

EL SEMBRADOR DE ESTRELLAS

- Del Maestro Alonso Ríos -
El símbolo, el reto y el hecho

H. Mejía *; A. Echavarría **

El proceso de la realización de la escultura “El Sembrador de Estrellas”, símbolo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, parte de la concepción misma de la obra por el Maestro Escultor, Alonso Ríos Vanegas; pasa por las diferentes etapas de estudio de espacio público, modelado en yeso, fabricación de matriz, construcción de modelo en cera, ensamble de fundición, molde, fundición a la cera perdida, pulido, patinado y culmina en el montaje de la obra, en los jardines interiores de la Facultad. La obra fue realizada por el Grupo de Cera Perdida de la Universidad de Antioquia.

EL SIMBOLO

El Sembrador de Estrellas, es la figura de un hombre desnudo, con un cesto repleto de estrellas en su mano izquierda y que está depositando suavemente una de ellas, con su mano derecha. Representa la actitud del ingeniero en sembrar la luz, el conocimiento, la búsqueda de la verdad, el progreso, la justicia y la paz.

Según la concepción del artista[1], el Sembrador, figura masculina por excelencia, deposita su semilla sobre la madre tierra, y de esta manera se adecúan los jardines interiores de la Facultad mediante ondulaciones adecuadas, para que simbolicen el elemento femenino: El objeto fundido y el espacio físico son una sola unidad; ambos elementos son complementarios.

*Héctor Daniel Mejía A. Ingo de Minas y Metalurgia. Es profesor titular del Dpto. de Metalúrgica de la Universidad de Antioquia. Coordinador del Taller de Fundición.

** Alejandro Echavarría V. Ingo. Metalúrgico. Es profesor Asociado del Dpto. de Ingeniería Metalúrgica

Junto con el Maestro Alonso Ríos V., son integrantes del Grupo de Cera Perdida de la Universidad de Antioquia

Desde el centro, se crean unos radios, los cuales representan las diferentes carreras existentes en la Facultad.

La idea de "El Sembrador de Estrellas" como símbolo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, parte del Sr. Decano , Ingo. Gabriel Darío Restrepo, y se institucionaliza más tarde por Consejo de Facultad. Enmarcados dentro de los eventos de los 50 Años de la Facultad, se entregan 40 reproducciones a la Cera Perdida, en pequeño formato de 17 cms de altura, del "Sembrador de Estrellas", a ex-decanos y profesores eméritos, que han pasado por sus 50 años de vida.

Más tarde, se formaliza la idea de una escultura monumental a tamaño natural de la obra.

EL RETO

El grupo de fundición a la Cera Perdida, se integró con el monumento In Memoriam al profesor Luis Fernando Vélez Vélez , vilmente asesinado en los aciagos días de nuestra Alma Mater en el año 1987. Esta escultura del Maestro Alonso Ríos, ubicada en la Plazoleta Central, tanto en su magnitud como en su proceso de elaboración por arenamiento , desconocido en nuestro medio, era un reto en sí misma.

Mediante la tesonera acción de abogados, artistas, artesanos e ingenieros se cumplió la realización de la obra y se adecuó el Taller de Fundición para fabricación de obra monumental.

Más tarde, se inició una línea de trabajo encaminada a la producción de piezas industriales y artísticas, por la técnica de la fundición a la Cera Perdida, también desconocida en nuestro medio. Gracias a la ayuda de la Administración Central de la Universidad y de la Facultad, a Colciencias y al CIID (Canadá), los integrantes del grupo tuvieron oportunidad de capacitarse y estar en contacto con el proceso en Italia, Argentina y Chile.

Con el correr del tiempo dicho grupo, fruto de un trabajo interdisciplinario, comprendido ya por ingenieros, artistas, odontólogos, joyeros e industriales, se ha dado a la tarea de difundir la técnica de fundición a la Cera Perdida, de una manera pionera en las instituciones de Educación Superior en nuestro país.

Siempre en la búsqueda de nuevos retos se realizó, en el III Seminario de Fundición de Precisión a la Cera Perdida, la escultura "Los Amantes", del Maestro Escultor Fanor Hernández, también miembro del Grupo y de una amplia experiencia en fundición monumental en Italia

(Pietrasanta). Dicha escultura, récord en su medida en nuestro medio en ese momento, medía 1.20 metros y 50 kilos de peso. La técnica utilizada fue exactamente la misma que la que utiliza el Maestro Fernando Botero en Italia: Fundición por partes y ensamble por soldadura.

En el trabajo de consulta bibliográfica acerca de fundición monumental de esculturas en la época del Renacimiento, todas vaciadas según el procedimiento de la Cera Perdida, se cuentan las obras (entre muchas otras) "El Perseo" de Benvenuto Cellini (hacia 1550) [2], "El David" de Donatello (hacia 1450), y la "Estatua Ecuestre del Gran Elector" , de Andreas Schlutter (1700), [3] en el Palacio de Charlottenburgo.

