

## TEMA 8

# DISEÑO DE LAS MAZAROTAS

### Razones para el uso de mazarotas.

En la lección sexta han sido analizados los fenómenos que origina la solidificación de las piezas fundidas, y la aparición de los rechupes como resultado de la contracción de la aleación fundida junto con la forma de la pieza y las condiciones de enfriamiento de la misma.

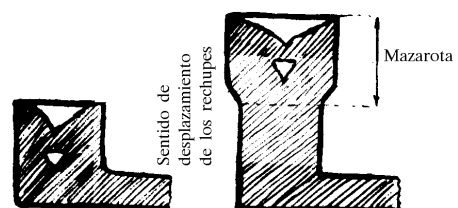
Sin haberlo hecho patente de forma expresa en las lecciones anteriores, es evidente que el *rechupe* es un defecto que, en ningún caso, puede beneficiar a las piezas. Es realmente algo ajeno y el diseñador de la pieza no ha contado en ningún momento con que el rechupe venga a formar parte de la misma. Pues bien, la misión o razón de ser de las *mazarotas* no es otra que la de compensar la contracción de la aleación desde el estado líquido (temperatura de colada) al sólido (fin de la solidificación), alimentando las partes en que prevemos debe aparecer el rechupe. En general, estas partes son, como sabemos, las últimas en solidificar.

Como definición, podemos decir que una mazarota es una *prolongación de la pieza que tiene como misión servir de reserva de aleación líquida, la cual, en el momento de su solidificación, debe haber compensado las pérdidas de volumen que resulten de las diversas contracciones que experimenta la aleación.*

Según esto, teóricamente, la mazarota debe quedar vacía cuando ha cumplido su misión. Este límite teórico es hacia el que tiende el fundidor en aras de la mejor economía.

Como el rechupe no puede dejar de producirse, una buena alimentación consistirá en localizar el mismo en la mazarota.

Hay pues un desplazamiento del defecto de la pieza, que desaparecerá en el rebabado al eliminar la mazarota. Esta noción de desplazamiento del rechupe hacia la mazarota es fácil de comprender si se consideran las superficies isoterma. Estas superficies se desplazan por efecto de la parte masiva de la mazarota, y la última isoterma debe quedar toda ella en la propia mazarota, si el diseño de la misma y su colocación han sido correctos.



### Módulo de enfriamiento.

El estudio del tiempo necesario para la solidificación completa de una pieza, de forma



cualquiera, se ha efectuado teniendo en cuenta consideraciones teóricas, a partir de la fórmula fundamental de transmisión de calor. Estos resultados teóricos se han visto confirmados experimentalmente por ensayos prácticos.

La fórmula de Fourier de transmisión de calor es:

$$\frac{M\theta}{Mt} = \frac{\lambda}{\rho c} \left( \frac{M^2\theta}{Mx^2} + \frac{M^2\theta}{My^2} + \frac{M^2\theta}{Mz^2} \right)$$

$\theta$  = temperatura en el instante  $t$  en un punto de coordenadas  $(x, y, z)$

$\lambda$  = conductibilidad térmica

$\rho$  = densidad

$c$  = calor específico

todos considerados en el medio en que se realiza la transmisión del calor.

Partiendo de la ecuación anterior, y mediante adecuadas transformaciones e integraciones, se llega a:

$$t = k \left( \frac{V}{S} \right)^2$$

que conocíamos de la lección anterior, y en la que:

$t$  = tiempo hasta la solidificación total de la pieza

$V$  = volumen de la pieza

$S$  = superficie de la pieza

$k$  = coeficiente que depende de la forma de la pieza y de la densidad y propiedades térmicas del metal del molde

La relación  $\frac{V}{S}$  se denomina *módulo de enfriamiento* o *solidificación*.

La fórmula anterior, que es la base del cálculo de mazarotas para piezas fundidas, presenta el inconveniente de que el coeficiente  $k$  es de muy difícil cálculo, pues en el momento actual no se conocen con suficiente precisión los poderes caloríficos y conductividades térmicas de muchos metales y aleaciones. Sin embargo dicha fórmula ha sido comprobada prácticamente, habiéndose demostrado claramente la existencia de la relación lineal entre  $t$  y  $\left( \frac{V}{S} \right)^2$ .

