

# **FABRICACIÓN DE CAMISAS PARA MOTORES DIESEL**

*Susana de Elío de Bengy*

*Enrique Tremps Guerra*

*Daniel Fernández Segovia*

*José Luis Enríquez*

**E.T.S. de Ingenieros de Minas  
Universidad Politécnica de Madrid**

*Diciembre 2012*

El presente trabajo fue publicado en 13 partes en la revista FUNDI Press entre septiembre de 2010 y septiembre de 2011.

Reunimos ahora en un solo documento todos estos artículos para su publicación en el repositorio de la UPM.

Para contactar con los autores:

José Luis Enríquez: [joseluis.enriquez@upm.es](mailto:joseluis.enriquez@upm.es)

Enrique Tremps: [enrique.tremps@upm.es](mailto:enrique.tremps@upm.es)

# Fabricación de camisas para motores diésel (Parte 1)

Por Susana de Elío de Bengy; Enrique Tremps Guerra; Daniel Fernández Segovia y José Luis Enríquez

*Si algún lector necesita alguna imagen ampliada, comuníquenoslo a [pedeca@pedeca.es](mailto:pedeca@pedeca.es) y se le enviará a mayor tamaño.*

## Introducción

Con el presente artículo iniciamos una serie en la que se intentarán revisar los procedimientos de fabricación de piezas cilíndricas, tanto huecas como macizas. Estas piezas se obtienen por conformación en estado líquido (moldeo y colada) o sólido (laminación y soldadura). En este conjunto se tratarán, entre otras piezas, algunas como:

- Camisas de motores Diesel de potencia media o alta, moldeadas en arena, así como piezas huecas (columnas, farolas, tubos y accesorios) no obtenibles por centrifugación.
- Camisas de motores pequeños y compresores, tubos de fundición destinados a aguas potables o a desagüe, todo ello obtenido en molde metálico, bien atmosférico o bien por centrifugación.
- Cilindros de laminación, trapiches de azúcar y rodillos de molino colados en molde de arena, metálico, mixto o por refusión bajo electroescoria.
- Tubos "con costura" obtenidos por cilindrado y soldadura de chapa y tubos "sin costura" obtenidos por laminación o extrusión seguidas de laminación.

En la fabricación de camisas de motores pueden emplearse los tres métodos clásicos de moldeo, es decir, en arena, coquilla o centrifugación. El moldeo en arena es el adecuado para camisas de motores Diesel de potencia media o alta, de dos o cuatro tiempos. A continuación, se describen los sistemas a emplear para estas camisas.

## 1. GOLADA HORIZONTAL O VERTICAL

Las camisas están sometidas a severos controles de recepción y han de ser perfectamente herméticas, ausentes de cualquier poro o rechupe que origine pérdidas de presión. Al principio, las piezas se colaban horizontalmente (FIGURAS 1, 2, 3, 4 y 5), empleando arena sílice aglutinada con bentonita como material de molde. Las entradas de caldo estaban en un extremo de la camisa, mientras que en el otro extremo se encontraban los respiros de gases y rebosaderos del primer hierro que atraviesa la cavidad de molde. Algunos tubos unitarios o de series cortas se fabrican todavía por este método (FIGURA 6).

Este sistema de moldeo horizontal, frente a una relativa sencillez del modelaje y proceso de moldeo, adolece de falta de calidad y sanidad de las piezas fundidas. Efectivamente, al colarse la pieza con su eje de simetría en posición horizontal, las impurezas (tierra, escoria, óxidos metálicos) arrastradas por el caldo flotan en él hasta llegar a la generatriz superior, a lo largo de la cual quedan retenidas. Al mecanizar la pieza aparece una línea en esa zona de la camisa, que no "limpia" y precisa de grandes creces de mecanizado lo que, a su vez, repercute desfavorablemente en los costos de esta operación. También se complica la alimentación, compacidad y estanqueidad de las camisas. El resultado de este sistema de moldeo y llenado se muestra en la FIGURA 7.

La disposición horizontal presenta una desventaja adicional: Al quedar el macho enteramente sumergido en el caldo, tiende a flotar, con lo que la cami-

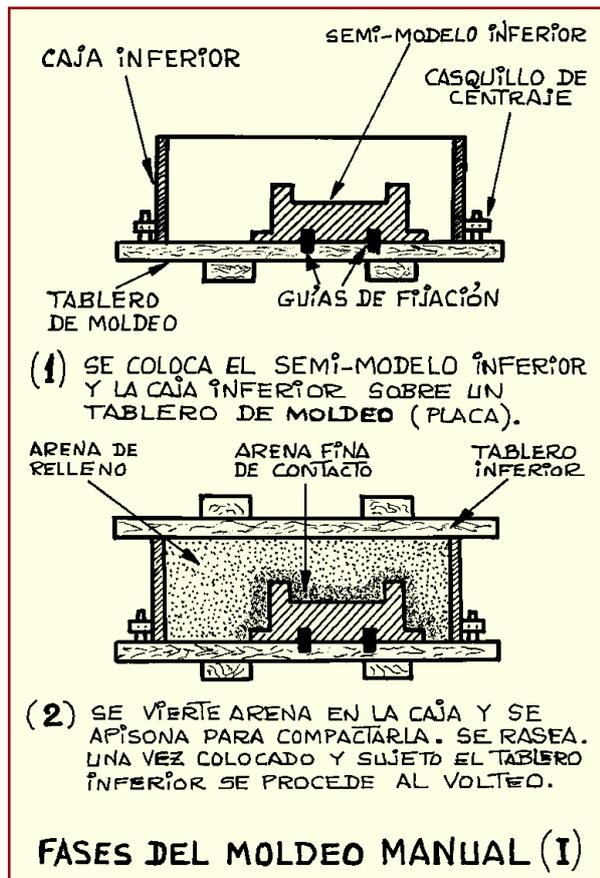


Figura 1.

sa puede salir descentrada y con espesores de pared desiguales. Si el macho no lleva armadura puede llegar a romperse, lo cual daría lugar a entrada de caldo en el "viento" del macho y sopladura del mismo. Con toda seguridad, pieza defectuosa.

La solución adecuada para estas dificultades es la colada vertical, es decir, con el eje geométrico de la camisa dispuesto en posición vertical. Se derivan algunas ventajas:

- Al pasar todo el caldo por la zona superior de alimentación (mazarota) la recalienta, obteniéndose así un gradiente térmico favorable. Esta circunstancia mejora la calidad interna y estanqueidad de la pieza. Se tiene caldo caliente y cavidad caliente en la parte superior alimentadora y caldo "frío" en cavidad "fría" en la parte inferior, alimentada, del molde. La resultante de ambas circunstancias es una alimentación óptima y eficiente, con la consiguiente repercusión favorable sobre la sanidad de las piezas fundidas.
- La mazarota, además de sobrecalentada, está toda ella por encima del nivel superior de la pieza,

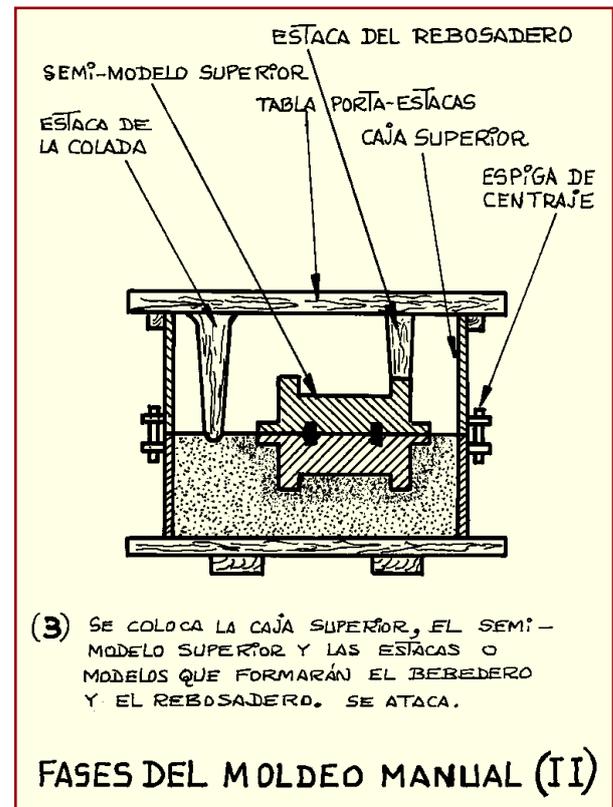


Figura 2.

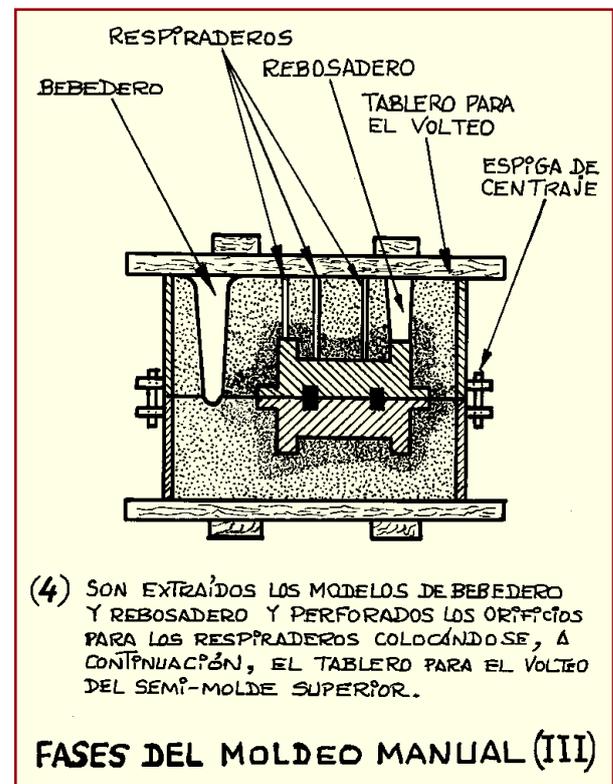


Figura 3.

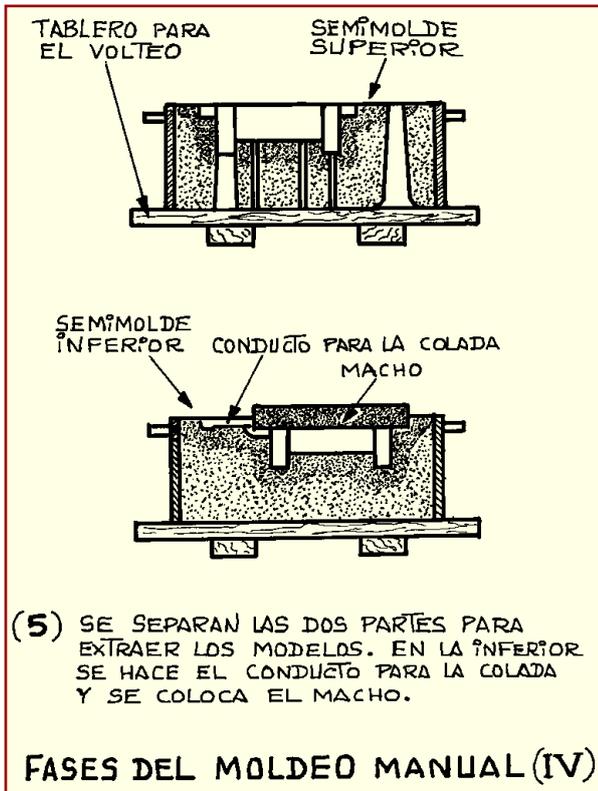


Figura 4.

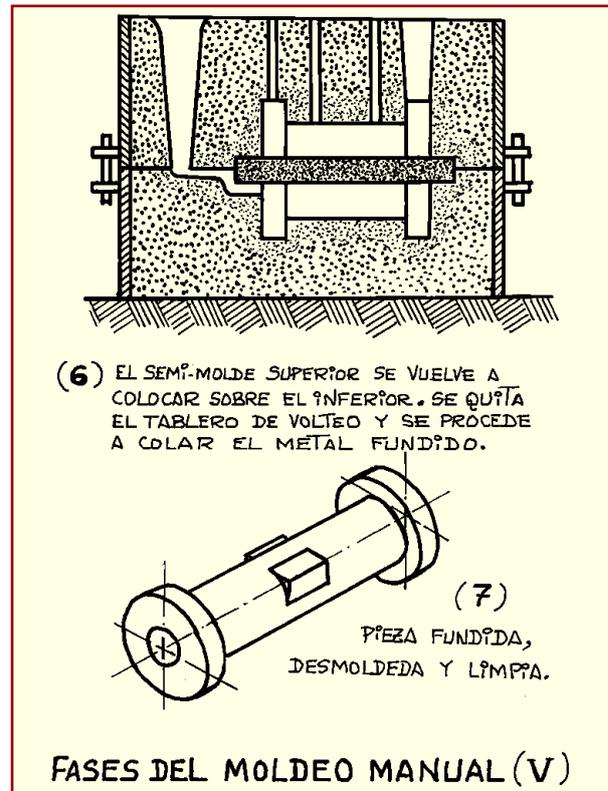


Figura 5.

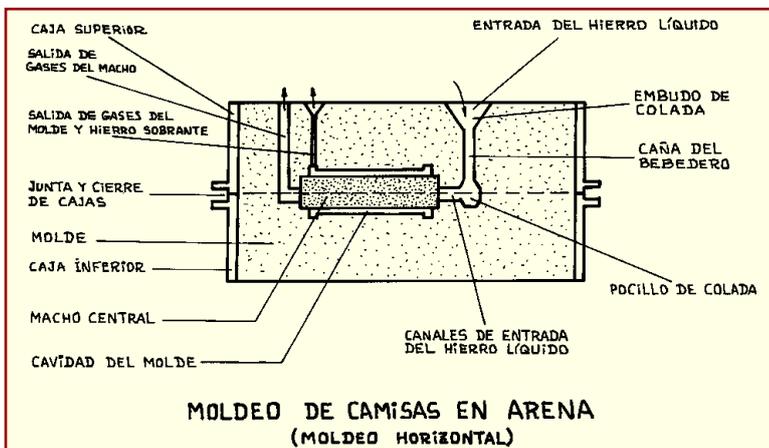


Figura 6.

con lo que la acción de carga ferrostática y el rendimiento de alimentación también se ven favorecidos. Se consigue una eficaz acción alimentadora con el mínimo desperdicio de caldo, lo que, a su vez, redunda en menores costos de producción.

- Se suprime el uso de bebederos, respiros, etc., que son sustituidos por una mazarota fácil de cortar en el torno. Esto reduce los tiempos y costos de rebarba.



Figura 7.

La FIGURA 8 ilustra la solución vertical conjunta para una camisa de tamaño pequeño. El sistema de llenado para una pieza relativamente pequeña como es ésta comprende un bebedero de 22 mm de diámetro, que lleva el hierro líquido por un conducto hasta un canal distribuidor anular colocado en la "portada" (asiento) del macho central. Cuatro ataques de colada, cada uno de 4 mm de espesor y 20 mm de longitud, llevan el hierro líquido desde el canal anular hasta la mazarota situada bajo él.

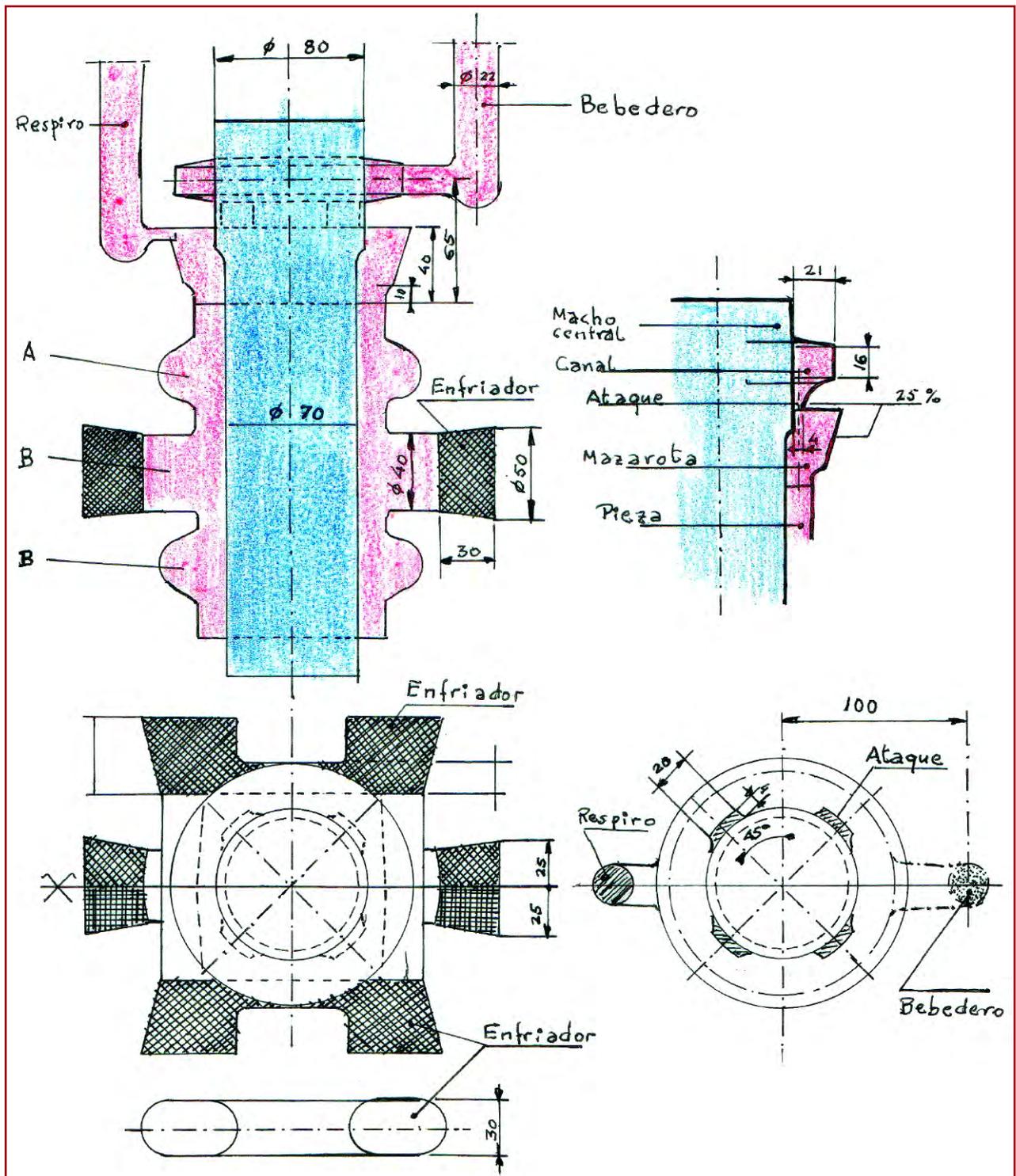


Figura 8.

El diámetro de la parte superior del macho central se aumenta ligeramente para que los ataques de colada se proyecten sobre un diámetro que corresponde al punto medio del espesor de la cavidad de molde de la pieza. Así se evita que durante la cola-

da el chorro baje lamiendo el macho central y las paredes del molde.

Hay también enfriadores externos con la forma y dimensiones vistas en la figura. Es preciso tomar

precauciones con ellos antes, durante y después de su utilización; manteniéndolos limpios, secos y desoxidados.

Hace años se hizo un estudio analítico de la repercusión que tiene el diseño del sistema de colada sobre el porcentaje de rechazos en camisas coladas de tres formas distintas. El estudio estadístico llevó a las siguientes conclusiones:

- Camisas coladas verticalmente por el fondo, en sifón (FIGURA 9), con caudales de hasta 1.000 kg por minuto presentaron un 90 % de rechazos por poros y rechupes.
- Piezas coladas a través de ataques escalonados, tal como se verá más adelante, tuvieron 50 % de rechazos.
- El rechazo colando por arriba fue de sólo un 3 - 5%.

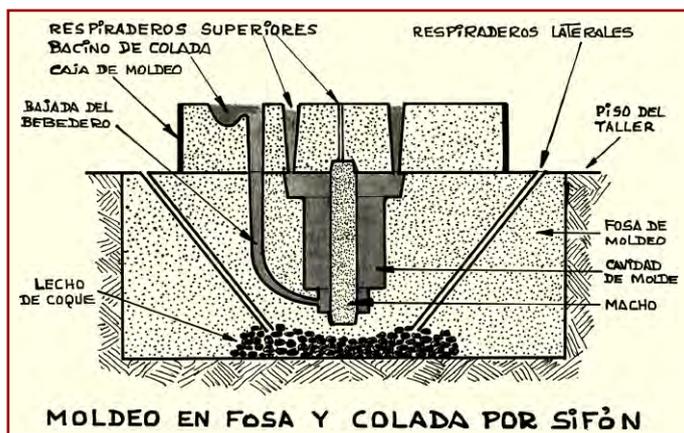


Figura 9.

En el caso de camisas de motores de dos tiempos la existencia de las lumbreras puede plantear algún problema cuando se cuele por arriba. El choque del metal en caída contra los machos de las lumbreras puede arrastrar material de molde y machos provocando arrastre de tierra, poros e inclusiones. Para obviar eso se recurre a un sistema mixto: Se comienza entrando por el fondo ("ataque en cuerno") con sifón para tener llenado tranquilo sin turbulencia ni erosión, hasta superar el nivel de los machos de lumbreras; al llegar a este nivel se completa el llenado colando "en lluvia" por arriba para tener gradiente térmico favorable.

## 2. MOLDEO DE CAMISAS GRANDES

Cuando se fabrican camisas mayores para propulsores de buques, el moldeo se hace en arena quími-

ca por las razones que ya se han dado anteriormente y la pieza se cuele en posición vertical (FIGURA 10). Se acentúa el gradiente térmico favorable de solidificación mediante el empleo de enfriadores metálicos externos, incrustados en la pared del molde, en la parte inferior de la cavidad de fusión.

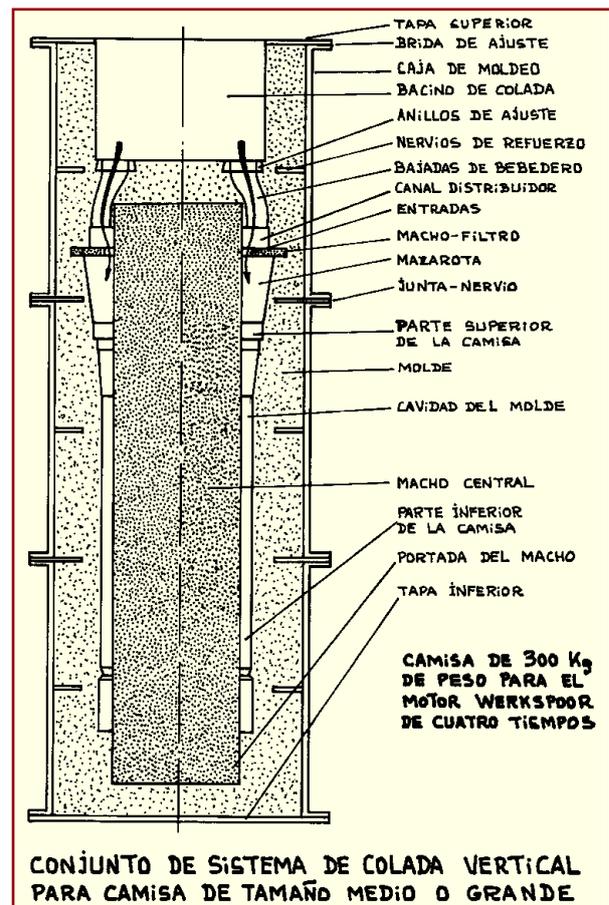


Figura 10.

Detalles a tener en cuenta en la fabricación se dan en los capítulos que siguen.

### 2.1. Cajas de moldeo

Ha de tenerse presente que todas las operaciones del moldeo se hacen en posición horizontal, pero la colada se efectúa con el molde colocado verticalmente, lo que supone el peligro de fugas por la junta de unión entre ambos semimoldes. Por ello las cajas han de ser indeformables y tener un cierre lo más hermético y seguro posible, cerrando la junta por medio de cuñas (chavetas) y/o tornillos. Las cajas son rectangulares y alargadas, estando abiertas por el extremo donde se ubica la artesa de colada

(FIGURA 11). Deben tener puños, mangones y encajes que faciliten su manejo por el puente-grúa u otros medios de manutención para preparación, cierre y posicionamiento en vertical en el foso de colada. A veces, se utilizan cajas de moldeo de sección semicircular, de forma que entre dos cajas configuran un cilindro. Esto facilita el manejo del conjunto, reduciéndose la ocupación de grúa y pescante para las maniobras de volteo; así se mejora la organización del taller (FIGURAS 12 y 13) y se reduce la cantidad de arena utilizada.

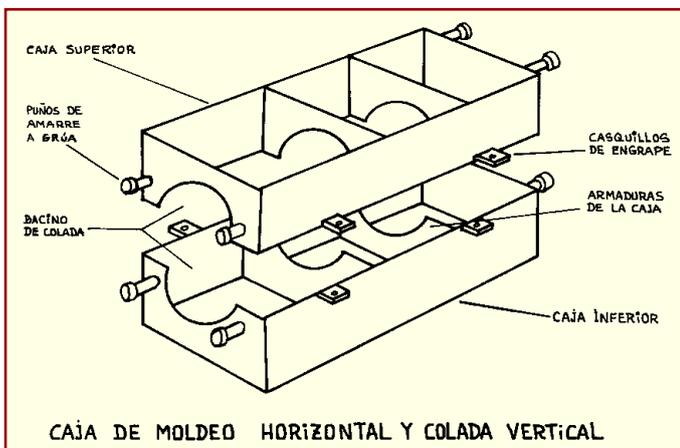


Figura 11.