Es de anotar que todas estas obras fueron realizadas mediante el procedimiento de un sólo vaciado de un modelo en cera, no por partes individuales que luego se unían entre sí mediante soldadura de bronce, cómo es el proceso actualmente: El modelo en cera del "Gran Elector" pesó 450 kgs. El paso de uno a otro proceso, se debió muy probablemente, al desarrollo de las técnicas de soldadura de los metales, primero por Oxiacetileno (OAW) hacia finales del S. XIX. y luego por arco (SMAW, GMAW, GTAW), a mediados del S. XX.

El Maestro Leonardo Da Vinci, en su Codex Madrid II [4] describe de una manera asombrosa , en cuanto a la perfección del más mínimo detalle, el modelado y la fundición de "Il Cavallo", escultura de 7.20 metros de alto. Concebía la fundición toda de un sólo llenado, pero el molde se fabricaba a partir de un contramodelo de cera, de una manera revolucionaria (usual en él) con respecto al método utilizado por cerca de 10 siglos. Esta manera de fabricar estas estatuas, se estableció por doquier, a partir del siglo XVI, y había de permanecer en uso mucho tiempo.

Debida a factores políticos en la lucha por el poder, estalló la guerra entre los principados y el bronce de la fundición del Caballo (158.000 libras) fue destinado para fabricar balas de cañón. El Maestro murió, no pudo ver terminada su obra, pero 200 años más tarde, se funde la Estatua Ecuestre de Luis XIV, según el mismo procedimiento ideado por él. Con el correr del tiempo esta obra, sería destruída por las tormentas de la revolución francesa.

El uso de los materiales cambia con el tiempo, se crean otros nuevos y se mejoran con respecto a sus propiedades, así mismo la técnica puede también o no variar.

La idea de realizar la escultura del "Sembrador de Estrellas", sin empates, y de llenado de un solo vaciado, era para el Grupo un reto en sí mismo y se reforzó y dio forma

con el estudio de la citada obra de Da Vinci. Con unas pocas variaciones respecto al proceso en sí mismo, si era viable fabricar el Sembrador de esta manera....y sería uno de los pocos ejemplos de escultura monumental, fabricados en Latinoamérica de un solo vaciado a la cera perdida. A escala industrial, la mayor pieza, producida por la fundición de precisión norteamericana, fue exhibida en 1989: tenía 1,60 metros de altura, 0,40 m de diámetro promedio y un espesor de 75 mm., destinada para la industria aeronáutica[6]

EL HECHO

Los pasos para la realización de la obra fueron los siguientes:

1. Estudio del Espacio Público

Los jardines interiores de la Facultad de Ingeniería, ubicados entre los bloques 19 y 20, fueron elegidos, conjuntamente con el Artista y el Departamento de Planeación de la Universidad de Antioquia, como el sitio para ubicar la escultura. Luego, se realiza el respectivo montaje fotográfico para determinar la dimensión real a la que va a quedar el modelo, teniendo en cuenta factores estéticos, de entorno y de paisajes, cuidando de no competir con el espacio escogido, sino reforzarlo.



Estudio de espacio público. Jardines de la Facultad de Ingeniería entre bloques 19 y 20, antes de la colocación de la escultura.

2. Escogencia de dimensiones del modelo

Del estudio de espacio público, se definió que la altura del modelo en la postura en una sola rodilla, sería de 1.30 metros y correspondería a un hombre de 2.20 metros de altura.

3. Modelado

El trabajo de modelado fue realizado sobre un armazón metálico, fabricado a partir de herrajes de 1/4 de pulgada y alambre recocido. Se tomó una constante de 25 cm, el cual forma parte de las dimensiones elementales del cuerpo humano, según la altura preconcebida de 2.20 metros. Esta armazón se recubre con una capa de gante ó costal, el cual va a dar soporte al yeso. Terminada todas las facciones del modelo se pinta con una capa de vinilo, para corregir pequeñas imperfecciones. Las figuras siguientes ilustran diversas fases del modelado, el cual tuvo una duración de 4.5 meses



Diversas secuencias en la fabricación del modelo del "Sembrador de Estrellas"

4. Fabricación de la matriz.

El objetivo de la matriz es proveer una cavidad interior, reproducida fielmente a partir del modelo de yeso, de tal manera que reproduzca un segundo modelo en cera, idéntica copia del original.

La matriz se construyó de 37 casquetes de poliéster reforzado por fibra de vidrio, perñados entre sí con tornillos de 1/4 de pulgada. La fabricación de cada casquete se concebía de tal manera que, resultara fácil su desmoldeo, no presentara contrasalidas y a la vez cubriera la mayor área posible.

