

UNIVERSIDAD DE GRANADA
Departamento de Escultura



TESIS DOCTORAL

“NUEVOS MODELOS GASIFICABLES APLICADOS
A LA TÉCNICA DE LA CASCARILLA CERÁMICA:
USO DE PINTURAS REFRACTARIAS”.

ISABEL M^a LOZANO RODRÍGUEZ

2011

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Isabel M^a Lozano Rodríguez
D.L.: GR 1838-2012
ISBN: 978-84-9028-043-0

UNIVERSIDAD DE GRANADA
Departamento de Escultura



**“NUEVOS MODELOS GASIFICABLES APLICADOS
A LA TÉCNICA DE LA CASCARILLA CERÁMICA:
USO DE PINTURAS REFRACTARIAS”.**

Memoria que presenta ISABEL M^a LOZANO RODRÍGUEZ
para optar al grado de Doctor por la Universidad de Granada

El Director

El Doctorando

Prof. Dr. Antonio Sorroche Cruz

Isabel M^a Lozano Rodríguez

Granada, Diciembre 2011

UNIVERSIDAD DE GRANADA

Departamento de Escultura



Antonio Sorroche Cruz, Doctor y Profesor Titular de Universidad del Departamento de Escultura de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Granada.

HACE CONSTAR:

Que la presente memoria titulada “NUEVOS MODELOS GASIFICABLES APLICADOS A LA TÉCNICA DE LA CASCARILLA CERÁMICA: USO DE PINTURAS REFRACTARIAS”, ha sido realizada bajo mi dirección por Dña. Isabel M^a Lozano Rodríguez, cumpliendo las suficientes condiciones para que su autora pueda optar al grado de Doctora por la Universidad de Granada.

El Director

Prof. Dr. Antonio Sorroche Cruz

Granada, Diciembre 2011

*A mis padres, por todo
su apoyo, sacrificio y cariño,
sin los que no podría haber
hecho realidad tantas cosas en
mi vida.*

*A mi pareja, por su paciencia,
dedicación y apoyo incondicional
de cada día.*

*A todos los que de alguna
manera han estado ahí para
animarme a seguir adelante.*

“Gracias”

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi Director de Tesis D. Antonio Sorroche Cruz, Doctor y profesor Titular de la Facultad de Bellas Artes, Universidad de Granada, de quien he encontrado en todo momento apoyo y dedicación para que este trabajo de investigación se haga presente en estas páginas. Espero haberle correspondido en la medida que se merece.

Mi agradecimiento al resto de personal del Departamento de Escultura, por el ánimo y consejos durante todo este tiempo.

No puedo olvidarme del personal de esas empresas nacionales, que me han facilitado la información necesaria para la elaboración de este trabajo, gracias por su amabilidad.

INDICE:

Objetivos de estudio y metodología1
INTRODUCCIÓN7

CAPÍTULO I

SITUACIÓN ACTUAL DE LA FUNDICIÓN ARTÍSTICA

1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	43
2. <u>MATERIALES PARA LA OBTENCIÓN DE MODELOS DE FUNDICIÓN</u>	44
2.1 La cera	44
2.1.1 Clasificación de las ceras	46
2.1.2 Características	46
2.1.3 Creación del modelo	47
2.2 Nuevos materiales	50
2.2.1 Antecedentes: los plásticos en la nueva industria	50

3. <u>EL POLIESTIRENO (PS)</u>	57
3.1 Historia, evolución y estado actual	57
3.1.1 El Poliestireno expandido (EPS)	60
3.1.2 Método de obtención	61
3.1.3 Propiedades y cualidades del EPS	65
3.1.4 Aplicaciones	72
4 <u>EL POLIESTIRENO EXPANDIDO EN LA CREACIÓN ESCULTÓRICA</u>	74
4.1 El poliestireno en la fundición artística: antecedentes	74
4.2 Tratamiento del EPS y XPS	77
4.3 Aplicaciones del EPS y XPS en el ámbito artístico	82
4.4 El Poliestireno Extruído (XPS)	84
5. <u>EL POLIESTIRENO EXPANDIDO EN LA FUNDICIÓN INDUSTRIAL</u>	86
6. <u>ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO O ESPUMA FLORAL</u>	88
6.1 Proceso de elaboración de la Espuma de Poliuretano	90
6.2 Características de la Espuma Rígida de Poliuretano	91
7 <u>LA ESPUMA DE POLIURETANO EN LA CREACIÓN ARTÍSTICA</u>	98
7.1 Tratamiento de la Espuma Rígida de Poliuretano	100
7.1.1 Adhesivos para la espuma de poliuretano	100
7.2 Otras aplicaciones de la espuma de poliuretano	101
8 <u>ETIL VINIL ACETATO (E.V.A O GOMAEVA)</u>	102
8.1 Componentes del Co-polímero E.V.A	102
8.2 Características del co-polímero E.V.A	104
8.3 Propiedades del E.V.A	106
8.4 Tipos de E.V.A	109
8.4.1 EVA microcelular espumado	109
8.5 Características de la EVA espumada	111
8.6 Método de obtención de la Gomaeva	112
8.7 Aplicaciones y usos de la EVA	113
8.8 Tratamiento de la Gomaeva	114

