

TEMA 13

ESTAMPACION EN CALIENTE

Introducción.

Una de las operaciones que adquiere una extraordinaria importancia en la forja mecánica es la estampación en caliente. Consiste en someter, por medio de una prensa o un martinete, a un esfuerzo de compresión a un metal, entre dos moldes de acero que se desplazan uno contra otro, denominados *estampas* (*circundan a la pieza parcial o totalmente*). Es un procedimiento de fabricación en serie.

Se parte de una barra que se calienta y se forja en estampa abierta. Posteriormente se continua el forjado en estampa cerrada. Cuando es necesario modificar mucho la sección de la pieza de partida, la estampación se realiza en varias fases: iniciadoras, preparadoras y acabadoras. Como es difícil obligar al material a fluir de forma que llegue a cada punto de la estampa al cantidad de material que necesita, el volumen de la pieza bruta es algo mayor que el volumen de la estampa. el exceso de material se expulsa en forma de rebarba entre las estampas superior e inferior y, posteriormente se elimina.

La ventajas que ofrece frente a la forja sin estampa son:

1. Las piezas obtenidas tienen mayor exactitud de dimensiones y son más uniformes; frecuentemente es innecesaria una elaboración posterior, y si es necesaria una elaboración por arranque de viruta, ésta es pequeña.

2. Pueden fabricarse piezas que no pueden hacerse mediante forja sin estampas.

3. Puede realizarse con personal no especializado.

Una desventaja la constituye el elevado coste de las estampas, por ello la estampación es sólo rentable cuando se aplica a un gran número de piezas, máxime si la forma es complicada.

Estampas.

Como se ha dicho anteriormente, en la conformación por estampa se prensa una pieza bruta en caliente, en un molde hueco, cuya forma corresponde al negativo de la pieza; el material llena el molde y adopta la forma de éste. Según la forma en que la estampa esté construida, se dividen en estampas abiertas y cerradas, de dos piezas y de varias piezas. Las estampas de dos piezas están formadas por la estampa superior o martillo (se fija a la maza) y la estampa inferior o yunque (se fija al yunque).



El material de las estampas ha de ser duro, tenaz y resistente al desgaste y al calor, por ello deben estar construidas con aceros altamente resistentes. Dado que se opera con valores de presión y velocidad elevados, las superficies de las estampas se hallan fuertemente solicitadas por parte del material que desliza, rozando sobre ellas, lo cual supone un gran desgaste, con la variación consiguiente de forma y dimensiones. De aquí las grandes tolerancias que permitirán aumentar el número de piezas fabricadas antes de que la estampa se inutilice.

En líneas generales, la construcción de las estampas se realiza con arreglo al siguiente proceso:

1. Preparación de los bloques de partida en cepilladoras, limadoras o tornos.
2. Trazado sobre la cara superior de los bloques del dibujo de la pieza.
3. Tallado de los huecos de acuerdo de la forma deseada utilizando la máquina adecuada (fresadora, electroerosionadora, etc).
4. Acabado de los huecos.
5. Taladrado conjunto de las dos medias estampas y colocación de los bulones de guía.
6. Tratamiento térmico.
7. Comprobación de cotas y rectificado de muelas.

La secuencia en las operaciones de forja.

Para la fabricación de una pieza forjada, lo normal suele ser la utilización de varias fases hasta llegar a la forma final. Estas fases pueden estar grabadas en dos únicos troqueles (superior e inferior), constituyendo un troquel múltiple, o en bloques distintos formando pares de troqueles para cada fase.

El diseñar correctamente el proceso de fabricación de una pieza, y definir las fases y las máquinas en que deben hacerse, es fundamental para obtener piezas por procedimientos racionales y económicos. Como ideas importantes que ayuden a diseñar dichos procesos de fabricación podemos citar las siguientes:

a) Si la mano de obra no es muy importante en el coste, suele ser conveniente la utilización de varias máquinas que trabajen en cadenas y que se ajusten bien a cada una de las fases. De lo contrario es mejor utilizar una sola máquina con troqueles múltiples, aunque la cadencia de fabricación sea menor y la inutilización de una de sus fases produzca la del troquel completo.

b) La utilización de martillos es aconsejable para series cortas por su mayor facilidad en el cambio de utillaje. Para series grandes es mejor utilizar prensas mecánicas pues, aunque precisan mayores tiempos para la puesta a punto, dan mayores rendimientos, son más fácilmente automatizables y permiten mayores precisiones en los productos obtenidos.

c) También la calidad de los troqueles es función del número de piezas a fabricar. En series cortas pueden utilizarse en acero de poca calidad, en incluso de no mucha precisión, ya que el posterior mecanizado compensa los defectos de forja, y habríamos ahorrado mucho dinero en la fabricación de la estampa. En cambio, si se trata de grandes series conviene realizar el menor

número de cambios de troquel, por tanto deben fabricarse con un perfecto acabado y con materiales de alta resistencia en caliente que permitan su uso continuado sin desgaste ni deformaciones.

d) Si la serie es grande es interesante diseñar el número suficiente de fases que permita grandes duraciones de los troqueles. Sin embargo, si se fabricaran pocas piezas, sería suficiente construir un sólo troquel de acabado, aunque este se deteriore más rápidamente.

Las fases que pueden intervenir en un proceso de estampación en caliente son las siguientes:

- 1.- Corte del trozo de palanquilla (pieza+rebarba+oxidación=TACO)
- 2.- Estirado de la forma prismática o cilíndrica de partida
- 3.- Rulado o redondeado de la forma estirada
- 4.- Doblado
- 5.- Matrizado final
 - Matrices iniciadoras (sin rebarba)
 - Matrices preparadoras (sin rebarba)
 - Matrices acabadoras
- 6.- Rebarbado de la pieza
- 7.- Calibrado final en frío

La estampación en una sola fase (una única matriz) puede justificarse económicamente en el caso de que el número de piezas a obtener es reducido y no se rentabilizara la fabricación de varias matrices. El proceso sería la compresión directa en la matriz acabadora, partiendo del taco inicial preformado (golpe + golpe +...). En este caso suele obtenerse una gran rebarba.

Diseño de la estampa acabadora.

A) *Sobreespesores de mecanizado y tolerancias*

Para comenzar el diseño de una pieza forjada se parte normalmente del plano de la pieza mecanizada. Sobre las dimensiones de las cotas de este plano, es necesario añadir unos sobreespesores que lleven estas cotas a las "cotas de forja". Los valores aconsejables se recogen en el siguiente cuadro:

Espesor, longitud, ancho, ó diámetro de la pieza (mm)	Menor de 30	31 a 60	61 a 120	121 a 250	251 a 500	mayor de 500
Sobreespesor sobre cada cara ó sobre el radio (mm)	1	1,5	2	2,5	3 a 4	5 a 8

Tabla I. Sobreespesores de mecanizado



En cuanto al uso de las tolerancias, uno de los motivos que las hace indispensables es el desgaste que experimentan las cavidades de las estampas. El material caliente está en contacto con las paredes de la cavidad, por lo que al alcanzar también éstas una temperatura bastante elevada, se oxidan. Además, se ejerce la presión de estampado necesaria que obliga al material introducido a adoptar la forma. El deslizamiento del material facilita la separación del óxido de las paredes, que lenta y gradualmente se consume. Es evidente por tanto que las piezas que salen de la estampa deben variar también, al igual que la cavidad, en todas las dimensiones.

Se establecen dos categorías de tolerancias: unas denominadas *tolerancias corrientes* que dan lugar a la calidad F o normal, que representa el nivel normal en la producción de piezas de forja, y garantiza una precisión de dimensiones suficiente en la mayor parte de los casos; las otras se denominan *tolerancias especiales* y dan lugar a la calidad E o especial que expresa tolerancias más estrictas, y sólo se utilizan en los casos en que los niveles de calidad corriente no son aceptables. La siguiente tabla expresa estos valores

Dimensión de la pieza (mm)	menor 30	30 50	50 80	80 125	125 200	200 250	250 315	315 400	400 500	500 630
Tolerancia (Estampado normal)	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Tolerancia (Estampado esmerado)	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6	1,8	-	-	-

Tabla II. Tolerancias

Como se aprecia, dicha tabla no establece los límites máximos y mínimos, que habrán de ser marcados por el diseñador de la estampa con arreglo a cómo varíe la cota en cuestión con el progresivo desgaste de la estampa.