La primera fase para fabricar cada casquete, es colocar un reborde de "cartón paja" ó cartulina gruesa, de 1 pulgada de altura, siguiendo el contorno de la pieza y adherida a ella mediante cinta de enmascarar. Todo el borde del casquete, era definido mediante esta técnica. La foto siguiente ilustra la forma de colocación de los rebordes.



Forma de colocación de rebordes para un casquete de la matriz del "Sembrador de Estrellas", en su brazo derecho.

Acto seguido se procedía a aplicar un desmoldante (A) aplicado contra la superficie del modelo y a todos sus rebordes, con el fin de que el casquete (que se fabricará en material de poliéster), no se adhiriera al modelo

(A) Composición del desmoldante

Grasa de Silicona en barra	30%
Aceite de silicona	70%
Aplicación	A estopa

Luego, se procedía a aplicar el "GelCoat"(B), ó capa de contacto. Esta capa de resina de poliéster con material inerte, de alto poder tixotrópico y de muy baja viscosidad, tiene la propiedad de copiar muy bien los detalles del modelo, impidiendo que se escurra en los lugares de muy difícil acceso, como las partes cóncavas superiores del modelo.

(B) Composición del "GelCoat"

Resina de Poliester Cristalan 809	300 gms
Estireno.....	100 gms
Octoato de cobalto	75 gotas
Talco molido	150 gms
Cab-O-Sil	65 gms(*)
MEK Peróxido	Relación 1:50

(*)La adición apropiada del Cab-O-Sil al poliéster se determinaba por el punto en que una espátula de madera de 5 gramos de peso, quedaba "empotrada" en la mezcla sin ladearse para ningún lado. La aplicación del Gelcoat era catalizada por la adición de una relación 1:50 de MEK Peróxido.

Inmediatamente, luego de la primera capa de Gelcoat, se procedía a aplicar fibra de vidrio larga, con el fin de que la mezcla, se refuerce con este material. A continuación, se impregnaba con resina de poliéster (C) todos los trozos de fibra de vidrio, y la operación se repetía, es decir, alternado fibra y poliéster, hasta obtener un espesor de 3 ó 4 milímetros. La resina se catalizaba con una adición 1:100 de MEK Peróxido.

(C) Composición de la Resina de poliéster

Resina Poliéster Cristalan 809	300 gms
Estireno	100 gms
Octoato de cobalto	75 gotas
MEK Peróxido	1/100

Luego de fabricada cada casquete, se procedía a quitar los rebordes de cartulina. Si era del caso, se definían los nuevos surcos de los rebordes, se repetía según la operación subsiguiente para fabricar el respectivo casquete, hasta completar totalmente la superficie del modelo. Cuando dos casquetes vecinos estaban completamente formados se hacía una perforación pasante por sus bordes, y se pernaba con tornillo de 1/4 de pulgada. La figura siguiente ilustra un paso en la fabricación de la matriz.



Aplicación de la capa de resina a un sector de la parte superior del cuello. La cabeza esta totalmente cubierta por el molde.

Debido a la postura del modelo sobre una rodilla, no era posible desmoldar los casquetes, sobretodo en las partes del pecho e ingle, sin deteriorar el modelo... pero, en este momento era más importante la matriz, y el modelo había cumplido su función.

El peso total de la matriz de poliéster fue de 45 kilos, tomó un total de 25 días en su fabricación y ya terminada, antes de extraído el modelo, se muestra en la figura siguiente.



Matriz de resina de poliéster ya terminada

5. Fabricación del modelo en cera

Posteriormente, se desarmó la matriz y cada uno de los 37 casquetes, fue lavado, (y si fuera el caso, resanado para reparar pequeños detalles) y recubierto en su parte interna con desmoldante de grafito molido, malla 50. Luego, se recubría con una capa de cera (D), aplicada a brocha, cuyo espesor variaba entre 8 a 13 milímetros (Desafortunadamente, no se monitoreó el espesor de la capa de cera, con calibrador de penetración).

(D) Composición de la Cera Utilizada

Parafina microcristalina	58 %
Cera de Castilla	38 %
Brea	4 %

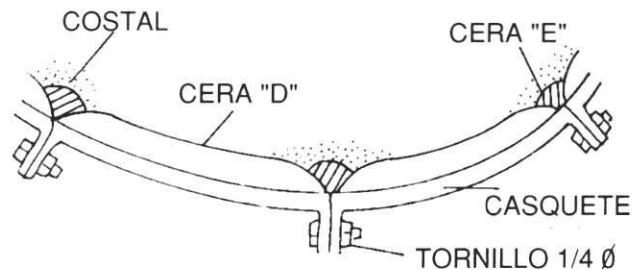
Después de solidificada la cera en cada casquete, se desmoldaba el respectivo sector en cera y se marcaba para proceder a armar a continuación ese rompecabezas espacial.....

