



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

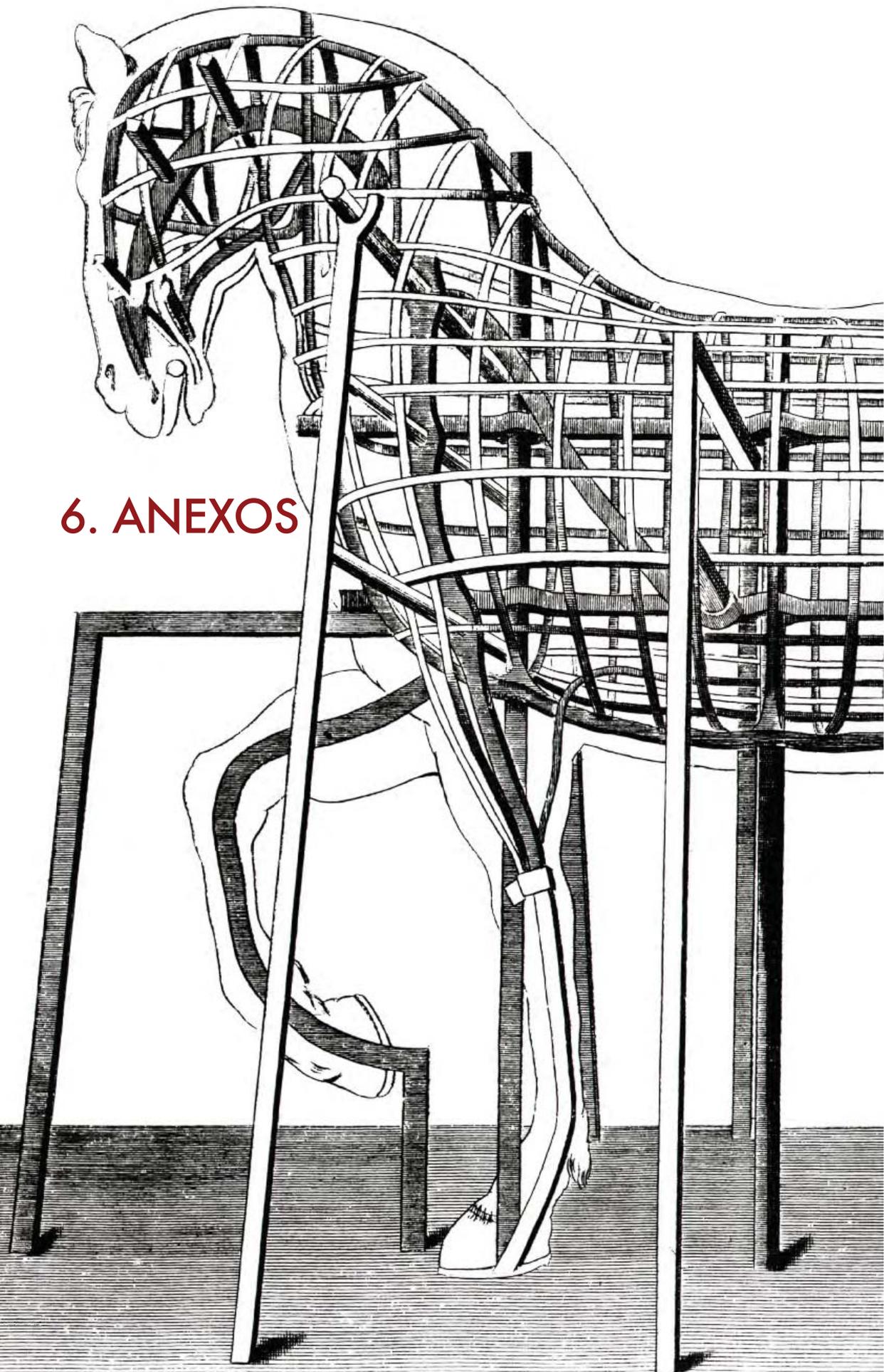
## ***I cavalli di Leonardo Da Vinci: La utopía pactada***

Jordi Vila Coldeforns

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) i a través del Dipòsit Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) y a través del Repositorio Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) service and by the UB Digital Repository ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



## 6. ANEXOS

6.1 TEXTO ORIGINAL DE LEONARDO Y OTROS AUTORES

1. MANUSCRITOS DE LEONARDO

2. DIBUJOS DE DURERO INSPIRADOS EN ORIGINALES DE LEONARDO

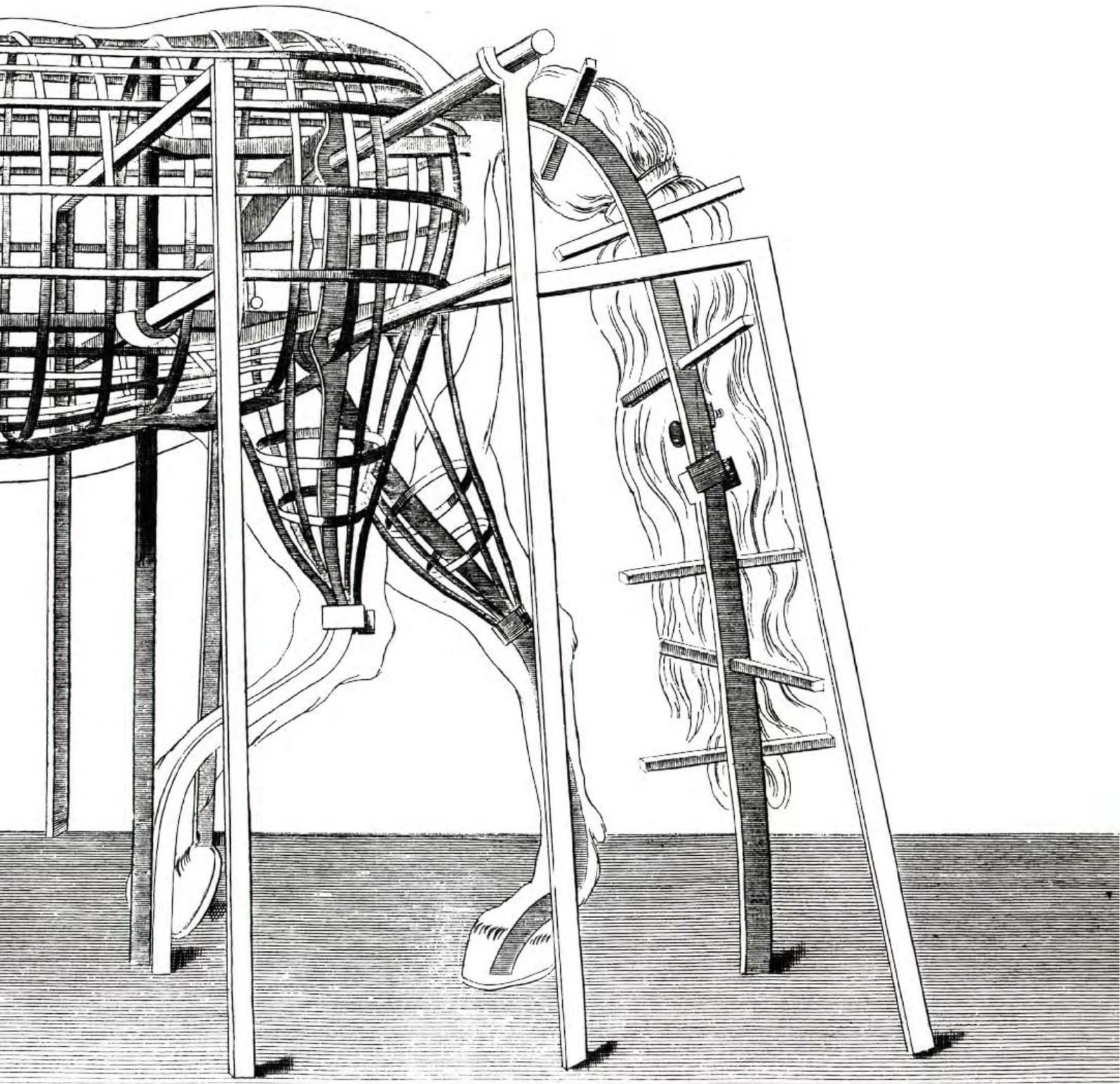
3. CÓDICE HUYGENS: DIBUJOS DE CARLO URBINO COPIADOS DE ORIGINALES PERDIDOS DE LEONARDO. PROPORCIÓN DEL CABALLO

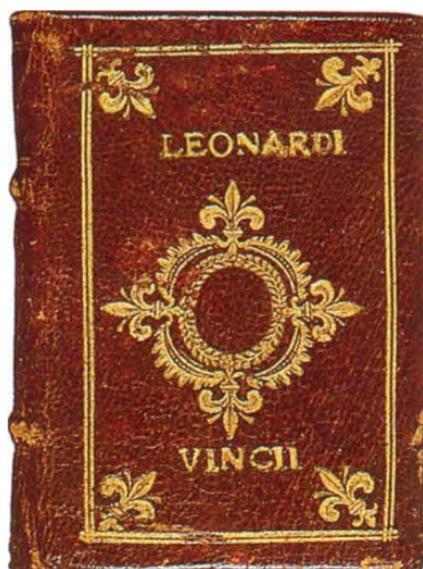
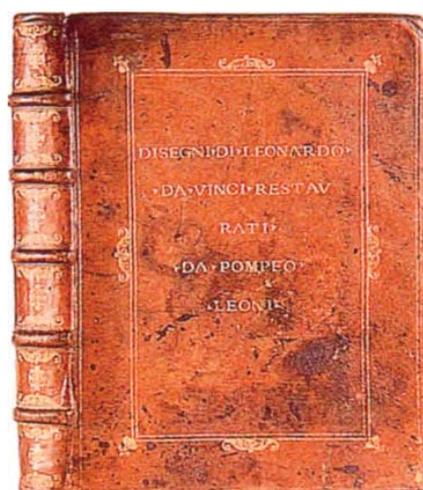
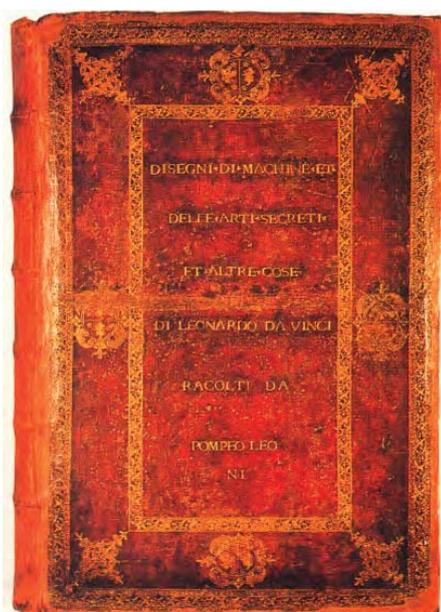
4. GRABADOS DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DEL MONUMENTO ECUESTRE DE LUÍS XIV DE GIRARDON

5. GRABADOS DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DEL MONUMENTO ECUESTRE DE LUÍS XV DE BOUCHARDON

6. GRABADOS DEL PROCESO DE AMPLIACIÓN Y FUNDICIÓN DEL MONUMENTO ECUESTRE A JOSÉ I, DE MACHADO DE CASTRO

*Fig. 1.*





1. Portada de la encuadernación original del código Atlantico de Leonardo, dibujos de maquinas y de artes secretas clasificados por Pompeo Leoni, Biblioteca Ambrosiana, Milan
2. Páginas de código de Foster II, folio 62v y 63r
3. Encuadernación original de la colección de Windsor (SXVI) en piel roja con estampaciones en oro, 48 cm x 35 cm, Windsor, Royal Library
4. Manuscrito I, París, Institut de France
5. Manuscrito K, París, Institut de France

Una vez finalizada la tesis en el espacio temporal de Renacimiento, con ligeras y necesarias ventanas a elementos limitados de continuidad, propongo en los próximos anexos, completar temporalmente la evolución de las tecnologías que Leonardo aplica a la escultura y a la fundición de los monumentos ecuestres.

Con motivo de la ejecución de las estatuas ecuestres de Luis XIV (hoy desaparecida) y de Luis XV, se genera gran cantidad de documentación, básicamente grabados, que ilustran secuencialmente el proceso de ejecución de la escultura.

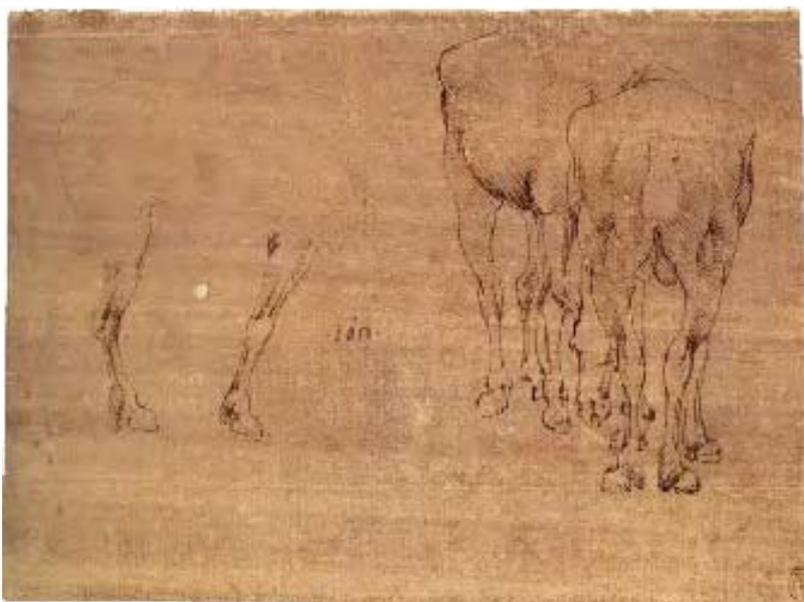
Creo que puede ser interesante contemplarlos completos sin el despiece que se ha producido en la narración de la tesis.

Asimismo, el proceso del monumento a Jose I en Portugal corrobora otra visión de los anteriores.

También veo conveniente facilitar la información global de todos los dibujos del Códice Huygens copiado por Carlo de Urbino de los manuscritos originales de Leonardo, así como las copias que Dürero realiza de los mismos.

En una tercera parte ordeno por proyectos todos los dibujos y manuscritos del artista con su texto original traducido, con lo cual el lector puede rehacer toda la información que ha recibido y los conceptos utilizados en la tesis, y, si es el caso, formar sus propias hipótesis.

Por último, y debido a mi formación profesional en la investigación de sistemas de referenciado digitales, he querido completar el apartado de sistemas de ampliación ubicado en el capítulo del monumento ecuestre de Sforza, para presentar al lector la evolución de estos sistemas hasta nuestros días y así procurar no romper el concepto temporal de la tesis, objetivo que para mi era fundamental.



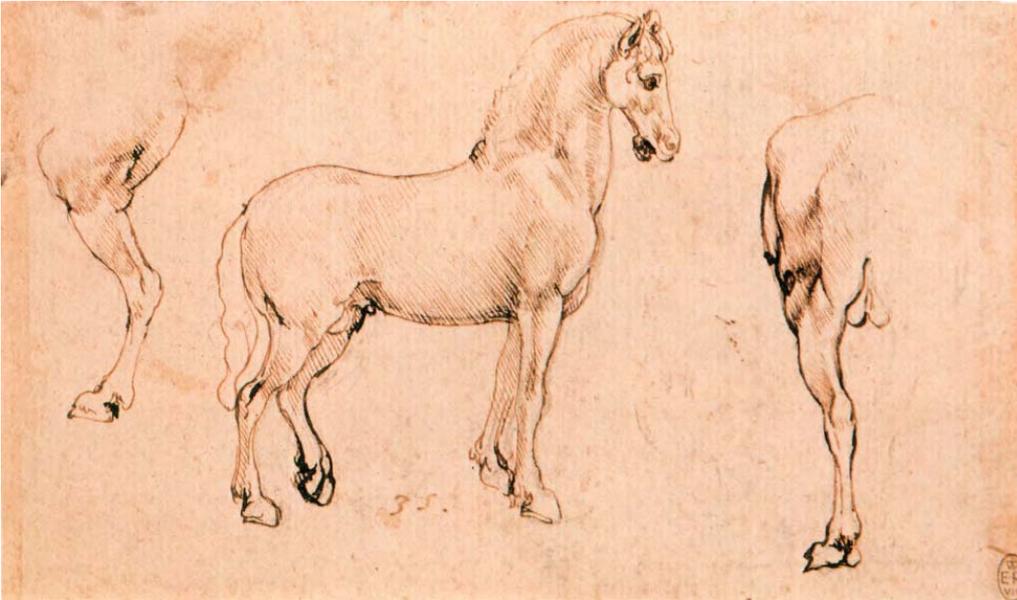
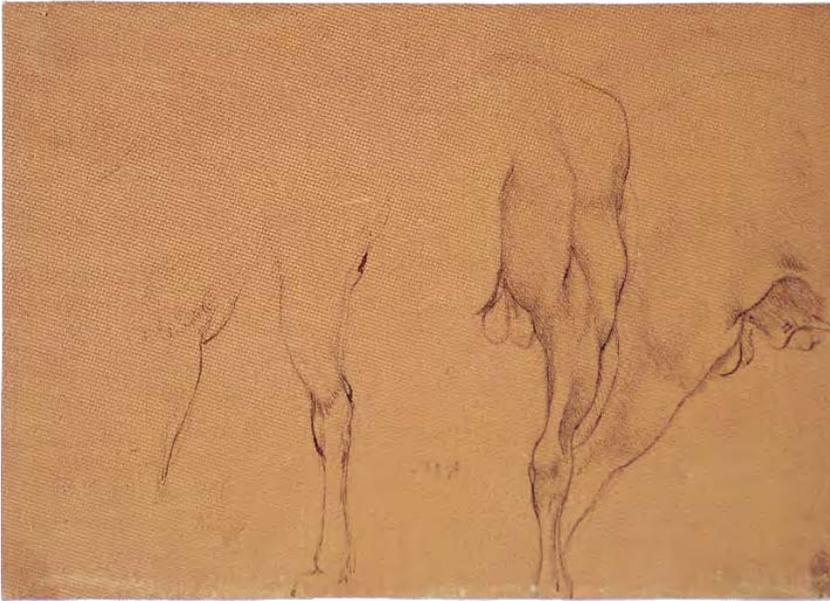
1. Estudio de los músculos del pecho de un caballo para el monumento Sforza, 1493-94  
Punta metálica, 212 x 160 mm. Royal Library, Windsor, R.L. 12341r

2. Estudios de Caballos al Natural, 1478  
Punta metálica, 143 x 199 mm.  
Castillo de Windsor, Royal Library, RL 12308r

3. Fragmentos de Caballos al Natural, 1480.  
Pluma y tinta, 132 x 159 mm.  
Castillo de Windsor, Royal Library, RL 12305r

4. Estudios de caballos, 1510,  
252 x 175 mm. Castillo de Windsor. Royal Library, RL 12309r

5. Estudio de Caballos, 1510  
Pluma y tinta sobre lápiz negro, 233 x 165 mm.  
Royal Library, Windsor RL 12303r

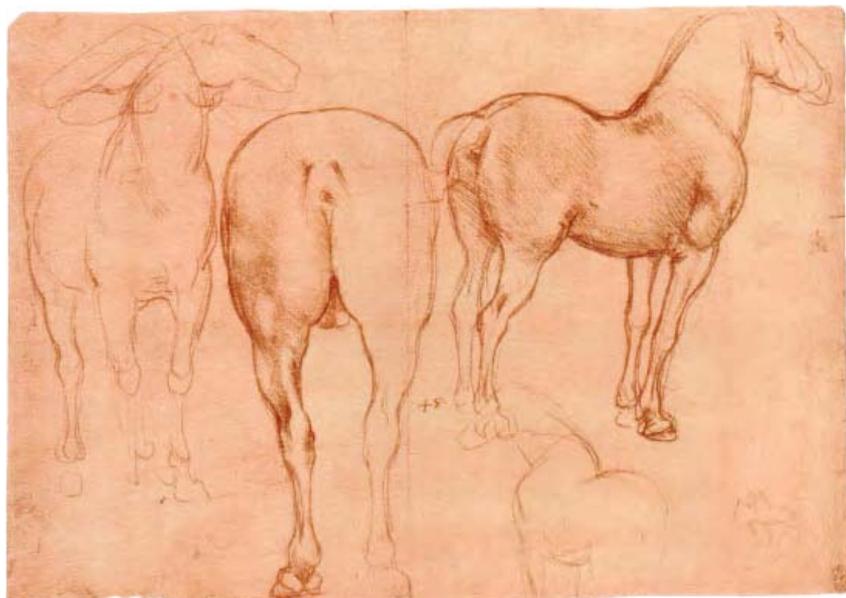


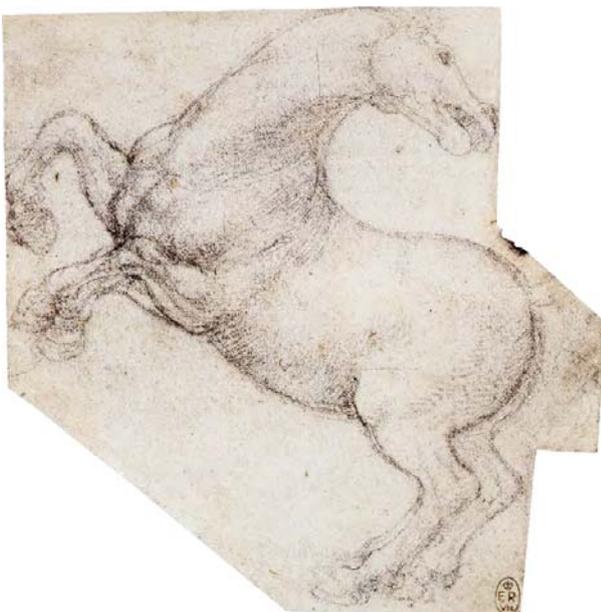
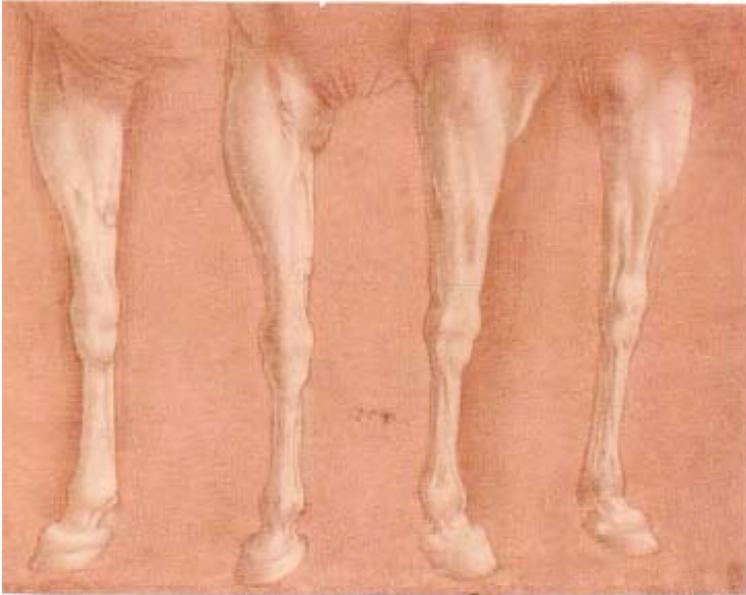
6. Estudios de Caballos al Natural, 1479  
Pluma, tinta y lápiz negro, 134 x 188 mm.  
Castillo de Windsor, Royal Library, RL 12306r

7. Dibujo del Monumento al Colleoni, Museo de Budapest

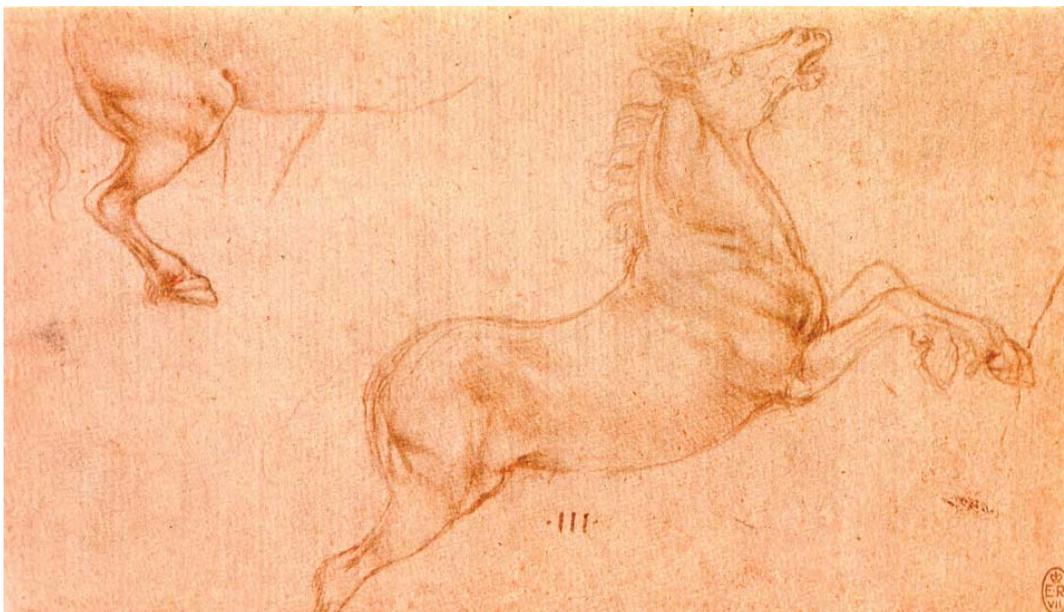
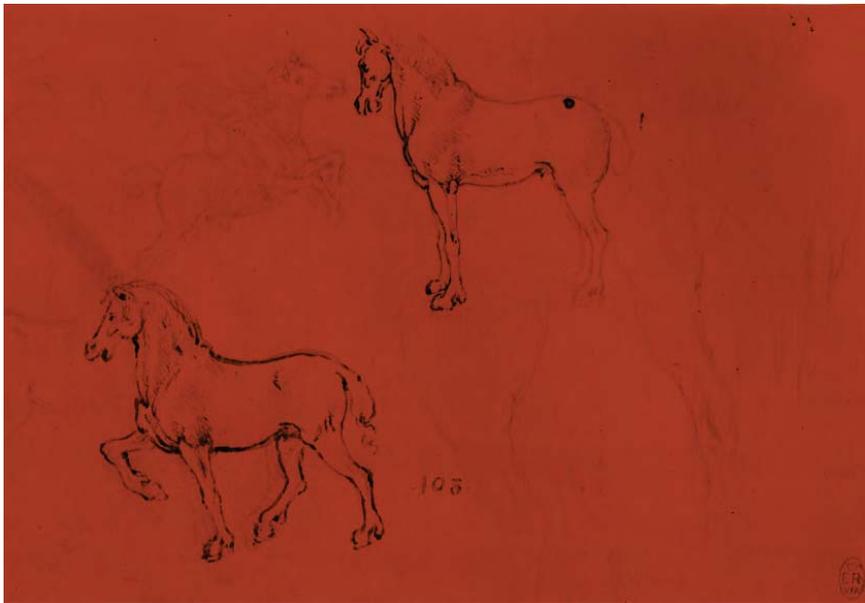
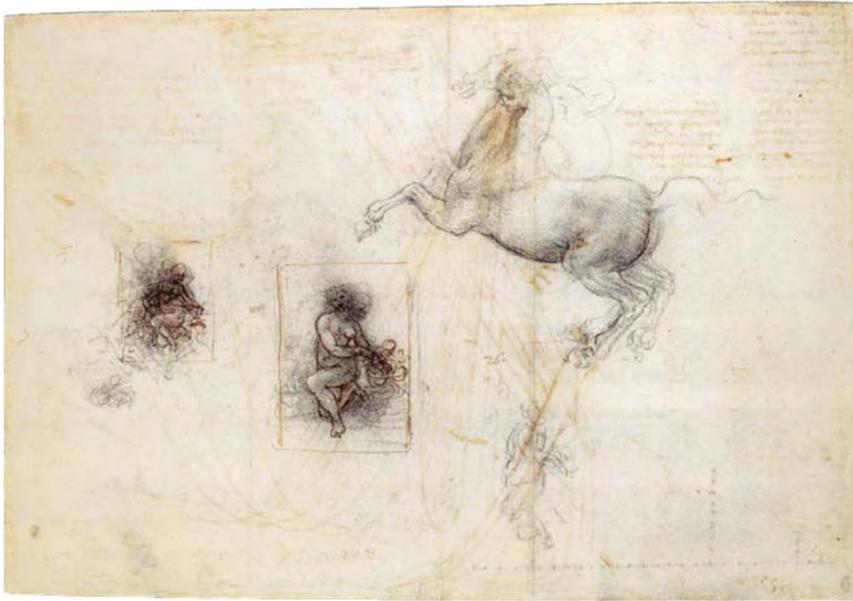
8. Estudio de anatomía del caballo. Royal Library, Windsor,  
RL 12324

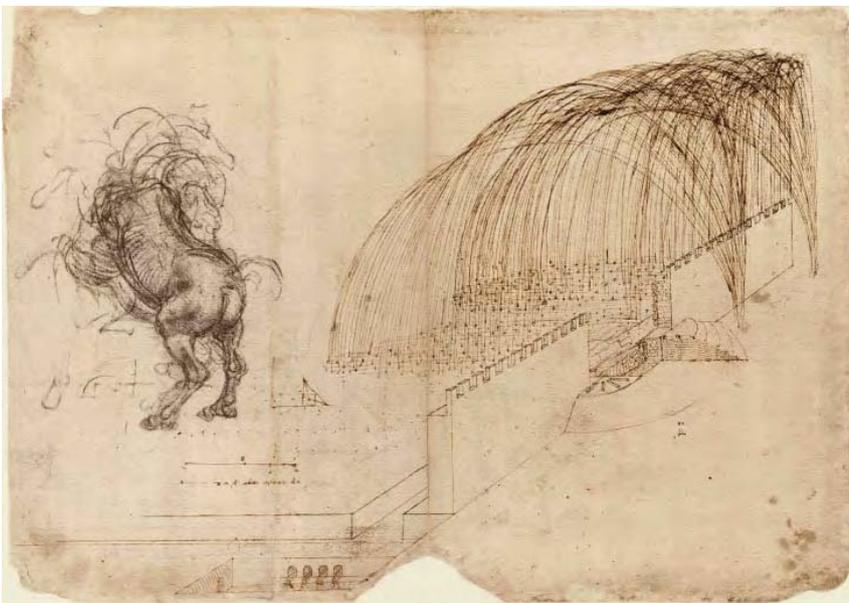
9. Estudio de anatomía del caballo. Punta de plata, 154 x 205  
mm. Biblioteca Reale, Torino, inv. 15580





1. Estudio de caballos. Royal Library, Windsor, RL 12297r
2. Estudio de caballos, Códice Atlantico 153v
3. Estudio de caballos. Royal Library, Windsor, RL 12317r
4. Estudio de caballos, 1479. Pluma y tinta, 127 x 158 mm. Royal Library, Windsor RL 12307r
5. Estudio de caballos, 1503. Lápiz negro, 103 x 131 mm. Royal Library, Windsor RL 12335r
6. Dibujo de Caballo del Natural, 1481-82. Punta metálica, 85 x 148 mm. Royal Library, Windsor RL 12289r
7. Estudio de caballos. Royal Library, Windsor, RL 12299r
8. Estudios de caballos, 1480. Punta metálica, 114 x 196 mm. Royal Library, Windsor RL 12315r
9. Estudio de caballo encabritado, 1504-1510. Lápiz negro, 103 x 131 mm. Royal Library, Windsor RL 12334r





1. Estudio de Leda y el Cisne, 1504. Pluma, tinta y lápiz negro, 287 x 405 mm. Royal Library, Windsor RL 12337r

2. Estudio con caballo y jinete, 1481. Punta metálica, 120 x 78 mm. Colección John Nicholas Brown, Rhode Island, Newport

3. Estudio de caballos, 1480  
Punta metálica, pluma y tinta, 117 x 194 mm.  
Royal Library, Windsor RL 12325r

4 y 5. Estudios de expresión de caballo, león y tigre, Leonardo da Vinci 1503-4. lápiz, sanguina, pluma y tinta, 196 x 303 mm.  
Royal library, Windsor, RL 12326r

6 y 7. Estudio de caballo, Códice Atlántico 72r

8. Estudio de caballo para la Adoración, 1505  
Pluma, tinta y sanguina, 153 x 142 mm.  
Royal Library, Windsor RL 12336r



1. Estudio del Monumento a Sforza, 1508-1511  
Lápiz negro, 267 x 161 mm. Royal Library, Windsor RL 12359r

2. Estudio del Monumento a Sforza, 1508-1511. Lápiz negro,  
178 x 184 mm. Royal Library, Windsor RL 12342r

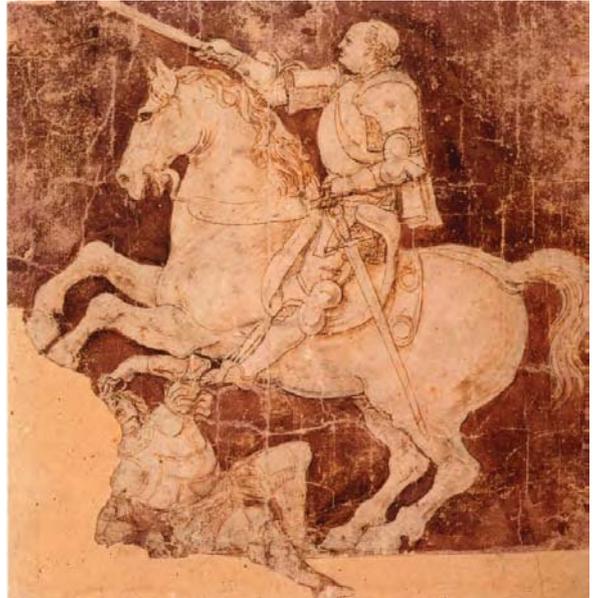
3. Estudio del Monumento a Trivulcio, 1508-11. Lápiz negro,  
201 x 124 mm. Royal Library, Windsor RL 12354r

4. Estudio del Monumento a Sforza, 1508-11. Pluma, tinta y  
lápiz, 224 x 160 mm. Royal Library, Windsor RL 12360r

5. Estudio del Monumento a Sforza, 1508-1511. Pluma y tinta,  
203 x 143 mm. Royal Library, Windsor RL 12344v

6. **Busto de un hombre de perfil con estudios de proporciones**,  
1490. 280x222mm. Galería de la Academia, Venecia, inv. 236r

7. Estudio del Monumento a Sforza, 1488-89. Punta metálica,  
116 x 103 mm. Royal Library, Windsor RL 12357r



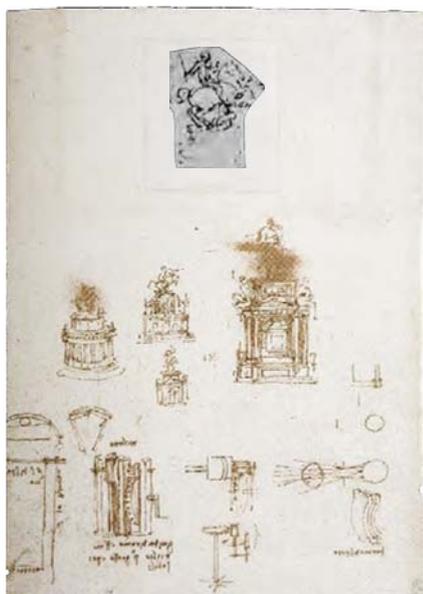
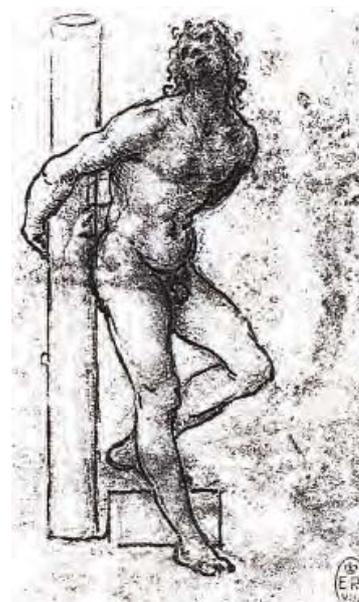
8. Estudio del Monumento a Sforza, 1488-89. Punta metálica, 148 x 185 mm. Royal Library, Windsor RL 12358r

9. Estudio para una estatua ecuestre, Antonio del Pollaiolo, 1481-85, 208 x 217 mm. Staatliche Graphische Sammlung, Múnaco, inv 1908:168 Z

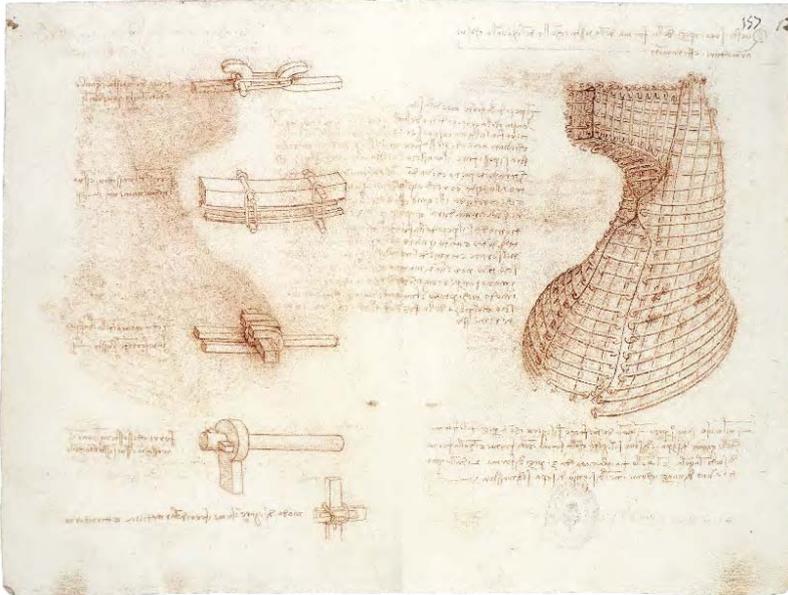
10. Copia de un estudio de Leonardo para el monumento a Sforza, Artista anónimo lombardo. Biblioteca Ambrisiana, Milán

