

APLICACION DEL PROCESO CO₂ AL MOLDEO A LA CERA PERDIDA*

SEBASTIAN FELIU **
JUAN BONET ***

RESUMEN. Se estudia la posibilidad de reducir el largo tiempo de horneado necesario al aplicar el proceso a la cera perdida a la fundición artística.

En el caso de esculturas huecas, se obtiene un ahorro sustancial de tiempo y energía empleando dos materiales de moldeo distintos: yeso para la parte del molde que tiene que reproducir fielmente el modelo de cera y arena sílicea aglomerada con silicato sódico y CO₂ para el macho.

Como es sabido, el método a la cera perdida se caracteriza por el uso de un modelo consumible de cera. Este modelo, colocado en un recipiente adecuado, se recubre por el material de moldeo en estado pastoso. Posteriormente, el molde, una vez endurecido, se somete a temperatura para eliminar el agua que contiene y la cera del modelo en su interior. En el lugar antes ocupado por la cera aparece la cavidad que recibirá el metal fundido.

El yeso como material de moldeo para la fundición de metales no ferreos ha sido usado desde antiguo. Parece ser que los chinos lo emplearon hace ya unos 3.000-4.000 años. Con dicho material, y usando el mé-

todo a la cera perdida, se produjeron en la Edad Media piezas de arte de incalculable valor. Con muy pocos cambios técnicos el proceso sigue utilizándose hoy en día para hacer estatuas y trabajos artísticos, principalmente de bronce y latón.

Debido a que las propiedades del yeso como material de moldeo no son muy buenas, ha sido norma utilizar mezclas que, además de yeso y agua, incluyan en su composición determinadas cantidades de otros materiales, tales como arena, ladrillo molido, arcilla calcinada, etc.

* Publicado originalmente en **Metales no ferreos** (Boletín de Información Técnica del Instituto de Metales no Ferreos). Volumen IV, número 4, Madrid, 1963.

** Profesor Depto. de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Central de Venezuela. Ahora, Investigador-Jefe de Sección del Instituto de Metales no Ferreos, Patronato Juan de la Cierva de Investigación Técnica (Madrid).

*** Auxiliar Docente, Depto. de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Central de Venezuela.

Al aplicar el método a la cera perdida, los artesanos de la industria estatuaría conocen por experiencia la necesidad de calentar los moldes a temperaturas altas durante largo tiempo para secarlos completamente (debe evaporarse el agua libre y la combinada con el yeso) y suprimir de ellos las últimas trazas de cera. De otro modo las piezas coladas resultan defectuosas. Puede ser tanta la cantidad de poros y cavidades en su superficie, que sea del todo imposible aprovecharlas, a no ser como chatarra para nuevas fundiciones. Ello se debe a dos razones principales: **a)** La falta de permeabilidad de los moldes de yeso, y **b)** La generación de gases en el momento de la colada.

La permeabilidad de los moldes facilita la salida del aire de su interior y, en especial, de los gases que se puedan originar al entrar en contacto el metal caliente con el molde. Si antes de completarse la solidificación metálica el gas no encuentra salida a través del molde, se acumulará entre la pared de éste y el metal, en forma de burbujas o bolsas, dando como resultado la aparición de oquedades de tamaño variable en la pieza colada.

En el método a la cera perdida empleando moldes de yeso se debe tener en cuenta dos fuentes potenciales de gas en el momento de colar el metal: la evaporación de agua del molde (si el yeso no había perdido toda el agua de combinación) y la vaporización de residuos de cera retenidos en la cavidad del molde. Particularmente difícil de evitar es esta última causa de gas; no es raro que después de cuarenta y ocho horas de calentamiento a temperatura relativamente elevada —por