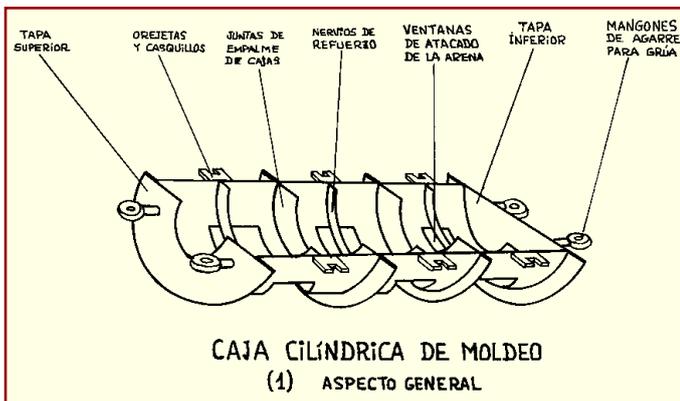


Figura 12.

## 2.2. Modelos

En comparación con otras piezas de tamaño similar, los modelos son relativamente baratos, ya que son cuerpos de revolución que sólo precisan trabajo de torno para su construcción; esto facilita que sean metálicos o de material sintético en lugar de madera. En el caso de motores de dos tiempos, la cosa se complica debido a la colocación de las por-

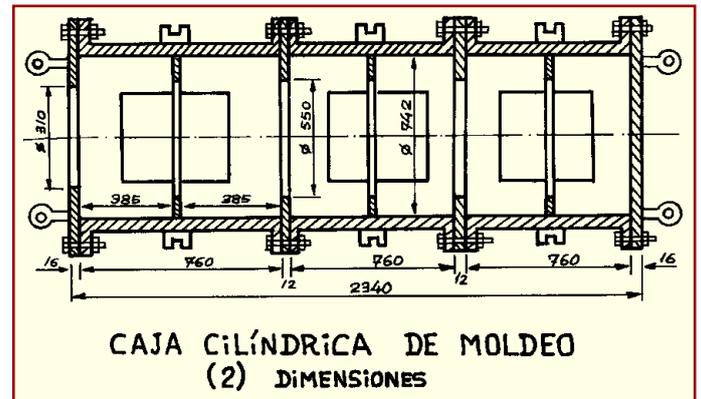


Figura 13.

tadas de los machos de las lumbreras de admisión y escape y, en algunos casos, cámaras de agua.

Lo ideal es colocar los modelos (FIGURAS 14 y 15) sobre placas provistas de casquillos y espigas de guía que facilitan su ajuste a las cajas de moldeo y evitan la obtención de piezas variadas.

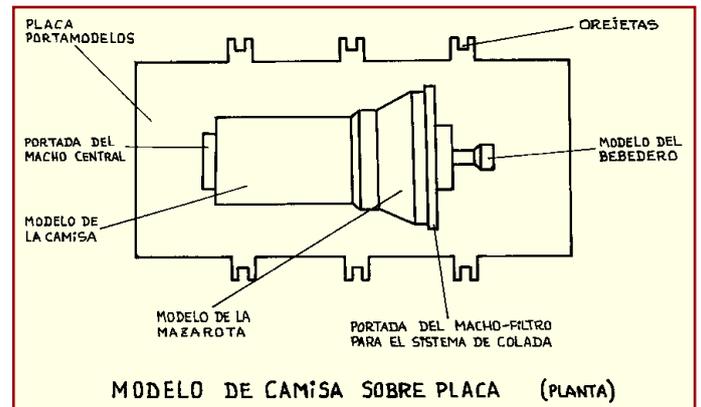


Figura 14.

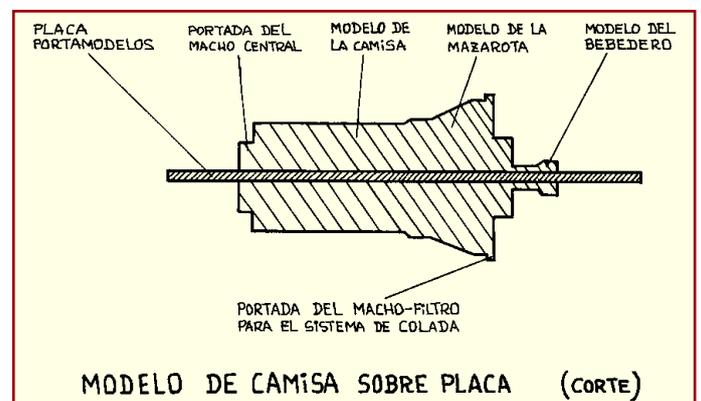


Figura 15.

En la FIGURA 16 se puede ver un conjunto de placa modelo y caja, con unos salientes adosados que tras el desmoldeo van a dejar en la cavidad de molde las portadas para implantación de los enfriadores externos. Estos enfriadores son anulares siempre que sea posible.

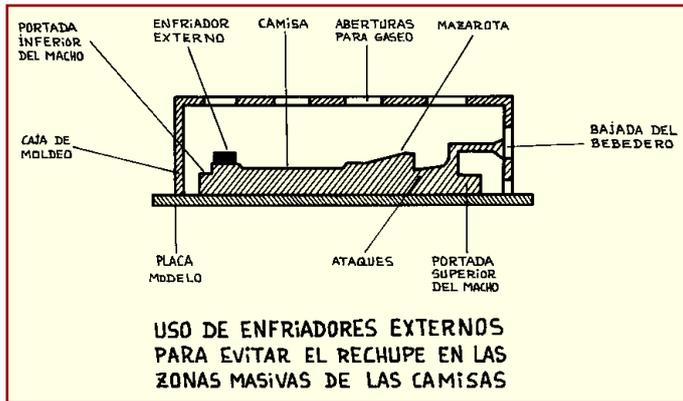


Figura 16.

Camisas de tamaño muy grande o piezas cilíndricas o tronco-cónicas de calderería, hidráulica o siderurgia obligan al empleo de herramienta (modelos y cajas) de tamaño excesivo para una manipulación cómoda y eficiente. En estos casos suele recurrirse al moldeo a terraja, casi siempre en fosa, según una solución similar a la adoptada para la fabricación de campanas, cucharones de escoria, carcasas y rotores de turbinas, hélices de barco, etc. La FIGURA 9 ya vista, muestra una camisa moldeada en foso mediante este sistema de terraja.

Las FIGURAS 17, 18, 19, 20 y 21 muestran el equipo para moldeo a terraja. Entre otros componentes se tienen, rangua, árbol, collarín, abanico, bandera y tabla. En la FIGURA 22 puede verse el foso donde se efectúa el moldeo a terraja y la colada de piezas navales de gran tamaño, una hélice de buque en este caso.

### 2.3. Arenas de moldeo y machos

Las mezclas para moldeo en arena se dividen en dos grandes grupos, según propusieron Alberto Muro e Ignacio Fernández de Aguirre, de la Compañía Euskalduna de Construcción y Reparación de Buques, hace años en su serie de artículos "Arenas de Moldeo" publicados en la desaparecida revista "Fundición". Éstos son las arenas "aglutinadas" y las "aglomeradas".

La arena base es el componente fundamental de los materiales para moldeo y machería. En la pre-

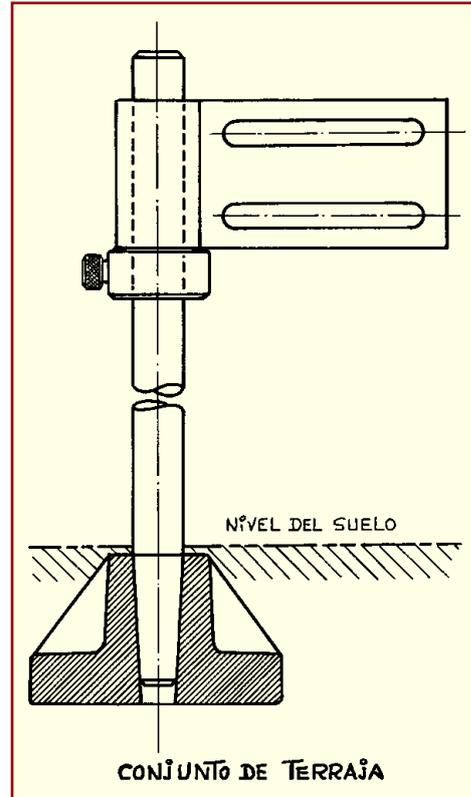


Figura 17.

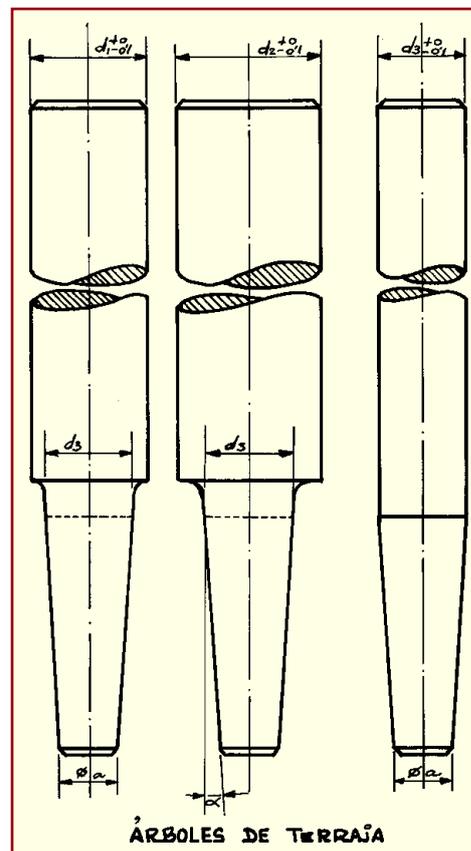


Figura 18.

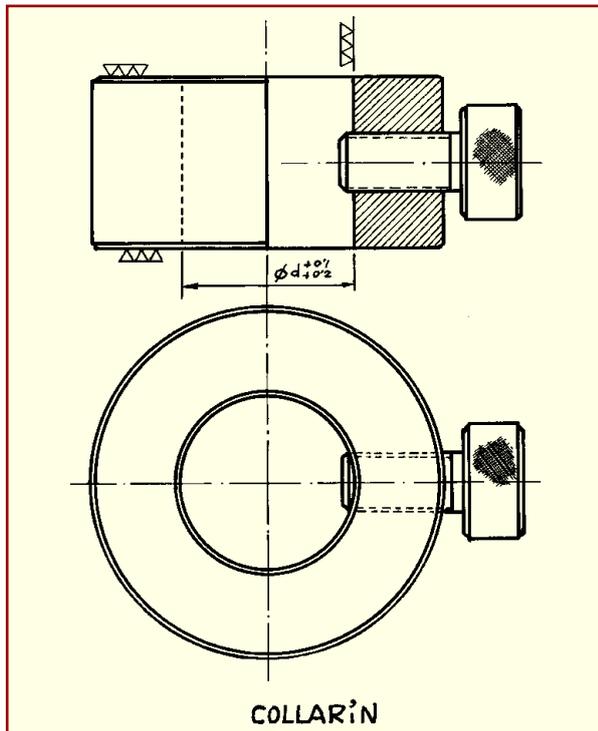


Figura 19.

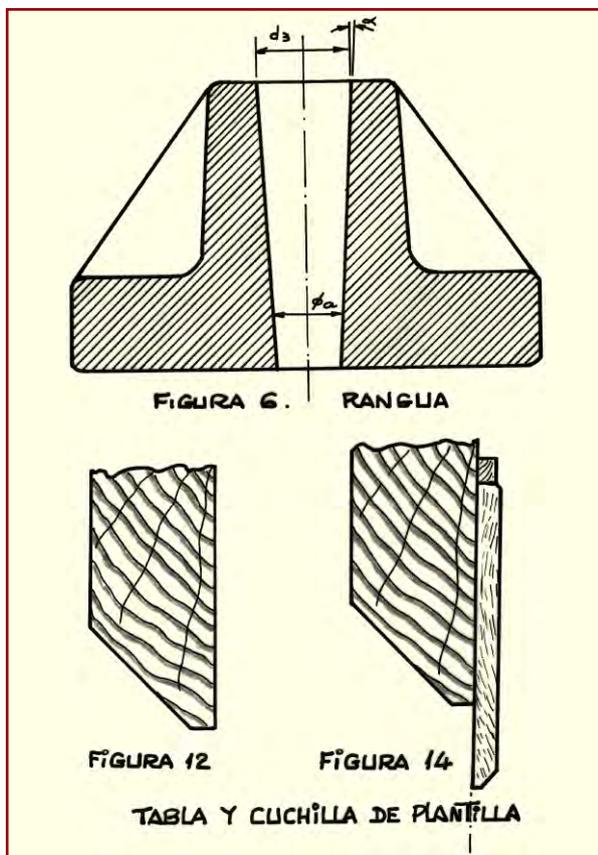


Figura 20.

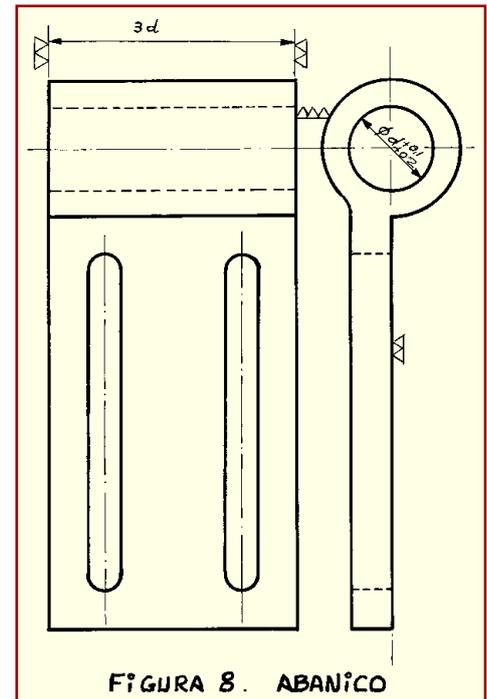


Figura 21.

paración de estos dos grupos de arenas las ecuaciones fundamentales podrían escribirse así:

arena base + aglutinante + aditivos  
→ arena aglutinada

arena base + aglomerante + aditivos  
→ arena aglomerada

La mayoría de las arenas base para fundición son síliceas ( $\text{SiO}_2$ ). En algunos casos los granos de sílice están asociados con diminutas cantidades de feldspato, mica y otros minerales comunes. Muchas arenas de fundición contienen también pequeñas cantidades de minerales tales como ilmenita ( $\text{FeO}(\text{TiO}_2)$ ), circón ( $\text{ZrSiO}_4$ ) u olivino ( $\text{MgO}(\text{FeO})(\text{SiO}_2)$ ).

El olivino es una roca natural que consta de una solución sólida de ortosilicato de magnesio ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  forsterita) y ortosilicato de hierro ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  fayalita). La composición del olivino puede variar, y sólo el que tiene un elevado contenido de forsterita, es útil como arena base para fundición. Las arenas de circón ( $\text{ZrSiO}_4$ ), normalmente llamadas “de circonio” en el lenguaje coloquial de taller, contienen pequeñas cantidades de ilmenita, rutilo, granate y otros minerales de peso específico elevado. Se están empleando en gran escala para moldes y machos especiales. Lo mismo ocurre con la cromita, “siderocromo” o “espinela de cromo-hierro” ( $\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{FeO})$ ), también empleada en moldeos de piezas especiales.

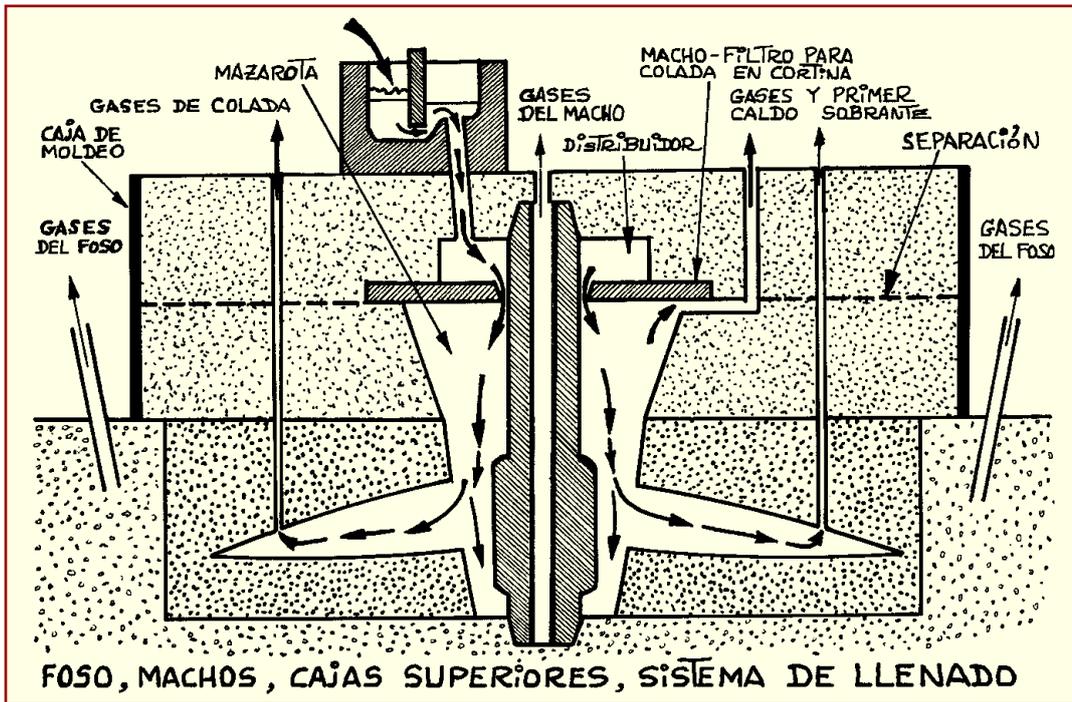


Figura 22.

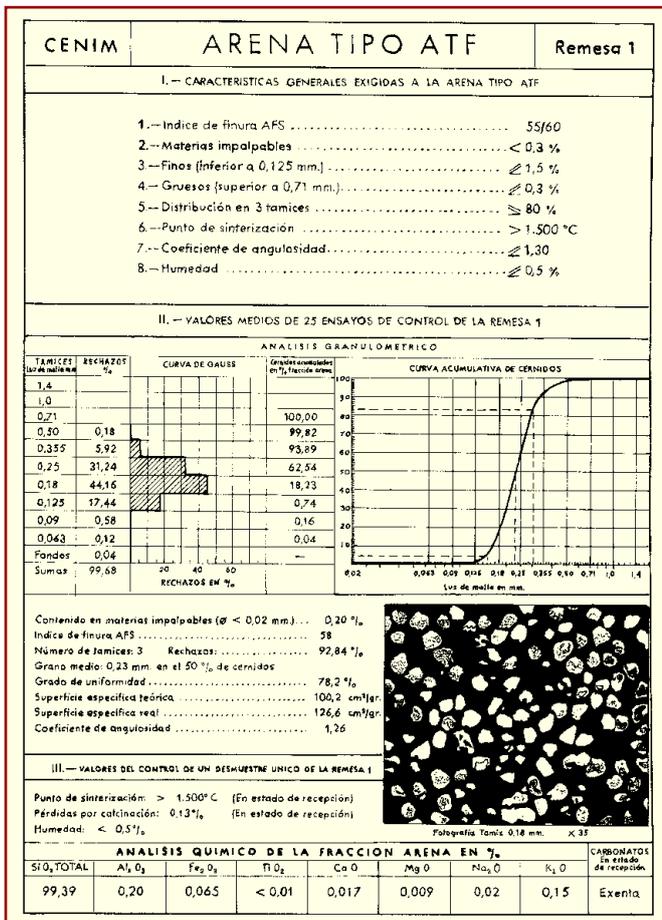


Figura 23.

### 2.3.1. Arenas aglutinadas

El primero de los grupos lo constituyen las “arenas aglutinadas” compuestas por la combinación de una “arena base” de sílice, cromita, circón u olivino, y un “aglutinante”, casi siempre una arcilla del grupo de las montmorillonitas (bentonitas). Cuando en el malaxador se adiciona agua (líquido polar y con orientación) a la mezcla, entre el aglutinante y el agua se originan atracciones electrostáticas. Estas fuerzas son responsables de la cohesión entre los granos de la arena base. Esta cohesión es de carácter físico y no muy fuerte, razón por la cual las características mecánicas de las arenas no son muy satisfactorias de cara a su empleo para piezas de gran responsabilidad.

Las arenas base empleadas son de granulometría 60 – 80 AFS (Sociedad de Fundidores Americanos). En la FIGURA 23 se tiene la hoja de características de una arena base de primera calidad extraída de canteras de la zona de Arcos de la Frontera (Cádiz). Durante muchos años esta arena la tomó la Asociación Técnica de Fundición, por su calidad, como Arena Tipo para ser material base de ensayos de aglutinantes y aglomerantes. En machos con poca penetración de caldo la arena es 40 AFS, es decir, menos fina.

(Continuará)

# Fabricación de camisas para motores diésel (Parte 2)

Por Susana de Elío de Bengy; Enrique Tremps Guerra; Daniel Fernández Segovia y José Luis Enríquez

*Si algún lector necesita alguna imagen ampliada, comuníquenoslo a [pedeca@pedeca.es](mailto:pedeca@pedeca.es) y se le enviará a mayor tamaño.*

Suelen emplearse, además de la bentonita, aditivos que mejoran el comportamiento de las mezclas aglutinadas en la colada. Uno de ellos, el más empleado para piezas de fundición, es el polvo de carbón, que mejora las propiedades de la arena a la que comunica un color negro característico.

Cuando el hierro líquido penetra en la cavidad del molde, el calor del metal provoca una especie de cracking de la hulla, generando hidrocarburos que forman una finísima capa gaseosa entre el metal y el molde. Esta capa impide el contacto físico entre la fundición líquida y los granos de arena de contacto. Se derivan dos ventajas: Se evita la penetración de caldo entre los granos de arena y se mejora el acabado superficial de la pieza obtenida.

Por ello esta arena, en el lenguaje coloquial de taller, recibe también el nombre de “arena negra”. Como se usa sólo para elaboración de moldes también recibe el nombre de “arena de moldeo”.

Ha de tenerse también en cuenta que es muy usual la utilización de mezclas con arenas base completamente nuevas en la zona adyacente al modelo (arenas “de cara” o “de contacto”), completándose el molde con arenas recicladas (arenas “de relleno”) que reciben pequeña o nula aportación de arena base nueva. En instalaciones muy mecanizadas, y por razones de diseño y productividad, no se emplea la dualidad contacto-relleno sino que se recurre a lo que se llama “arena única”, de calidad intermedia.

La proporción de aglutinantes, que se da refiriéndose a 100 kg de arena base, tiene unos márgenes

que dependen de su calidad, compatible con la obtención de unas características aceptables. Las cifras que se dan están basadas en experiencia práctica o en datos encontrados en la documentación manejada. Caso de prepararse una mezcla con otros productos debe ensayarse previamente hasta dar con la mezcla óptima.

Ha de tenerse presente también que en las mezclas cuya formulación se da a continuación, la bentonita utilizada fué la bentonita sódica americana (Western bentonite, bentonita de Wyoming) cuyo nombre comercial era el de bentonita Volclay. Las mezclas pueden elaborarse también con otros tipos de bentonitas sódicas que no sean americanas. Si se han explicitado aquí ha sido porque en su día se consideró aglutinante de gran calidad y uso universal. Otras bentonitas sódicas de importación y algún tipo nacional han proporcionado características tan elevadas como la citada.

Algunas composiciones sugeridas y sus respectivas características mecánicas, son:

ACS. Arena de contacto (1) para seco (estufado) de acero:

Arena 65 - 70 AFS	100
Bentonita	5
Arcilla de Alcañiz	5
Cereal	0,8
Lejía de bisulfito (Goma Evans)	0,5
Agua	7-8
Permeabilidad en verde	120
Resistencia a compresión en verde	6 N/cm <sup>2</sup>

Permeabilidad en seco	> 150
Resistencia a compresión en seco	130 N/cm <sup>2</sup>
Resistencia a cizalla	40 N/cm <sup>2</sup>
Deformación	0,60 - 0,80 mm

**ACS.** Arena de contacto (2) para seco (estufado) de acero:

Arena 65 - 70 AFS	100
Bentonita	5
Arcilla de Alcañiz	5
Melaza	1,5
Agua	8 - 9

**ARS.** Arena de relleno para seco (estufado) de acero:

Arena 65 - 70 AFS	> 20
Arena de retorno	< 80
Arcilla de Alcañiz	1,6
Cereal	0,2
Glutrín en polvo	0,1
Agua	6,5
Permeabilidad en verde	100
Resistencia a compresión en verde	7 N/cm <sup>2</sup>
Permeabilidad en seco	130
Resistencia a compresión en seco	130 N/cm <sup>2</sup>
Resistencia a cizalla	30 N/cm <sup>2</sup>
Deformación	0,4 mm

**ACV.** Arena de contacto para verde de acero:

Arena 65 - 70 AFS	100
Bentonita	7
Cereal	1
Agua	4,5
Permeabilidad en verde	120
Resistencia a compresión en verde	6,5 N/cm <sup>2</sup>
Deformación	0,60 - 0,80 mm

**ARV.** Arena de relleno para verde de acero:

Arena 65 - 70 AFS	>20
Arena de retorno	< 80
Arcilla de Alcañiz	1,6
Cereal	0,2
Glutrín en polvo	0,1
Agua	4,5
Permeabilidad en verde	100
Resistencia a compresión en verde	6,5 N/cm <sup>2</sup>
Deformación	0,40 mm

**AUV.** Arena única para verde de acero:

Arena nueva 65 - 70 AFS	>20
Arena de retorno	< 80

Bentonita 0,5% sobre arena de retorno, 7% sobre arena nueva.

Cereal 0,25% sobre arena de retorno, 1% sobre arena nueva.