11. Estudio para el monumento a Sforza, Antonio Pollaiuolo, 1487. Robert Lehman Collection, Metropolitan Museum, New York

12. Copia de estudio perdido de Leonardo para Monumento a Sforza, Anónimo lombardo. Colección Pembroke, Paradero desconocido



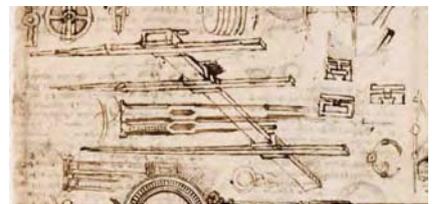
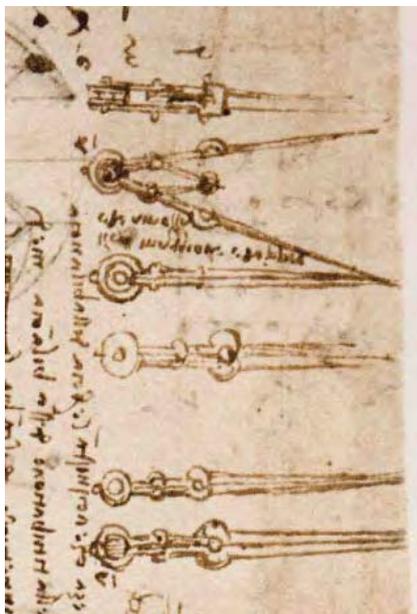
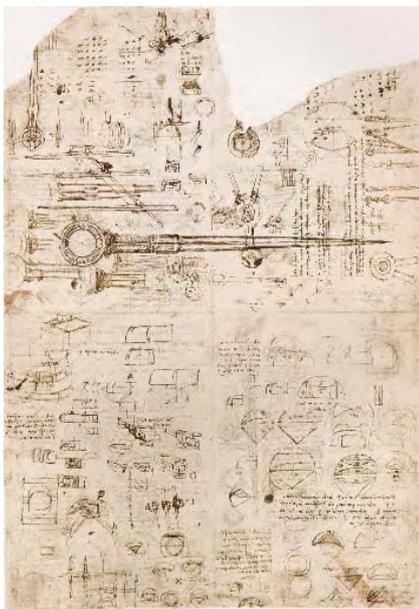
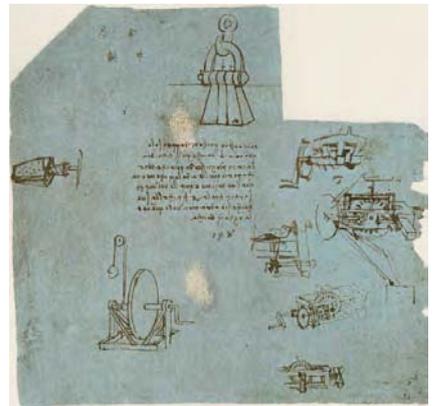
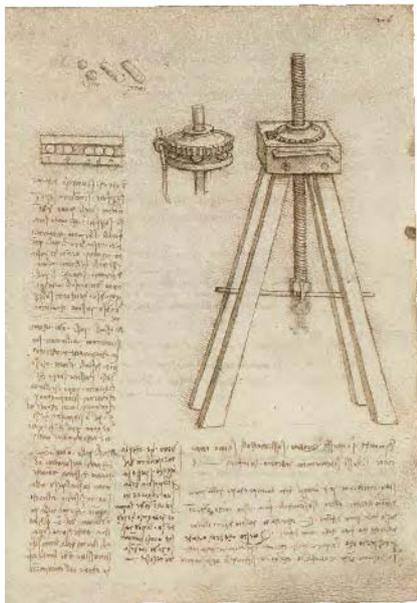
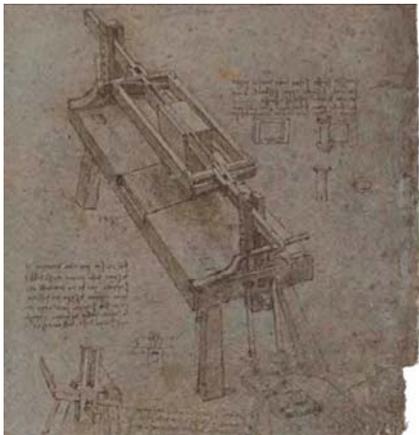
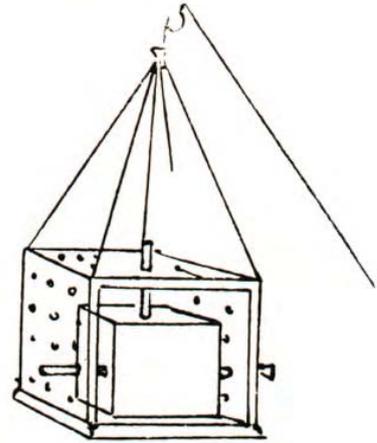
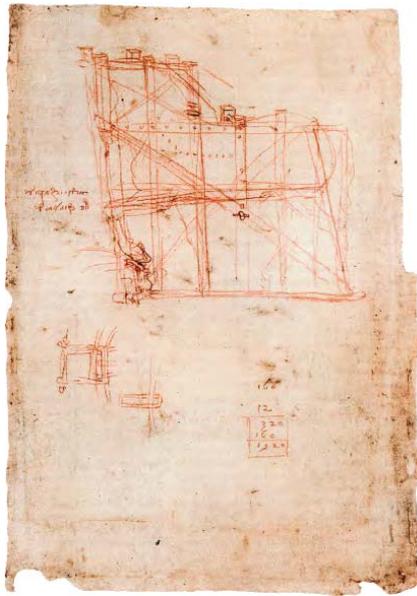
1. Estudio del monumento a Trivulcio, 1508-11. Pluma, tinta y sanguina, 217 x 169 mm. Royal Library, Windsor RL12356r
2. Estudio del monumento a Trivulcio, 1508-11. Pluma, tinta y sanguina, 217 x 169 mm. Royal Library, Windsor RL12356v
3. Estudio para el esclavo del monumento a Trivulcio, Royal Library, Windsor, RL 12583r
4. Estudio del Monumento a Trivulcio, 1508-1511 Pluma y tinta, 278 x 196 mm. Royal Library, Windsor RL 12353r
5. Estudio para el Monumento ecuestre al General Trivulcio, 1508-1511. Pluma y tinta, 280 x 198 mm. Royal Library, Windsor RL 12355r
6. Estudio del Monumento a Trivulcio, 1508-1511 Pluma y tinta, 153 x 144 mm. Royal Library, Windsor RL 12343r

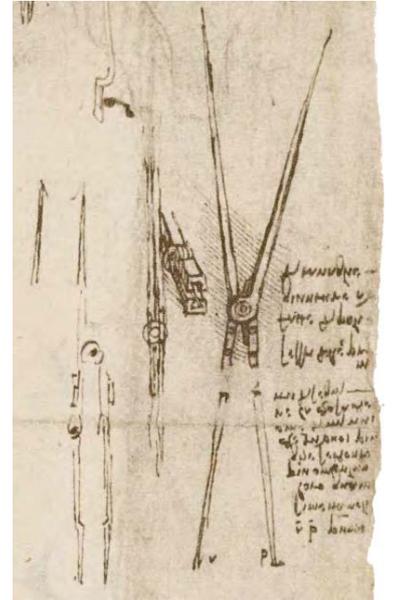
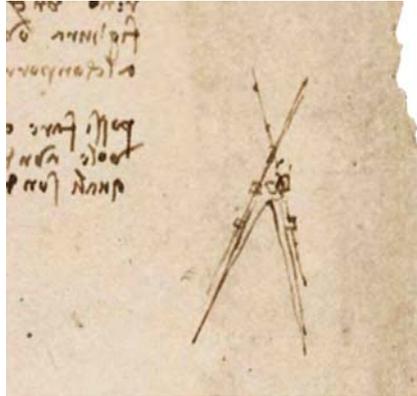
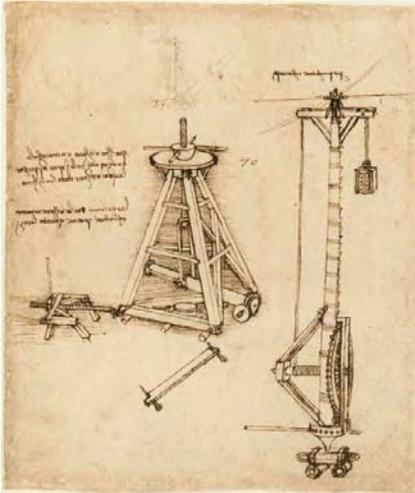


7. Dibujo del molde de fundición armado para cabeza de caballo, 1491-1493. Sanguina 210 x 290 mm. Biblioteca Nacional, Madrid. Códice de Madrid I, fol. 156v y 157r

8. Estudio de caballo (detalle del boceto con angel y diversos estudios de máquinas, caballos y jinetes), 1503-1506 Pluma y tinta, 210 x 283 mm. Biblioteca Real, Windsor RL 12328r

9. Alegoría con animales luchando y un hombre con un espejo ustorio, 1494 Pluma y tinta sobre papel, 105 x 125 mm. Gabinete de dibujos, Museo del Louvre, París





1. Máquina de puntos (fragmento), 1497-98. Códice Atlántico, 68v

2. Estructura de referenciado para la ampliación, 1493 Códice Atlántico, 577v Biblioteca Ambrosiana, Milan

3. Estructura, Leonardo da Vinci, Biblioteca de Francia, Códice Atlántico, fol. 43a

4. Máquina de laminar piedra. Códice Atlántico, Fol. 2r Biblioteca Ambrosiana, Milan

5. Diseño de caballete de escultura. Códice de Madrid I, 26r

6. **Diseño de máquinas.** Códice Atlántico, Fol. 1001r

7, 8 y 9. Estudios de trazador de círculos concéntricos a diferentes niveles. Códice Atlántico, 696r

10. **Diseño de máquinas.** Códice Atlántico, Fol. 138r

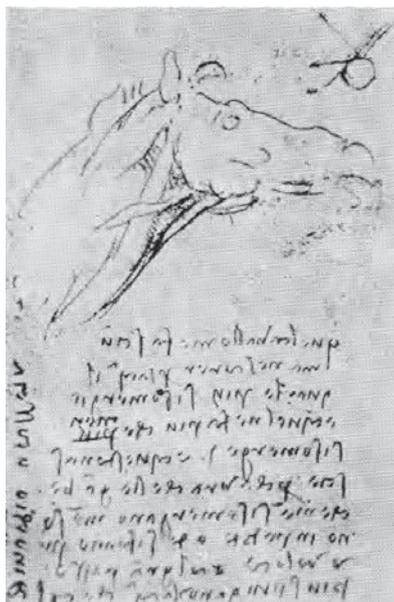
11. **Diseño de máquinas.** Códice Atlántico, Fol. 38r

12. Estructura de madera. Biblioteca Nacional, Madrid Códice Atlántico, folio 916r

13. Estudios de compás de ampliación extensible Códice Atlántico, 54r

14. Estudios de compás de ampliación extensible (fragmento), Códice Atlántico, 1032r

15. Estudio de Compás de ampliación rígido Códice Atlántico, 1046r

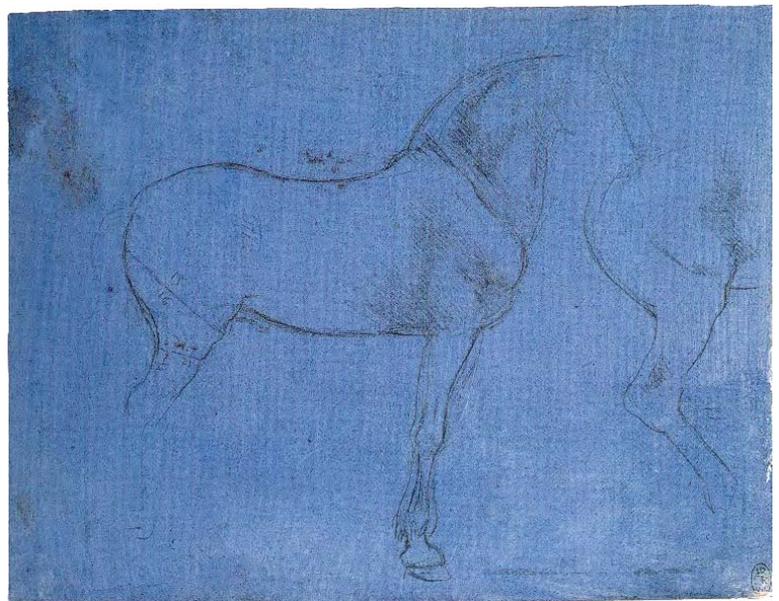
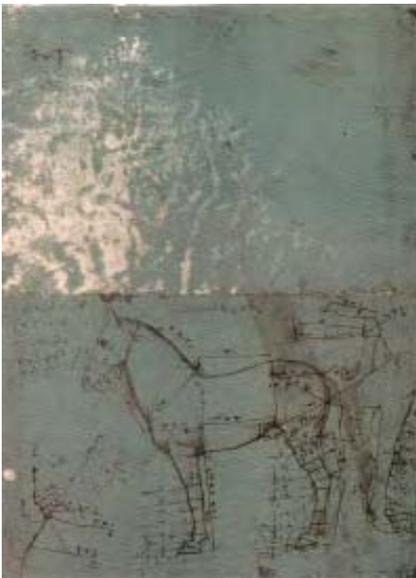
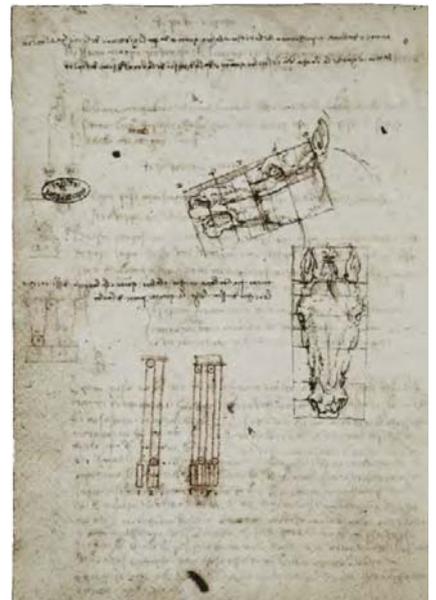
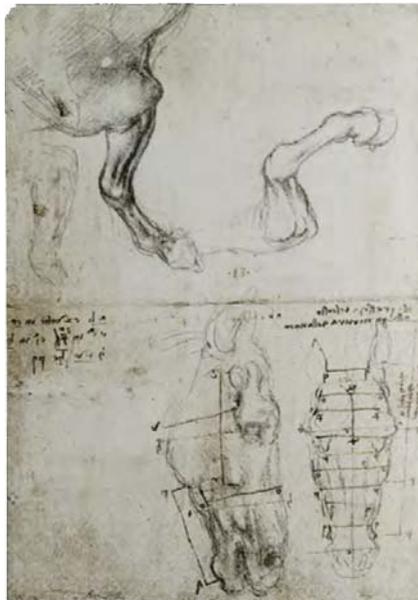


1. Estudio Anatómico de Cabeza de Caballo, 1490  
Instituto de Francia, Folio 11r

2. Estudios de osteología y de miología de la articulación  
pélvica del caballo. Instituto de Francia, Folio 102r

3. Estudio de pierna humana comparada con la pata trasera  
de un caballo. Instituto de Francia, K, 109v

4. Comparación entre la pierna humana y la pata equina  
Pluma, tinta sobre papel, 281 x 205 mm.  
Castillo de Windsor, Biblioteca Real, RL 12625r



5. Estudio de extremidad de caballo, Windsor, RL 12294r

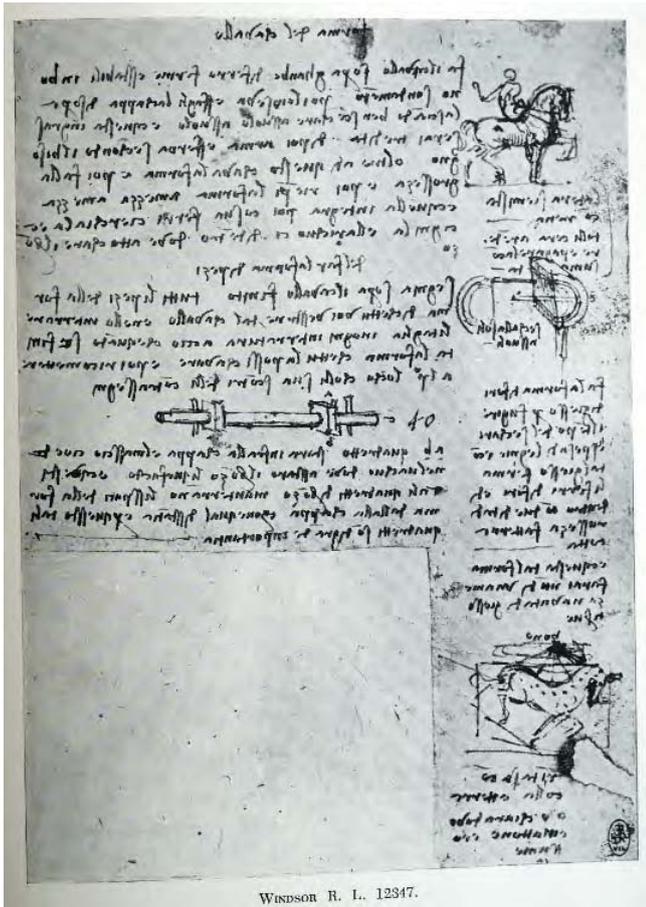
6. Estudio de proporciones de la cabeza de un caballo, 1508-1511. Lápiz negro, 27,5 x 19,7 cm  
Royal Library, Windsor RL 12286r

7. Estudio de proporciones de la cabeza de un caballo, 1490-92. Pluma y tinta, 21 x 14,3 cm.  
Biblioteca del Instituto de Francia, París  
Ms A (2172), fol 62v

8. Estudio de la proporción de un caballo, Royal Library, Windsor, RL 12319r

9. Estudio de la proporción de un caballo, Royal Library, Windsor, RL 12320r

10. Estudio de Proporciones de un caballo, 1479  
Pluma y tinta sobre lápiz negro, 298 x 290 mm  
Royal Library, Windsor, RL 12318r



WINDSOR R. L. 12347.

Royal Library, Windsor RL 12374r

Haga el caballo sobre patas de hierro, fuertes y bien fijadas sobre una buena base, luego engráselo y cúbralo con una cobertura, dejando secar cada capa por completo antes de aplicar la siguiente, hasta que tenga una anchura de tres dedos. A continuación, fíjelo y sujételo con hierro tanto como sea necesario. Además, retire el molde y cree el grosor. Luego rellene el molde gradualmente, dejándolo perfecto; rodéelo y sujételo con hierros, y homéelo por donde tiene que tocar el bronce.

Sobre como hacer el molde por piezas:

Dibuje sobre el caballo, ya acabado, todas las piezas del molde con las que desea cubrir el caballo y, al extender la arcilla, corte las diferentes piezas, de forma que, cuando el molde esté acabado, pueda retirarlo y luego recomponerlo en su posición inicial con sus juntas, por las contramarcas.

Los bloques cuadrados "a - b" irán entre la cubierta y el núcleo; esto es, en el hueco donde irá el bronce fundido. Estos bloques cuadrados de bronce soportarán los intervalos entre el molde y la cubierta a una distancia igual, por esta razón estos cuadrados son de gran importancia.

La arcilla debe mezclarse con arena.

Tome cera, para devolver (lo que no se ha usado) y para pagar lo que se ha usado.

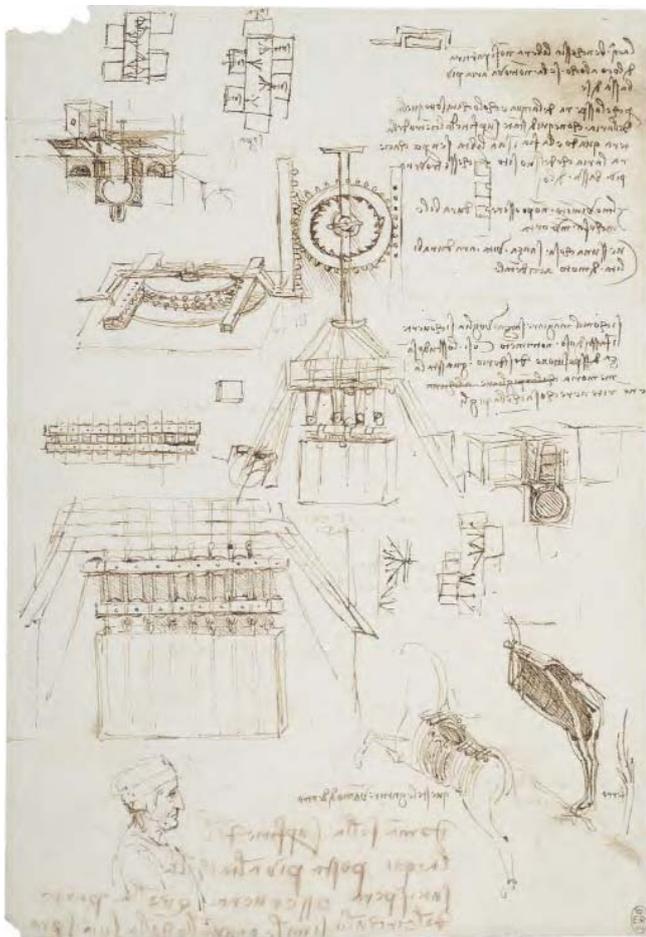
Séquelo por capas.

Haga el molde exterior de yeso, para ahorrarse tiempo de secado y el gasto de madera; en este yeso incluya los (puntales de) hierro, tanto por fuera como por dentro, hasta un grosor de dos dedos; haga terracota.

Este molde puede hacerse en un día. Una carga de medio bote de yeso le servirá.

Bien.

Conténgalo de nuevo con cola y arcilla, o clara de huevo, y ladrillos y escombros.



Royal Library, Windsor RL 12349r



Royal Library, Windsor RL 12350r

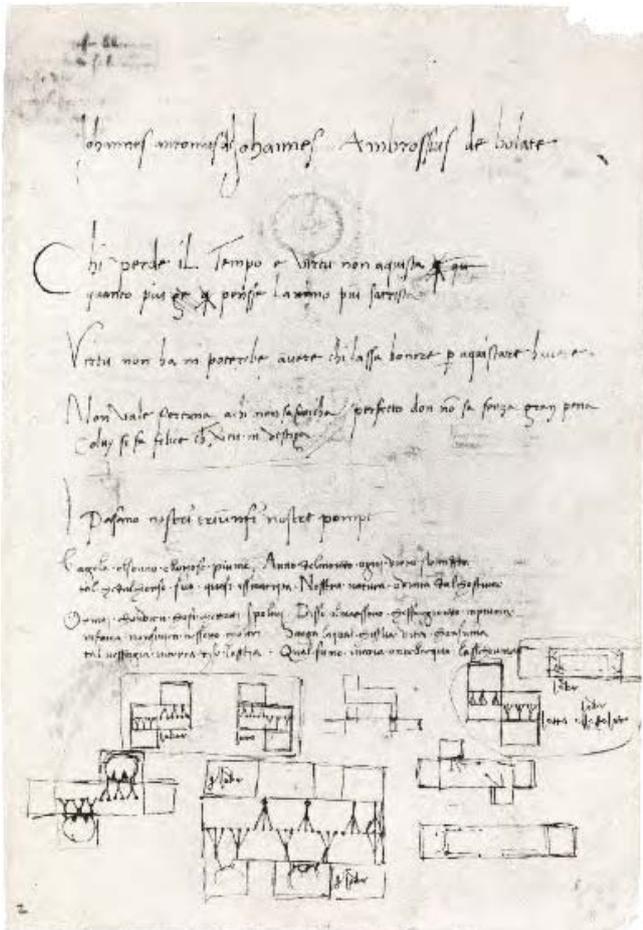
Tres refuerzos que sujetan el molde. Si desea hacer moldes sencillos rápidamente, hágalos en una caja de arena de río humedecida con vinagre.

Una vez hecho el molde sobre el caballo, deberá hacer el grosor del metal con arcilla.

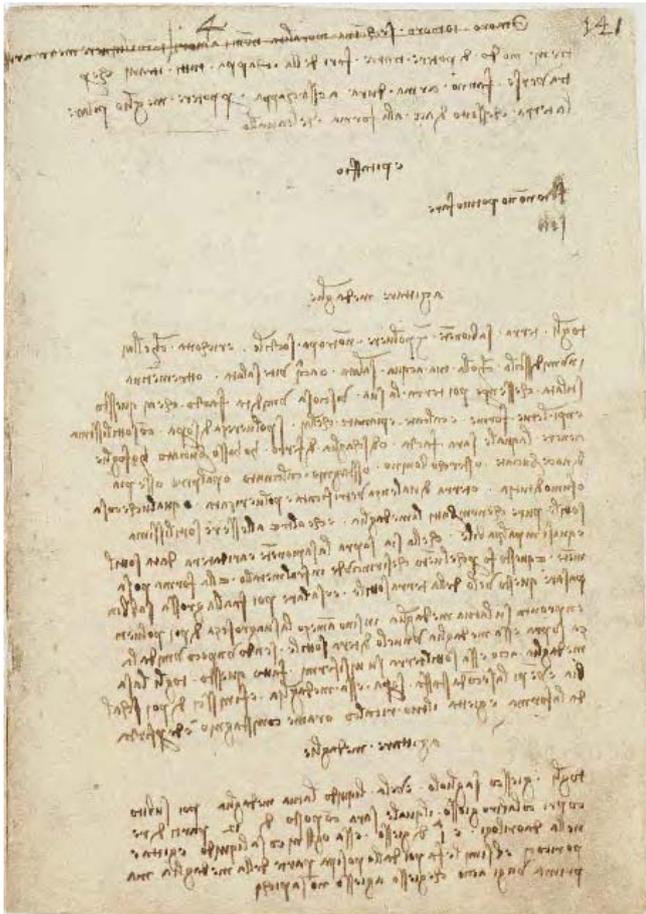
Al realizar la aleación, observe cuántas horas se necesitan para cada quintal. Durante el proceso de fundición, mantenga el horno y el fuego bien tapados. Humedezca el interior de todos los moldes con aceite de linaza o aceite de trementina, seguidamente tome un puñado de bórax en polvo y pez griega con aguardiente, y embree el molde por fuera para que, al estar bajo tierra, la humedad no pueda dañarlo.

Para manejar el molde grande, haga una maqueta del molde pequeño y haga una sala pequeña proporcionalmente. Haga los respiraderos en el molde mientras está sobre el caballo.

Sostenga los cascos con las pinzas y moldéelos con cola de pescado. Pese las partes del molde y la cantidad de metal que necesitará para llenarlas, y ponga en el horno tanto como sea necesario para proporcionar la cantidad de metal correspondiente a cada parte. Esto podrá saberlo pesando la arcilla de cada parte del molde con la que debe corresponderse la cantidad en el horno. Se hace para que el horno para las patas, una vez lleno, no tenga que proporcionar metal de las patas para ayudar con la cabeza, lo que sería imposible.



Royal Library, Windsor RL 12349v



Codice de Madrid 141 recto

Existe una manera de quitar del caparazón todos los travesaños que constituyen la armadura de este caparazón para apilar mejor la tierra bajo la forma del caballo

Epitafio

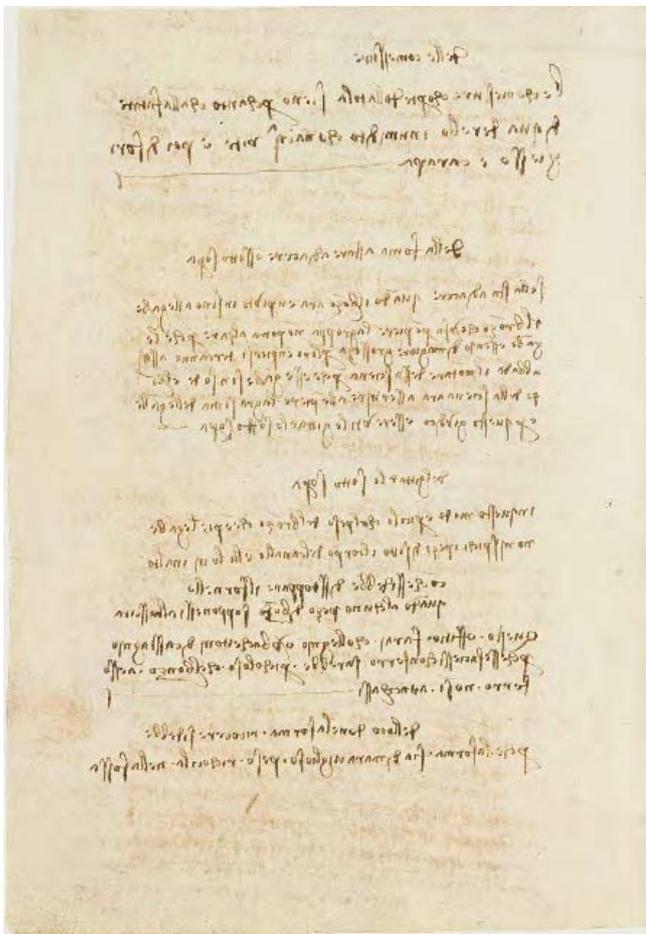
Si yo no pude hacer  
Si yo

De la fundición de las medalla

Coge tierra arenosa en polvo no muy fino y, una vez recocida, humedécela con agua salada o agua-ardiente salada y trementina destilada de tal manera que conserve una humedad viscosa. Una vez que has hecho esto llena tus moldes y después de apisonada y nivelada espolvoréala por encima con ceniza finísima, hecha de limadura de hierro o hueso quemado, u hojas de nueces quemadas, o estiércol bovino, o estaño calcinado, o papel, o sepia, o humo de atutía o tierra de Valenza vitrificada y pulverizada o con cualquier cosa sutil con tal de que no ensucie las medallas y que además de ser sutilísima y casi impalpable pueda espolvorearse sobre la tierra arenosa en capas muy delgadas. Y esto lo hago porque el aire encerrado entre el metal y el molde pueda traspasar este velo sutil y exhalarse fuera de la arena gruesa. Imprime la medalla hasta la mitad de su grueso. Luego espolvorea esa medalla con un velo de tierra sutil manteniéndola un poco húmeda para sujetar firme la tierra. Hecho esto quita la arena y rellena el segundo molde sobre esa medalla y habrás terminado. Luego calienta la forma y vierte tu oricalco, o cobre con estaño y quedará perfecta.

De la fundición de las medallas

Coge escayola líquida y extiende un velo sobre tu medalla. Luego, enseguida, cúbrelo con otro yeso que estará compuesto con 12 partes de arenilla fina de reloj y una de yeso. Harás una masa líquida, la verterás y la volverás a cocer. Lo mismo harás luego con la parte opuesta de la medalla, pero engrasándola antes para que yeso y yeso no se peguen.



Codice de Madrid 141 verso

De las juntas

Las juntas cubiertas con chapa tienen que estar calafateadas con polvo de ladrillo humedecido con aguar-ardiente luego revestido por fuera con yeso y cáñamo.

Del molde y su colocación yacente o vuelto al revés.

Cuando el molde está tumbado el bronce, después de haber relleno las patas, no podrá subir para relleno la grupa porque las patas por ser de mayor grueso suponen un gran impedimento para el relleno del lomo, puesto que estas patas tienen que ser macizas y el bronce del lomo serviría para relleno la gran masa de las patas y por esto juzgo que es más útil ponerlo patas arriba.

De la fundición patas arriba

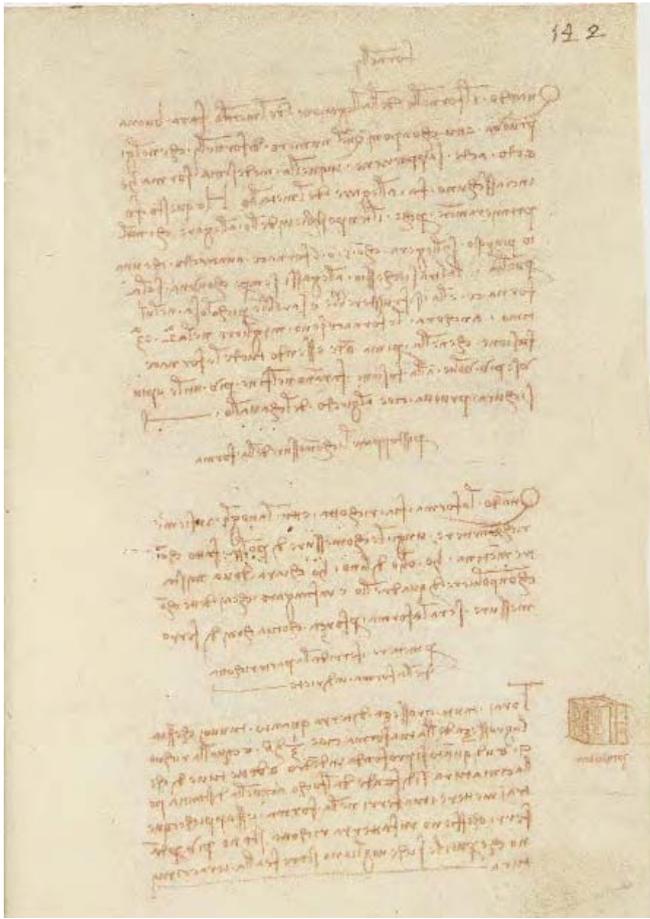
Actuando de esta manera se corre el peligro de que el peso del bronce que rellena las patas pueda despegar las partes bajas del cuerpo del caballo y llevarlas hacia arriba.

Como puede eliminarse la obstrucción del horno

Cuando algún trozo de bronce taponara la salida. Esta operación tendrás que hacerla con maderos, es decir rollizos de castaño, porque si lo hicieras con hierro se tiene el riesgo de que el bronce se uniera al hierro.

Del lugar donde se tiene que recocer la forma.

Como la forma es de muy grande peso debe recocerse en el foso.



Codice de Madrid 142 recto

Hornos

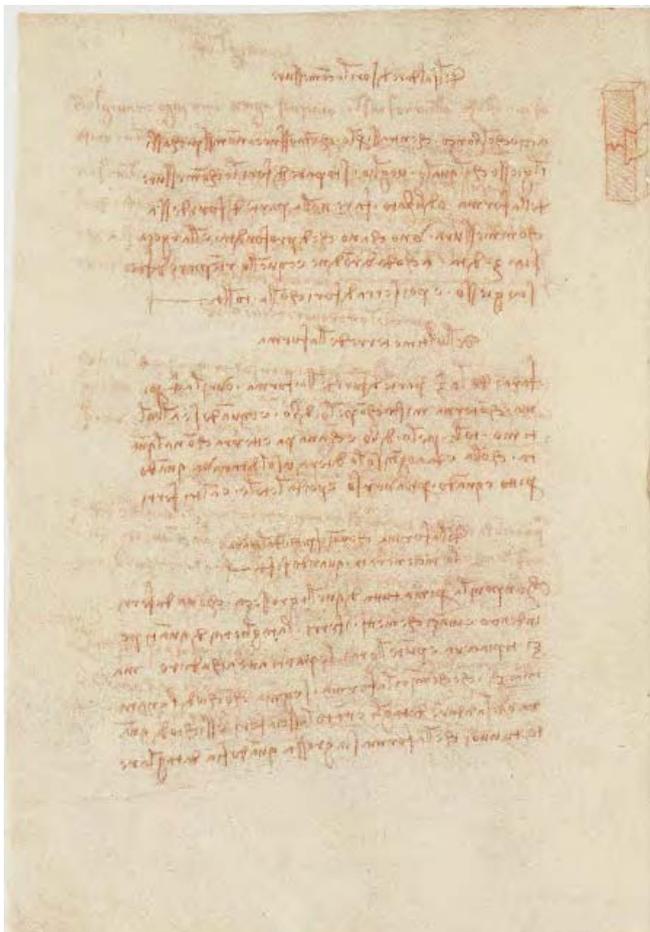
Cuando hayas probado satisfactoriamente un tipo de horno para aleación de metales, dispondrás del número que juzgues necesario para tu fundición y en cada uno de ellos harás en la misma forma las aleaciones. Esto lo hago primeramente porque se acorta el tiempo de la aleación ya que con 5 o 6 hornos de una vez resulta más rápido que con un solo horno, éste se gastaría y por último resultaría peligroso. Además los hornos trabajan mejor en la 2ª y 3ª fundición que en la primera. Por consiguiente cuando todos los hornos se empleen mas veces, darán a la larga un resultado más útil y más seguro, cuando el caballo se funda.

Para retocar con estopa las juntas de la forma

Cuando la forma se haya recocido y la quieras recomponer, embadurna las juntas con una pasta de trementina o aceite de linaza o clara de huevo mezclada con polvo de ladrillo. Una vez que hayas embadurnado estas juntas cierra la forma fuertemente con tus cuñas de hierro.

Para colocar por detrás los hierros de la forma recocida

Cogerás tanto espesor de tierra como el que quieras para tu forma, es decir 1/3 de codo. Cuécela y observa cuánto se retrae. Y donde veas que la borra se defiende del fuego a esta distancia podrás colocar tus hierros en el molde. Debes saber que los hierros que están entre la tierra recocida hacen más daño que bien y por consiguiente deben estar entre la tierra y la borra.



