

TEMA 10

DISEÑO CORRECTO DE LAS PIEZAS FUNDIDAS

Generalidades.

Hemos indicado los medios con los que el fundidor puede atenuar o suprimir, en las piezas moldeadas, los defectos debidos a las diversas contracciones que acompañan al enfriamiento de la aleación en el molde. Lo que hemos dicho demuestra que las técnicas que deben adoptarse (y que dependen de cada caso particular) complican el trabajo de moldeo. Si bien es cierto que es prácticamente posible, con los medios de los procesos de fundición, obtener casi todas las piezas deseadas, es igualmente cierto que una pieza que tenga formas que faciliten su alimentación y que permitan evitar la formación de rechupes internos, cuyas conexiones tengan valores tales que no se tema la aparición de grietas y cuyos espesores sean tales que el enfriamiento permita obtener en todo instante la casi completa isoterminia, se ejecutará con mucha mayor facilidad, y sobre todo, con una mayor seguridad de ausencia de defectos y de tensiones.

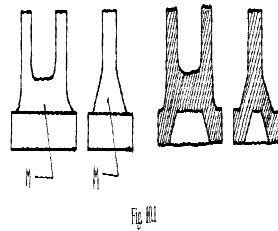
Es absolutamente necesario que los ingenieros, proyectistas, diseñadores de oficina, sepan cuáles son los defectos que pueden presentar las piezas moldeadas mal trazadas, que conozcan por qué medios, a veces complicados y siempre delicados de aplicar, el fundidor puede remediar los defectos posibles que resultan de un diseño incorrecto, con el fin de que se den cuenta que, si el remedio existe, es mucho más lógico, más seguro y menos costoso no imponérselo al fundidor, diseñando piezas (cuyas formas, secciones y espesores sean estudiados y determinados) que puedan obtenerse con procedimientos de moldeo sencillos.

Trazado de piezas para evitar el rechupe.

Sabemos que los rechupes se producen siempre en las partes de la pieza que permanecen en último lugar líquidas (o pastosas). La primera ley del trazado de una pieza de fundición es, por tanto, diseñar piezas que no presenten ninguna parte relativamente maciza, dicho de otro modo: evitar los puntos calientes, de donde:

PRIMERA LEY DEL TRAZADO: diseñar piezas cuyos espesores sean constantes durante el moldeo.

Se estudiará la forma general de la pieza con el fin de que se presente con espesores tan constantes como sea posible. ejemplo: el zócalo de la figura 10.1 está mal trazado, ya que



presenta en **M** una masa que necesitará un sistema de mazarotas muy importante. El vaciado del zócalo, tal como se indica, permite obtener una pieza que se presenta como un edificio formado por paredes de espesores iguales.

a) Unión de dos paredes: Dos paredes P_1 y P_2 , de igual espesor **E**, que se cortan bajo un ángulo α , dan lugar en la pieza, en su intersección, a la formación de un punto caliente (fig. 10.2), debido a dos causas:

- el aumento local de la sección que resulta de las medias cañas de las conexiones,
- el calentamiento local de los ángulos de arena **1-2-3-4**.

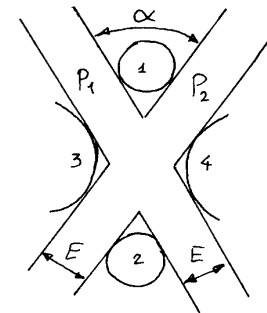


Fig. 10.2

El trazado de piezas deberá, por tanto, ser tal que se evitan estas uniones si es posible, o por lo menos que se estudien, para que el efecto de masa sea lo menos importante posible.

b) Unión de dos paredes en forma de V: Las paredes P_1 y P_2 dan en **M** una masa que será un punto caliente de la pieza (fig. 10.3); si el diseño es tal como se indica en la figura 10.4 el trazado permite evitar toda causa de punto caliente.

