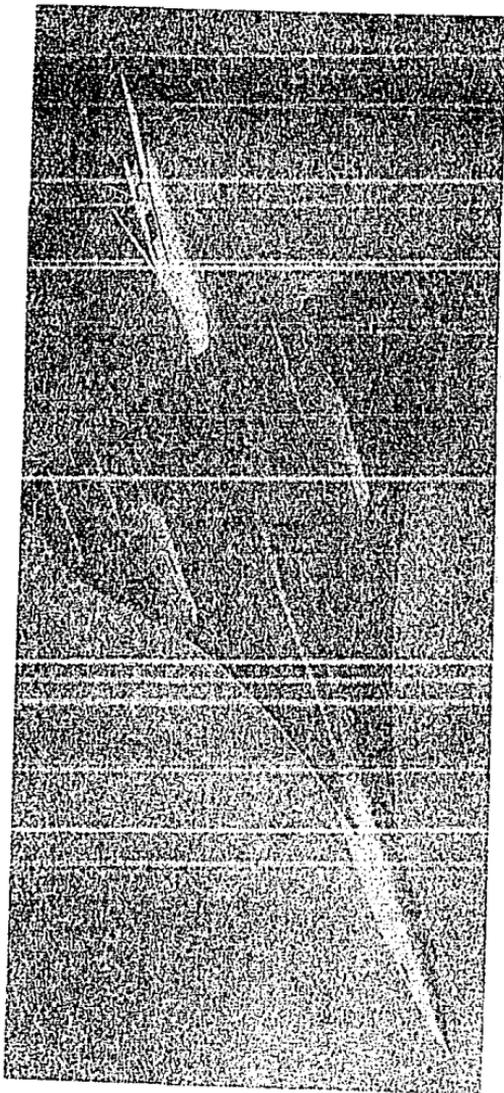
Figura # 88

Figura 100



Las turbinas del avión supersónico CONCORDE, también son forjadas.
Figura No89.

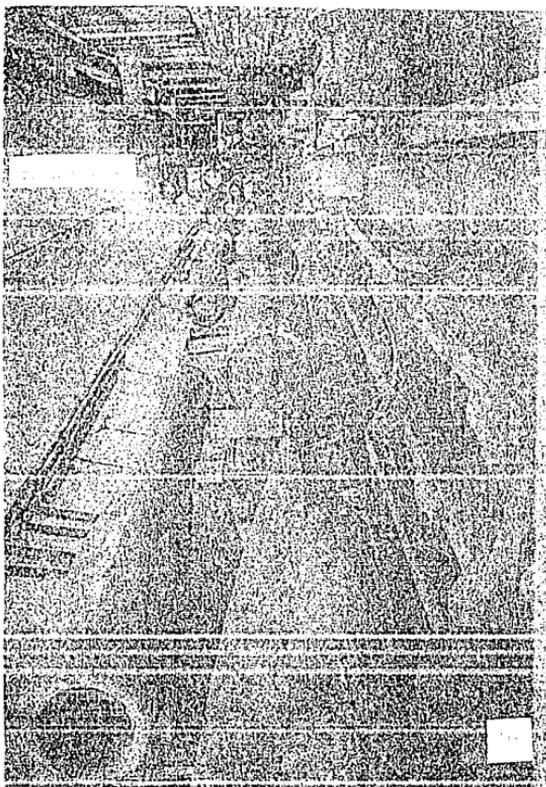
Figura # 68

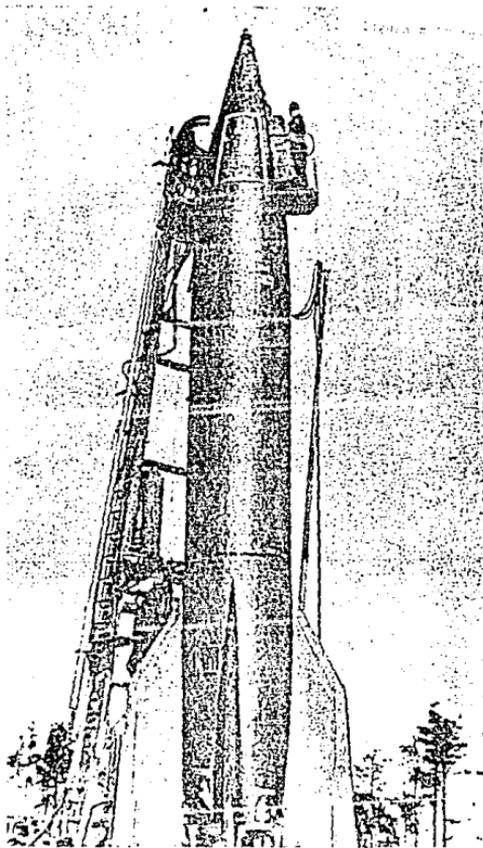


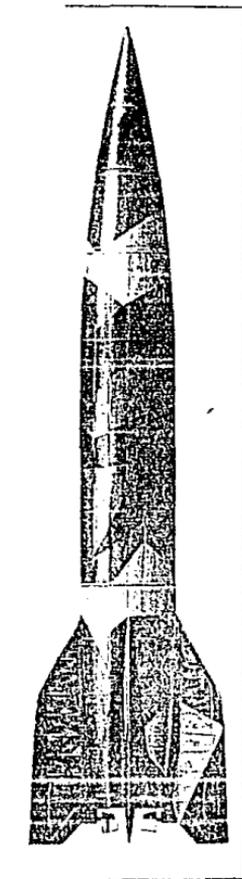
Están hechas de la siguiente aleación Ti- V- Cr- Ni- W- Mo.
Los misiles V-1 y V-2 alemanes son forjados de una aleación
que lleva aluminio, estaño, níquel, cromo, titanio y vanadio
... (2).

Figuras No. 90 (a), (b) y (c).

- (a).-Fabrica de bombas voladoras V-1.
- (b).-Técnico que checa los sistemas de guía computarizados y automatizados del misil V-2.
- (c).-Misil V-2 , listo para ser disparado desde su base de Peeneemunde.







2. 10. 1944

TANQUES FORJADOS.

Son otro ejemplo del uso comercial moderno de forja.

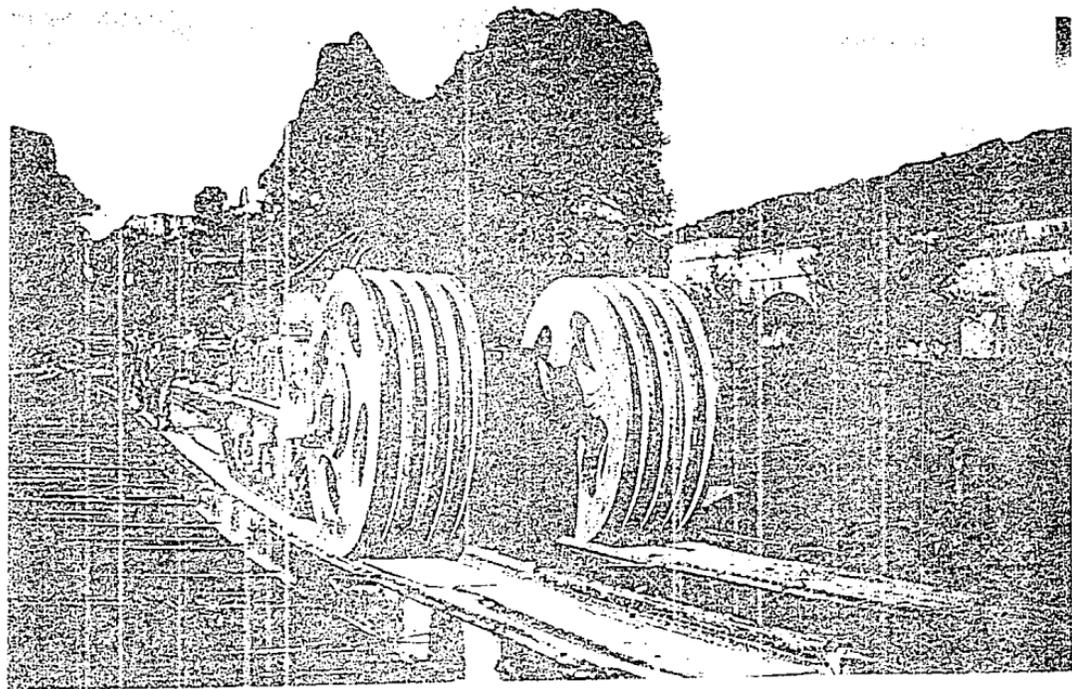
Estos se dividen en :

El tanque americano "Sherman M-4" (figura No. 91).