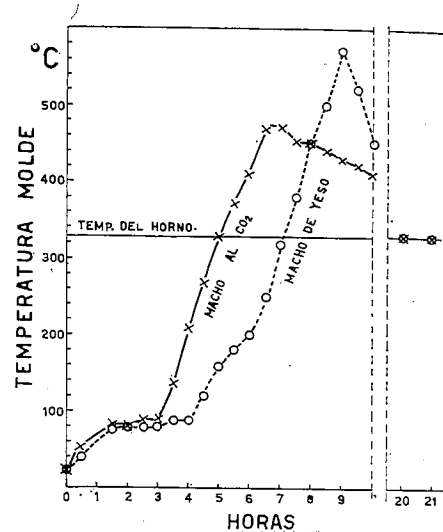


Fig. 1. Curvas de calentamiento del molde. Las temperaturas corresponden a un punto del interior del macho, cercano al modelo de cera o cavidad del molde

ejemplo, 400° centígrados— el molde todavía "huela" a cera. Hasta ahora, para obtener piezas sanas, no ha habido otro camino que recurrir a un calentamiento suficientemente prolongado con el fin de reducir a un valor prácticamente nulo o insignificante la evolución de gases del molde al colar el metal en su interior.

Sin embargo, calentar larga e intensamente el molde encierra factores adversos, que no pueden pasarse por alto. Entre éstos están:

- a) El tiempo consumido en la operación;
- b) El gasto en energía eléctrica o combustible;
- c) La posibilidad de que el molde se deforme apreciablemente;
- d) La incrementada tendencia hacia la formación de grietas y hacia un crecimiento notable de ellas una vez iniciadas.

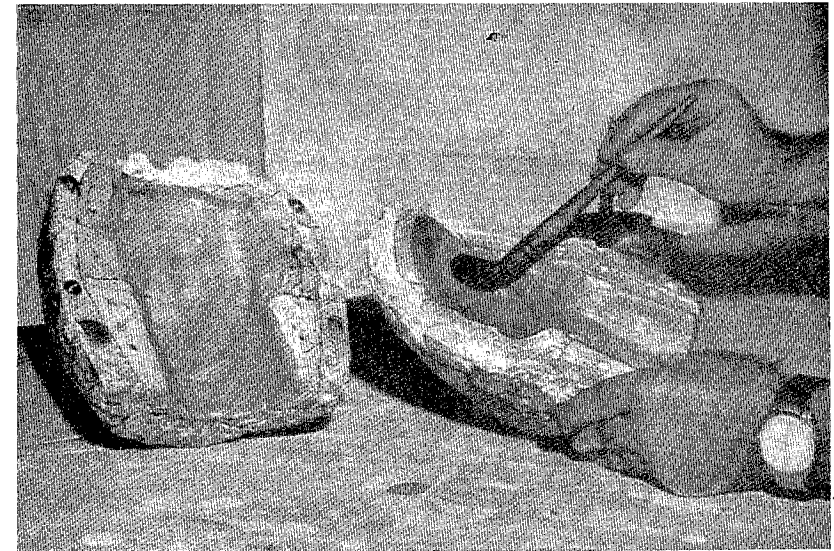


Fig. 2. Preparación del modelo de cera. Con la brocha se deposita cera fundida sobre el contramolde de yeso (modelo negativo), formado por dos mitades.

Los factores **a)** y **b)** influyen directamente sobre la economía del proceso, mientras que **c)** y **d)** son importantes en relación con la propia calidad de la pieza fundida y el tiempo que será necesario invertir en su acabado final.

POSIBILIDADES DE REDUCCION DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO

El uso de mezclas especiales que, sin introducir complicaciones adicionales al proceso, aumentaran la permeabilidad de los moldes de yeso una vez secados, simplificaría el proceso a la cera perdida, pues se podría reducir el tiempo de calentamiento al no hacerse imprescindible una completa ausencia de gases. Sin embargo, las mezclas de yeso más permeables, aplicables normalmente a dicho propósito, no suelen sobrepasar el par de unidades de permeabilidad. Esta exigua permeabilidad,

si bien puede permitir la salida de pequeñas cantidades de gas durante la solidificación del metal y ayudar, por tanto, en el objetivo de producir piezas sanas, no será suficiente cuando el volumen de gas generado alcance proporciones moderadamente elevadas. Por otro lado, usar materiales de moldeo en cuya composición no intervenga el yeso, con los cuales es posible obtener permeabilidades mucho mayores, supondría, o aumentar demasiado el precio del proceso, o bien disminuir notablemente la calidad y grado de acabado superficial de la pieza colada.