Valor del radio R_i . Este valor debe ser tal que el efecto del ángulo prácticamente no se haga notar. Para esto es preciso que, en cada instante del enfriamiento, las superficies isoterma deben ser paralelas a las paredes de la pieza. Esto implica que las paredes de la pieza sean ellas mismas paralelas, por tanto, que estas paredes tengan un espesor constante (lo cual ya hemos dicho), y que la media caña de conexión de radio R_i sea concéntrica con la curva de radio R_e ,

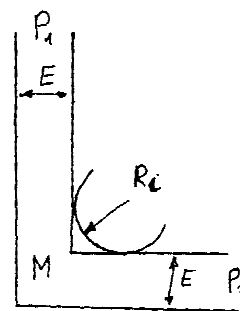


Fig. 10.3

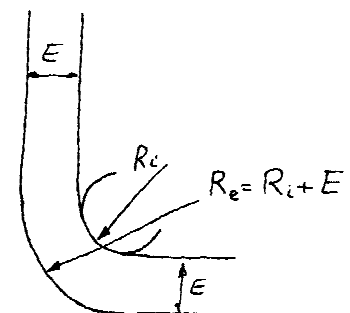


Fig. 10.4

luego:

$$R_e = R_i + E$$

Teniendo en cuenta lo precedente, R_i depende de:

- El valor del ángulo α de las dos direcciones de las paredes.
- De la temperatura de la aleación colada y de la naturaleza de esta aleación.
- De la conductibilidad térmica, o más exactamente, del poder refrigerante del material que constituye el molde en lugar de la unión.
- Del valor del espesor E de las paredes en conexión.

En muchas oficinas de proyectos tienen normalizados los valores de R más prácticos para su quehacer diario.

c) Unión de dos paredes en T: Dos paredes en T, de igual espesor E , conectadas por medias cañas de radio R , dan lugar en su unión a la formación de una masa (fig. 10.5).

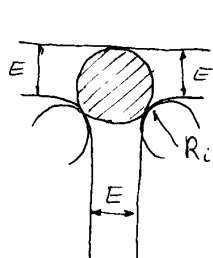


Fig. 10.5

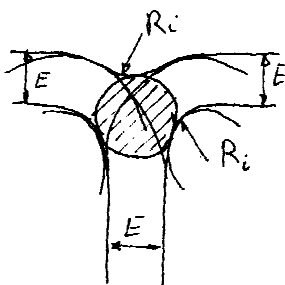


Fig. 10.6

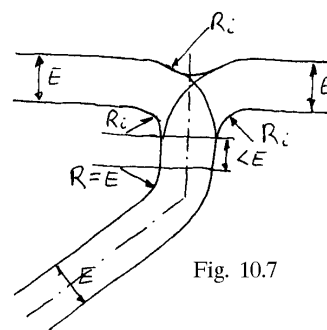


Fig. 10.7

La modificación del trazado indicado permite regularizar los espesores (fig. 10.6).

trazado indicado permite

Si las direcciones de las dos paredes no son perpendiculares, la masa en conexión aumenta y se hace preciso un diseño que logre la perpendicularidad (fig. 10.7).

d) Uniones en cruz: Tales uniones, que son siempre origen de una masa importante (diámetro del círculo inscrito próximo a $2E$), se evitarán y sustituirán por:

- el trazado de la figura 10.8, en el que las nervaduras han sido separadas de forma tal que la distancia de sus ejes sea por lo menos igual a $2R_i + E$.
- el trazado de la figura 10.9, en el que D es por lo menos igual a $1,5E$, haciendo uso de un macho.

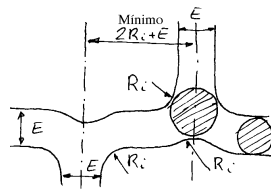


Fig. 10.8

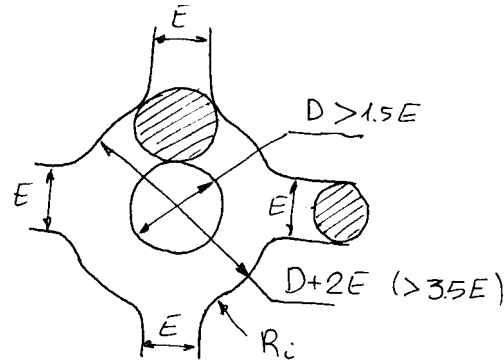


Fig. 10.9

Unión de tres paredes: Se pueden presentar casos.