**ACO.** Arena de contacto de olivino para aceros especiales:

Arena de olivino	100
Bentonita	6
Agua	5

**HCS.** Arena de contacto para seco (estufado) de hierro:

Arena 65 - 70 AFS	100
Bentonita	5
Arcilla de Alcañiz	5
Hulla en polvo	5
Melaza	1,5
Agua	8 - 9

**HUS.** Arena única para seco (estufado) de hierro:

Arena 65 - 70 AFS	> 20
Arena de retorno	< 80
Cereal	0,25
Arcilla de Alcañiz	2
Bentonita marroquí	3
Brea	0,25
Agua	6,5
Permeabilidad en verde	90
Resistencia a compresión en verde	10 N/cm <sup>2</sup>
Permeabilidad en seco	120
Resistencia a compresión en seco	130 N/cm <sup>2</sup>
Resistencia a cizalla	35 N/cm <sup>2</sup>
Deformación	0,6 - 0,8 mm

**HCV.** Arena de contacto para verde de hierro:

Arena 65 - 70 AFS	100
Bentonita	7
Cereal	1
Hulla	5
Agua	4,5
Permeabilidad en verde	110
Resistencia a compresión en verde	6,5 N/cm <sup>2</sup>
Deformación	0,60 - 0,80 mm

**HRV.** Arena de relleno para verde de hierro:

Arena nueva 65 - 70 AFS	>20
Arena de retorno	< 80
Cereal	0,25
Arcilla de Alcañiz	2
Bentonita marroquí	3

Brea	0,25
Agua	4,5
Permeabilidad en verde	80
Resistencia a compresión en verde	5 N/cm <sup>2</sup>
Deformación	0,4 mm

HUV. Arena única para verde de hierro:

Arena nueva 65 - 70 AFS	>20
Arena de retorno	< 80

Bentonita 0,5% sobre arena de retorno, 7% sobre arena nueva.

Cereal 0,25% sobre arena de retorno, 1% sobre arena nueva.

Hulla 0,5 % sobre arena de retorno, 5% sobre arena nueva.

### Observaciones

En algún caso puede parecer excesiva la proporción de bentonita utilizada en las mezclas. Estas cifras, basadas en experiencia de taller, pueden reducirse en los casos siguientes:

- 1) Que se utilicen arenas de bajos coeficientes de angulosidad.
- 2) Que los malaxadores de mezclado sean más eficientes.
- 3) Que el tipo de piezas a fundir no exija elevadas características mecánicas.
- 4) Una arena demasiado “fuerte” puede apelmazarse en los sistemas de elevación y enfriamiento (los antiguamente llamados “coolevadores”), llegando a originar averías graves en los mismos. Por ello, la resistencia a compresión (porcentaje de bentonita) ha de ser la máxima que no dé lugar a estas anomalías.

A veces, en moldeo “en verde” (no estufado) se emplean bentonitas cálcicas que producen mejores características en verde con porcentajes inferiores de humedad. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que la menor hinchabilidad de estas bentonitas debe compensarse con aditivos adecuados.

La preparación de las mezclas se hace en los equipos representados en las FIGURAS 24, 25 y 26. Los impropriadamente llamados “molinos de arena” realizan la función denominada “malaxado”, que es la resultante de las acciones de amasar, voltear y revolver. El malaxador de la planta elemental representada en la FIGURA 25 tiene el rulo que amasa, el disco que voltear la arena y la estrella revolvente que la revuelve y homogeneiza. Esta acción de ma-

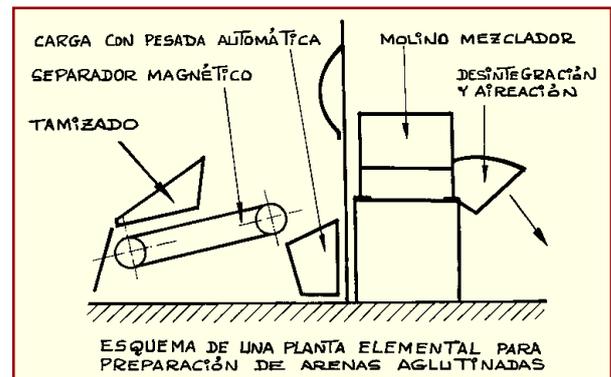


Figura 24.

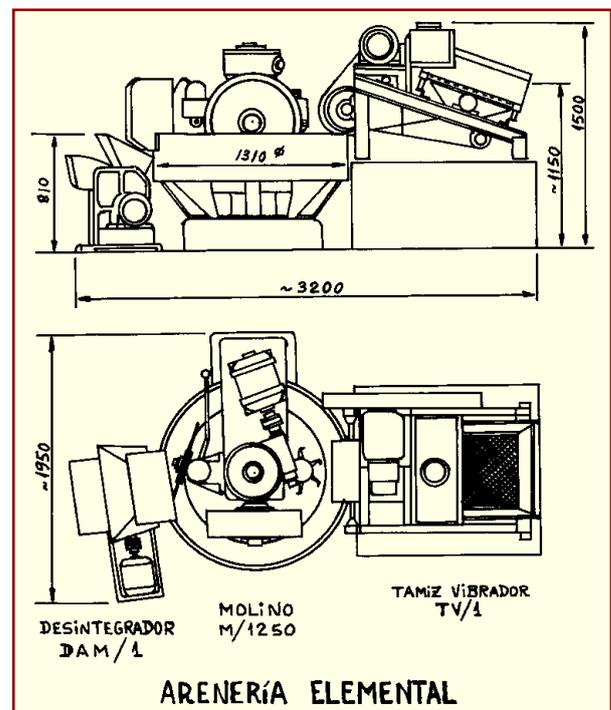


Figura 25.

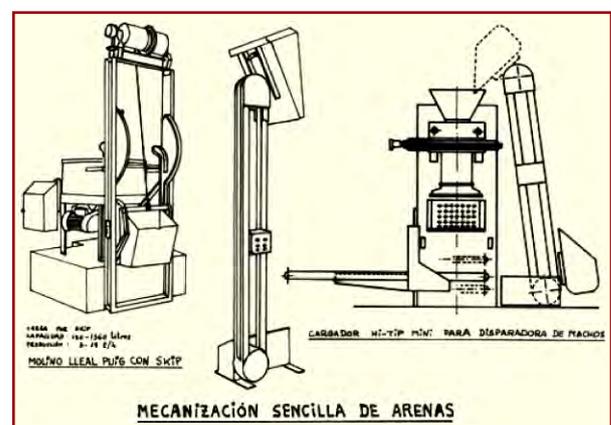


Figura 26.

laxado se complementa con la disgregación de grumos efectuada por el giro muy rápido de la rueda de barras del aireador-desintegrador emplazado a la salida del malaxador.

Las solicitaciones que sufren los moldes y machos, en conjunción con las exigencias de calidad impuestas en la actualidad a las piezas objeto de este artículo han reducido drásticamente el empleo de arenas aglutinadas con bentonita. Se mantienen sólo en contados casos en que el moldeo se efectúa con máquinas de moldeo mecánico o proyectoras "sandlinger" (éstas casi desaparecidas hoy día), que se tratarán más adelante en el presente estudio.

### 2.3.2. Arenas aglomeradas

El segundo grupo fundamental lo constituyen las mezclas de "arenas aglomeradas", compuestas por la misma arena base que en el grupo anterior y un "aglomerante" que se adiciona a la arena base en un mezclador hasta envolver todos y cada uno de los granos de arena. Después de atacar el molde con esta mezcla de arena el aglomerante sufre una reacción química que le hace fraguar. En consecuencia, el aglomerante acaba quedando como un cemento o retículo que recubre los granos de arena y hace de unión entre los mismos. El mecanismo de la aglomeración consiste pues, en una reacción química que, a diferencia de la aglutinación que era un fenómeno puramente físico, confiere gran consistencia al molde o macho fabricado.

Estas arenas aglomeradas, dadas su gran resistencia y fiabilidad, se utilizaron inicialmente para fabricar machos; de ahí el nombre coloquial de "arenas de machos" que recibieron en el lenguaje de taller. Sin embargo, con el paso del tiempo encontraron un gran campo de utilización para elaboración de moldes de piezas unitarias o series cortas en tamaño medio, grande o muy grande. Así han desplazado a las arenas aglutinadas, tanto en verde como estufado. Es lo que se ha dado en llamar "moldeo químico".

Los tipos más importantes de mezcladores para las distintas clases y aplicaciones de arenas aglomeradas son:

- 1) De eje horizontal (Albertus), provisto de dos series de paletas que serpentean en la cuba al girar el eje, al modo en que se diseña y se mueve un cigüeñal de motor. Este tipo, que había caído en desuso (antigua mezcladora de barro para

cerámica) se puso de nuevo de actualidad en las plantas de "arena líquida" (silicatos sódico y cálcico) desarrollada en la antigua Unión Soviética.

- 2) De eje vertical, con dos o tres aspas onduladas que hacen también de rascadores. Unas estrías en las paredes o unas palas fijas a media altura impiden que la arena gire como un bloque. Un ejemplo es la Rapidmix TAF vista en la FIGURA 27. En las FIGURAS 28, 29 y 30 se esquematizan dispositivos de alimentación de arena a estas máquinas.
- 3) De cabezal mezclador a contracorriente, provisto de palas móviles y fijas, rascadoras y revolvedoras, que arrastran parcialmente a la cuba, libre de seguir a la arena en su movimiento.
- 4) Máquinas cuyas paletas giran según un eje vertical, pero cuyo conjunto es abatible (Zyklos-Suspecar). La arena está en una cuba cilíndrica de poca altura y provista de ruedas para su desplazamiento. El cabezal agitador está sujeto a una pared o columna y bascula hasta entrar en la cu-

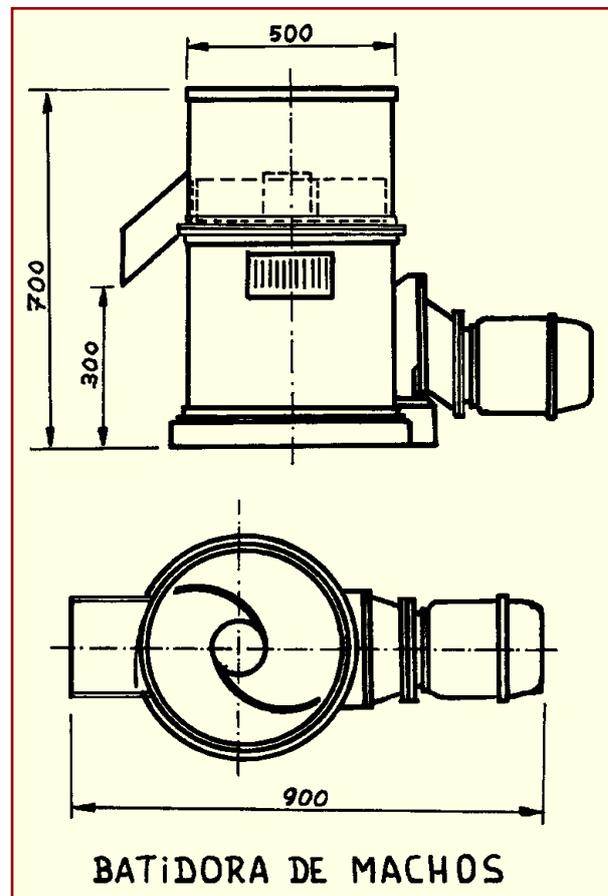


Figura 27.

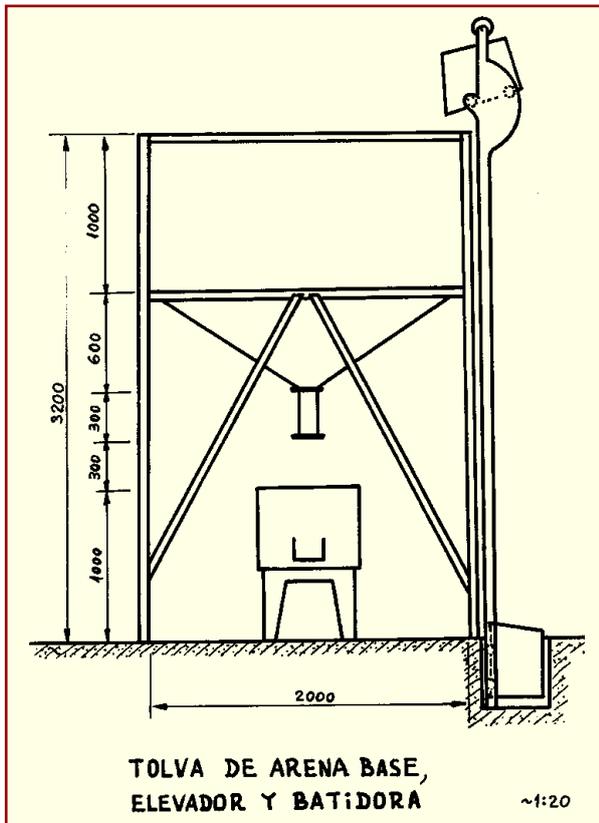


Figura 28.

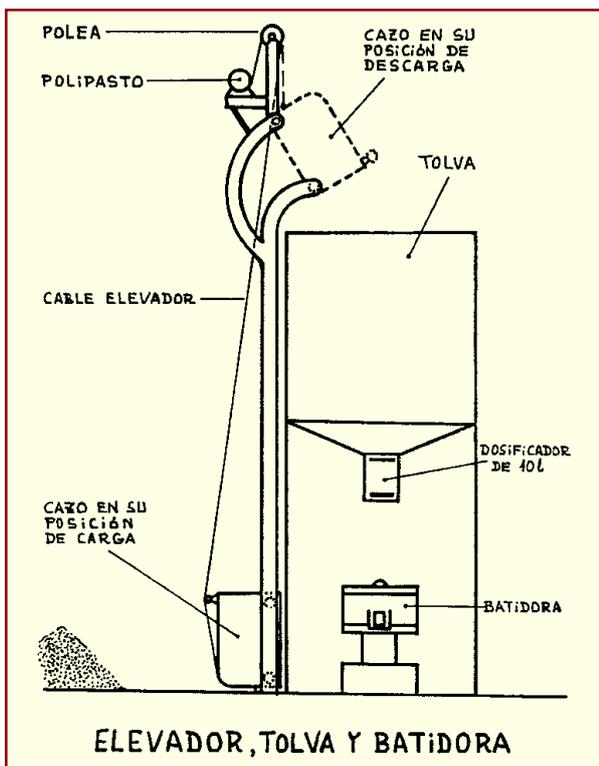


Figura 29.

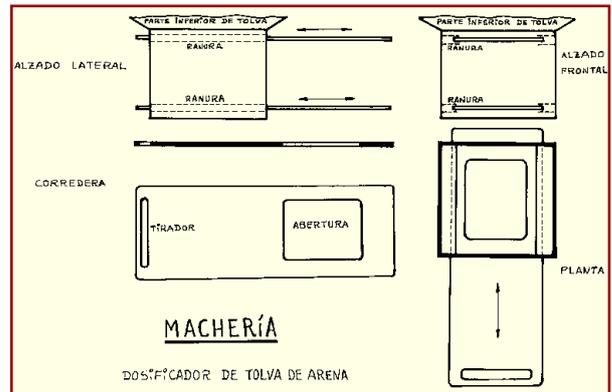


Figura 30.

ba, efectuando el mezclado de arena y aglomerantes. Una vez completada la operación se eleva el cabezal a su posición de reposo en espera de otra cuba móvil, mientras que la arena preparada en la cuba anterior se reparte en la misma por los puntos de consumo repartidos por el taller.

- De mezclado continuo mediante tornillos sinfín ("tornillos de Arquímedes") metálicos. La aparición de estas máquinas marcó un hito en las fundiciones de piezas con machos abundantes, voluminosos y de tipo vario, mecanizando el trabajo de machería hasta extremos insospechados. En la FIGURA 31 se ve el esquema de una de esas máquinas. En ella, hay la tolva de arena siliciosa seca; el depósito del aditivo o acelerante en polvo; las dosificaciones correspondientes, controladas desde el panel de mando; la bomba que riega la arena con la proporción exacta y deseada del aglomerante, bomba y dosificador de catalizador líquido; los tornillos mezcladores, que en algunas máquinas

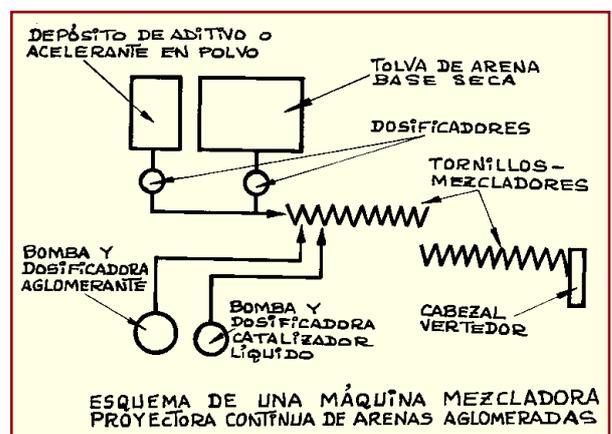


Figura 31.

quedan reducidos a uno solo; y el cabezal extremo, que puede ser un simple vertedero o un cabezal proyector (mixer-slinger).

En la FIGURA 32 se tiene el esquema de esta misma máquina adaptada a proceso de tres componentes, como el Pep-Set de Ashland. En la FIGURA 33 se tiene el esquema y características de una turbo-mezcladora sencilla, de un solo brazo.

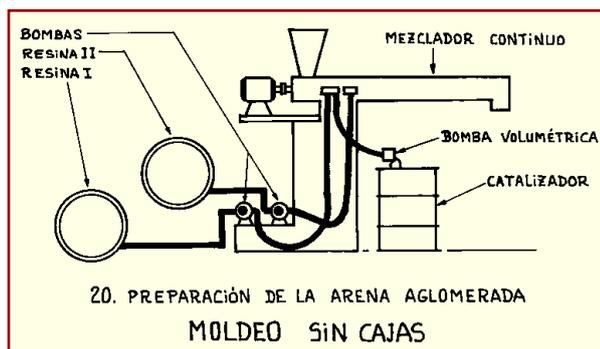


Figura 32.

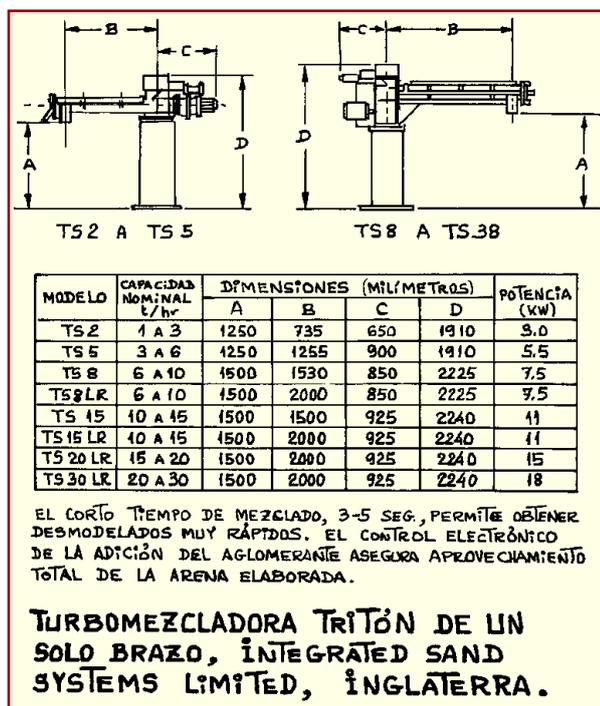


Figura 33.

La arena base puede cargarse manualmente, caer de una tolva con dosificador de carga (FIGURAS 28, 29 y 30 citadas) o hacerse llegar con una pala cargadora o skip elevador (FIGURA 26 citada).

Basándose en su adecuación al moldeo de camisas se describirán aquí, de forma somera, tres grupos de mezclas de arenas:

- Arena aglomerada con cemento.
- Arena aglomerada con silicato.
- Arena aglomerada con resinas sintéticas.

### 2.3.2.1. Arena al cemento

Descubierto por Moldenke hace aproximadamente un siglo, el moldeo con este aglomerante fué un sistema barato y sencillo que permitió fabricar hasta la década de los 70 moldes de piezas grandes capaces de resistir las fuertes agresiones que sufrían en su manipuleo y colada, sustituyendo al engorroso y caro procedimiento de moldear con arenas aglutinadas con bentonita y estufar después los moldes elaborados.

El sistema consiste en atacar contra el modelo una mezcla cuya composición aproximada es: 90 kg de arena base sílice, 8 a 12 kg de cemento Portland, 4 a 8 litros de agua y, a veces, aditivos de mejora. El material de molde comienza a fraguar antes de efectuar la operación de “desmoldado” (“lifting”). El endurecimiento se completa en un plazo que depende de las condiciones atmosféricas, especialmente temperatura y humedad.

Los moldes y machos atacados con este tipo de arena deben secarse espontáneamente antes de extraer el modelo, y completarse el secado por aire durante más de 72 horas antes de cerrar el molde para colar.

Los resultados obtenidos en ensayos de algunas arenas al cemento se dan a continuación:

Mezcla nº 1: Arena 41 AFS, con 12,5% de cemento Portland, 6% de humedad antes del fraguado, 72 horas de secado, 370 de permeabilidad y 140 N/cm<sup>2</sup> de resistencia a compresión.

Mezcla nº 2: Arena 34 AFS, con 12,5% de cemento Portland, 6% de humedad antes del fraguado, 72 horas de secado, 650 de permeabilidad y 200 N/cm<sup>2</sup> de resistencia a compresión.

Mezcla nº 3: Arena 55 AFS, con 12,5% de cemento Portland, 6% de humedad antes del fraguado, 72 horas de secado, 110 de permeabilidad y 170 N/cm<sup>2</sup> de resistencia a compresión.

Mezcla nº 4: Arena 40 AFS, con 12,5% de cemento Portland, 6% de humedad antes del fraguado, 72

horas de secado, 400 de permeabilidad y 80 N/cm<sup>2</sup> de resistencia a compresión.

Las mezclas de arena mixta se preparan según la composición: 47% de arena base nueva de 50 – 60 de finura AFS, 47% de arena recuperada de composiciones anteriores, 6% de cemento Portland y 7% de agua sobre el total. Los índices medios de finura obtenidos están entre 50 y 60 AFS y las resistencias a compresión van de 60 á 160 N/cm<sup>2</sup>.

La arena al cemento desarrolla alta dureza y resistencia de molde, propiedades que mantiene hasta 1.100 °C. También mantiene las formas agudas y tolerancias dimensionales incluso en el caso de moldes muy grandes.

Es aplicable al moldeo de piezas medias o grandes de acero, hierro fundido y bronce. La utilización más frecuente es para aleaciones férricas (hierro y acero). La contracción de fraguado del material de moldeo (y consiguiente aumento de volumen de la cavidad de molde) compensan la contracción de solidificación y enfriamiento de la pieza colada. Esta circunstancia favorece la obtención de piezas con tolerancias dimensionales muy estrechas, además de producir buen acabado superficial. El desprendimiento de gas es bastante bajo y la permeabilidad del molde satisfactoria. No se precisan modelos especiales y las contracciones de solidificación, como se ha dicho, se compensan por la dilatación del modelo y molde.

Si los modelos son de madera es conveniente que estén bien pintados para que no les afecte la humedad de la arena durante el fraguado. Como ventaja se puede citar que el atacado a mano es rápido. El secado puede acelerarse mediante ventiladores que soplan aire caliente a través de los agujeros de mazarotas y bebederos.

En contraposición con los métodos imperantes en tiempos pretéritos se elimina la necesidad de estufado. La evolución de gas en la colada es escasa. El molde tiene resistencia elevada, lo que redundará en estabilidad dimensional y resistencia adicional a defectos de contracción provocados por hinchamiento del molde durante la solidificación.

La misma circunstancia de la lentitud del fraguado puede ser una ventaja sustancial en el caso de moldes muy grandes, ya que concede el tiempo necesario para atacado antes que comience a producirse el endurecimiento parcial del molde.

Se puede decir que su costo es algo superior al del moldeo en verde con arena aglutinada con bento-

nita, aunque es inferior al del moldeo estufado. Frente a estos dos métodos presenta la ventaja, entre otras, de no precisar engorrosas instalaciones de preparación y movimiento de arenas. Para cantidades pequeñas puede valer una batidora de machos discontinua ("batch"), común a todas las arenas aglomeradas, tal como la que se ve en la TAF Rapidmix de la FIGURA 27. En algunos casos basta con una simple hormigonera.

No hay limitaciones en lo que a dimensiones o peso de las piezas respecta, y de hecho se empleó profusamente para piezas de tamaño considerable como hélices, turbinas y rotores de generación eléctrica, rodillos de laminación y molienda, grandes compresores y bombas, bancadas de máquinas herramienta, y todos los componentes de grandes motores marinos y piezas de astillero (bloques, cilindros, camisas, culatas, anclas, codastes, escobenes, etc).

En cuanto a la necesidad de equipos de taller, se eliminaron las costosas estufas de secado para moldes de arena aglutinada y las voluminosas instalaciones de preparación de arenas; de hecho, la preparación de las mezclas se ha hecho en algunos sitios, como se ha dicho en párrafo anterior, con sencillas hormigoneras de la construcción o bricolaje. Por el contrario, se necesitaban cinceles neumáticos potentes para el desmoldeo y desterronado subsiguiente a la colada, así como molinos de martillos para el machaqueo de los terrones previo al reciclado de los mismos.

En resumen, se obtenían piezas muy grandes con estrechas tolerancias dimensionales y buen acabado superficial gracias a la ausencia de erosión del molde en la colada. Como ventaja económica adicional puede citarse la escasa cuantía de las creces de molde y, por consiguiente, baratura del mecanizado.