La unión entre los sectores, se realizaba fundiendo una cera de unión (E), la cual tenía mayor resistencia que la cera del sector, entre la junta en "V" formada entre los dos sectores, mediante la ayuda de un cautín eléctrico. La unión se reforzaba con pedazos de costal, en su parte interna, y se llevaba a cabo sobre los respectivos casquetes de poliéster.

(E) Cera de unión en soldadura de sectores

Parafina microcristalina	40 %
Cera de Castilla	40 %
Colofonia	20 %

El detalle de la unión y del proceso de ensamblaje del modelo, se ilustran en la figura siguiente.



Detalle de la junta de unión entre los sectores y del ensamblaje del modelo en cera.

Al modelo en cera, se elaboró un sistema de ventilación, con el objetivo de evacuar los gases calientes que se generan en el momento del vaciado y evitar poros en la pieza. Este, en las últimas fases del proceso se muestra a continuación.

La duración de este proceso fue de 10 días.

6. Ensamble de Fundición (Sistema de Colada)

El modelo ya provisto de todo su sistema de ventilación, fue colocado sobre una base compuesta de dos hileras de adobe refractario, Erecos, Recto U-33

El objetivo del ensamble de fundición es proveer el sistema de alimentación y vaciado de la pieza, de tal manera que suministre el metal fundido de una manera uniforme, rápida y sin turbulencias, a todas las partes del modelo. Dicho sistema consta del vaciadero propiamente dicho, los canales principales, canales secundarios, respiraderos, pasadores, soportes, botavientos inferiores, termocuplas y botaceras.

El vaciadero fue una campana de Icopor de dimensiones 6" de diámetro inferior, 8 "diámetro superior y 6 "de altura. El objetivo del vaciadero es mantenerse completamente lleno en el momento de la vaciada del metal, con el fin de evitar introducción de aire por flujo turbulento. El volumen del vaciadero era de tres (3) litros aproximadamente.

Los canales principales, fueron tubos de cera(9) de 1" de diámetro, adheridos a la parte inferior de la campana mediante cera. Debió tenerse bastante cuidado en evitar cantos vivos y redondear aristas. En total hubo 9 canales principales. El vaciado se concibió de tal manera que dichos canales llegaran inicialmente hacia las partes más inferiores del modelo, y prosiguiera el vaciado desde abajo hacia arriba.

Los canales secundarios, se hicieron con tubos de cera de 0.5"de diámetro, y conectaban el canal principal y la pieza (este punto se denomina "ataque"). La norma era utilizar un ataque cada 4". El número de ellos, bien pudo alcanzar los 80.

Los respiraderos -un total de 14- se colocaban en la parte superior del modelo, a una altura de 3/4 de la base. Se fabricaban también de cera, (0.5" dia) y desempeñan la función de evacuar los gases de combustión ó el aire desalojado para evitar burbujas ó porosidades.

Los pasadores tienen la misión de sujetar firmemente el matacho central (refractario interior) desde el momento que ocurre el descerado hasta el vaciado del metal. Se hicieron, y este fue el éxito del Sembrador, con acero inoxidable AISI 304 de 3/16" dia. Es de anotar que los pasadores de alambre de cobre, no resistieron el largo proceso de quema, sufriendo un deterioro grave, no recomendándose para futuros diseños.

Los soportes, ó dos tubos que sobresalen por la parte del costado a nivel de las caderas, tenían la función de soportar el macho, a manera de cantilever ó de empotramiento e impedir que se "cuelgue" en el momento del descerado y momentos subsiguientes. De una u otra manera, es un apoyo extra para los pasadores.

Los botavientos inferiores, tienen la misión de evacuar el aire, desde la parte más interna de la pieza, por ejemplo en la mano derecha, y conectarse directamente a la parte superior.

Las termocuplas, del tipo K -Cromel/Alumel- de 0.125" de diámetro, colocadas en los sitios más internos de la pieza, como la ingle y el pie derecho, desarrollan una señal (milivoltaje) proporcional a la temperatura medida, y era leída mediante pirómetro digital . Ellas, son las que

marcan en definitiva el curso del proceso. Es de anotar que el ambiente muy reductor en el proceso de quema las deterioró rápidamente.

Los botaceras, colocadas en las partes más inferiores del modelo, como los pies, manos y rodillas, eran tubos de cera de 1" de diámetro y adheridas al modelo , que se extendían por fuera de la dimensión esperada del vaso. Tienen la función de proveer conductos en el momento del descerado, para facilitar todo el fundido de la Cera.

El peso en cera del modelo fue de 48 kilos, y el peso total con los vaciaderos y respiraderos fue de 65 kilos. Este proceso duró cuatro días

7. Fabricación del molde

El modelo en cera, provisto de todos los aditamentos especificados en la sección anterior, fue recubierto con tres capas de barro refractario(F) aplicada mediante pistola de aspersion, y de un espesor de tres a cuatro milímetros. Una capa de barro refractario, no se aplicaba, si la anterior no estaba completamente seca.