Por ejemplo, una cota 90 en estampado normal tiene una tolerancia total de 2 mm, pudiéndose marcar unos límites de (+1.7, -0.3) si dicha medida de 90 mm tiende a crecer con el desgaste de la estampa, o bien marcar unos límites de (+0.3, -1.7) si por el contrario tiende a decrecer con el desgaste. Si así no se hiciera, se reduciría el número de piezas a estampar con el utillaje en cuestión, al trabajar en un extremo de la tolerancia, dejando todo o casi todo el campo de la misma inactivo.

B) Contracciones

Cuando un proceso de deformación se realiza en caliente, es necesario tener en cuenta las contracciones que la pieza sufrirá cuando se enfríe. Por tanto, los troqueles deben preverse con unas dimensiones algo superiores a las que se desean conseguir en la pieza para tener en consideración este fenómeno.

Realmente debe ser la experiencia la que indique, en cada caso, la contracción necesaria, ya que la propia geometría de la pieza condiciona, en cada cota la contracción; pero en general

pueden usarse los coeficientes de dilatación lineales y aplicar la expresión:

$$\Delta L' = \alpha L_0 \Delta t$$

Los valores en los que son necesarios incrementar las medidas de las cotas de la matriz para tener en cuenta la contracción, son los siguientes:

<i>Material</i>	<i>Contracción (%)</i>
Acero ordinario saliendo a 1000°C	1,3
Cobre rojo saliendo a 875°C	1,7
Aluminio saliendo a 525°C	1,3
Latón saliendo a 675°C	1,5
Cuproaluminio saliendo a 800°C	1,6
Duraluminio saliendo a 450°C	1,1

Tabla III. Contracciones

Estas cifras responden a contracciones normales. Es decir, que las temperaturas quedan satisfechas en el instante de extracción de la pieza y que la rebarba se corta en este momento. Si por alguna razón no se procede al rebarbado en caliente, las contracciones quedan impedidas y las piezas quedarían con un sobredimensionamiento, tanto mayor cuanto la rebarba más se oponga a la contracción, afectando más al largo que al ancho de la pieza en cuestión.

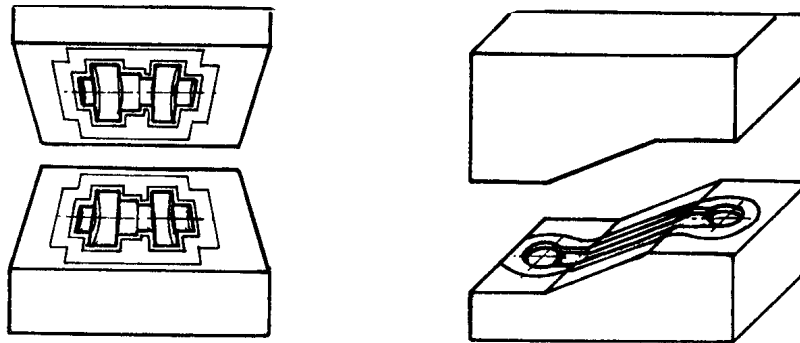
El rebarbado en frío exige utilizar coeficientes de contracción distintos según las tres dimensiones geométricas. Por ejemplo, para el acero convendrá adoptar las siguientes contracciones.

<i>Tipo de pieza</i>	<i>Longitud (%)</i>	<i>Ancho (%)</i>	<i>Espesor (%)</i>
Muy alargadas y estrechas	1,5	1,3	1,3
Rectangulares con ancho mitad del largo aprox.	1,45	1,4	1,3
Redondas y cuadradas	1,4	1,4	1,3

Tabla IV. Contracciones para rebarbado en frío

C) Determinación del Plano de Partición

Una vez dibujado el plano de forja de una pieza, de acuerdo con lo anteriormente indicado, se elige la línea de rebarba, que delimita la superficie de separación de las estampas superior e inferior. Esta elección no puede ser caprichosa, ya que influye decisivamente en los esfuerzos que han de pedirse a la máquina de forja, y en la calidad y duración de los troqueles a usar. Lo normal es elegir superficies de partición planas y horizontales, que son las más sencillas y útiles, o a lo sumo escalonadas.



Superficies de partición de las matrices

D) Redondeo de las aristas

Para asegurar el completo llenado de las matrices, evitando el uso de las elevadas presiones que se necesitarían, en el caso de aristas vivas, se recurre al redondeo de las mismas. Las aristas de las piezas forjadas pueden ser:

- *Salientes*
- *Entrantes*

Es evidente que en lo que en las piezas son aristas salientes, resultan entrantes en los troqueles, y viceversa. De todas formas, cuando apliquemos la denominación saliente o entrante, nos estaremos refiriendo a la pieza. En la siguiente tabla se recogen los valores mínimos recomendados para los redondeos de las aristas salientes.

	Acero al C 1050°C	Aceros aleados	Latón 670°C Aluminio 525°C	Bronces de Aluminio 800°C Cobre 875°C
r_1 min	0,013 x D	0,018 x D	0.007 x D	0.010 x D
r_2 min	0,018 x D	0,025 x D	0.010 x D	0.014 x D

Tabla V. Redondeo de aristas salientes

Bajo el punto de vista de facilidad y economía de la construcción de matrices, es más fácil realizar redondeos únicos que varios desiguales; así pues, el valor de r_2 , que suele ser más elevado, es recomendable para todas las demás aristas, si no hay especificación en contra del plano del cliente.

En cuanto a las aristas entrantes, la tabla XV da los valores mínimos del radio. Estos valores están obtenidos para matrices con esbozado previo.

De forma práctica, el valor que se toma para el redondeo de estas aristas es el del radio obtenido para las aristas salientes, mayorado en 1,5 a 2 veces.

E) Definición de las salidas de las estampas.

Son necesarias para conseguir la separación de la pieza forjada de los troqueles. Hay dos tipos de salidas: las *exteriores*, o salidas positivas, y las *interiores*, o salidas negativas.

Máquina	Salida interior			Salida exterior		
	%	Ángulo (Grados)	Límites de validez	%	Ángulo (Grados)	Límites de validez
Martillos	12 a 14	7 a 8	valor normal	12 a 14	7 a 8	para servicios de gran altura
	10	6	para machos de poca altura	10	6	valor normal
				5	3	piezas de revolución de poca altura
Prensa vertical	12 a 14	7 a 8	para huecos profundos	10	6	piezas de revolución de gran altura
	10	6	valor normal	5	3	valor normal
	5	3	con extractor	2	1	con extractor
Prensa horizontal	5 a 2	3 a 1	según profundidad del hueco	5 a 2	3 a 1	según altura
	2	1	mínima salida	2	1	mínima salida