El coeficiente  $k$  depende de la forma de la pieza. Sin embargo, tanto los cálculos teóricos como los ensayos prácticos han demostrado que la influencia de la forma en el valor de  $k$  es insignificante, y que dicho valor oscila muy poco al pasar de la forma esférica a la superficie plana (casos extremos), siendo  $\frac{V}{S}$  quien describe la forma de la pieza.

Así pues, en todo cuanto sigue, se considerará el valor de  $k$  independientemente de la

forma, a igualdad de las demás condiciones, y sólo dependiente de las propiedades térmicas del metal y molde.

Esta fórmula pone de manifiesto una sencilla regla válida sólo para las aleaciones que solidifican en *capa delgada*.

La mazarota debe terminar su solidificación más tarde que la zona de pieza que está alimentando. De este modo podrá cumplir su misión. Ello significa que el módulo de enfriamiento de la mazarota  $M_m$  debe ser igual o superior al módulo de enfriamiento de la parte de la pieza que alimenta  $M_p$ .

Se acostumbra a tomar:

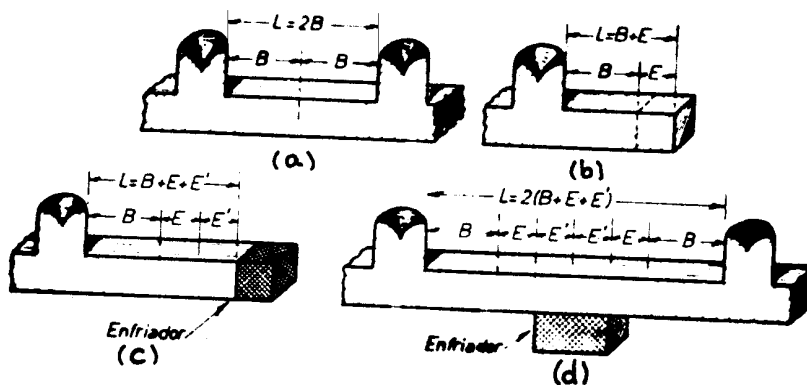
$$M_m = 1,2 M_p$$

### Radio de acción de las mazarotas.

No basta, evidentemente, situar una gran mazarota para alimentar una pieza, sino que será necesario tener presente que cada mazarota tiene un radio de acción limitado, más allá del cual su influencia es nula, independientemente de su tamaño y de su cálculo más o menos correcto. La mayoría de los casos prácticos exigen un estudio previo para conocer el número y situación más convenientes de las mazarotas antes del cálculo del tamaño de las mismas. Veamos ciertas consideraciones para las aleaciones que solidifican según *capa delgada*.

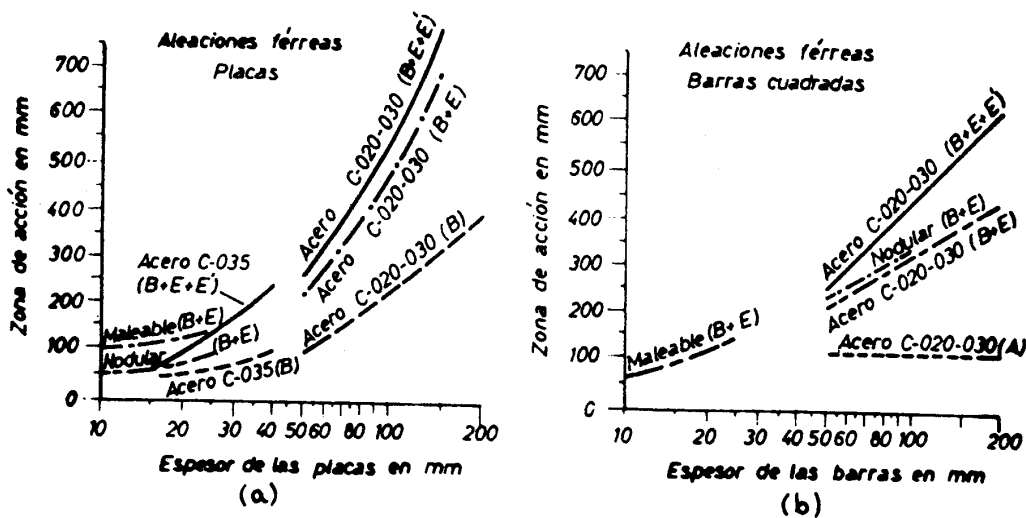
En general, las mazarotas deben situarse en las zonas de más difícil alimentación, en zonas masivas de última solidificación, procurando que ésta sea dirigida desde la pieza hacia la mazarota (solidificación dirigida). Otro aspecto importante que debe ser considerado es la facilidad de eliminación de las mazarotas tras la colada. Así las mazarotas sobre secciones planas son más fáciles de cortar que las que se apoyan sobre superficies curvas.