En el caso de piezas fundidas que requieran el uso de machos (esculturas huecas), existe la posibilidad de emplear dos materiales de moldeo distintos: uno, integrado por yeso, para la parte del molde que tiene que reproducir fielmente el modelo de cera, y otro, para el macho que no tiene que copiar ningún de-



Fig. 3. Cerrado el contramolde, con su pared interna recubierta de una capa de cera de unos 3 mm. de espesor, se llena la cavidad resultante con una mezcla de arena silícea y silicato sódico para confeccionar lo que será el macho del molde. En la parte central está colocado un tubo metálico con agujeros laterales, que hace las veces de viento y armadura.

talle determinado. En tal caso, el macho podría estar confeccionado por un material de grano relativamente grueso que, teniendo una elevada permeabilidad, proporcionara fácil evacuación a cualquier gas formado en el momento de la colada. De esta manera se reduciría lógicamente el peligro de aparición de defectos superficiales en las piezas fundidas, y seguramente no sería necesario extremar el secado y "quemado" del molde.

En este trabajo se estudiará experimentalmente la realización y ventajas de un proceso basado en tales

principios, tomando como referencia la producción de una pieza escultural de bronce (cabeza de indio).

El primer paso fue hallar un material de moldeo que permitiera obtener machos reuniendo las características de:

- 1) Alta permeabilidad.
- 2) Adquisición de una elevada resistencia mecánica sin necesidad de aplicar calor.
- 3) No deshacerse en contacto con la humedad de la mezcla pastosa de yeso con que se reviste el modelo y parte del macho.
- 4) No perder la consistencia durante el calentamiento a que se somete el molde para el secado y eliminación de la cera.
- 5) Ser fácilmente desmoldable después de colar el metal.

Como los machos obtenidos por el proceso al CO_2 satisficieron bastante bien dichos requisitos, fueron ellos escogidos, junto con varias mezclas de yeso, para realizar el presente estudio.

DATOS EXPERIMENTALES

A) Materiales empleados y características

Las tres siguientes mezclas, en las que el aglomerante es yeso calcinado (sulfato cálcico hemihidratado), se han usado para revestir el modelo de cera:

- 1) 15 por 100 de yeso, 42 por 100 de ladrillo molido y 43 por 100 de agua.

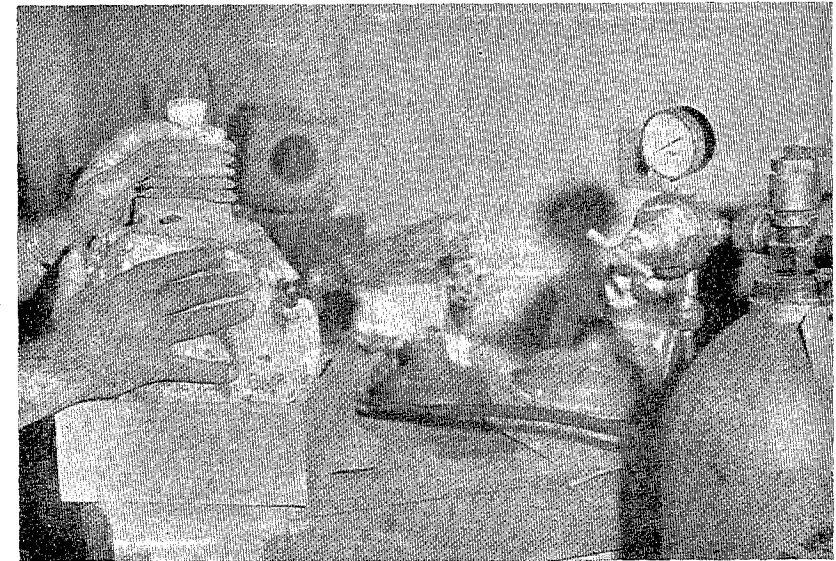


Fig. 4. Momento en que se inyecta el anhídrido carbónico a la mezcla de arena y silicato sódico para producir el endurecimiento del macho