1.- Cuando las tres paredes forman una Y. El trazado muestra que, a espesores iguales, el círculo de menor diámetro, tangente a las medias cañas de conexión de radios adecuados (círculo inscrito), se obtiene cuando las tres direcciones están a 120° (fig. 10.10). Por tanto, deberá buscarse esta disposición.

2.- Cuando las tres paredes forman una flecha. Esta disposición es particularmente mala y deberá evitarse siempre. Si esto fuera imposible deberá sustituirse por un trazado tal como el que se indica en la figura 10.11.

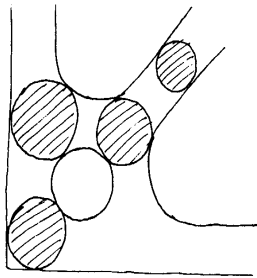


Fig. 10.11

3.- Cuando las tres paredes forman un triedro. El vértice del triedro se suprimirá y se sustituirá por una parte de esfera, tanto en el exterior como en el interior, siendo concéntricas las esferas de conexión y habiendo elegido siempre el mayor radio interior posible.

Quando dos paredes se cortan en X, su unión da lugar a la formación de una masa importante. Tal unión, que puede considerarse como dos uniones en Y muy próximas, debe evitarse siempre. Se modificará el trazado según la figura 10.12, escogiendo el ángulo lo más próximo posible a 120° .

Después de haber determinado, de acuerdo con el fundidor y las demás personas responsables del mecanizado, el valor de los sobreespesores de mecanizado a prever, se diseñará la pieza bruta de fundición de tal forma que sus espesores sean tan regulares como sea posible.

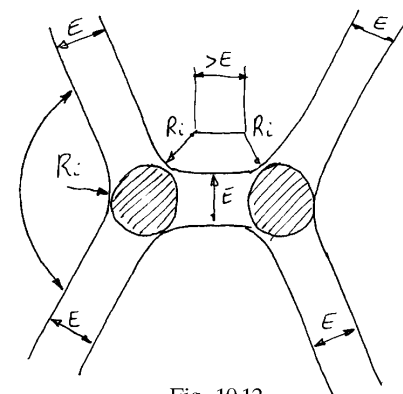


Fig. 10.12

Casos de piezas cuyos espesores no pueden mantenerse constantes.

La uniformidad de espesores no puede mantenerse siempre en las piezas antes de ser moldeadas. Incluso se puede decir que, con mucha frecuencia, es prácticamente imposible diseñar piezas en las que los diámetros de los círculos inscritos en las distintas secciones rectas sean

idénticos en todas partes.

SEGUNDA LEY DEL TRAZADO: *Cuando es imposible dar espesores constantes a una pieza de fundición, el trazado deberá ser tal que los círculos inscritos (o esferas inscritas) en cada sección horizontal de la pieza, tengan diámetros superiores o por lo menos iguales a los círculos inscritos en una sección horizontal inmediatamente inferior, estando la pieza en posición de colada.*

La pieza ideal considerada desde este punto de vista es el cono (o el tronco de cono), efectuando la colada estando el vértice colocado mirando hacia abajo del molde.

Este trazado permite realizar lo que se designa con los términos de:

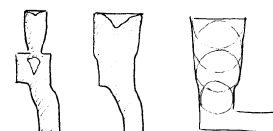


Fig. 10.13

- Solidificación dirigida de abajo a arriba, y regularmente.
- Automazarotado.

La regla del trazado deberá aplicarse no solamente a la pieza sino al conjunto de la misma, es decir, al sistema pieza-mazarota (fig. 10.13). En la figura 10.14 se muestran dos ejemplos de trazados de acuerdo con esta regla de solidificación dirigida. Para cada uno de éstos, se ha indicado a la derecha del eje vertical el trazado correcto, y a la izquierda el incorrecto, del que resultan los rechupes; las mazarotas se representan por medio de puntos. Los rechupes se indican en negro.