Existen bastantes datos en la literatura técnica sobre las zonas de acción de mazarotas en diferentes aleaciones. Si se trata de barras, la zona de acción viene expresada por la longitud a ambos lados de la mazarota, a la cual se extiende la acción de ésta. Si se trata de placas, la zona de acción es evidentemente circular. En la figura se presentan cuatro aspectos que ilustran la noción de zona de acción. Se trata de barras o placas de un determinado espesor. La figura a) presenta el caso general, mostrando la zona de acción  $B$  a ambos lados de cada mazarota. En la figura b) se aprecia el *efecto de extremidad*. En este caso la mazarota puede situarse a una mayor distancia  $B+E$  del borde libre, pues éste se enfriará más rápidamente.  $E$  es la distancia no necesaria de mazarota como consecuencia del efecto de extremidad. En la figura c) puede observarse algo



semejante, en el que el efecto de extremidad ha sido aumentado  $B+E+E'$  por la colocación de un *enfriador*, situado entre ambas mazarotas. Si su masa es suficiente se comprueba que su acción es, a la vez, suma del efecto de extremidad y de enfriador.

En los gráficos siguientes se presentan los valores en mm para  $B$ ,  $B+E$  y  $B+E+E'$  de los aceros al carbono con carbono comprendido entre 0,20 y 0,30, en el caso de piezas en forma de placas o en forma de barras de sección cuadrada. También se representa  $B+E$  para el caso de la fundición maleable y, en ambos casos, en función del espesor. Un estudio experimental conducirá a la obtención de gráficos similares para otras aleaciones. Como barras se consideran todas las piezas de sección cuadrada, redonda o poligonal regular. Como placas, las piezas planas en las que, en su sección, una de las dimensiones es mayor que cinco veces la otra.



Lo que acabamos de ver, exige la colocación en cada parte peligrosa de la pieza de tantas mazarotas como se obtengan a través del cálculo de los radios de acción.

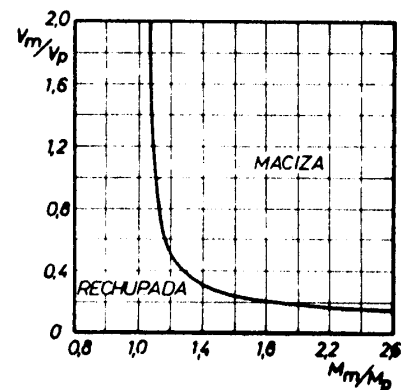
## Dimensionado de las mazarotas.

La primera operación en el dimensionado es calcular el *módulo*, pero para decidir el módulo de la mazarota hay que determinar primero el de la parte de la pieza que alimenta, es decir:

$$M_p = \frac{V_p}{S_p}$$

El volumen  $V_p$  es fácil de conocer, al menos de forma aproximada. No ocurre lo mismo con la superficie  $S_p$ , especialmente el caso de piezas complicadas.

Caine fue el primero en hacer investigaciones y aplicarlas al caso del acero. Pero su curva adolecía de la necesidad de conocer la superficie de la pieza, algo difícil y que podía dar lugar a la introducción de grandes errores. La curva es en gran parte teórica, puesto que los parámetros

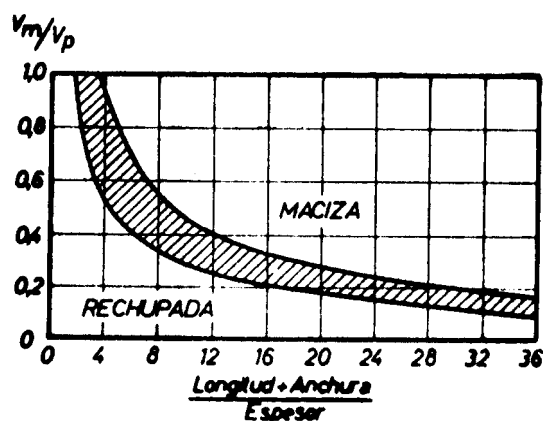


usados para el trazado fueron sugeridos por el requisito de que la mazarota debe poseer suficiente metal líquido para poder alimentar el rechupe. No obstante, la forma real de la curva es empírica y ha sido determinada a través de datos experimentales.