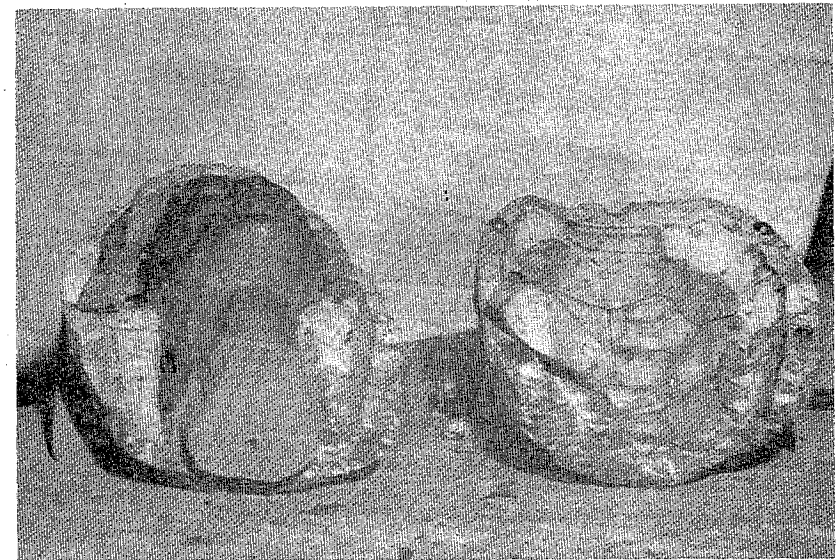


Fig. 5. Se abre el contramolde, separando de él el modelo de cera con el macho en su interior

- 2) 18 por 100 de yeso, 55 por 100 de arena silícea y 27 por 100 de agua.
- 3) 35 por 100 de yeso, 12 por 100 de fibra de asbesto y 53 por 100 de agua.

Los porcentajes están dados en peso y se ajustan de un modo aproximado a composiciones habitualmente utilizadas en trabajos de fundición.

La adición de fibra de talco o de asbesto al yeso es una práctica relativamente moderna, que si bien supone un encarecimiento del material de moldeo, presenta las ventajas de producir moldes con:

Mayor resistencia mecánica;

Alguna permeabilidad;

Más fino acabado superficial (copian con mejor detalle el modelo de cera).

Además de con las tres mezclas anteriores, el macho que rellenará el modelo de cera se ha confeccionado con mezclas a base de arena silícea y silicato sódico endurecibles por gaseado con CO₂. De estas últimas, las dos siguientes fueron las más usadas:

- a) Arena silícea 100 g.
Silicato sódico, 48° Be . 3 g.
- b) Arena silícea 100 g.
Silicato sódico, 48° Be . 3 g.
Azúcar 1,5 g.

La relación SiO₂/Na₂O del silicato sódico fue 2. Con la adición de azúcar se persiguió facilitar el desmenuzamiento del macho después de colado el metal. Los tiempos de gaseado con CO₂ para producir el endurecimiento del macho fueron de 20 a 30 segundos; la presión del gas,

de unos 1,7 kg por centímetro cuadrado.

La resistencia mecánica y permeabilidad son factores muy importantes en establecer la conveniencia de empleo de los diversos materiales de moldeo para la confección de los machos y moldes. Con el fin de llegar al conocimiento de tales características se ensayaron probetas tipo de cada una de las mezclas en el Laboratorio de Control de Arenas. Los datos obtenidos están resumidos en la tabla I. Según ella:

1. Las mezclas de yeso dan todas una permeabilidad muy baja; prácticamente nula las que contienen arena o ladrillo molido, e inferior a las dos unidades la formada con fibra de asbesto.

2. La mezcla de yeso con ladrillo molido mostró pobre resistencia mecánica; aproximadamente doble fue la resistencia de la mezcla de yeso con arena, y muy superior la del yeso con fibra de asbesto.

3. La permeabilidad de la arena aglomerada con silicato sódico y CO₂ es muy elevada; no debe ser problema la salida de gases a su través.

4. Un calentamiento prolongado a 400°C afecta poco la alta resistencia de las arenas aglomeradas con silicato y CO₂.

5. Un corto calentamiento a 700°C de la arena aglomerada con silicato y CO₂ disminuye mucho su resistencia, en especial cuando cierta cantidad de azúcar está incluida en su fórmula.