Tiene un peso de 62 Toneladas.

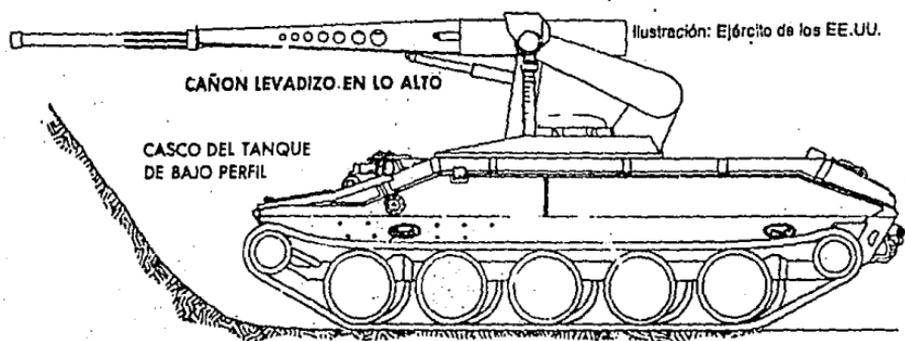
Esta equipado con rodillos desminadores forjados
y maquinados..(2) y (7).

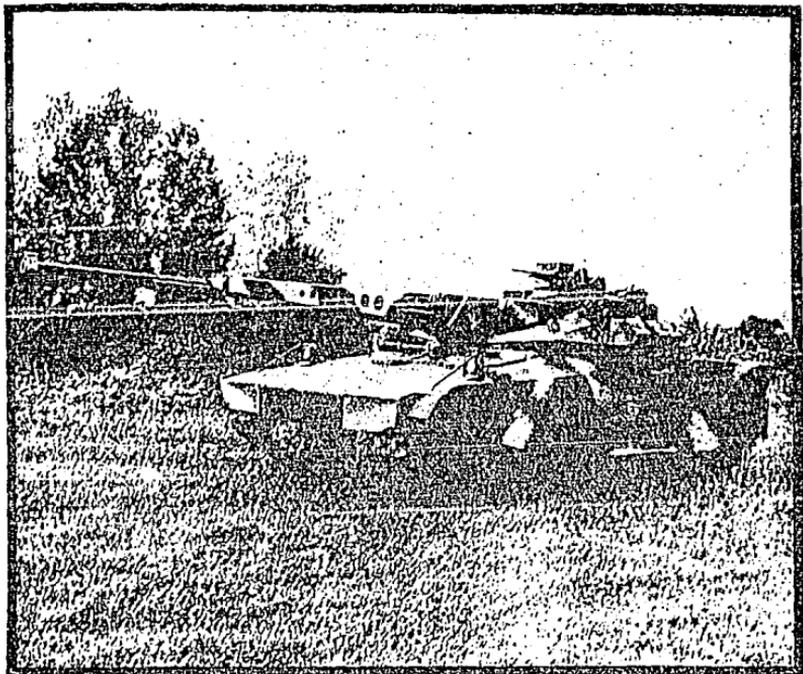
Figura No. 91.



Y los tanques con coraza FORJADA.
La coraza es de una aleación de acero al Molibdeno,
Tungsteno, Manganeso, Cromo y Niquel..(Figuras No. 92 y 93):

Figura # 92





Las líneas bajas y cobertas y la extraordinaria agilidad para poder esquivar los ataques del enemigo de este prototipo, son los elementos que establecerán las bases para que los diseñadores del Ejército de los EE.UU. llegasen a delimitar las especificaciones que tendrán los tanques del futuro.

Figura No. 92.

Rines de Aluminio Forjado.

Se usan para tanques de guerra, los aviones jumbo y las flotas de camiones de transporte.

Además de una alta resistencia al impacto, asegurando larga duración y confiabilidad, los rines forjados de aluminio ofrecen las siguientes ventajas:

a).- Resistencia a la corrosión, con la ventaja de un menor mantenimiento.

b).- Menor peso, con el beneficio de un mayor rendimiento del combustible.

c).- Funcionamiento sin calentamiento, dando lugar a mayor durabilidad de los frenos.

ch).- Un centrado perfecto, permitiendo mayor agarre y durabilidad de las llantas de avión.

Los rines de aluminio forjado tienen una capacidad nominal de carga de 5000 Kg/cm por rin en vehículo de doble rueda.

Y de 10,000 Kg/cm en sistemas de llanta ancha, como el de las revolventoras, respectivamente.

Estos valores significan que los rines forjados de aluminio son adecuados para satisfacer todas las necesidades de transporte y mucho más.

En ejes de aluminio forjado, la masa, es mucho más ligera, respecto a ejes de hierro forjado de las mismas dimensiones en aproximadamente 55 Kg., debido a la baja densidad del aluminio forjado.

En la figura No.94 se observa un tractocamión que utiliza ejes de aluminio forjado.

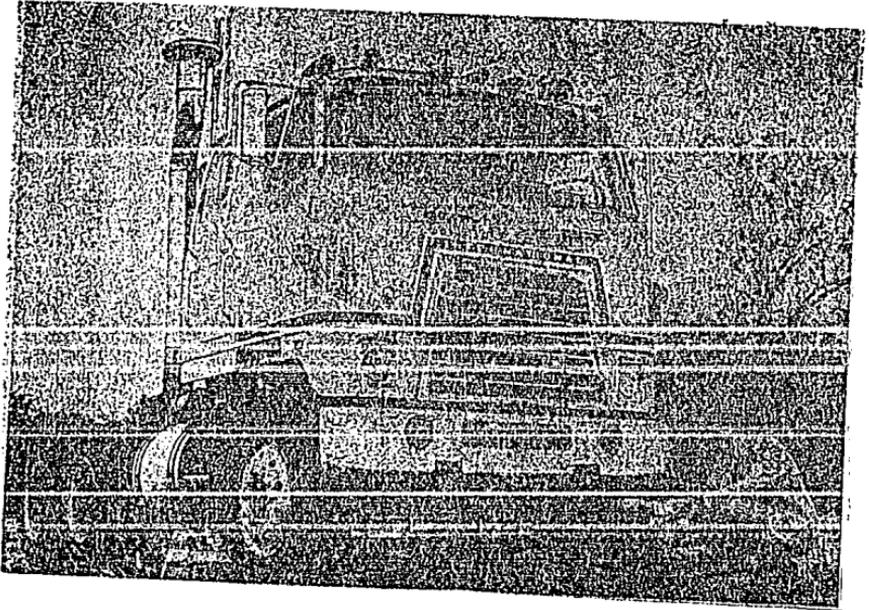
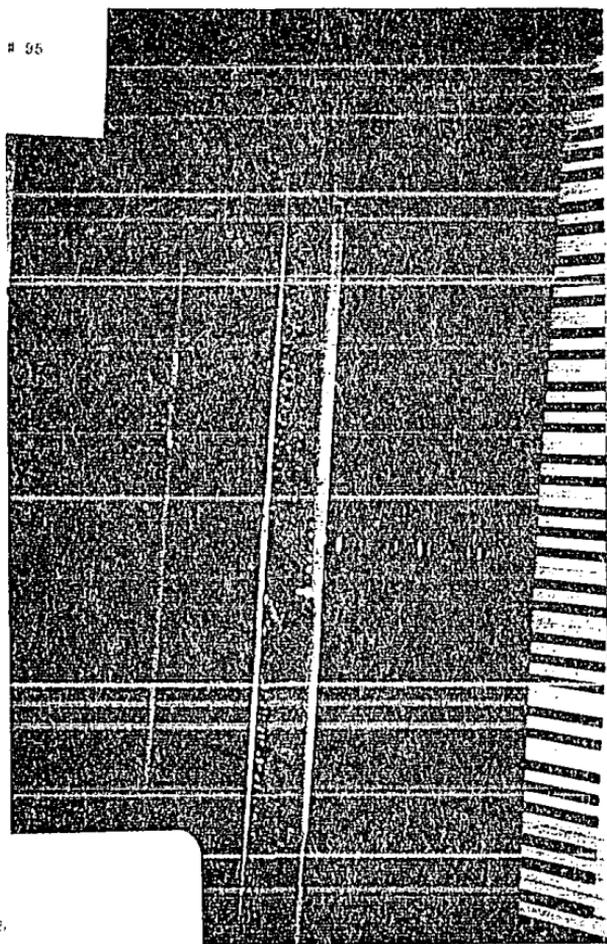


Figura No. 94.