Se pueden hacer algunas recomendaciones:

- Debe evitarse la presencia de carbonatos en la arena base (no utilizar arenas de playa).
- La adición de agua debe calcularse escrupulosamente en función de la proporción de cemento en la mezcla.
- En invierno, la temperatura ambiente no debe ser menor de 10 °C para evitar fraguado lento, ni superar los 30 °C en verano para que no se dé un fraguado muy rápido.
- A pesar de la buena permeabilidad de estas mezclas es conveniente prever respiros de vientos.

- Para favorecer la colapsabilidad y desarenado, especialmente en el caso de machos internos, es conveniente intercalar trozos de coque en zonas de grandes espesores de molde o macho.
- Las partes de moldes o machos más expuestas a la agresión térmica en la colada pueden hacerse con arena base de circonio, olivino o cromita en lugar de sílice.

En los años 70, una empresa finlandesa fabricante de piezas pesadas para construcción mecánica montó en su planta de fundición una nueva sección para moldeo al cemento. Constaba de tolvas de almacenaje de arena nueva y arena recuperada, depósitos de aglomerantes y aditivos sólidos y líquidos, mezcladores de arena y equipo de recuperación. El moldeo se hacía por medio de máquina sandslinger, con un brazo articulado de 10 m, desplazándose sobre raíles a lo largo del taller y barriendo casi toda su superficie. La turbina de la slinger tiene dos velocidades, una para atacado de arena de contacto y otra para atacado de arena de relleno.

En esta instalación las operaciones de moldeo han seguido tres etapas:

- Proyección de la arena de contacto, a baja velocidad. La composición en peso de esta mezcla es de 4%, o más, de cemento Portland normal, 3% de melaza y 3% de agua.
- Proyección de la capa intermedia. Se hace a gran velocidad, y la mezcla está constituida sólo por arena y agua. Esta arena nueva contribuye a restituir la de circuito que se pierde en el desmoldeo de las piezas.
- Proyección de la capa exterior, también a gran velocidad. La mezcla tiene 5% de cemento y no se adiciona melaza. Para moldes cuyo fraguado es de larga duración el porcentaje de cemento es del 4%.

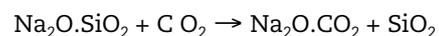
La gran rigidez de los moldes así elaborados reduce fuertemente la aparición de defectos de contracción, lo cual resulta especialmente importante en el caso de piezas de fundición nodular.

La arena procedente del desmoldeo se pasa por un molino de martillos que reduce los trozos al tamaño de granos y separa las partículas de aglomerante de las de arena. La arena se descarga previo paso por tamices de 3 mm de malla; y por un Venturi va al separador. Éste, por un sistema de ciclón, retiene las fracciones gruesas, que son elevadas hasta un silo de 100 t. Los polvos y los muy finos, después de eliminar los gruesos que aún contengan, se retiran mediante despolvoreado por vía húmeda.

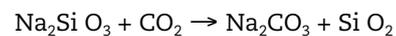
La aparición de los aglomerantes basados en resinas autoendurecibles (“caja fría”) desplazó a la arena al cemento. Con ello se frustró la posibilidad de desarrollar métodos más eficientes de recuperación de la arena que abarataran los costos. De todas formas, no hay que descartar que la creciente presión del ecologismo vuelva a poner de actualidad este procedimiento de moldeo, máxime si se tiene en cuenta que hoy día se dispone de equipos de fabricación y control más afinados que los existentes en aquellos tiempos. Por ello se ha descrito aquí, aunque sin profundizar demasiado en su estudio.

### 2.3.2.2. Silicato-CO<sub>2</sub>

Procedimiento descubierto por Pretzela en Polonia. En el silicato Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> se llama “módulo” a la relación que existe entre el contenido de SiO<sub>2</sub> y el de Na<sub>2</sub>O, supuesto teóricamente el silicato como la combinación de ambos óxidos. Un rango adecuado de esta magnitud para empleo en moldeo y machería es 2,1 - 3,1 aunque el más utilizado es 2,2 - 2,4. La arena endurece, después del moldeo, mediante gaseo con anhídrido carbónico. Se produce la reacción:



O escrita de otra forma:



En virtud de ella precipita carbonato sódico Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y deja gel de sílice SiO<sub>2</sub> que hace de cemento de unión entre los granos de arena. El proceso Nishiyama emplea una mezcla autofraguante de silicato sódico con ferrosilicio como inductor del fraguado. Puede haber problemas por desprendimiento de hidrógeno que en algunos casos ha originado explosiones. También se han empleado como catalizadores de fraguado el silicato bicálcico anhidro, ésteres orgánicos e incluso cemento. Es un procedimiento cómodo y sencillo, válido para la producción de piezas de cualquier tamaño en aleaciones ferrosas, no ferrosas, ligeras y ultraligeras.

Los procesos basados en silicato sódico son probablemente los más antiguos procesos de fraguado en frío utilizados en la actualidad. Hace ya muchos siglos los chinos usaban materiales similares, pero en términos modernos su empleo en fundición comenzó a mitad del siglo XX. Todavía se emplea en muchas fundiciones para producir piezas cuyo peso va desde unos gramos a muchas toneladas, en cualquier composición de metal.

**Ventajas:**

- Permite atacado rápido con cualquier método.
- No precisa estufado.
- Origina moldes y machos de gran resistencia.
- Escaso desprendimiento de gases en la colada.

**Desventajas:**

- Costo superior a la arena sintética en verde.
- El gaseado poco controlado aumenta el costo por CO<sub>2</sub> y deteriora las propiedades del molde o macho. Esta circunstancia hace al método poco utilizable para moldes muy grandes.
- Extracción más problemática del modelo, circunstancia que obliga a diseños y pinturas especiales en los modelos.
- Dificultad de desmoldeo y desarenado después de la colada.
- Exigencia de equipos costosos para reciclado de la arena originada en el desmoldeo.

**Se pueden hacer las siguientes recomendaciones:**

- En general la arena, al ser suficientemente fluida, sólo necesita una ligera compresión alrededor del modelo.
- Cuanto más atacada está la arena menor es la permeabilidad.
- Tener en cuenta que el uso de silicato reduce la refractariedad del material de molde.
- Las dificultades de desarenado pueden aliviarse añadiendo a la mezcla de arena aditivos orgánicos como serrín, harina de mandioca, negro mineral, pez, melaza, etc.

La preparación de las mezclas de arena al silicato suele hacerse en batidoras discontinuas como la de la FIGURA 27, ya vista, o sus alternativas similares.

Como se ha dicho en párrafo anterior, este proceso sólo se emplea actualmente para moldes y machos pequeños o medios. En algunos casos se ha empleado para machos de camisas.

**2.3.2.3. Resinas**

Mezclas aglomeradas con resinas de fraguado en frío (furano, fenol, urea...) son el material empleado en la actualidad para la elaboración de moldes y machos. Estas resinas son resinas de formaldehído-fenol con adición de alcohol furfurílico. Se prestan a la mecanización del transporte y manipulación con métodos y equipos muy productivos

(transporte neumático, turbomezcladoras, etc.). Además de producir piezas de excelente acabado superficial, la calcinación de las resinas en la colada por el calor del metal líquido permite un satisfactorio desmoldeo y desarenado.

Por término medio, la proporción a emplear en las mezclas es:

- 100 de arena base, 1,5 – 2 de resina furánica y 40 de catalizador (ácido fosfórico) sobre resina.
- 100 de arena base, 2,5 – 3 de resina fenólica y 0,6 – 1 de catalizador.

Aquí son aplicables, de manera general, las consideraciones sobre ventajas, desventajas y precauciones enunciadas para la arena al cemento y al silicato. Se puede añadir que la arena base debe estar suficientemente fría, ya que el calor acelera peligrosamente la velocidad de fraguado. Lo mismo ocurre si la temperatura aumenta después de extraer el modelo.

A continuación, y a título informativo, se añaden unos datos prácticos sobre resinas furánicas Chem-Rez 209, tomados de hojas informativas aportadas en su día por Iberia Ashland Chemical, S.A. (actualmente ASK Chemicals).

**Descripción:**

El Chem-Rez 209 es una resina furánica con un contenido medio de nitrógeno, que fragua a temperatura ambiente en presencia de un catalizador ácido (Catalizador Ashland Chem-Rez 2005 o Chem-Rez 2011). La elección del catalizador depende de la velocidad de curado y economía que se desee.

El Chem-Rez 209 da excelentes resultados para piezas grandes de hierro gris, y se adapta perfectamente a cualquier aplicación excepto donde se necesita un producto de bajo contenido de nitrógeno como, por ejemplo, en moldeo de piezas de acero. Combina las ventajas de una resina autofraguante de bajo costo con la excelente fluidez de la arena, tiempos cortos de curado y buena resistencia.

**Propiedades físicas típicas:**

Viscosidad: 40-50 cps

Densidad: 1,19 g/cm<sup>3</sup>

pH 7

Color: Marrón

% Nitrógeno: < 5

% H<sub>2</sub>O <14

(Continuará)

# Fabricación de camisas para motores diésel (Parte 3)

Por Susana de Elío de Bengy; Enrique Tremps Guerra; Daniel Fernández Segovia y José Luis Enríquez

*Si algún lector necesita alguna imagen ampliada, comuníquenoslo a [pedeca@pedeca.es](mailto:pedeca@pedeca.es) y se le enviará a mayor tamaño.*

## Procedimiento de mezcla:

Las mezclas con Chem-Rez 209 se pueden preparar en mezcladores discontinuos (FIGURA 27 ya vista) o continuos (de los que se hablará más adelante), dependiendo del equipo disponible, volumen del molde, cadencia de trabajo y vida de banco deseada. La mezcla discontinua se lleva a cabo añadiendo primero el catalizador a la arena nueva o recuperada. A continuación se mezcla durante 2 minutos aproximadamente o el mínimo tiempo requerido para conseguir una mezcla, homogénea y libre de grumos, de arena y catalizador. Finalmente se añade la resina y se mezcla hasta que quede uniformemente repartida.

La arena preparada discontinuamente deberá usarse tan pronto como sea posible, para que se desarrolle su resistencia final máxima.

La preparación en mezclador continuo se lleva a cabo introduciendo el catalizador tan cerca de la entrada de arena como sea posible. La resina se añade aproximadamente unos 150 a 300 mm después de la incorporación del catalizador. Para un funcionamiento óptimo de ésta o cualquier otra resina autofraguante hay que comprobar la resina y el catalizador, además de calibrar la arena.

## Mezcla de arena aconsejada:

La composición siguiente se indica como referencia. Las necesidades individuales de cada fundición determinarán las proporciones finales de la mezcla. Puede ser:

Arena 50 - 70 AFS 100

Resina Chem-Rez 209 1,5

Catalizador 50% sobre resina

Propiedades típicas con 17 °C de temperatura:

Tipo de resina Chem-Rez 209

% de resina 1,5

% de catalizador 2011 50% sobre resina

Vida de banco 26 minutos

Tiempo de desmodelado 50 minutos

## 2.4. Sistemas de colada

Es uno de los factores fundamentales en lo que a calidad se refiere. Para la colada en posición vertical de camisas moldeadas en arena hay varios sistemas fundamentales:

### 1) Colada por la parte baja de la pieza:

Presenta la ventaja de evitar (FIGURA 34) los fenómenos de turbulencia, aspiración y erosión, que dan lugar a arrastres de tierra y otros defectos en la pieza. Presenta la desventaja de dar lugar a un punto caliente en la zona inferior de la pieza, creándose un gradiente térmico desfavorable. Por otra parte, el caldo que va a la mazarota se enfría en su camino a lo largo de la pieza, lo que repercute en falta de sanidad de la misma.

Para obviar esto se recurre a la colada por etapas (FIGURA 35) con ataques de colada a distintas alturas, de forma que el caldo entra a la cavidad de

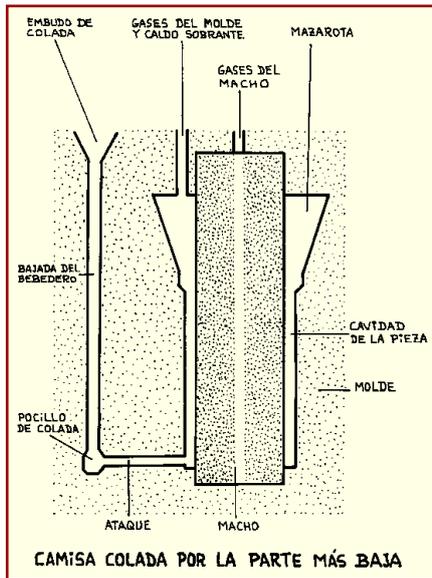


Figura 34.



Figura 35.

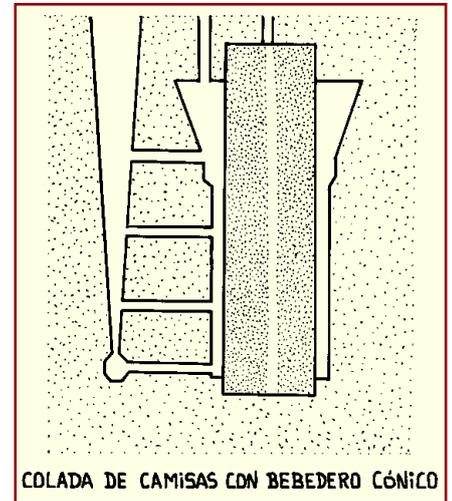


Figura 36.

molde por el ataque inferior. Cuando enrasa con este ataque entra por el inmediato superior y después por los siguientes hasta completar el llenado. Así se evita tanto la turbulencia como el punto caliente inferior. Sin embargo, esto que teóricamente parece tan sencillo no lo es tanto, ya que el hierro líquido tiende a seguir entrando a la cavidad del molde preferentemente por el ataque más bajo. Se ha intentado remediar esta circunstancia utilizando artificios de frenado como bebederos cónicos (FIGURA 36) o ataques con inclinación inversa (FIGURA 37). A pesar de estas mejoras, el método no

ha dado resultados demasiado buenos, además de complicar y encarecer el rebarbado.

2) Colada por la parte alta de la pieza:

Es mucho más ventajosa desde el punto de vista térmico (promueve gradiente térmico favorable) y de alimentación, si bien presenta problemas de turbulencia, erosión y aspiración. Estas dificultades se solventan por el empleo de arenas "fuertes", tales como las aglomeradas, en combinación con la utilización de la artesa con tapón (la cual puede

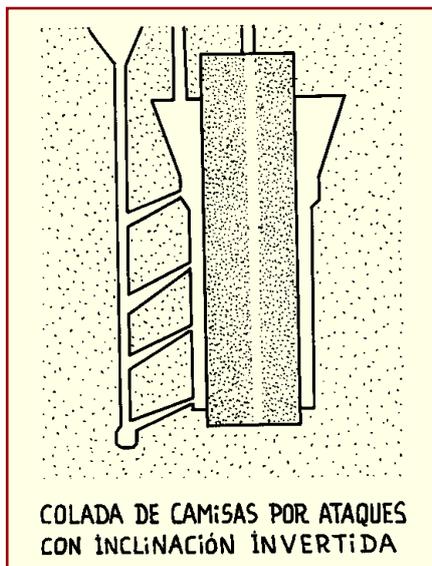


Figura 37.

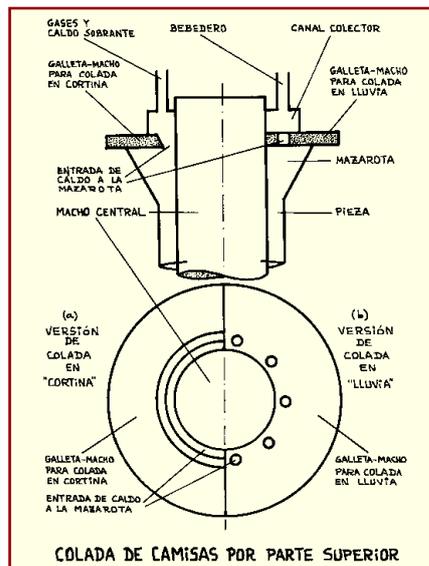


Figura 38.

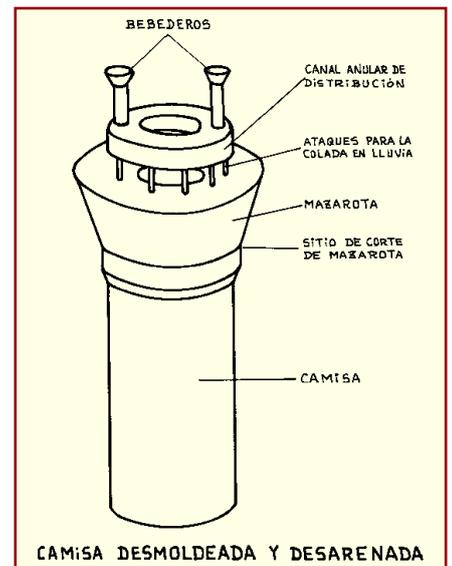


Figura 39.

tener forma de herradura) en combinación con sistemas de lluvia o de cortina (FIGURA 38).

En la FIGURA 10 ya se vió el sistema de colada vertical para una camisa de tamaño medio o grande. En el semimolde, que se aprecia listo para cerrar, puede verse el macho central, macho-filtro para colada en cortina, anillos de ajuste y artesa de colada. En la FIGURA 39 se muestra cómo quedaría el conjunto de la camisa fundida, una vez solidificada, desmoldeada y desarenada. En la FIGURA 40 puede verse la artesa de colada en el supuesto de que se hubiera llenado hasta arriba de caldo y éste hubiera solidificado.

## 2.5. Operaciones del moldeo

A continuación se describe de forma somera la fabricación de una camisa, partiendo de la base de que todas las operaciones se hicieran de forma manual. Después se intentarán describir los equipos que contribuyen a mecanizar estas operaciones manuales. En las FIGURAS 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se pudieron ver gráficamente las operaciones que componen la elaboración manual de un molde.

### 1) Colocación de placa porta-modelo y cajas:

Por medio de espigas de cierre, se ajustan las dos cajas a la placa modelo y se atornillan o acuñan

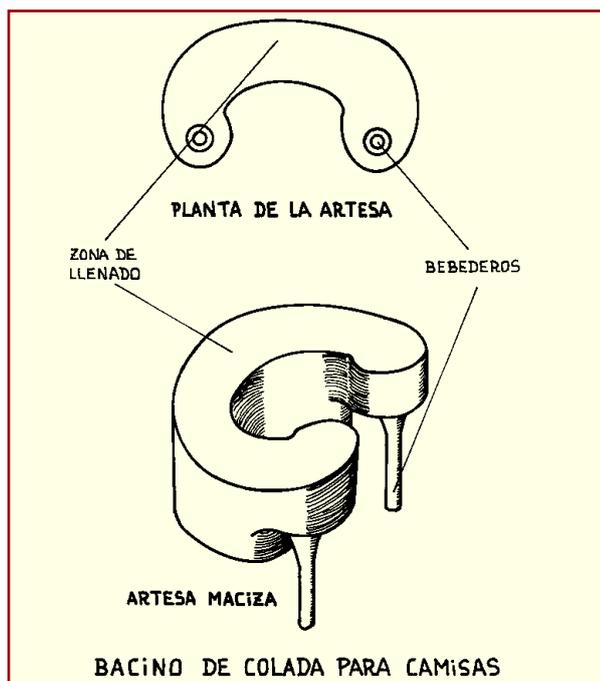


Figura 40.

entre sí estos tres elementos del conjunto. La posición es tal, que las cajas quedan adheridas a ambos lados de la placa porta-modelos (FIGURA 41).

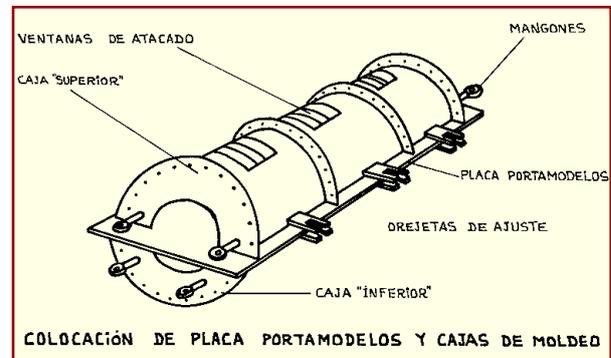


Figura 41.

### 2) Atacado de la arena:

El moldeador va llenando de arena el semimolde "superior" ("A") a pala o mecánicamente; a veces se dispone previamente una capa de arena de contacto cubriendo el modelo.

Simultáneamente con la adición de arena se efectúa el atacado de la misma, operación cuya intensidad depende del tipo de mezcla que se trate. Ha de ser máxima en el caso de arenas aglutinadas con bentonita, menor con arena al cemento y casi nula con arenas aglomeradas con resinas furánicas (FIGURA 42).

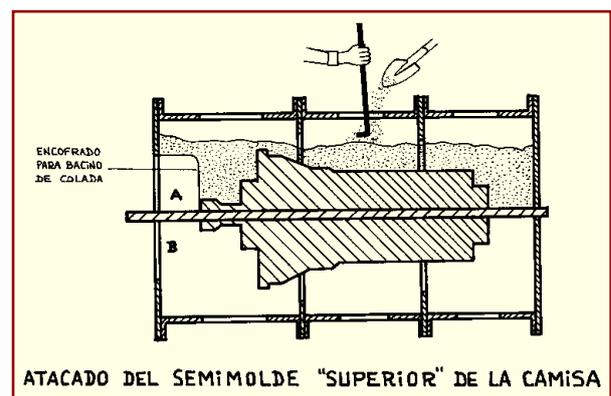


Figura 42.

Puede hacerse manualmente, ayudándose con atacadores neumáticos o por medio de máquinas sandslinger o de sacudidas (caso de arenas aglutinadas y algunas aglomeradas de fraguado lento) y mixerslinger (arenas aglomeradas).

Una vez completado el atacado se pinchan los “respiros” que evacuarán los gases del molde en el momento de la colada, se rasca y rasea la arena sobrante y se ponen las tapas. Las cuales tapas son necesarias cuando el tipo de arena empleada (caso de arena al cemento) haga que ésta no fragüe a tiempo de poder manipular el molde sin riesgo de que se desfonde.

A continuación se voltea el conjunto, con lo que el semimolde “inferior” (“B”) quedará por encima. Se llena de arena y se opera igual que se hizo con el semimolde “A”, (FIGURA 43) con lo que ambos semimoldes han quedado atacados y en espera de fraguado. La disposición final resultante es la que se ve en la FIGURA 44.

### 3) Fraguado de la arena:

Es muy importante dosificar los aglomerantes y aceleradores de acuerdo al tiempo de espera. En el caso de arenas al cemento hay que prever una zona de almacenaje de moldes en espera de fraguado, preparación y cierre (“remoldeo”). Como se dicho anteriormente, el tiempo de espera de fraguado en el caso de cemento depende de la proporción de agua en la mezcla y de las condiciones ambientales del taller de moldeo. En cualquier caso, nunca es menor de 72 horas. Si la forma y distribución de sistemas de llenado y alimentación (bebederos, mazarotas...) lo permiten pueden instalarse soplantes de viento caliente que aceleran el fraguado y secado.

### 4) Extracción de las placas porta-modelos:

Es lo que en lenguaje coloquial de taller se llama “desmodelado” (“lifting”). Una vez fraguado el molde se sueltan grapas, chavetas y tornillos y, por medio del puente-grúa, pescante o polipasto de moldeo, se levanta uno de los dos semimoldes, que se voltea y deposita sobre el suelo con la cavidad de molde hacia arriba. Después se extrae cuidadosamente la placa porta-modelos, evitándose en lo

posible las roturas de arena del molde. Si se trabaja con arena al cemento ha de verificarse el secado completo del molde antes de continuar operando.

La extracción de la placa con sus dos semimodelos no debe plantear problemas especiales puesto que la forma de los modelos de camisas les da buena “salida” incluso con arenas fuertes. Si hubiera dificultades, éstas se solventan golpeando con una maza mientras el puente grúa, pórtico o pescante hallan de los elementos (semimoldes y placa) a separar. Algunas placas modelo cuentan con dispositivos de sujeción de vibradores neumáticos o eléctricos que facilitan el desmodelado y evitan roturas de molde, especialmente en aristas o esquinas.

Estas operaciones, y las que les siguen, son muy prolijas y exigen tiempo. La ocupación prolongada del puente grúa principal es perjudicial para la organización y productividad del taller de moldeo; por ello es conveniente mecanizar individualmente los puestos de trabajo con puentes grúa ligeros a nivel inferior al de los principales, pórticos, plumas o pescantes (FIGURAS 45, 46 y 47).

Con esto ya se tienen los dos semimoldes libres y la placa portamodelos lista para llevarla a moldear otra pieza.

Si el material de molde es arena aglutinada con bentonita y estufado posterior (cosa harto infrecuente hoy día) hay que introducir los dos semimoldes en una estufa, dibujo esquemático de la cual se puede ver en la FIGURA 48.

### 5) Arreglo y pintado del molde:

Se reparan las roturas que pudieran haberse producido y se pinta el molde con pinturas flameables de circonio o grafito al alcohol isopropílico. Además de los componentes refractarios estas pinturas tienen una laca que se carameliza por el calor del flameado y deja una capa hermética protectora. La pintura se

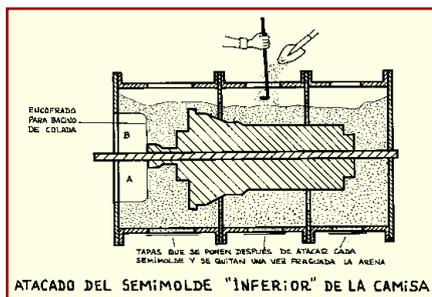


Figura 43.