Codice de Madrid 142 verso

Para sellar por fuera las juntas

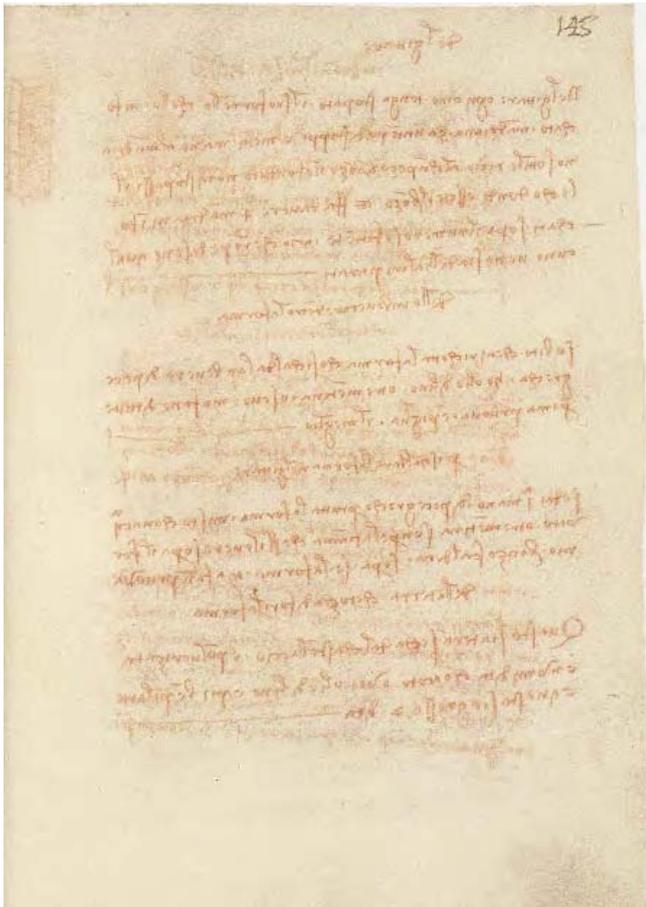
Para que el bronce que pueda entrar por las juntas no desprenda el yeso con el que quiero cerrar por fuera las juntas del molde, he decidido hacer por la parte de fuera de estas juntas un rebajo de 3 dedos de anchura y profundidad en cola de milano que luego rellenaré de yeso fresco y cerraré por fuera con una chapa fina.

De las últimas capas de tierra de la forma

Harás desde la 3ª o antes, desde la 4ª parte de la forma contando del exterior una masa de tierra mezclada con pelo de buey. Y cuando hayas llegado al final coge pelo de buey, y estopa y tierra con bastante cola y aplica una malla de cáñamo a cada suelo de tierra, una vez en un sentido y otra en sentido transversal. Luego pones la chapa y otros hierros

Para evitar que el molde se separe del caballo cubierto de ceniza cuando se lleva a cabo la operación

Prepara primero el molde de aquel grueso que va desde los hierros hacia dentro. Y antes de colocar los hierros lo cortarás en tantos trozos como te parezca apuntalando las partes que se pueden caer, pero antes de empezar marca con clavos las líneas donde tienen que ir los cortes y deja hacia fuera estos clavos una distancia equivalente al grueso que quieras que tenga la forma una vez cortada.



### Codice de Madrid 143 recto

#### De la fundición

Mientras la fundición cada hombre deberá tener su horno cerrado con barras al rojo y al mismo tiempo abrirá y tendrá a mano una barra delgada para evitar que algún trozo de bronce no fundido arranque la salida del bronce. Y procura tener 4 barras al rojo además del número necesario porque si alguna se rompe queden otras listas.

#### Del modo de impregnar por dentro el molde

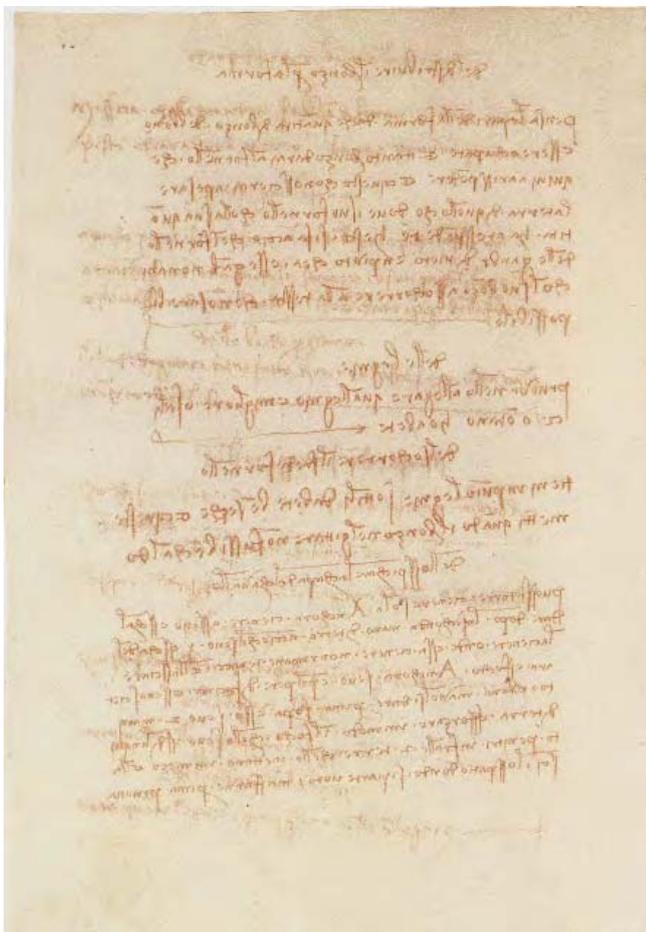
Inmediatamente después de recocado el molde y todavía caliente, embébelo con pez griega, o aceite de linaza, o trementina, o sebo, después de haber probado para escoger lo mejor.

#### Como calentar el molde al fundir

Si das una mano de pez griega por todo el molde mezclada con agua-ariente o trementina, la llama que se levante por encima del bronce siempre calentará el molde pero haz la prueba.

#### De la tierra que toca el molde por fuera

Ésa tiene que ser tierra seca del Castellaccio, pulverizada y humedecida con vinagre, o si quieres con aceite de linaza y luego bien compactada. Tiene que ser de 2 dedos de grueso.



### Codice de Madrid 143 verso

#### De la distribución del bronce en el molde

Calcula la cantidad de bronce que se necesita para llenar cada parte del molde, y echarás al horno tanto bronce como el calculado. Eso lo averiguarás pesando la tierra que corresponde a las partes que debes llenar con lo que pones en el horno. Esto se hace para que el horno, con el que has de rellenar las patas de atrás, no tenga que suplir, una vez cumplido lo propuesto, a la cabeza porque esto no sería posible.

#### De la leña

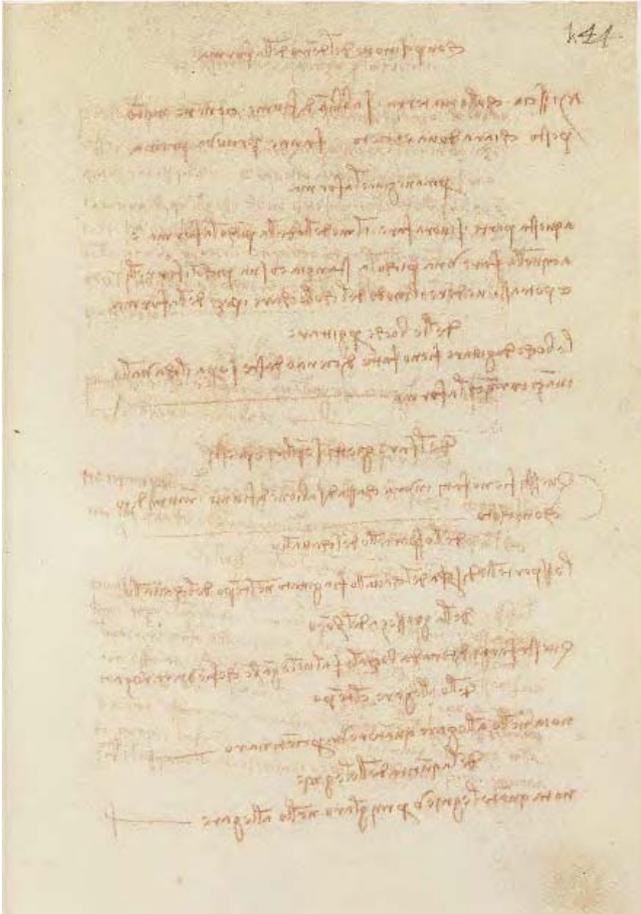
Prueba qué madera es mejor para las aleaciones, sauce, aliso o abeto.

#### Para alimentar el horno frio

Ten a punto leña pequeña de abeto, bien seca, y la meterás en el horno cuando al fundir el bronce no estuviera bastante caliente.

#### De la forma de quitar el molde del caballo

Puedes coger ceniza sola y también ceniza y sebo y calentarla después de haber aplicado la segunda capa de tierra para que el sebo se desprenda de la ceniza y esta pierda tenacidad y dándole tiempo haga su efecto. También puedes usar sebo y polvo de fragua. Sebo sólo es bueno pero se deben dar antes, por encima del sebo, 2 manos de tierra y obligar al fuego para que el sebo licuándose penetre entre las 2 capas de tierra que lo contienen y deje el espacio que ocupaba vacío, pero antes debes probarlo.



#### Codice de Madrid 144 recto

##### Composición del interior del molde.

Mezcla con tu tierra arena de río, ceniza, ladrillo machacado, clara de huevo y vinagre. Prueba primero

##### Para manejar el molde

En este punto será conveniente hacer un pequeño modelo del molde y prepararás una pequeña estancia con sus pequeños hornos y podrás ver la manera de colocar las piezas del molde

##### De las bocas para fundir

Las bocas para la colada deben hacerse con cera y palitos colocados encima del caballo antes de empezar el molde.

##### Para hacer fundiciones sencillas y rápidas

Estas se deben hacer en un cajón lleno de arena de río humedecida con vinagre.

##### Del portillo del caballo

El portillo encima del caballo tiene que ser fundido al mismo tiempo que el caballo

##### Del espesor del bronce

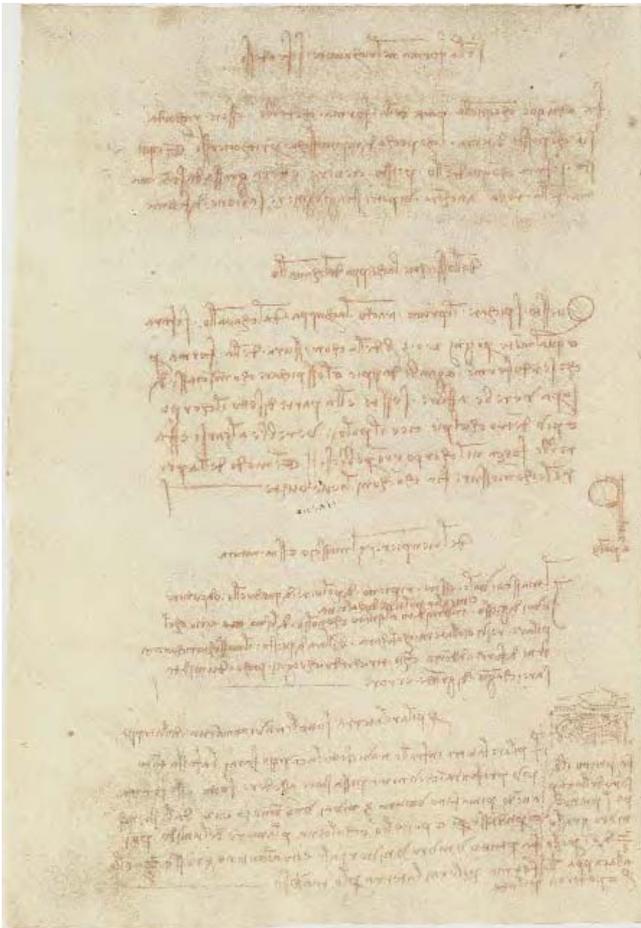
Tu lo harás usando tierra de alfarero, salvo las patas, donde utilizarás tierra basta

##### Del tiempo de la aleación

Anota al hacer la aleación los centenares de horas que se van

##### De la cantidad de leña

Anota cuantos millares de leños se van al hacer la aleación



#### Codice de Madrid 144 verso

##### Si el molde se agrietara al recocerse

Procura que la parte del molde que ha de ser recocida se haga con tierra que se contraiga poco al ser calentada. Esto se conseguirá con ladrillo triturado, ceniza y tierra grasa de Sta. Maria Della Rovera. También se puede añadir arena de río.

##### De la forma de quitar el molde del caballo

Para quitar la primera parte del molde del caballo se procederá uniformemente siguiendo la línea de las juntas por intervalos de 2 o 3 codos. Porque estando las patas sujetas por abajo, si se empezara a desprender desde arriba se produciría un basculamiento y como la parte baja del cuerpo está más dentro que la pata, ésta haría palanca forzando el cuerpo y rompiéndolo. Las juntas se abren usando cuñas, palancas o tornillos.

##### De cómo rellenar el macho y su naturaleza

El macho debe ser rellenado de polvo de ladrillo o de ceniza o si quieres de yeso, o mejor polvo calcáreo algo humedecido con aceite de linaza para que al apilarlo quede compactado. Después llevarás a cabo la cocción del macho por fuera y por dentro porque te advierto que dejar el menor rastro de humedad sería grave error.

##### De cómo apisonar la tierra bajo las vigas que constituyen la armadura del caparazón.

Para apisonar la tierra entre las vigas y debajo del caparazón harás un foso tan profundo que un hombre pueda sentarse debajo, habiendo hecho antes 3 muros, uno en el medio y 2 a los extremos cubiertos de estacas y protegidos por aceite y argamasa por temor a la humedad. Luego harás un muro todo alrededor y entre este muro de 2/3 de grueso y el molde apilarás la tierra de través.



Codice de Madrid 145 recto

Prueba para verificar si la pez y el aceite usado para embeber el caparazón resiste a la humedad y acepta el bronce

Prepararás antes un trozo de tierra a manera de molde y una vez recocado lo impregnarás con pez griega o si prefieres con aceite. Luego déjala 3 días bajo tierra y después vierte en su interior tu bronce. También lo experimentarás con yeso y le darás pez, como dije arriba.

Para estopar las juntas del caparazón

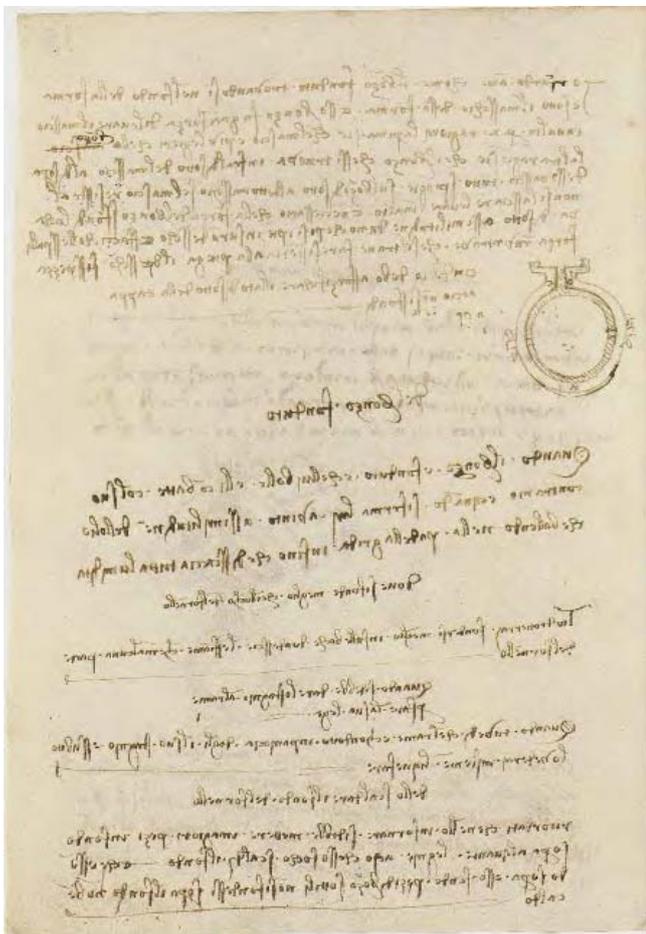
Antes de que tú juntes por última vez las partes del caparazón unta los labrios de las juntas con jabón blando mezclado con ceniza cernida o polvo de ladrillo, de modo que quede bien sellado y después repones la tierra que se había ido disgregando. Ponla tierna para usar mejor la borra y después cierra.

Dibujo

Forma de la cola

Cola

Digo que si quisiera fundir la cola con su mismo grueso podría fracasar porque el bronce debido a los golpes rebotaría por varios puntos y al pararse se enfriaría y al llegar nuevo bronce líquido y tocarlo se solidificaría e impediría que siguiera pasando, con riesgo de que la fundición resultara mal. Por lo tanto harás las bocas por el macho como arriba está representado.



Codice de Madrid 145 verso

Yo me acuerdo de cómo el bronce fundido al encontrarse en el fondo del molde y por debajo del macho del mismo ejerce una gran fuerza que tiende a levantar el macho y esto por 2 razones. La primera es que el macho es más ligero que el bronce. La otra es que el bronce que se encuentra debajo, entre y encima del macho todo empuja al bronce que está bajo el macho. Si el macho resiste al empuje se desfondaría el caparazón. Lo mismo que ocurre si un hombre coloca los pies en una tabla y empuja con las espaldas haciendo fuerza contra una viga. Si la viga resiste la tabla se rompe. Por lo tanto yo tengo que reforzar la parte baja del caparazón para que no se rompa.

Del bronce fundido

Cuando el bronce se funde hierve y combate con su contrario y cuando se para ha ganado y lo mismo ocurre con el aceite que al hervir en la sartén chilla hasta arrojar de sí toda la humedad.

En qué lugar del horno se funde mejor

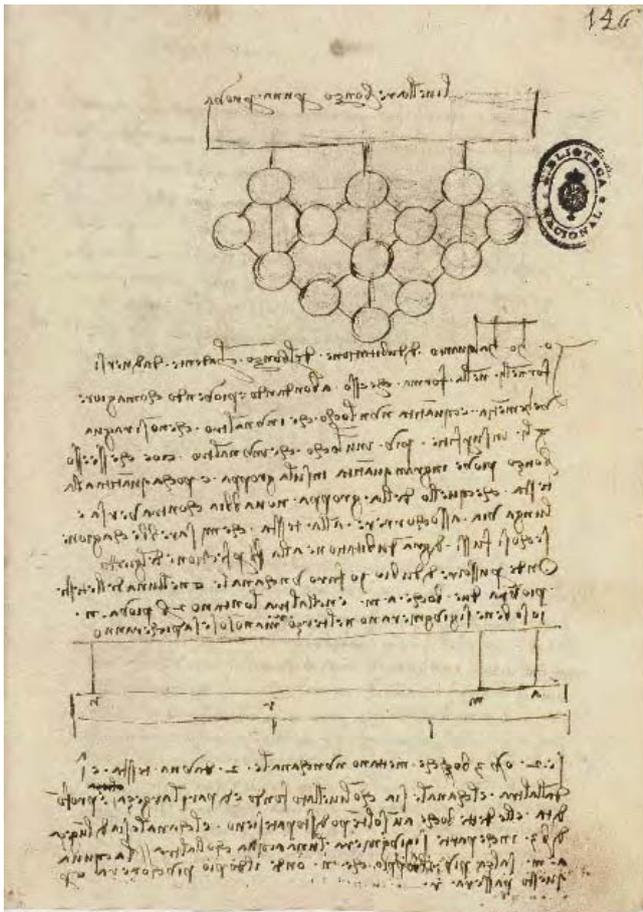
Te darás cuenta de que de todas las partes del horno, donde se funde mejor es sobre las bocas donde sale la llama

Cuando se tiene que añadir el estaño al cobre para conseguir su aleación

Cuando veas que el cobre aparece como unas gachas añádele el estaño y enseguida verás que se deshacen juntos.

Para calentar el fondo del horno

Recuerda que al preparar la hornada se tienen que colocar en el fondo los trozos mayores encima de algunos maderas para que el fuego caliente el fondo. Y si en el fondo se colocaran bronce pequeños no se fundirían a menos que estuviera muy caliente.



Codice de Madrid 146 recto

Dibujo

Yo tengo muchas dudas de que el bronce al caer por diversos hornillos del molde, abundando o lloviendo con mucha vehemencia en unos lugares y menos en otros, no se reparta por igual en superficie. Es decir si este bronce llueve en gran cantidad en la grupa y en poca cantidad en la cabeza podría ir de la grupa a socorrer la cabeza por vias transversas y largas con lo que me quedaría la duda de lograr una perfecta fundición. Por lo tanto para salir de dudas yo haré un canal y en una de las cabeceras lloverán dos bocas a m y en la otra alejada 2 codos lloverá la boca n. Yo se bien que se unirán en el tercio r pero no sé si se soldarán.

Dibujo

a m r n

Si 2 o 3 bocas vierten en un canal, 2 por una cabecera y una por la otra y el canal tiene el fondo nivelado e iguales anchura y profundidad, y las bocas se abren al mismo tiempo, siendo el canal de 3 codos de longitud, ¿en que parte se unirán las aguas?. El agua a m subirá el doble que n y por ende correrá el doble y pasará de r.



Codice de Madrid 146 verso

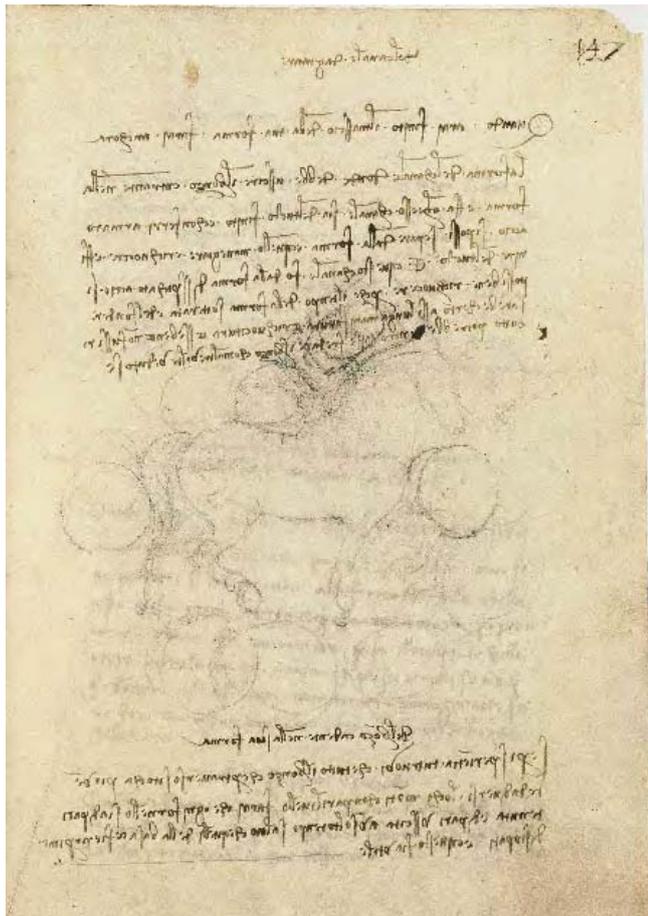
Del coste de la fundición

Las campanas y bombardas son de poca manufactura porque se hacen al torno y salidas de él, acabóse su magisterio y manufactura. Los moldes de las figuras exigen mucha manufactura porque principalmente la figura pide grande estudio e ingenio del artista. Aparte de esto la forma con muchos bultos exige mucho trabajo y es peligrosa en la fundición por los muchos y largos recorridos que tiene que hacer el bronce, lo que no ocurre en las bombardas y campanas. Después de esto, pulir, batir, limar, raspar y apomazar son operaciones que precisan gran diligencia, porque se refieren a la superficie de la obra, donde reside du bondad y gracia.

Dibujo

a n a

Testigo para señalar la subida del bronce  
Estando el caballo yacente, el bronce que va cayendo por el corte de la basa del caballo se queda mucho mas abajo que las patas y el cuerpo del caballo. Por lo tanto sucede que el bronce que cae del corte de la basa correría todo él hacia ese corte que queda más bajo y no se pararía donde cae como es mi deso, sino que se desparramaría con movimiento lento y se enfriaría cerrando el paso al flujo del bronce. Por consiguiente es preciso primero abrir el horno por la parte que corresponde al canal que alimenta la base. Y cuando el bronce haya relleno la parte baja de la base, hasta cerca de la altura de las patas, permite que llegue a tocar un conducto lleno de pólvora fina de bombardas que tiene su salida hacia riba, para poder, desde arriba, comprobar la señal de la altura del bronce, como puede verse en la figura superior a a n. Vista la señal, abres los otros orificios del canal que conducen a las otras acometidas de los hornos.



Codice de Madrid 147 recto

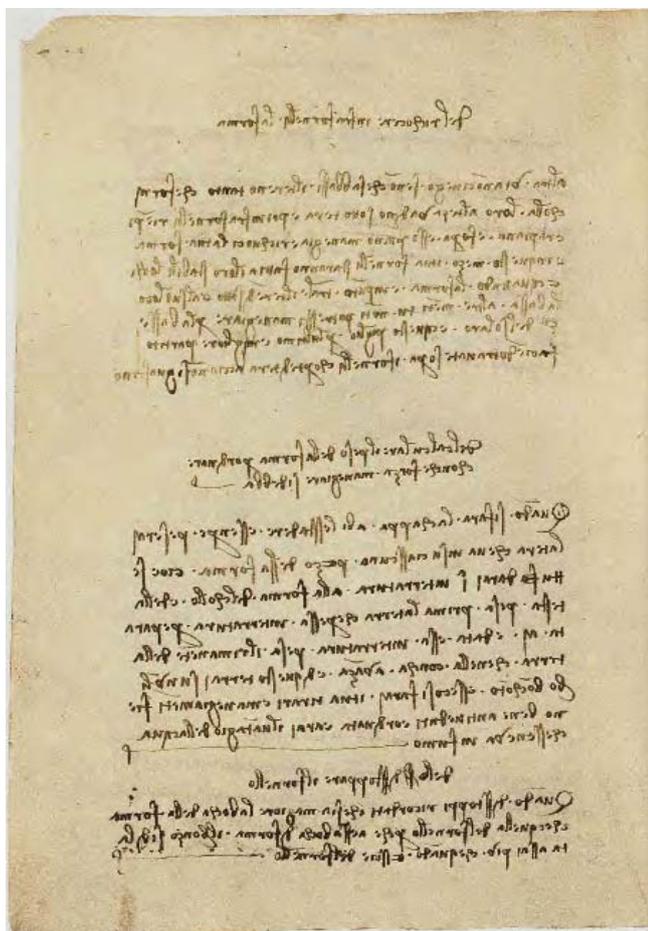
Del canal para la fundición

Cuando hayas acabado el macho de tu molde prepararás también el molde del canal por donde tendrá que salir el bronce que alimentará tu molde. Y procura que este canal quede completo, incluidos los hierros de la armadura para que se pueda separar del molde y éste consiguientemente se pueda manejar, recocer y acabar del todo. Este canal lo haré separado del molde para que se pueda recocer bien, puesto que el tiempo que el molde está bajo tierra y el de la fundición serían cortos para una labor de manufacturas y recocido tan larga. Y si el canal no estuviera bien recocido prodría enfriar el bronce en su interior, como otras veces se ha visto.

Dibujo

Del bronce que cae en su molde

Si has comprobado por experiencia que todo el bronce que viene de un lado y de otro manando de diversos lugares sube al mismo nivel, harás que todos los hornos sean de la misma capacidad y tengan la misma salida al mismo tiempo, excepto aquellos de la base que deben abrirse previamente y esto resulta útil.



Codice de Madrid 147 verso

Manera de recocer el molde entre los hornos

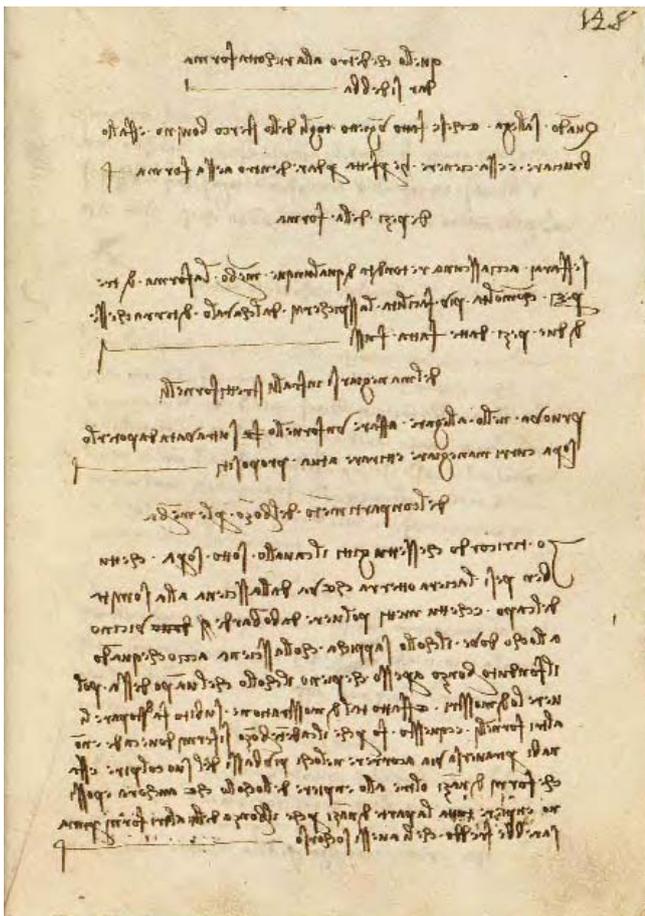
Yo no veo otro procedimiento que bajar el terreno lo suficiente para que los hornos con su altura queden bajo tierra y luego rellenar y nivelar entre los hornos. Por encima de este rellano puede maniobrar y recocer tu molde y de esta manera tus hornos quedarán fijos en sus sitios. Y cuando el molde esté a punto quítale la tierra por debajo y bajará a su lugar. De otra forma tú no podrías manejarte por lo bajo del techo. Esto lo considero como el último y mejor partido si se hace un envigado cubierto de tierra por encima de los hornos para que no se deterioren.

Cálculo del peso del molde para disponer de la fuerza necesaria para su manejo.

Cuando prepares el caparazón tienes que tener una romana y pesar siempre la tierra que recubre cada una de las piezas de este molde, es decir si tú vas a revestir de tierra el molde del cuello y de la cabeza pesa antes la tierra que tienes preparada para este revestimiento y una vez hecho el revestimiento pesa el remanente de la tierra que te queda en el cuenco y anota esto cuidadosamente en un libro. Y si lo haces así, tus operaciones y manejos quedarán previstos de antemano y bien ordenados. Y tú tendrás la ventaja del peso del agua que ha de evaporarse.

Sobre la apertura de los hornos

Cuando desestopes recuerda que la boca del molde tiene que ser mayor que la del horno, porque el bronce está mas dilatado cuando llega al molde que cuando sale del horno.



Codice de Madrid 148 recto

Lo que conviene poner en el interior del molde una vez recocado

Cuando con la aleación la fundición ha quedado terminada coge estiércol de vaca, lo quemas y su ceniza es perfecta para ponerla en el interior del molde.

De las piezas del molde

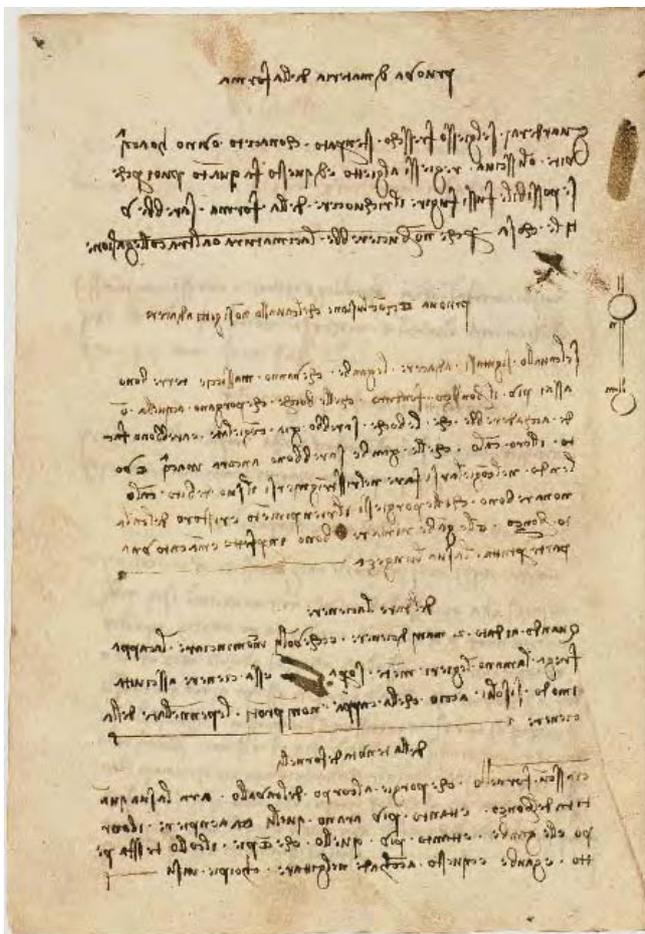
Si para cada una de las rotundidades de los miembros haces tres trozos los separarás del caballo de tierra con mucha más facilidad que si hubieras hecho dos.

De cómo manejarse entre los hornos estrechos

Al hacer la aleación intenta usar un hornillo que pueda correr encima de unas vigas sobre rodillos para utilizarlo donde convenga.

Del reparto del bronce para los miembros

Recuerda que si fundes el caballo patas arriba tienes que pesar bien la cera o la tierra que va desde el lomo hasta la parte más alta de la cabeza y que tienes que poner polvo de bombarda cerca del lugar donde el cuello se aplica al cuerpo para que cuando el bronce fundido haya rellenado casi el cuello la llamarada de este polvo lo denuncie. Cuando esto ocurra abrirás enseguida los otros hornos. Esto lo hago para que el bronce que cae permanezca donde cae y no se vaya a sitios mas bajos por vías transversas. Y procura que los hornos delanteros antes de llenar el cuello llenen tambien toda la parte de delante porque el bronce de los otros hornos antes de socorrer estas partes llegaría frio.



Codice de Madrid 148 verso

Prueba de los materiales del molde

Considera la posibilidad de que el yeso fresco tratado con vinagre o vino o agua-ardiente o lejía resistiese la fundición. Y de éstos hace todas las pruebas necesarias. Porque si fuera posible huir del recocado del molde sería muy útil.

Demostración por la que se concluye que el caballo no se funde acostado

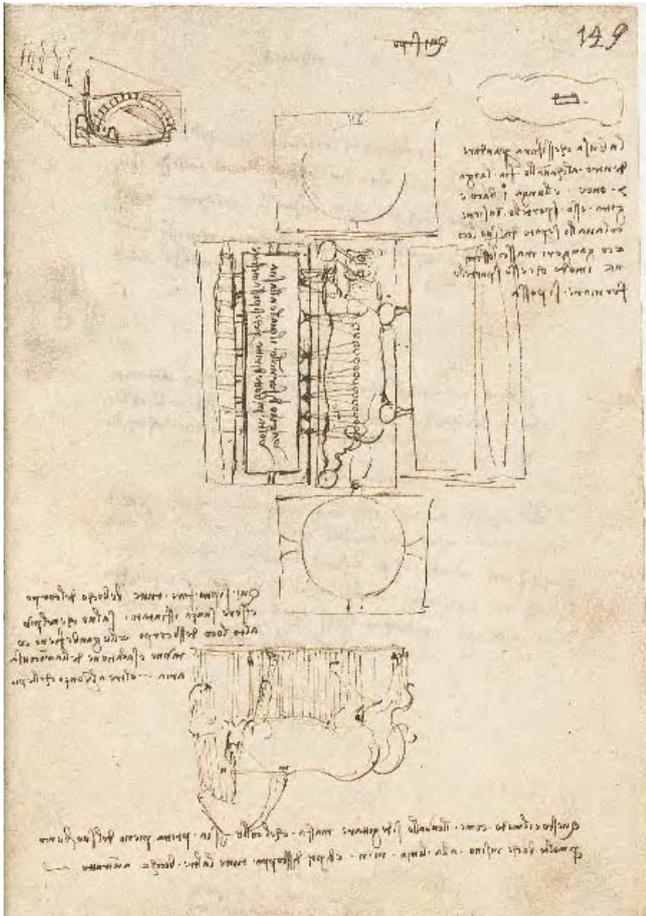
Si el caballo se fundiera acostado las patas que van a ser macizas requieren mucho más bronce fundido del que pueden suministrar sus bocas. Por lo tanto ocurriría que las bocas estarían ya congeladas y su bronce en retracción, mientras que las patas se mantendrían líquidas, dando esto lugar a dificultades para rellenar el vacío producido por la retracción. Y las patas quedarían imperfectas y les faltaría una parte en toda su longitud.

De la manera de aplicar la ceniza

Cuando has dado 2 manos de ceniza y quieres comenzar el caparazón frota con la mano ligeramente esta ceniza seca alisándolo, para que el caparazón no acuse las pinceladas de la ceniza.

De la capacidad de los hornos

Cada horno que alimenta el cuerpo del caballo debe tener la cantidad de bronce correspondiente. Y lo mismo ocurrirá para aquellos que tienen que rellenar el cuerpo y las patas, y todavía más para aquellos que tienen que rellenar el cuello, la cabeza, el pecho y las patas. Esto sucede cuando se funde con las patas arriba.