(F) Composición del barro refractario

Ludox SM -Colloidal Silica	3 litros
Zirconita Malla 325	7 kgs
Zirconita Malla 100	2 kgs
Estabilizador OW	5 cc
n-Octanol	3 cc
Viscosidad Copa Ford 4B	20/22 seg

La función del barro refractario (cuyo punto de fusión es superior a 2000 C), es proveer una capa de contacto muy fiel, para reproducir todos los contornos del modelo y altamente refractario para resistir el ataque del metal. El refractario es Zirconita, ligada con Sílice coloidal y con acondicionadores como el agente humectante (Estabilizador OW) y el antiespumante (Octanol) . Desafortunadamente, no se utilizó fibra de vidrio, entre capa y capa, para reforzar esta aplicación, y mejorar su adherencia al molde externo.... esto conllevó a un defecto grave (costras) que mencionaremos más adelante.

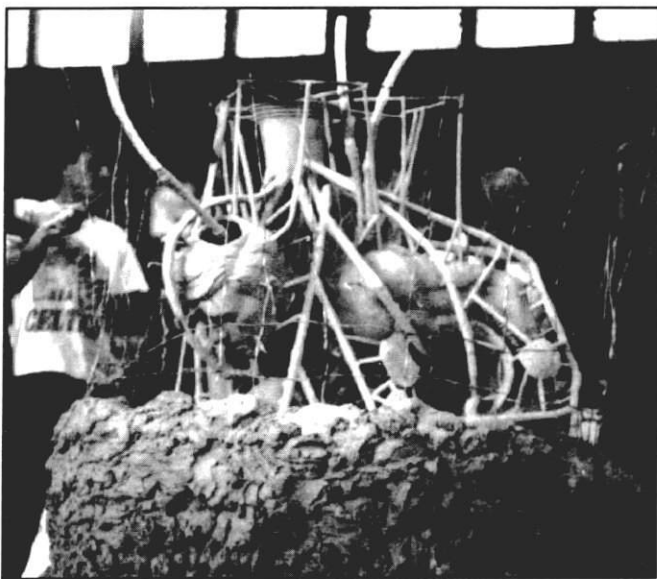
El modelo, bañado ya con esta capa cerámica, fue rodeado por una formaleta que se hace manualmente, llamada "vaso" y fabricada según el mismo procedimiento que se utiliza en Pietrasanta, para las esculturas del Maestro Botero. Dicho vaso, está amarrado desde su base inferior , a una serie de alambres empotrados en la base refractaria, con el fin de evitar la separación de ellas, en el crítico momento de vaciado del metal. El vaso, es fabricado con mortero de yeso(G) , aplicado por

pequeñas "plastas" que rodean el contorno del modelo (de forma similar a construir castillos de arena en la playa). La distancia vaso/pieza es de 7".

(G) Composición del mortero de yeso

Yesolit	330 kgs
Chamote Erecos 0/1	1200 kgs
Agua	460 lts

El corto tiempo de fraguado, de cerca de 5 minutos, implica la preparación de pequeñas cantidades, usualmente de cinco a diez, para evitar pérdida excesiva de mortero por sobrefraguado. La figura siguiente ilustra el momento de este proceso.



Vista del molde del "Sembrador" al 40% de su construcción. En el centro se encuentra el modelo en cera, con la primera capa refractaria, rodeado por el "vaso" de mortero de yeso.

El vaso se completó hasta quedar a la misma altura del vaciadero.

Posteriormente, se agregó un segundo mortero de refuerzo (H), con la misma relación yeso/chamote (21/79 en peso), pero más fluido que el anterior. Tiene la doble función de rellenar el espacio entre la parte externa de la cáscara a la parte interna del vaso, y rellenar el espacio interior del modelo, - matacho ó macho - para que la pieza salga hueca por dentro. Esta última penetraba al modelo por una "trepanación" de 50 cm² en la parte superior de la cabeza.

(H) Mortero de refuerzo

Yesolit.....	300 kgs
Chamote Erecos 0/1	1130 kgs
Agua	500 lts.

La adición de este mortero se hacía de forma continua de manera análoga a la construcción de una loza de cemento. El tiempo de fraguado era de 15 minutos aproximadamente.

Las características del molde (I) descritas a continuación dan idea de la magnitud de la obra. El molde se observa en la figura No. 10, y se fabricó en 10 horas.

(I) Características del molde "El Sembrador de Estrellas"

Yesolit	630 Kgs
Chamote Erecos 0/1	2330 Kgs
Agua.....	961 Lts
Cáscara refractaria	10 Kgs.
Modelo en cera + Vaciaderos	65 Kgs.
Base refractaria.....	400 Kgs.
Peso total	4396 Kgs
Altura.....	1.70 mts
Diámetro	1.40 mts

Posteriormente, se fabricó alrededor del molde, un horno de cava de dimensiones de 3 * 3 metros, con cuatro entradas de aire, doble hilera de ladrillos huecos como pared y techo suspendido por tubos refrigerados por agua.