B) Curvas de calentamiento

Como antes se ha indicado, al calentar el molde se persiguen dos fines: la evaporación del agua (libre

TABLA I

CARACTERISTICAS DE ALGUNOS MATERIALES DE MOLDEO

| Materiales de moldeo (mezclas de diversos constituyentes) | Treatmento a que se sometieron las Probetas de cada mezcla | Resistencia a la compresión (Kg/cm ²) | Deformación (mm/mm) | Número de permeabilidad |
|---|--|---|---------------------|-------------------------|
| Yeso 15 % Ladrillo 42 % Agua 43 % | 8 horas a 400°C y enfriadas | 1,2 | 0,028 | Prácti. nulo |
| Yeso 35 % Fibra de asbesto 12 % Agua 53 % | 8 horas a 400°C y enfriadas | 5 | 0,030 | 1,3 |
| Yeso 18 % Arena silícea 55 % Agua 27 % | 8 horas a 400°C y enfriadas. | 2,2 | 0,022 | Prácti. nulo |
| Arena 100 g Silicato sódico 3 g CO ₂ | Ensayadas sin tratamiento | 8,8 | 0,011 | Aprox. 200 |
| Arena 100 g Silicato sódico 3 g CO ₂ | 8 horas a 400°C y enfriadas. | 9 | 0,008 | " " |
| Arena 100 g Silicato sódico 3 g CO ₂ | 30 min. a 700°C y enfriadas. | 5,3 | 0,014 | " " |
| Arena 100 g Silicato sódico 3 g Azúcar 1,5 g CO ₂ | Ensayadas sin tratamiento. | 8,5 | 0,009 | " " |
| Arena 100 g Silicato sódico 3 g Azúcar 1,5 g CO ₂ | 8 horas a 400°C y enfriadas | 5,4 | 0,012 | " " |
| Arena 100 g Silicato sódico 3 g Azúcar 1,5 g CO ₂ | 30 min. a 700°C y enfriadas. | 2,1 | 0,013 | " " |

y combinada) que entra en su composición y la eliminación de la cera del modelo. Lógicamente, cada uno de estos procesos necesitará cierto tiempo para completarse.

Con el fin de formarse una idea del progreso del secado y elimina-

ción de la cera se recurrió a trazar la curva de calentamiento del molde en función del tiempo transcurrido dentro de un horno mantenido a 330°C.

Para las pruebas se usaron algunos de los moldes destinados a pro-

ducir la "cabeza" de bronce ilustrada en la figura 10. Unos moldes estuvieron constituidos integralmente por la mezcla de yeso-fibra de asbesto, mientras que otros fueron del tipo mixto (macho de arena aglomerada con silicato y CO_2 , y resto del molde formado por la mezcla yeso-fibra de asbesto). La temperatura del molde se registró con un termopar de cromel-alumel, cuya soldadura caliente se hallaba colocada en el interior del macho, muy cerca del modelo de cera o cavidad del molde. Las dos curvas mostradas en la figura 1. corresponden, respectivamente, al empleo de un macho de arena aglomerada con silicato y CO_2 y de un macho a base de yeso (este últi-



Fig. 6. El modelo de cera preparado para ser investido con la pasta de yeso. Obsérvese la base del macho (parte inferior de la figura) y el lugar que ocupará el bebedero (parte superior)

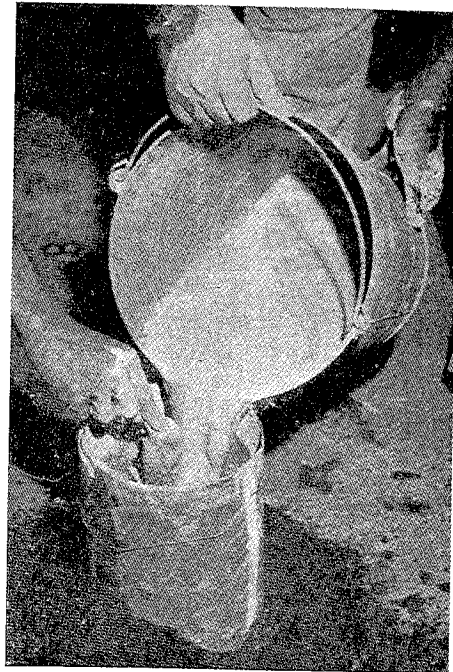


Fig. 7. La mezcla de yeso, agua y fibra de asbesto (o arena silíceo) se vierte sobre el modelo de cera y macho para obtener el molde

mo material constituía el resto del molde en ambos casos). El análisis de ellas destaca los siguientes puntos de interés:

1. Después de tres o cuatro horas de calentamiento, la mayor parte del agua libre del molde había sido eliminada (momento en que la temperatura sube rápidamente).
2. La temperatura del molde llega a sobrepasar notablemente la del horno (el fenómeno debe atribuirse al calor suplementario comunicado al molde por la combustión de la cera).
3. La acusada "sobretemperatura" alcanzada por el molde algún tiempo después de que la cera, al derretirse, lo haya evacuado, indica claramente que sobre su cavidad sub-

sistían aún restos importantes de cera, eliminables sólo por "quemado".