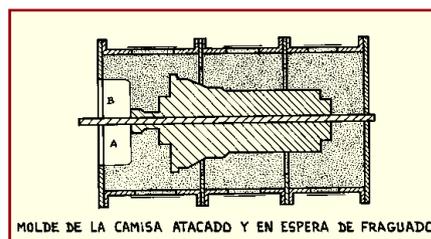


Figura 44.

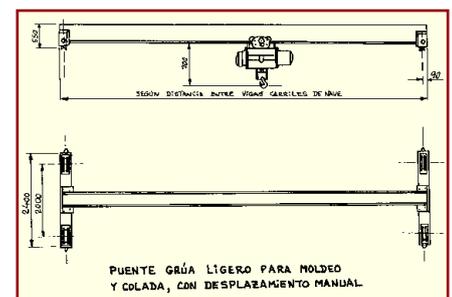


Figura 45.

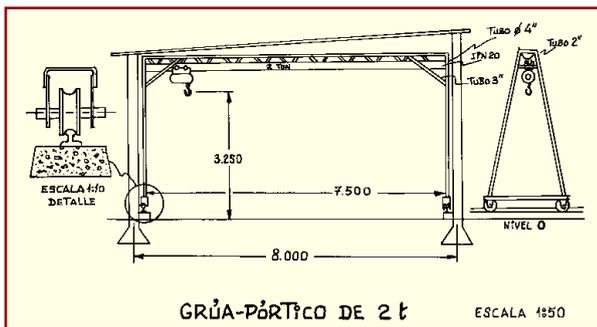


Figura 46.

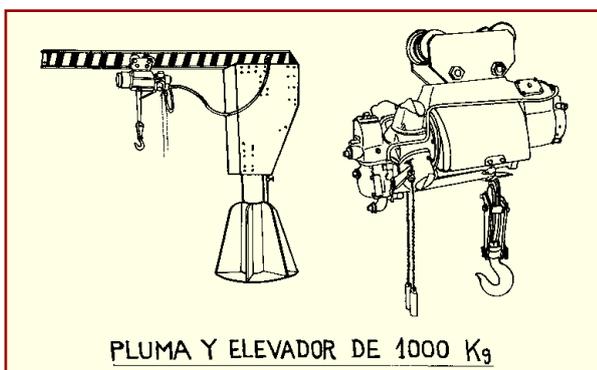


Figura 47.

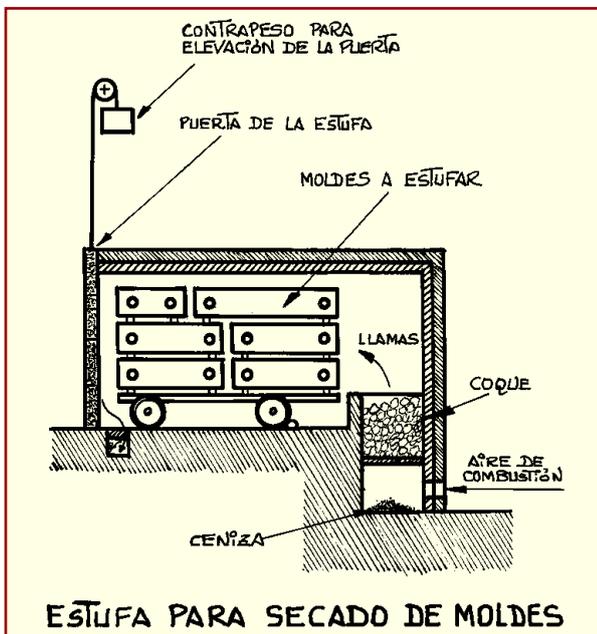


Figura 48.

aplica a brocha, “moña” o pistola-spray de aire comprimido. Después de pintar se prende la pintura y se completa el secado de ésta por medio de un mechero de gas o hisopando más alcohol sobre el molde.

Paralelamente se pinta y flamea bien el macho, dejando sin pintar las portadas o asientos de éste para no quitar permeabilidad. Se pintan y flamean las “galletas” y machos que van a constituir el sistema de colada en “cortina” o “lluvia”. Finalmente, en el semimolde inferior “B” se coloca y soporta el macho central y los del sistema de colada (“galleta-filtro”, etc), casquillos de hierro de bebederos, etc., con lo que el molde ya está listo para cerrar.

#### 6) Cierre del molde:

Se voltea el semimolde superior “A” y se cierra, invertido, sobre el inferior “B”. Es conveniente utilizar “mastique”, masilla o cordones de cierre para asegurar hermeticidad del molde y evitar fugas del caldo, especialmente temibles en el caso de colada vertical. Se engrapan, acuñan y atornillan ambos semimoldes. La operación se completa cuando la grúa transporta el molde y lo coloca, en posición vertical segura, en el foso de colada. Se termina esta operación instalando los tapones-buza y su mecanismo de accionamiento por palanca, quedando ya el molde listo para ser colado. La operación de colada es más sencilla si los moldes cerrados se disponen en un foso lo suficientemente profundo, para no tener que elevar la cuchara hasta una posición tan alta que dificultara e hiciera incómoda y peligrosa la operación de colada.

#### 7) Colada:

Se calcula la capacidad (peso) de la pieza, de forma que no falte caldo, pero tampoco sobre demasiado, llenando algo más la cuchara para mayor garantía y seguridad en caso de emergencia (fugas, perforaciones). Una vez llena la artesa y retirada la cuchara se abren los tapones despegándolos de los anillos de ajuste. Este sistema es bastante parecido al de buza y tapón de las cucharas de colada de acería. Cuando comienzan a salir gases se les prende fuego para facilitar su salida tranquila. Se deja salir por el respiro el caldo sobrante, disponiendo las cosas para que no haya proyecciones.

#### 8) Desmoldeo:

Una vez fría la pieza se sueltan grapas y tornillos, se abren las semimoldes y se separan.

De la zona de colada se lleva a la de desmoldeo. Esta operación puede hacerse mediante un balancín dotado de un vibrador (“avión” se le llamaba en la fundición en que trabajó uno de los autores) que descarga la pieza y arena sobre una parrilla fija (FI-

GURA 49) o sacudiendo en una gran parrilla dotada de aspiración de polvo (FIGURA 50).

Se completa el desarenado. De esta forma la pieza y su sistema de llenado y alimentación quedan libres. Se parten a martillazos las bajadas de los be-

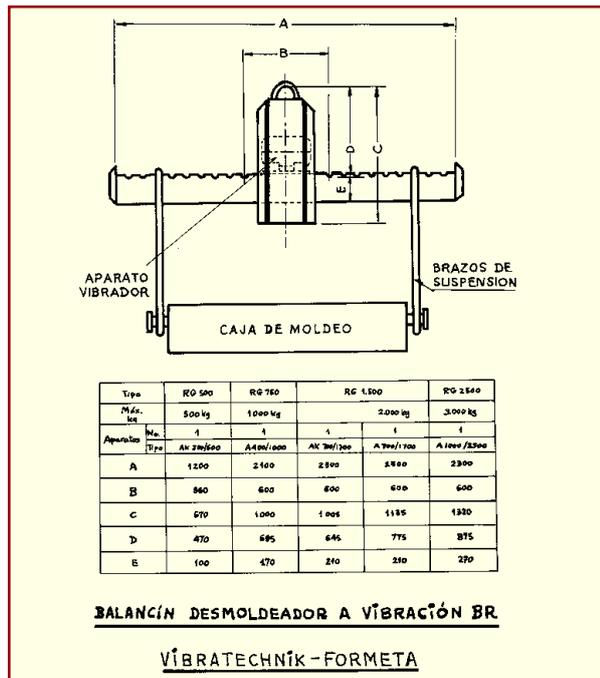


Figura 49.

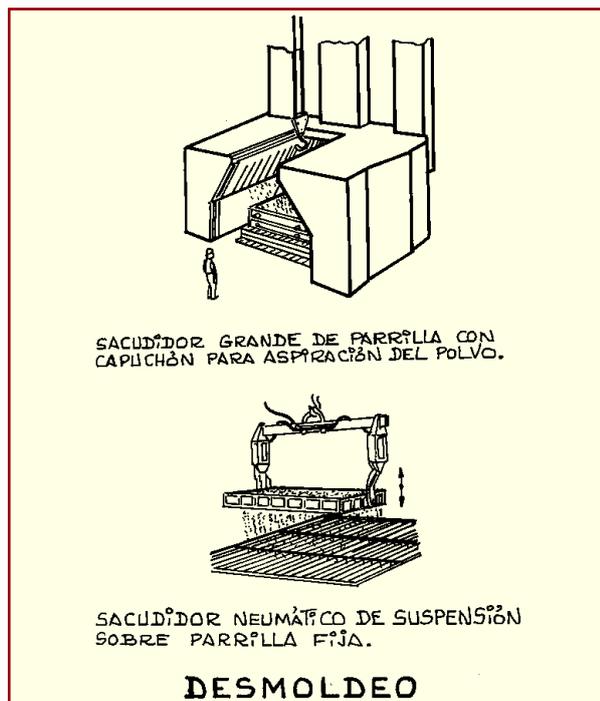


Figura 50.

bederos y respiros para facilitar el corte posterior de la mazarota.

9) Limpieza y rebarba:

Por chorro de arena, agua o granalla se elimina toda la arena adherida. Para finalizar, se lleva a un torno, en el que se corta la mazarota y se hace el mecanizado de desbaste de la camisa si fuera exigido por el cliente. El sistema de colada en bloque se envía al parque de materiales de carga del horno de fusión para ser refundido en pieza similar.

2.6. Mecanización de operaciones del moldeo

Los avances en la industria de fundición se han producido gracias a la aplicación de máquinas para diferentes trabajos. La mayoría de las máquinas (entre ellas las de moldeo) comenzaron a desarrollarse a partir de 1900. Muchas operaciones anteriormente manuales se llevan a cabo más rápidamente y con mayor calidad con máquinas (siempre se ha dicho que la máquina es superior al hombre, que para eso la ha diseñado y construido). El moldeo manual suele ser lento, laborioso y no uniforme. Los moldes hechos a máquina son más lisos y las piezas resultantes más uniformes. Se alcanza más productividad y se disminuyen los defectos.

A lo largo de este estudio se ha dicho varias veces que nos encontramos ante la fabricación de unas piezas cuyas dimensiones considerables obligan a que las operaciones unitarias sean manuales. Sin embargo, hay facetas del proceso que pueden mecanizarse como, por ejemplo, el transporte de cajas y moldes, el llenado de arena e, incluso, el atacado de la misma. Así, hay máquinas que sólo realizan el atacado, como las de sacudidas, otras sólo desmodelan. Hay máquinas que llenan el molde de arena y lo atacan, como las sandslingers y otras que mezclan la arena y la lanzan al molde, como las mixerslingers o turbomezcladoras. Estas soluciones de mecanización se tratarán a continuación.

El atacado mecánico de la arena en equipos convencionales puede ser por proyección, sacudidas, prensado, soplado y golpe de ariete; otras máquinas realizan la inversión del molde o el desmodelado. La mayoría efectúan también la combinación de ellas. Además del moldeo también se mecanizan otras operaciones como el transporte de la arena y la manipulación de cajas y moldes, llegándose incluso a automatizar algunas operaciones.

### 2.6.1. Máquinas sandslinger

Estas máquinas estuvieron en su día entre las más rentables empleadas en taller de moldeo.

Pueden llenar cajas de cualquier tamaño y compactar la arena de moldeo, empleándose en producción de piezas en serie o unitarias, en tamaño medio, grande o muy grande. Operan con alto rendimiento, llenando y atacando los moldes en caudales de 60 m<sup>3</sup>/h de arena aglutinada con bentonita. Existe la desventaja de que la máquina sólo llena y ataca, sin desmodelar ni manipular los moldes elaborados. En algunos casos se emplea con arena al cemento, aunque este sistema obliga a limpiar todas las partes de la máquina para no dejar que fragüe arena en ella.

La máquina sandslinger tiene un brazo grande, uno de cuyos extremos está articulado al eje principal de la máquina. En el extremo contrario de ese brazo se articula otro pequeño dotado también de movimiento de giro. El conjunto se instala sobre una bancada en la cual puede girar en el plano horizontal el brazo grande. En el extremo del brazo grande puede girar, también en un plano horizontal, el brazo pequeño, que tiene en su final el cabezal proyector (FIGURA 51).

Cada uno de los dos brazos tiene una cinta transportadora. La arena de la tolva emplazada en el eje

de la máquina va por la cinta del brazo inicial hasta la articulación con el brazo segundo donde vierte la arena de moldeo en este brazo. En él, otra cinta la lleva hasta el cabezal con la turbina proyectora. Algunas marcas típicas han sido Beardsley-Piper, Badische Maschinenfabrik Durlach o Femwick, entre otras.

El principio de funcionamiento del cabezal proyector de la máquina se puede ver en las FIGURAS 52 y 53. El cabezal consiste en una carcasa en cuyo interior hay una turbina que gira a gran velocidad (1.200 – 1.800 rpm). La arena de moldeo llega mediante una cinta transportadora a través de una abertura practicada en una de sus dos caras. Cae sobre la paleta de la turbina y es proyectada a gran velocidad en forma de grumos aislados, a través de la abertura periférica tangencial, contra el modelo que está dentro de la caja de moldeo.

El conjunto sufre un gran desgaste por abrasión, y para minimizarlo se dispone una camisa de chapa revestida de cromo duro de gran resistencia al desgaste, adherida a la banda interior del cabezal. Los cazos proyectores se fabrican aparte, en fundición de gran serie (moldeo mecánico o shell-moulding) con acero alto en carbono como material constitutivo. Aquí se plantea la disyuntiva de hacerlos muy resistentes (más caros) o muy baratos, aunque dure sólo unas horas cada cazo.

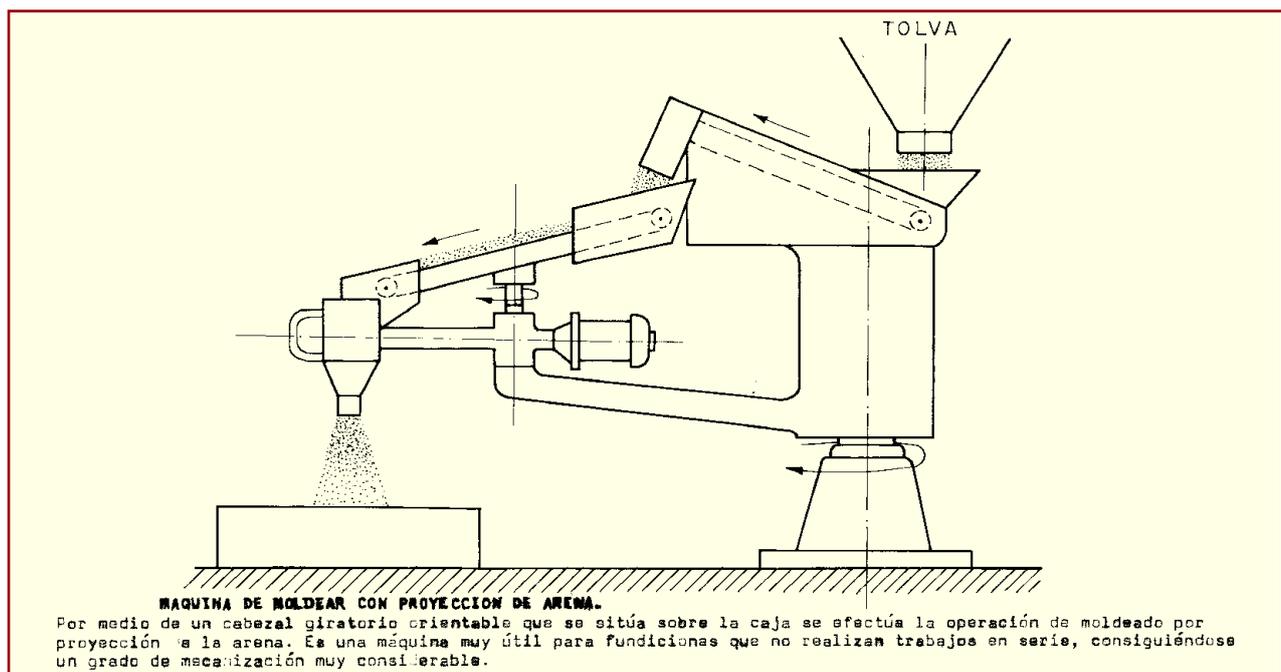


Figura 51.

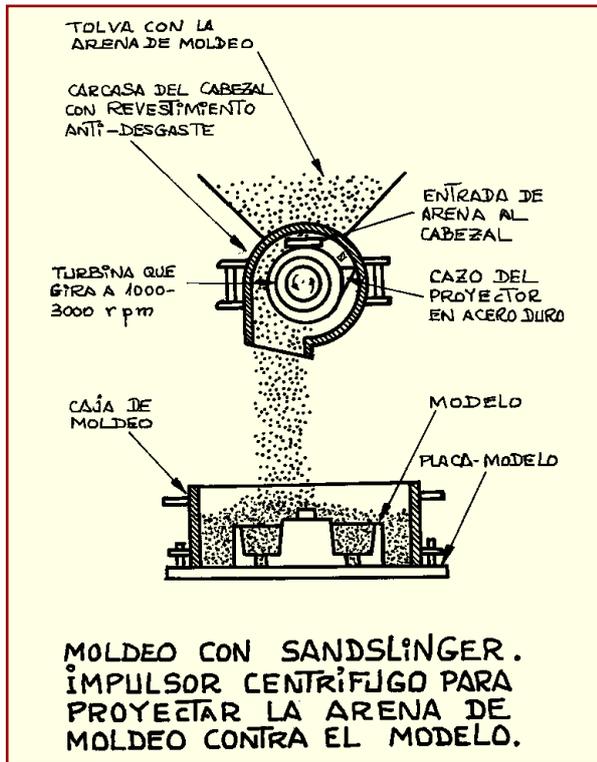


Figura 52.

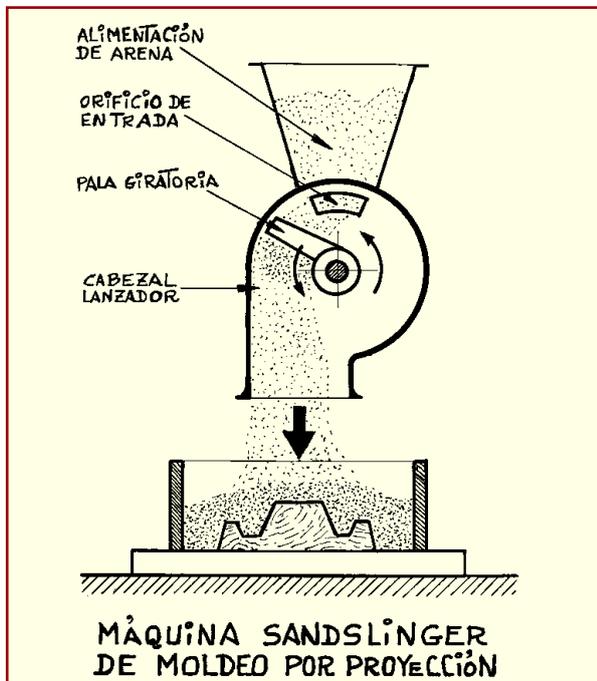


Figura 53.

El mando puede efectuarse a mano, desde tierra, accionando dos palancas, o desde un asiento fijado a la turbina; en los tipos más grandes, con un panel

de maniobra y, en los modelos más sofisticados automáticamente según un orden programado. En máquinas muy grandes el maquinista está sentado en un asiento solidario con el cabezal de atacado, en el que “sobrevuela” el molde en vías de atacado, a la vez que maneja los mandos.

El operario maneja una palanca con sistema hidráulico de mando, similar al que tienen las avionetas, de forma que el conjunto del cabezal reproduce exactamente los movimientos que efectúa la palanca.

En lo que concierne a diseño, características y funcionamiento de las máquinas sandslinger pueden hacerse algunas puntualizaciones:

- La inercia de la arena de moldeo lanzada por el impulsor al impactar contra el modelo realiza el efecto compactador.
- Esta homogeneidad es independiente de la profundidad de la caja y de la altura del cabezal proyector sobre ella.
- La intensidad de atacado viene controlada por la velocidad de rotación de la turbina impulsora, unas 1.200 – 1.800 rpm (a veces más).
- La sandslinger está adaptada especialmente a moldes de piezas desde medias hasta muy grandes. El rendimiento y tamaño de la máquina depende de que ésta sea estacionaria o móvil y del volumen de los moldes a atacar.
- La capacidad de proyección de estas máquinas es de 200 – 280 dm<sup>3</sup> de arena por minuto, (alrededor de 15 – 20 t/h). La arena se proyecta a una velocidad lineal aproximada de 3.000 m/min.
- Aunque la máquina sandslinger fue diseñada específicamente para ser empleada con arenas aglutinadas, arenas de buena fluidez (cemento, por ejemplo) también son válidas para su empleo en slingers. Hay que mantener la precaución de limpiarla después del trabajo para evitar que fragüe arena en piezas móviles.

En el caso de las arenas aglutinadas, la bentonita sódica tiene una propiedad conocida como tixotropía, que se define como la tendencia en un gel de volver a estado de suspensión sólida cuando se agita (en el cabezal proyector) y vuelve a ser gel cuando descansa, lo cual favorece la fluidez y, por consiguiente, el efecto de atacado.

(Continuará)

# Fabricación de camisas para motores diésel (Parte 4)

Por Susana de Elío de Bengy; Enrique Tremps Guerra; Daniel Fernández Segovia y José Luis Enríquez

*Si algún lector necesita alguna imagen ampliada, comuníquenoslo a [pedeca@pedeca.es](mailto:pedeca@pedeca.es) y se le enviará a mayor tamaño.*

Las máquinas sandslinger pueden ser estacionarias o móviles. En las estacionarias es el molde (de tamaño pequeño o medio) el que se traslada a y desde la máquina. La arena llega a la tolva de la máquina proyectora por una cinta transportadora directamente de la planta de preparación de arenas. Si los moldes son de gran tamaño la máquina es móvil, autotransportada, desplazándose por raíles a lo largo del taller. Se alimenta de arena contenida en tolvas recambiables que se llenan en una estación alimentada por cintas que vienen desde la planta de preparación de arenas.

Las cabezas de atacado van montadas en un brazo que gira alrededor de un eje vertical, lo que permite dirigir el chorro de arena contra cualquier parte del molde. Las cajas a rellenar se disponen a ambos lados de la vía por la que se desplaza la máquina.

Aunque se trata de un proceso de moldeo casi manual, pueden mecanizarse sus movimientos si se dispone una línea de trabajo y movimiento de materiales. Una línea clásica de este tipo, llamada "Hydra-Mold", de Beardsley-Piper consta de los siguientes equipos:

- La proyectora sandslinger propiamente dicha.
- Carrusel Roto-Mold, que es una mesa giratoria (Turntable). Esta mesa es de barras para que no se acumule arena en ella (FIGURA 54). Sobre ella se colocan las placas modelo y cajas que se van a moldear. Sobre su vertical se mueve el cabezal de la proyectora de arena.
- En la mesa se inserta la inversora Roll-a-Draw

(vista en detalle en la FIGURA 55) que efectúa el desmoldeo de los moldes.

La inversora-volteadora está conectada con los caminos de rodillos, comandados o locos, o bandejas sobre raíles, en los que se efectúa la preparación, cierre, colada, enfriamiento y desmoldeo, así como el retorno de cajas vacías (FIGURAS 56 y 57). Puede haber una instalación para secado de los moldes (si se trabaja en estufado). Las placas, cajas y semimoldes se trasladan en un transportador. Éste puede ser de rodillos comandados por motores eléctricos o de bandejas movidas por accionamientos hidráulicos o eléctricos sobre carriles.

El conjunto trabaja así:

En la posición de partida de la mesa giratoria se coloca la placa modelo sobre una plancha o bandeja lisa; se aplica al modelo un despegante que facilite el desmoldeo. Después se cubre con una capa de arena de contacto. Estas operaciones atendidas por un pescante o puente grúa ligero de maniobra. A continuación se cuelgan los ganchos, si fueran necesarios, de los nervios de las cajas; se ataca la arena de contacto, si la hay. En la posición siguiente de la rueda la sandslinger proyecta la arena de relleno. Después se ataca adicionalmente la superficie superior del semimolde, se rasea y quita el sobrante de arena, se practican con una aguja los "respiros" y se extraen los modelos de bebederos y mazarotas, si no hay que esperar a fraguado.

Después, mediante la máquina inversora Roll-a-Draw se invierte el semimolde y se extraen del

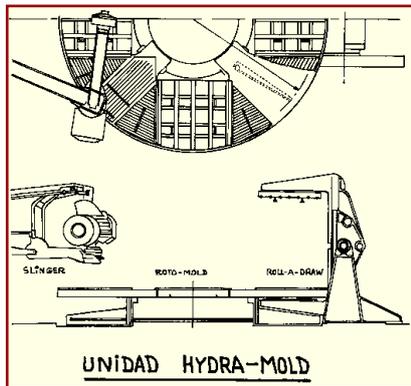


Figura 54.

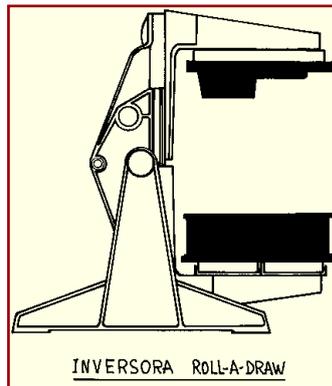


Figura 55.