El horno era calentado con coque y en ocasiones se soplaba aire por dos huecos contrarios, si la temperatura era inferior de cierto nivel preestablecido. Tampoco se podía elevar la temperatura por encima de los 800 C.

Es de anotar que la doble hilera de adobes, fue insuficiente para permitir un aislamiento térmico eficiente, y fue causa de los siguientes inconvenientes:

- Excesiva pérdida de calor
- Atoramiento de parrillas, por excesiva escoria formada del coque
- Condición no adecuada de quema por ambiente reductor.
- Excesivo consumo de coque : 5.5 toneladas
- Necesidad de sopló frecuente.

Para próximos diseños, es necesario considerar la posibilidad, de que el horno para el quemado de la cáscara fuera de foso, es decir, enterrado de tal manera, que el vaciadero coincidiera con el nivel del piso y colocar los hornos en este nivel (según la misma concepción de Da Vinci). El problema en este caso, radica en que los pozos profundos, hacen posible el afofamiento de agua debido al alto nivel freático en los predios de la Universidad y sería necesario un sellado ó impermeabilizado de estos.

Dos ventajas adicionales que tendría el horno de foso con respecto al de cava: Primero, por su mejor aislamiento térmico, las pérdidas de calor por convección (en la pared ladrillo/aire, más no en la superficie techo/aire), se reducen ostensiblemente en el primero, lo que conllevaría a un ahorro sustancial en combustible.

Segundo, la mayor inercia térmica del primero con respecto al segundo, siempre y cuando se controle la entrada de combustible/aire, conllevaría a una más baja velocidad de calentamiento del molde, la diferencia de temperaturas entre el vaso (parte externa) y el macho (parte interna) es menor y por ende las dilataciones son menores, minimizando la formación de las grietas con el consiguiente defecto de 'aletas' (véase más adelante, numeral 9)

Más recomendable sería el uso del gas, en vez de coke, para eliminar el problema de formación y remoción de escoria del coke, así mismo, asegurar una combustión oxidante, más bien que reductora.

Una manera de monitorear la calidad de la quema del molde y a la vez su temperatura y de excelentes resultados en el molde del Sembrador, consistió en realizar una perforación al molde ("periscopio"), mediante la introducción de un tubo de PVC en el vaciado del mortero de refuerzo, el cual desaparecía durante la quema. Al introducir por dicho orificio una termocupla protegida con asbesto, podíamos leer la temperatura directamente, y al extraerla para revisar si tenía rastros de hollín, era un indicio seguro que la quema era todavía insuficiente.

Cuando por fin, el asbesto no mostraba adherencias de hollín, era el momento de suspender la quema. A partir de este momento, se dejó que el molde se enfriara por espacio de tres días en el horno, el cual fue removido para el vaciado.

Posteriormente, se realizó la "cobijada" del molde, con costal impregnado de yeso, con el fin de soportar las enormes presiones que se generan durante el momento de la vaciada del metal y que pueden, en pocos minutos, deteriorar el trabajo de varios meses. Alrededor del molde, ya protegido de esta manera se realizó un aporcamiento de arena en verde, humectada al 2% de agua y apisonada entre capas de ladrillo hueco.

Por si lo anterior, fuera poco, y extremando las precauciones, todos los ladrillos exteriores que soportaban la arena, fueron amarrados por alambre de acero y tensionados mediante cuñas de madera..... Había llegado el momento de la vaciada.

8. Vaciado del metal

Debido a la gran altura del molde, 1.70 metros del nivel del piso, fue necesario hacer un entarimado para colocar los dos hornos de fundición, cada uno, con capacidad de 500 kgs, a una altura de 2.50 metros.

Los dos hornos, estaban interconectados por una canaleta central, con declive de 15o, y que descargaba directamente al vaciadero del molde. Dicha canaleta fue revestida con arcilla refractaria y calentada superficialmente con coke y carbón de leña hasta 500 C, para eliminar totalmente el agua que pudiera contener y evitar el peligro de explosiones.

Fue necesario diseñar un sistema de ventilación ó exhosto de salida, de tal manera que evacuara los gases calientes generados durante la fusión del metal hacia afuera de la planta, con el fin de evitar el peligro de incendio.

Asímismo se diseñó un sistema de refrigeración de la estructura metálica soportante del techo, para evitar su debilitamiento y posterior colapso.