8.9 Adhesivos para Eva	115
9 <u>APLICACIONES DE LA EVA EN EL ÁMBITO ARTÍSTICO</u>	116

CAPÍTULO II

ESTADO ACTUAL: NUEVOS SISTEMAS DE MOLDEO.

1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	121
1.2 El molde	122
1.2.1 Material del molde	124
1.2.2 Clasificación de los moldes	133
2. <u>MÉTODOS DE FUNDICIÓN: SISTEMAS DE MOLDEO</u>	
2.1 Introducción	135
2.2 Fundición a la cera perdida	136
2.2.1 Introducción	136
2.2.2 Fundición a la cera perdida con molde de chamota u horneado	138
2.2.2.1 Fases que constituyen el método de fundición a la cera perdida con molde de chamota	139
2.2.3 Fundición a la cera perdida con molde de cascarilla cerámica	141
2.2.4 Fundición a la cera perdida con molde de yeso	142
2.2.4.1 Fases que constituyen el método de fundición a la cera perdida con molde de yeso	142
2.4 Fundición a la arena	144
2.4.1 Introducción	144
2.4.2 Arenas de moldeo	144
2.4.3 Tipos de arenas	145
2.4.4 Características genéricas de las arenas de moldeo	147
2.4.5 Características de los componentes de la arena	149
2.5 Métodos de la fundición a la arena	151
2.5.1 Fundición a la arena en verde con modelos de EPS	151
2.5.1.1 Arena en verde	152
2.5.1.2 Fases del método de fundición en verde	155
2.5.2 Fundición con moldeo químico	158

2.5.2.1 Fases de la fundición con moldeo químico	159
2.5.3 Fundición a la cascarilla cerámica	160
2.5.3.1 Introducción	160
2.5.3.2 El molde de cascarilla cerámica	164
2.5.3.3 Fases del método de fundición a la cascarilla cerámica	172
3. <u>RECIENTES INVESTIGACIONES EN EL MOLDEO CON CASCARILLA CERÁMICA</u>	
<u>CERÁMICA</u>	177
3.1 Ejemplos de cascarilla cerámica en fundición artística	185

CAPÍTULO III

OBJETO DE ESTUDIO

NUEVOS MODELOS GASIFICABLES APLICADOS A LA TÉCNICA DE LA CASCARILLA CERÁMICA: USO DE PINTURAS REFRACTARIAS.

1 <u>INTRODUCCIÓN</u>	189
1.1 El modelo	189
1.2 El molde	191
1.3 Pinturas refractarias o separadores	191
1.4 Descripción de las fases de nuestra investigación	192
2. <u>TÉCNICA DE LA CASCARILLA CERÁMICA CON MODELOS GASIFICABLES</u>	193
2.1 Realización del modelo	193
2.2 Factores del diseño que intervienen en el proceso	198
2.3 Sistema de colada del modelo	201
2.4 Aplicación de pinturas refractarias o separadores	202
2.4.1 Composición	204
2.4.2 Tipos de pintura refractaria	205
2.4.3 Propiedades de las pinturas que utilizamos en la investigación	205
2.4.4 Métodos de aplicación del enlucido	206
2.4.5 Secado del enlucido	206
2.4.6 Comportamiento de la pintura en el proceso de fundición	207