Tabla VI. Salidas de estampas

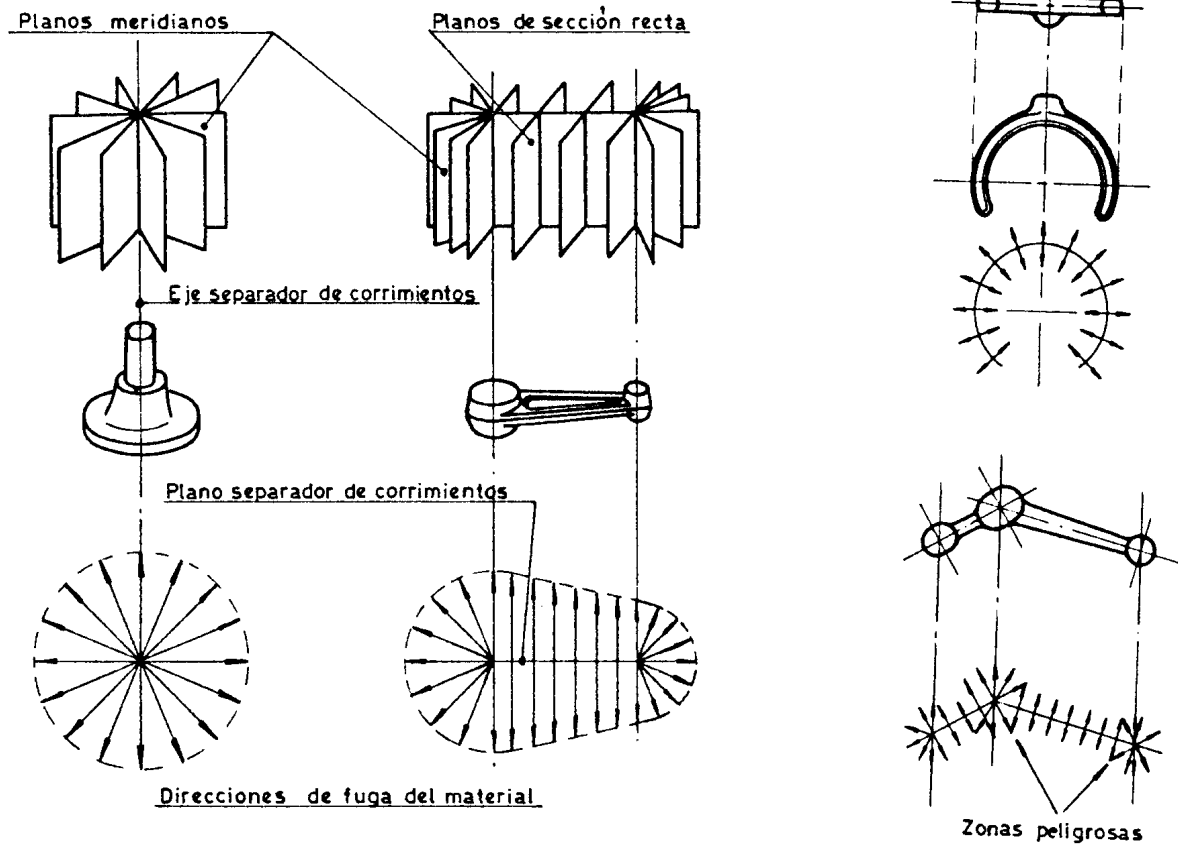
En la anterior tabla se han indicado los valores normales usuales para las salidas. En los *núcleos*, o partes en relieve de las matrices, el material tiende a agarrarse a ellos al contraerse por enfriamiento, lo que obliga a proyectarlos con mayores salidas; en cambio, en las zonas de las matrices con cavidades, el material, al enfriarse, tiende a separarse de los troqueles y por eso las salidas pueden ser más débiles. Si existen *extractores* puede reducirse el ángulo de salida. En todo caso es imprescindible evitar las contrasalidas, que impiden la extracción de la pieza forjada. Por otra parte, si las almas forjadas por los núcleos van a ser posteriormente punzonadas en caliente, debe dárseles salidas entre 0 y 3E.

D) Cálculo de las presiones y rebarba

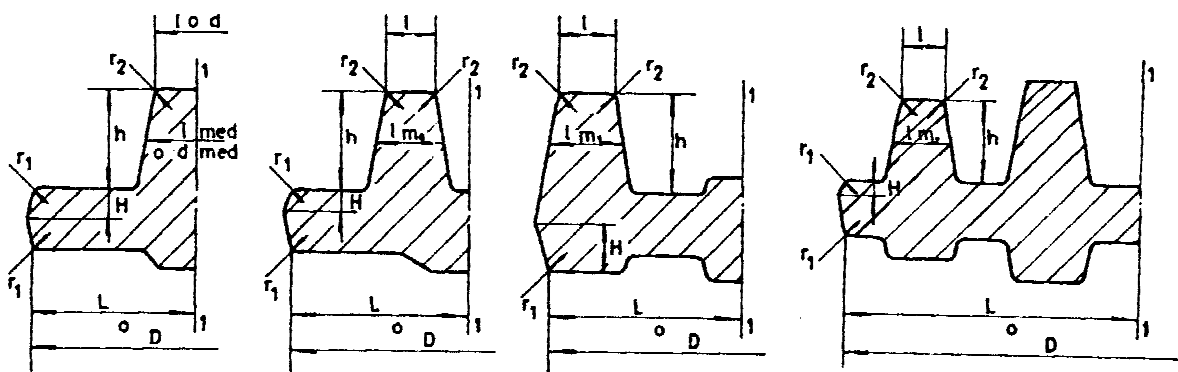
Dado que el esfuerzo máximo se produce en el troquel acabador en los momentos finales de la forja, es decir, cuando los troqueles están tocando uno con otro o a punto de tocar, en esta situación es cuando debe calcularse la pieza.

Se comienza por definir los *planos meridianos* o de secciones recta, que son planos verticales transversales que suelen tener común un eje, un plano vertical, una superficie curva o pueden entrecruzarse. Cada plano vertical intercepta una sección vertical. Se elige aquella que resulte más difícil de llenar, de entre todas las posibles de la pieza, apareciendo así el concepto de *sección de máxima dificultad de llenado*. Esta sección estará a su vez dividida en dos partes por el eje vertical que separa los deslizamientos del material a ambos lados del mismo. De estas dos partes, la que resulte de mayor dificultad de llenado es la única que debe tomarse en consideración para el cálculo de presiones y rebarba. Además en la semisección recta así definida, dividida en dos por la línea de partición (línea de rebarba), solamente debe tenerse en

cuenta el cuarto de sección que resulte más complejo, por encima o por debajo de esta línea. Si el cuarto de sección contiene varias cavidades ciegas, la más difícil de llenar entre ellas es la que decide la presión.



En la siguiente figura aparecen las secciones verticales más corrientes y sus elementos constitutivos más característicos.



Secciones mas características. Elementos constitutivos

Posteriormente, y sea cual fuere la sección característica, es preciso calcular la presión necesaria para llenar los radios r_1 (que denominaremos P_1 , debida al alargamiento), y la que

corresponde al correcto llenado de la cavidad cuyo fondo tiene un radio r_2 (que denominaremos P_2 , debida a la extrusión inversa).

Para su cálculo se utilizarán unos valores modificados de r_1 y r_2 de acuerdo a la siguiente tabla:

Radios r_1 o r_2 (mm)	Radios a adoptar r'_1 ó r'_2 para calcular la presión		
	Martillos	Prensa vertical rápida	Prensa horizontal
5 ó más	5	5	5
4,5	4,5	4,5	4,45
4	4	4	3,95
3,5	3,5	4,45	3,4
3	3	2,95	2,9
2,5	2,5	2,4	2,35
2	2	1,9	1,85
1,75	1,7	1,65	1,6
1,5	1,45	1,35	1,3
1,25	1,15	1,1	1,05
1	0,9	0,85	0,8

Tabla VII. Radios minorados para cálculo de presiones

Una vez calculados los valores de P_1 y P_2 , aquel que resulte más elevado será el valor de la presión motriz necesaria para conseguir fabricar sin fallos la pieza en cuestión, ya que cualquier otra sección que no sea la considerada necesitará menores presiones motrices que ésta, y en consecuencia se llenará sin ninguna dificultad

a) P_1 se obtiene a partir de las curvas de umbrales de plasticidad, con la abcisa:

$$K_0 \cdot \frac{r'_1}{L} \quad \text{o} \quad \frac{2r'_1}{D}$$

donde: K_0 = coeficiente geométrico

L = distancia de la arista de r_1 al eje de dispersión

r'_1 = valor obtenido en tablas sancionado por la experiencia

b) P_2 se compone de $P_2' + P_2''$

donde P_2' se obtiene gráficamente a partir de los coeficientes:

$$K_1 \cdot \frac{h}{l_m} \quad \text{y} \quad K_2 \cdot \frac{r'_2}{l}$$

y $P_2'' = n\alpha + \Delta p$ donde:

- Δp es un factor aditivo que tiene en cuenta la posición de la cavidad respecto al eje de separación. Su valor, para algunos materiales, se indica en la siguiente tabla:

	Δp da N/mm ²					
	Acero 1000°	Cobre 875°	Aluminio 525°	Latón 675°	Cuproaluminio 450°	Duraluminio 450°
Cavidad centrada	0	0	0	0	0	0
Cavidad a media distancia	4	3,2	1,8	1,9	2,4	6
Cavidad muy alejada	8	6,4	3,6	3,8	4,8	12

Tabla VIII. Valores de Δp

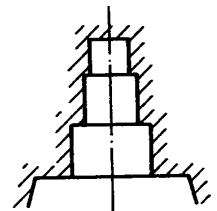
- Los valores de α se recogen en la siguiente tabla

Material	α (da N/mm ²)
Acero ordinario a 1000°C	6
Cobre rojo a 870°C	4,8
Aluminio (99,5%) a 525°C	2,7
Latón (60-40) a 675°C	2,8
Cuproaluminio (90-10) a 800°C	3
Duraluminio a 450°C	9

Tabla IX. Valores de α

El término n corresponde al número de estrechamientos que tenga la cavidad.

Así, por ejemplo, la forma de la estampa que se representa en la figura se considerará que tiene tres estrechamientos ($n=3$).

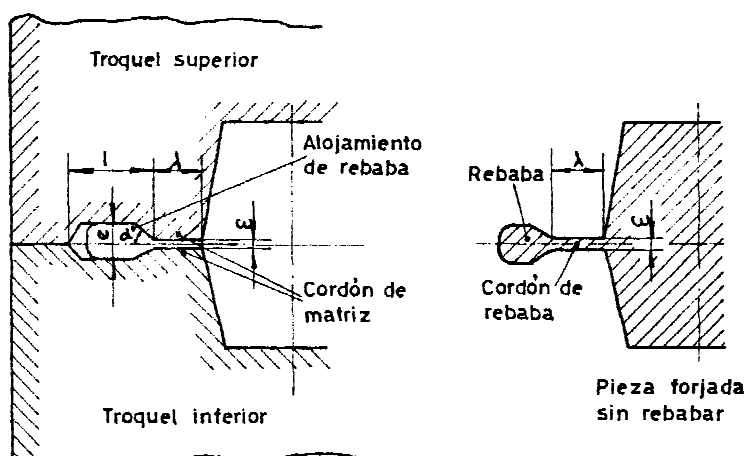


Una vez calculada la presión motriz p , que como ya se ha indicado corresponde al mayor valor de P_1 o P_2 , es necesario proyectar el *cordón de rebarba*.

Como ya se ha dicho, en el diseño de la matriz acabadora hay que considerar una zona que sirve como mecanismo formador de rebarba y como zona de paso de material sobrante, al rellenarse completamente la geometría de la pieza, hacia una zona colectora de este material, que recibe la denominación de *alojamiento de la rebarba*.

En los troqueles se localizan dos zonas: el *cordón de matriz*, que sigue al contorno de la pieza, y que se define por su espesor (ϵ) y por su anchura (λ); y el *alojamiento de rebarba*, que sigue en su contorno al cordón de matriz, y que se define por su espesor (e), por su anchura (l), y por el ángulo (α) de acuerdo entre cordón y alojamiento. Asimismo, en las piezas, tal como se obtienen de la última operación de forja, se distinguen: el *cordón de rebarba*, conformado por el cordón de matriz y la *rebarba* o material sobrante: Ambos son un desperdicio que es necesario separar de la pieza (operación de rebarbado).

El cordón de matriz se comporta mecánicamente como un *dique* de contención de material plástico para elevar el esfuerzo de forjado, asegurando el completo llenado de la cavidad, así como para evacuar el exceso de material. Además, los valores de ε y λ deben ser tales que el rozamiento del material, al atravesar el cordón de matriz, sobre todo en los momentos finales de la deformación, haga aumentar la presión motriz (p) lo suficiente para poder rellenar los huecos y aristas más complicados de la geometría de la pieza a obtener.



Para el cálculo del cordón de matriz es necesario calcular la pérdida de carga (a) en la transmisión de la presión p en la línea de rebarba. Para su determinación se recurre a las curvas de umbrales de plasticidad (al igual que con P_1). El valor de a es el umbral de plasticidad correspondiente a H/L o $2H/D$, donde H es la distancia del plano de junta a la cara horizontal más próxima y L la distancia del cordón de rebarba al eje de dispersión.

Conocido a se recurre a la expresión:

$$\frac{\lambda}{g} \cdot \sqrt{\frac{p \cdot a^2}{2fK}}$$

donde: p es la presión motriz determinada anteriormente

$2fK = x$ es un coeficiente, variable con el material y la temperatura. Sus valores se recogen en la siguiente tabla:

Material	Temperatura de la pieza	Temperatura de la rebarba	x [da N/mm ²]
Acero	1050°C	900°C	2,37
Acero	1000°C	870°C	2,7
Cobre	875°C	765°C	1,85
Aluminio	525°C	485°C	1,12
Latón	675°C	600°C	1,26
Cuproaluminio	800°C	710°C	1,44
Duraluminio	450°C	415°C	2,82

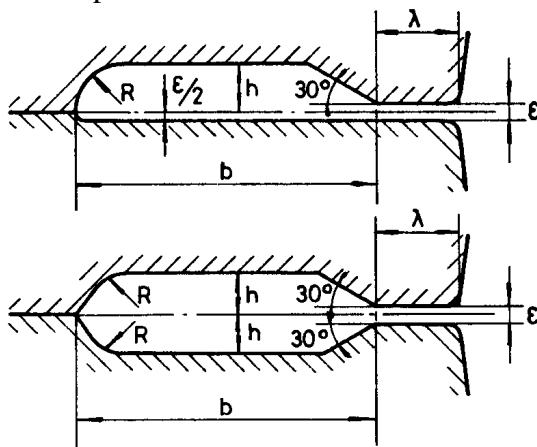
Tabla X. Valores de x

Una vez calculado el valor $\frac{\lambda}{\epsilon}$, se dimensiona λ según los valores de la tabla correspondiente, teniendo en cuenta que no son aconsejables valores de ϵ menores de 1 mm, por lo que si esto ocurre hay que hacer $\epsilon=1$ mm y deducir λ . Además, en base a la necesaria rigidez mecánica de los cordones de matriz, es aconsejable $8 < \frac{2\lambda}{g} < 14$

Largo ó diámetro (mm)	Valores de λ en mm.	
	Prensa vertical	Martillos
40	4	6
60	5	7
80	6	8
100	7	9
125	7,5	9,5
150	8	10
175	9	11
200	9,5	11,5
240	10,5	12,5
280	12	14
320	13	15
360	15	17
400	16	18

 Tabla XI. Valores de λ

Se procede a continuación al dimensionado del alojamiento de rebarba, de forma que sea suficiente para contener todo el material sobrante.