El gran valor de la curva de Caine radica en que permite obtener datos en presencia de una amplia variedad de formas y tamaños, tanto de la parte de pieza a alimentar como de la mazarota. La curva muestra que al crecer la relación  $\frac{M_m}{M_p}$ , el volumen de la mazarota necesariamente decrece; por otro lado también muestra que para una pieza de volumen determinado, existe un tamaño mínimo de mazarota (el obtenido en el punto extremo derecho de la curva) que es aquella cantidad de metal necesaria para alimentar el rechupe.

Estas curvas se han usado muchos años en la práctica de la fundición de acero. Aún se emplean cuando la pieza es compleja y necesita más de una mazarota. En estos casos, el tamaño de cada mazarota se calcula por separado a través del módulo de la parte de pieza a alimentar.

Pellini posteriormente simplificó el problema introduciendo la noción de *factor de forma*. Esto es, la relación entre la longitud más anchura de la pieza y el espesor de la misma, medido éste último en la dirección en que alimenta la mazarota a la pieza. El método de Pellini se aplica en numerosas fundiciones. La figura es válida para aceros de C#0,3%. Basta determinar el factor de forma de la zona de pieza, levantar la perpendicular hasta cortar a la curva superior y, en coordenadas, se tiene el porcentaje de mazarotaje. Si se fija la forma de la mazarota se tienen inmediatamente sus dimensiones. La determinación del factor de forma no siempre es fácil; en piezas complicadas deberán buscarse formas simples de sustitución.



En cualquier caso, debe tenerse en cuenta que la relación  $M_m \approx 1,2 M_p$  es suficientemente amplia y puede cubrir ciertos errores en la valoración del módulo de enfriamiento  $M_p$  de la pieza. Cuando las formas son complicadas, la obtención del módulo se hace dividiendo en zonas y asimilando a formas geométricas más simples. Evidentemente no pueden darse reglas generales sobre este punto relativo a la equivalencia de diferentes formas. Es algo que exige un estudio particular de cada caso y el buen criterio del técnico de la fundición.

Creemos que el método más adecuado y general consiste en la determinación, aunque aproximada, del módulo de enfriamiento  $M_p$  de la pieza (valorada en exceso en caso de duda) y adoptar:

$$M_m \approx 1,2 M_p$$

El tomar con exceso  $M_p$  puede hacerse despreciando toda la cara alimentada por la mazarota a efectos de superficie de enfriamiento, aunque la mazarota sólo afecte a una parte de esa superficie.

Una vez valorado  $M_p$  inmediatamente se tiene  $M_m$ . Pero para obtener las dimensiones de la mazarota debe fijarse la forma de la misma. Interesa evidentemente conseguir, para el mismo volumen de metal, el mayor módulo de enfriamiento posible en la mazarota. La forma esférica cumple esta condición:

$$M_m = \frac{4/3 \pi r^3}{4 \pi r^2} = \frac{r}{3}$$

pero el molde de mazarotas esféricas resulta complicado. Por ello se ha adoptado, de modo general, la mazarota cilíndrica.

$H$  = altura del cilindro

$D$  = diámetro del cilindro

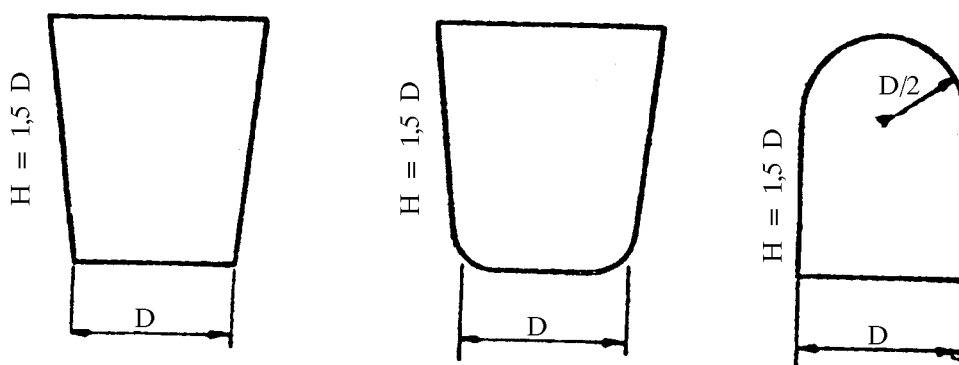
Algunos autores se inclinan por mazarotas de  $\frac{H}{D} < 1$ .