2.4.7 Observaciones del uso de pintura refractaria con modelos gasificables	207
2.5 Barbotina cerámica	209
2.6 Aplicación de los baños cerámicos	210
2.6.1 Particularidades de la barbotina con el material de los modelos	211
2.7 Aplicación del estuco (estucado)	212
2.8 Secado de las piezas	213
2.9 Repaso de la cascarilla	215
2.10 Defectos en las piezas	215
2.11 Cocción del molde y eliminación del modelo	216
2.11.1 Transformaciones en el modelo y molde durante la cocción	219
2.12 La colada del metal	222
2.13 Defectos frecuentes de fundición	226
2.14 Desmoldeo o eliminación del modelo	227

Fases del procedimiento:

- Moldeo de cascarilla cerámica sobre modelos de cera y poliestireno	233
- Moldeo de cascarilla cerámica sobre modelos de Poliestireno Expandido y/o extruído con integración de materiales	243
- Moldeo en cascarilla cerámica sobre modelos de Poliestireno Expandido. Aplicación de pinturas refractarias.(figuras planas)	253
- Moldeo en cascarilla cerámica sobre modelos de EVA o gomaeva	261
- Moldeo en cascarilla cerámica sobre modelos de espuma floral. Integración de otros materiales	271

CAPITULO IV

RESULTADOS DEL MÉTODO APLICADO OBRAS ESCULTÓRICAS REALIZADAS EN EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (fichas técnicas)	283
---	-----

CAPITULO V

CONCLUSIONES	321
Riesgos para la salud en la utilización de los modelos	331
Medioambiente: reciclado de los modelos de fundición presentados	333
REFERENCIAS NOTAS BIBLIOGRÁFICAS	341
REFERENCIA NOTAS DOCUMENTACIÓN GRÁFICA	345
NOTAS: unidades de medida y acrónimos de interés	355
GLOSARIO	361
BIBLIOGRAFÍA	375

Objetivos

1. PLANTEAMIENTO:

Este trabajo de investigación pretende ampliar el campo del conocimiento en la fundición escultórica que ha permanecido estancada durante años utilizando métodos tradicionales. Para ello utilizamos nuevos materiales y aplicamos procedimientos actuales como soporte fundamental de nuestra aportación al ámbito escultórico.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS:

La hipótesis de esta investigación se basa en los siguientes apartados:

- 1) Nuevos materiales como modelos en la fundición escultórica.
- 2) Cascarilla cerámica; método de moldeo que se presenta como alternativa a métodos tradicionales, para conseguir simplificar el proceso de fundición y obtener buen nivel de registro superficial.
- 3) La combinación de este sistema de moldeo con los nuevos modelos gasificables que aportan una inmediatez procesual acorde con las necesidades del hombre en la época actual, que busca sencillez, rentabilidad y garantía de resultados.
- 4) Pinturas refractarias que van a simplificar y mejorar la práctica de la fundición artística. Estas pinturas aplicadas sobre el modelo van a agilizar la fase final del desmoldeo y calidad superficial de la pieza fundida.

3. METODOLOGÍA:

A) Recuperamos la historia y analizamos el proceso de trabajo con estos materiales.

A.1) **EL MODELO:** incorporamos dos nuevos materiales a la fundición artística: **EVA (Etil Vinil Acetato) o Goma Eva** y **PUR** (Espuma rígida de poliuretano en su variedad de densidad, **espuma floral**).

En el caso del **Poliestireno Expandido (EPS)**, estudiamos su reciente incorporación al ámbito artístico y aportamos su utilización con el sistema de moldeo a la cascarilla cerámica y su combinación con los otros dos materiales.

A.2) **EL MOLDE:** utilizamos un método, consecuencia del creciente desarrollo industrial: **la cascarilla cerámica.**

A.3) **LAS PINTURAS REFRACTARIAS:** extrapoladas de la fundición industrial aplicadas sobre los moldes. En esta investigación adaptamos su uso al sistema de moldeo con cascarilla cerámica, y las utilizamos sobre los modelos de fundición. Su aportación permite el aumento de la rentabilidad en el proceso de desmoldeo.

B) Objetivos: resultado del ensayo personal.

Realizamos pruebas comparativas entre los materiales, y las técnicas de fundición.

Se han analizado las pruebas obtenidas y se han extraído conclusiones de tipo práctico, aplicables a la fundición escultórica con moldeo a la cascarilla.

Presentamos la propuesta original de la investigación, a partir de la cual aportamos nuevos resultados que amplían los conocimientos, procesos y vías de expresión en el campo artístico.