λ	h y R	b
4 a 6	3	20
7	3	22
8	3	24
9	3,5	26
10	4	28
12	5	32
14	6	36
16	8	42

Tabla XII. Dimensiones del alojamiento de la rebarba



Una vez proyectada la rebarba, puede calcularse la presión sobre la zona del cordón de rebarba, a partir de la expresión:

$$q = K \frac{\lambda}{g}$$

donde K es un coeficiente variable con el tipo de material y con la temperatura, cuyos valores están tabulados:

	Temperatura de fin de estampado	Temperatura de rebarba	K [daN/mm ²]
Acero	1000°C	870°C	6,68
Cobre	875°C	765°C	5,6
Aluminio	525°C	485°C	3,2
Latón	675°C	600°C	3,1
Cuproaluminio	800°C	705°C	3,9
Duraluminio	450°C	415°C	8,8

Tabla XIII. Valores de k

Por último podemos determinar el esfuerzo máximo que se le pedirá a la prensa, para originar las presiones necesarias en la pieza y en el cordón de rebarba, según la expresión:

$$F_{\text{máx}} = p \cdot S_{\text{pieza}} + q \cdot S_{\text{rebarba}}$$

donde

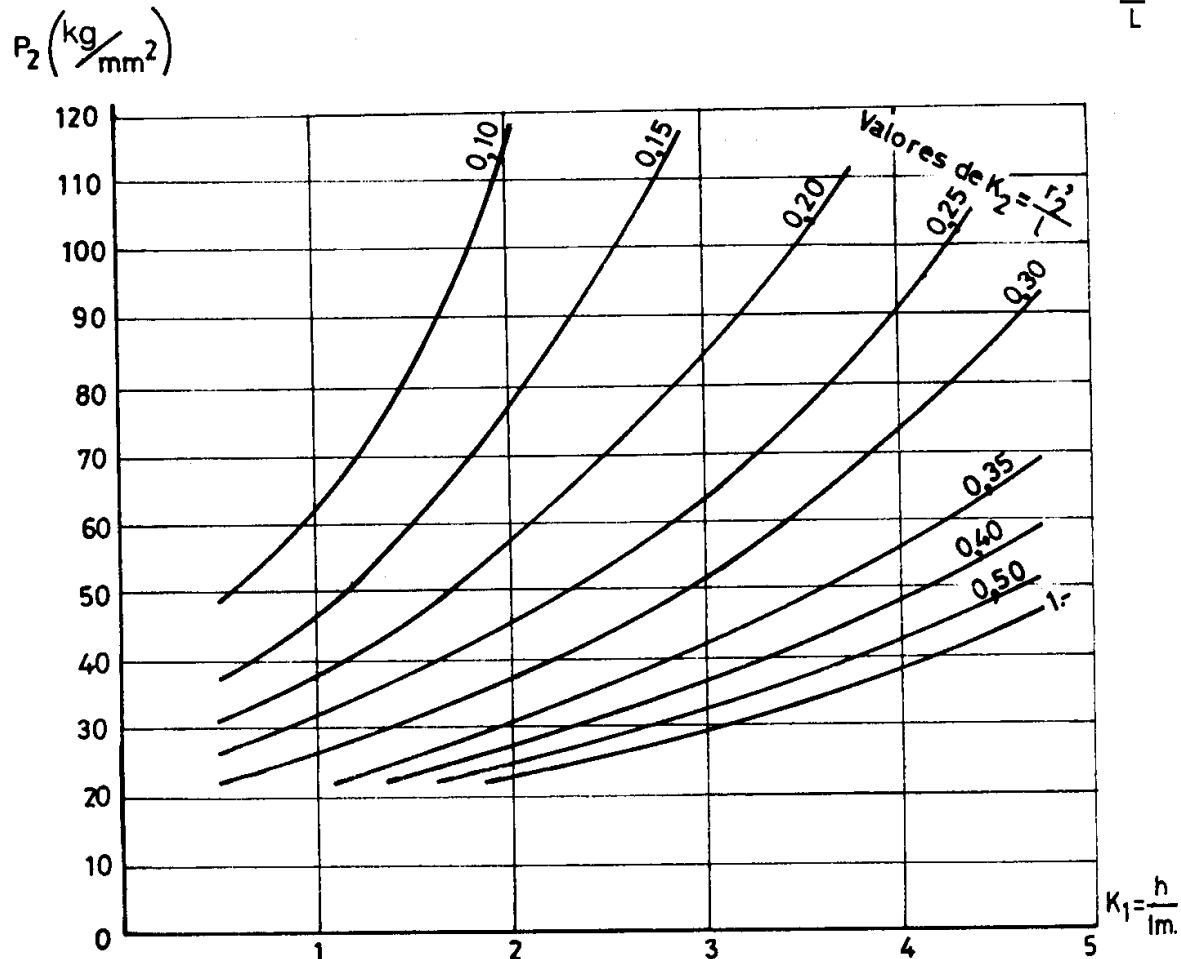
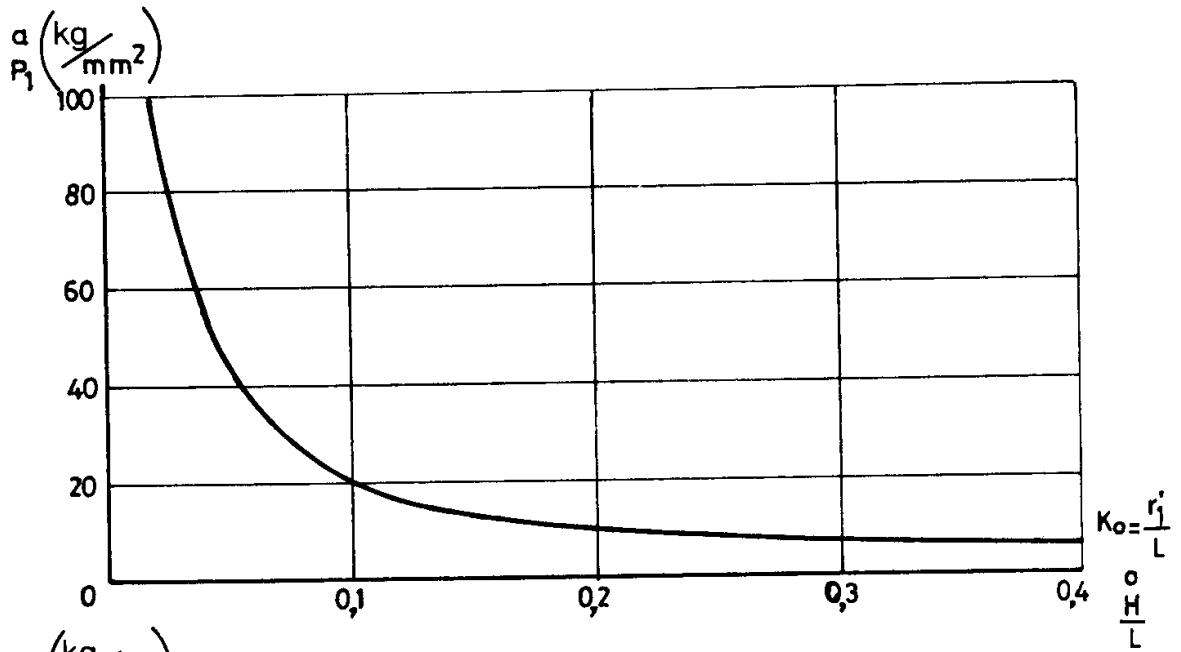
S_p es la superficie plana de la pieza