MARTINETE.

Es un pequeño martillito de bronce forjado que produce el sonido en los instrumentos musicales (como el piano); se encuentran dentro de la caja de resonancia del piano...(Figura No 95).

Figura # 95

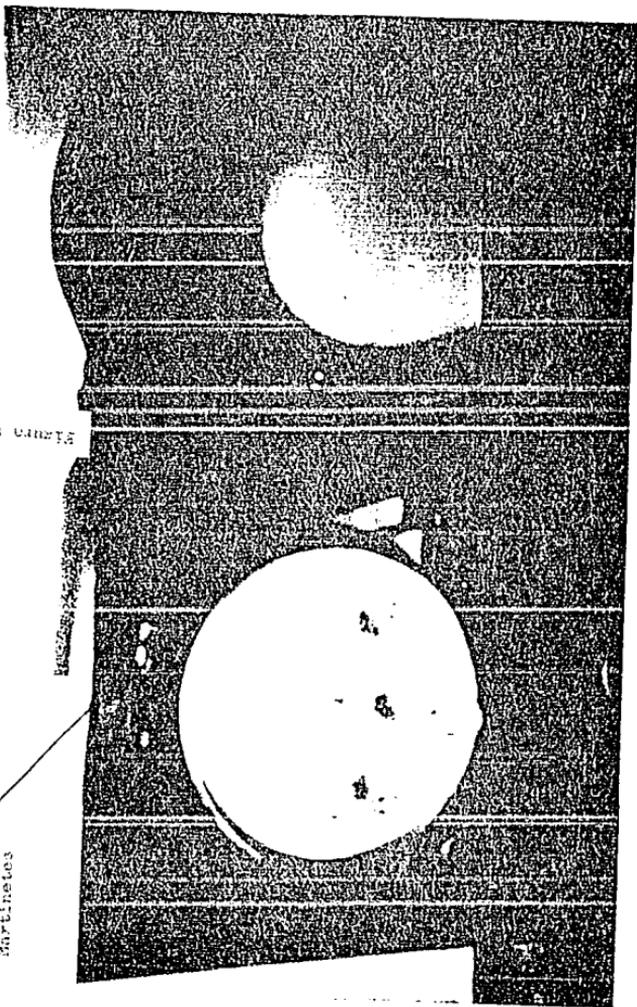


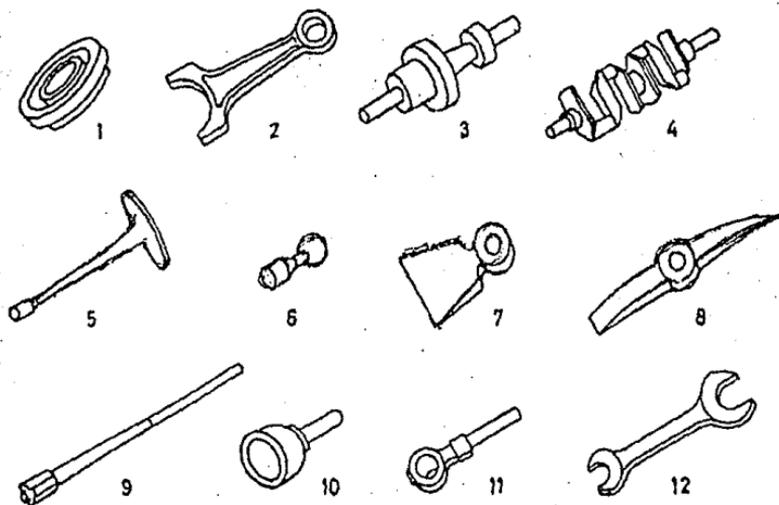
Otro ejemplo de martinte son los antiguos relojes de pared, que posean soneria , es decir tocan una melodía. El Ave Maria o El Himno Guadalupano utilizando martinetes de latón que pegan en varillas que tienen cierta sonoridad...(Figura No. 96).

211

30 # 00115

Martinetes





1.- Engranaje 2.- Biela 3.-Árbol de transmisión 4.- Cigüeñal 5.- Paller
 6.-Cabeza de martillo de mano 7.-Azada 8.-Pico 9.-Cañón de escopeta
 10.-Túlipa de transmisión 11.-Rótula 12.- LLave fija

Piezas forjadas de uso comercial para automóvil... (Figura No. 97).

Forjas de anillos



Forja para Anillo de 40 cms. (15 3/4") x
23 cms. (9") x 24.7 cms. (9 3/4) Acero
API-II

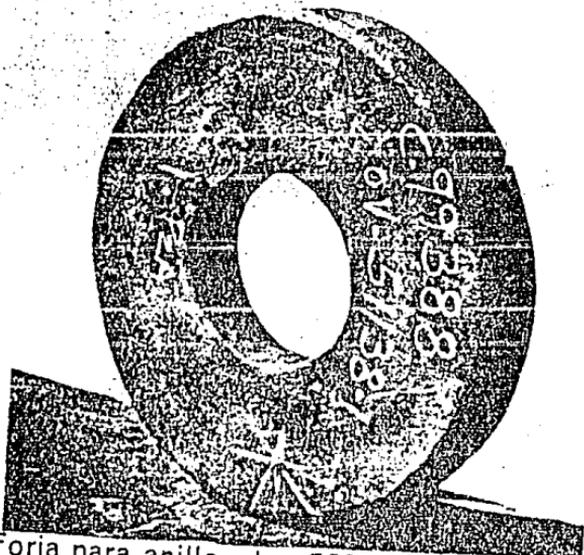
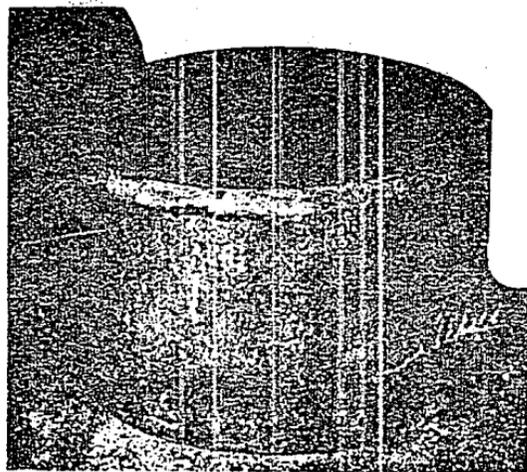


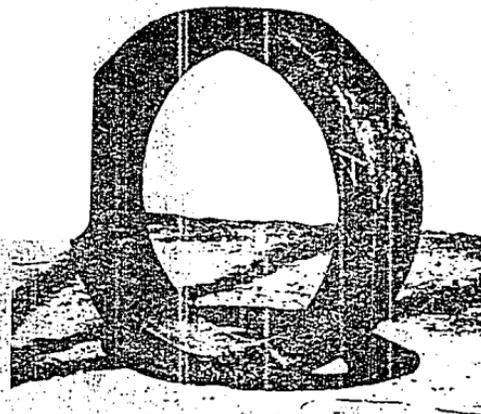
Figura # 96

Forja para anillo de 568.325 (22 3/8") x
241.5 mm. (9 1/2") x 95.250 (3 3/4) en



Forja para Anillo 825.5 mm. (32 1/2) x 711.2 mm. (28") x 508 mm. (20") en acero API-II