Codice de Madrid 149 recto

Dibujo

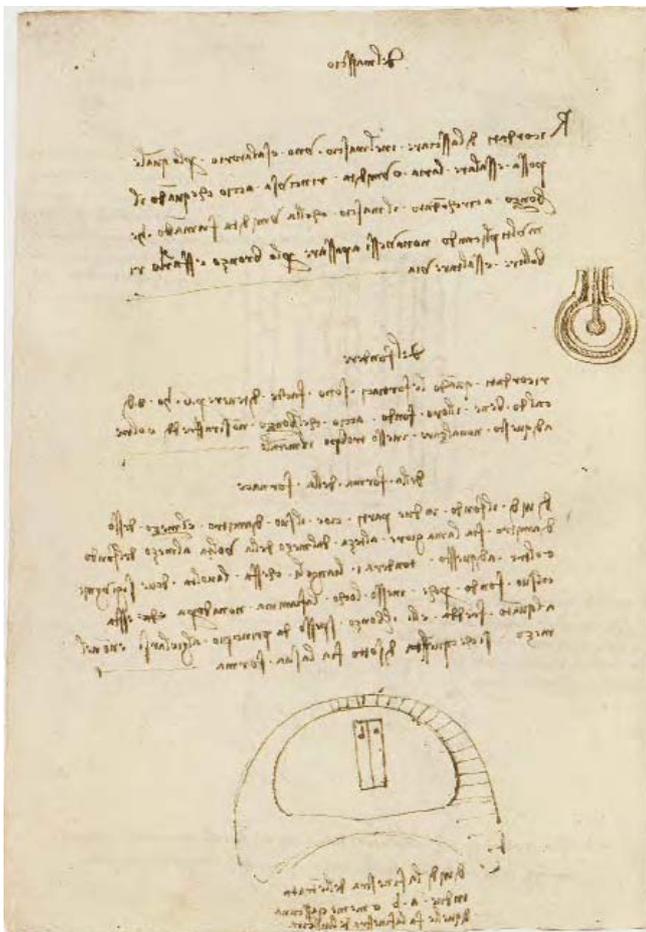
El hueco que ha de hacerse para entrar en el interior del caballo tiene que ser de 7 onzas (pulgadas) de ancho y de un codo de largo. Y fundirás es portillo junto con el caballo y separado de su sitio con los pernos, macho y hembra, para que luego se pueda cerrar.

Dibujo

El vacío del horno con bóveda de cañón recta para facilitar las mezclas. Aquí se pueden hacer todas las bocas del cuerpo sin respiraderos, a excepción del tramo más alto del cuerpo. Y las piernas servirán de respiradero común de todo el aire encerrado dejando paso el bronce que las rellena.

Dibujo

De esta manera se tiene que fundir el caballo, pero procura que el cuello se rellene antes de bronce a través de muchas bocas hasta la línea m n y luego abre todas las otras bocas de una vez.



Codice de Madrid 149 verso

Del macho

Acuérdate de dejar en el macho un respiradero para exhalar el aire o la humedad encerrados, para que cuando el bronce haya circundado el macho la humedad que se expande en forma de humo no tuviera que pasar a través del bronce haciéndolo hervir nuevamente y salpicándolo.

Dibujo.

De la fundición

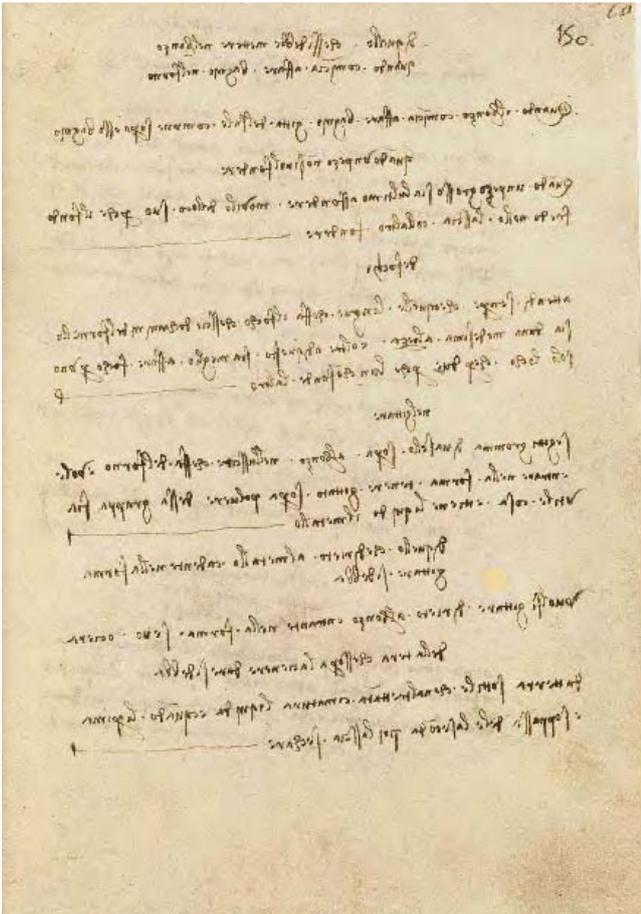
Acuérdate cuando la hornada esté lista de mantener durante 6 u 8 días el fondo de los hornos muy caliente para que el bronce no se enfríe. Además de esto no debes permitir que el metal suba muy alto.

De la forma del horno

Divide el fondo en dos partes, es decir, según su diámetro. La mitad de este diámetro constituye la altura mayor desde el medio de la bóveda a la mitad de su suelo. Además de esto redondearás los angulos que hace la bóveda con el fondo o suelo porque en este lugar la llamarada no llega y se queda bastante frío y el bronce comienza a menudo a enfriarse aquí mas que en el medio. Así que esta de abajo será la forma que deberás adoptar.

Dibujo

Divide la ventana de la entrada en dos, a b y como cada una de éstas tienes que hacer la ventana de la salida.



Codice de Madrid 150 recto

De lo que se debe meter en el bronce cuando comienza a licuarse en el horno

Cuando el bronce empieza a licuarse arroja sal común sobre la materia fundida.

Cuando una pieza no se quiere fundir

Cuando una pieza grande ha quedado a lo último sin fundirse muévela de su sitio porque el fondo frio no la deja fundirse con las demas.

De los fuegos  
Procura siempre que las lenguas de fuego que salen por las chimeneas del horno sean de la misma altura. Además de esto es preferible hacer el fuego en un solo lugar en vez de dos, pues uno confundiría al otro.

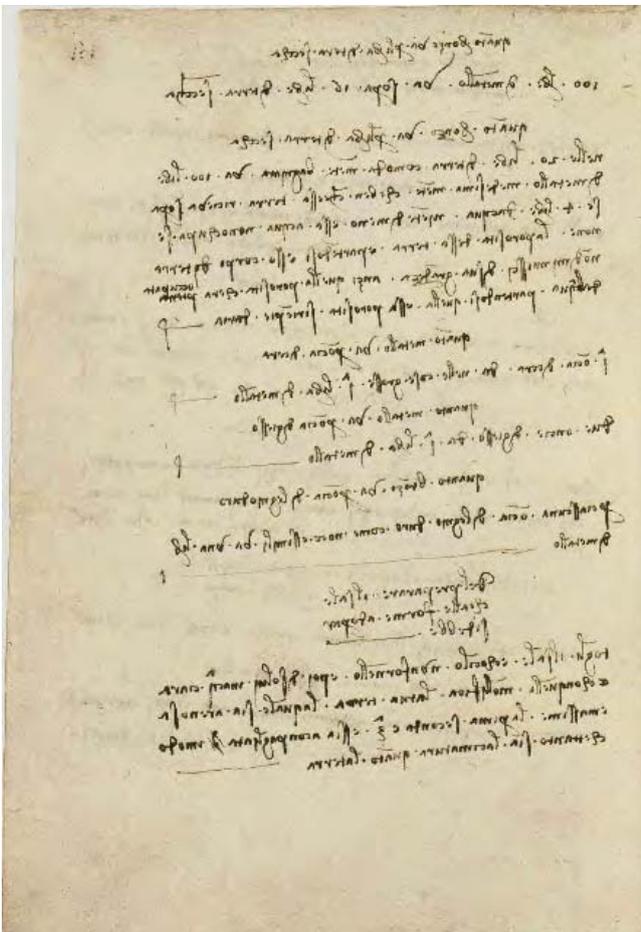
De la colada

Cuando el bronce sale del horno y está a punto de entrar en el molde debe echarse encima tártaro de tonel. Es cosa muy útil para mantener líquido el metal. Espolvorear así el tártaro.

De lo que se tiene que echar después que el metal cae en el molde

Después de que el bronce ha entrado en el molde se tiene que echar sebo o cera.

De la tierra que se tiene que poner sobre la ceniza  
Aplica tierra fina con la misma cantidad de borra empapada y cuando la primera mano se endurece, aplica una segunda y luego déjalo secar.



Codice de Madrid 150 verso

Cuanto bronce corresponde a cada libra de tierra seca

100 libras de metal corresponden a 16 libras de tierra seca

Cuanto bronce corresponde a cada libra de tierra seca

20 libras de tierra convenientemente mojada corresponden igualmente a 100 libras de metal porque aunque la tierra contenga 4 libras de agua no obstante esta agua ocupa solo la porosidad de la misma tierra. Y cuando el agua desaparece la tierra no disminuye de tamaño. Antes bien los poros ocupados primero por el agua luego se rellenan de aire

Cuanto metal corresponde a cada onza de cera

En las partes gruesas una onza de cera corresponde a una libra de metal

Cuanto metal corresponde a cada onza de yeso

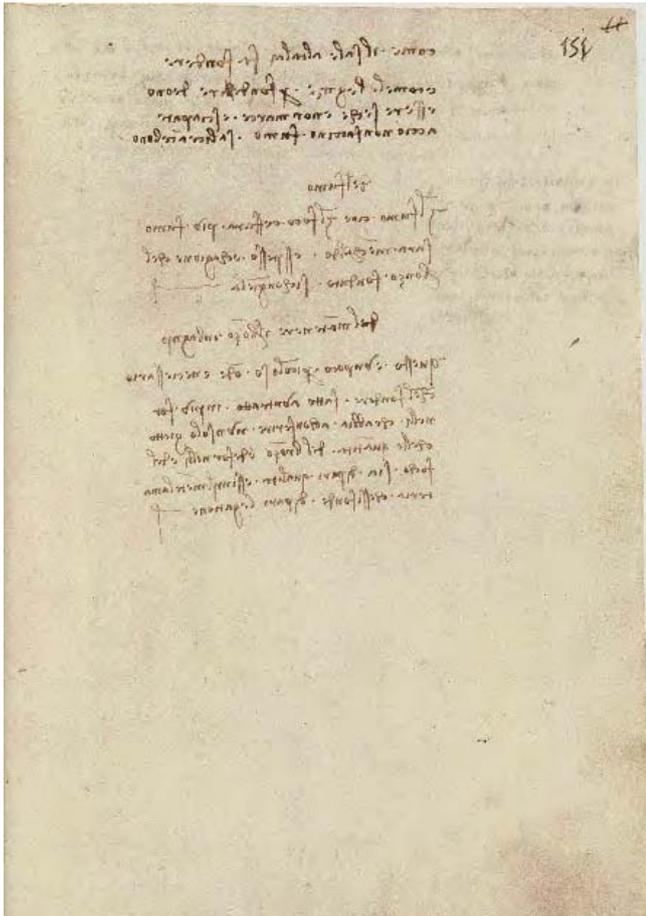
Don onzas de yeso corresponden a una libra de metal

Cuanto bronce corresponde a cada onza de madera dura

Por cada onza de madera dura, como nogal u otra parecida, corresponde una libra de metal.

De cómo preparar la sal que se tiene que emplear en los moldes.

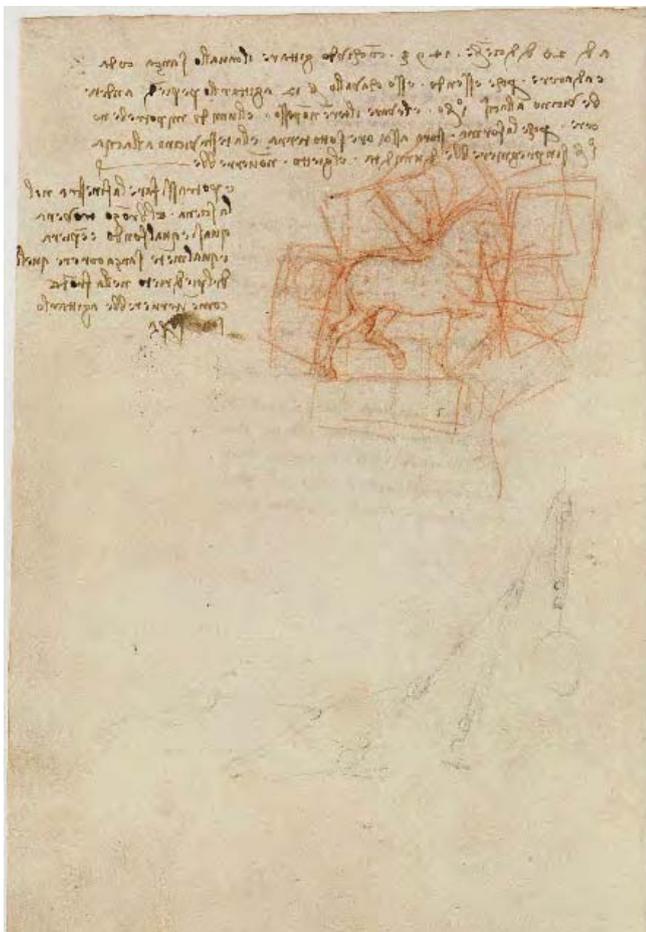
Coge la sal, cuécela en un horno y luego disuélvela en agua clara y con ésta ablanda la tierra que tiene que ser arenosa y máxime la primera, segunda y tercera mano. Y debe estar compuesta de tal manera que a la misma cantidad de tierra corresponda la misma cantidad de borra.

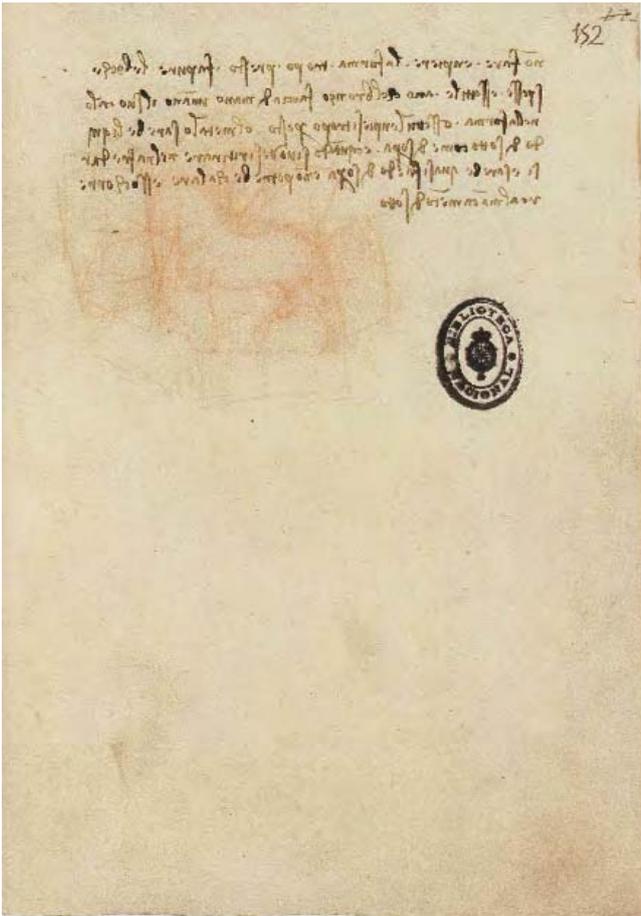


Codice de Madrid 151 verso

Este día, 20 de diciembre de 1493, he decidido moldear el caballo sin cola y recostado de lado. Dado que el caballo mide 12 brazos, si lo moldeo boca abajo, el agua estaría a tan solo un brazo. Y como no puedo retirar el suelo, la humedad durante muchas horas podría dañar el molde. Y la cabeza, al estar a un brazo del agua, podría impregnarse de humedad y el molde no saldría bien.

La ventana puede hacerse en la parte del lomo. El bronce encontrará la misma profundidad y lo llenará uniformemente sin que el metal de la pata trasera vaya hacia delante, que es lo que ocurriría si se moldease el caballo boca abajo.





Codice de Madrid 152 recto

No hagas rellenar el molde demasiado deprisa. Debes emplear bocas pequeñas muy juntas para que el bronce pueda caer en el molde poco a poco. Y si tú lo rellenas demasiado deprisa, el metal quedaría líquido por arriba y no podría bajar a socorrer lo que faltara de las partes bajas.



Codice de Madrid 154 recto

Dibujo

t n s

Este instrumento sirve para transportar y bajar el molde. Y si deseas que baje de modo que quede tumbado quita la cruceta de madera que sirve de apuntalamiento y refuerzo al instrumento por el lado del molde y luego tira de los pies de los palos rectos que sostienen la mitad del molde desde los puntos a b. Sin embargo sería preferible desmontar la mitad del molde, sacarlo y sujetarlo al instrumento entero llevando todo junto hasta el lugar donde ha de ser bajado. De este modo lo dejarás parado en posición vertical. Luego llevarás el instrumento a la parte opuesta y atarás el molde a la armadura de este lado del instrumento y luego lo bajarás por medio de cuerdas con la cara al revés. Para bajarlo boca abajo no necesitarás luego cambiar otra vez ni el instrumento ni el molde.



Codice de Madrid 154 verso

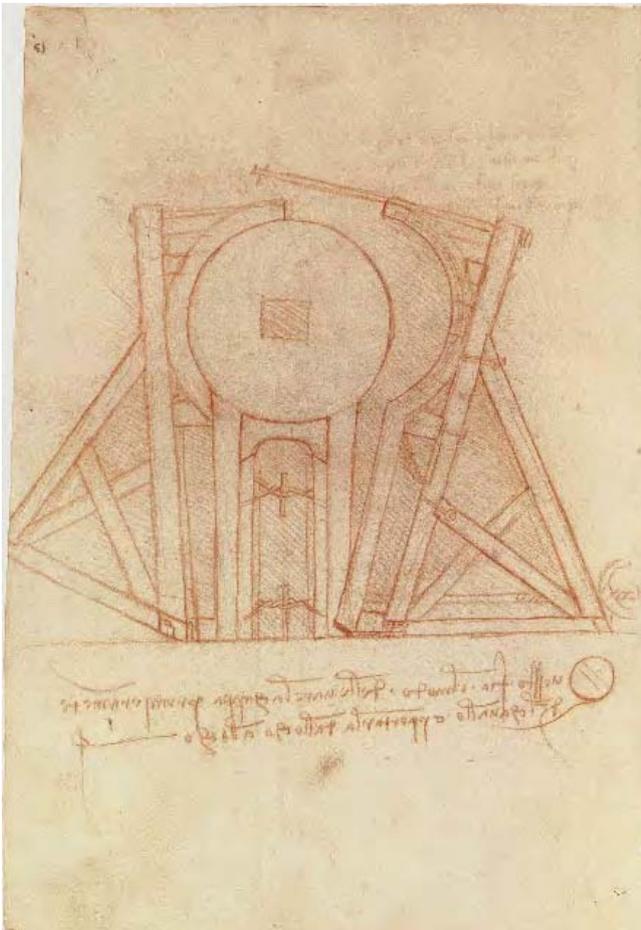
Este es el modo universal para bajar la forma por el revés y boca abajo. Los travesaños del cabrestante deben colocarse en su lugar después de que has quitado el molde del caballo. Y los hornos se harán después de que el molde esté enterrado para hacerle dentro el macho. Este castillete o instrumento de cabrestante tiene que estar separado de la armadura de madera del molde y sólo se empleará para levantar y bajar este molde



Codice de Madrid 155 recto

Dibujo

Armadura del cuello y del cuerpo.



Codice de Madrid 155 verso

Dibujo

Esta es la manera de quitar primeramente el caparazón del caballo y llevarlo de un sitio a otro.

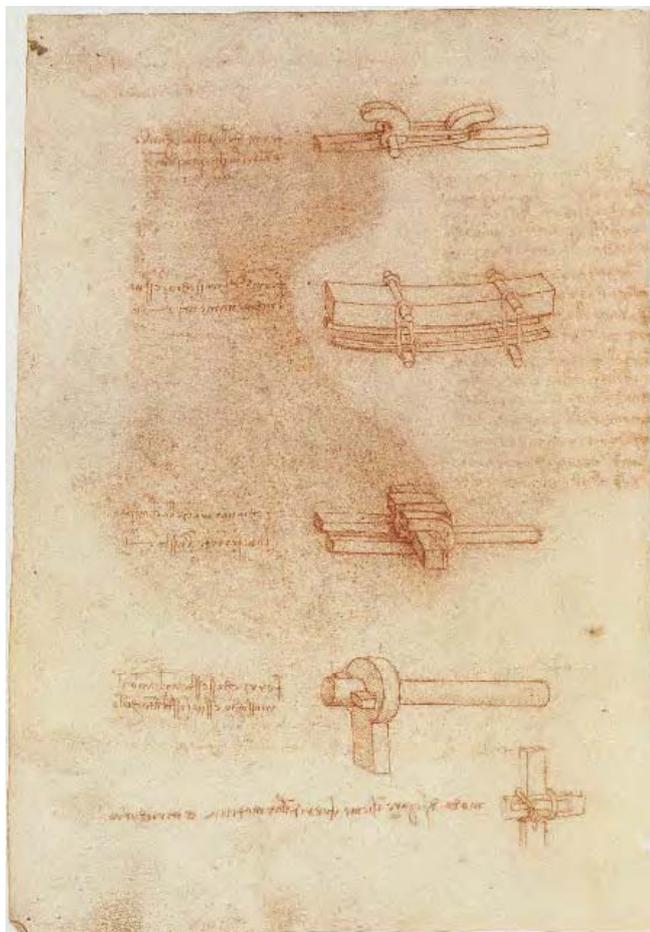


Codice de Madrid 156 recto

Dibujo

Macho m , hembra n

m n deben ser del mismo metal que luego se hará el caballo y tienen que estar sujetos al macho. Su oficio consiste en que el caparazón no se acerque al molde más de lo debido



Codice de Madrid 156 verso

Dibujo

Hierros de los costados, piernas y otras piezas mas sutiles

Dibujo

Hierros del macho y de sus encapilladuras

Dibujo

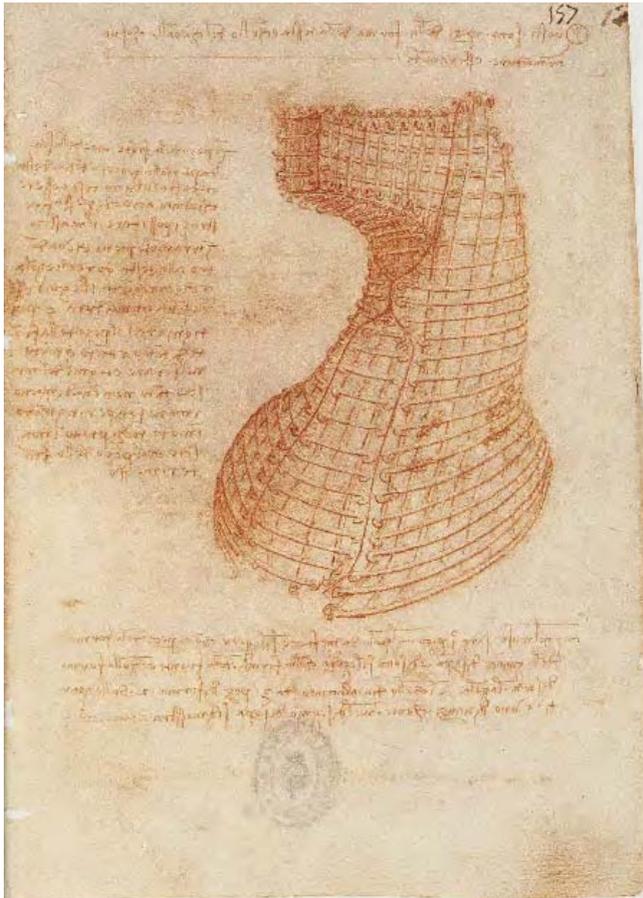
Engarrotado de los hierros del molde del tórax.

Dibujo

Hierros que sujetan el macho a su soporte

Dibujo

Te recuerdo como se pueden ligar los hierros a la armadura.

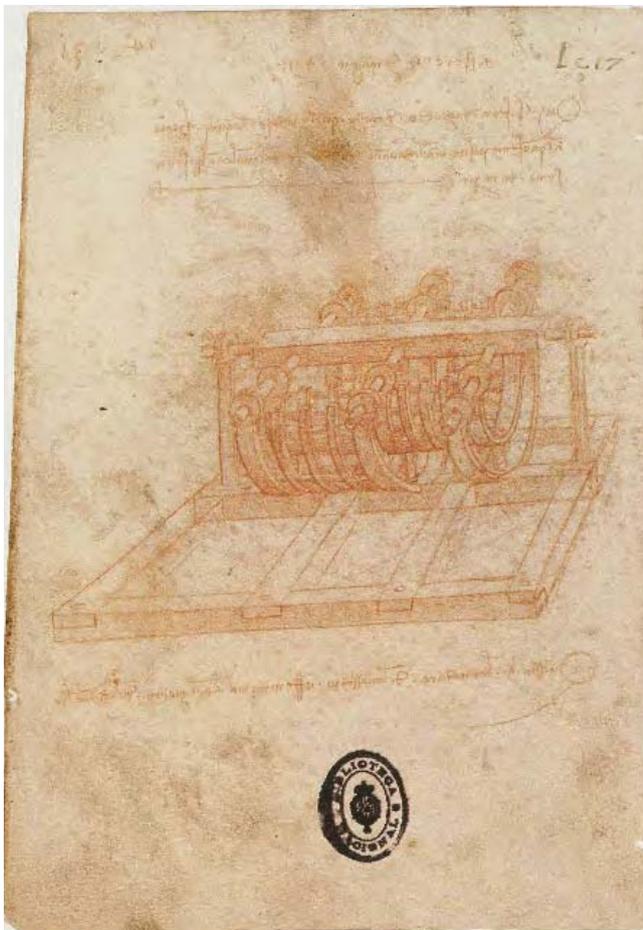


Codice de Madrid 157 recto

Estas piezas pertenecen al molde de la cabeza y el cuello del caballo, junto con su armazón y sus hierros.

La pieza de la frente, esto es, la pieza de su forma que tiene el grosor de la cera de dentro, debe ser lo que se cierre para hacer un núcleo totalmente sólido a través de esta abertura. Este núcleo va dentro de la cabeza, las orejas y el cuello, y está rodeado por el armazón de madera y hierro. Posteriormente puede teñir la pieza de la frente por dentro y retirarla, poco a poco, tiñendo siempre de nuevo mientras el núcleo toque la pieza de la frente, una vez colocada en su sitio.

El hocico tendrá una pieza, sujeta a ambos lados con dos piezas que corresponderán a la parte superior de las mejillas. Por debajo se sujetará al molde de la frente y al molde de debajo de la garganta. El cuello debe formarse con tres piezas: dos a los lados y una delante, tal como se muestra arriba.



Codice de Madrid 157 verso

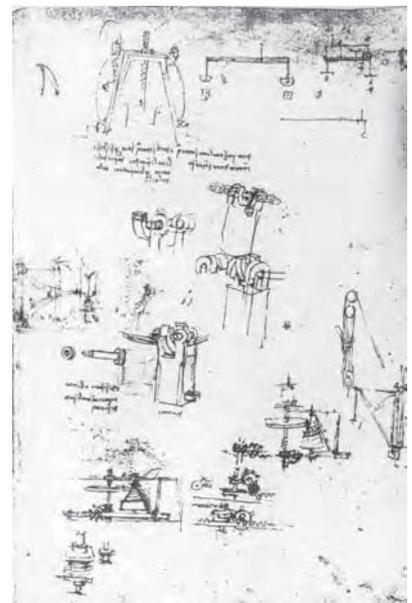
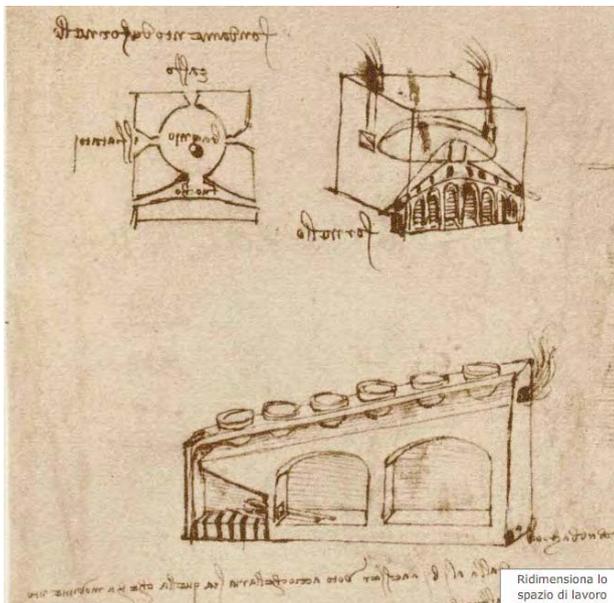
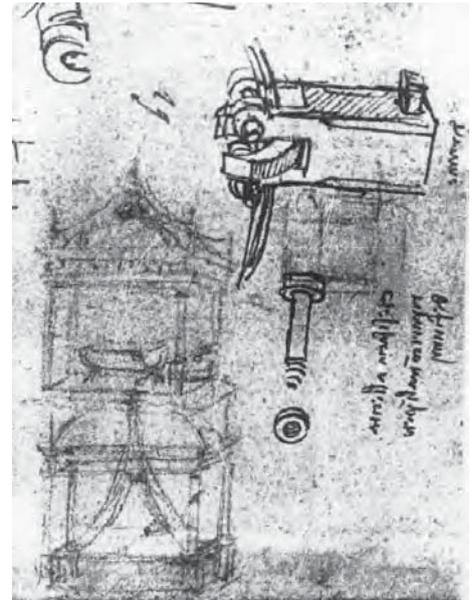
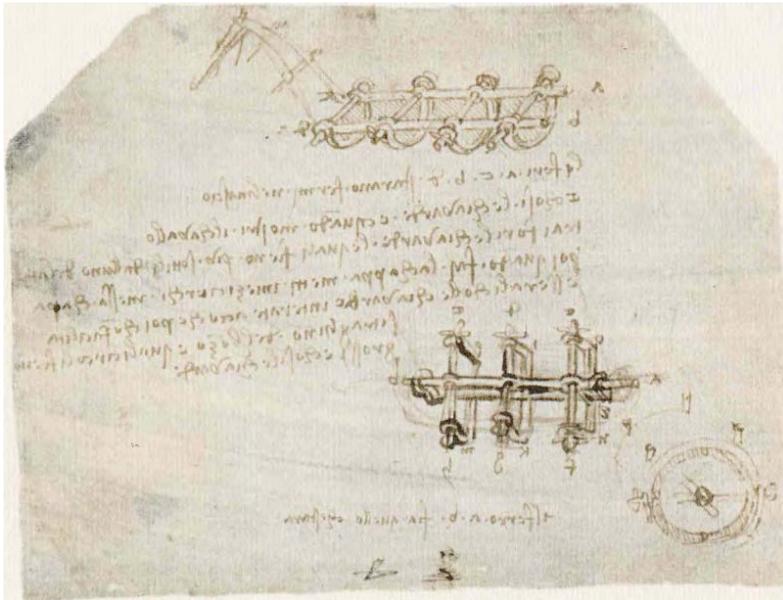
Le 17

17 de mayo de 1491 por la tarde

Aquí se recuerdan todas aquellas cosas que tienen que ver con el caballo de bronce en el que al presente estoy trabajando

Dibujo

Esta es la armadura del macho y la hembra (del molde) para fundir el caballo.



- 1. Estudio de estructura interna, Códice Atlántico, 1104vc
- 2. Estudio de horno de fundición, Códice Atlántico 87r
- 3. Estudio del sepulcro de Sforza (fragmento), 1497  
Biblioteca Ambrosiana, Milán. Códice Atlántico, fol. 10r-a
- 4. Estudio del sepulcro de Sforza, 1497  
Biblioteca Ambrosiana, Milán. Códice Atlántico, fol. 10r-a

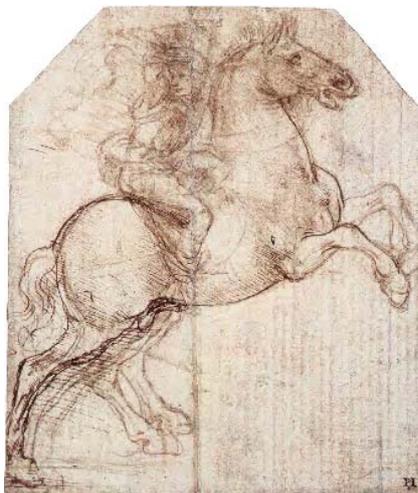
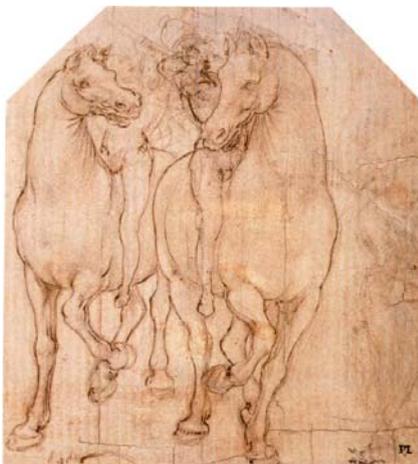
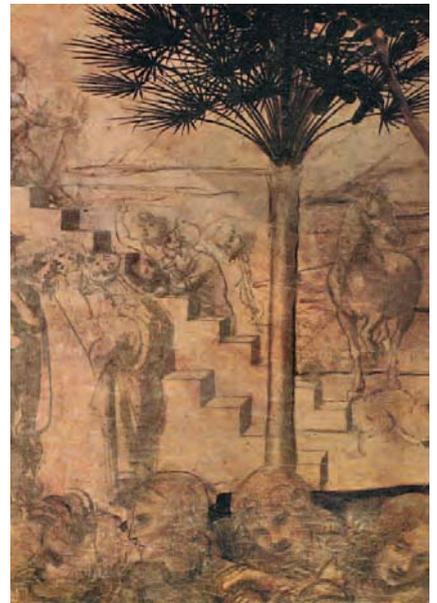
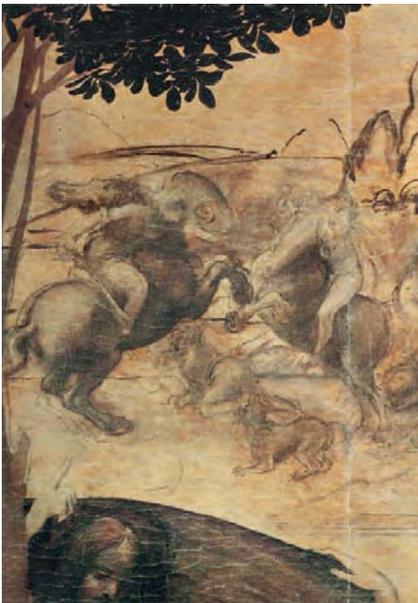
5, 7, 8 y 9. La Adoración de los Magos, 1481-82  
Óleo sobre madera, 243 x 246 cm.  
Galería de los Uffizi, Florencia, inv. 1594

6. Estudio para la Adoración de los Magos (fragmento), 1481  
Gabinete de Diseño y Estampa degli Uffizi, Florencia, n. 436 E

10. Estudio con caballos y jinetes, 1480. Pluma y tinta, 142 x 128 mm. The Fitzwilliam Museum, Cambridge

11. Jinete sobre un caballo encabritado, 1482  
Pluma y tinta, 141 x 119 mm.  
The Fitzwilliam Museum, Cambridge

12. Estudio con caballo y jinete, 1481. Punta metálica, 120 x 78 mm. Colección John Nicholas Brown, Rhode Island, Newport





1. Estudio para la Batalla de Anghiari, Museo de la Academia, Venecia

2. Estudio para la Batalla de Anghiari, Colec. del Museo Ashmolean, Oxford

3. Estudio de luchas entre un caballo, un dragón y San Jorge Biblioteca Real, Windsor RL 12331r

4. Luchas entre un caballero y un dragón, 1482  
lápiz, pluma y pincel, 139 x 190 mm.  
British Museum, Londres, inv. 1952-10-11-2

PÁGINA SIGUIENTE

5. Esbozo de jinetes galopando y guerreros a pie, 1503-4  
Sanguina, 168 x 240 mm.  
Royal Library, Windsor, RL 12.340r

6. Estudio con caballeros y soldados a pie luchando, 1503  
Pluma y tinta, 101 x 142 mm  
Galería de la Academia, Venecia, fol. 216r

7. Estudio de caballeros luchando, 1503-1504  
Pluma y tinta, 86 x 122 mm. British Museum, Londres, inv. 1854-5-13-17

8. Estudio con caballeros y soldados de a pie luchando, 1503.  
Pluma y tinta, 145 x 152 mm. Galería de la Academia, Venecia, inv. 215Ar

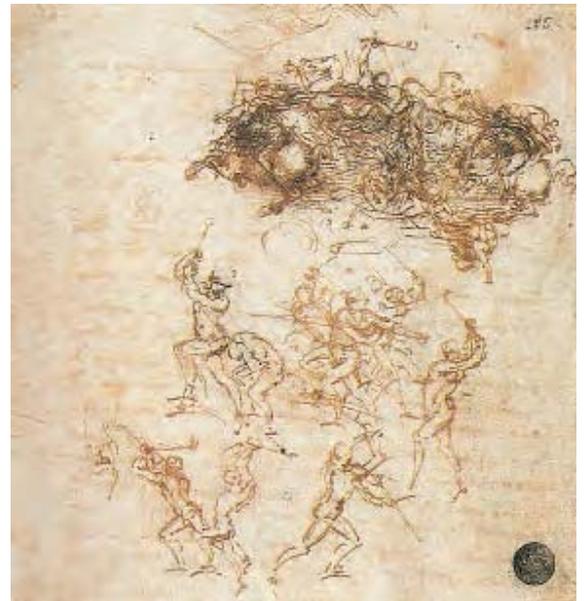
9. Estudio con caballeros y soldados a pie luchando, 1503  
Pluma y tinta, 160 x 152 mm. Galería de la Academia, Venecia, fol. 215