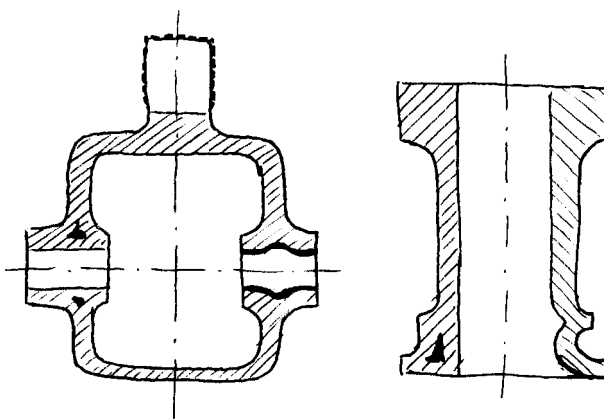


Fig. 10.14

El dibujo, que permite obtener la solidificación dirigida de abajo a arriba, debe tener en cuenta todos los espesores de mecanizado. Se trata de efectuar correctamente el trazado de la pieza de fundición y no el de la pieza terminada; y como hemos indicado, es indispensable ejecutar los diseños de piezas brutas moldeadas, incluso en los casos más sencillos.

Los diseños de piezas deben acotarse completamente, de tal forma que el modelista ejecute los modelos de acuerdo rigurosamente con las indicaciones del trazado. En particular, se definirán perfectamente los espesores en todos los puntos, y se indicarán claramente siempre los valores de las medias cañas y de los radios.

Es evidente que una pieza bruta de fundición, diseñada para obtener una solidificación dirigida de abajo a arriba, debe colarse en una posición bien determinada. Cualquier otra posición daría como resultado la modificación relativa de los espesores, el automazarotado no podría realizarse y naturalmente se producirían rechupes.

Deformaciones de paredes: Ciertas aleaciones de gran contracción de solidificación, y por tanto muy sensibles a los rechupes, no permiten obtener piezas sanas más que:

- si se respeta estrictamente la ley de las esferas inscritas (éste es en particular el caso de las aleaciones ligeras y del acero moldeado), o bien,
- si se colocan correctamente enfriadores internos o externos y si estos enfriadores son de masa y formas adecuadas.

Luego, cuando se trate de aleaciones con punto de fusión relativamente bajo (aleaciones de aluminio y las de magnesio), el empleo de enfriadores externos es, si no simple, por lo menos muy eficaz y casi siempre posible; no sucede lo mismo con aleaciones con punto de fusión elevado, tales como el acero moldeado. Cuando se trate de estas aleaciones, únicamente los enfriadores internos tienen un empleo prácticamente posible. Pero éstos no pueden disponerse en el molde sino cuando la pieza admita la heterogeneidad de estructura local que resulta de su empleo. Si la pieza exige la más perfecta homogeneidad posible, únicamente la solidificación dirigida de abajo a arriba permite obtener piezas sin rechupe.

A pesar de todo el empeño que ponga el diseñador en trazar piezas que, en general, permiten realizar un automazarotado, habiendo escogido bien el sentido de colada, existen numerosos casos en los que el destino de la pieza, los esfuerzos de su utilización, necesidades de montaje, etc., exigen que el dibujo se presente con variaciones de espesores, acumulaciones de metal, estando todo dispuesto de forma anárquica respecto a las condiciones normales de una alimentación que provoca la solidificación dirigida. En tales casos es preciso, por lo menos, que después que ha tenido lugar la colada pueda efectuarse perfectamente la solidificación dirigida; de ahí la necesidad de colar piezas brutas a veces completamente distintas de la pieza acabada, y cuyo trazado prevea sobreespesores por todas partes en que sea preciso para que, estando el molde en posición de colada, se respete la ley de las esferas inscritas.

La regla del trazado de tales piezas brutas así "deformadas" es la siguiente:

1º.- Dibujar la pieza tal y como debe quedar una vez terminada y lista para su montaje (pieza acabada).