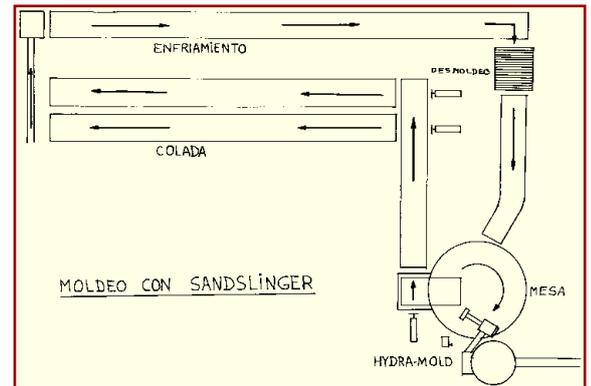


Figura 56.

mismo los modelos. El semimolde girado abandona el camino de rodillos de esta máquina y llega al sistema transportador de rodillos o bandejas hacia el camino de rodillos mecanizado. Allí se le dan los toques de acabado a los semimoldes y se preparan para el secado, si lo hay. En las posiciones siguientes se secan los moldes si es preciso (a extinguir). Ayudándose de los equipos de manutención se pintan y flamean molde y machos, se colocan éstos y sus soportes, se arreglan desperfectos y de-

más operaciones que constituyen lo que se llama “preparación y cierre”. El molde cerrado queda en espera de colada, enfriamiento, desmoldeo y retorno de cajas, cada etapa en su zona respectiva.

En estas líneas se pueden moldear cajas de una longitud de hasta: 2.000 – 3.000 mm, 1.000 – 2.500 mm de anchura y 300 – 900 mm de altura. La masa máxima del semimolde es de unos 2.000 kg, aunque instalaciones especialmente diseñadas pueden superar estas cifras. La carrera de extracción del modelo (con una altura de la caja de moldeo de 900 mm) es de 630 mm. El rendimiento de la línea viene a ser de cuatro semimoldes por hora, dependiendo del grado de mecanización de las operaciones auxiliares.

Cuando el moldeo es con arena aglomerada con cemento los tiempos de espera de fraguado impuestos por esta composición no permiten un empleo eficiente del conjunto Hydra-Mold, por lo que el atacado de los moldes se hace en el suelo, en el cual quedan hasta completar el fraguado. Todas las operaciones suelen ser realizadas por transportadores aéreos.

Si se moldea en arena al cemento puede emplearse una hormigonera para preparar la mezcla y descargarla en el molde. Previamente hay que rellenar a mano perfectamente todos los recovecos que tenga el modelo, para evitar posteriores penetraciones del caldo en la arena. Se ataca la arena hasta enrasar todas las salidas de gases y se colocan las tapas de las ventanas de atacado, si las hay, tal como se vió en las FIGURAS 42, 43 y 44. Después se voltean las cajas, invirtiendo su posición; esta operación se facilita con cajas cilíndricas, que hacen innecesario el puente-grúa o pescante para el volteo. La caja aún no atacada queda encima. Se opera como en la caja anterior hasta enrasar. Es preci-

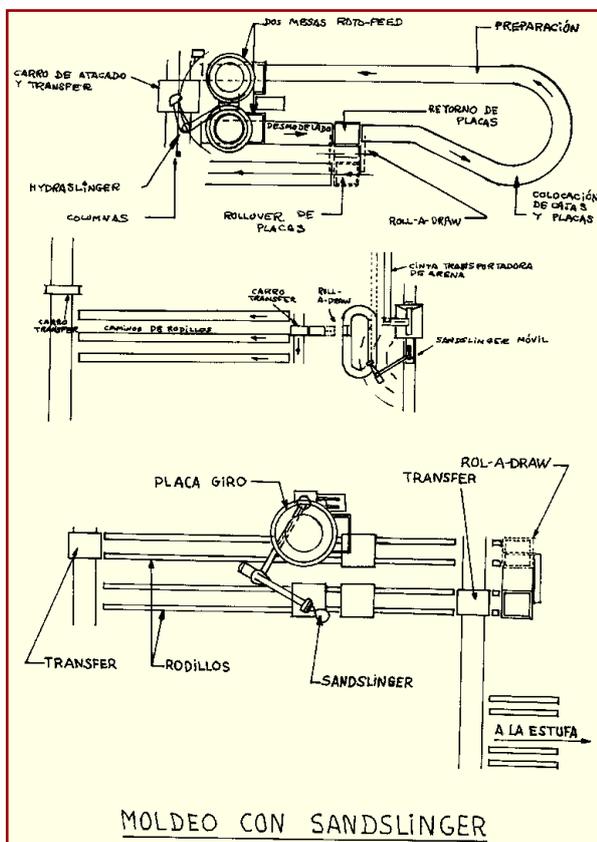


Figura 57.

so tener la precaución de insertar previamente piezas desmontables que una vez extraídas dejarán los huecos para los canales de evacuación de gases y caldo sobrante.

En algunas fundiciones se ahorra arena y aglomerantes intercalando trozos de otros moldes o machos anteriores entre la arena fresca. En otras el relleno se hace con trozos de coque, de forma que se aumenta la permeabilidad y capacidad de disipar gases en la colada. Sólo se ataca con arena aglomerada fresca la capa de contacto con el modelo. Puede decirse que el conjunto queda como un molde de cáscara de gran tamaño; el resto del molde se rellena, hasta completar la capacidad de las cajas, con bloques desmoldeados, coque, granza o cantos rodados del tamaño aproximado de una almendra.

Al desmoldear el molde colado, una vez fundido y frío, la costra se manda al escombro (si no hay recuperación de arena) y las piedrecillas se recuperan para volver a utilizar en moldes posteriores. Este sistema presenta múltiples ventajas, entre las que se pueden citar las siguientes:

- Bajo consumo, de arena nueva y aglomerantes.
- Reducción del tiempo de atacado del molde.
- Permeabilidad del molde y disipación de gases en la colada.

Las piedras redondas son más fáciles de manipular (llenado o vaciado del molde con ellas) que el coque o los trozos de machos.

Los machos suelen hacerse en la misma sección donde se moldean, preparan y cuelan los moldes. Cada sección tiene su mezclador propio con su dispositivo de carga y dosificación de ingredientes. En cada mezclador hay una tabla de mezclas con dosis exactas. Los machos pequeños (en silicato, resinas furánicas, caja caliente, cáscara) se hacen en machería aparte. Algunas fundiciones los encargan al exterior para no diversificar innecesariamente las composiciones y equipos de preparación de arenas.

Los enfriadores, armaduras y otros accesorios metálicos se construyen bajo plano en talleres aparte de forma que los moldeadores y macheros sólo tengan que realizar su propio trabajo especializado. Los enfriadores internos han de estar perfectamente granallados, lijados e incluso pulidos. El estañado de los accesorios (soportes de machos, enfriadores internos) que van a quedar sumergidos en el caldo ha de ser de gran calidad.

Las camisas llevan enfriadores de contacto (enfriadores externos, FIGURA 16 ya vista) en forma de coronas circulares o segmentos circulares dispuestos alrededor de las partes masivas que quedan en las zonas inferiores. El objeto de los enfriadores es acelerar el enfriamiento de las zonas masivas de la pieza para tener solidificación uniforme y exenta de defectos de contracción. Estos enfriadores se clavan al molde por medio de barrenos. Las camisas de dos tiempos llevan entre los machos de las lumbreras unas barras corrugadas muy bien sujetas que hacen de enfriadores (enfriadores internos, FIGURA 58). Estos enfriadores externos evitan o mitigan el efecto desfavorable de última solidificación en los cruces de nervios entre lumbreras.

## 2.6.2. Máquinas de moldeo por sacudidas

Una máquina de moldeo se puede definir como un sistema que consta de varias piezas interrelacionadas cuya función es transmitir y modificar varias fuerzas y movimientos que coadyuven a la construcción de un molde de arena. Las características de la máquina son:

La mesa de la máquina tiene atornillada a ella (arandelas Grover) la placa modelo. Sobre la placa se coloca la caja de moldeo que se llena con la arena que cae de una tolva emplazada sobre la máquina. El fundamento de movimiento del conjunto es en cierto modo como el de un cilindro de motor de dos tiempos (FIGURAS 59 y 60). La mesa de la máquina, y la placa solidaria con ella, se elevan con la ayuda de aire comprimido a 0,6 MPa (6 Kg/cm<sup>2</sup>) hasta que el émbolo de la mesa descubre la lumbrera de escape. En ese momento cesa la presión y el émbolo con el conjunto de la mesa caen contra el yunque de la máquina, repitiéndose el ciclo elevación-caída. Al chocar, la fuerza viva de la arena se amortigua y tiene lugar la compresión de la arena en la caja. Con sucesivos golpes se alcanza la compresión requerida de la arena en la caja.

Las operaciones básicas realizadas por una máquina de moldeo típica incluyen, de una forma general, atacado de la arena, inversión del molde atacado (en algunas máquinas) y separación del modelo. Así, las máquinas de moldeo se nombran según las operaciones específicas que van a realizar.

El atacado o compactación de la arena es quizá la función básica más importante de la máquina. El sistema de sacudidas es una de las diferentes soluciones que la máquina escoge para el atacado de la arena.

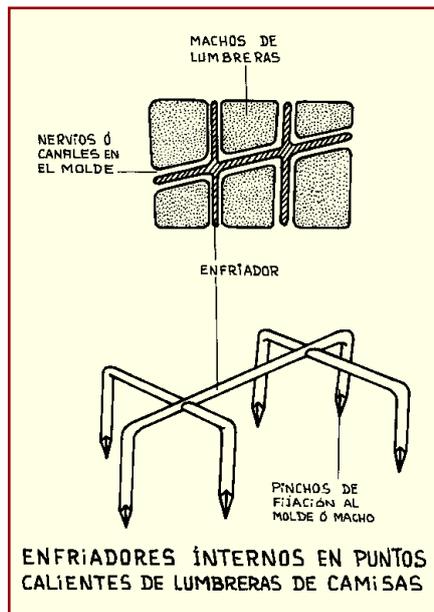


Figura 58.

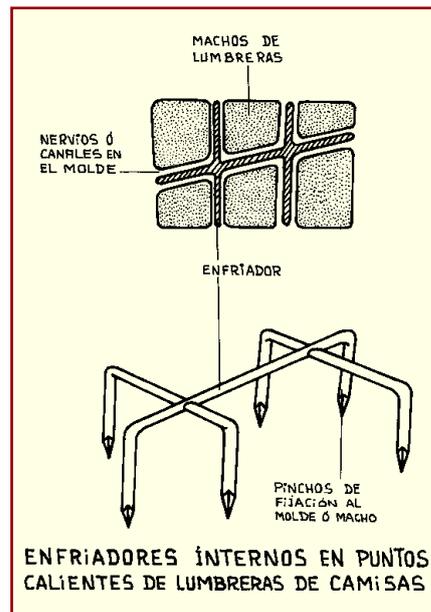


Figura 59.

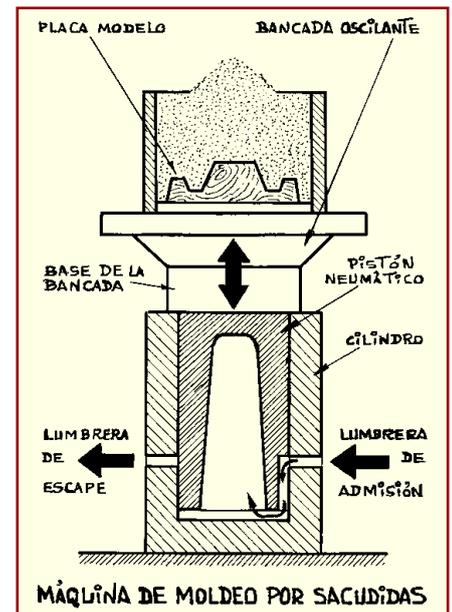


Figura 60.

La operación es así:

- El conjunto de la caja se eleva y deja caer intermitentemente para aprovechar la inercia de la masa de arena.
- El grado de atacado de la arena es máximo en el nivel en que el modelo y la arena están en contacto, es decir, la interfase modelo-arena
- En cierto modo el grado de atacado varía con la altura de caída y la profundidad de la arena en la caja de moldeo.
- Sólo una parte del molde se maneja en cada momento cuando se emplea moldeo por sacudidas.
- Puede emplearse el método de sacudidas solo o en combinación con otras operaciones como son las máquinas “jolt-squeeze” (sacudidas y prensado), “jolt-pin-lift” (sacudidas y elevación por “velas”), “jolt-rollover-draw” (sacudidas y volteo) y otras.

Una máquina de sacudidas hace que la mesa de la máquina se sacuda a una velocidad que puede variar entre 10 y 200 impactos por minuto, con una carrera de 30 – 100 mm, para atacar la arena en moldes de hasta 800 mm de altura.

Estas máquinas son de funcionamiento duro para el equipo; la densidad de atacado no es homogénea en toda la masa del molde, lo que las hace más aptas para moldeo de superficies horizontales que para piezas profundas e intrincadas.

Como se ha dicho, como resultado del apisonado por percusión se obtiene una compresión irregular de la mezcla de moldeo en la caja; la máxima compresión se alcanza en la capa que se encuentra alrededor del modelo, ya que en ella con los choques actúa la fuerza de inercia de toda la masa del material de moldeo que se encuentra por encima.

En las zonas más lejanas del modelo el grado de densidad de la arena se reduce, ya que la capa superior de arena no se comprime. Para comprimir las capas superiores de arena se suele utilizar, en las cajas de tamaño pequeño o medio, un prensado adicional, y para las cajas medias y grandes el apisonado a mano o con pisón neumático, así como la percusión con un peso en forma de plancha colocada encima de la arena.

En la FIGURA 61 puede verse una máquina de sacudidas de grandes dimensiones Badische Maschinenfabrik Durlach. En su tiempo esa máquina recibió en taller el nombre coloquial de “la máquina de las bañeras”.

En la FIGURA 62 puede verse la solución mecánica de sujeción y guía de las piezas componentes del moldeo: Mesa de la máquina, placa modelo y caja de moldeo. Ha de tenerse en cuenta que esta sujeción debe ser a prueba de golpes y vibraciones.

La forma de la camisa hace que sea una pieza de dos mitades idénticas, lo que facilita el modelaje, ya que basta tener un semimodelo con el que se

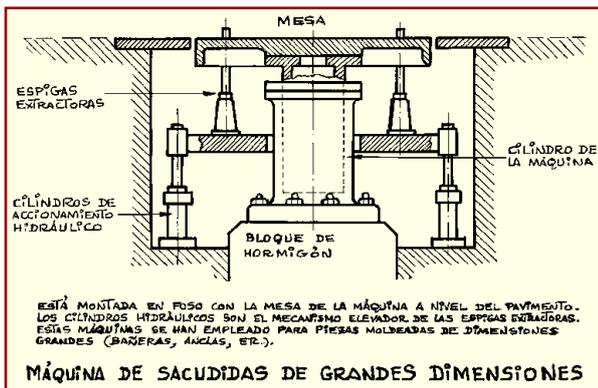


Figura 61.

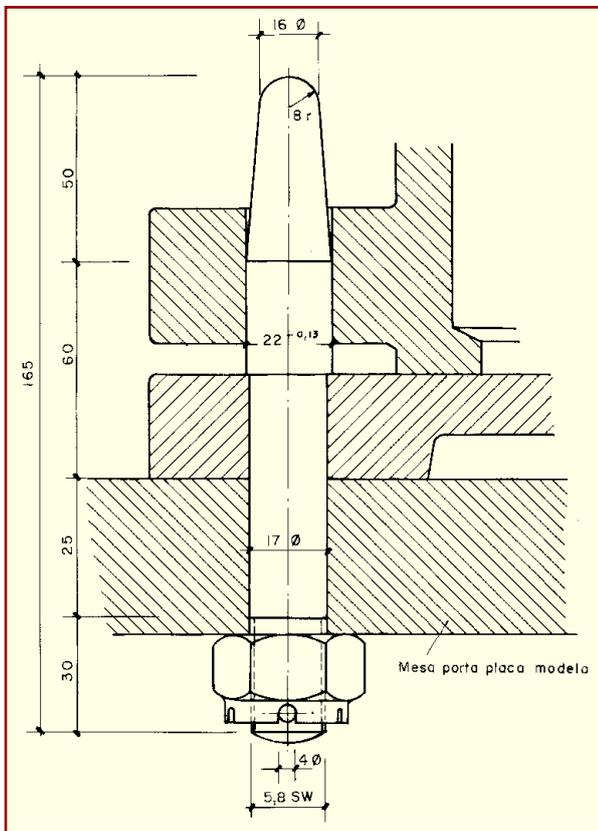


Figura 62.

hacen ambos semimoldes. Esto hace también que en contra de lo que sucede normalmente se necesite una sola máquina, la cual va elaborando alternativamente “partes bajas” y “partes altas”.

En estas máquinas se coloca la caja y se echa material despegante sobre el modelo. Después se cubre éste con arena de contacto para mejorar la calidad superficial de las piezas. Se abre la boca de tolva para que caiga la arena de relleno sobre el molde, a

la vez que se acciona el mando de atacado de la máquina. En la parte superior del semimolde se completa el atacado con un pisón o atacador neumático; después se rasca la arena sobrante y se rasea el molde. Si fuera “parte alta” se extraen los modelos de bebederos, respiros y mazarotas que estuvieran incrustados en la arena del molde.

Para el desmodelado la máquina tiene unas “velas” que suben y efectúan el desmodelado o separación del semimolde elaborado de su placa modelo. Cuando se ha elevado el semimolde se transporta por el puente grúa hasta la estufa (si aún se trabaja con arena seca) o a la zona de preparación y cierre que debe estar dotada de elevadores (plumas, pescales, puentes grúa ligeros...) para ayudar a las operaciones de “remoldeo”. Se pinta, flamea, se colocan machos y piezas del sistema de colada y se termina cerrando el molde y llevándolo al foso de colada.

Algunas de estas máquinas de grandes dimensiones tienen, además del sistema de extracción del molde, otro de volteo, de forma que después de desmodelar, el semimolde se voltea y queda sobre la mesa de la máquina en posición hacia arriba, listo para las operaciones de preparación y cierre. Son las máquinas llamadas “reversibles”, especialmente indicadas para piezas profundas e intrincadas. Lo que asciende en el desmodelado es la placa modelo, con lo que se evitan roturas en el semimolde.

Es conveniente complementar el transporte aéreo, con grúa y demás, citado varias veces, con un sistema de caminos de rodillos o bandejas sobre raíles, dotados ambos de medios mecánicos de comando, carros transfer y otros equipos auxiliares.

### 2.6.3. Máquinas mixer-slinger:

También reciben los nombres de “turbomezcladores” o “mezcladores continuos”. Se utilizan casi siempre con resinas. A diferencia de las sandslingers, las mixer-slinger son siempre fijas; son las cajas y moldes quienes se desplazan, a y desde la máquina.

La preparación de mezclas de endurecimiento en frío con resinas sintéticas se efectúa en estas máquinas que tienen ejes provistos de paletas o helicoidales (“tornillo de Arquímedes”) que giran a una velocidad de 30 – 36 rpm. En las FIGURAS 31, 32 y 33 se vieron esquemas de la máquina y sus características.

Ordinariamente las mezclas se preparan según la siguiente secuencia:

En la sección inicial de la mezcladora, donde cae la arena base desde su tolva, llega esta arena y el catalizador dosificado y se mezclan minuciosamente durante 2 - 2,5 min. Después, se carga la resina aglomerante con el dosificador en el extremo final de esta sección primera de la mezcladora de la cual se descarga a la sección segunda. Finalmente, la mezcla se prepara en la sección segunda de la mezcladora, donde tiene lugar el mezclado de la arena, el catalizador y el aglomerante durante 1,5 - 2 min. La mezcla preparada va cayendo sobre la placa modelo o caja de machos.

El transporte de placas modelo, cajas de moldeo y semimoldes es muy variable en lo que respecta a su grado de complejidad y mecanización. Lo más sencillo es transportar con la grúa el semimolde atacado hasta la zona de preparación y cierre. Pue-

den emplearse también equipos parecidos a los descritos para la proyectora sandslinger, como mesas rotativas, caminos de rodillos o bandejas sobre raíles, todos ellos comandado por sistemas eléctricos o hidráulicos. En las FIGURAS 63 y 64 se ve un esquema de planta para trabajo con resina así como el diagrama de proceso, movimientos e identificación de puestos de trabajo. Esta planta, con algunas variaciones de detalle, es susceptible de aplicarse al moldeo de camisas.

En las FIGURAS 65, 66, 67, 68, 69 y 70 se tienen esquemas de regeneradoras de arena aglomerada, Lo normal es hacer la capa de contacto con mezcla basada en arena nueva y el relleno con mezcla preparada con arena recuperada. Esto implica que sobre la máquina mixerslinger hay dos tolvas, una para arena base nueva y otra para arena recuperada, con válvulas de tajadera, accionadas a mano o neumáticamente, para que caiga uno u otro tipo de arena.

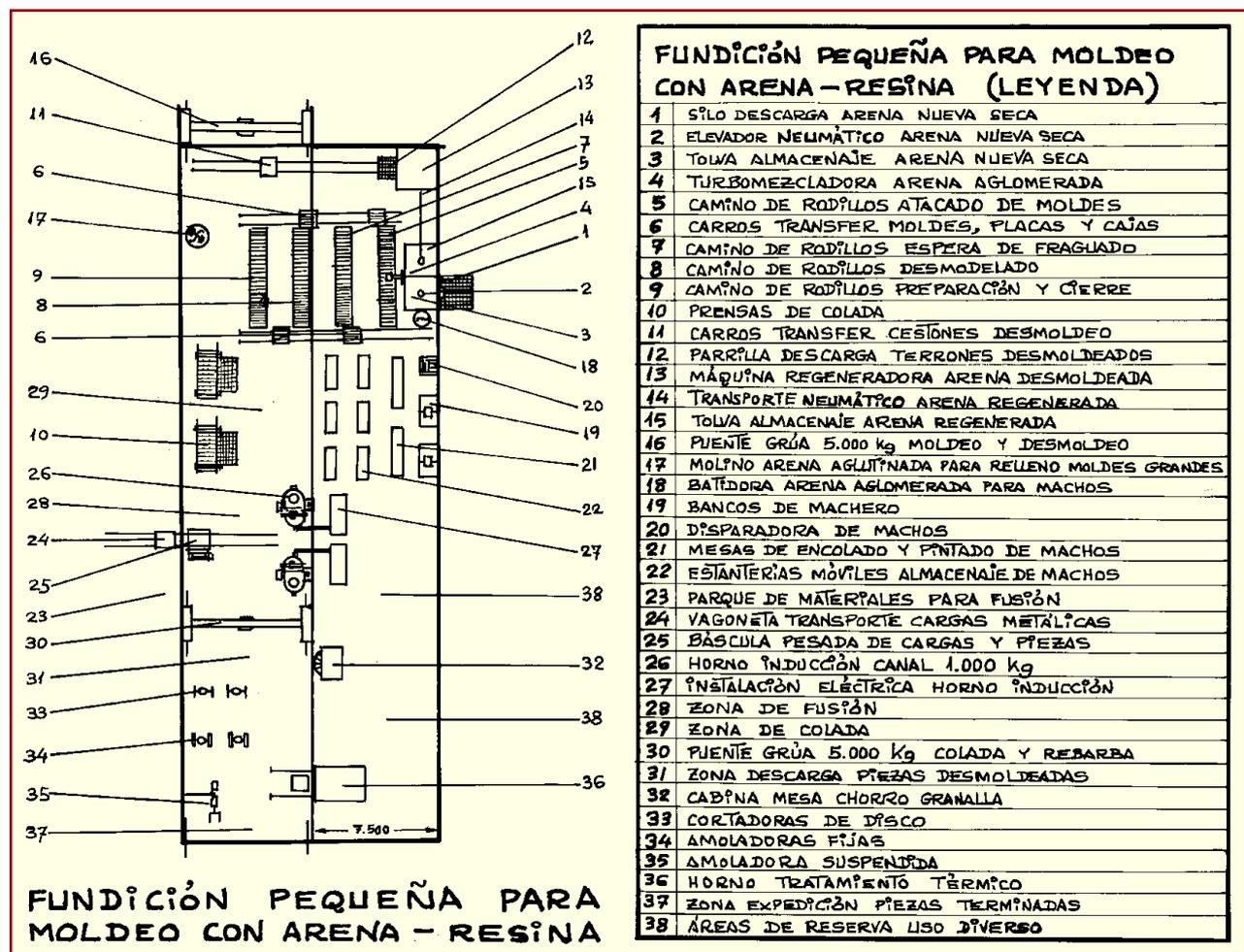


Figura 63.