C) Conclusiones de la investigación:

Dotamos a la fundición escultórica de nuevos avances técnicos, para conseguir un renovado lenguaje expresivo al integrar materiales de distinta naturaleza a los modelos elaborados para obtener obras escultóricas.



Introduccion

INTRODUCCION

Desde el origen y a lo largo de la historia el hombre ha necesitado expresarse, representar el mundo para comprenderlo y, sobre todo, adaptar y modificar lo que le ofrecía la naturaleza para su supervivencia. Fruto de esta adaptación surge el acontecimiento decisivo, el que marca la diferencia entre el mundo antiguo y nuestro mundo contemporáneo: el desarrollo de la metalurgia.

Es necesario mencionar la aparición de ésta, para entender la aparición de aquellos primeros utensilios y el desarrollo y aportación que la tecnología contemporánea hace de aquel proceso con tanta tradición, y que vemos reflejado en este trabajo de investigación, adaptándose a la demanda actual.

El descubrimiento de la metalurgia fue lento y gradual, y a partir de numerosos hallazgos a lo largo de la historia, hemos podido saber que, primero, el hombre prehistórico abandonó el uso de la piedra como materia prima natural en búsqueda de mejores materiales que le permitieran fabricar herramientas, armas y utensilios domésticos para sobrevivir en un medio hostil, donde la competencia con los animales de la época estaba en desventaja.



Fig. 1 *Hacha de piedra. Edad de Piedra*

Así pues, durante la Prehistoria y hasta el Neolítico, en que comienza la Edad de los Metales, el hombre utiliza la piedra como herramienta principal para tareas domésticas, agricultura, construcción y su defensa; es la Edad de Piedra que precede a la Edad de los Metales. En ella, huesos, madera, cuarzo... cubrirán sus primeras necesidades.

Tradicionalmente este período se ha dividido en Paleolítico, que abarca su primera parte caracterizado por la caza, recolección y el trabajo basto de la piedra; y el Neolítico, al final de la Edad de Piedra, aproximadamente en el IX milenio a.C, en donde se produce la revolución histórica, la aparición de la agricultura, ganadería y el descubrimiento de los metales.

A principios del siglo XIX el historiador danés C.J. Thomsen¹ desarrolla un sistema para ordenar los períodos arqueológicos existentes y da origen a la división de la prehistoria europea, que todos conocemos, en:

- la edad de piedra,
- la edad de cobre
- la edad del bronce
- la edad de hierro

En la siguiente tabla se exponen los distintos períodos:

Prehistoria		
Edad de Piedra	Paleolítico	Paleolítico Inferior
		Paleolítico Medio
		Paleolítico Superior
	Neolítico	
Edad de Metal	Edad del Cobre	
	Edad de Bronce	
	Edad de Hierro	

Fig. 2. Tabla. Prehistoria

En la **Edad de Piedra**, ésta junto con huesos y pieles de animales serán los primeros materiales usados, trabajados y transformados por el hombre.

El sílex fue uno de los más empleados para armas y otros utensilios. Cuando era trabajado se fragmentaba en láminas cortantes, acomodándose así a las necesidades de caza de los primeros hombres.



Fig. 3 Sílex

Este período tradicionalmente se ha dividido en: paleolítico inferior; que se inicia con los primeros útiles líticos trabajados por una sola cara (monofaciales) o por la dos (bifaciales), el paleolítico medio; en que se perfeccionan los útiles ya conocidos y se fabrican puntas, raederas..., y el paleolítico superior; más cercano al hombre moderno en el que aparecen marfil, arpones agujas, puntas de madera... Su sistema de vida son la caza, la recolección y la pesca.

El **Neolítico** es la etapa final de la Edad de piedra. El término fue introducido por John Lubbock, 1865, "*Prehistoric Times*"². Fue un período asociado a la agricultura, ganadería (domesticación de animales), primeros poblados con casas de adobe y madera, al uso de la cerámica y como diferencia con las primeras etapas de la Edad de Piedra, los objetos líticos aparecen pulimentados.

El final del Neolítico variará en los distintos lugares, determinado por la aparición de los metales.



Fig. 4 Piedras pulimentadas

La **Edad de los Metales**, es el período de evolución y revolución tecnológica en la humanidad, caracterizado por la aparición y desarrollo de la metalurgia. Marca el gran paso de la Prehistoria a la Historia del hombre moderno.