2º.- Partiendo de este dibujo (sobre trazado, por ejemplo, con el fin de facilitar el trabajo material) dibujar la pieza añadiendo, donde sea necesario, los sobreespesores de mecanizado.

3º.- Inscribir un círculo en la pared que, durante la colada, sea el punto de la pieza más bajo.

4º.- Trazar entonces, ascendiendo hacia las partes altas de la pieza, círculos cuyos diámetros sean mayores o por lo menos iguales a los que tienen una *altitud* inferior. La forma de la pieza bruta viene entonces dada por la superficie que cubre todas las esferas cuyos círculos trazados anteriormente sean círculos mayores.

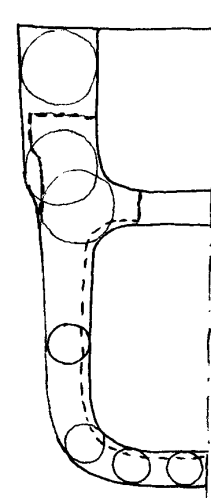


Fig. 10.15

Si la pieza no se mecaniza más que por una de las caras de la pared, los círculos trazados a lo largo de ésta serán tangentes a la cara no mecanizada (fig. 10.15).

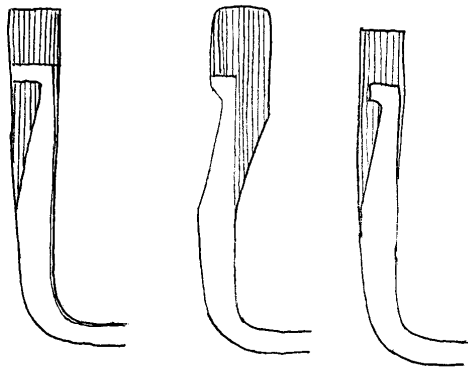


Fig. 10.16

Si se mecanizan las dos caras de la pared, los círculos trazados pueden entonces *arreglar* más o menos el dibujo de la pieza tal como se prevé en el punto 2ª de la regla precedente (pieza acabada más espesor mínimo de mecanizado), dando entonces un espesor suplementario al previsto en un principio. El trazado definitivo de la pieza bruta debe por tanto efectuarse de acuerdo con las personas responsables del mecanizado, las cuales deben indicar si, contado con los medios e instrumentos que poseen, prefieren que el material suplementario se disponga hacia el interior, hacia el exterior o bien debe repartirse de forma igual (fig. 10.16).

Cuando no existan razones imperiosas que impongan un trazado especial, el dibujo de la pieza bruta deberá disponerse siempre de forma que el moldeo quede simplificado al máximo. El trazado de la figura 10.17 (b) simplifica el moldeo (salientes en el mismo sentido, sin necesidad de macho). La forma (a) exige el empleo de un macho, o el moldeo con un aro intermedio partiendo de un modelo desmontable.

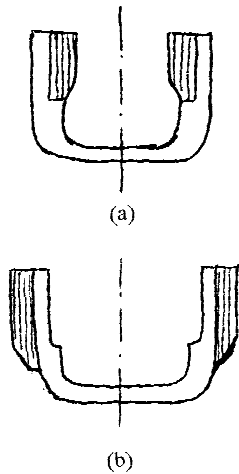


Fig. 10.17

deformada, no hay impedimento alguno, desde el punto de vista de la calidad de la misma, en modificar la forma de la pieza.

Antes de haber visto el dibujo de la pieza bruta, el diseño puede no haber pensado, o incluso previsto, así la forma de la pieza terminada, creyendo complicar demasiado el moldeo. Esto demuestra que es preciso:

1º.- Dibujar las piezas brutas moldeadas, inmediatamente después de haber trazado las formas de las piezas mecanizadas (y esto de acuerdo con el fundidor y las personas encargadas del mecanizado).