Los detalles relativos a la fundición (J) son los siguientes:

(J) Características de fusión para el molde del Sembrador	
Hornos	2
Capacidad	500 kgs. c/u
Consumo de ACPM	110 gal.
Número de inyectores	2
Tipo de inyección de combustible ..	Bomba con motor 1 HP
Capacidad	26 gal/hora c/u
Metal fundido total.	828 Kgs.
Tiempo de fundición	2 h 50 m
Desgasificación	6 cil. Logas 50
Desoxidación	6+4 tubos DS-2

Composición del metal fundido

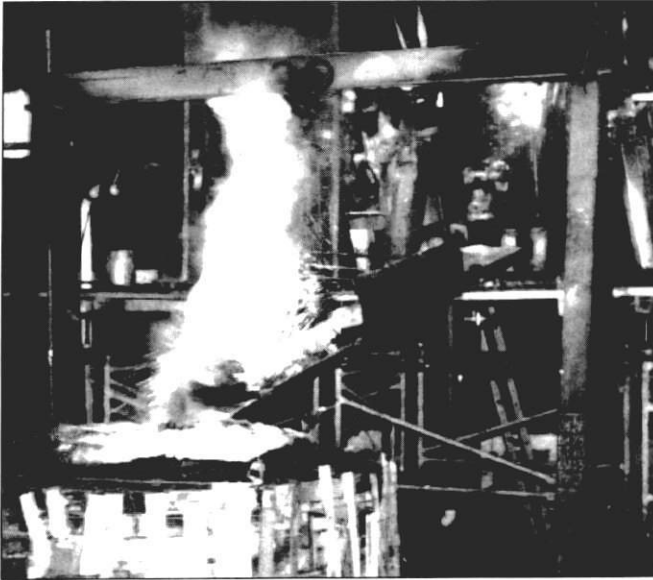
Coladas de hornos y fusiones

	Spitia	Nevardo	Promedio	Mano
Sn (%)	5.54	4.24	4.84	4.49
Fe (%)	0.88	0.70	0.79	0.74
Zn (%)	6.99	4.38	5.68	9.55
Pb (%)	8.85	5.29	7.12	10.13
Ni (%)	6.42	4.26	5.34	4.60
Mn (%)	0.054	trazs	0.02	0.056
Cu (%)	72.48	81.43	76.95	69.26
P (%)	0.021	0.021	0.021	
Al (%)	0.281	0.86	0.571	0.345

Temperatura de vaciado 1810 - 1140 C

Peso neto de la pieza	489,5 Kgs
Peso canales y rebabas	169,5 Kgs
Peso Lingote sobrante	111 Kgs
Pérdida por oxidación (7%)	58 Kgs

El vaciado se realizó de una manera normal y no se apreciaron muestras de hervor de alguna clase. La foto siguiente capta el crítico momento de la vaciada.



Vaciada del molde del Sembrador de Estrellas. Se ilustra la formaleta que descarga metal al vaciadero. Al fondo los dos hornos de fundición.

9. Limpieza y acabado.

Luego del desmoldeo, es decir, la separación del molde refractario del objeto fundido y posterior limpieza, se observaron los siguientes defectos superficiales:

Aletas

Por efecto de una gran diferencia de temperaturas entre la parte externa (vaso) e interna (macho) del molde, posiblemente debidas a la alta velocidad de calentamiento obtenida por una exagerada introducción de coque en los primeros 5 días de quema, se formaron unas grietas en el molde, de un espesor promedio de 10 mm y que en la mayoría de los casos se desplazaba hasta la parte externa.

Al vaciar el metal y por la buena colabilidad de éste, estas grietas se llenaron de metal y aparecieron unas "aletas", las cuales partían desde la superficie del modelo, ubicadas en la parte media del rostro y brazos izquierdo y

derecho. La dirección de ellas coincidía con las zonas de **alta concentración de vaciaderos** longitudinales: hecho notable para tener en cuenta en próximos diseños, así mismo, prever y controlar las expansiones del molde, minimizando la velocidad de calentamiento.

Como resultado, el modelo sufrió una expansión de 15 mm en promedio, ocurriendo distorsión en el rostro y brazos.

El análisis del sistema de vaciado muestra que el número de entradas al modelo de cera, pueden disminuirse hasta en un 30 %, aumentando la distancia entre ellas de 4 " a 6 " sin deterioro de la calidad superficial.

Costras

Por la misma causa de la dilatación del molde, se formó un espacio de 2 mm en promedio, entre la cáscara cerámica y el molde de refuerzo. Al vaciar el metal, éste espacio fue rellenado, creándose una "costra" de metal, no deteriorando el acabado superficial pero su remoción (cerca del 70 % de la superficie del modelo) debió hacerse con cincel y pulidora.

Para próximos diseños es necesario, aplicar mayor números de capas de barro refractario, 7 en vez de 3, alternadas con un buen soporte de fibra de vidrio y con prolongaciones cerámicas (alfileres de acero inoxidable, fibra de vidrio) para mejorar su adherencia al molde externo.