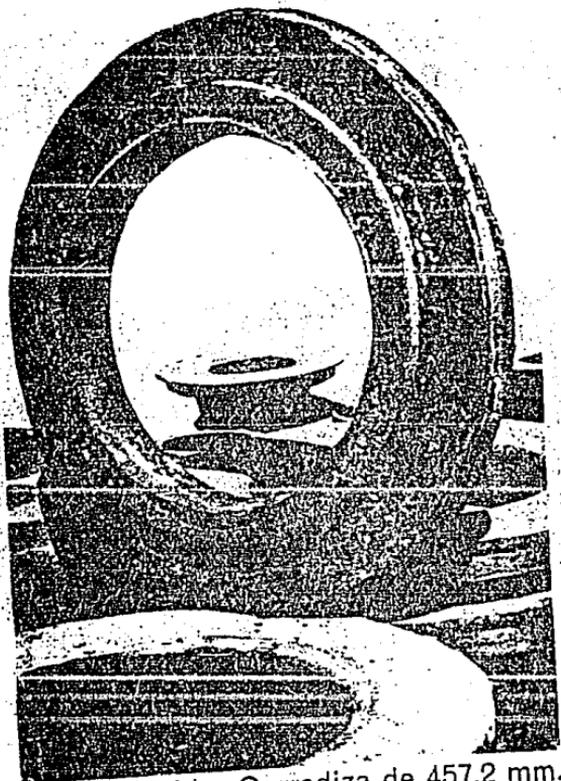
Figura # 99



Forja para Anillo de 86 cms. (33 7/8") x 71 cms. (27 15/16) x 15 cms (6") Acero API Tipo II.

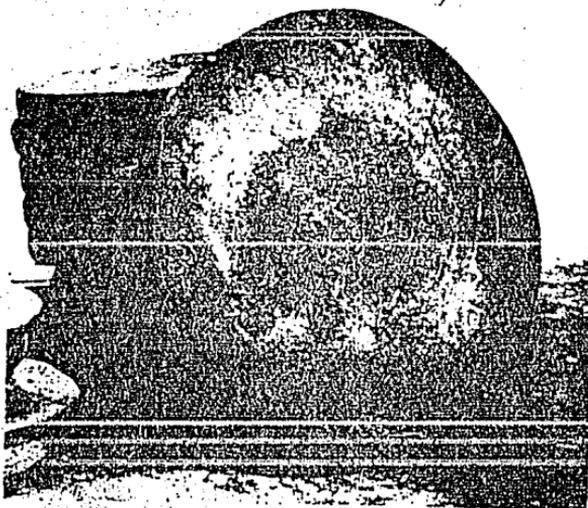
Brida Forjada (figuras No. 100, No. 101 y No. 102).

Sirve para dar el paso, al petroleo , estando acoplada a la valvula , debe resistir grandes esfuerzos...(Figura No. 100).



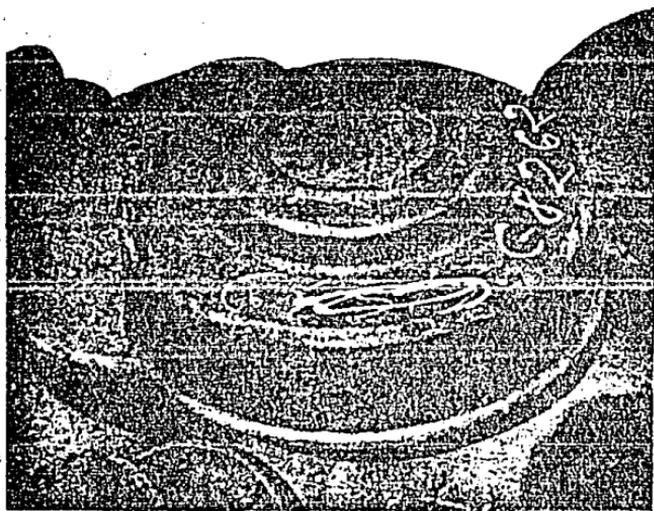
Forja de Brida Corrediza de 457.2 mm.
(18") Clase 150

Figura No. 100.



Forja para Brida ciega de 457.2 mm. (18")
Clase 150 en acero A181 Grado I y 105
Grado I y II

Figura No. 101.



Forja para Brida para soldar a cabezal de
152.4 mm. (6") 351.5 Kgs. (5000) en acero
API Tipo II

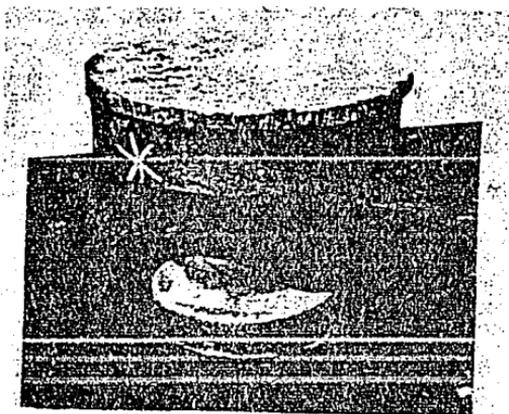
Figura No. 102.

Forja de carrete... (Figura No. 103 y No. 104).
Debe soportar grandes tensiones, en las plataformas Marinas (a la hora de sacar, la broca perforada).

Figura No. 103.



Forja de carrete para cabezal en
acero API Tipo II

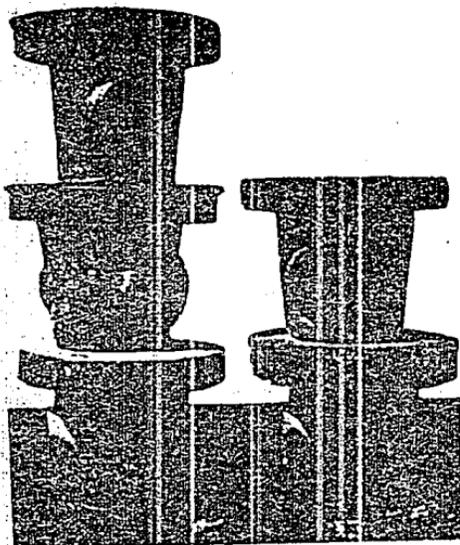


Forja para Carrete adaptador en
acero API Tipo II

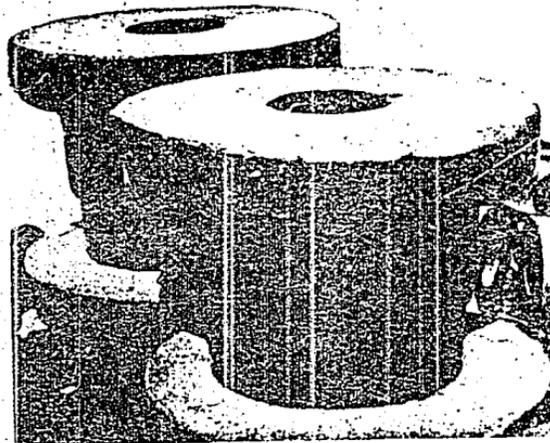
Figura No. 104.

Forja para cabezales...(Figura No. 105 y No. 106).
Esta parte de las válvulas petroleras , es la que recibe más presiones y esfuerzos.

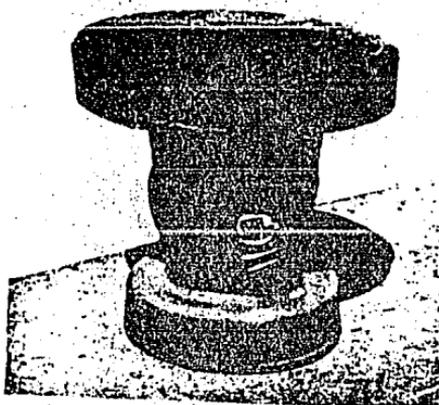
Figura # 105



Forja para Cabezales de revestimiento
FC-22 254 mm. 210.9 mm. (10-3000)
244.475 mm. (9 5/8) en acero API
Tipo II.