En la figura 10.18 puede observarse un ejemplo de trazado *deformante*. Tales trazados, si bien permiten obtener piezas sin rechupe, aumentan por supuesto el precio de la pieza terminada, debido al mecanizado suplementario. También se incrementa el precio porque es necesario colar más metal del que era preciso, en teoría, para obtener la pieza mecanizada. El transporte de la pieza bruta cuesta más caro, su manipulación es menos fácil debido a su peso. Todas estas causas hacen que se trate de evitar tales soluciones, y que no se empleen sino en caso absolutamente necesarios. Es el ingeniero, los responsables de las oficinas técnicas y los delineantes, los que deben buscar formas tales que no hagan necesarias esas complicaciones.

Por el contrario, si debido a la presencia de espesores necesarios en una parte de una pieza, se debe prever una pieza bruta

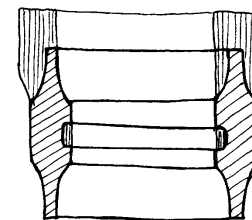


Fig. 10.18

2°.- Que sea el mismo responsable, o mejor dicho, el mismo diseñador el que se encargue de ambos trazados; el método que consiste en hacer trazar las piezas brutas, según el diseño de las piezas terminadas, a otra sección separada de la oficina de estudios es un error ya que no permite revisar o criticar un diseño según la pieza bruta con tanta facilidad y rapidez.

Trazado de las piezas para evitar las tensiones internas.

Aunque los rechupes no sean más que defectos externos especiales, dado que se encuentran localizados en las conjunciones de las partes gruesas con las delgadas, y que su masa es debida a lo que hemos llamado *efecto de ángulo*, es imprescindible estudiar por separado el trazado que permita evitar su formación; porque si la preocupación del ingeniero y del diseñador de estudios es dibujar piezas de espesores constantes, o en su lugar piezas que durante la colada presenten formas tales que permitan asegurar una solidificación dirigida de abajo a arriba, no es menos cierto que en muchos casos es imposible, por lo menos localmente, realizar estas condiciones ideales. El resalte en una pared delgada, la unión de dos paredes de espesores desiguales, son en ciertos casos necesidades impuestas por el destino de la pieza, la cual, a pesar de esto, debe estar perfectamente sana después de la solidificación. Lo que hemos indicado con respecto al efecto del ángulo, relacionado con la formación de grietas, demuestra que los ángulos vivos entrantes deben estar siempre absolutamente prohibidos en las piezas de fundición.

Las grietas y los rechupes no pueden evitarse más que si el radio de la media caña de conexión es suficiente, ya que si ese radio es demasiado débil el efecto del ángulo, aunque disminuido, es a pesar de todo suficiente para que se manifieste un principio de grieta o el comienzo de un rechupe.

Independientemente del radio de conexión que forma la media caña, la unión de dos partes de espesores distintos debe dar lugar a una variación progresiva de espesores, por una parte evitar la formación de la grieta de ángulos, y por otra parte que el rechupe exterior que se produce (efecto del ángulo combinado con la acción de la presión atmosférica) deje una parte de material suficiente para la conexión.

En la figura 10.19 el rechupe externo que se produce (siendo el radio de un valor suficiente para que no tengan lugar ni rechupes ni grietas) da como resultado el dotar localmente a la pieza solidificada de un espesor $e_1 < e$; esta disminución local de espesor puede conducir, durante el enfriamiento o mientras está la pieza funcionando, a una rotura como consecuencia de fatiga demasiado elevada en este punto. En la figura 10.20 la unión progresiva (en trazo fino) de la cavidad del molde, da a la unión una masa tal que después de la formación del rechupe externo, el espesor $e_2 > e$; no existe el temor de que aparezca ningún punto débil en esta zona.

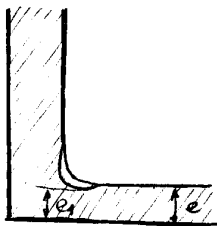


Fig. 10.19

En cuanto al
entre paredes de
p e r m i t i d o
efecto de las masas de
trata de sustituir un
solidificación de la
frente a estos defectos

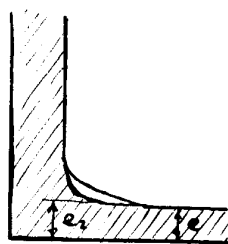


Fig. 10.20

valor de los radios y de las pendientes de unión
espesores distintos, únicamente la práctica ha
determinarlos. Estos valores dependen en
aleación interesadas, y por supuesto, ya que se
defecto por otro, de las características de
aleación considerada, que juegan un papel
(diversas contracciones, etc.).