p es la presión motriz

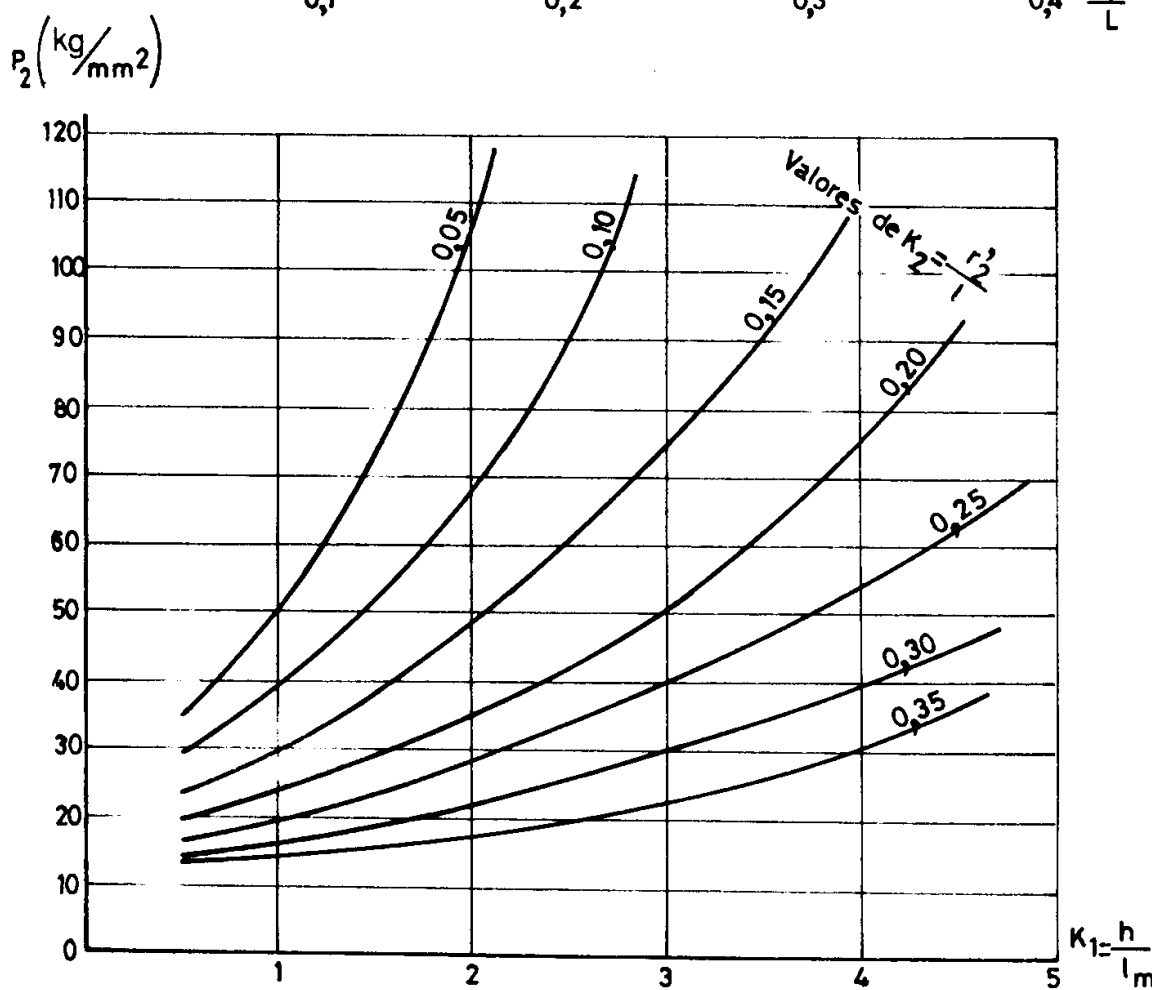
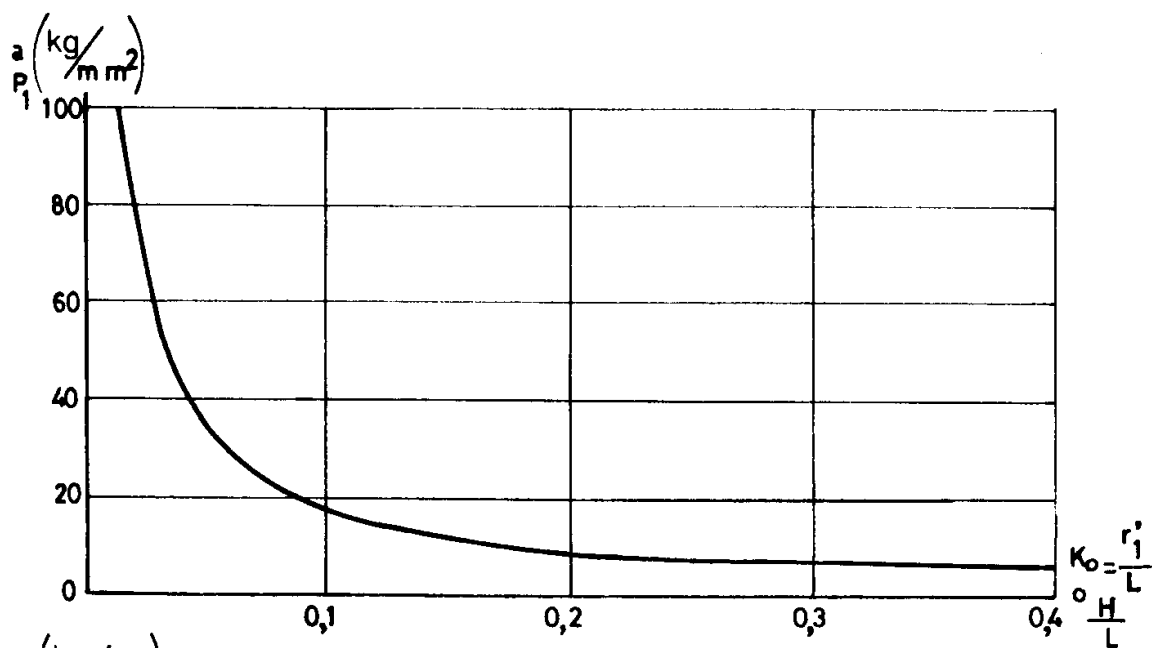
S_r es la superficie del cordón de rebarba

q es la presión sobre el cordón de rebarba

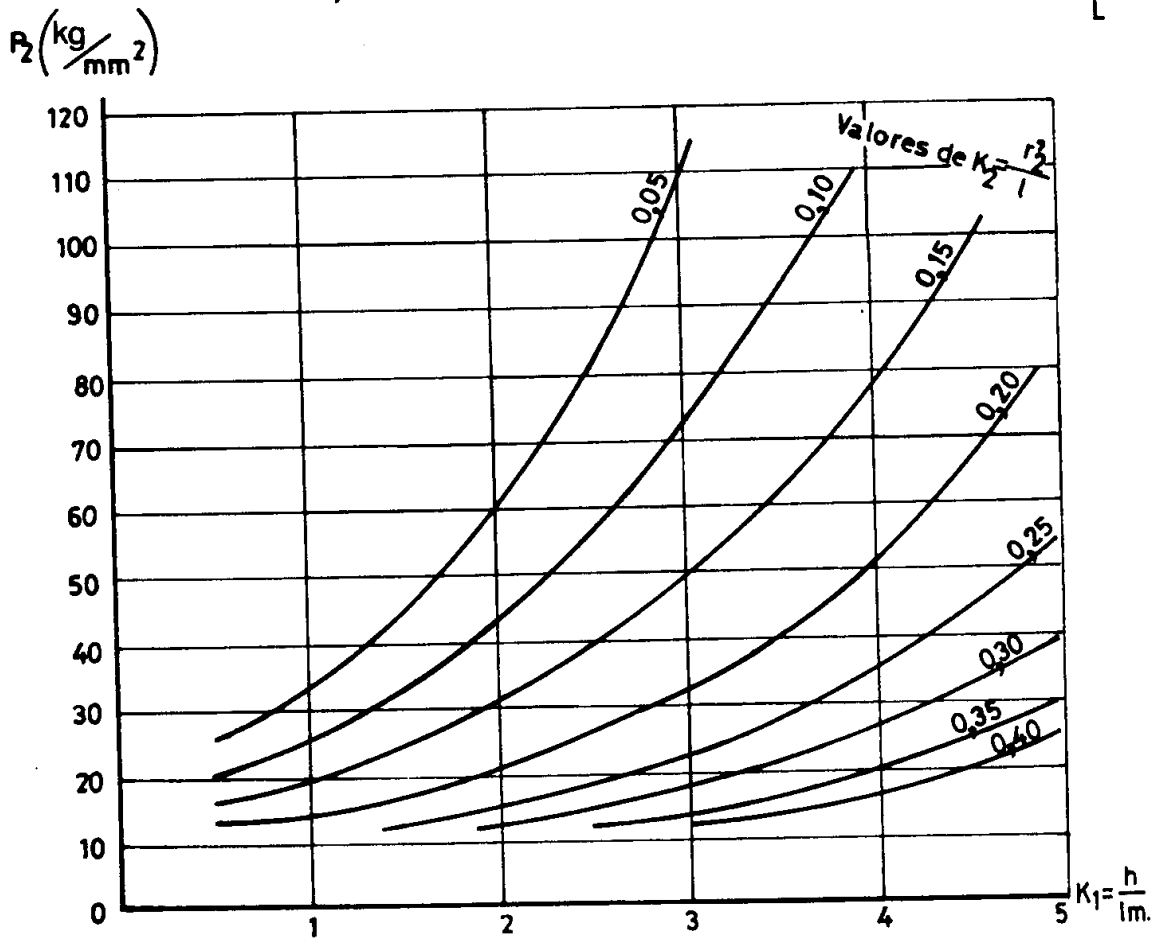
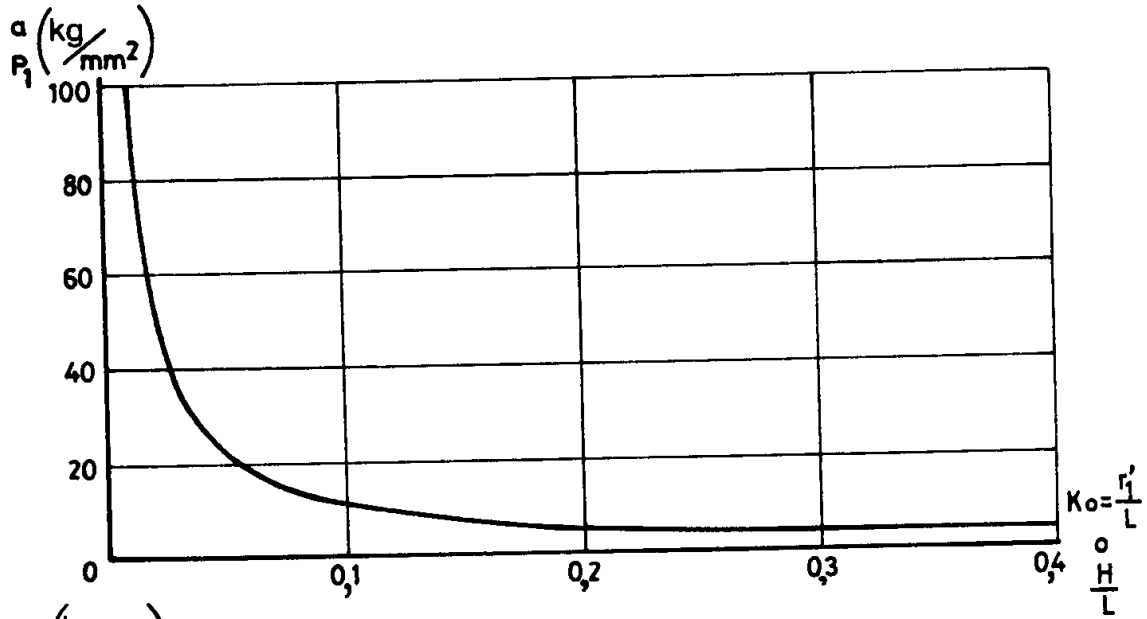
En las páginas siguientes se muestran las tablas para la determinación de las presiones P_1 , P_2 y de la pérdida de carga a , en el caso de distintos materiales, a las temperaturas de estampación en caliente habituales.