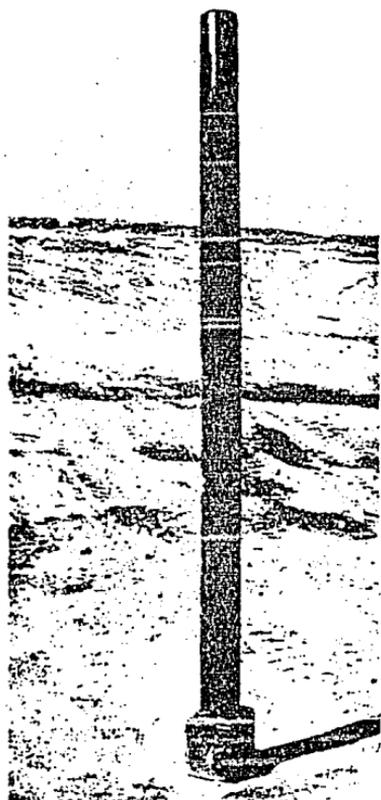
Forja para Cabezales de revestimiento FC-2
304.8 mm. 210.9 mm. (12-3000) 244.475 mm
(9 5/8)



Forja para Cabezal de producción
de 254 mm. (10") 140.6 Kgs. (2000)
x 154.4 mm. (6") 140.6 Kgs. (2000)
en acero API Tipo II..

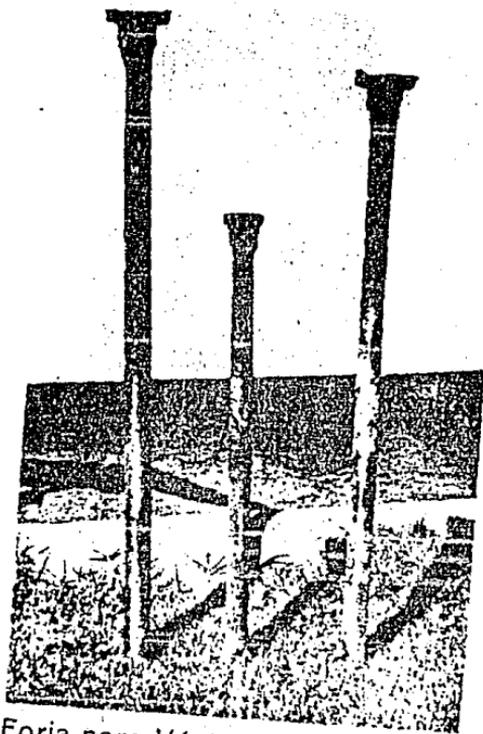
Figura No. 106.

Forja para Vástago... (Figura No. 107 y 108).
Debe resistir grandes esfuerzos.
Figura No. 107.



Forja para Vástago de Válvula
de compuerta de 50.8 mm. (2")
a 762 mm. (30")

Figura No. 107.



Forja para Vástago de Válvula de
compuerta en acero Inoxidable 316

Figura No. 108.

Forja de Maza... (Figura No. 109).

Es la parte que soporta la mayor presión del flujo del petróleo.



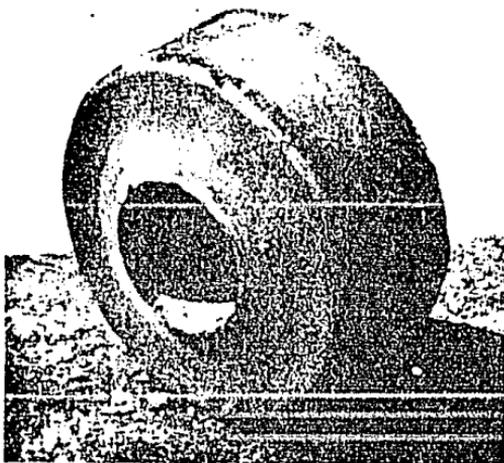
Forja para Maza cople 16F en acero
API Tipo II

Forja para cruz de ferrocarril... (Figura No. 110).
Se utiliza en la cruzeta del cambio de vía ; soporta grandes
esfuerzos y deformaciones.



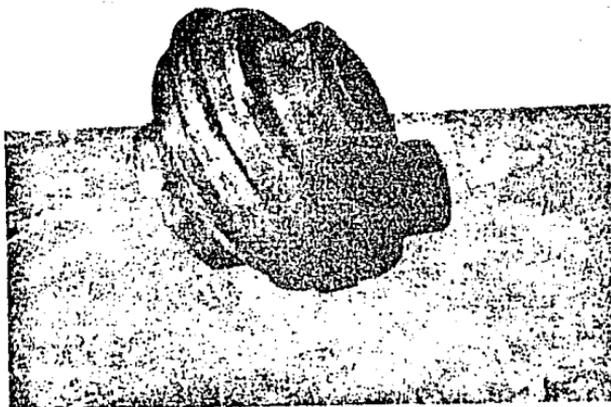
Forja para Cruz FC serie 600 en Acero
API Tipo II.

Forja para Tazón... (Figura No. 111).
Es la parte que enbona, en la parte de la manija o maneral;
soporta grandes presiones.

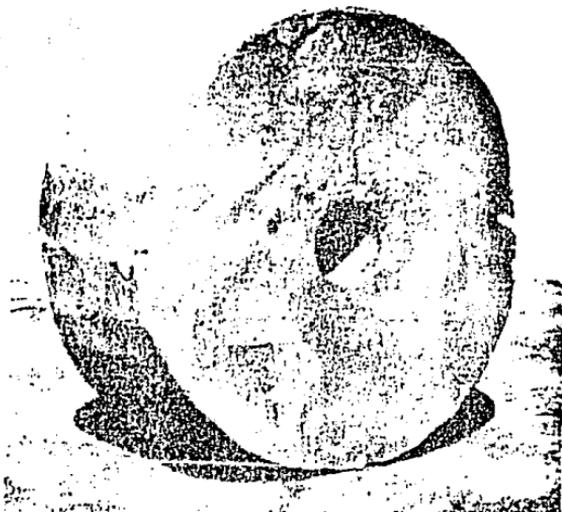


Forja para Tazón para colgador de
304.8 (12") x 27.305 mm. (10 3/4)
351.5 Kgs. (5000) en acero API
Tipo II.

Forja para pistón de alta presión.... (Figura No. 112).
Va ensamblado en la bomba de lodo.
Debe soportar grandes presiones y esfuerzos.

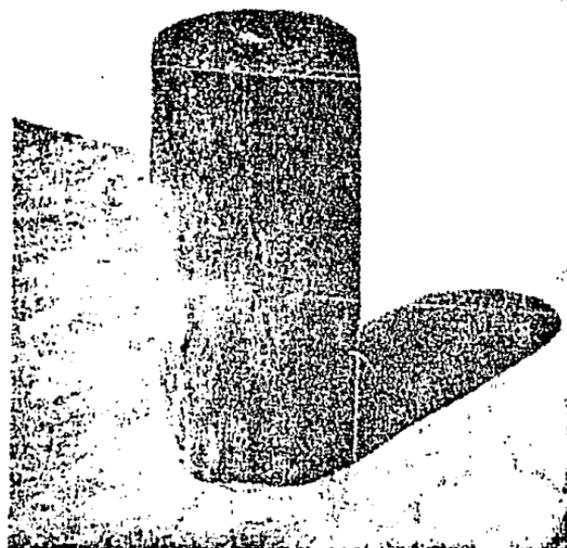


Forja de Tejo... (Figura No. 113).
Esta sujeto a grandes presiones.



Forja de tejo punzonado en acero para
fabricación de engranes.

Forja para Barra... (Figura No. 114).
Debe soportar grandes esfuerzos.



Forja para Barra de 152.4 mm. (6") x
457.2 mm. (18") longitud en acero API
Tipo II

Forja de compuerta ... (Figura No. 115).
Debe soportar grandes presiones.