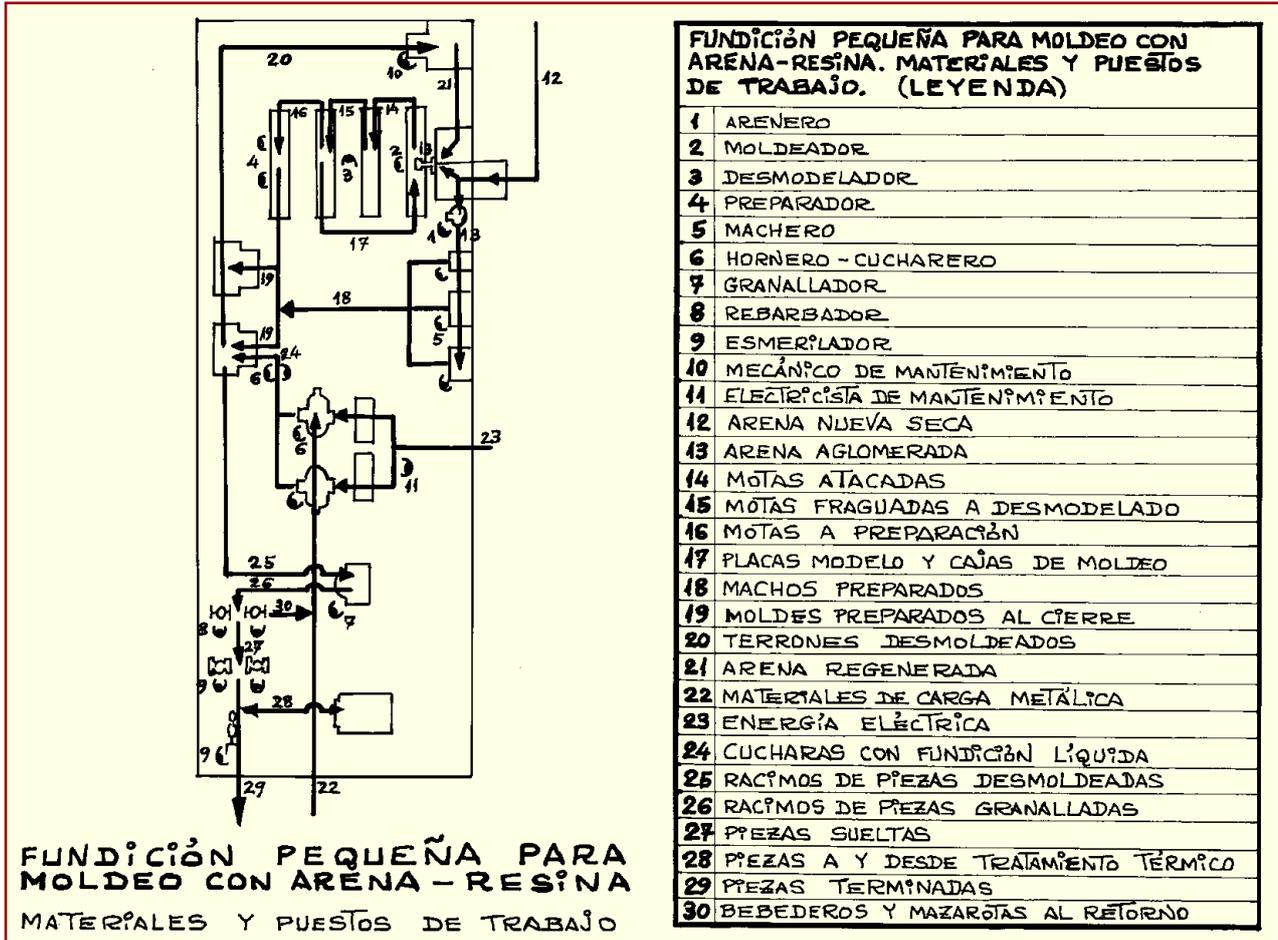


Figura 64.

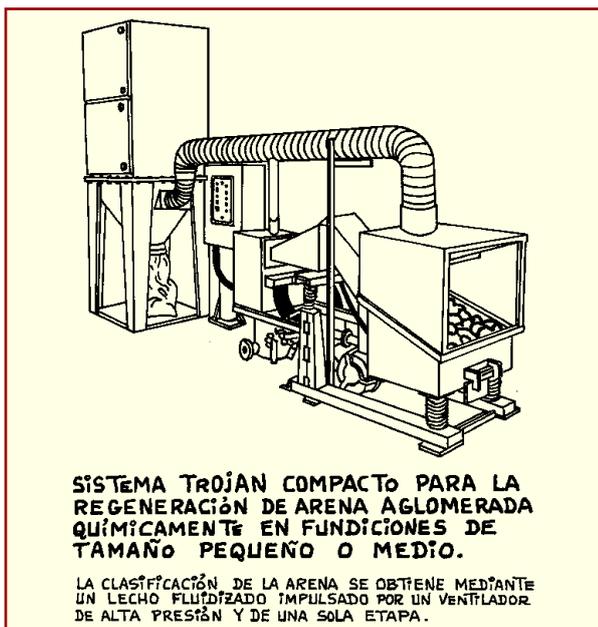


Figura 65.

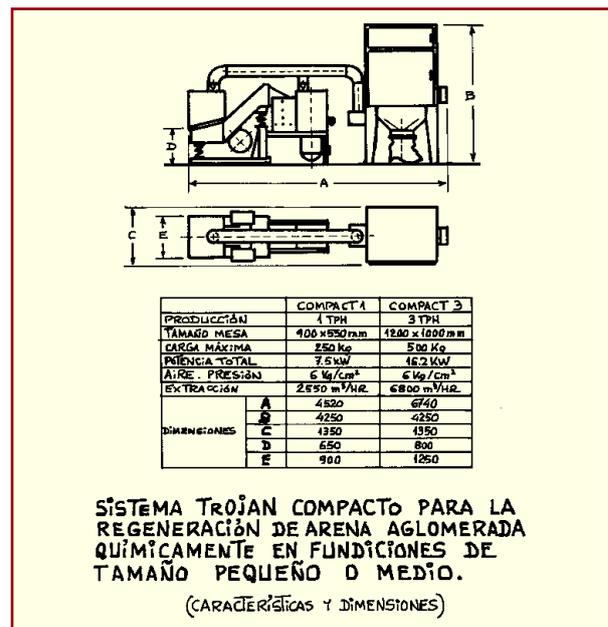


Figura 66.

(Continuará)

# Fabricación de camisas para motores diésel (y Parte 5)

Por Susana de Elío de Bengy; Enrique Tremps Guerra; Daniel Fernández Segovia y José Luis Enríquez

Si algún lector necesita alguna imagen ampliada, comuníquenoslo a [pedeca@pedeca.es](mailto:pedeca@pedeca.es) y se le enviará a mayor tamaño.

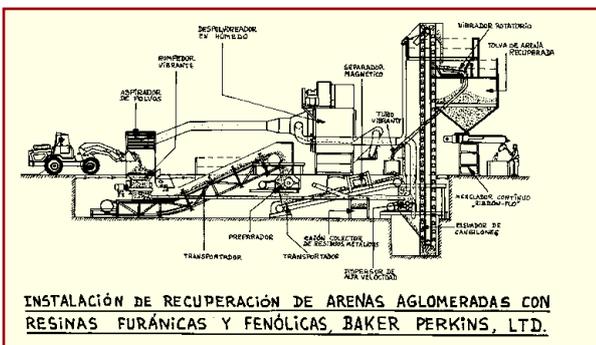


Figura 67.

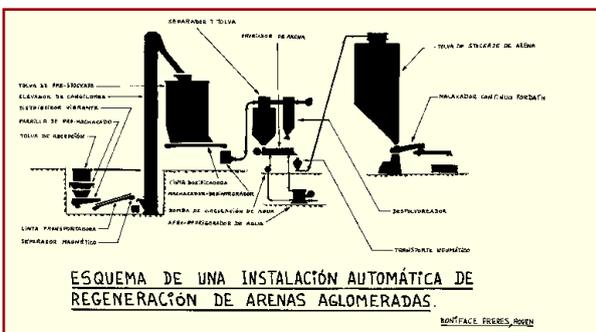


Figura 68.

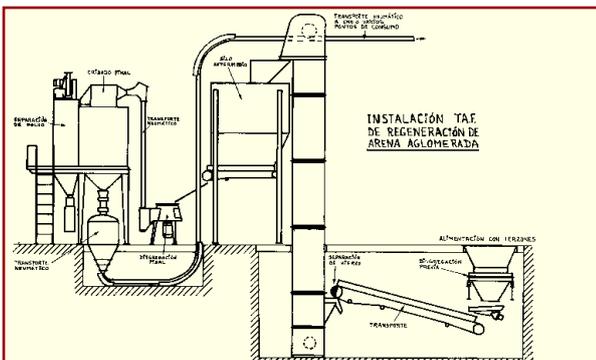


Figura 70.

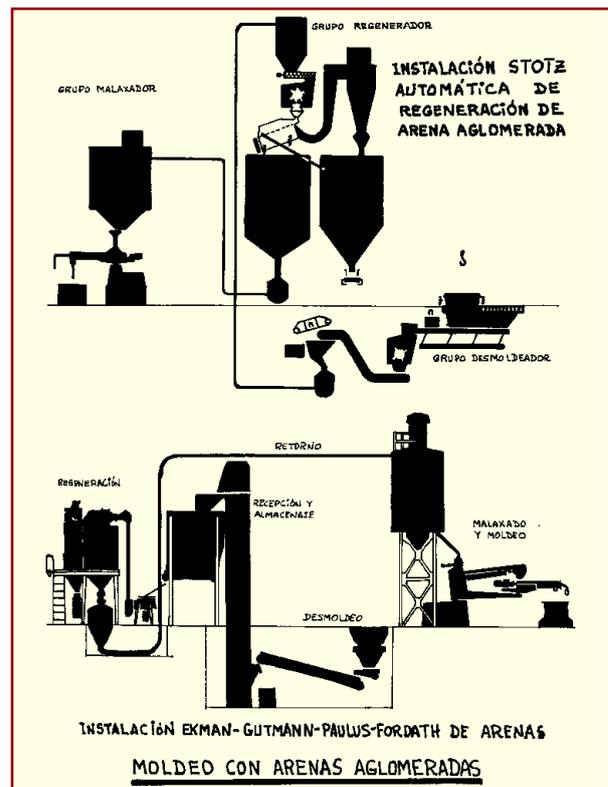


Figura 69.

## 2.7. Variantes del método para camisas grandes

En su tiempo, las fundiciones alemanas y centro-europeas contaban con excelentes arenas naturales para el moldeo, por lo que no necesitaban utilizar en gran escala el moldeo con arenas más fuertes. Estos materiales (que no precisan de sacudidas para extraer la placa modelo) tienen una buena constancia de medidas. Los machos para camisas muy grandes se hacían de barro o de arena

al cemento. Se cuidaba mucho la calidad de las arenas, el estañado o pulido de los soportes del macho, etc. En general, trabajaban con una gran calidad de materiales y procesos. Un ejemplo típico era la casa M.A.N. de Augsburgo.

Las camisas se moldean de forma similar al proceso hasta ahora descrito, es decir, en dos semimoldes que se cierran y se cuelan después en posición vertical. La placa portamodelos lleva el modelo de la pieza propiamente dicho junto con los modelos correspondientes a portadas de machos, anillo distribuidor y bajadas de los bebederos, esta últimas diametralmente opuestas entre sí. La holgura que hay entre el macho central y la "galleta" o macho filtro para colada en cortina oscila entre 3 mm en camisas pequeñas y 8 mm en camisas grandes. La artesa de colada tiene forma de media corona circular, teniendo las bajadas de los bebederos posicionadas en los extremos del diámetro tal como puede apreciarse en las FIGURAS 38, 39 y 40 anteriormente vistas.

Se sigue la práctica de llenar la artesa con todo el peso de caldo calculado para la pieza, más el correspondiente a su sistema de llenado y alimentación. Cuando todo el caldo ha llenado la artesa se abren los tapones por medio de un mecanismo articulado y mando seguro. Estas camisas presentan formas masivas en su parte inferior, que tienden a salir rechupadas. Para obviar esta dificultad se emplean enfriadores externos de forma anular, que se sujetan al molde por pinchos. En la FIGURA 15 ya

se vió que la placa modelo tiene los salientes que dejarán en el molde los huecos en los que se han de alojar estos enfriadores externos.

En la FIGURA 71 se describe la técnica empleada para una camisa M.A.N. de 300 kg de peso neto. Molde de arena aglutinada estufado posteriormente; macho de arena autofraguante de estufado. Como se ha dicho en epígrafe anterior, hoy día estas composiciones de arena han sido sustituidas por las aglomeradas basadas en resinas de caja fría. La pintura utilizada es grafitada de alta calidad. Para evitar arrastres, las bajadas del bebedero y los respiros se hacen insertando tubos de material cerámico refractario de 60 mm de diámetro para el bebedero y de 40 mm de diámetro para los respiros. Los ataques están dispuestos "en cortina", y el peso de la mazarota de alimentación para esta camisa es de unos 100 kg, lo que indica un buen rendimiento de alimentación.

La FIGURA 72 describe una camisa tipo M.A.N., de 1.000 kg de peso neto y 900 kg de mazarotaje; las arenas utilizadas son similares a la anterior. El sistema de colada empleado ahora es de artesa con un pocillo central del que, por rebose, fluye el caldo a unos orificios (sistema de lluvia) que vierten directamente a la mazarota sin que haya canal distribuidor. El moldeo se hace, dadas sus grandes dimensiones y la excelente salida del modelo, en cajas superpuestas en lugar de hacerlo longitudinalmente en semicajas; esto se debe a que las cajas serían

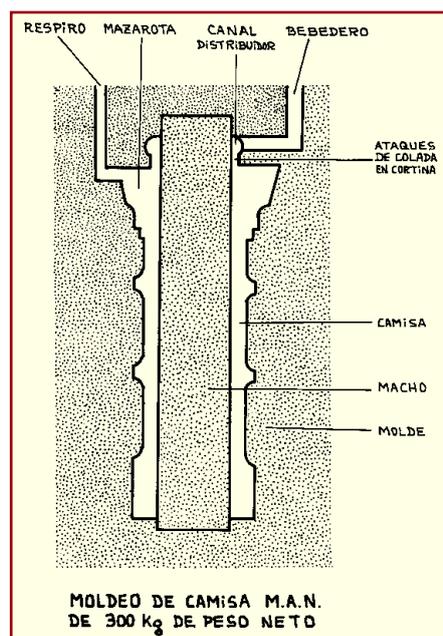


Figura 71.

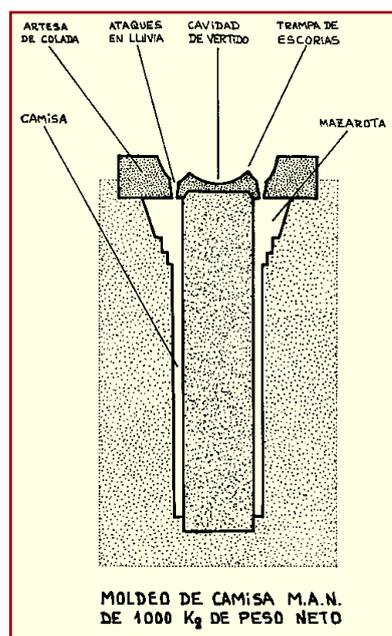


Figura 72.

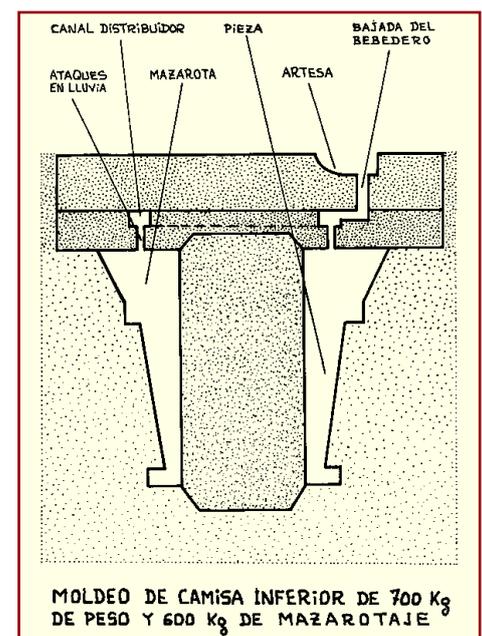


Figura 73.

carísimas y a que habría, por otra parte, riesgo de que por la elevada presión ferrostática se reventara el molde y se fugara el caldo.

En la FIGURA 73 se puede ver el molde de una camisa inferior, de 700 kg de peso y 600 kg de mazarataje. Se funde también en cajas múltiples superpuestas. Molde y macho de arena autofraguante para estufa.

En todos estos casos resulta por lo menos sorprendente que se trabaje con tanto peso de mazarataje en comparación con el peso de pieza neta, poco frecuente en piezas de fundición gris coladas verticalmente; Esto parece deberse al objetivo primordial que es garantizar la sanidad de la pieza y la ausencia de poros o defectos de contracción que se descubrirían al mecanizar.

En el caso de motores de dos tiempos, las cosas se complican. Las culatas de motores de dos tiempos son más fáciles de moldear y fundir que las de cuatro tiempos, mientras que hay más dificultad en el moldeo de camisas de dos tiempos debido a la necesidad de practicar las lumbreras de admisión y escape. Es decir, lo que se simplifica en la culata se complica en la camisa. Las lumbreras salen en bruto de colada mediante machos que pueden montarse incrustados en el central y solidarios con él (FIGURA 74) o sujetarse a la pared del molde (FIGURA 75).

Se toman precauciones extremas para la colocación de estos machos. Es preciso sujetar perfectamente el conjunto de machos al central o a la pared del molde para evitar penetración del caldo por las juntas; este defecto, además de encarecer el mecanizado, daría lugar a filetes de enfriamiento y aristas templadas. Por otra parte, hay que asegurar la estanqueidad de los conductos de escape de gases de estos machos, ya que su defectuosidad daría lugar a poros y sopladuras que inutilizarían la pieza o darían lugar a pérdidas en la prueba de presión. Las camisas Sulzer, fueron en su día ejemplo de difícil y delicada fabricación.

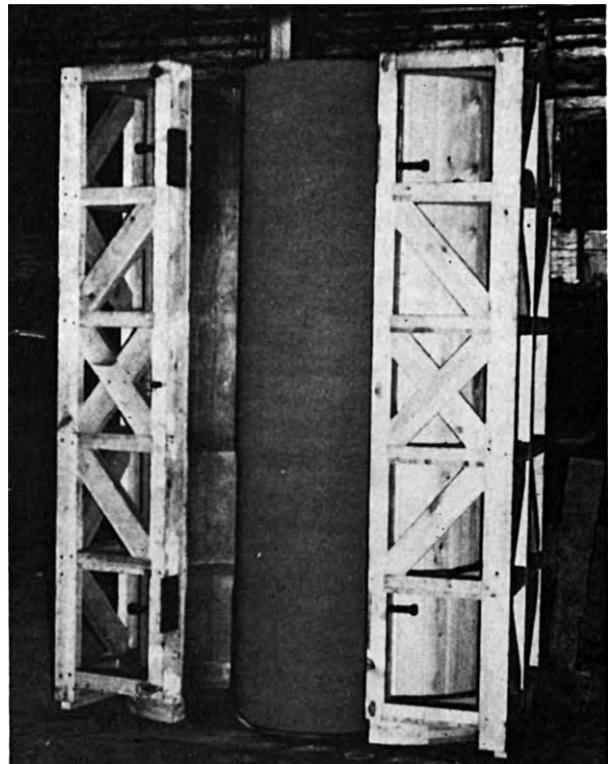


Figura 76.

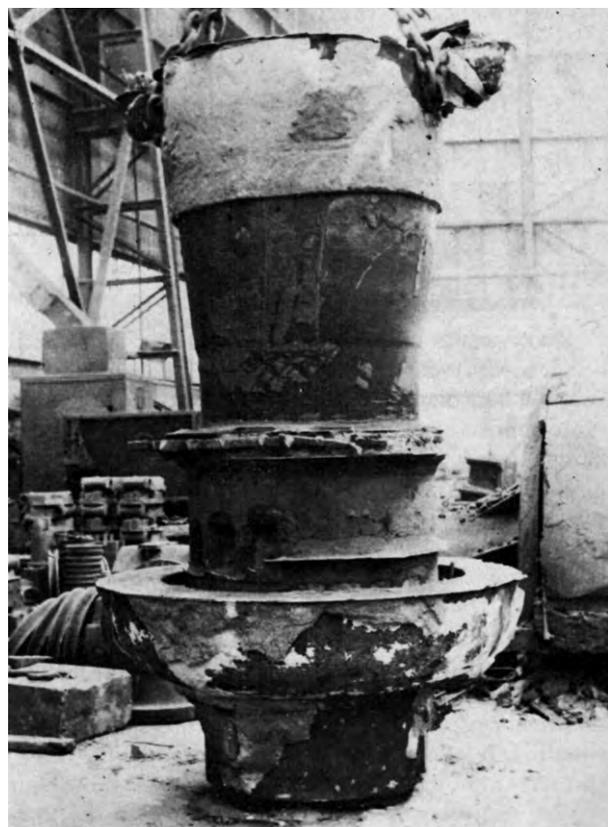


Figura 77.

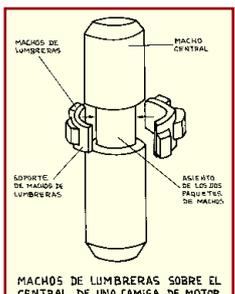


Figura 74.

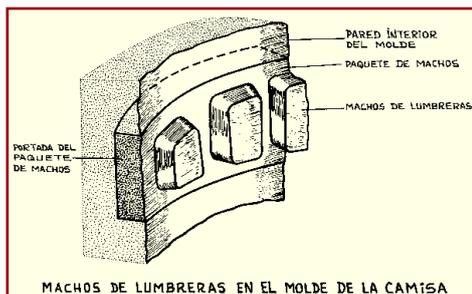


Figura 75.

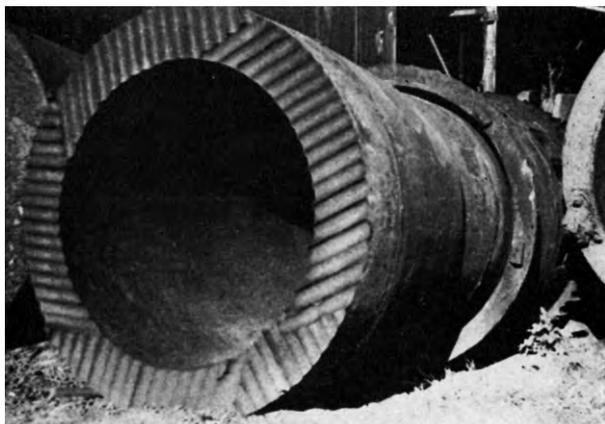


Figura 78.



Figura 81.



Figura 79.

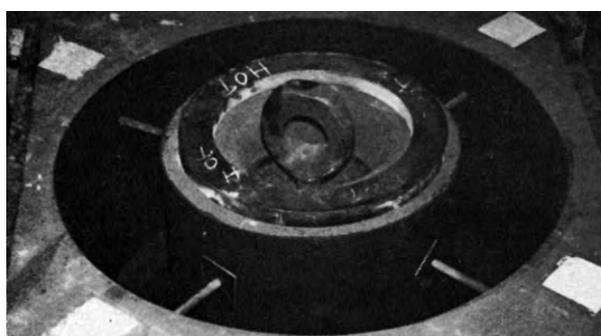


Figura 82.



Figura 80.

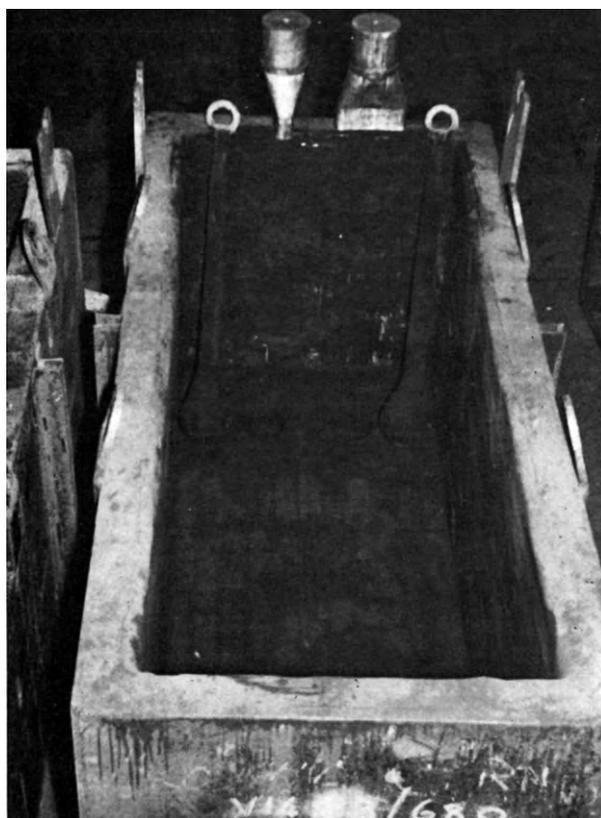


Figura 83.

Otro problema originado por las lumbreras es el de acumulación de calor en puntos calientes de última solidificación. Para solucionarlo se hace uso de los enfriadores internos, que igualan las velocidades de enfriamiento de toda la masa metálica que solidifica, en la cual quedan embebidos, llegando a fundirse con ella (FIGURA 58, ya vista). Hay que tomar precauciones; los enfriadores deben estar perfectamente pulidos, desoxidados y exentos de humedad. Con esta técnica se evitan rechupes y otros defectos de contracción.

### 2.8. Trabajo en una fundición británica

A continuación se revisan los métodos en una fundición británica de piezas para construcción naval, especialmente motores marinos de hasta 20.000 HP de potencia (2.900 HP por cilindro) con camisas de 360 a 950 mm de diámetro interiores, fundidas en moldes elaborados con resina furánica con ácido fosfórico como catalizador. En la FIGURA 76 puede verse que el macho se ha atacado en posición vertical en una caja en dos mitades. En su centro el macho lleva un tubo de refuerzo con agujeros para venteo.

Con la sustitución de arena aglutinada por aglomerada el tiempo de fabricación del macho pasó de ser tres o cuatro días a reducirse a unas pocas horas.

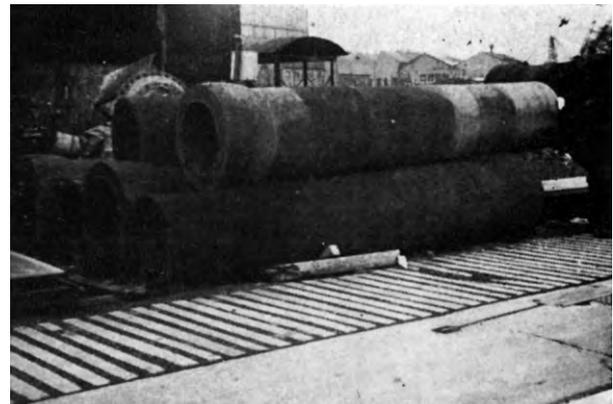


Figura 84.