4. En comparación con el uso de machos de yeso, los machos al CO_2 aceleraron en un par de horas el comienzo del proceso de combustión de la cera. (Los ensayos nada nos dicen, sin embargo, respecto al tiempo necesario para el quemado completo de las últimas trazas de cera en el molde; la experiencia indica que debe ser considerablemente mayor al requerido para que, después de pasar por un máximo, empiece a descender la temperatura del molde).

5. Aun cuando la temperatura del horno se mantenga moderada, la de la cavidad del molde se eleva a valores suficientemente altos para que sea de temer la aparición de grietas y otros defectos al moldear con mezclas de bajas características.

OBTENCION DE UNA "CABEZA DE BRONCE"

En las figuras 2 al 10 se ilustra y relata la secuencia de pasos dirigidos a producir una "cabeza" de bronce siguiendo el nuevo procedimiento de usar un molde mixto, formado por un macho de arena silíceo aglomerada con silicato y CO_2 y un revestimiento a base de yeso.

Muy buenos resultados se obtuvieron empleando la mezcla de arena y silicato conteniendo un 1,5 por 100 de azúcar para fabricar el macho y la mezcla de yeso y fibra de asbesto para el recubrimiento. Esta última mezcla puede sustituirse por la de yeso y arena silíceo, ya mencionada; en tal caso, debido a que desarrolla una resistencia menor, se encontró conveniente colocar en la base del macho dos varillas metálicas, tal como se observan en la figura 4, para que, empujándose ellas en la mezcla de ye-

so, proporcionen mejor sujeción al macho, evitando los riesgos de un desplazamiento de éste dentro de la cavidad del molde, una vez eliminada la cera. En otras pruebas en que se ensayó el uso de la mezcla de yeso con ladrillo molido para envolver el macho de arena aglomerada por el proceso al CO_2 , aparecieron serias dificultades operatorias, por la gran deformación y contracción de aquella mezcla al secarse y por su débil resistencia, que la hacía ineficaz para inmovilizar el macho en su interior.

En todas las pruebas los moldes fueron calentados en un horno eléctrico a 330°C para eliminar la cera y humedad. Se ensayaron tiempos distintos de horneado, demostrándose que ocho horas eran suficientes para obtener piezas perfectas. La posible presencia de restos de cera en el momento de colar el metal no fue inconveniente, debido a la alta permeabilidad del macho.

Este resultado es importante si tenemos en cuenta que con el proceso clásico a la cera perdida (que supone recubrir interna y externamente el modelo de cera con una mezcla de yeso) se necesitaron tiempos de calentamiento notablemente mayores, para evitar los riesgos de una acumulación de gas entre el metal y el molde.

Estos tiempos fueron de unas cuarenta y ocho horas con moldes constituidos integralmente de la mezcla de yeso y ladrillo molido, y de unas quince horas con moldes de yeso y arena o yeso y fibra de asbesto. El mayor tiempo con la primera mezcla parece deberse a la dificultad de quemar completamente los residuos de cera que habían penetrado dentro de fisuras producidas durante el calentamiento de aquellos moldes.

CONCLUSION

El uso de machos de CO₂ en combinación con el proceso a la cera perdida se muestra interesante desde un punto de vista práctico; se espera que abra nuevas posibilidades al fundidor en la difícil tarea de mejorar simultáneamente la economía de los procesos de fundición y la calidad de las piezas metálicas obtenidas.



Fig. 8. Aspecto del molde después de fraguar la mezcla de yeso; el modelo de cera y macho han quedado en su interior. Posteriormente se llevará a un horno para eliminar la cera y formar la cavidad que recibirá el metal fundido

AGRADECIMIENTO

Se agradece al profesor D. Sigüín su valiosa ayuda en la determinación de las propiedades de los diferentes materiales de moldeo.