Forja de Compuerta para válvula de 152.4 mm. (6")
a 762 mm. (30") en acero API Tipo II

Forja de camisa de Bomba de Lodo... (Figura No. 116).
Debe soportar grandes esfuerzos y presiones va metida en
el piston de la bomba.



Forja para Camisas de
bomba de lodo en acero
API Tipo II

V.- HORNOS DE FORJA.

V.1 Horno rotatorio.

Este horno es de acción continua y de rendimiento especialmente alto para recalentar piezas para forjarlas, con atmósfera controlada.

La carga y la descarga puede efectuarse a mano o mecánicamente. Se emplean en la industria de manufactura de proyectiles.

Para calentar los lingotes, antes de perforarlos con el punzón.

También para recalentar la punta de los proyectiles, antes de torjar la ojiva.

La carga se hace cada vez que el elemento giratorio del horno pasa delante de la compuerta de cargar.

Para trabajo ordinario es suficiente una sola posición para que un operario haga la carga y descarga o coloque las piezas en sostenes o rieles.

En los hornos de rendimiento más alto, el número de operarios depende del número de piezas manejadas por hora, el tamaño de estas, etc.

Si las piezas son pequeñas y se pueden manejar convenientemente con tenazas, un solo hombre puede atender 360 piezas por hora.

En algunas instalaciones un solo operario maneja hasta 5000 piezas. En otros casos hay un operario en cada extremo, como ejemplo en los hornos para calentar lingotes que van a ser laminados y luego forjados de un peso de 1300 a 2000 kilos.

Si la pieza es muy grande se usan grúas neumáticas o polipastos de monocarril para manejarlas y el uso del equipo adicional, tiende a reducir la producción por operario.

La característica más ventajosa de este tipo de horno, la uniformidad con que se efectúa el calentamiento, pues todas las piezas de la carga reciben el calor por radiación de las paredes y del techo, a la vez que están sostenidas sobre el fondo caliente del horno.

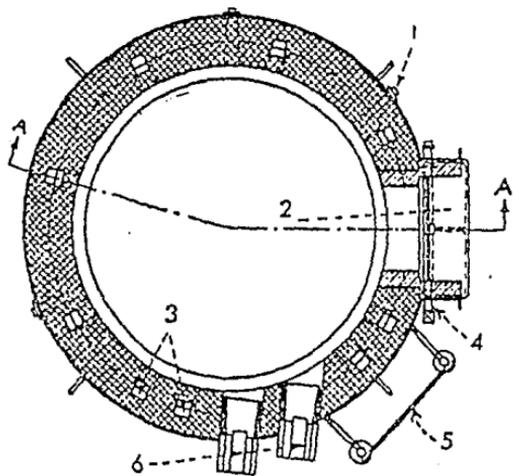
En la figura No 117 se presenta una instalación del horno que gira, mientras las paredes y el techo permanecen fijos.

Los quemadores están colocados tangencialmente en la pared.

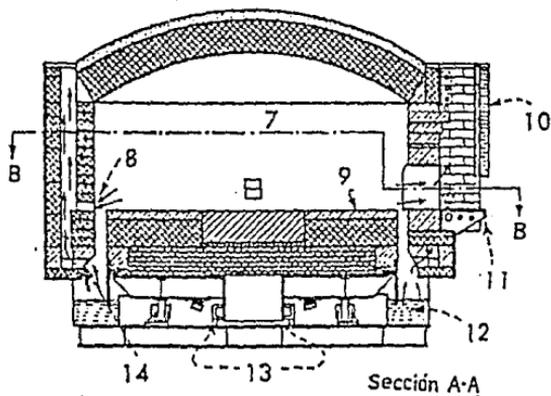
Para que el gas no se escape por el espacio entre la pared y la sección giratoria, se usa un cierre hidráulico.

- 1.- Par térmico para regulación.
- 2.- Abertura para cargar y descargar.
- 3.- Conductos de gas.
- 4.- Tubería para la cortina de aire.
- 5.- Tablero de regulación.

- 6.- Quemadores.
- 7.- Cámara de combustión.
- 8.- Escape de gas.
- 9.- Mesa.
- 10.- Camisa para enfriamiento por agua.
- 11.- Hogar.
- 12.- Cierre con agua.
- 13.- Ródillos para la mesa del centro.
- 14.- Entrada y escape circular, tipo sifón.



Sección B-B



Sección A-A

Figura No. 117.

V.2 Horno de campana.

Estos hornos se construyen de tipo de caja rectangular o cilíndrica.

Utilizan como combustible gas butano-propano.

A alcanzan una temperatura de 1500 C.

El del tipo cilíndrico se usa para el calentamiento de metales en rollos: láminas en forma de planchón (para cubiertas de barcos), lingotes (para laminarlos y hacer de ellos varilla y alambón).

Estos hornos, por su forma, se colocan sobre el material a calentar. Los elementos térmicos (bobinas), están colocados en las paredes del cilindro o caja.

Para acelerar el trabajo, la campana térmica se quita una vez que el material se ha calentado hasta la temperatura especificada.

La figura No. 118 representa el corte de un horno de campana.

- 1.- Material a calentar.
- 2.- Cubierta.
- 3.- Paleta.
- 4.- Campana Térmica.
- 5.- Elementos para calentar.
- 6.- Barra para guiar la campana.
- 7.- Ventilador para hacer circular el aire dentro de la cubierta.

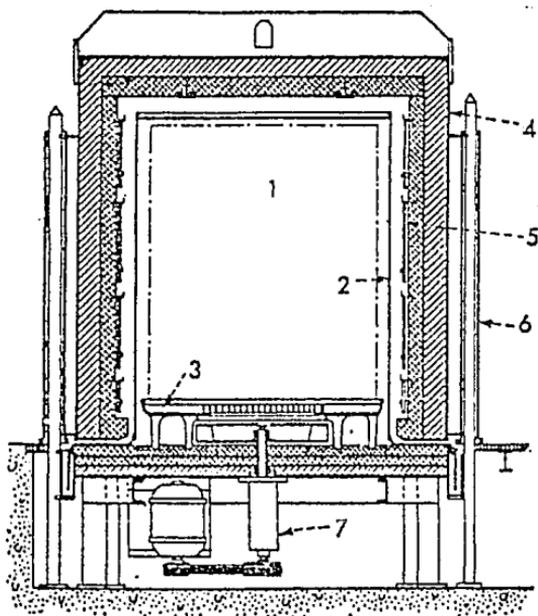


Figura No. 118.

V.3 Horno de Foso.

Estos hornos son una variedad de los hornos de campana, pero adaptados para el calentamiento de piezas muy grandes:

Como tanques de guerra, Cohetes, Tubos grandes, Turbinas de avión de propulsión a chorro.

Estos hornos representan una campana invertida y colocada en el suelo de tal manera que una grúa puede quitarle la tapa y colocar adentro el material a calentar.

Alcanzándose temperaturas de 3000 C.

En las paredes del foso van colocadas el sistema de bobinas térmicas.

VI.-MICROESTRUCTURA ESPERADA.

1.-La microestructura que se produce en el proceso de forja es de ferrita en forma de fibras... (Figura No. 119).

2.- Con el forjado se obtiene una estructura fibrosa, con lo cual, se alcanzan excelentes propiedades mecánicas; como tenacidad y ductibilidad.

3.- El proceso de forja efectúa una homogenización del material.

4.- Resuelta sopladuras y microrrechupes... (Figura No. 120).

5.- Destruye la estructura dendrítica de la colada.

6.- Dispersa y orienta las inclusiones.

7.- La deformación que produce la forja da origen a una orientación de la estructura. Se provoca una aleación de las inclusiones en sentido paralelo a la dirección de la deformación... (Figura No. 121).

8.- Características de la forja... (Figura No. 122).