Para que una
pieza moldeada esté exenta de tensiones
internas, tanto durante su enfriamiento como después del mismo, se precisa, en primer lugar, que
su masa se conserve isotérmica, desde el final de la solidificación hasta que alcance la
temperatura ambiente. Para conseguirlo se deben adoptar sistemas de distribución que no creen
grandes diferencias de temperatura en las distintas zonas de las piezas; al mismo tiempo los
moldes se deben construir de forma que no impidan la libre contracción.

Cuando se producen tensiones internas, los esfuerzos resultantes son capaces de producir
roturas, grietas y deformaciones (fig. 10.21 y 10.22). El fenómeno es particularmente intenso
cuando el metal está aún en estado pastoso (dendritas más líquido) o inmediatamente después
de la solidificación, cuando su resistencia es todavía muy baja. Las grietas así formadas pueden
ser superficiales o internas.

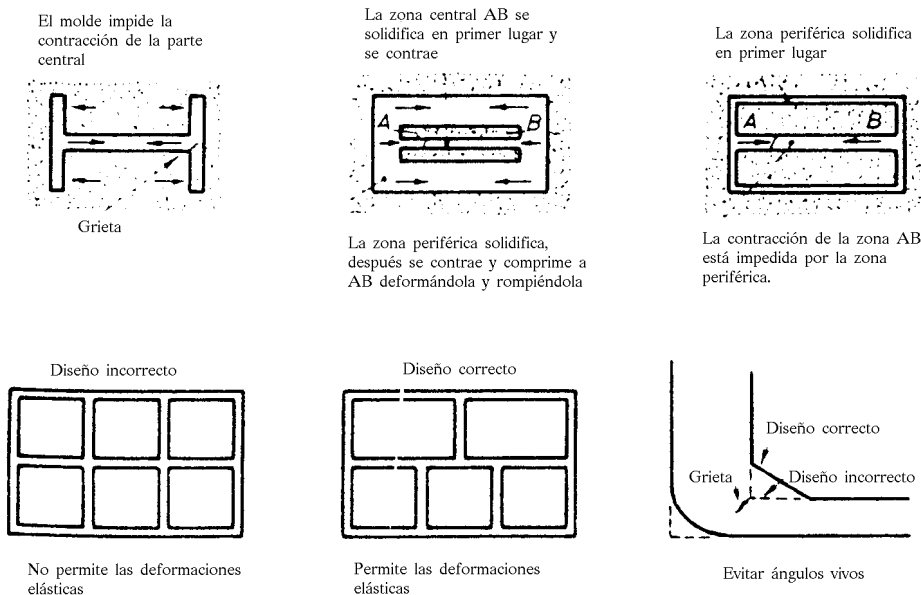


Fig. 10.21



Estos defectos se pueden evitar, en parte, si se tienen en cuenta las siguientes reglas:

1) Diseñar la piezas de forma que se mantengan los espesores constantes y se supriman los cambios bruscos de sección (ángulos vivos entrantes), sustituyéndolos por radios de unión adecuados o uniones progresivas.

2) Comenzar la colada por las partes más delgadas y acelerar el enfriamiento de las más voluminosas con enfriadores externos o internos.

3) Emplear moldes y machos lo suficientemente deformables para que cedan a la contracción.

4) Adoptar para las piezas formas que se puedan deformar libremente sin crear ninguna rigidez local. Las tensiones debidas a la contracción, a lo sumo sólo deben producir flexiones elásticas en ciertas partes de la pieza.

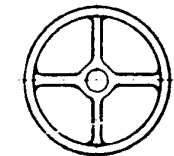
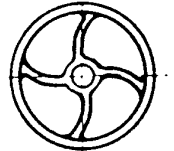
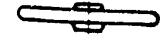
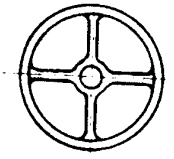


Fig. 10.22