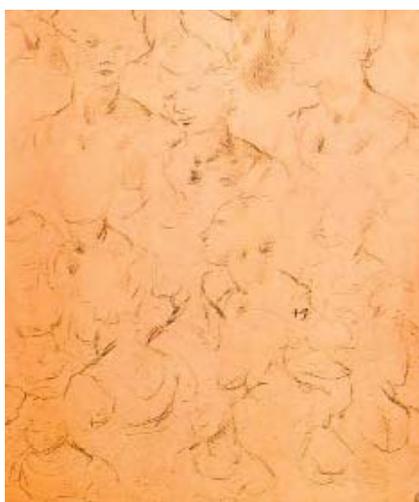
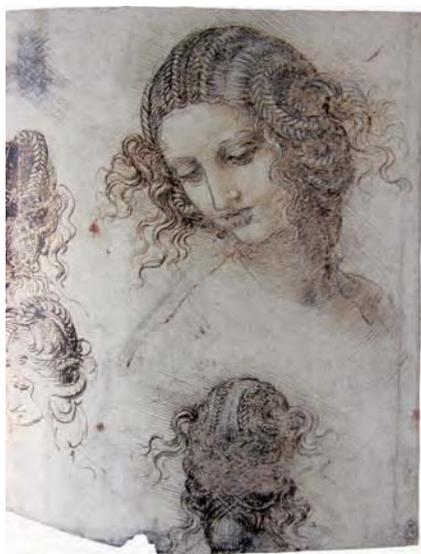
10. Estudios de caballos, 1505. Pluma y tinta, 210 x 283 mm.  
Royal Library, Windsor RL 12328v

11. Episodio del estandarte de la Batalla de Anghiari (copia directa del mural original), Rucellai, Palacio Rucellai, Florencia

12. Episodio del estandarte de la Batalla de Anghiari, Rubens, 1604. 45,2 x 63,7 cm, Museo del Louvre, Paris

13. Reconstrucción hipotética de la batalla de Anghiari  
Carlo Pedretti





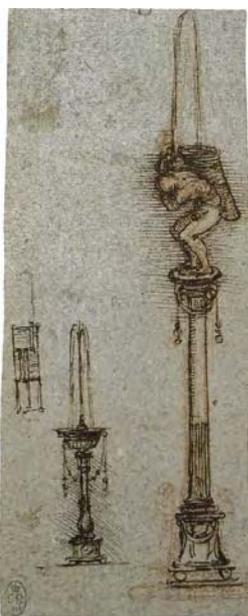
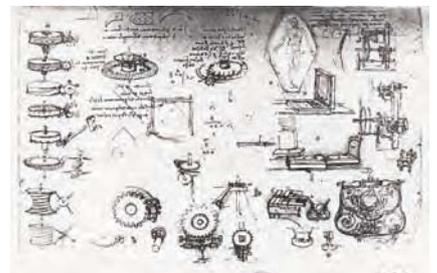
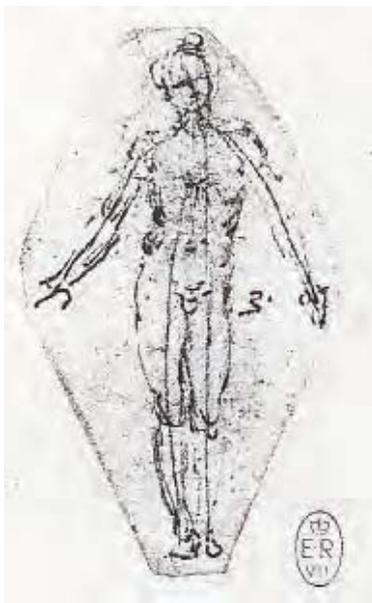
1 y 2. Estudios de manos, 1481  
278 x 185 mm. Royal Library Windsor, RL  
12615r y RL 12616r

3. **Dibujo de manos cogiendo flores**  
(fragmento), 1400  
Royal Library, Windsor, RL 12558r

4. Retrato de un hombre con barba  
(César Borgia), 1502-1503. Sanguina,  
111 x 284 mm.  
Biblioteca Real, Turín, inv. 15573

5. Estudio de peinados de Leda  
Royal Collection, Windsor, RL 12.516

6. Dieciocho posiciones de un busto  
femenino, 1475-80  
Royal Library, Windsor



7. Hércules con el león de Nemea, 1504 -1508  
Lápiz negro, 180 x 190 mm. Biblioteca Real, Turín inv. 15630

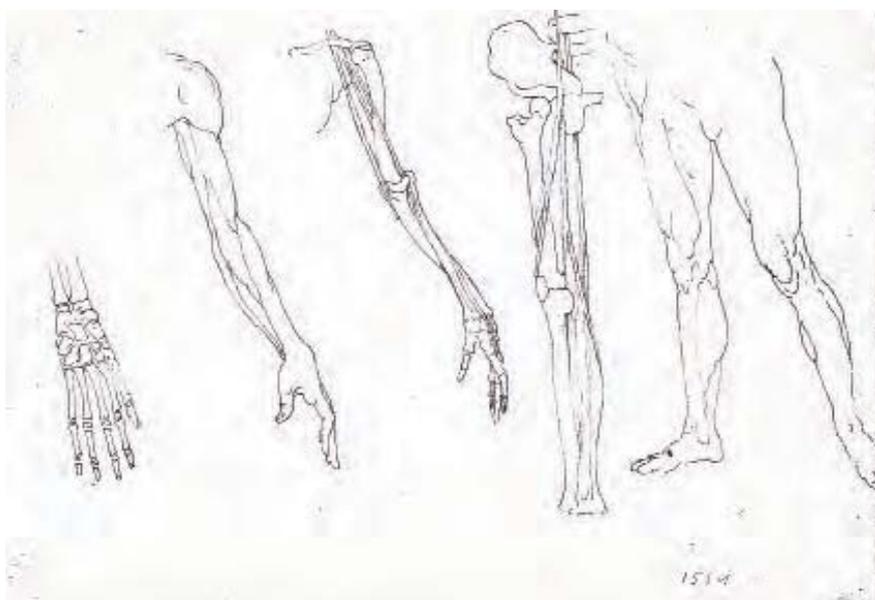
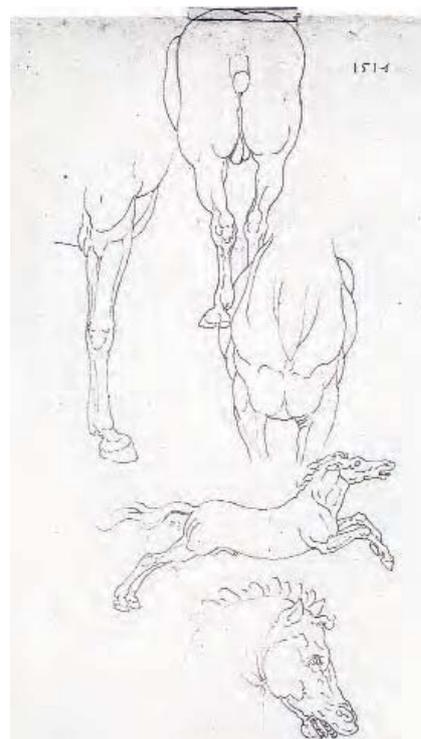
8. Estudio de los músculos de la espalda de un hombre, 1508  
Pluma y aguada sepia sobre lápiz negro, 189 x 136 mm. Castillo de Windsor, Biblioteca Real, RL 19043v

9. Estudio de desnudo, pluma, tinta y carboncillo. Royal Library, Windsor, RL 12631-633v

10. Estudio de transformación, Instituto de Francia, Paris, Ms.E.F.8b

11 y 12. Proyecto de scultura (fragmento) y Diseño de estructura interna. Royal Library, Windsor, RL 12722

13. Dibujo de fuente, atribuido a Leonardo da Vinci o a Verrocchio, 1513. Pluma, tinta y sanguina sobre papel, 172 x 63 mm. Castillo de Windsor, Biblioteca Real, RL 12691r



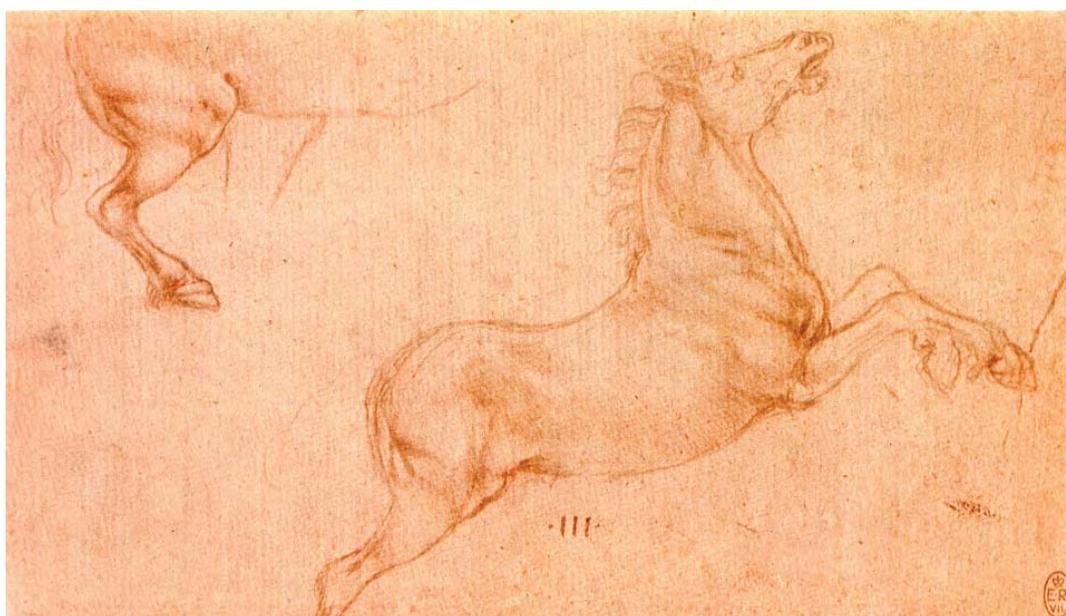
1. Estudio de Esqueleto y tendones del brazo y de la pierna visto con luz ultravioleta, Leonardo da Vinci. Pluma y tinta. Royal Library, Windsor, RL 12613v

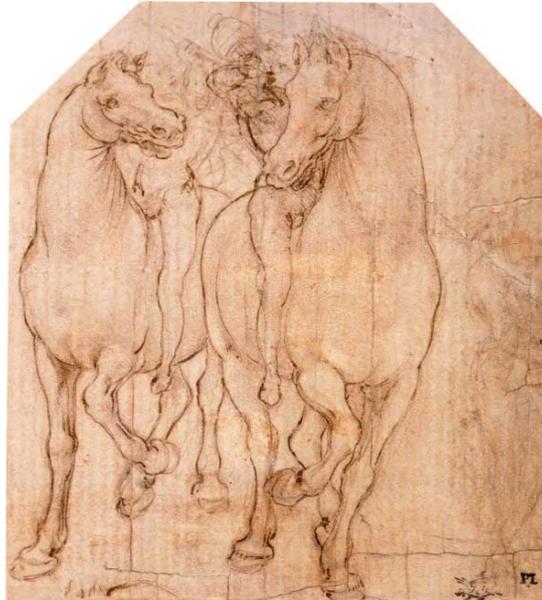
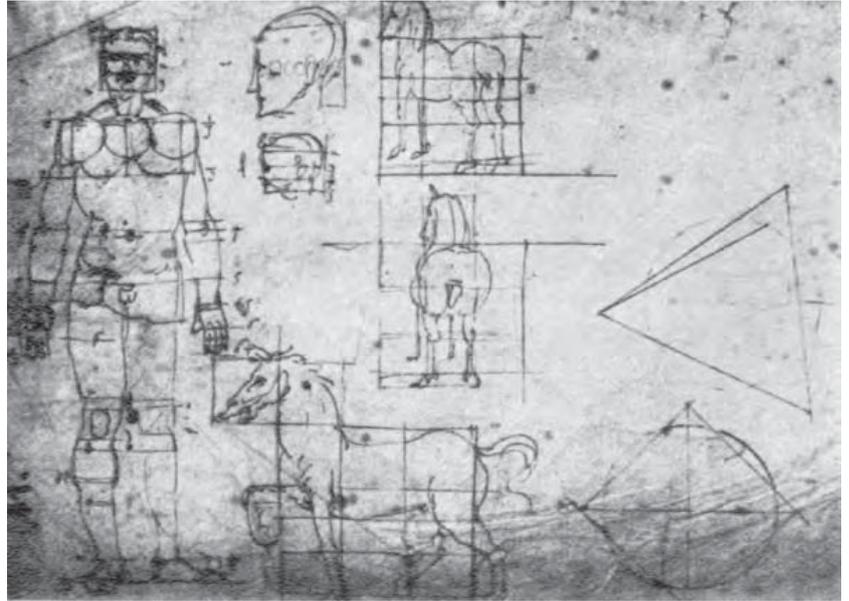
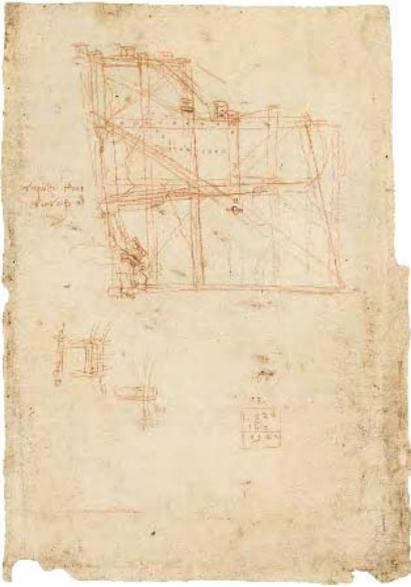
2. Estudio de Esqueleto y tendones del brazo y de la pierna, Leonardo da Vinci, Pluma y tinta. Royal Library, Windsor, RL 12613v

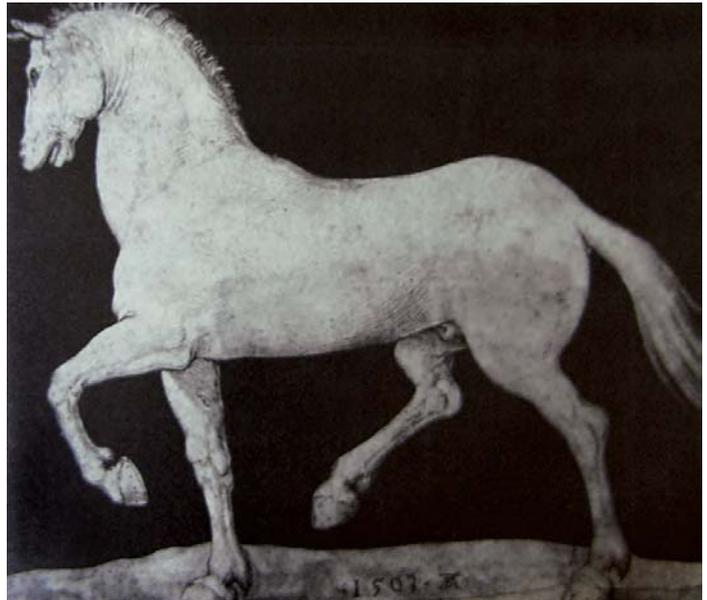
3. Estudios de caballos. Durero, 1517. Lápiz y tinta. Sachsische Landesbibliothek, Sketchbook, Dresde

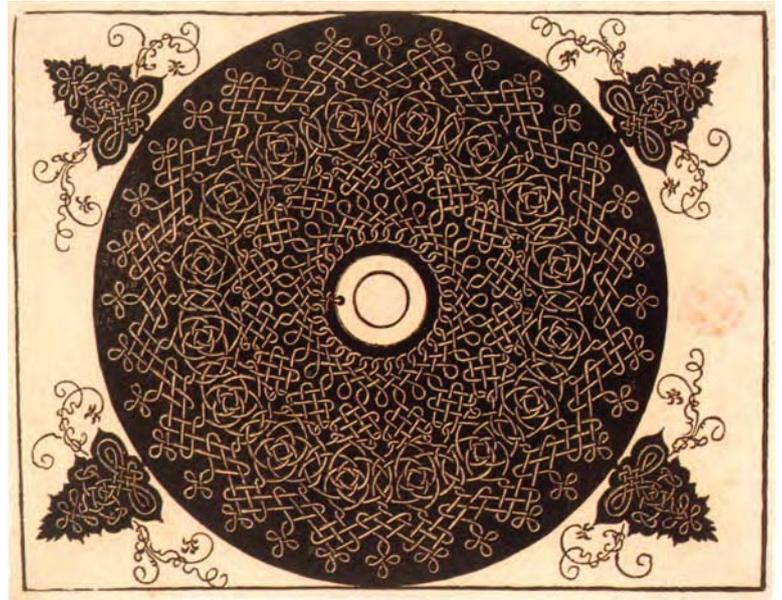
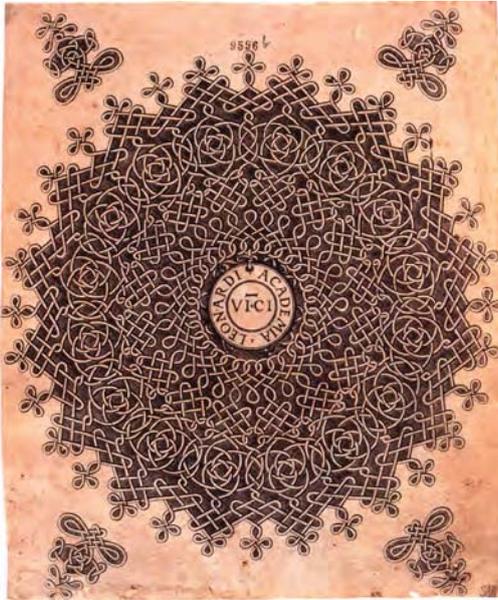
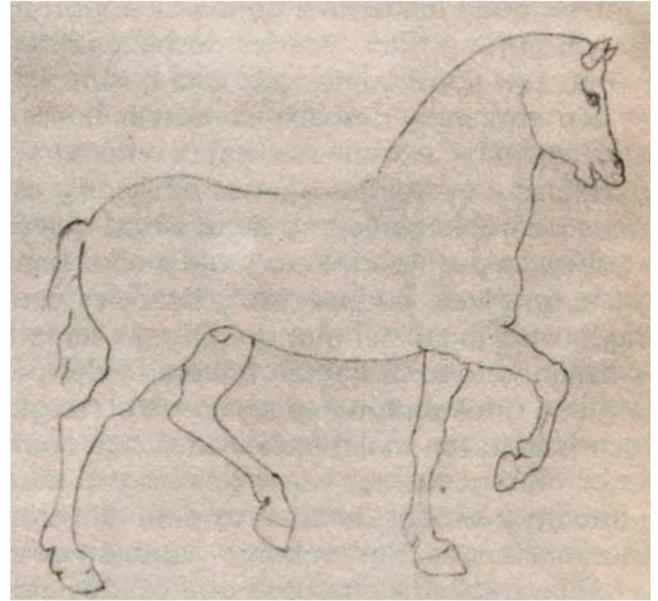
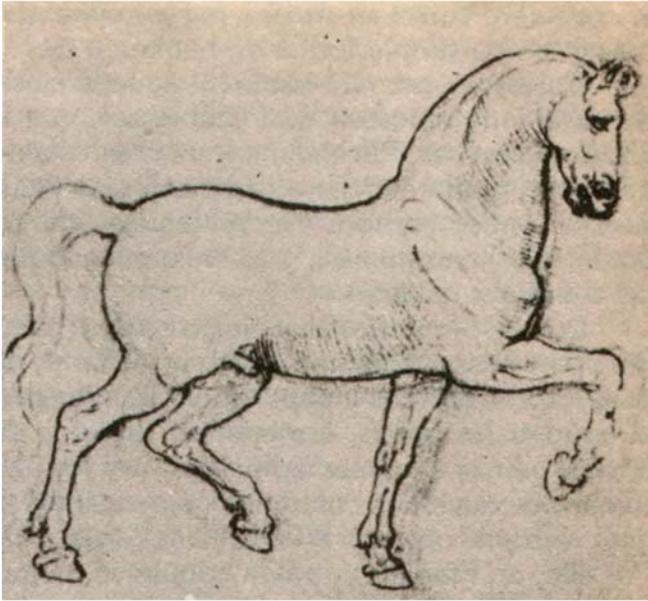
4. Estudio de brazos, piernas y manos. Durero

5. Estudio de caballos del natural, Durero









6. Estructura de referenciado para la ampliación Leonardo da Vinci, 1493. Códice Atlántico, 577v. Biblioteca Ambrosiana, Milán

7. Estudios de geometrizariones de Vitruvio, Durero, 1505

8. Estudio de Caballo, Durero, Venecia 1494-95. Lápiz y tinta marrón, 204 x 169 mm. Staatliche Graphische Sammlung, inv. 28712 Z

9. Estudio de Caballos para el fondo de *La Adoración de los Magos*, Leonardo da Vinci, 1482. Dibujo con punta de plata, 143 x 128 mm. Fitzwilliam Museum, Cambridge. Inv. PD. 121-1961

10. El gran caballo, Durero, 1505. Grabado, 16,7 x 1,9 cm. Gabinete de Diseño y Estampa degli Uffizi, Florencia. inv. 4750

11. Caballero Oriental, Durero. Museo del Louvre, París. INV 18585r

12. Estudio del Monumento a Trivulcio, Leonardo da Vinci, 1508-11. Pluma y tinta, 203 x 143 mm. Royal Library, Windsor RL 12344v

13. Caballo, Albrecht Dürer, 1500. Grabado. Gabinete de Diseño y Estampa degli Uffizi, Florencia. inv. 4750 st. sc.

14. El caballero, la muerte y el diablo, Albrecht Dürer, 1513. Grabado. Uffizi, Florencia. inv. 4750 st. sc.

15. Caballero, Durero, 1510-1513. 246 x 185 mm. Colección F. Fagnani, 1841. Pinacoteca Ambrosiana, inv. F 264 inf. 25r e v

16. Caballo, Albrecht Dürer, 1500, Grabado

17. Estudio de pierna humana comparada con la pata trasera de un caballo, Leonardo da Vinci. Instituto de Francia, K, 109v

18. **La Muerte coronada sobre un caballo flaco**, Durero, 1505 210 x 266 mm. British Museum, Londres

19 y 20. Caballo, Leonardo da Vinci. Dibujo a pluma. Royal Library, Windsor

21. **Copia de una filigrana de Leonardo**, Anónimo. Xilografía, 243 x 200 mm. Pinacoteca Ambrosiana, Milán, inv. incs. 9596 b

22. Filigrana, Durero. 1506-20. Xilografía, 1er estado, 276 x 217 mm. Capilla cardinalicia (Meder WZ 44), Staatliche Graphische Sammlung, inv. 14111 D

## ESTATUA DE LUIS XIV

Vamos a describir con detalle las operaciones que han permitido realizar la función de la remarcable estatua ecuestre de Luis XIV, debida al escultor Francois Girardón y fundida por Jean Baltasar Kéller, en 1.699, para emplazarla por la ciudad de París en la Plaza Vendome, que se llamaba entonces Plaza de Luis El Grande.

Esta estatua fue fundida de un solo golpe. Ha sido destruida, pero se posee todavía el modelo en el Louvre, así como uno de los pies del caballo y eso permite darse cuenta a la vez de la perfección del modelo, de la belleza del bronce y de las proporciones de la obra (siete metros de altura). Antes de proseguir con el proceso que siguieron con dicha estatua, veremos primero ciertos puntos muy interesantes sobre la fundición de cera perdida.

El mulage de cera perdida es una operación delicada y larga que fue practicada en todos sus detalles y con entera perfección en el tiempo donde se ha hecho las bellas y remarcables fundiciones de estatuas cuyos modelos han salido de las manos de grandes artistas del Renacimiento y de los siglos XVI, XVII y XVIII.

Es preciso, para llevar a bien esta empresa difícil de realizar diversos trabajos cuya reunión de conjunto debe asegurar el éxito:

Primero, hacer un núcleo refractario armado fuertemente al interior a fin de resistir la carga del metal en fusión, cubrirle de una capa de cera igual en espesor al que se quiere dar al metal, luego cerrarlo todo en un molde robusto. Se debe después, hacer derretir la cera, hasta completar la desaparición para dejar libre la plaza que debe ocupar el bronce, es preciso, en fin hacer derretir este último y colarlo de una sola la totalidad, cualquiera que sea el grandor de la pieza. Este procedimiento es tan dificultoso como costoso, es por lo que en nuestros tiempos de economía, se prefiere con frecuencia el mulage a la arena, que da productos menos perfectos.

No obstante será inexacto decir que se haya renunciado a su empleo y el grupo de los Gladiadores de M. Gérome Pollice verso, que adornaba durante la Exposición, de una manera tan remarcable, uno de los vestibulos del Palacio del Trocadero, ha sido colado en cera perdida. Pasamos a continuar con la estatua de Luis XIV.



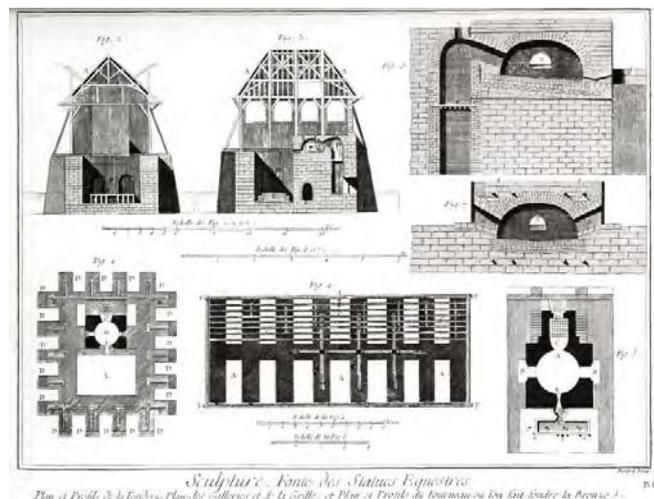
## EDIFICIO DE LA FUNDICIÓN

Las dimensiones en cuestión han puesto a los fundidores en la obligación de construir un edificio especial muy espacioso, aparte de la fosa y el horno, todas las piezas del molde que se han tenido continuamente en necesidad, mientras se ha hecho la armadura y el núcleo. Debe contener también los materiales necesarios para el modelo, el molde de escayola, las ceras, el molde de tierra, las armaduras de hierro etc.

El molde entero, deber ser elevado para evitar los accidentes del fuego, mientras se tendrá que hacer el recocido y el fundir de el metal.

La fosa es un espacio profundo destinado a contener la obra que se quiere derretir y rodeado de muros resistente al fuego, el contorno será redondo, ovalado o cuadrado siguiendo la forma de la obra.

Para la estatua de Luis XIV se ha comenzado por hacer todos los muros de fundación hasta la altura del entresuelo solamente, los muros gruesos de la fosa debían ser elevados enseguida encima del suelo. Luego, sobre el fondo de esta fosa, se han establecido las galerías y la reja, cubiertas de una capa, de manera a formar una plataforma bien horizontal sobre la cual debía, a continuación ser elevado el modelo de escayola de la figura ecuestre que se trataba de fundir.



*Sculpture. Fontaine des Statues Equestres  
Plan et Profil de la Fosse ou Plancher d'Arrière et de la Fosse, et Plan et Profil du fourneau ou des deux autres la Fosse.*

**MODELO DE LA ESTATUA**

Todo el mundo sabe que, en la escultura y en la pintura, se llama ordinariamente modelo, un primer trabajo provisional que se trata de reproducir a continuación con los materiales definitivos de la obra.

Algunas veces eso no es más que un esquema, que no puede dar mas que una idea vaga de lo que se quiere hacer. Pero, para las obras de bronce, ese modelo debe ser efectuado con el acabado y la perfección del obraje mismo, la materia sola difiere. Esta ultima no es por otra parte la misma, según la naturaleza de las obras; eso será la cera, para las figurinas hasta 60 centímetros de altura aproximadamente, la arena o la escayola si se quiere, solamente para no pasar de la grandeza natural y la escayola, únicamente para las obras grandes así como se ha hecho para el que nos referimos. Como se tiene mucho tiempo para trabajar sobre tal modelo, se debe tomar todas las precauciones necesarias para asegurarse la solidez y armarlo con robustas piezas de madera y hierro.

Es fácil comprender que la ejecución de la figura en bronce resulte inmediatamente de la del modelo. Es porque el escultor debe darle todo el acabado que le es susceptible, y sobre todo aproximarse lo más posible a la perfección para lo que se refiere a la altura y las proporciones generales que no podrán de ninguna manera ser modificadas más tarde.

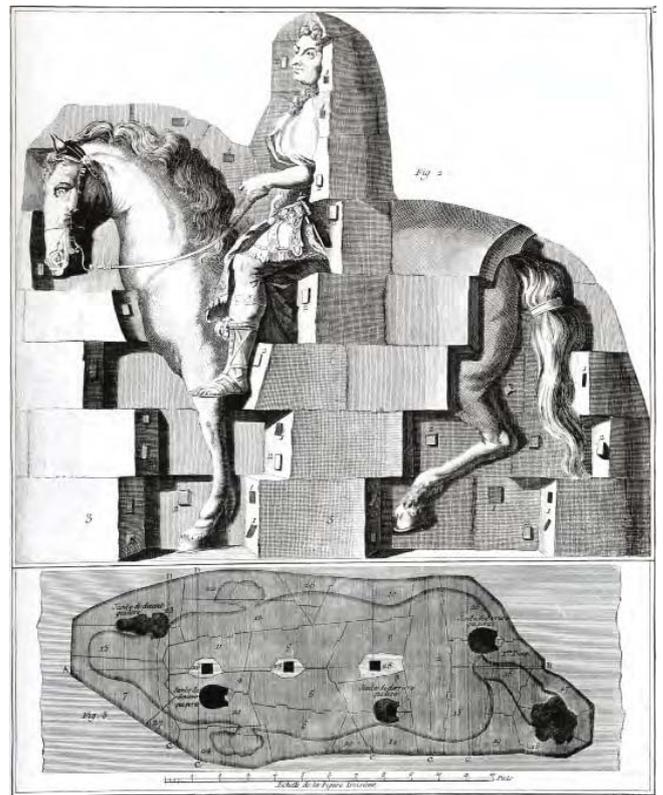
**MODELO DE ESCAYOLA**

El molde debe reproducir exactamente en hueco todos los detalles y todas las finezas del modelo del que se viene a ver la confección; será hecho de escayola por medio de numerosos cimientos cuyo numero variará, naturalmente, con la altura de la obra. Se tendrá cuidado de emplazar las juntas en sitios tales que las rebabas que hará la cera sean de menos consecuencia, y fáciles de reparar. Cada uno de esos cimientos estará compuesto de numerosas piezas, según la naturaleza del modelo y del grueso, para que se puedan manejar fácilmente. El primer cimiento reposa sobre el área horizontal del fondo de la fosa, que lleva el modelo, y todos los cimientos así como las piezas que componen cada una de ellas estarán cuidadosa y solidamente unidas de tal manera que el conjunto pueda formar un todo completo y resistente.

**CERAS**

Mientras la construcción del molde en escayola se termina como venimos a decir, que esté bien ajustado y que se hayan tomado todas las precauciones necesarias para poderle demostrar y reconstruir con exactitud, se le deshace cuidadosamente y se le puede entonces quitar el modelo, luego todas las piezas del molde deberán finalmente estar reunidas de nuevo en sus chapas, después de haber sido tapizadas de cera en el interior, con el espesor que se quiere, para más tarde dar al bronce. Este espesor varía, naturalmente, con la talla y la importancia de la obra. Para la estatua de Luis XIV, las tres piernas del caballo, que llevan, han sido hechas en plena cera, hasta el corvejón, luego se ha dado hasta los muslos y todo el resto, hasta la figura del rey, aproximadamente 16 milímetros.

La calidad de la cera es muy importante. Debe de tener bastante consistencia para no reblandecerse con el gran calor del verano, pero al mismo tiempo tener bastante suavidad para poderla trabajar y reparar finamente. Se ha comenzado entonces por hacer una mezcla de cien libras de cera amarilla, diez libras de terabentina común, diez libras de resina grasa y diez libras de manteca de cerdo. Se ha hecho derretir el conjunto sobre un fuego moderado, evitando de alcanzar una temperatura que produciendo la ebullición vendría a alterar la calidad de la cera. Se comienza por bien impregnar las piezas del molde con una grasa hecha de aceite de oliva, de manteca de cerdo y de sebo, con el fin de



*Sculpture, Fonte des Statues Equestres. -  
Moule de Plâtre, que est le creux du moule de Plâtre de la Figure Equestre, et Plan de la première gisbe du Moule de Plâtre.*

impedir la adherencia de la cera, que se coloca entonces en estado líquido y por capas sucesivas por medio de pinceles finos en pelo de brocha. Importa que esta primera aplicación sea absolutamente cuidada a fin de tener por todo un espesor uniforme, tanto sobre los huecos como sobre los salientes. Cuando este espesor ha alcanzado de 2 a 3 mm, se termina el recubrimiento con planchas de la misma cera en estado pastoso, asegurándose una adherencia perfecta con la capa de cera puesta con pincel. Cuando todas las piezas del molde en escayola están igualmente bien cubiertas de su capa de cera, se remonta este molde sobre el área que portaba primitivamente el modelo, parándose a la altura de la mitad del vientre del caballo a fin de tener la posibilidad de posar tanto dentro como fuera, las piezas de la armadura de hierro.

### ARMADURA EN HIERRO

La armadura en hierro es una reunión de barras e hilos de hierro con formas apropiadas para sujetar el núcleo que emplazado en el interior de la obra, debe limitar dentro la capa de bronce que le formara. Se comprende que en una figura como la de este caballo y donde el peso reposa entero sobre tres piernas del caballo, se deben acompañar estas últimas de piezas muy fuertes con el fin de que la colada no traiga ninguna deformación en el núcleo interior. Esto es para asegurar ese resultado al mismo tiempo que la solidez definitiva de la obra, que algunos de los hierros de la armadura están destinados a quedar siempre encerrados en el bronce: los cuales son los de las cuatro patas del caballo y de la cola, así como los que atraviesan de una loma del animal a la otra, y que están unidas a los precedentes. Las barras, que corresponden a las tres patas que posan, descendían a un metro aproximadamente debajo del are, con el fin de poder ser más tarde empotrados en el pedestal.

Todos los otros hierros de la armadura están dispuestos de manera que se les pueda retirar después de la fundición del bronce: los cuales están reunidos debajo del área por procedimientos que permiten desmontarlos más tarde, fácilmente.

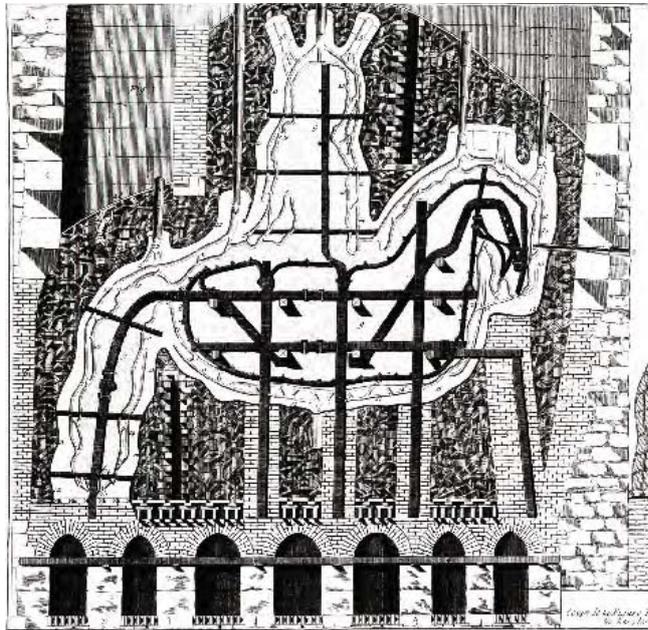
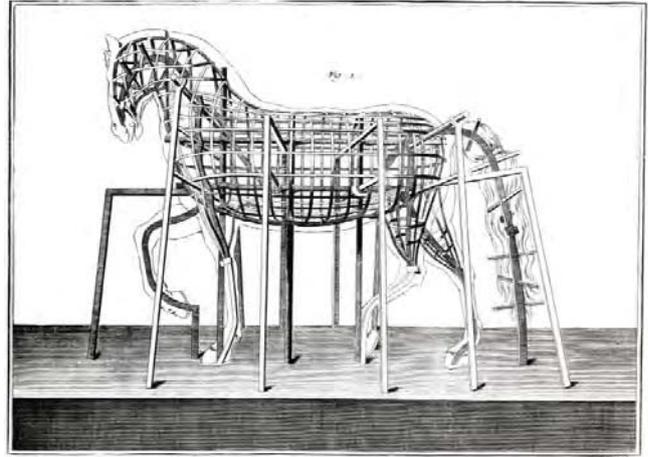
### NOYAU

El núcleo que se le llama también el alma de la obra, es un cuerpo sólido que debe llenar exactamente el espacio comprendido por las ceras. La materia que le compone debe tener numerosas cualidades esenciales:

- 1.- Es preciso que estando dentro de las ceras no pueda dilatarse ni comprimirse.
- 2.- Es preciso que soporte la acción del fuego, cociéndose sin reblandecerse ni atormentarse.
- 3.- Debe poseer una calidad especial que los obreros llaman "Pouf", y que caracteriza una cierta porosidad relativa, de manera que el metal pueda de alguna forma impregnarse ligeramente, y que sin ceder o encoger, la resistencia no sea por lo tanto de tal rigidez que pueda traer grietas mientras la solidificación del bronce se realiza. Para las partes que están tal que no se les pueda penetrar al interior como la cola del caballo, la pata que esta en el aire, la figura del rey, etc, se ha colado una materia fluida compuesta de escayola y de ladrillo pulverizado, que agarrara al interior de las ceras.