Así, los primeros contactos con el metal surgirán en el **Calcolítico o Edad del Cobre**, primera etapa de esta Edad, es decir, un pequeño período de transición, hasta la Edad del Bronce, que surge a finales del Neolítico. Esta etapa que podemos llamar intermedia, es inexistente en gran cantidad de culturas, las cuales, comienzan directamente su conocimiento de la metalurgia a partir de la técnica del bronce. Sin embargo como acontecimiento en la historia es de gran interés cómo fue descubierto y trabajado el que parece ser el primer metal encontrado en la naturaleza, y que implicó un cambio en las sociedades del hombre: el cobre.

No se sabe con certeza cual fue el primer metal utilizado por el hombre, pero de lo que no cabe duda es que los primeros fueron nativos, encontrados en la naturaleza formando parte de la composición de las rocas. Estas tienen un característico resplandor "metálico" en su superficie y se distinguen de las otras por su maleabilidad y facilidad de deformación bajo los golpes y su ductibilidad porque pueden ser estiradas en láminas e hilos.



Fig. 5 Collar de oro. Época egipcia.

Algunos arqueólogos cuestionan si fue el cobre el primero por su abundancia, o el oro por el brillo y atención que captaría en mayor medida en el hombre, aunque también aparecieron en menor medida la plata y el hierro meteorítico.

El oro fue el más deseable para fines ornamentales; brillante, maleable, inalterable. Culturas como la de los egipcios lo consideraban como "el cuerpo de los dioses", siendo una de sus principales fuentes, Nubia. Lo extraían de filones de cuarzo que reducían a polvo y después le hacían un lavado manual. Normalmente lo hallaban en las arenas de los cauces de los ríos o en afloramientos de las zonas de oxidación de algunos yacimientos metalíferos que ya habían sido explotados para la obtención de colorantes. Este preciado metal fue por lo general destinado a objetos decorativos.

Pero será definitivamente el cobre, el metal que marque el importante desarrollo de las sociedades prehistóricas con el nacimiento de la metalurgia, la fundición del metal.



Fig. 6 *Cobre nativo*

Hasta la llegada a ese gran paso, los objetos metálicos mas antiguos, aproximadamente de hace 10.000 años, fueron trabajados con los mismos métodos que la piedra, por martillado en frío. Pepitas de metal nativo de la naturaleza a las que daban la forma deseada, obteniendo pequeños pendientes y collares decorativos.

La auténtica metalurgia surge cuando se descubre la posibilidad de fundir el metal, pasando de estado sólido a líquido y separando en el proceso las impurezas restantes.

El descubrimiento del cobre data de hace unos 12.000 años, gracias a unos hallazgos en las tierras de Irak, en Kurdistán. Cuatro fueron sus principales focos de extensión. De estas mismas tierras, de Asia Menor, concretamente en la aldea de Cayonu Tepesi, actual Turquía,



Fig. 7 Alfiler de bronce. 700 d.C (Irán)

surge el primer foco en relación al cobre. Aquí se encontraron objetos con anterioridad al 7.000 a.C: un utensilio para golpear, un escariador que se había moldeado a martillazos a partir de cobre nativo, y tres objetos parecidos a alfileres.

En el siguiente mapa se muestra tanto este primer foco origen del cobre, como los posteriores.