Fig. 10. Aspecto de la "cabeza" después de un acabado mecánico, pulido y patinado

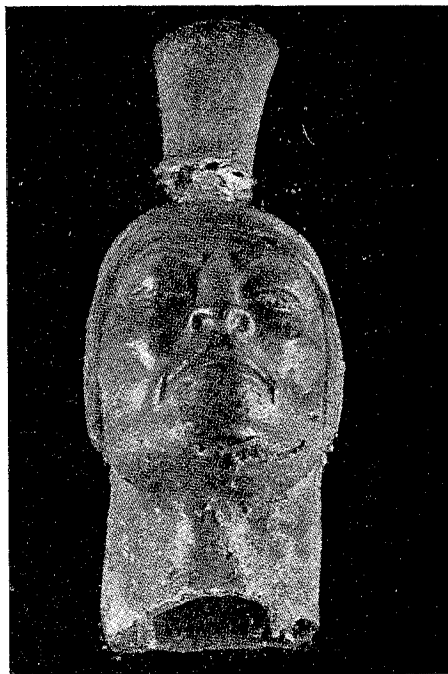
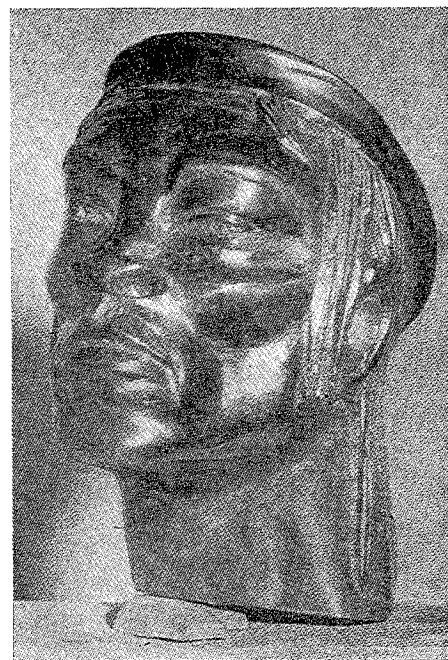


Fig. 9. Colado el metal, se muestra la "cabeza" de bronce antes de someterse al acabado final. No se ha separado todavía la parte correspondiente al bebedero



CONSTRUCCION DE UN HORNO DE RAYOS INFRARROJOS PARA EL SECADO DE MOLDES DE FUNDICION *

AGUSTIN SERRANO**

Conocidas las ventajas y la aplicación de los rayos infrarrojos, en el secado de moldes de arena, que utilizan aglomerantes sintéticos, creímos oportuno proyectar y construir, en este Departamento, un horno de secado por rayos infrarrojos.

Estos hornos presentan también alguna ventaja en el secado de moldes ordinarios, especialmente por la gran velocidad de secado, ya que no es necesario precalentar de antemano el horno.

En este trabajo, queremos referirnos al proyecto de dicho horno, y a algunos resultados, comparándolos con los obtenidos en un horno comercial de resistencia, que se venía utilizando hasta estos momentos, a falta de una estufa de aire caliente.

CALCULO Y CONSTRUCCION DEL HORNO

En general, la arena de moldeo absorbe bien los rayos infrarrojos, y

se presta muy bien, por esta razón, a una transmisión de calor directa, obteniéndose un régimen de evaporación de agua mucho más eficaz y de mayor rendimiento que en otro tipo de hornos. Proporciona también este tipo de secado una gran uniformidad de temperatura, sin necesidad de elevados costos de sistemas de control, y un calor seco y limpio.

En el cálculo de la potencia del horno, partiremos del aumento de temperatura máxima que deben alcanzar los materiales que queremos secar.

Como temperatura máxima se estableció el valor de 400°C.

El total de vatios de las lámparas, se calcula por la fórmula siguiente:

$$W_L = \frac{W}{\rho \cdot F_a \cdot F_c}$$

W_L = Vatios de las lámparas.

W = Total de vatios requeridos para evaporar el agua, y calentar el molde hasta la temperatura prevista.

* Publicado originalmente en *Metalurgia*, órgano oficial de la Asociación de Industriales Metalúrgicos, número 41, Caracas, 1964.

** Departamento de Ingeniería Metalúrgica. Universidad Central de Venezuela.