Ello parece presentar algunos inconvenientes pues la zona de unión pieza-mazarota es grande y el rechupe puede alcanzar a la pieza.

El criterio actual más en boga parece adoptar como óptima una relación  $\frac{H}{D}$  comprendida entre 1 y 1,5, aproximándose más a este último. En estas condiciones puede adoptarse como módulo de la mazarota:

$$M_m = \frac{D}{5}$$

En la siguiente figura se presentan algunas formas típicas de mazarotas.



Con lo expuesto hasta el momento la mazarota ha quedado decidida en su situación, forma y dimensiones.

En el caso de una mazarota exotérmica el volumen de la mazarota y su módulo pueden ser inferiores. La práctica muestra que puede tomarse:

$$M_m \leq 0,8 M_p$$

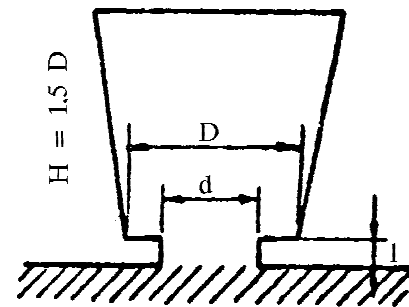
Una mazarota exotérmica tiene la misma concepción que las normales objeto de esta lección, pero su volumen puede ser reducido debido a que la mazarota exotérmica está rodeada de productos exotérmicos (de ahí el nombre) que generan calor en contacto con el metal y mantienen a la mazarota durante un mayor tiempo en estado líquido. Estos productos tienen forma de manguitos y se colocan en el molde, en cuyo hueco interior se formará la mazarota, o bien son productos en polvo o en grano que se añaden a la superficie de la mazarota ordinaria una vez ha sido llenada con el caldo. En caso necesario se emplean los manguitos y los productos granulados conjuntamente.

### Unión entre pieza y mazarota.

Además de las condiciones antedichas para una mazarota, es necesario también que su zona de conexión con la pieza esté líquida durante el tiempo de solidificación, de tal modo que el metal de la mazarota tenga siempre libre acceso a la pieza a través del cuello de unión de ambas. Si tal cosa no ocurriera, podría muy bien suceder que la mazarota solidificara más tarde que la pieza pero que, por una prematura solidificación del cuello, la alimentación quedara impedida.

Para dar un libre paso del metal líquido de la mazarota desde ésta a la pieza pueden adoptarse cuellos de unión anchos de diámetro igual al de la mazarota o algo menor. Este método conduce a una más difícil eliminación de las mazarotas en el rebarbado.

Para hacer esta alimentación más sencilla, sin dejar por ello de cumplir la condición fundamental del cuello, éste debe ser tallado en ángulos vivos en la misma arena del molde o mediante la colocación de piezas de forma, preparadas con arena de machos. Es decir, *galletas* confeccionadas con arenas de macho y debidamente estufadas. Esta galleta puede ser de un producto exotérmico que proporcione gran cantidad de calor en el cuello de unión. Si estos dispositivos de estrangulamiento cumplen ciertas condiciones se podrá conseguir el mantenimiento del estado líquido en tanto dura la solidificación. El cuello de la mazarota puede ser representado esquemáticamente según la siguiente figura.



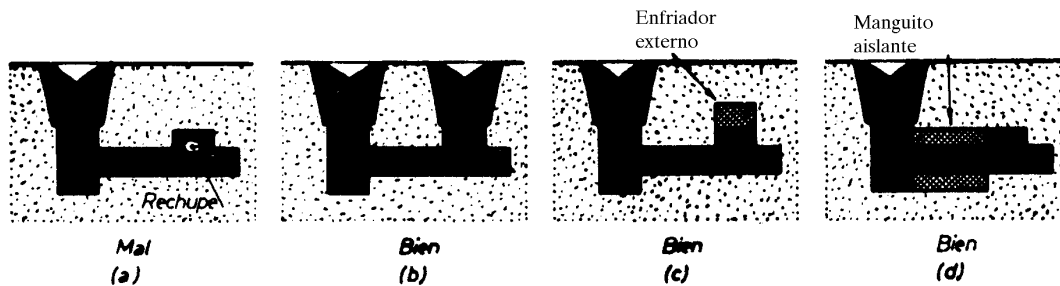
Sus dimensiones principales son su longitud  $l$  y su diámetro  $d$ . Diversas consideraciones teóricas, y la comprobación práctica de numerosos ensayos, han llevado a la conclusión de que para mazarotas de  $H = 1,5 D$ , debe cumplirse:

Acero:	$0,14 D < l < 0,18 D$	$d \leq 0,40 D$
Aleaciones de cobre:	$0,25 D < l < 0,35 D$	$d \leq 0,65 D$

El cuello de la mazarota no debe ser recto sino achaflanado, para permitir una mejor rotura y su localización.

## Enfriadores.

La acción de las mazarotas viene complementada en muchos casos por la presencia de enfriadores. Se ha visto anteriormente como la zona de acción de las mazarotas queda aumentada por el efecto de un enfriador. Existe muy poco escrito sobre el cálculo de los enfriadores, pero como norma práctica puede adoptarse que el espesor del enfriador debe ser por lo menos igual al doble del módulo de la parte de pieza interesada. En el caso de placas (módulo  $e/2$ , siendo  $e$  el espesor) dicho espesor debe ser igual al espesor de la placa. La longitud de contacto debe ser también igual al espesor de la pieza (fig. 8.8).



Los enfriadores pueden ser internos y externos. Los internos deben ser de la misma composición o similar que la pieza a obtener, y es deseable una fusión completa, o al menos superficial, del enfriador para no romper la continuidad de las piezas. Esto exige una selección cuidadosa del enfriador apropiado que, por otro lado, debe estar exento de humedad, grasa, etc. La figura 8.9 muestra diversos tipos de enfriadores internos y externos.

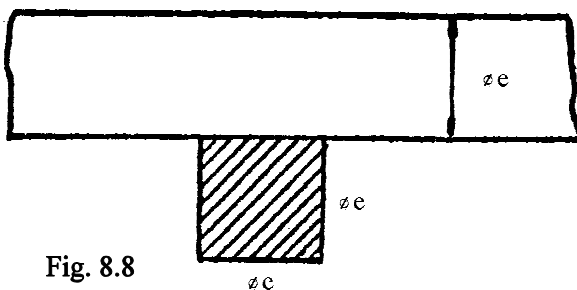


Fig. 8.8

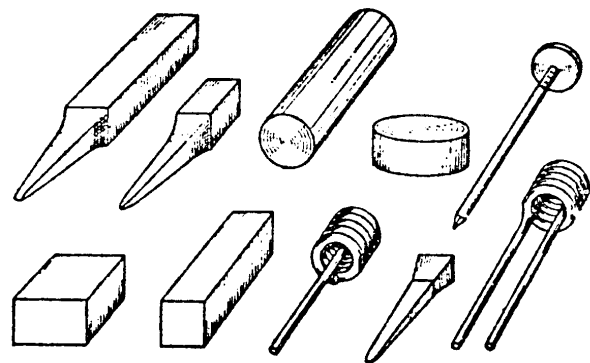


Fig. 8.9

## Mazarotas atmosféricas.

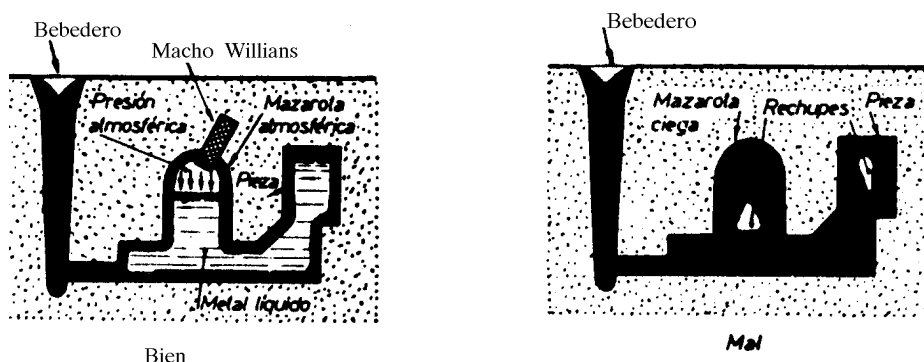
Las mazarotas que se han presentado en los párrafos anteriores son de *gravedad*: es el peso de metal líquido quien actúa como motor de la alimentación. Se hace necesario pues disponer las mazarotas en las partes altas de las piezas. Pero en muchos casos existen partes masivas en zonas inferiores de las piezas en puntos en que la alimentación por gravedad resulta imposible. En este caso la mazarota debe disponerse próxima a la zona en cuestión. Con frecuencia las mazarotas atmosféricas son alimentadas directamente por alguno de los ataques o canales de colada. Así se convierten en depósitos de metal caliente.