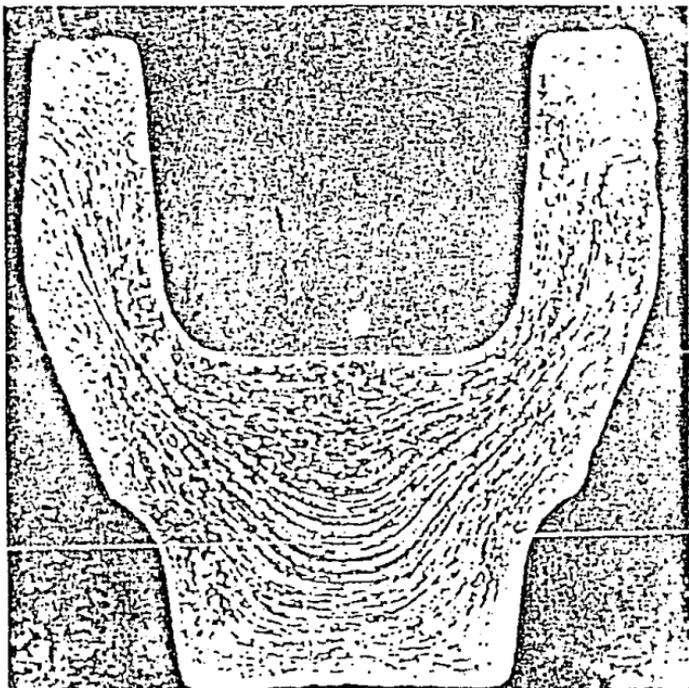


Figura No. 119.

SOPLADURA



SOPLADURA
APLASTADA



SOPLADURA
SOLDADA



FIGURA No. 120 .

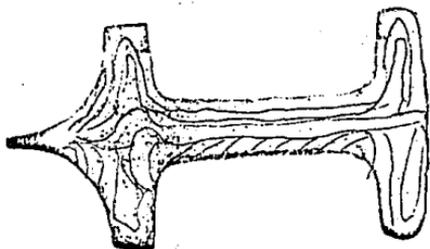
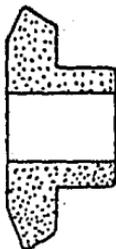


Figura No. 121.

Cabeza de biela correctamente forjada . Con la fibra adaptada a la configuración de la pieza.



Máquinado de
Barra



Fundido



Forjado

Figura No. 122.

COMPARACION DE ESTRUCTURA
INTERNA



Forjado en Martillo



Forjado en la
Máquina



Forjado en
Prensa

FLUJO CARACTERÍSTICO DE
DIFERENTES FORJAS.

CARACTERÍSTICAS DE FORJA

VII.-AVANCES EN EL PROCESO DE FORJA.

Existen en la actualidad plantas industriales en Italia, donde se hace la forja en Maquinaria computarizada y automatizada.

Se introducen al horno barras de acero en grupos de 10.

El horno tiene una capacidad para 15 Ton. y una potencia de 6000 Kw. La temperatura dentro del horno se mide por medio de un pirómetro óptico. Las barras a forjar, alcanzan una temperatura de 1250 C.

Las barras corren por el tren de laminación a una velocidad de 10m por minuto hasta llegar al martillo forjador.

Las barras tienen las siguientes dimensiones :

70mm de diámetro por 10 m de longitud.

Automaticamente se registran el peso y la temperatura de la barra antes de forjarla.

La maquinaria computarizada y automatizada de forja caliente, tiene una producción de 1500 Ton. por hora . Se forjan barras en el orden de 70 a 80 piezas por minuto.

Vaciado para Forjar.

La tradición y el mayor estado de desarrollo, ordenan los procesos de deformación plástica y de fundición en la producción de partes en serie.

Los procesos de fabricación por vaciado ofrecen la posibilidad de una mayor libertad de la forma para costos de material adecuados y medidas de tolerancia.

Las ventajas de las técnicas de deformación plástica están en las adecuadas propiedades mecánicas del producto.

Esto se debe a la orientación de las hileras, esto es, una distribución de los cambios de forma locales y eliminación de errores típicos de vaciado, como la formación de rechupes y porosidades.

Nuevos y posteriores desarrollos de ambas técnicas, tienen como objetivo la línea de producción, desde la fusión hasta la parte terminada, reducirlas y con esto, obtener productos de alto valor cualitativo y bajos costos.

La idea de unir la economía y las posibilidades de dar forma al vaciado con las propiedades mecánicas más adecuadas de partes forjadas, condujo al desarrollo de la fundición forja-asociado-forja.

En este proceso existe una combinación de los procesos clásicos de vaciado y de deformación plástica y una las técnicas de producción de ambos procesos. Un panorama sobre las posibilidades de la forma de apachurramiento, a apartir de aleaciones de aluminio para la producción de partes integrales de construcción se hizo en la Universidad de Achen Alemania en 1986.

!Este estudio no se publicó!

Es un proceso para la producción de piezas formadas a

partir de metal liquido en formas utiles.

Metales y Aleaciones.

Hasta ahora los materiales investigados son aluminio y aleaciones plasticas de aluminio.

El proceso comienza del vaciado y la forja.

En la torja de estampa, existe una parte del material (que se expande hacia los lados).

Aspectos Metalurgicos.

Estampa superior y estampa inferior.

En la estampa inferior se adiciona metal fundido y finalmente la estampa superior, golpea a la estampa inferior, haciendo que el liquido del volumen de ambas medias torjas es llenado completamente y bajo presion se solidifica.

La preforma asi formada, es hecha a través del hundimiento del estampado superior en una deformacion en caliente en varias etapas.

Descripcion y Desarrollo del proceso.

La fundición-forja esta formada por los siguientes principales pasos del proceso; como se observa en la Figura No. 123.

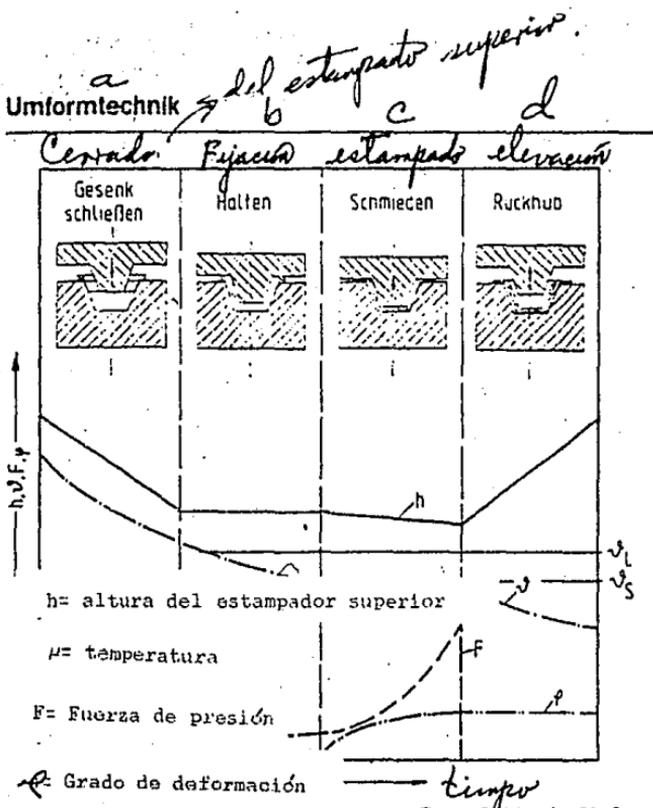


Figura # 123

Representación esquemática del desarrollo del proceso:

Fundición-Forja en función del tiempo para la variación de parámetros como temperatura, fuerza de la presión, grado de deformación y posición del estampado superior.

h= altura del estampado superior.

u= temperatura.

F=Fuerza de presión.

J= Grado de deformación.

Limitaciones de la fundición- forja en relación a procesos competitivos.

La principal característica de diferenciación del proceso de fundición-forja con respecto a los procesos de acabado tradicional de vaciado es la presión directa a golpe, a través de una matriz de forja durante la solidificación.

La mayor parte de los procesos convencionales, trabajan únicamente bajo el efecto de la fuerza de gravedad, lo cual limita los esfuerzos de la máquina.

La formación de rechupes, porosidades de acuerdo al proceso perjudican las superficies.

La fundición-forja ofrece la posibilidad de producir materiales, a partir de un gran número de compuestos.