Para lo que es del núcleo del cuerpo del caballo, se comienza por enlazar entre las piezas de la armadura atándolas con alambre, destinadas a sujetar una pasta hecha de tierra barrosa, arenosa, de excremento de caballo y de borra. Se da primeramente a esta pasta una consistencia casi líquida con el fin de poder extenderla con el dedo sobre las ceras y hacerla adherir fácilmente por capas sucesivas. Se hace secar poco a poco estas últimas encendiendo al interior un fuego flojo, cuya intensidad no pueda hacer derretir las ceras. Cuando esta capa tiene un espesor de aproximadamente tres centímetros, se le refuerza con tortas de la misma tierra que se tiene cuidado de soldar bien a la corteza y en fin se consolida todo por una bóveda de ladrillos liados con tierra y se hace secar cuidadosamente.

No hay que olvidar por otra parte que el molde no ha sido



montado, y no se montara hasta la mitad de la obra, por eso se trata ahora de terminarle, subiendo sucesivamente hasta encima la cabeza del caballero jinete. Se establece a medida que las armaduras destinadas a sujetar el núcleo y, a media medida, también, siguiendo los mismos procedimientos ya indicados, se aplica en el interior de las ceras adheridas al molde, la tierra que constituye el núcleo. Es preciso tratar de economizar las entradas, en la masa de este último, para dar así mismo salidas al metal en los sitios que remontan (suben), como por ejemplo, los pliegues de las banderas, a fin de que el bronce fundido se reparta con igualdad por todo, sin interrupción.

Acabado todo, se desmontan los cimientos del molde de arriba a bajo de manera de hacer aparecer la figura modelada en cera.

Se despoja a continuación la corteza de cera en trozos fáciles de reconocer, y a localizar, de manera a poner el núcleo a la vista.

Se han consolidado las juntas y se les redondea con cuidado las partes salientes que podrían obstaculizar la colada del bronce. Se ausculta el núcleo de manera de asegurarse de no encontrar partes débiles o huecas, se le repara si hay lugar a ello, y finalmente se le hace cocer, encendiendo fuego todo alrededor en el foso y dentro, bajo la bóveda de ladrillos de que se ha hablado. Se penetra al interior por una abertura preparada sobre la grupa del caballo, y que se recubre por una placa de chapa, tan pronto que el fuego está encendido, para concentrar el calor: el tiro se hace por chimeneas preparadas en el interior del cuerpo del jinete y saliendo por encima de la cabeza.

Se comprende que, para toda esta continuación de operaciones, y desde que el modelo en escayola ha estado bien compuesto y acabado se ha terminado las construcciones de la fosa y taller que se ha cerrado y cubierto para hacer un lugar de trabajo abrigado.

## REPARACIÓN DE LAS CERAS

Cuando el núcleo es bien sólido y que ha alcanzado su forma definitiva, se trata de reposar las ceras pero antes se las reparara tanto como sea posible por medio de cinceles de hierro o madera según los casos.

La estación propicia para hacer este trabajo, no será ni el invierno ni el verano, pero sí un tiempo intermedio como la primavera o el otoño.

En verano las ceras están demasiado blandas y pegajosas y en invierno están demasiado rígidas y expuestas a agrietarse. Cuando cada pieza de cera ha sido reparada con detalle, tanto como es posible hacerlo sobre cada una de ellas separadamente, se les reúne sobre el núcleo según las señales que se han preparado. Así, el escultor que ya no tiene el cerebro calentado por el trabajo febril de la concepción, puede contemplar su obra una última vez, en su conjunto, para retocarla y perfeccionarla en un sentido más sosegado.

En todos los casos, este trabajo último, no podrá tratarse más que sobre los detalles de ornamentación o sobre ciertas expresiones de la cara, sin poder modificar el movimiento, ni la altitud general que están fijadas absolutamente por el núcleo de masas, y las armaduras que le sujetan.

Se precisará tener gran cuidado en el caso de las modificaciones de detalles hechas en el último momento, hubieran tenido por resultado cambiar un poco el núcleo de manera correspondiente para no correr el peligro, habiendo disminuido demasiado la cera, de hacer la colada del bronce difícil o bien, habiéndola demasiado, de tener sitios para un exceso inútil de materias.

Antes de reposar las ceras sobre el núcleo, se ha clavado en éste, clavos cuyas anchas cabezas se reúnen con alambre de latón. Es sobre esta especie de enrejado donde se ponen las ceras, luego, para unir las bien, unas con otras y con el núcleo, se cuela en los espacios, cera de la misma composición. La redécilla del hilo de latón, se agarra en esta cera, al mismo tiempo que el núcleo, bien seco, absorbe una cierta cantidad

y llega a ocurrir que la figura de cera, adhiere perfectamente el núcleo y coge una solidez perfecta, como si fuese masiva. Es entonces cuando el artista pondrá la última mano, y cuando juzgará su obra completamente perfecta, tal que como el la desea tener en bronce, no quedará más que poner los tubos y las barras de cera destinadas a producir las entradas, vientos y tira-ceras.

### ENTRADAS, VIENTOS Y TIRA-CERAS

Las barras y las tuberías destinadas primero para permitir la colada completa de las ceras que se harán derretir, luego a colar el bronce, y a la salida de aire, deben de ser de un grosor proporcional a la grandeza de la obra y a las partes sobre las que serán puestos. Las tres principales entradas para la estatua de Luis XIV, tenían 10 centímetros de diámetro aproximadamente, y las más pequeñas correspondían a las manos, y no tenían más que 2 centímetros. Todo este sistema de canalización, visible y posada, rodeaba la estatua, sin alejarse más allá de 6 a 7 centímetros de su superficie exterior.

Se comienza por adaptar las salidas de cera, o tira-ceras, observando cuando hay partes separadas, de hacer salidas de comunicación, de manera que no haya ningún sitio donde la cera no se pueda desaparecer. Estos tubos están sujetos según la obra, por medio de lazos, que son cuerdas de cera más menudas y dispuestas de tal manera que puedan comunicar la cera en las digamos alcantarillas que desembocan en una salida general, para las partes que no lo pueden permitir. Se podrá poner uno, por ejemplo, a cada pié de la figura del rey, uno al comienzo del brazo extendido, uno a cada pié del caballo, uno a la cola y dos bajo el vientre.

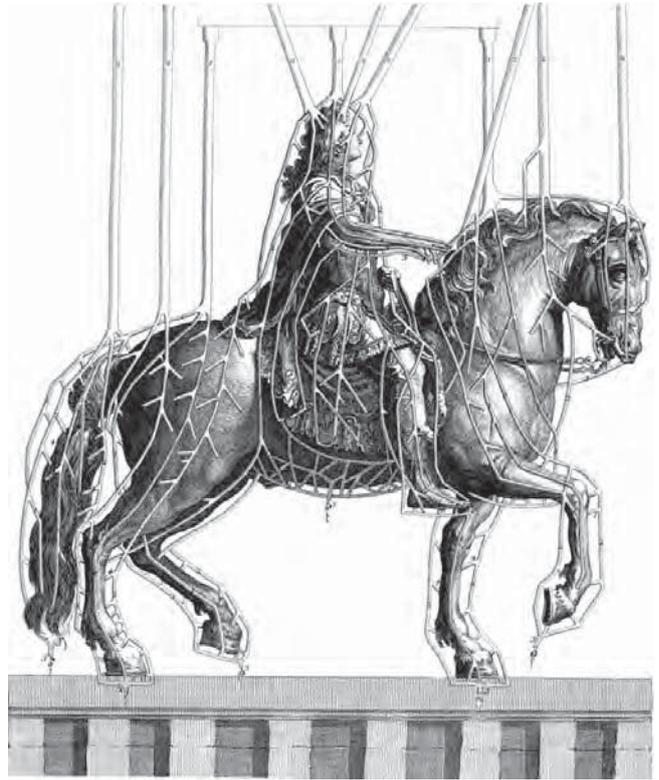
Las ceras de la cabeza del caballo fueron llevadas a lo largo del pecho del caballo, hasta la alcantarilla de las piernas delanteras.

Para las entradas y los aires, se les pone de tal manera que se correspondan bien: descienden ellos también, desde lo alto hasta abajo, siguiendo los contornos de la obra, se atan de la misma manera que se viene leyendo. Se había hecho para la estatua ecuestre de Girardon, tres entradas (ataques) principales: uno sobre la cabeza del Rey, tres sobre la cabeza del caballo y el último sobre su grupa.

En cuanto a los aires, fueron del número de siete: tres sobre la cabeza del Rey, tres sobre la cabeza del caballo y el último sobre su grupa. Cuando toda esta red de comunicación es terminada, se corta resueltamente las extremidades superiores de los ataques, y aires, y se les cubre de manera a evitar que puedan introducirse accidentalmente o por descuido, materias extrañas, que comprometan el éxito de la colada. Luego, para asegurar absolutamente la unión del núcleo y las ceras y descartar toda posibilidad de accidente, se clavan en las partes donde la acción de pesadez puede tender a separar la capa de cera (como bajo en vientre del caballo, por ejemplo), largos clavos en cobre que penetren profundamente en el núcleo, y en los que la ancha cabeza, se ahogará en la cera. Después de lo que conviene proceder a la confección del molde de chamotas y tierras, que, cubriendo todo, deberá contener el bronce. Pero, importa, antes de ir más lejos, observar la cantidad de cera que ha podido entrar en la ejecución de todas estas operaciones por lo que el peso del metal, será diez veces el de la cera. Para la obra de que hablamos, el peso total de cera, fue aproximadamente de 3.000 Kilos, lo que indica que será necesario fundir.

### MOLDE EXTERIOR DE CHAMOTAS Y TIERRA

Los fundidores hacen su chamota de diferentes maneras, según las obras y las materias que la localidad donde trabajan ponen a su disposición. Los de la estatua de Luis XIV habían mezclado 3 partes de tierra de Chatillon con un cuarto de excremento de caballo esta mezcla bien movida reposa durante un invierno, luego fue secada y finalmente tamizada y por dos veces diluida, secada y pasada al



Tamiz para ser entonces adicionada de dos partes de polvo muy fino de ladrillo refractario.

Todo fue disuelto de nuevo, y pasado por el colador de manera a formar una pasta colante. Se ha comenzado entonces por extenderlo con pincel sobre las ceras, cuatro capas sucesivas de esta masa bien líquida, adicionada de clara de huevos, para darle más elasticidad. Después se continúa dando capas hasta 24 veces, procurando de no dar una capa hasta que la precedente no esté completamente seca; se llega así a un espesor uniforme de 15 milímetros a 2 centímetros.

Se ha añadido entonces a la chamota, mitad de tierra roja, de la misma calidad que la del núcleo, y se llena con esta pasta suficientemente colante y apretando bien con los dedos, todos los vacíos y las ranuras, en los que la brocha penetra difícilmente.

Se deja secar bien, luego se ha continuado las aplicaciones con el pincel, hasta 40 capas, después de las cuales el espesor alcanza de 6 a 7 centímetros.

En ese momento se pone bajo el vientre del caballo, numerosas bandas de hierro plano, cruzadas una sobre otra, y entrelazadas de alambre, luego unidas a los gruesos hierros de la armadura del núcleo, que salen fuera de las ceras. Se practica la misma operación alrededor del brazo extendido, alrededor del cuerpo y de la figura del rey, y en general en todos los sitios donde se podía temer que el molde vacilase, bajo la acción de la pesadez, y nos viniese a separar de las ceras.

Después del primer bardaje, se ha empleado solo para la confección del molde, tierra roja pura, mezclada de borra que se ha extendido con los dedos lo más igualmente posible, hasta que el espesor total haya alcanzado 25 a 30 centímetros.

Antes de comenzar las operaciones esas, es necesario tener broches de igual longitud, sobre lo que es fácil de guiarse para ver los espesores crecientes del molde de chamota y tierra.

Se ha precisado igualmente tener cuidado, antes de posar la primera capa de chamota, de cortar la cera en algunos sitios, tales como el bajo vientre del caballo, y en general en todos los sitios donde las gruesas piezas de la armadura del núcleo, salen hacia fuera. Esta precaución, permitirá más tarde de retirar el núcleo de las armaduras, y tendrá por efecto, de permitir la unión de las tierras del núcleo con las del molde.

Sin lo que, después de derretirse las ceras del núcleo (llamado también macho), estaría en el aire y no llevaría nada sobre las partes superiores del molde de debajo, lo mismo que las partes superiores del molde, no llevando nada sobre el núcleo, las posiciones relativas de las diversas construcciones podrían modificarse al momento de la colada, lo que comprometería gravemente la buena realización de la obra.

## ARMADURA EXTERIOR Y BANDAJE DE HIERRO

La armadura exterior, ha estado compuesta de un gran número de bandas de hierro plano, dispuestas de manera a formar una especie de malla, envolviendo todo el exterior del molde de tierras, en mallas cuadradas, anchas de 15 centímetros aproximadamente. Los montantes verticales están enganchados por debajo de las rejas que están emplazadas bajo el aire que lleva el pié del caballo. Es preciso naturalmente emplear hierro de muy buena calidad, afin de que sin disminuir la solidez, se pueda fácilmente rodearle en caliente sobre el molde para casar bien todas las formas. Si, por casualidad, hay sitios donde el bandaje no toca, se le tendrá fuertemente, poniéndole a fuerza de tejas.

Para consolidar las patas del caballo, se recubrirán los enrejados de hierro de una fuerte capa de tierra, que se sujetará por un segundo bandaje.

## DERRETIMIENTO DE LAS CERAS Y COCIMIENTO

Se puede ver, que el fondo de la fosa está casi enteramente ocupada por galerías sobre las que reposa la reja

que venimos hablando. Se construye primero sobre este enrejado, pequeños muros de ladrillo, que se han cruzado, de manera a formar una serie de esquinas, que permitirán más tarde la libre circulación de las llamas. Estas esquinas desembocan en un gran número de chimeneas formadas igualmente de ladrillos, y que suben verticalmente, más arriba que las partes más elevadas del molde. Luego, los hierros que sujetaban el vientre, la cola y el pié del caballo, salen del molde así como los que sujetaban los pies del rey, están rodeados de un cobertor hecho de ladrillos, para protegerlos contra el ardor del fuego que podría debilitarlos; y en fin, se adapta a todas las extremidades de las salidas de las ceras, tubos en chapa que destapan en sitios alejados de la acción del fuego, lo mismo que la abertura de otros tubos que atraviesan el molde y las ceras hasta el núcleo, permitirán de observar, por el color que tomará este último, cuando estará suficiente y completamente cocido.

Después de que se han llenado todos los intervalos entre el molde, las esquinas y las chimeneas, los tubos, etc., con ladrillazos hasta poner encima de los alto del molde, luego que se haya reglado la superficie para recubrirla de una costra de arcilla de 10 centímetros de espesor que deja paso a los vientos y a los ataques, así como a las chimeneas que venimos comentando. Es entonces solamente que se comienza a encender en tres galerías de cada lado, un pequeño fuego de carbón.

Después de 24 horas, se enciende sucesivamente todas las galerías, y se mantiene el fuego, durante 9 días, cuyas llamas recorrerán las esquinas y se extiende enseguida en los ladrillos que por su contacto, mantiene el conjunto del molde en una especie de baño de temperatura uniforme y moderada: los productos últimos de la combustión se escapan por las chimeneas, que atraviesan la capa de tierra.

Durante esos 9 días, las ceras irán deritiéndose poco a poco y desapareciendo, pero no se han recogido por los orificios más de 1.500 Kilos; el resto constituye un desperdicio del cual la mayor parte se ha penetrado en el molde y el núcleo; una débil porción, descompuesta y destilada bajo la acción del calor, se ha ido en humo por los orificios de los aires y de los ataques.

El fuego ha estado a continuación mantenido durante una quincena de días, después de los cuales la cocción del molde y la del núcleo estando absolutamente terminada así que la evaporación de las ceras, se ha dejado de enfriar. El enfriamiento no ha durado menos de una semana, después de la cual se han levantado los ladrillos, los tubos de observación y de salida, las esquinas etc., y el molde, listo para la colada, se pone sobre el área de la fosa.

## ENTERRAMIENTO DEL MOLDE

El enterramiento consiste en llenar toda la fosa, debajo y alrededor del molde, de manera a no hacer más que un solo bloque en el que no exista otro vacío que el espacio donde estará la colada del bronce. Tiene por efecto consolidar el aire y el molde para que el peso enorme del metal que se ha vertido en la fosa, no haga derrumbarse todo. Se ha comenzado por tapar las galerías bajo el aire con albañilería hecha con morrillos y una mezcla de escayola y tierra cocida, bien pisada, luego una albañilería parecida ha sido montada bajo el vientre y entre las patas del caballo y finalmente todo alrededor del molde, se tasa con tierra de ladrillos y pilones de cobre por capas de 20 centímetros de espesor, que el batirlo reduce 15 centímetros. Como es de temer, que esta tierra de humedad al molde que ha dado tanto trabajo para secarse, se le ha mezclado escayola, y se ha protegido el molde, dándole una capa de brea. A medida que el enterramiento avanza, se tapa con tampones de tierra los orificios de las tiras-ceras, así como los agujeros que habían sido hechos para juzgar el conocimiento del núcleo.



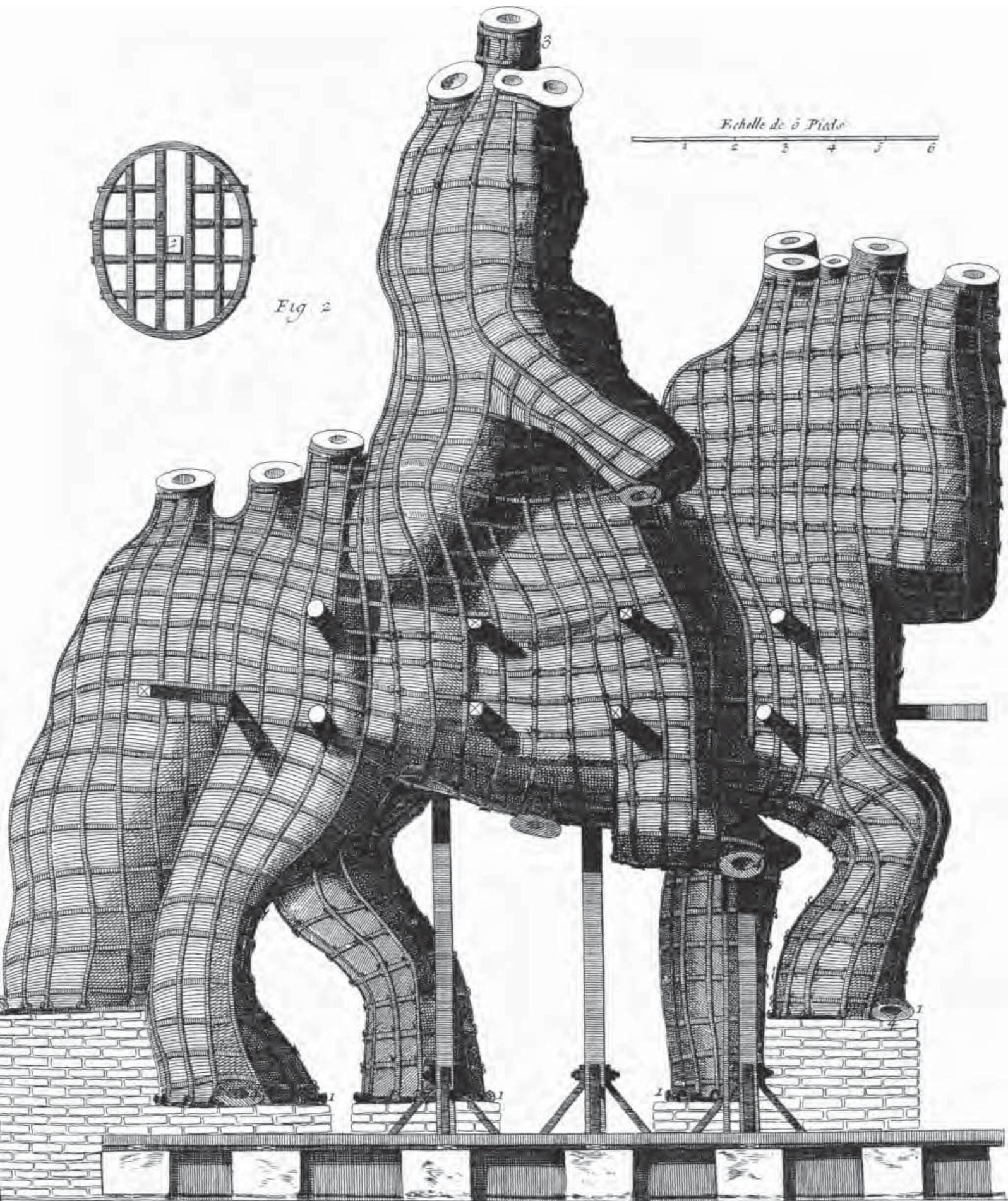


Fig. 2

Echelle de 5 Piato



**ESTUDIO SOBRE EL VACIADO A LA CERA PERDIDA DE LA ESTATUA ECUESTRE DE LUIS XV VACIADA EN UN SOLO BLOQUE**

*Le Bronze d'art et ses techniques.*  
 Jean-Pierre Rama, páginas 210-214

Para familiarizarnos mejor con las diversas operaciones, la terminología técnica y el proceso de fabricación de un molde en cera perdida, usaremos como referencia de estudio el método de ejecución de la estatua ecuestre de Luis XV del escultor francés Emile Bouchardon (1698-1762)

Nos ayudaremos de dibujos de la época, realizados por Pierre-Jean Mariette en 1768. Esta estatua fue vaciada en un solo golpe, es decir, de una sola vez sin ningún trozo o sección vaciada aparte y añadido a continuación. En su época, este trabajo, que ocupaba varios años, era considerado un proceso técnico en si mismo, más aún cuando se consideran las dimensiones y la importancia de la estatua (7 metros de altura, un peso de 30 toneladas en bronce...).

Esta obra fue vaciada por Jean Baltasar Keller. El método de trabajo, el ritual que permitió la realización de esta obra, es aún, con algunas variantes añadidas, utilizado en nuestros días.

Los términos técnicos son a menudo los mismos en la actualidad, solo los materiales son diferentes. Esperamos que el lector encontrará en este estudio un soporte que le ayudará a seguir mejor los pasos de la obra dedicada al vaciado a la cera perdida.

**EL TALLER**

Ante las dimensiones imponentes de la estatua, el equipo comenzó a construir los andamios de fundición. Hay que remarcar el horno de reverberación situado bajo la fosa en la que se realizará el trabajo. La fosa servirá asimismo de horno para deshacer la cera. Igualmente se remarcarán las grandes vidrieras que permitirán tener claridad hasta el fondo de la fosa (dibujo 1).

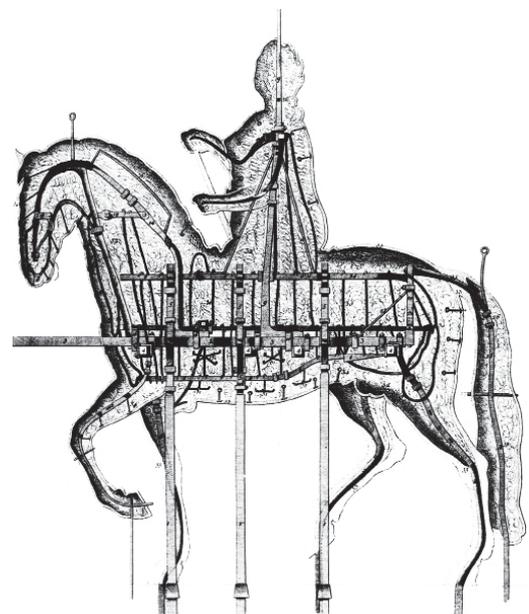
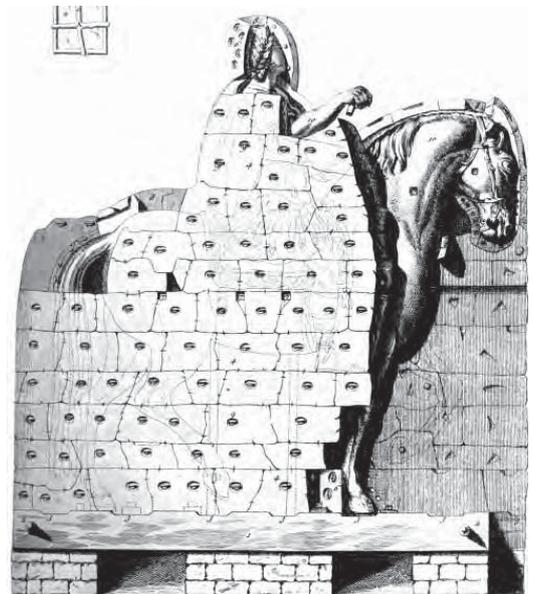
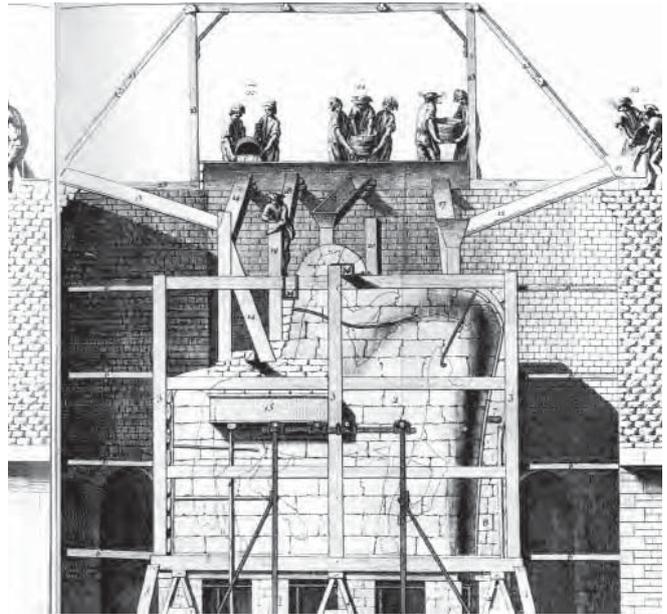
**EL MOLDE PARA OBTENER UN BUEN NEGATIVO**

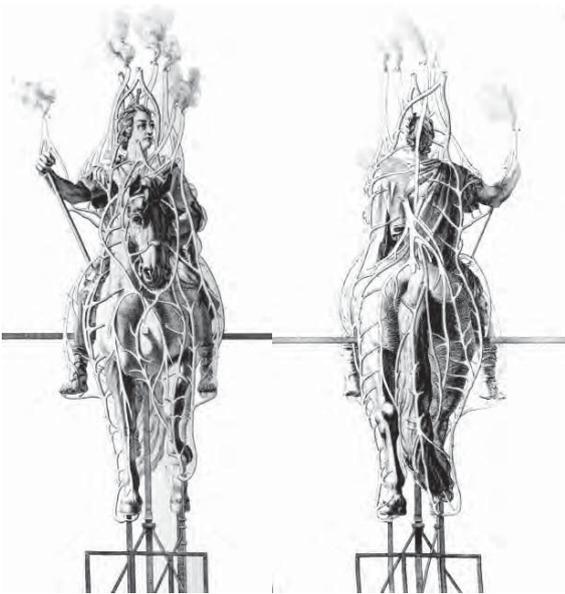
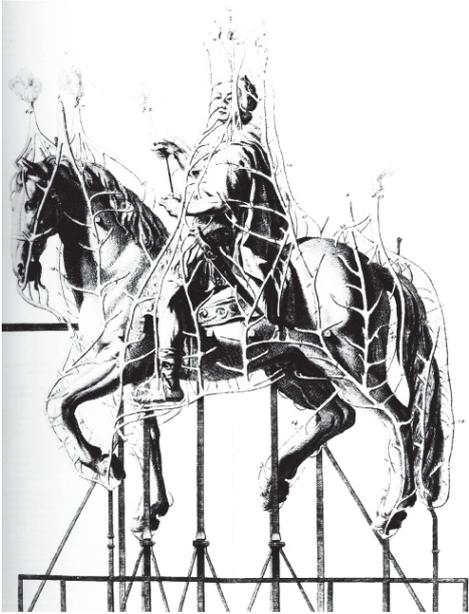
Se trata de moldear en hueco el modelo y tenerlo de nuevo lo más fielmente posible, sin alterar la finura del modelado. Para ello, se ejecutan un gran número de pequeños terrones en yeso llamados "piezas", todas marcadas con números de guía para relacionar unas con otras, con el fin de poderlas volver a colocar correctamente después de haberlas sacado del molde del modelo original. Los terrones son vaciados y colocados unos contra otros separados por trapos horizontales de abajo hacia arriba.

Es conveniente referir que todos estos terrones contienen un gran número de juntas, de rebabas y de costuras. Hay que situar estas juntas sobre las partes que sobresalen de forma evidente y no encajadas en el molde original, de manera que sea más fácil elevarlas y manejarlas.

Las piezas son a continuación encintadas por una tira formada por terrones más grandes que los anteriores, con el fin de poder mover de sitio las piezas y dar mayor rigidez al conjunto del molde con un buen negativo.

Los yeseros comienzan su trabajo con trapos horizontales partiendo de la zona inferior con seguridad y subiendo progresivamente todo el conjunto, apoyándose sobre la fila de piezas ya realizada anteriormente. Serán necesarias numerosas llaves y ciertas piezas serán sostenidas por cuerdas atravesando la tira, con el fin de evitar que caigan mientras se lleva a cabo el trabajo hasta que el





modelo es extraído ( dibujo 2 ).

Hoy, con el uso del molde a la huella soplada, el trabajo será mucho más fácil de realizar. Habrá sobretodo muchas menos juntas y el desmontaje del molde por partes será mucho más fácil sin llaves y sin terrones que pegar después.

### LOS ARMAZONES

Son hierros y barras de parecidas formas que están destinadas a sostener y mantener el núcleo de la futura estatua. En efecto, hasta que el núcleo se haya colado tras la capa de cera, el molde bien revelado será usado como conjunto del núcleo más la estatua en cera, con lo cual tendremos un peso de varios cientos de kilos: no se habrá ni de deslizar, ni deformar, ni romper.

Este es el papel reservado a los armazones.

Este trabajo es de una dificultad extrema, ya que todos los armazones se deben hallar en la situación exacta del futuro lecho de cera, pero no demasiado sujeta para poder exponerse a la forma general de la obra y así adoptar un conjunto eficaz que se parezca al núcleo.

Igualmente, hacemos notar que en esta época la soldadura como tal no existía. Esto da la medida real de las dificultades de este trabajo realizado por los obreros. Además, después de la operación de desencerrado el núcleo se encuentra de nuevo en activo ( como si de nuevo estuviera vivo ), con lo cual el papel de los armazones será el de mantener firmemente en su sitio el núcleo de la estatua hasta el momento del vaciado. Los dibujos 4-5-6-8-9 nos muestran el detalle de dichos armazones. Nótese que la gran mayoría de los hierros quedará en la estatua hasta que el bronce se haya colado. En efecto: será imposible retirarlos todos.

### FABRICACION DE LAS CERAS

Se mezclarán 100 libras de cera amarilla, 10 libras de resina amarilla, 10 libras de terebentina y 10 libras de manteca de cerdo. Se fundirá a fuego moderado la mezcla resultante, sin jamás hacer que hierva la mezcla, de forma que no se altere la calidad de la cera así obtenida.

### EL MOLDE BIEN REALIZADO SE LLENA DE CERA

Se trata ahora de llenar de cera cada pieza de yeso del molde. Para llevar a cabo esta operación, se comienza por empapar cuidadosamente los relieves de las piezas de yeso con un aislante compuesto por grasa, aceite de oliva y de manteca de cerdo. Después, ayudados por cepillos finos de pelo de tejón, convenientemente enresinados, se dan varias capas regulares de cera líquida hasta que se obtiene un espesor de 2 a 3 milímetros.

El recubrimiento de cera se termina colocando con los dedos placas de cera más pastosas y del grosor o espesor que se le quiera dar finalmente a la futura estatua.

Las placas de cera que se han puesto con los dedos deben estar tibias, de forma que se adhieran correctamente a las tiras anteriores de cera, y repasadas con un pincel.

El espesor de la futura estatua no es igual por todos los lados. Las tres patas que soportan juntas el peso de la obra, serán macizas hasta las corvas, y el resto de la estatua hasta la cara del rey tendrá un espesor de 16 mm aproximadamente.

Es el espesor de la cera lo que determinará el futuro espesor del bronce.

### EL MOLDE BIEN REALIZADO Y CUBIERTO DE CERA ES REMONTADO DE NUEVO

De nuevo se levanta aproximadamente hasta la mitad de la obra ( dibujo 9 ), de tal forma que se pueda vaciar el núcleo de las patas, de la cola, del vientre del caballo e incluso las piernas del rey. Seguidamente, el molde definitivo cubierto de cera, será completamente remontado y el resto del núcleo será vaciado ( dibujos 7 y 8 ).

### EL NUCLEO SE HA VACIADO

A través de la cima del molde, se han previsto unas aberturas para poder colar la décima parte del núcleo y eso en varios sitios ( cabeza del rey, cabeza del caballo, grupa, etc..). ( Dibujos 7 y 8 ).

Los obreros denominan el núcleo como " El alma de la obra " y la composición del mismo se ha realizado de una manera determinada, por lo cual consideran que tiene ciertas cualidades.

El molde debe ser refractario de forma que no pueda ni derretirse ni estallar bajo la acción del bronce líquido.

Debe ser también permeable.

Los obreros usan el termino " Pouf " para referirse a la porosidad del núcleo. Vale menos un núcleo poroso dejándose penetrar e impregnar poco por el bronce líquido ( hoy nosotros usaríamos el termino remojar ), que el inverso, es decir, un núcleo deslizante, impermeable, frío, generador de pequeñas grietas, de burbujas, de pequeños estallidos de la capa superficial del núcleo expuesto al bronce líquido.

### COMPOSICIÓN DEL COLADO REFRACTANTE PARA EJECUTAR EL NUCLEO

- 3/4 partes de yeso
- 1/4 parte de ladrillo triturado, pasado por un tamiz fino
- Agua

El núcleo se endurecerá y formará un bloque compacto con después de haber sido colado en cera.

### REPARACION DE LA CERA

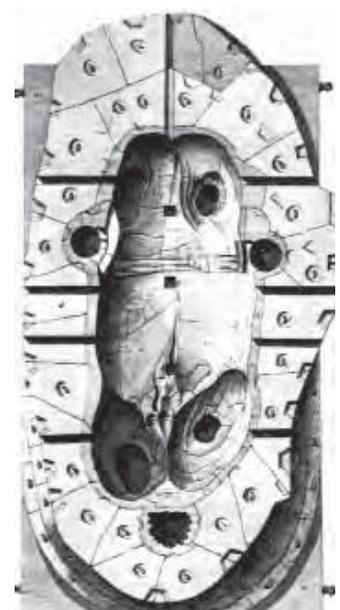
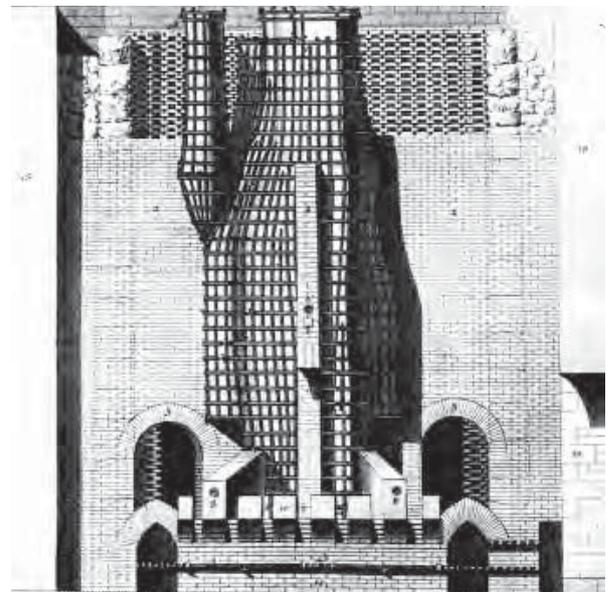
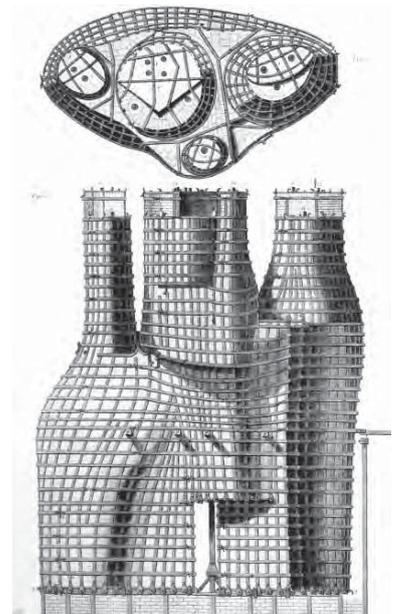
Hasta que el núcleo se haya hecho, después de haber sido colada la mezcla, se puede desmontar el molde y comenzar los retoques sobre la cera. En esta fase de la fabricación, tenemos el núcleo sobre los armazones y la cubierta de cera sobre el núcleo ( dibujo 10 ).

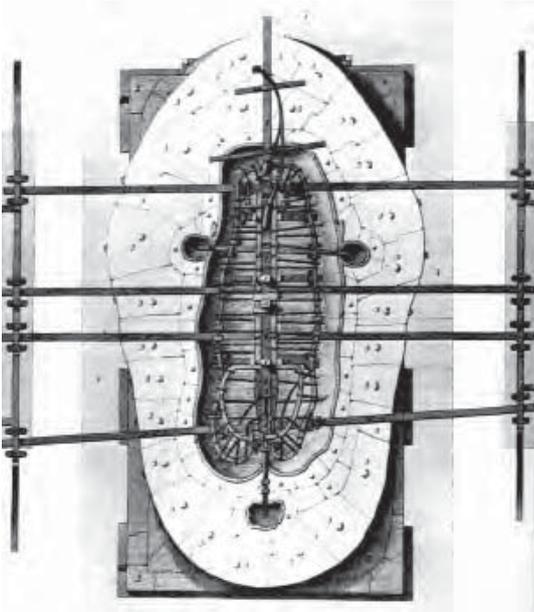
Es en este preciso instante en el que el escultor puede intervenir para solucionar el mismo las inevitables costuras y salpicaduras sobre la cera. Aprovechará al mismo tiempo para reordenar un poco el modelado de su obra. Para trabajar se servirá de espátulas metálicas calientes que funden la cera y permiten reañadirla y retocarla.