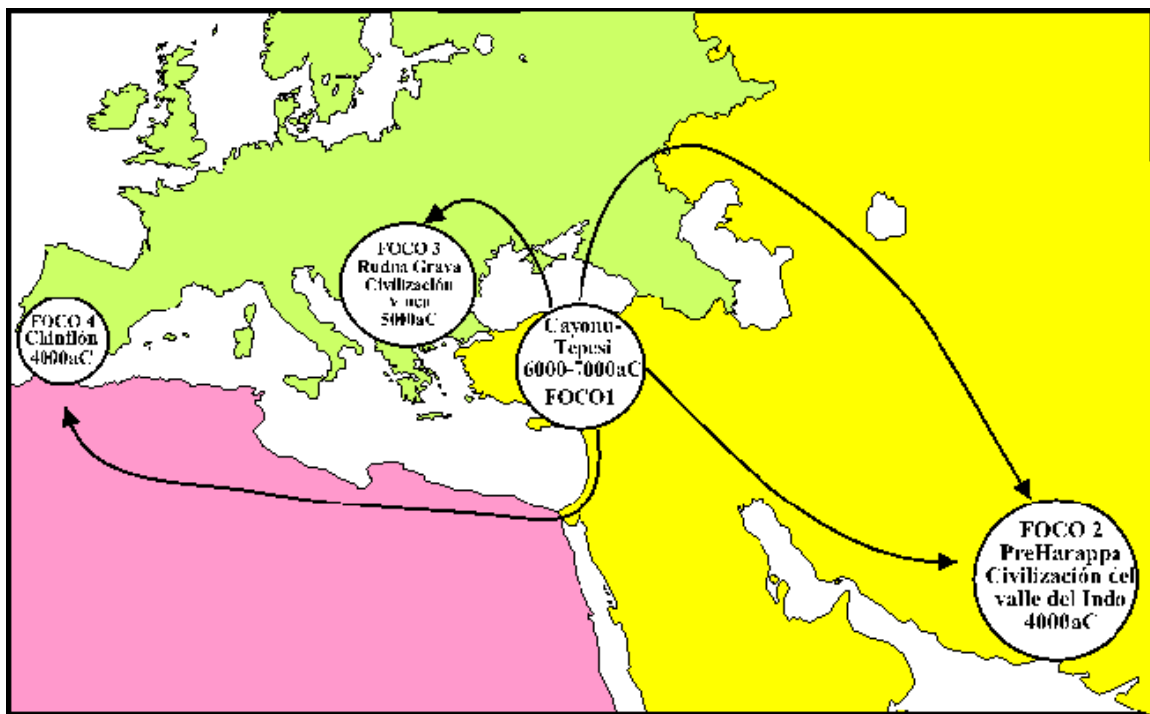


Fig. 8 Mapa geográfico. Focos de extensión del cobre.

El segundo se sitúa en el Valle del Indo, en las excavaciones los objetos encontrados, un anillo y una cuenta probablemente de un collar, datan de 6.000 a.C.

El tercero nos lleva a Europa a una de sus minas más antiguas, Rudna Grava, antigua Yugoslavia. Se han encontrado hachas con mango, brazaletes...

Por último un cuarto foco en la Península Ibérica, allí se ubicaba la mina Chinflón situada a unos 8 kms de Zalamea (Badajoz), de la que se extrajo cobre en el 3.500 a.C

En las llanuras y faldas montañosas de Anatolia, donde se sitúa el origen del metal, abundaban óxidos y carbonatos de cobre (malaquita y azurita), también reservas de cobre en forma de metales sulfurados; pirita de cobre, calcopirita...

Por efecto del aire y las lluvias, los sulfuros de la superficie se convertían en carbonatos. Los sulfuros de cobre son de color gris, poco llamativo, pero los carbonatos de cobre sí son de colores verdes, azules...Estos colores son los que



Fig. 9 Azurita

pudieron haber inducido al hombre de la antigüedad, en su búsqueda de pigmentos, a experimentar con aquellos minerales tal y como lo hacían con la piedra.

Estas primeras experiencias son atribuidas a los sumerios, de quienes se conservan objetos de más de 6.500 años. Así, el objeto de cobre más antiguo hallado y trabajado de manera premetalúrgica, es un adorno en Shanidar, una cueva situada en los Montes Zagros (noroeste de Irak), que data del año 9.500 a.C. Se trata de un pendiente de mujer en cobre nativo, de forma oval, trabajado a golpe de martillo.

Habrá que esperar unos 2.000 años para que el hombre descubra que el cobre nativo se funde con solo aplicarle calor y antes de enfriarse, darle la forma deseada.

"...el cobre nativo producido por reducción quizá haya parecido una clase de piedra superior que no solo puede ser utilizada para que corte como el pedernal, sino también doblada, moldeable a golpes de martillo y aún reducida a láminas que pueden cortarse..."(V. Gordon Childe)³

El descubrimiento de la metalurgia es incierto, y existen varias teorías de donde y como surge, pero sin duda existen tres factores que influyen enormemente en su aparición:

a) **El fuego:**

Este ya había sido descubierto miles de años atrás y fue aplicado sobre la piedra y utilizado para su supervivencia.

El calor producido por la leña fue propicio para que el hombre experimentara en la fundición y extracción de metales.