Para el uso de metales reforzados con fibras, sobre todo al sumergir una matriz de aluminio se observan tres áreas de aplicación:

a.- Uso para condiciones extremadamente altas y bajas temperaturas.

b.-Uso bajo condiciones corrosivas.

c.-Uso bajo esfuerzos mecánicos elevados.

El producto terminado del vaciado-forja y la forma final del contorno de forja de la pieza, permite el uso de matrices de aluminio reforzadas con fibras.

La producción de compuestos macroscópicos, como por ejemplo blindajes de tanques son posibles con la tecnología de compuestos líquidos en el proceso fundición-forja.

Los componentes resistentes a la corrosión, temperatura y a los esfuerzos, pueden por ejemplo adicionarse en el metal fundido en el espacio del estampado.

El tanque de guerra alemán, llamado "Leopardo", es hecho con esta tecnología. Fue usado por Irak en la guerra del Golfo Pérsico.

Los parámetros en los cuales influyen principalmente a la calidad del material son:

-Temperatura del material fundido.

-Tiempo en el cual se mantiene la presión.

-Temperatura de la deformación por esfuerzos.

-Temperatura de la matriz de forja.

-Grado de deformación.

Los experimentos fueron realizados principalmente en aleaciones plásticas, como AlMgSi, AlZnMgCu.

Estas aleaciones se representan frecuentemente en las

aleaciones plásticas de aluminio utilizadas en la aviación (endurecibles por tratamiento térmico).

Para el establecimiento del tiempo del proceso es de gran importancia el conocimiento del tiempo de solidificación del material fundido en la matriz de forja.

La presión hacia el material fundido debe mantenerse durante la solidificación. A través de esto puede eliminarse errores de vaciado típicos, como por ejemplo la separación de gases y puede alcanzarse una rápida separación del calor de fusión.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Autores Varios (1989). "Enciclopedia de Fernández, Editores, S.A." Madrid, España, pp.950-1150.
- 2.- Borrego Escalante Salvador (1993). "Derrota Mundial". Ed. Tradición. México, D.F., pp.100-550.
- 3.- Autor :Angelo Appendini (1993). Periódico:El Universal.Cd. de México.Sección Cultural ,p.2.27 de Marzo. Edición Matutina.
- 4.-Varios Autores (1972). Lehrbuch Metallurgie.Segunda Edición. Editado por V.E.B. Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie. Leipzig. (Republica Democrática Alemana), pp.214-234.
- 5.-Fernández Garcia Eloy et al. (1990). "Tecnología de Soldadura y Forja." Ed. S.E.P. México, D.F., pp.107-155.
- 6.-Del Río Jesús (1980). "Deformación Plástica de los Materiales". Ed. Gustavo Gili, S.A. Barcelona, España, pp.3-42.
- 7.-Borrego Escalante Salvador (1993). "Infiltración Mundial". Ed.Tradición.México, D.F., pp.60-120.
- 8.-Autores Varios(1986). "Manual del Ingeniero del Taller". Volumen1. De la Academia Hutte de Berlin, Alemania. Ed.Gustavo Gili, S.A. Barcelona, España, pp.210-282.
- 9.-Autores Varios(1990). Revista.: Steam Drop Hammers. Erie Foundry Company. Boletín No 335. Erie, Pennsylvania. Estados Unidos, pp.4-9.
- 10.-Autores Varios(1990). Revista.: F.I.P.S.A.. Fábrica de Implementos Petroleros.AV. Industrias No10. Cerro Gordo, Edo.de México, pp.2-6.
- 11.-Autores Varios (1990). Revista.: Chambersburg. Chambersburg Engineering Company. Estados Unidos. Boletín No 99, pp.6-7.
- 12.-H. Avner Sidney (1980). "Introducción a la Metalurgia Física". Ed.Mc. Graw-Hill. New York. Estados Unidos, pp.230-240.
- 13.-Autores Varios(1980). Revista.: A.S.M.E.. Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos Electricistas, pp.495-505.
- 14.-Autores Varios(1980). Eugenio Garza Sada et al..

Revista.: Marathon Mexicana. Volumen 5 No 10. Monterrey, Nuevo León, pp. 40-50.

- 15.-Mijares Ruiz A. (1981). "Trabajo de Forja". Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.. México, D.F., pp. 4-36.
- 16.-Kolachev B. A. et al. (1983). "Tecnología de Tratamiento Térmico de Metales y Aleaciones No Ferreos". Rusia, pp. 87-285.
- 17.-Richelieu Alain (1980). "Travail de Forge et Laminoir". Ed. Sená. Paris, Francaise, pp. 35-95.
- 18.-Autores Varios (1989). "Aceros de Cementación". Aceros de Llodio, S.A.. Ed. Urmo. Bilbao, España, pp. 70-130.
- 19.-Lasheras y Esteban José María (1988). "Tecnología del Acero". Ed. CEDEL. Barcelona, España, pp. 600-800.
- 20.-Wright Baker H. (1988). "Tecnología de los Materiales no Ferreos". Ed. River. Londres, Inglaterra, pp. 50-70.
- 21.-Autores Varios (1988). "La Charrería. Artes de México". Ed. Comercial Madrosa, S.A., pp. 30-41.
- 22.-Waganoff P. Nicolás et al. (1963). Hornos Industriales. Ed. Librería Mitre. Buenos Aires, Argentina, pp. 150-193.
- 23.-Dieter E. George et al. (1988). Power Metallurgy Processing. New Techniques and Analyses. Ed. Academic Press. New York, pp. 99-138.
- 24.-American Society of Tool Engineers. (1987). Tooling. For Metal Power Parts. Ed. Mc Graw-Hill Book Company, Inc.. New York, pp. 1-50.
- 25.-Autores Varios (1980). Revista.: Miren los Mundos Ed. Novaro, pp. 3-1009.
- 26.-Autores Varios (1993). "Enciclopedia de la Forja Artística en VIII Tomos". Ed. Gustavo Gili, S.A.. Barcelona, España, pp. 1-3000.
- 27.) A. BLARASIN, et al.: Microalloyed steel applications in high-rate hot forging processes. Volumen 7. Centro Ricerche Fiat S.p. A.. Orbassano, Torino, Italia. Febrero (1989) pp. 104-110.
- 28.) Tietmann Andreas et al.: Gießschmieden-neue Möglichkeiten der Prozeßverkürzung. Stahl und Eisen. 109. No. 6. Marzo (1989). pp. 59-62.

Resumen :

Se vio en éste trabajo ; las principales leyes que rigen la deformación de los metales.

Tipos y equipos de forja.

Materiales forjables y los hornos que se ocupan en este proceso.

Así , como la microestructura de los materiales forjados.

Actualmente se utiliza la Fundición - Forja.

En México se tiene muy poca información de la forja.

Se ha descuidado éste campo metalúrgico.

No existe un desarrollo de la forja por falta de tecnología.

Ante la entrada del Tratado de Libre Comercio , el sábado 10. de Enero de 1994 , México , está en desventaja , con relación a Estados Unidos y Canadá.

No tiene infraestructura industrial moderna.

No existe la Alta Ingeniería en México.

Prueba de ello , fué el fracaso de la Industria Militar Mexicana en la construcción de tanques de guerra en 1982.

Al caminar se les rompieron los ejes.

Tenemos un atraso de 50 años , con respecto a los países desarrollados.

En México no existe la Robotica , ni la Automatización Computarizada en el Proceso de Forja.

En la actualidad , en los Nuevos Planes de Estudio , No incluyen a la Forja.

En el plan de estudios viejo ; tampoco la incluyeron.

Debería de haber Prácticas Industriales de Forja.

En Abril de 1994 , Chrysler, invirtio 180 millones de dólares en la Nueva Planta de Estampado ; ubicada en la zona industrial de Lerma , Edo. de México.

Esta planta es la más moderna del país .

El Estampado se hace por medio de Prensas .

En la nueva planta se fabrican a través de un proceso de estampado la carrocería del nuevo automóvil NEON , se estampan las siguientes partes: Salpicaderas , Puertas , Cofre y Cajuela.