Par las partes de cera situadas en las zonas en las que existe riesgo de que resbale el material por efecto del peso ( bajo el vientre del caballo por ejemplo ), se hundirán justo por debajo de esas partes tiras de cuero que fijarán la cera y evitarán su deformación.

### COLOCACIÓN DE LOS TIROS DE COLADA, DE LAS TIRAS DE CERA Y DE LAS SALIDAS DE LOS GASES

La cera ya ha sido reparada en las partes susceptibles de





deslizamiento. Se coloca en las partes inferiores de la estatua unos goteadores de cera que permitirán la evacuación de la misma lejos del molde en el momento del proceso de retirada de la cera.

Los tiros de salida de cera ( dibujo14 ), se sitúan en los pies, al final de la cola, bajo el pecho y el vientre del caballo. En el momento de la operación final, estos tiros son introducidos como hierros calientes bajo la cera de la estatua.

Hay que prestar atención al hecho de que la cera se pueda colar por otros sitios, por tanto hay que vigilar que no se formen bolsas en zonas como a los pies del caballero. En este caso habrá que actuar cubriendo estas partes con pequeños tiros de cera subordinados a los tiros de cera principales. Conviene que la cera de la estatua sea evacuada en su totalidad y hacia fuera del molde, en caso contrario el bronce no rellenará completamente los sitios donde la cera aún se encuentre cogida.

Para los tiros de la colada, distinguiremos cuatro principales: dos a lo largo del rostro y del cuerpo del caballero, uno sobre la grupa y la cola del caballo, y uno finalmente, sobre la cabeza del caballo. A partir de estas salidas principales, un gran número de salidas secundarias, de ramificaciones permiten repartir y controlar la administración del bronce líquido a los diversos lugares de la estatua, con el fin de imprimir lo mejor posible los rasgos originales. Los cuatro tiros principales tenían 10 cm de diámetro y los más pequeños 2 cm de diámetro.

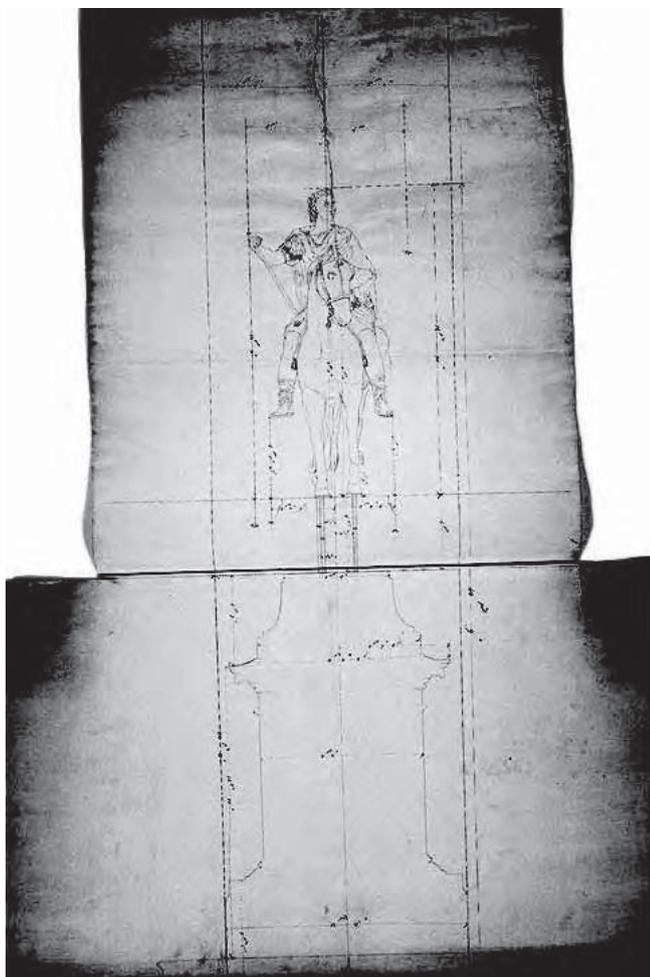
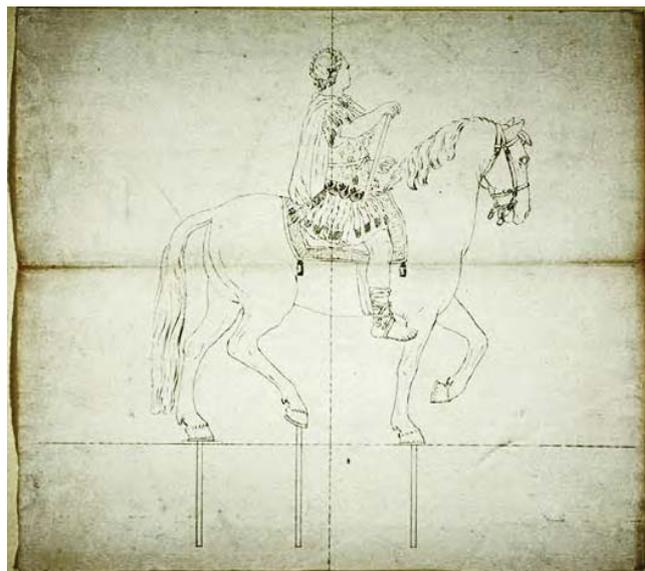
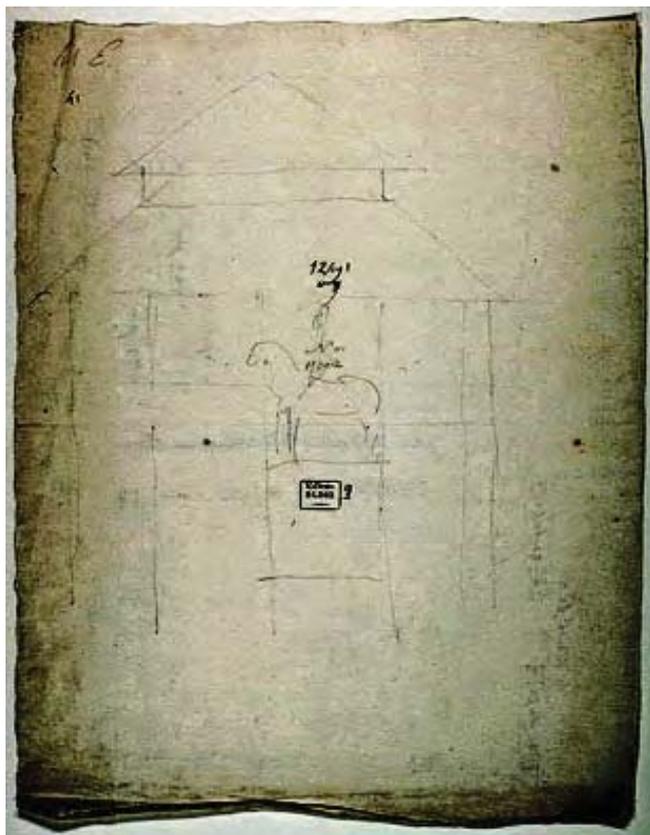


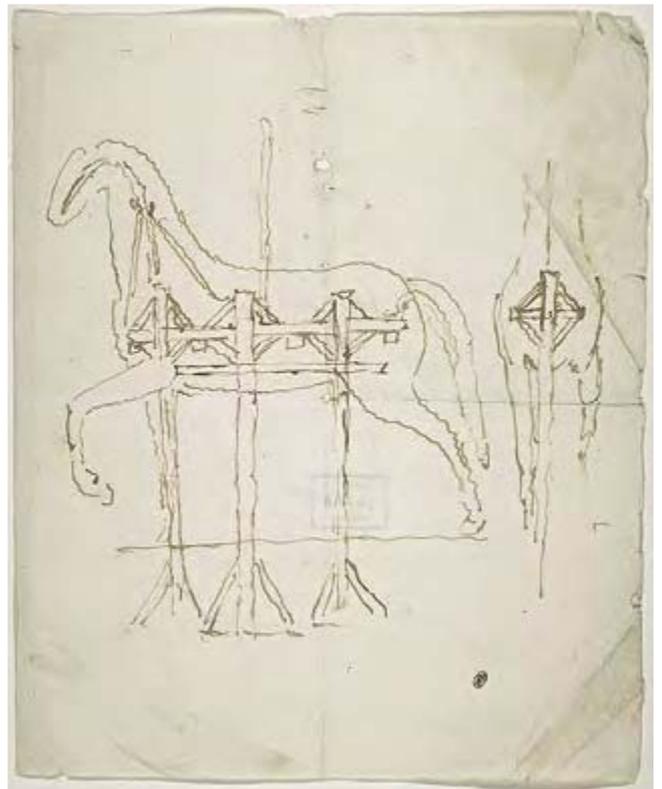
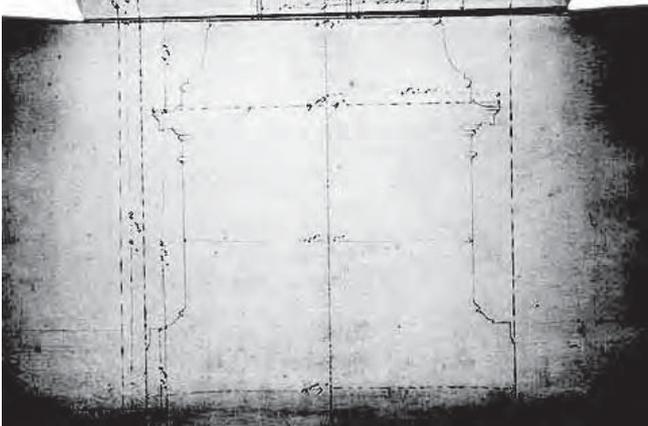
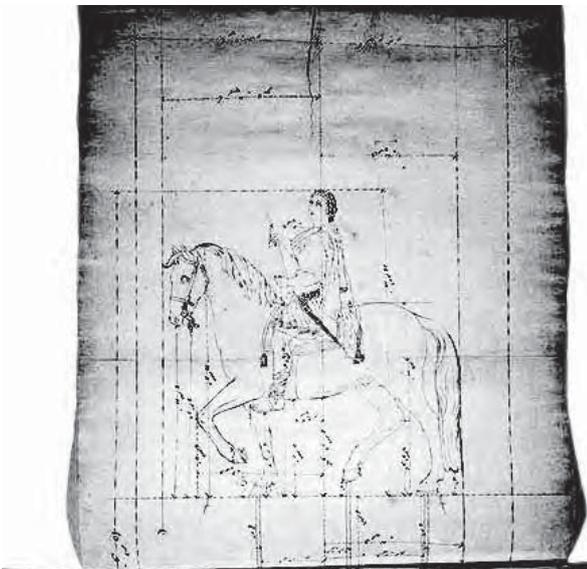
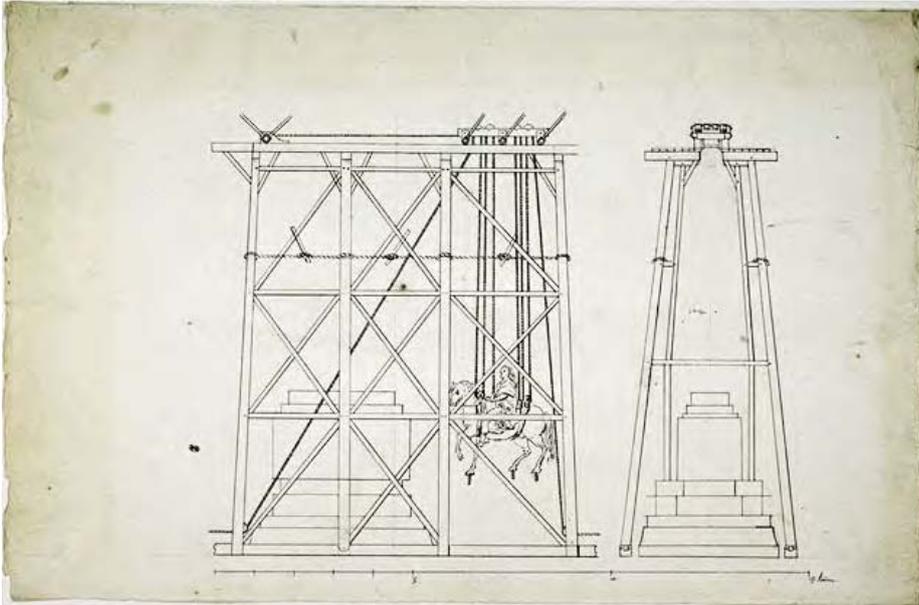
#### LAS SALIDAS DE GASES

Se trata de un elemento independiente y diferente al anterior. Su papel es el de evacuar hacia lo alto del molde el aire contenido en el interior y los gases que se producen cuando se introduce la mezcla o colada del metal. Todos los pequeños penachos de humo visibles en los dibujos 11-12-13 nos indican las salidas de los gases.

Todo este sistema de tiros y tubos, de salidas de gases y de sistemas de entrada y salida se situarán a una distancia de 5 a 7 cm de la estatua de cera.







23. Coupe de l'atelier contenant la statue équestre de Luis XV, Edme Bouchardon, Museo del Louvre, inv. 24363.9v

24. Estatua ecuestre de Louis XV, Edme Bouchardon Museo del Louvre, inv. 24713r

25, 26 y 29. Boceto de la estatua ecuestre de Luis XV sobre el pedestal con medidas, Edme Bouchardon Museo del Louvre, inv. 24750.Ar

27. Estructura para elevar la estatua ecuestre de Luis XV, Edme Bouchardon. Museo del Louvre, inv. 24363.10r

28. Boceto de estructura para soportar el peso del barro de la estatua ecuestre de Luis XV, Edme Bouchardon Museo del Louvre, inv. 24363.5r

## DESCRIPCIÓN ANALÍTICA DEL PROCESO DE PREPARADO Y FUNDICIÓN DE LA ESTATUA DE JOSÉ I

Traducción del Portugués de Jose Antonio Trigo Machado de Castro, 1757. Páginas 132-144.

Cuando Bouchardon completó el modelo de la estatua de Luis XV, en la que trató de imitar su forma, no fue el fundidor el Sr. Gor el que se encargó de esta operación, se eligió para ella el mas hábil modelista en yeso que se encontraba en París ( Mr. Levasseur), pero tal vez el raro talento del ingeniero no precisara de esta ayuda.

Bajo su dirección y sirviéndose de hombres fornidos y con poca preparación en estos trabajos, consiguió hacer una forma segura, pero enormemente exacta: es como lo que les sucede a numerosas personas, que desconociendo el mecanismo de la forma desean tener del mismo algún conocimiento, o al menos conocer previamente alguno de sus efectos posteriores... aunque parezca al principio estar fuera de todo propósito darles una noción de esta maniobra por la cual el bronce toma finalmente la misma forma que el modelo en yeso, con lo que la ejecución de la estatua en yeso es realmente la ejecución real de la estatua.

Esta invención de moldear en yeso ha sido muy útil a las artes del diseño, y especialmente para la escultura. Lysistrato Sicyonio, escultor, es hermano del celebre Lysippo y, dicen, fue el primero que uso esta técnica.

Sin entrar directamente en el método usado en sus principios, el proceso que ordinariamente se sigue para fundir las figuras es de este modo:

El yeso debe cocerse de modo que quede preparado propiamente para este fin, dado que se le pueden dar diversos cocimientos para diversos usos. Tras picarlo y cribarlo una y otra vez más o menos finamente, en un segundo paso se vierte en agua, de modo que resulte de la mezcla una especie de caldo espeso, el cual se petrifica en breves momentos.

Este compuesto, como se usa cuando aún está en estado líquido, y dado que tiene una textura pesada al fin y al cabo, se adhiere al objeto con tanta exactitud que se amolda, es decir, se hace molde del mismo, no deja de imprimir el mas mínimo detalle, de suerte que, moldeando algunas partes del cuerpo humano ( rostros, manos, pies, etc.), su resultado tiene tal identidad como el original vivo, con pelo enredado si lo tiene y los granos del cutis se observan perfectamente expresados en la pieza fundida. El yeso, aplicándose líquido, llenaría las cavidades, rodearía las diversas partes, petrificándose después sin que se pudiera variar la forma. Esto plantea un problema al arte.

Para que esto no suceda, y para que la composición de yeso no se pegue al modelo, se unta este con otra composición oleaginosa y la forma se realiza en varias piezas individuales, marcadas cada una de ellas individualmente para que, llegado el momento, puedan unas ligarse a las otras y uniéndose de este modo compongan un cuerpo único.

Acabada la forma de esta manera, se desarma, volviendo a separar cada una de las piezas iniciales, pero viéndose ya la forma definitiva una vez se le ha quitado la gruesa capa que lo cubría: normalmente después de esta operación se obtiene el mismo modelo.

Aparte de este modelo, se cuenta con las piezas que sirvieron de molde unidas de nuevo para hacer un único cuerpo, que con el vaciado forma un auténtico reverso que en sus cavidades internas contiene perfectamente el modelo sobre el que se hizo la forma.

Para hacer la reducción a metal, ese mismo modelo vacio de forma se funde en cera, también mezclada con algo de fósforo, a la cual se le da el grosor que ha de tener el metal. De



esta operación obtenemos en cera otro modelo mas e igual al anterior del que se hizo la forma, con la única diferencia de no salir tan pulida la cera como habría de ser el original y tener como unas costuras o rebabas en diferentes partes que proceden de la imprimación de la cera en las juntas formadas por la unión inicial de las diferentes partes del modelo, sobretudo cuando se trata de una estatua de tamaño grande o colosal: a pesar de estas rebabas, la figura contendrá, eso si, todos las partes y detalles del modelo.

La fundición de la cera, para las figuras grandes, no se realiza estando la forma de yeso montada, sino que se hace sobre cada una de sus piezas divididas y separadamente, de esta forma se puede además dar un repaso (ajuste) a cada una de las referidas piezas de cera, después de lo cual se vuelve a reponer en los moldes de yeso de la que fueron extraídas.

Después de esto, estarán las piezas de cera de la forma que les compete, ya retocadas, y se irán nuevamente armando en la misma forma en hileras para irse creando poco a poco la figura, hinchándose y rellenando el hueco de la cera.

Este relleno interior a lo que se llama carozo o macho, se construye normalmente en una armazón de hierro muy complicada, y de la cual después quedan algunas partes dentro del bronce para que le sirva también de sustentador y consistencia. Una vez acabado el relleno, se va desarmando la forma de yeso y a medida que se van quitando las piezas, va apareciendo el mismo modelo ya reducido a cera, la cual queda incrustada en el carozo o macho, donde se hacen los últimos retoques, dejándolo lo mas perfecto que se pueda conseguir y se desea lograr en el bronce que ha de ocupar con el tiempo su lugar.

Desembarazada la figura de cera de estos retoques, en los que el escultor acaba por perfeccionarla, se pone en la misma figura muchas laminas de la misma cera, que hacen parecer que se ha colocado la imagen en un árbol lleno de ramas secas, sin hojas, cuyos brotes tienen diversos nombres y oficios de los que luego haré mención.

Llegando la obra a estos términos, se le hace encima una segunda forma de barro, el cual después se cuece a fuego. En este cocimiento se derrite toda la cera y va saliendo por los lugares que para este fin se dejaron llamados esgotos. De esta manera queda vacío todo el espacio que ocupaba la cera y ahora en esta forma quedan líneas o canales.

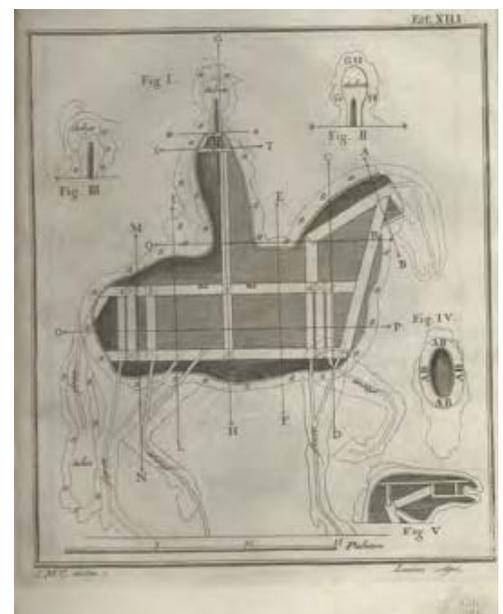
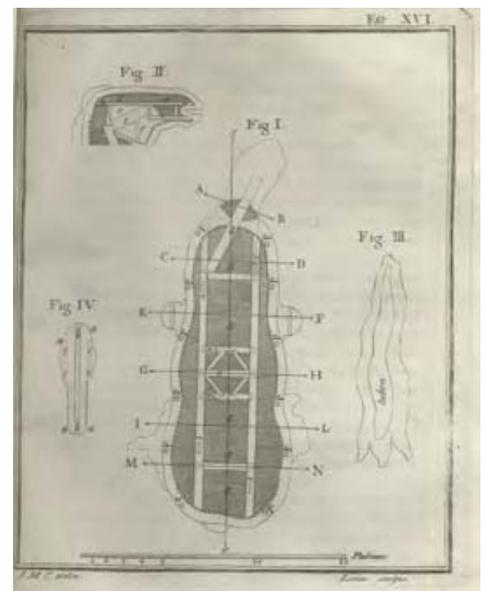
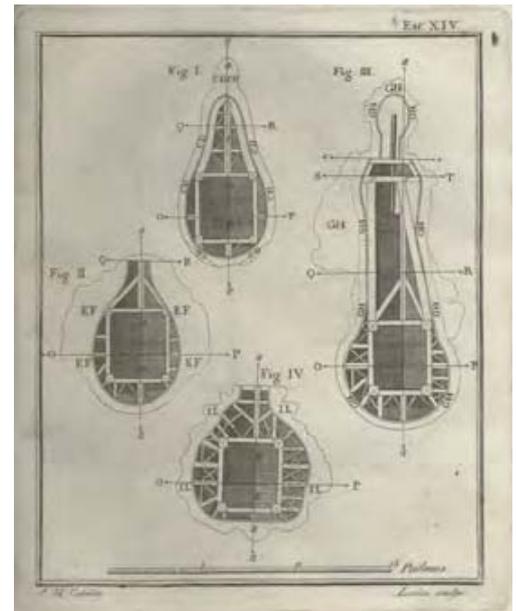
Por estos canales o líneas que quedan de salida, se introduce el metal en la forma, son los gitos, el resto de agujeros o canales quedan para dar salida al aire cuando el metal entra en la forma. Estos últimos se llaman evaporadores.

Fundida la masa de metal que compondrá la forma final, se le tapan las bocas o salidas de los esgotos y, tomando muchas precauciones, se derrite totalmente el metal y se vierte en la forma.

El modo en el que estas operaciones se han ido sucediendo unas a otras, muestra claramente que la configuración que aparece finalmente en el metal es realmente la misma que se extrajo del modelo, y por eso las personas inteligentes llaman al modelo la "ejecución de la obra", porque si el modelo es bueno, buena saldrá la obra, y si tiene defectos no los podrá finalmente evitar la forma: antes es mas fácil fracasar y romper que mejorar en ella: y mejorar el modelo como resultado de la forma es imposible.

Si se hace todo este proceso, tal y como se ha dicho, que es lo único que se puede hacer y es el más perfecto modo en el que se puede ejecutar.

Volviendo pues a la reparación, al retoque, la perfección de la cera como esta operación pertenece totalmente a la escultura, tomé nuevamente la pose del modelo ya reducido a



cera y entre de nuevo a dirigir a mis subalternos con el mismo desvelo y eficacia para que estos retoques se hiciesen con la mayor perfección posible y recomendé y recomiendo que se haga con rapidez.

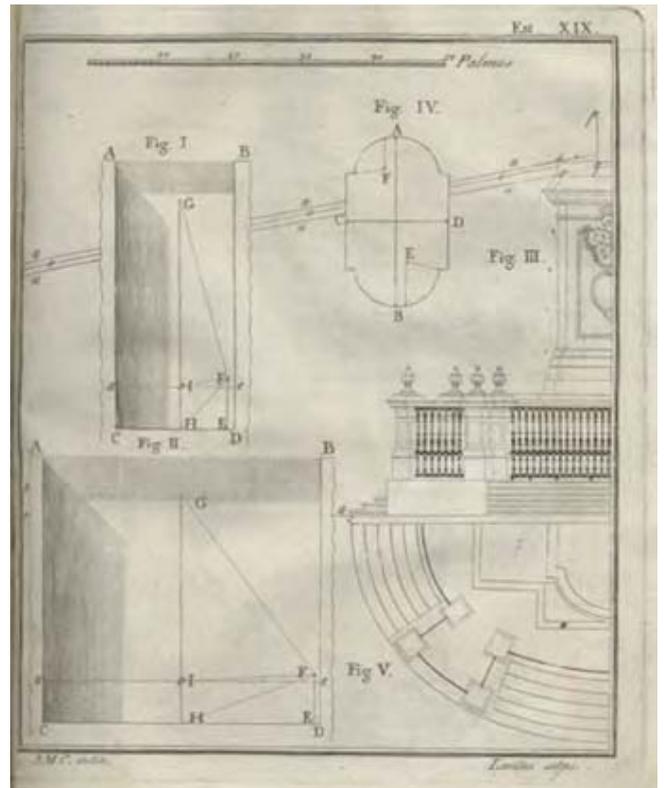
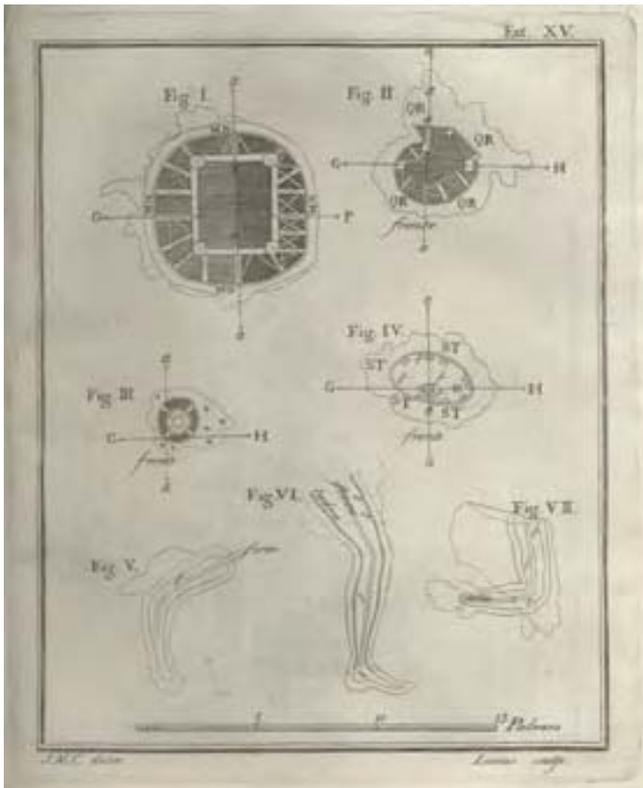
El 11 de octubre de 1773 se inició el trabajo en esta operación de retocar las piezas de cera separadas y se completó el 18 de diciembre del mismo año, y siendo cierto que la perfección del modelo es la perfección del bronce en general no deja de ser también cierto que en el retoque de la cera pueden mejorarse varias particularidades y darles mas gracia, sin que esto sea ajeno al modelo ya que la cera también es propiamente el modelo.

Mr. Girardon y Mr. Rally, cambiaron para mejorar diversas partes en las ceras de sus estatuas, en la cera de la mía alguna cosa cambié, en todo caso cosas de poca entidad que no se deben explicar y que digo que estas reparaciones en las ceras se hicieron en dos meses con el trabajo efectivo de seis personas y tres mas en las ultimas dos semanas, habiendo entre estos operarios muchas desigualdades entre capacidades y agilidad.

Rally, como se vio totalmente juez de su libertad y tiempo, muy juiciosamente no quiso ayudarse de manos ajenas, también Buchardom se sirvió de dos ayudantes en estas reparaciones, y Girardon batalló tanto, por los obstáculos que le sucedieron que acabó con serias alteraciones a las que fue llevado por su deseo de tener buen acierto.

En fin, en la estatua de que trato después de incustrada la cera (ya retocada) en el carozo o macho de forma, se le acabaron los últimos retoques y en esta situación es en la que yo le hice las pequeñas variaciones a las que antes me he referido en cuyo trabajo se emplearon tan pocos días que por su pequeño numero me olvide de referirlas en mis memorias. Y como ya en este tiempo, con toda prisa se trabajaba de día y de noche el las piedras de los grupos laterales, en el siguiente capitulo describiré el modo con que dispuse esta maniobra para la finalización correcta de toda la empresa.





## 6.3 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFERENCIADO DESPUÉS DE LEONARDO



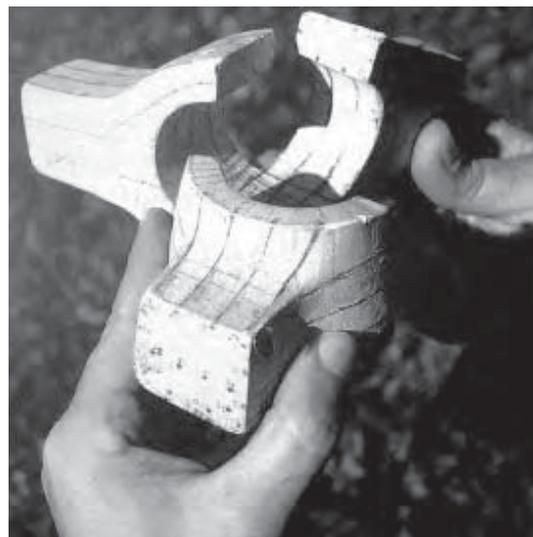


CC

Dentro del capítulo de Francesco Sforza, en la parte de ampliación del caballo, ya introduje los aspectos históricos : sistemas de referenciado en Egipto y Grecia, y los coetáneos de Leonardo. Decidí finalizar el capítulo en la época renacentista, para que, si el lector lo desea, pueda continuar la evolución de los sistemas de referenciado hasta la actualidad, con independencia de la lectura de esta tesis, que mantiene así un corpus renacentista no influenciado por imágenes que pudieran enturbiar ese concepto temporal de la tesis.

La transformación no ha sido en proporción aritmética en el siglo XXI, sino en proporción geométrica. Si bien en los procesos de fundición, seguimos fundiendo a la cera perdida o a la tierra, prácticamente de la misma manera que Leonardo o los griegos, los sistemas de referenciado han cambiado absolutamente a partir de los sistemas de ingeniería inversa, que han desarrollado principalmente las necesidades de la industria automovilística en 1980 y que con posterioridad se han aplicado a disciplinas artísticas.

Recordemos que los procesos de referenciado en el Renacimiento evolucionaron a partir de sistemas de medida agraria y de sistemas destinados





a la edificación.

Así, desde que iniciamos el desarrollo de la tesis, hemos podido ver como proyectos que en su momento fueron de vanguardia absoluta como es el caso de los dibujos realizados por fotogrametría de los caballos de San Marco (fig.10) o el Marco Aurelio de Roma, utilizados para poder profundizar en su restauración, han quedado obsoletos en menos de 10 años y, como si fuera un soporte analógico en un mundo enteramente digital.

Si bien he utilizado algunas de estas técnicas para ilustrar las hipótesis de la tesis, creo que deben mantener cierta independencia de los contenidos de la misma. Es solo un instrumento.

◁1. pagina anterior ma en di ital enerada por arc ivo L de una escultura ordi collde orns

◁2. maqueta de escultura con los puntos de referencia marcados, Eduardo Chillida

◁3. maqueta de la escultura Elo io del ori onte para su ampliación Eduardo Chillida

◁4 y 5. ampliación de la escultura Elo io del ori onte Eduardo Chillida



Antony Gormley produce obras contemporáneas transformando el punto de referencia en formas abstractas, cubos, cilindros, delegando a profesionales: modelistas, herreros, etc, la construcción final.

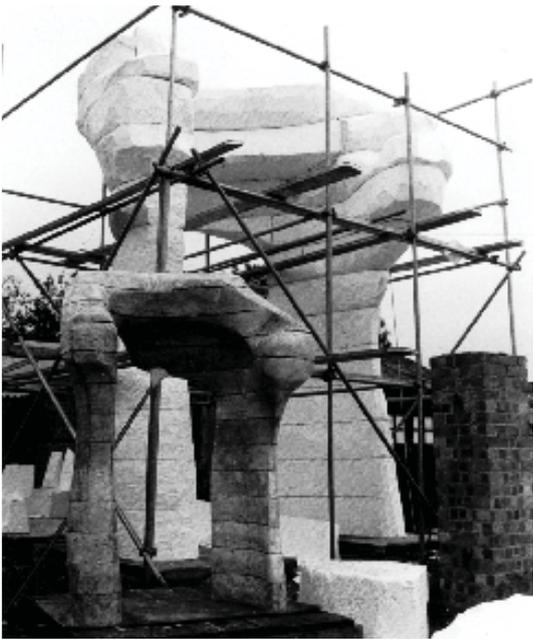


△▽1 y 2. aulas para copia de esculturas, Antony Gormley, 2008





Henry More desarrolla en su taller numerosos procesos de ampliación debido al éxito de su obras de gran formato.

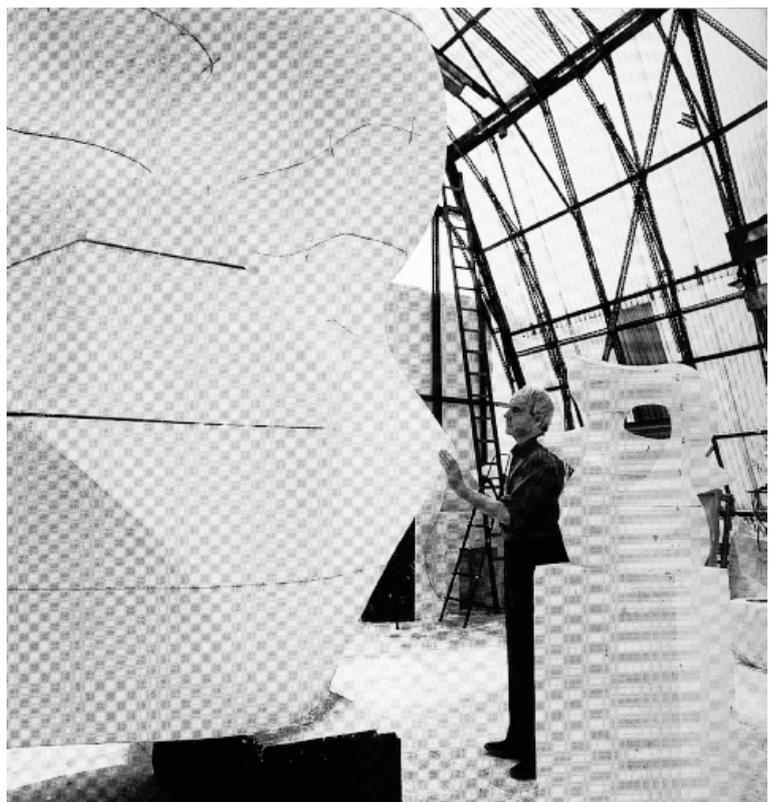


△8. Suela para ampliación del retrato de Juan de Borbón, Víctor Ochoa, Madrid

<9. Modelo rco su ampliación en poliestireno expandido, Henry Moore

▽6. Suela para moldear escultura, Henry Moore, 1968

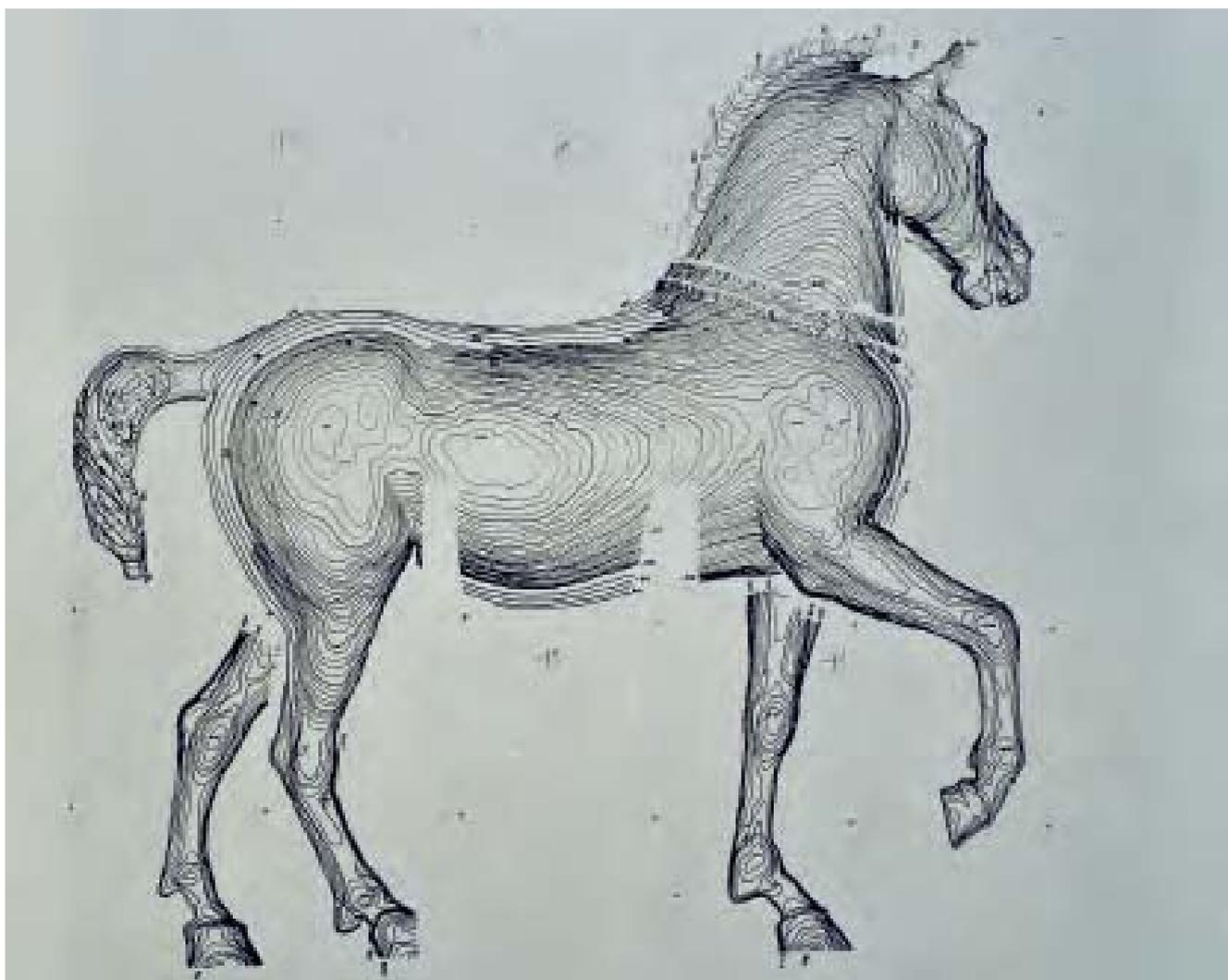
▷7. Proceso de ampliación de moldear escultura en poliestireno expandido, Henry Moore, 1974



--



▷▽10, 11, 12, 13 y 14. Otro rametr a de caballos de an arco,





El concepto de ingeniería inversa necesita tres conceptos previos: el CAD , el diseño de un elemento industrial sin su construcción física, el CAE que sería el diseño industrial para su fabricación y ya como realidad física y el CAI, que correspondería a un sistema de inspección para comprobar que el proceso industrial es eficiente y fiel a su proyecto inicial.