En los puntos donde no se encontraba cáscara refractaria, se observó fuerte ataque del metal al mortero de yeso, indicando que no es viable, fabricar el molde sólo con este material y que la cáscara si es necesaria para esta función.

La facilidad con que el metal penetró en ese espacio de 2 mm, formado entre la cáscara y el molde de refuerzo, da idea de la excelente colabilidad del metal y proporciona la seguridad de que el espesor de la obra, puede disminuirse de 11 mm en promedio hasta 7 mm, con el consiguiente ahorro de metal, combustible y tiempo de quema.

Poros

Situados preferentemente al nivel superior de la espalda, y en la zona donde estaban los respiraderos. Es probable que el molde haya necesitado más respiración ó que en dicho punto hubo rastros de cera, que produjeron el hervor. Fueron reparados con soldadura eléctrica de bronce West-Arco CuSn-A de 1/8 "

Desprendimientos

Sólo hubo un desprendimiento importante y fue localizado en las partes inferiores del canasto. Pensamos, fue debido a que el matacho en dicho punto tenía muy poco espesor y se colapsó en el momento de la vaciada al metal. Fue reparada también con Soldadura Eléctrica

No Llenado

La mano derecha, sufrió el defecto de no llenado, posiblemente por ser el primer metal que entró al molde, el cual entra a baja temperatura y tiene baja colabilidad. Es posible que hubiera existido también un taponamiento del botaviento inferior, colocado en este punto. Fue vaciada por separado en el sistema de la cera perdida (junto con la base y las estrellas) y pegada al brazo con soldadura. La composición de este metal se observa en la tabla anterior. curiosamente, B. Cellini (2) también reporta este defecto en la fundición de su "Perseo".

No se observaron grietas en la pieza fundida. Calificamos el éxito de la fundición en un 90%

10. Pátina

El modelo fue soldado a una placa fundida elipsoidal de 19 mm de espesor y 110 kilos de peso. Así mismo, alrededor del modelo se soldaron las estrellas, para dar por terminado el proceso de ensamble.

Luego de limpiado con chorro de arena y lavado con Acido Nítrico (51%) se procedió a realizar el patinado (K), con el objetivo de proveer una capa resistente a la corrosión y que a la vez de al objeto fundido una tonalidad adecuada, según la concepción del artista.

(K) Proceso de patinado de la Obra

Reactivo	Sulfuro de Potasio analítico
Disolución	Agua en ebullición
Concentración	20 gms/litro
Aplicación	Brocha
Temperatura del Bronce	130/160C
Calentamiento	Gas propano
Color	Azul oscuro a negro.

Por último, se aplicó una capa cera de abejas/trementina (15/1) para conservar y dar más brillo a a la pátina..... Todo el conjunto, ya terminado pesó 627 kgs y se observa en la figura siguiente.



Aspecto final del Sembrador de Estrellas



Vista del montaje final del Sembrador de Estrellas. Se observan las ondulaciones del terreno y los radios a partir de él, en los jardines interiores de la facultad.

11. Montaje

De acuerdo a la concepción del artista, se remodeló el jardín ubicado entre los Bloques 19 y 20. El aspecto final de la obra aparece en la figura siguiente.

Agradecimientos

Esta obra, fue realizada con el apoyo de muchas personas y empresas que participaron en el proyecto y que merecen enunciarse:

Decanatura de Ingeniería
Administración Central de La Universidad de Antioquia
Asociaciones de Egresados (SIMEDUA, ASIDUA, AIE, ASIMEC, INELDUA, ISUA, SCIQ)

Estudiantes de Ingeniería (Metalúrgica, Química, Industrial, Eléctrica, Electrónica, Sistemas, Mecánica y Sanitaria)

Ar dercol	Metromed	Hugo Ruiz
Incoal	Gloria Patricia Arango	Landers
Ereco	Fernando Henao	Claudia Mira
Concreto	Fundiciones Spitia	Furima
FLndeco	Carlos Patiño	Henry Mesa
Nevardo Luján	Luz Helena Sanín	
CM Constructora de Maquinaria		

Bibliografía

- [1] Ríos, A. "Comunicación personal". Taller de Fundición UdeA. , Jun/94
- [2] Cellini, B. Mi vida. M. Aguilar, Madrid, 1940
- [3] Echavarría, A. Breve Historia del proceso de Fundición a La Cera Perdida. Memorias III Seminario Fundición de Precisión a la Cera Perdida, CESET , UdeA, Nov/93
- [4] Brugnoli, María Victoria. El Leonardo Desconocido. Edición de Ladislao Reti. Libros Mc. Graw Hill de México, 1975.
- [5] Mejía, H. Colados a la Cera Perdida en molde grueso. Memorias III Seminario Fundición de Precisión a la Cera Perdida, CESET UdeA, Nov/93
- [6] Microinox. Conheça a versatilidade da fundição de precisão. Microinox. Fundação de Precisão. Dez/ 90 . Ano 2