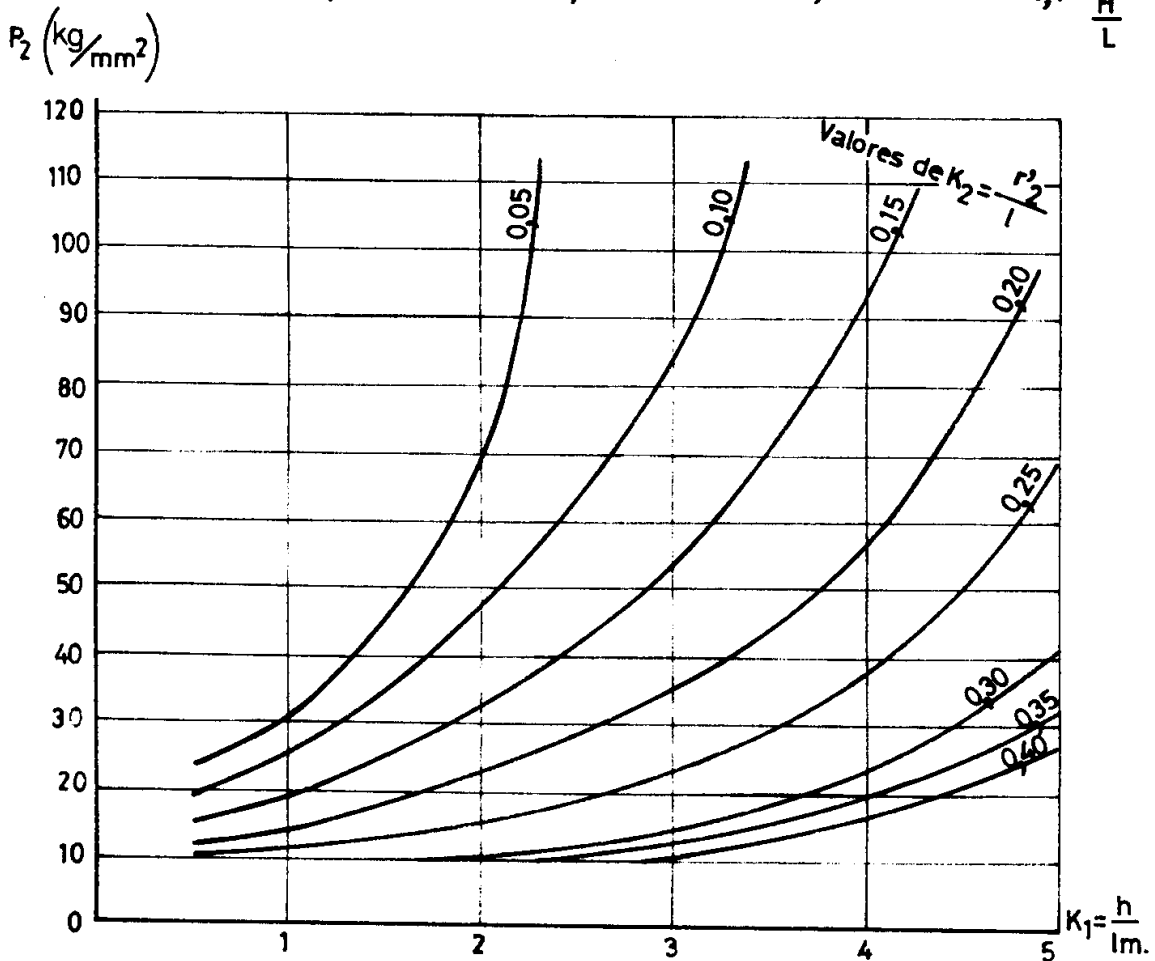
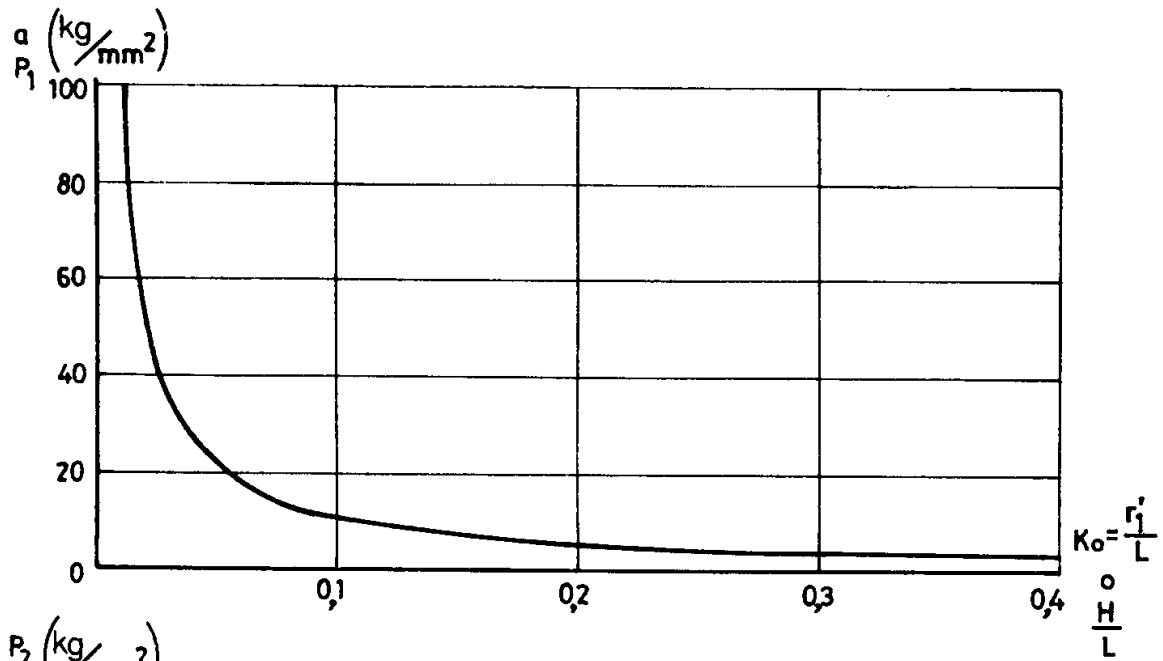
Calculo gráfico de las presiones P_1 , P_2 y a para aceros a 1000 EC