Para no frenar el trabajo de otras secciones por ocupación de puentes-grúa, los machos se hacen en taller aparte y se trasladan hasta la zona de cierre y los fosos de colada mediante un carro transfer.

Las camisas fabricadas pesan, en bruto de colada y con su sistema de alimentación (3 t), unas 9,5 t, con la composición siguiente: 3,4 % carbono, 0,9 % silicio, 0,6 % manganeso, 0,12 % azufre, 0,25 % fósforo, 1,00 % cobre y 0,15 % vanadio.

La pieza (FIGURA 77) se hace con una mazarota superior muy alta y otra inferior que garantiza sanidad y ausencia de contracción en la zona de lum-

Aplicaciones		C %	Si %	Mn %	P %	S %	Ni %	Cu %	Cr %	Mo %	Dureza Brinell
A. Motores pequeños y medianos	1. Camisas	3,1	1,65	0,85	0,30	0,10	—	1	0,3	—	220
	2. Culatas	—	—	—	—	—	0,6	1,2	0,35	—	235
		3,1	1,65	0,85	0,15	0,10	—	1,5	0,3	—	240
	3. Segmentos	3,3	2,5	0,65	0,3	0,08	—	1,2	0,2	0,3	260-290
		3	2,3	0,65	0,4	0,08	—	1,5	0,35	0,45	260-330
		3,6 3,9	2,5 3	0,4 0,7	0,3 0,5	0,05	—	0,2 0,4	—	0,1 0,3	
B. Motores grandes	1. Camisas	3,1	1,65	0,85	0,15	0,10	—	1,5	0,3	—	240
		3,3	2,00	0,70	0,10	0,03	—	0,5-1,8	0,9	—	—
	2. Culatas	3,1	1,65	0,85	0,15	0,10	—	1,5	0,3	—	230-240
		3,25	2,0	0,7	0,3	0,10	—	0,6	0,4	0,5	220
	3. Segmentos	3,2	1,3	0,5	0,35	0,05	0,15	0,35	—	0,4	180-240
		3,6	2	0,8			0,30	0,55	—	0,6	

Tabla 1.



Figura 85.



Figura 86.

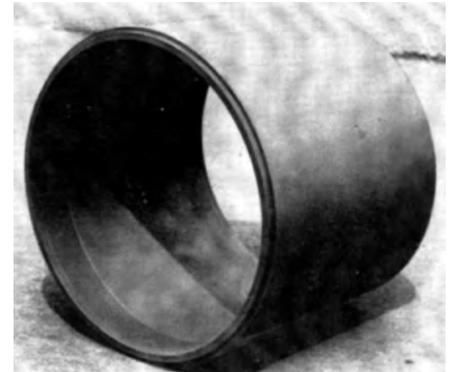


Figura 87.

breras. Se disponen también enfriadores que en algunos casos se refrigeran por circulación de agua. En la FIGURA 78 puede verse la pieza, una vez cortada la mazarota y con los enfriadores aún sin separar. Después se cambió el diseño y las cámaras se mecanizan a partir de metal macizo (FIGURA 79). Una vez mecanizada totalmente, la camisa tiene el aspecto que muestra la FIGURA 80.

Más recientemente se han simplificado los métodos de trabajo y sistemas de colada. Así se han suprimido las mazarotas situadas bajo las lumbreras y en lugar de combinación de canales de llenado por arriba y por abajo, ahora hay una artesa de colada cuya capacidad permite contener todo el caldo que se va a llevar la pieza y el sistema de alimentación. Las FIGURAS 81, 82 y 83 muestran tres fases de la fabricación según este procedimiento.

El caldo sale de la artesa a través de dos orificios cuyos tapones se abren simultáneamente con un solo mando. Se mantiene una altura en exceso de caldo que se cubre con polvo exotérmico para alargar en lo posible el tiempo de solidificación y alimentación eficiente. Las zonas bajo lumbreras sujetas a recalentamiento tienen cerca enfriadores de carburo de silicio o de grafito.

En la FIGURA 84 se tiene una camisa cuyas lumbreras no salen de colada sino que se mecanizan posteriormente a partir de la pieza ciega. La camisa pesa unas 4,2 t de las que unas 0,8 son de mazarotaje. De 3,6 m de longitud y 600 mm de diámetro interior, se cuelga verticalmente, con un claro de 5 mm entre el macho y la artesa de colada. Para ahorrar arena, las cajas son redondas, dejando sólo un espesor de 100 mm entre ellas y la cavidad de molde.

### 3. FUSIÓN Y COLADA

#### 3.1. Composición química

La elección de los materiales para la construcción de motores Diesel es tanto más delicada en cuanto que las presiones, temperaturas y contenido de azufre de los gases producidos en la combustión

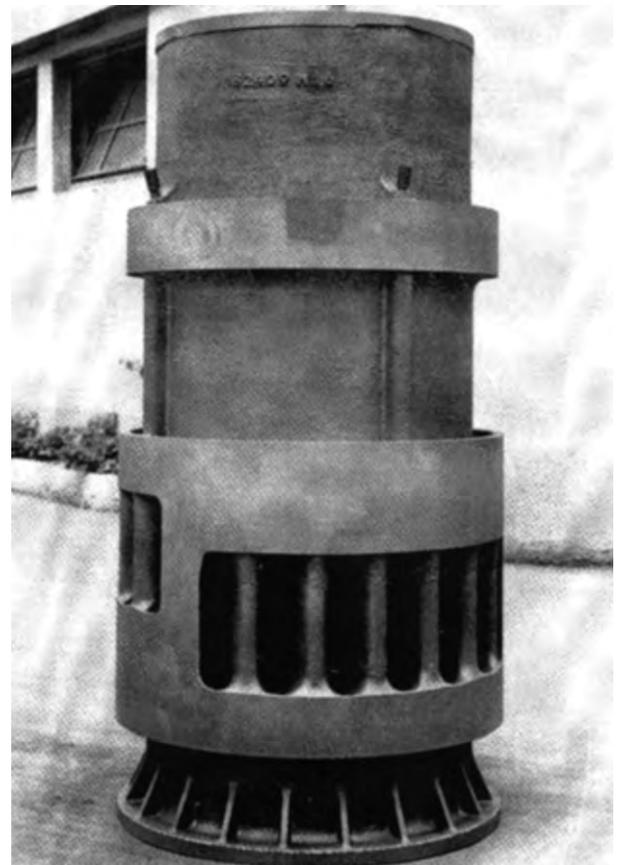


Figura 88.

son bastante superiores a las que prevalecen en los motores de gasolina. Aparte que en los motores Diesel el desgaste mecánico y la corrosión son superiores a los que se dan en los motores de gasolina, es normal que se exija una mayor duración a los motores Diesel. No resulta extraño, por tanto, que para resolver este problema se hayan propuesto y ensayado numerosas composiciones de fundición. La TABLA 1 (Composiciones de las fundiciones para motores Diesel) aporta algunas composiciones que han dado buenos resultados prácticos.

Además de mejorarse la resistencia al desgaste y a la corrosión (o más exactamente al desgaste bajo corrosión), el cobre contribuye a aumentar la resistencia a la deformación permanente en el caso de sollicitaciones muy elevadas y permite por tanto conservar la forma buscada.

La FIGURA 85 presenta, a título de ejemplo, una culata de fundición gris (composición B2 de la TABLA 1), cuya microestructura se ve en la FIGURA 86, con 1,5 % de cobre y 0,3 % de cromo. El peso de esta culata es de casi una tonelada. Estos motores Diesel marinos han sido fabricados en ACEC Gante (Bélgica).

Otro ejemplo, no menos típico, procede de una fundición italiana. La FIGURA 87 muestra la camisa superior de un cilindro de motor Diesel marino de 758 mm de diámetro interior rectificado. En este caso la pieza, de 300 kg de peso, se ha colado por centrifugación. Es una fundición con 0,50 – 1,20 % de cobre y 0,20 – 0,50 % de cromo de la firma Ansaldo S.p.A., de Génova Pegli.

La FIGURA 88 muestra la camisa inferior del cilindro en cuestión, el peso de la cual alcanza 1.700 kg. Las composiciones de estas dos piezas se dan a continuación:

Componente	Camisa superior	Camisa inferior
Carbono	3,30	3,20
Silicio	2,00	1,70
Manganeso	0,80	0,70
Azufre	< 0,07	< 0,07
Fósforo	< 0,10	< 0,10
Cobre	0,50 – 1,20	0,80 – 1,80
Cromo	0,20 – 0,50	0,40 – 0,90

Se podrían citar otros ejemplos, menos espectaculares pero de gran interés práctico, relativos a mo-

MARCA	COMPOSICIONES QUÍMICAS									No. DE CAMISAS ENGA-YADAS	NÚMERO MEDIO DE HORAS	DESGASTE EN mm DESPUÉS DE 1000 HORAS	
	C	Si	Mn	S	P	Cu	Cr	Ni	Mo				
A	3,00-3,30	1,15-1,35	0,90-1,10	<0,12	<0,20	0,80-1,10					28	8340	0,1400
B	<3,40	<1,30	<0,90	<0,13	0,33-0,50				0,25		19	20200	0,0300
C	2,85-3,30	1,25-1,75	<1,00	<0,12	<0,20		0,30-0,40	1,0-1,50	0,35		4	4500	0,0225
D	2,80-3,10	4,60-5,00	<0,80	<0,12	<0,20		1,90-2,20				6	27746	0,0240
E	3,10-3,40	3,30-3,70	0,80-1,00	<0,13	<0,40		1,30-1,50				30	19514	0,0155
F	3,30-3,40	1,75-2,00	0,90-1,10	<0,12	<0,20				0,50		3	8000	0,0500
G	3,00-3,20	1,15-1,35	0,90-1,10	<0,12	<0,20						2	67770	0,1250

(\*) LA FUNDICIÓN G, ENDURECIDA POR TRATAMIENTO TÉRMICO, TIENE UNA DUREZA BRINELL IGUAL A 415

Tabla 2.

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ti	V
2,95	1,86	0,56	<0,07	<0,10			
2,65	1,23	0,64	<0,03	<0,10			
2,75	1,31	0,80	<0,03	<0,13			
3,11	1,51	0,60	<0,06	<0,05			
3,00	1,77	0,77	<0,03	<0,10			
3,40	1,90	0,60	<0,12	<0,20	0,20	0,10	0,25
3,20	1,70	0,80	<0,12	<0,20	0,20	0,10	0,25
3,10	1,50	1,00	<0,12	<0,20	0,20	0,10	0,25
3,20	1,30	0,90	<0,10	<0,30	0,20	0,10	0,25
3,10	1,30	0,80	<0,11	0,40			
3,10	1,10	0,80	<0,11	0,40			
3,10	0,90	0,80	<0,11	0,40			
3,10	0,85	0,80	<0,11	0,40			
3,30	0,85	0,80	<0,12	0,10		0,05	0,20

Tabla 3.

tores pequeños y medios, tractores, maquinaria agrícola o para movimiento de tierras, etc.

La elección de los aleantes a añadir a una fundición para mejorar su resistencia al desgaste ha de hacerse con cuidado. El empleo del cobre como único metal de aleación parece ser perjudicial desde el punto de vista de la resistencia al desgaste. Pero si va acompañado de cromo o molibdeno, junto con los porcentajes adecuados de carbono y silicio,

se obtiene fundición perlítica que da buenos resultados. Las fundiciones altas en silicio, con un contenido de cromo tal que promueva matriz perlítica, dan buena resistencia al desgaste pero son frágiles. Por otra parte, adiciones de 0,35 - 0,50% de fósforo mejoran la resistencia al desgaste pero son fuente potencial de rechupe, porosidad o microporosidad en zonas masivas.

Las fundiciones más satisfactorias desde el punto de vista de resistencia al desgaste, pero que no plantean problemas de mecanizado, son las que tienen grafito laminar disperso en matriz perlítica. Para ello se trabaja con las siguientes proporciones de elementos de aleación:

Cromo . . . . .	0,30 - 0,40
Níquel . . . . .	1,00 - 1,50
Molibdeno . . . . .	0,25 - 0,35

Podría decirse que las propiedades mecánicas, siempre que las piezas puedan resistir a las sollicitaciones requeridas a las camisas de cilindros, no tienen excesiva importancia. En las fundiciones mecanizables la dureza Brinell es importante como indicio de su estructura. Para la serie de fundiciones que interesan aquí, se puede tomar como especificaciones de partida que la fundición debe tener grafito tipo A, su matriz deberá ser perlítica sin ferrita libre y la dureza deberá ser superior a 190 unidades Brinell.

Desde el punto de vista de desgaste, aparte de factores puramente metalúrgicos, el aspecto más importante son los detalles de diseño y trabajo del motor. Se pueden conseguir mejoras sustanciales prestando atención a estos detalles. Por ejemplo, lubricación y enfriamiento con aceite de los pistones reduce el desgaste a la mitad o la cuarta parte. Hay otros factores pero en muchos ensayos se ha obviado la parte metalúrgica, lo que ha llevado a veces a conclusiones falsas.

En la TABLA 2 se dan composiciones ensayadas en un trabajo de investigación inglés, junto con las resistencias al desgaste observadas. Hay que tener la reserva de que las composiciones altas en fósforo y cromo pueden dar lugar a serios problemas de rechupe o porosidad al inspeccionar la sanidad de las piezas fundidas.

En la TABLA 3 se dan composiciones de camisas fabricadas en España. Estas tablas sólo tienen valor orientativo aproximado, ya que en último caso la

composición depende de las exigencias del cliente, espesor de la pieza, etc.

La estructura más frecuente y deseada es, como ya se ha mencionado, grafito tipo A, tamaño 3 - 4 y orientación al azar, repartido en una matriz perlítica fina, exenta de ferrita y cementita. En algunos casos se observan masas de steadita derivadas de la presencia de fósforo en la composición. Las durezas Brinell observadas oscilan entre 165 y 240, si bien el intervalo óptimo es de 200-240 HB.

Algunos constructores (especialmente del Norte de Europa) han preconizado la adición de vanadio y titanio en camisas de motores marinos. Para espesores de pared de 60 - 90 mm se ha obtenido 50 % de disminución del desgaste basándose en composiciones respectivas como las que se describen a continuación:

Carbono	3,30 - 3,40	3,00 - 3,20
Silicio	1,20 - 1,30	0,70 - 0,80

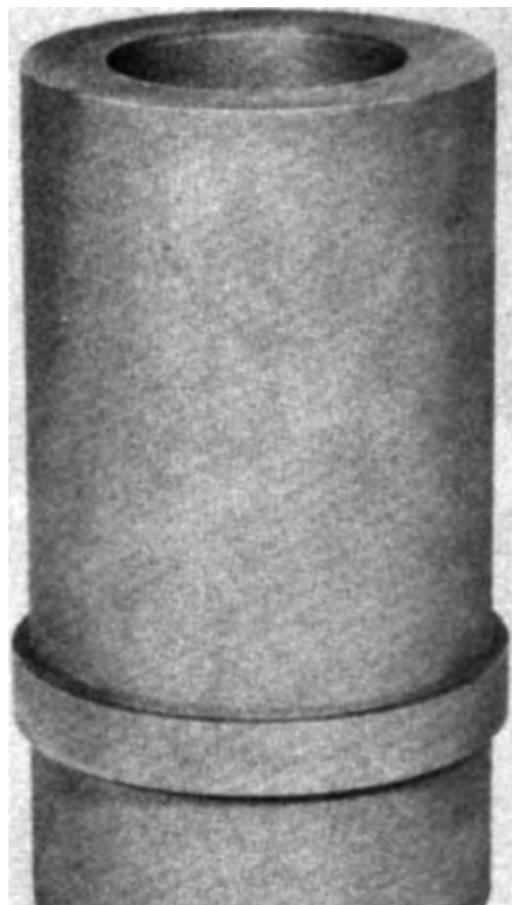


Figura 89.

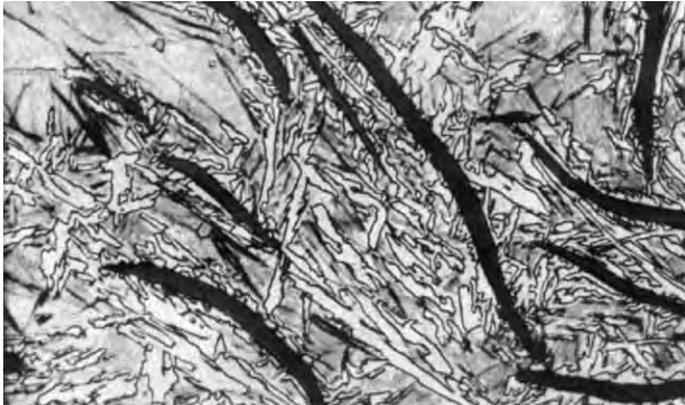


Figura 90.

Manganeso	0,60 – 0,80	0,70 – 0,80
Azufre	0,12	0,12
Fósforo	0,15	0,30 – 0,40
Titanio	0,04 – 0,06	0,04 – 0,06
Vanadio	0,18 – 0,20	0,18 – 0,20

En camisas pequeñas o medianas (40 – 60 mm de espesor) se aumenta el contenido de silicio para disminuir la tendencia al blanqueo. También se han empleado fundiciones perlíticas de bajo contenido de fósforo, menor de 0,20%, fundiciones perlíticas con vanadio y titanio y fundiciones perlíticas con contenidos medios de fósforo del orden de 0,40 – 0,60%.

En el mismo sentido, la colaboración de fabricantes y armadores permitió llegar a evaluar la influencia de vanadio y titanio en la duración de las camisas. Las composiciones y su comportamiento de desgaste en servicio se detallan en el cuadro siguiente:

Componente	Resistencia normal	Resistencia mayor
Carbono	3,30 – 3,40	3,30 – 3,40
Silicio	0,80 – 0,90	0,80 – 0,90
Manganeso	0,80 – 1,00	0,80 – 1,00
Azufre	0,07 – 0,08	0,07 – 0,08
Fósforo	0,20 – 0,30	0,20 – 0,30
Titanio	0,04 – 0,05	----
Vanadio	0,18 – 0,20	----
Cromo	----	0,30 – 0,50
Níquel	----	0,80 – 1,00
Dureza HB	160 – 180	220 – 230
Matriz	Perlita	Perlita fina
Grafito	A – 2	A – 4

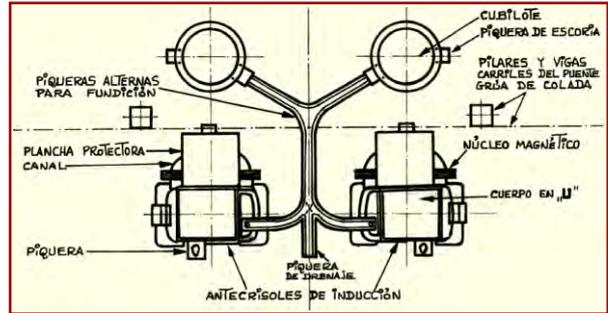


Figura 91.

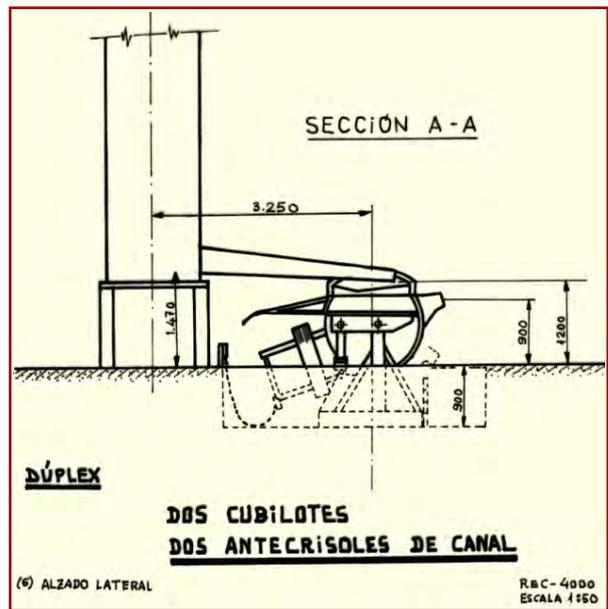


Figura 92.

En algunos casos, el cliente obliga a colocar probetas de control adosadas a la pieza, a fin de realizar la inspección sobre el mismo metal que forma parte de la camisa. Para evitar fraudes, estas muestras se graban a buril con el cuño de la casa inspectora (Bureau Veritas, Lloyd, Norske Veritas, etc). En la figura 88 se ve el esquema de una camisa con los puntos en que se han de colocar las probetas adosadas o apéndices, según las normas de empresas de motores marinos. El destino de los apéndices representados en esta figura es:

- A - Análisis químico
- B - Características mecánicas
- C - Micrografía

La resistencia a la tracción varía, según espesores, entre 180 y 300 MPa.

Para segmentos de pistón se utiliza la siguiente composición:

Carbono . . . . .	2,90 - 3,20
Silicio . . . . .	2,60 - 2,80
Azufre . . . . .	< 0,08
Fósforo . . . . .	0,40 - 0,70
Dureza Rockwell B . . . . .	98 - 103

En la FIGURA 89 se tiene una camisa de bomba para industria del petróleo. Con 0,30 % de cromo, 0,80 % de molibdeno y 3,00 % de níquel. Grafito laminar en matriz acicular. Dureza Brinell 360 – 380 con alivio de tensiones.

En la FIGURA 90 se ve la microestructura de una guía de válvulas con matriz acicular en bruto de colada. Ha presentado mejor resistencia al desgaste en camiones de gran tonelaje que las fundiciones perlíticas o las templadas y revenidas. La composición y características de estas piezas son:

Carbono . . . . .	3,60%
Silicio . . . . .	1,90 – 2,00%
Manganeso . . . . .	0,60 – 0,90%
Azufre . . . . .	< 0,05%
Fósforo . . . . .	< 0,05%
Molibdeno . . . . .	0,60 – 9,70%
Níquel . . . . .	1,50%

La dureza Brinell es 217 – 269. La estructura es acicular; Grafito tipo A, tamaño 4 / 7, ferrita acicular con alguna martensita, bainita y perlita permitidas. No se permite cementita masiva, pero sí algunos pequeños carburos libres dispersos.

### 3.2. Equipos de fusión

Durante muchas décadas el cubilote fué el aparato de fusión donde se elaboraron excelentes fundiciones para piezas mecánicas, camisas entre ellas. También se ha empleado, y se emplea, el horno rotativo moderno calentado a gas natural con oxígeno puro como comburente (quemadores “oxifuel”). Hoy día se está difundiendo el horno eléctrico de inducción a crisol ya que permite realizar un control estrecho y ajustado de las composiciones de salida, especialmente en lo que concierne a elementos contaminantes como el azufre. Estos mismos resultados se consiguen en cubilote o rotativo trabajando en dúplex con hornos de inducción de canal (FIGURAS 91 y 92).

## 4. BIBLIOGRAFÍA DE CAMISAS DE MOTORES DIESEL

“Hierro fundido de alta resistencia para motores Diesel”, Fonderie, no. 116, 1955, págs. 45 - 71.

“Fabricación y duración en servicio de las piezas para motores Diesel marinos”, Fundición, no. 49, julio-agosto 1962, págs. 55 - 70.

“Procedimiento para la colada de camisas de cilindros de motores Diesel marinos en fundiciones aleadas”, A. Lebedev, Russian Castings Production, no. 7, 1961.

“Empleo de la fundición en el diseño de modernos motores Diesel”, J.A. Pope, The British Foundryman, junio 1965.

“Aproximación práctica al uso de arenas autofraguantes para la producción de piezas grandes para motores marinos y compresores”, R. Redpath, The British Foundryman, septiembre 1971.

“Moldeo con autofraguantes. El sistema fenólico-uretano”, A. Igualador (Chrysler España, S.A.), Fundición, no. 230, diciembre 1979.

“Normas para la elección del material para camisas de cilindros de motores Diesel de barcos”, J. Sissener, Bremanger S-meltewerk, de Svelgen (Noruega).

“Modernas técnicas de colada y moldeo para camisas conteniendo fósforo de los grandes motores Diesel”, R. Wlodawer, Sulzer Gebrüder, Ltd., XXXV Congreso Internacional de Fundición, Kyoto (Japón), Octubre 1968.

“Fundiciones grises aleadas para componentes de máquinas”, A. de Sy, A.F.S. Transactions, 70, 1962, Modern Castings, Junio 1962.

“Fundición al cobre para motores Diesel marinos”, C. Corsetti, comunicación privada.

“Fundición al cobre”, Centro Italiano Sviluppo Applicazioni Rame, Via Durini, 14, Milano.

“Introducción a la tecnología de fundición”, D.C. Ekey, W.P. Winter, McGraw Hill Book Company, New York 1958.

“Ingeniería del procesado de los metales”, P. Polukhin, B. Grinberg, S. Kantenik, V. Zhadan, D. Vasiliev, MIR Publishers, Moscú, 1970.

“Tecnología de los metales”, A. Malishev, C. Nikolaiev, Y. Shuvalov, MIR Publishers, Moscú, 1975.

“Tecnología del proceso de fundición”, N.D. Titov, Yu. A. Stepanov, MIR Publishers, Moscú, 1981.

“Tecnología de la fundición”, Edoardo Capello, Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona.

“Fundiciones de alta resistencia”, “Fundiciones con estructura acicular en bruto de colada, fundiciones con estructura acicular después de tratamiento térmico”, Climax Molybdenum Company, Nueva York.

“Arenas de moldeo”, A. Muro e I. Fernández de Aguirre, Revista “Fundición”.

## 5. AGRADECIMIENTO

Han sido muy valiosas para mejorar la calidad del trabajo las correcciones y sugerencias de mejora contenidas en las revisiones efectuadas por el Dr. Jordi Tartera Barrabeig. Los autores agradecen vivamente su colaboración.