Ejemplificando en la producción de un coche, el CAD sería el diseño sobre plano mediante programas de desarrollo informático, el CAE sería la impresión tridimensional de esta información mediante sistemas de rapid prototipe (prototipo de una sola pieza) habitualmente realizado en pasta master por escultores primero a una escala reducida y posteriormente a escala 1:1.

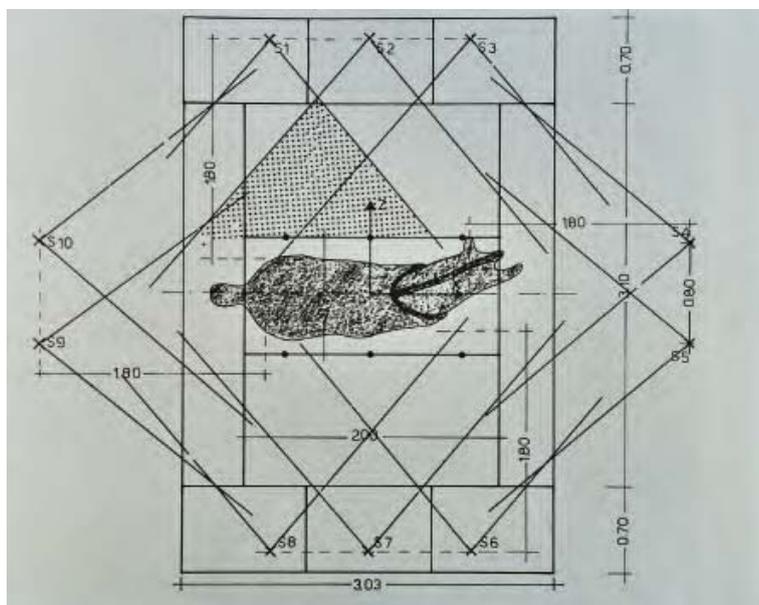
Finalmente aplicaríamos sobre este modelo el sistema CAI que mediante un sistema de referenciado o medida precisa (por ejemplo mediante palpadores de contacto entre los 70 y el final de siglo XXy actualmente mediante equipos ópticos que realizan la medida mediante láser o luz blanca estructurada y que permiten cotejar el modelo con su CAD inicial. Aquí aparece el concepto de ingeniería inversa: una vez tenemos un modelo correcto, este hay que producirlo en serie, con lo que tenemos que desballestar toda la información para producir piezas independientes y eficientes industrial y económicamente. Así iniciaríamos el siguiente proceso.

La fabricación física de modelos con piezas independientes (puertas, revestimientos, faros, ...) que tendríamos que aplicarlos al contexto de producción de diversos materiales (plástico, metal...). Si aplicamos este concepto sobre una escultura ya realizada tendríamos que a partir de una información digital precisa, obtenida por escáners de luz blanca o laser.

Tendríamos un modelo virtual que nos permitiría reproducir a la misma escala, ampliar o reducir con la fidelidad (es decir, densidad de puntos), que obtendría el sistema óptico y, mediante máquinas de impresión, podríamos reproducir sobre diferentes materiales (madera, piedra, yeso, poliuretano, cristal...) la forma física de ese modelo.

De ahí el concepto de ingeniería inversa: hemos de partir de un hecho real, analizarlo para después poderlo reproducir.

En este capítulo ejemplificaré los procesos de ingeniería inversa que, a partir de mi experiencia profesional, considero que pueden ser óptimos para el desarrollo de esculturas de calidad.



## DESARROLLO DEL PROYECTO DE L ESCULAPI

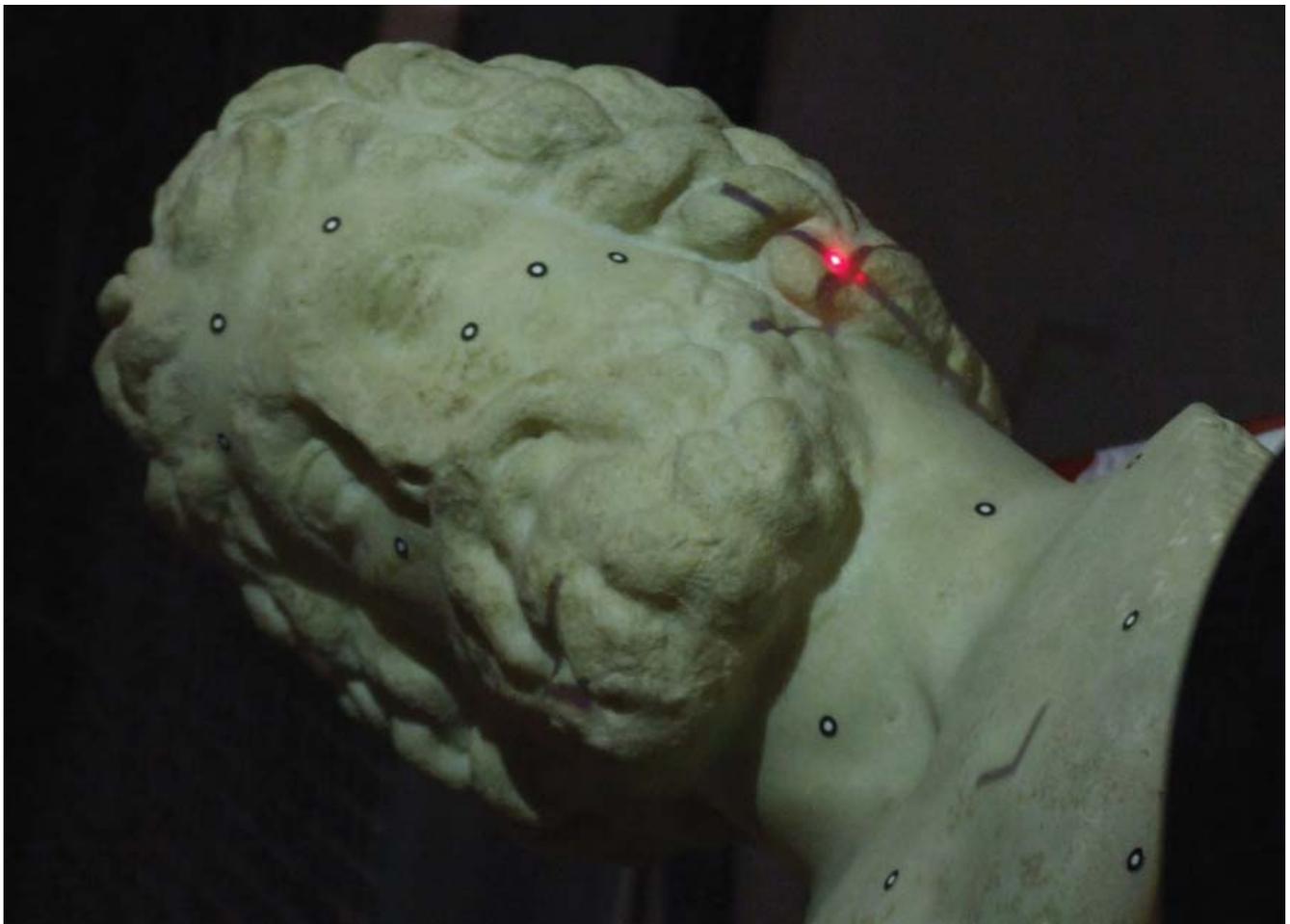
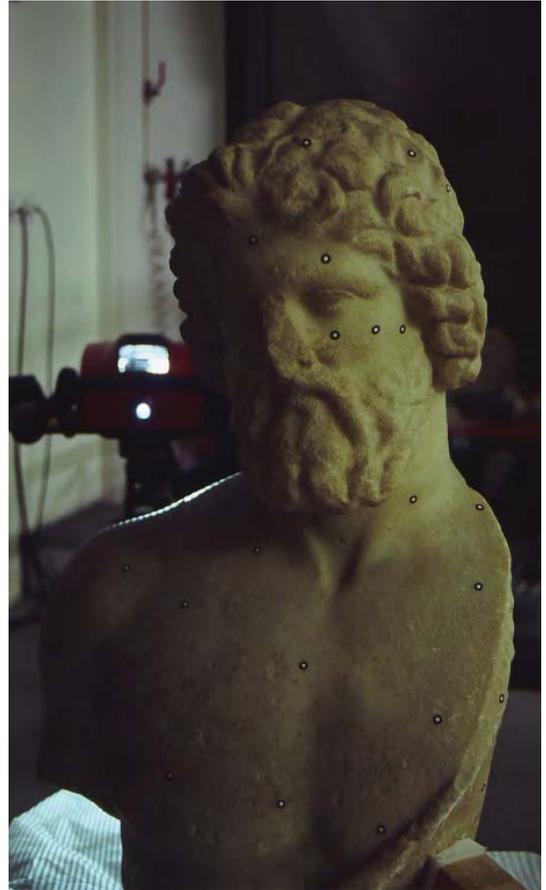
La realización en facsimil de un escolapi de Ampurias pieza griega del siglo II A.C. que quiere reintegrar una copia fiel de la pieza que estuvo en el Museo Arqueológico de Barcelona durante mas de 100 años y que quiere reintegrarla al lugar donde se encontro (Ampurias – Girona)

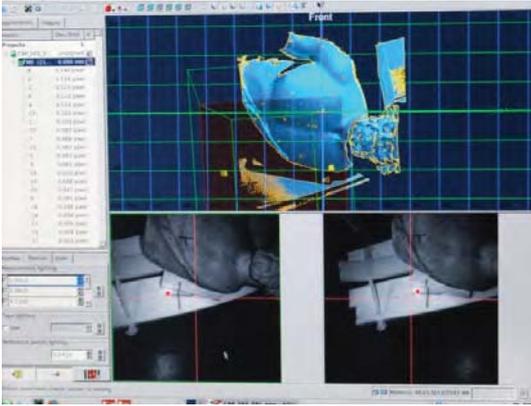
.La realización del facsimil de l escolapi se desarrolla según el siguiente programa de gestión: las necesidades técnicas del proyecto era, por un lado, facilitar información del estado original de la estatua a los restauradores del MNAC que estaban procediendo en ese preciso momento a la restauración de la escultura y, por otro, tener un archivo fiel para poder realizar un facsimil preciso de color, tamaño y forma del original como material científico de estudio y archivo futuro para la impresión tridimensional de la escultura. Definidos los objetivos se digitalizó primeramente el escolapio original, este archivo se gestionó que describieron mapas precisos para describir las actuaciones de consolidación, marcas de herramientas, etc, genera un archivo original, que puede compararse con el archivo posterior con la estatua una vez restaurada a partir de los 84 fragmentos de pequeño tamaño con los que concluyó la restauración definitiva.

De ese mismo archivo final se ha podido realizar una copia fiel para recibir a los visitantes en el museo de Arqueología. Una vez restituida a su emplazamiento original en las excavaciones de Ampurias, se decidió mantener una copia exacta del original en el museo de Barcelona.

El proyecto se desarrolla a partir de una selección de mármoles de Tassos ( busto y brazos ) y del Pentélico ( tunica y pies). Esto viene motivado por que la cantera original de Pharos está agotada desde el siglo II.

▷▽15 y 16. i itali ado con esc ner de lu blanca estructurada de la escultura ori inal del Escupali de Empuries, realizado por Jordi Colldeforns de Universitat de Barcelona, 2006. MNAC, Barcelona



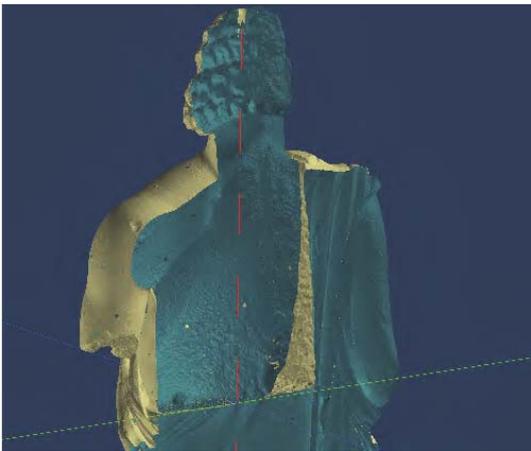


La gestión del proyecto es una reproducción a escala 1:1 que necesitaba, al ser mármol, una máquina mucho más robusta que en el proyecto de Antonio López pag. 596 a 599 con funcionamiento por agua para suavizar la fricción y con multiplicidad de dirección de ataque sobre la pieza. Dadas estas características se decidió usar un robot mecanizado ABS con mandriles de fresa de diamante (fig 21, 22, y23).

El acabado final para dar la sensación de viejo, tiene que ser a mano, no se puede dejar a la máquina, por parte de escultores.

La digitalización generó un archivo base de 1,2 Gigas y con casi 20 millones de puntos. Mediante el programa COPYCAD de fresado para robot.

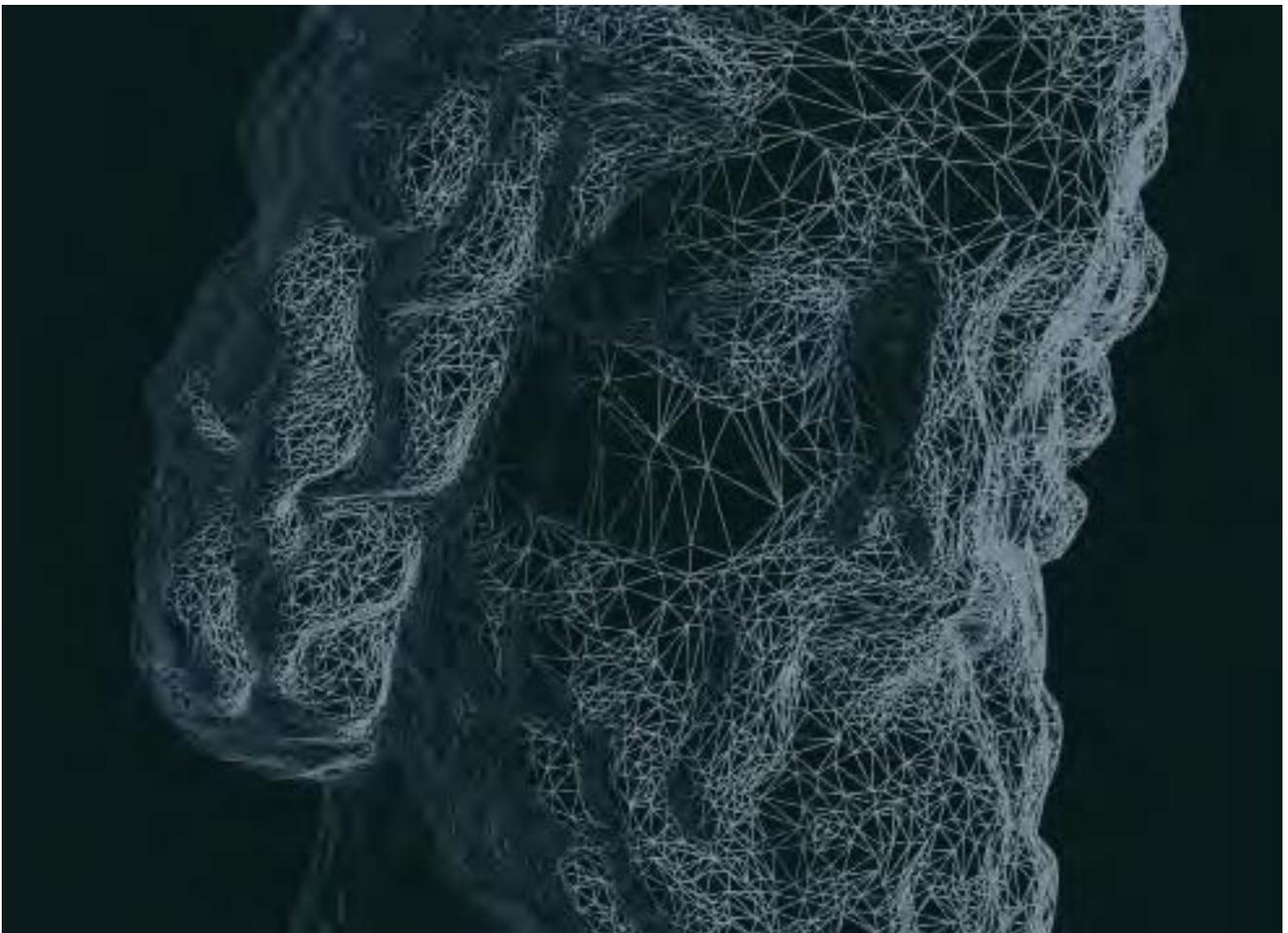
Inaugurada y expuesta en el Museo Arqueológico de Barcelona



△17. Proceso de digitalización del Esculpali de Empuries, render, 2006, MNAC, Barcelona

◁18. Sección del archivo original para su análisis científico, render, 2006, MNAC, Barcelona

▽19. Archivo L para imagen promocional de la exposición El retorn del seu, 2008, Barcelona



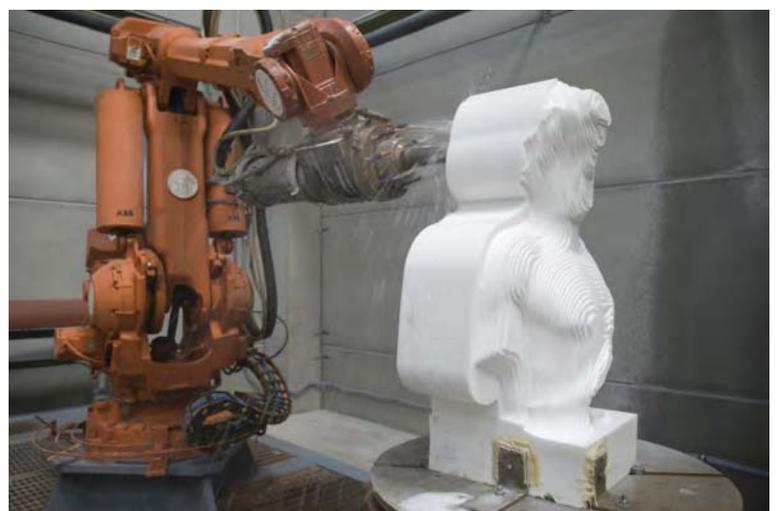
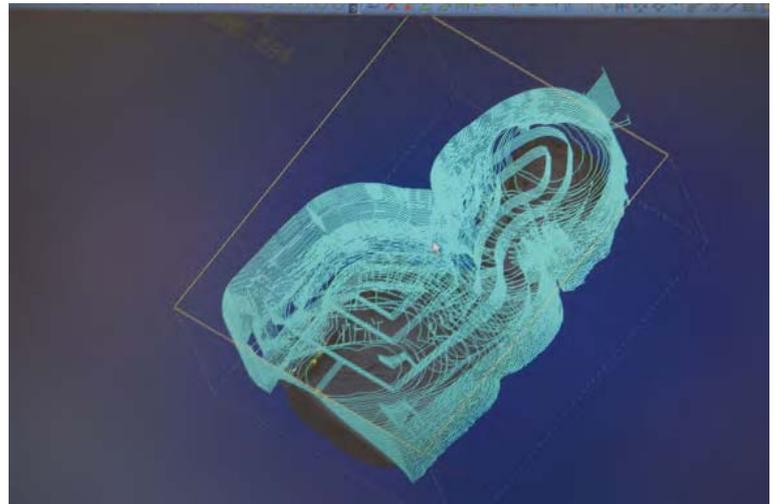




<∇20. Archivo L de los diferentes elementos que componen la escultura del Esculapi, 2008, Barcelona

<∇21, 22 y 23. Primer desbaste topográfico del facsímil del Esculapi, 2008, Barcelona

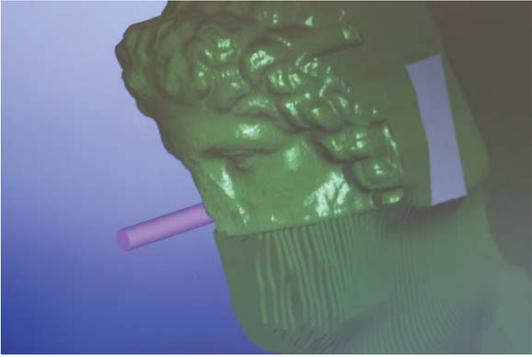
∇24. Sender del programa que transmite la información tridimensional al robot para ejecutar el resado, 2008, Barcelona





▷ ▽ 25, 26, 27 y 28. resado del Escupali de Empuries, fresado por robot de control numérico. Inicio del segundo desbaste  
Linars del Vallés, Barcelona





<29. Sensor del programa que transmite la información tridimensional al robot para ejecutar el resado, 2008, Barcelona

<30. Resado del Escupali de Empuries, fresado con robot de control numérico, 2008. Segundo desbaste. Llinars del Vallés, Barcelona

<31 y 32. Resado del Escupali de Empuries, fresado con robot de control numérico, 2008. Desbaste final. Llinars del Vallés, Barcelona





△33. Corte con hilo diamantado del perfil del cuerpo del acs mil

▽34. acabados del resado del cuerpo del escultura de Empuries





△35. inicio del segundo nivel de desbaste

▽36. resado del cuerpo del Escupali de Empuries, primer desbaste, 2008

▷37. acabados del resado del cuerpo del esculpi de Empuries



En el 2004 El Ayuntamiento de Perpignan planea substituir una Virgen gótica de madera de nogal por un facsímil de la misma madera.

▷1. rimer desbaste de Vir en del XV de erpi nan, madera de nogal, 2004

▽▷2, 3 y 4. Proceso de definición durante el fresado por control numérico





<38. Escultura de Vir en del XV de erpi nan resada por control numérico y acabada a mano, madera de nogal, Barcelona 2004

<39. Proceso de definición durante el fresado por control numérico

▽40. roceso de policrom a del acs mil rente al ori inal en el museo



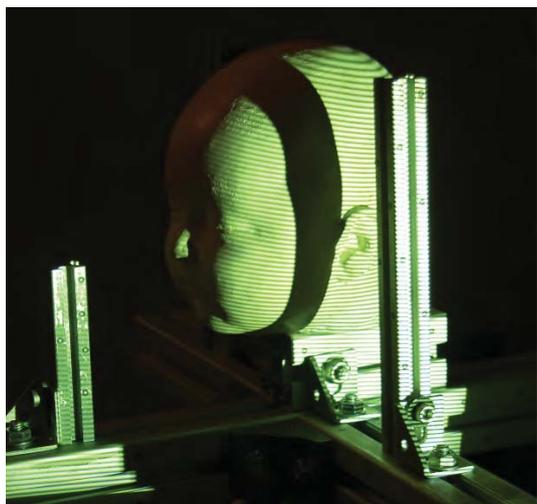




### ESCANEO: REGISTRAR LA INFORMACION TRIDIMENSIONAL

Hay actualmente dos sistemas fundamentales de referenciado óptico: la fotogrametría, en la que podemos usar una cámara fotográfica standard (una D80 de Nikon p.ej) y mediante programas informáticos si realizamos numerosas fotografías alrededor del elemento a referenciar y, situamos sobre el modelo unos elementos "dianas" como círculos adhesivos de 1 cm de diámetro que combinan el color negro y blanco, las fotografías que realizaríamos del referente con estas marcas al tener muchas fotografías desde diferentes puntos, el programa informático es capaz de transformar en tridimensional la imagen y situar en volumen el objeto, ya que puede de identificar y transformar las diferentes dianas presentes.

El segundo sistema es el de scanner, muy parecido al habitual que conocemos de documentos y fotografías. Un primer tipo de scanner sería el de laser, cuyo funcionamiento se realiza mediante una emisión de un haz de puntos proyectado sobre la pieza y recibido por un elemento óptico (cámara de video o digital) consigue con una velocidad vertiginosa, subdividir la pieza como un mapa topográfico con un interlineado de tres centésimas. Cada línea contiene un número determinado de puntos y según nos aproximamos o alejamos del objeto tenemos más o menos información, pudiendo llegar a digitalizar edificios de 50 m de anchura. Un segundo sistema de escaneado es el de luz blanca estructurada, que permite en vez de registrar el modelo por líneas, hacerlo por superficies de fotografía con 300.000 puntos de referencia cada vez que enviamos un registro sobre el modelo. Tendríamos más densidad si nos acercamos al modelo o cambiamos la óptica. El receptor también es una cámara digital o de video. Sería conceptualmente parecido a la proyección mediante un cañón de luz desde un ordenador.



▷▽ 41, 42, 43, 44, 45 y 46. Escaner, Antonio López 2008







#### SISTEMAS DE IMPRESIÓN

Los sistemas de impresión son fundamentalmente dos: los que se basan en la estereolitografía y los basados en fresado por control numérico.

Los primeros convierten la información tridimensional en formas bidimensionales como un mapa de cotas en el cual hay un interlineado en el que se deciden los milímetros y reconstruyen la forma tridimensional superponiendo sucesivamente estas formas recortadas, como cualquier mapa de arquitectura.

Principalmente tendríamos cuatro tipos: Estereolitografía con yeso) que es base de yeso con aglutinante acrílico fijado mediante laser. 2- con poliamida base de plástico fijada con laser, parecida a los contenedores blancos de la industria cárnica 3.- con resina de epoxi) base de resina líquida que se convierte en sólida mediante la aportación del laser que actúa como catalizador, con metal (como cobre y actualmente se están desarrollando máquinas que realizan composiciones con oro, base de viruta de metal con aglutinante fijada con laser.

Los sistemas de fresado por control numérico, lo inventa el ingeniero para poder resolver con precisión la traducción del plano de una hélice. Si se hace manualmente la complejidad de puntos de referenciado es extraordinaria con una posibilidad de error en paralelo.

Por ello diseñó un cabezal que se desplazaba por tres ejes que se desplazaba según la información dada por un ordenador de forma progresiva y modificando en cada punto su altura y orientación.

Su funcionamiento se vertebró sobre tres modos principales: 1- Estructura de tres ejes (fig.44) que permitiría realizar relieves 2- Estructura de cinco ejes) que permitiría el acceso a rincones de mayor dificultad como oreja, nariz y otros recovecos pero que limitan su capacidad de caja, es decir su tamaño mínimo 3- Robot (fig.34) bien conocido por su aplicación a la industria automovilística y que, se cambia el cabezal por un elemento de rotación motorizado con cabezales abrasivos que pueden traducir la información digital trabajando sobre el material definitivo.

Los sistemas de procesamiento de información desarrollados por la industria,

▷▽ 44, 48, 49, . Fresado por control numérico, Antonio López 2008



especialmente rapid form, geomagic, rhinos , permiten esa enorme gestión de volumen de información que genera aproximadamente unos archivos de 370 megas, que se pueden subdividir, transformar y optimizar. Para entender: una sola fotografía de 300.000 puntos de 40 x 40 cm de una superficie, contiene la misma cantidad de información que un coche completo ( con mecánica, interiores, etc) ya que son geometrías puras. El objeto de la digitalización es captar las variaciones y defectos.

Para ejemplificar todos estos procesos he decidido exponer el proceso de elaboración de dos obras monumentales: la primera, un conjunto escultórico de dos cabezas de la obra "la noche y el día" de Antonio Lopez, actualmente expuesta en la estación de Atocha de Madrid



▷▽ 50, 51, 52, . Fresado por control numérico, Antonio López 2008



Por encargo de la galería Malbrough, gestora de los proyectos de arte público de Antonio Lopez y, a propuesta de la fundición Arte 6, cooperativa dirigida por Ismael Gonzalez, se me encargó junto con Eva Perez Cano el desarrollo de la ampliación mediante ingeniería inversa de los modelos originales de A.Lopez realizados en yeso y de una altura de 16 cm a unos modelos definitivos a escala y despiezados para fundir a la arena de 3 m de altura.

Se tuvo que desarrollar todo el proceso a partir de los mejores equipos de luz blanca estructurada ya que permitían obtener una información de 7 8 millones de puntos de referencia que, al ampliarse por escalado de 1:17,6, nos permitieron una resolución en la pieza final entre punto y punto de 4 mm.y una precisión en la pieza de yeso de 0,01 mm. entre punto y punto. Así se consiguió una ampliación virtual en primer lugar fiel, densa y que se podía traducir a sistemas de impresión de fresado por control numérico

Se seleccionó una maquina de control numérico aplicada normalmente a la fabricación de moldes de hierro para la industria automovilistica. Se transformaron las experiencias técnicas y se aplicó un nuevo material no usado anteriormente por la fabrica, el poliuretano de alta densidad de 160kg por mcúbcio, el mismo que se usa para hacer los prototipos de Seat y Ferrari con el objetivo de que A. Lopez pudiera trabajarlo sin mucha dificultad una vez montado al tamaño definitivo, debido a que tiene una dureza parecida a una madera de pino.

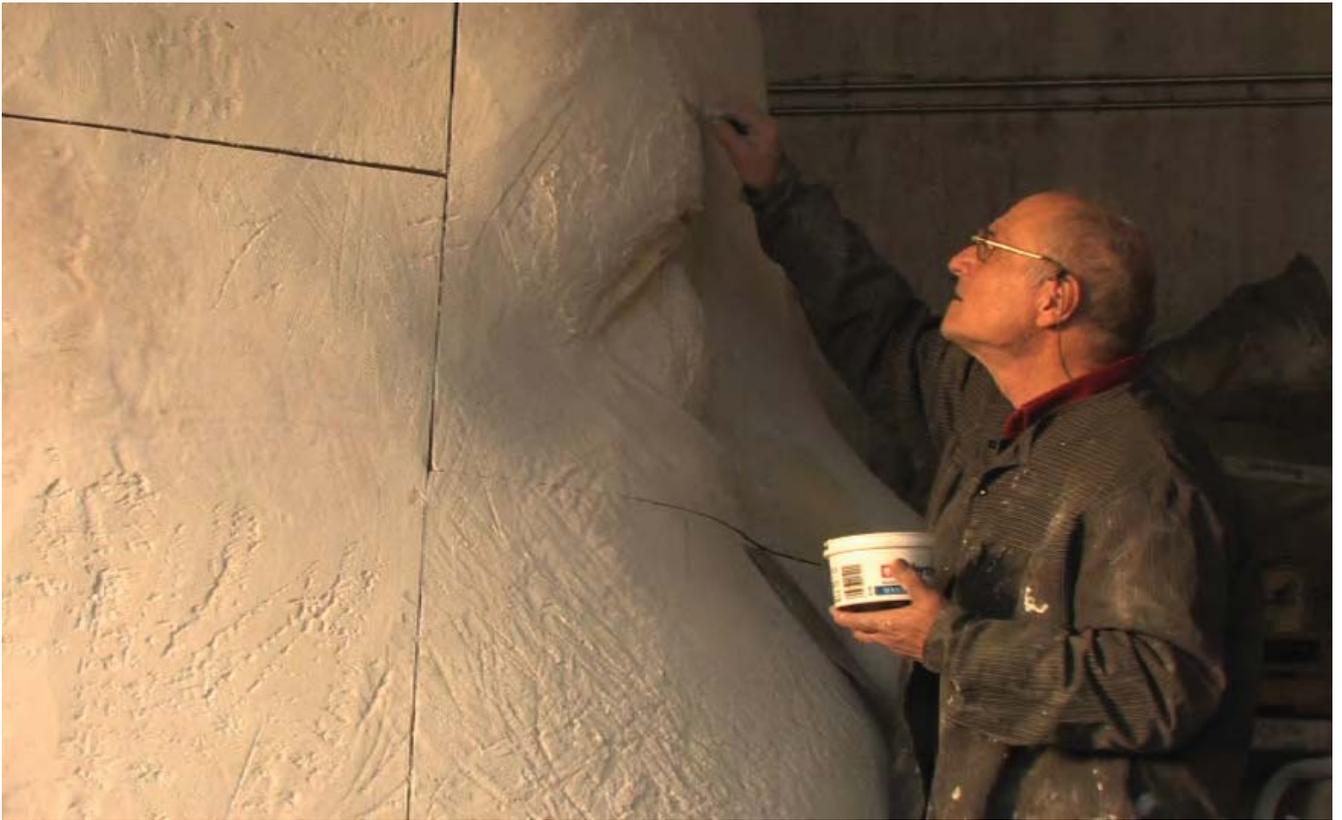
El despiece se hizo según las instrucciones del fundidor, ya que el limite de cada placa puede ir entre 1-1,10 m de largo por 80-90 cm de alto, que dio como forma final 25 placas.





▷▽ 53, 54, 55, 56, y 57. Acabados manuales, Antonio López 2008





El fresado parte de formas geométricas puras (bloque), como si fuera una talla, y va eliminando material por capas sucesivas y fresa, aproximándose en los sucesivos cambios de fresa e interlineado a la forma final de la textura. (cabezales de 24 a 12 mm y se termina con fresa de 4 mm). Esto genera una pérdida de los bloques de aproximadamente 2/3 partes de su volumen inicial, transformado en serrín y conseguimos unas piezas como escudos o placa que soportan también la presión de la arena de fundición sin perder definición. Por último se ensamblaron todas las piezas independientes sobre una estructura adaptable (profi-team) aplicada en las cadenas de montaje de alimentación e ingeniería. Con la pieza montada A.Lopez realizó los cambios que consideró oportunos de textura y trazos.



Podemos ver que repite los mismos pasos que Leonardo: a partir de un modelo fiel, tienes situada toda la información del modelo en grande y supera una pieza que quizá tendría 1200 puntos a 7,8 millones de puntos. Creo que ahora se puede entender mejor esa progresión geométrica de densidad de información y fidelidad de la misma. El coeficiente de error del proceso es de 0.05 mm



▷ ▽ 58, 59, 60, 61 y 62. Proceso de preparación de los moldes para la fundición de las placas vertido del bronce, Antonio López, 2008. Fundición Arte 6, Arganda del Rey, Madrid





Después de los retoques se desmontan las 25 piezas y se funden a la arena, ahorrando la necesidad de hacer un molde, un positivo en cera, y se utiliza el mismo sistema indirecto proyectado por Leonardo de dar grosor a la superficie (fig 64), mediante planchas de espuma que se traducirían en el grosor definitivo de aproximadamente 1 cm de la figura definitiva en bronce (ver fotografía).

Así pues, vemos que 500 años más tarde, el proceso de fundición la única diferencia es que la soldadura eléctrica permite unir esas placas y Leonardo tenía que fundir esa pieza en una sola vez.

La efectividad temporal permite realizar un proyecto de estas características, digitalización 2 días, gestión informática y generación de programas de fresado 15 días y fresado aproximadamente 1 mes ( las máquinas trabajan las 24 horas al tratarse de autónomas guiados por el programa informático sin necesidad de control humano).

<▽63, 64, y 65. E tracci n de la placa de bronce del molde de undi cí n, Antonio López, 2008. Fundición Arte 6, Arganda del Rey, Madrid

▽66. onta e de las placas de bronce, Antonio López, 2008. Fundición Arte 6, Arganda del Rey, Madrid



Leonardo, para el proceso de ampliación del caballo, podría también utilizar un sistema de escuadras de gran formato que, mediante el proceso de dibujar la planta del modelo a pequeña escala y su ampliación en el suelo, permitiera levantar puntos de referencia mediante las referidas escuadras y una plomada para, finalmente, mediante una varilla conseguir la profundidad de los diferentes puntos. Este mecanismo se puede comprobar en la fotografía de la fig.1 correspondiente al taller de Granits Barbany (LLinars del Vallés-Barcelona), donde se observa la escuadra y marcador de profundidad diseñados y realizados por ellos mismos que utilizaban antes de la aplicación de los nuevos sistemas digitales.

Esta técnica permite referenciar puntos con un solo elemento vertical. Por desgracia para el caso que nos ocupa, si consideramos que el caballo mediría unos 7 20 m de altura, su utilización en el proyecto parece del todo inviable.

Podemos observar en el dibujo de la página 49 de este capítulo, como la combinación de compas, plomada y escuadra, permitían el referenciado del cuerpo humano.

Contemporáneamente, Chillida aplica esta técnica en alguna de sus obras, como es el caso del "Elogio del Horizonte" de Oviedo. Genera toda la composición a partir de la ampliación de un modelo de 40 cm, el cual amplía en proporción a partir de su posición en planta, alzando por coeficiente un modelo de poliestileno expandido a la escala definitiva.