Calculo gráfico de las presiones P_1 , P_2 y a para cobre 875 EC



Calculo gráfico de las presiones P_1 , P_2' y a para aluminio a 525 EC



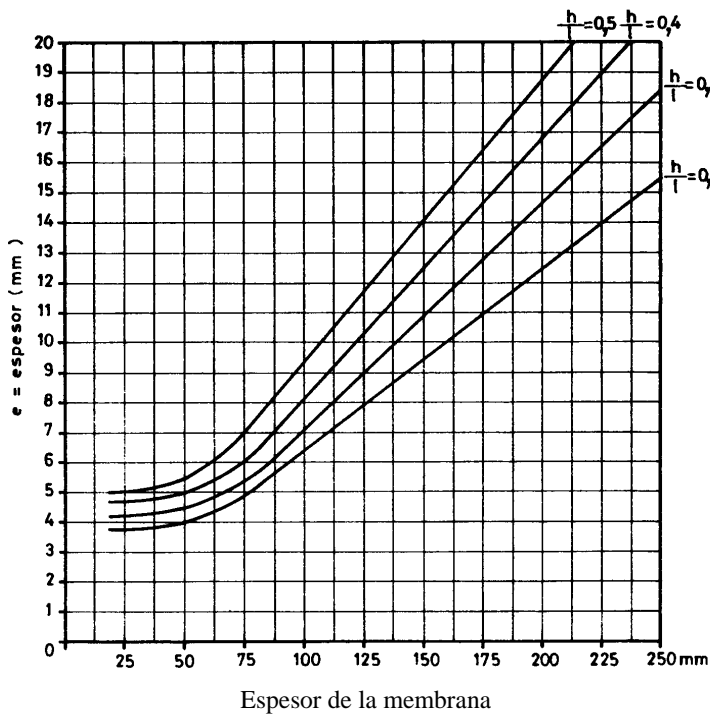
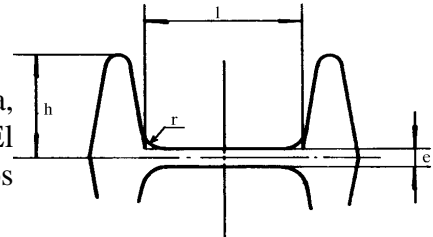
Calculo gráfico de las presiones P_1 , P_2 y a para latón a 675 EC



E) Cálculo del espesor y forma de la membrana

Se conoce como *membrana o alma* al material que queda cegando lo que finalmente será un agujero en la pieza terminada. Su existencia se justifica porque el cierre total de las estampas, en caso de que se desee realizar completamente el orificio, presentaría problemas debido a las altas presiones que se generarían al final de la carrera, así como al deterioro que sufrirían las superficies de éstas al entrar en contacto. Se pueden distinguir entre almas cuadradas, cuando su forma geométrica sea un cuadrado, un círculo, un óvalo achatado o un rectángulo con poca diferencia entre sus dimensiones, y almas alargadas cuando existe gran diferencia entre sus dimensiones.

Los espesores y sus formas dependen, en gran medida, de la resistencia mecánica de los núcleos que las forman. El siguiente gráfico permite determinar los espesores mínimos aconsejables.



Este gráfico ha sido establecido para los aceros. Para otros materiales, hay que multiplicar el espesor por los siguientes coeficientes:

Latón y aluminio	0,70
Cobre	0,85
Aleaciones ligeras	1,20

Igualmente, usando este gráfico debe tenerse en cuenta que para almas muy rectangulares o alargadas hay que usar un coeficiente de corrección, en función de la relación longitud/anchura, dado por el siguiente cuadro:

Estampación en caliente

Factor de rectangularidad (L/l)	Coefficiente de corrección
2 o menos	1
3	1,1
4	1,2
5	1,3
6	1,5

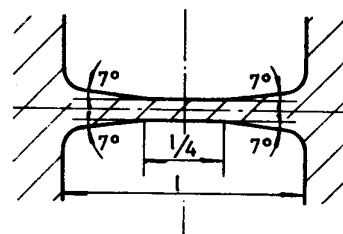


Tabla XIV. Coeficiente de corrección de forma

Asimismo, en dicha membrana hay que distinguir tres zonas:

- Zona central ancho = $1/4 l$ $e_1 = 3/4 e$
- Zona intermedia rectas inclinadas un 7°
- Zona extrema radio de acuerdo, a partir de la tabla:

h	e	Diámetro D ó Longitud L													
		12	17	23	30	38	47	58	70	90	110	140	190	250	330
		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		16	22	29	37	46	57	69	89	109	139	189	249	329	450
8	3	4	4	4,5	5	6,5									
	4	3	3,5	4	4,5	5,5	7,5								
	5	2,5	3	3,5	4	4,5	6,5								



	3	4	4,5	5	6	7										
12	4	3	3,5	4	5	6	8,5	9								
	5	2,5	3	3,5	4	5	7,5	8								
	3	5	5,5	6	7	8										
15	4	4	4,5	5	6	7	8	10								
	5	3	3,5	4,5	5	6	7	9								
	3		6	6	8	9	10	11								
18	4		4,5	5	7	8	9	10								
	5		3,5	4	5,5	7	8	9	11							
	3			6,5	9	10	11									
22	4			5,5	8	9	10	12								
	5			4,5	7	8	9	11	12							
	4				10	12	13	14								
28	5				9	11	12	13	14							
	6				8	9	10	11	12	14						



36	5					13	14	15	16	18				
	6					12	13	14	15	17	21			
	7					11	12	13	14	15	19			
45	7						16	17	19	21	25			
	8						15	16	18	19	22	27		
	9						13	14	16	18	20	24		
60	9							18	20	23	28	35		
	10							17	19	21	25	30	35	
	12							15	17	20	23	26	30	
80	12								23	26	31	38	44	
	14								22	25	28	34	40	45
	16								20	22	26	29	34	38
105	16									30	34	42	50	60
	18									28	32	38	45	53
	20									26	29	34	40	46



	20										39	44	55	70	76
140	23										36	42	50	60	68
	26										34	38	45	53	60

Tabla XV. Redondeo de aristas entrantes

Proceso de diseño de estampación de una pieza.

A continuación se enumeran los pasos a seguir para la fabricación de una pieza cualquiera por estampación.

1. Plano de la pieza deseada
2. Estudio de:
 - Partición
 - Tolerancias
 - Contracción
 - Sobreespesores
 - Membrana
 - Salidas
 - Acuerdos
 - Radios y redondeos
3. Plano de la pieza en bruto de estampación
4. Cálculo de la presión máxima
5. Dimensionado del cordón de rebarba
6. Diseño de esbozos sucesivos
6. Equipo a emplear
7. Taco de partida
8. Corte de la palanquilla de sección cuadrada o circular