En este tipo de mazarota (que suele denominarse *mazarota ciega atmosférica*) se coloca

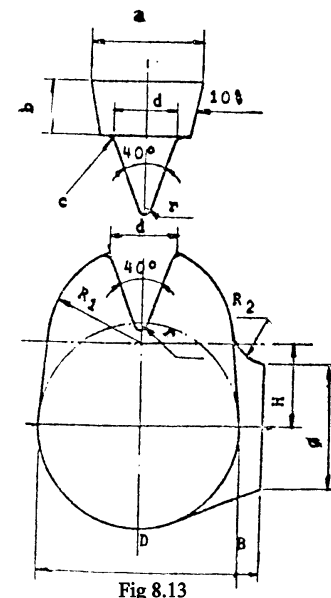
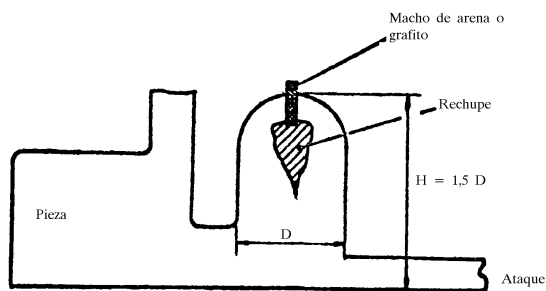


un macho permeable de arena o un lápiz de grafito en alguna de sus partes con objeto de que la presión atmosférica se establezca en el interior y el líquido residual sea empujado hacia la pieza con más eficacia. La presión atmosférica equivale a 1,35 m de columna líquida de acero, es decir, a una mazarota de gravedad de esa altura. De ahí la gran influencia de la colocación de ese pequeño macho que comunica la mazarota con la atmósfera. Además se permite la alimentación de ciertas partes de la pieza en dirección ascendente venciendo la acción opuesta de la gravedad.

Un método adoptado para el cálculo de las dimensiones de las mazarotas atmosféricas es el de Heuvers, basado en el diámetro del máximo círculo que puede inscribirse en la parte más masiva de la zona de pieza a alimentar. Todas las dimensiones de la mazarota son función de ese diámetro.



En general este método conduce a resultados muy similares a utilizar las tres reglas de las mazarotas abiertas normales. De este modo puede fijarse el módulo de la mazarota atmosférica. Tal módulo, por el hecho de existir este efecto beneficioso de la presión atmosférica, puede reducirse en un 5-10% sobre el que se obtendría realizando los cálculos para una mazarota abierta.



Las mazarotas atmosféricas son igualmente cilíndricas, con  $H = 1,5 D$ , rematadas por un casquete semiesférico. El cuello de unión pieza-mazarota debe responder a ciertas medidas que los ensayos experimentales han demostrado ser óptimas. En la figura 8.13 se presenta un tipo de mazarota corrientemente adoptado en Francia. El cuadro siguiente da, para acero, las diferentes cotas tipo de mazarotas según las dimensiones de las mismas.

MAZAROTAS									MACHOS		
D	R <sub>1</sub>	H	i	d	B	R <sub>2</sub>	r	Peso (kg)	a	b	c



Conformado por moldeo

70	33	29	45	25	7	14	2	2,22	42	15	3
90	43	37	58	30	9	18	2	4,66	49	14	4
110	51	47	71	35	11	22	3	8,37	56	17	4
150	71	67	97	45	15	30	4	22,10	70	20	5
190	91	89	123	55	19	38	4	46,50	84	24	6
250	120	125	162	70	25	50	6	109,00	105	27	8
290	140	150	188	80	29	58	6	174,00	119	30	9