Rovira.S⁴, apunta que pudo usarse la simple lumbre del hogar, donde se alcanzaban 600-700 °C, suficiente temperatura para transformar el carbonato de cobre en cobre metálico a partir de piedras como la malaquita.

b) **La búsqueda de pigmentos:**

Muchos minerales metálicos tienen vivos colores y su utilización como pigmentos o adornos es anterior a los procesos de su extracción metalúrgica para su fundición. El hombre buscaba pigmentos naturales que se aplicaban al cuerpo humano, utensilios, ropa...; por tanto dispuso antes del mineral de cobre, que del cobre mismo, como metal. Así la reducción del mineral de cobre mediante el fuego pudo deberse a un origen casual o intencionado pero claramente asociado a esa utilización de pigmentos.

c) **La cerámica:**

En el descubrimiento de la metalurgia juegan un papel muy importante los hornos usados en la cerámica, anterior a los metales, y de los que ya tenían grandes conocimientos los hombres de la época.

La introducción experimental de minerales de cobre en procesos cerámicos, para teñir, pudieron dejar al descubierto escorias del

metal en el horno. Muestras de ello se han encontrado en simples vasijas de cerámica, pequeños hornos o recipientes llamados vasijas-horno, provistos de una o varias tomas de aire, realizadas de barro.

Todo esto ha hecho pensar también a numerosos analistas, que el gran descubrimiento de la fundición de metales quizá se produjo por accidente en un horno de cerámica.

Marcos.C⁵ afirma; “...los antiguos ceramistas pudieron haber utilizado óxidos de cobre pulverizados para teñir sus cerámicas de azul y pudieron observar que tras esto su horno contenía restos de cobre...”

Por otra parte, para estos trabajos cerámicos ya lograban alcanzar con facilidad los 900-1000 °C, con lo que a partir de aquí no pasaría mucho tiempo hasta que el hombre descubriera la relación entre el cobre metálico en estado nativo y el que contienen las rocas. El siguiente paso fue el proceso de reducción de los minerales para extraerles el metal por fusión.

El descubrimiento fue gradual. Las primeras reducciones se llevaron a cabo en simples vasijas donde se insuflaba oxígeno soplando por tubos, para superar los 1000°C.

Los murales funerarios egipcios muestran los pasos del proceso.



Fig. 10 Boceto de Mural egipcio.

El mineral triturado, un carbonato de cobre, por ejemplo la malaquita, se mezclaba con el carbón de leña igualmente granulado. Por acción del calor, las impurezas se liberan en forma de gases de monóxido y dióxido de carbono, reduciéndose el mineral a un cobre puro. Esta transformación tenía lugar alrededor de los 1000°C.

Posteriormente el metal se licuaba, depositándose en la zona inferior del horno en el cual existía además un orificio a través del cual pasaba el metal líquido para depositarse en unos moldes en el exterior. Parte de la escoria queda en el horno y el resto de las impurezas que flotan en la superficie del metal líquido se extraían fácilmente con un escoriador.

Además de los testimonios egipcios, existen otros ejemplos del proceso con un trabajo mucho menos complejo, como se observa en el Mapa de Tlotzin, un códice mexicana,

en el que se muestra a un fundidor frente a un horno soplando por una cánula y sosteniendo en la otra mano el escoriador, una simple rama para retirar la escoria superficial. Estos gráficos parece ser que fueron dibujados por un sacerdote, quien afirma “...que los indios colocaban este



Figura 11. *Mapa Tlotzin mostrando un fundidor.*

tipo de horno en las laderas de las montañas durante las noches para que la brisa mantuviera vivo el fuego y se produjera la reducción...”⁶

Como consecuencia directa de este proceso surgirían los primeros objetos de cobre fundido, en Tal-i-Bliss (Irán), que data de 4.100 a.C y junto a él se encontraron crisoles y restos de moldes.

A partir de este gran descubrimiento, cuando podía ser fundido en un horno la producción de cobre a partir del mineral, hizo que la necesidad de metales, lanzara al hombre a la búsqueda de minerales. La materia prima pronto se acabó en las inmediaciones y tuvo que ser importada, ello provocó el intercambio de mercancías e ideas entre culturas muy alejadas.

La civilización sumeria del 3.500 a.C asentada en la llanura entre los ríos Tigris y Eúfrates, importó los metales de los Montes Zagros, al este de la llanura; y las montañas del Tauro al norte. (ver mapa)

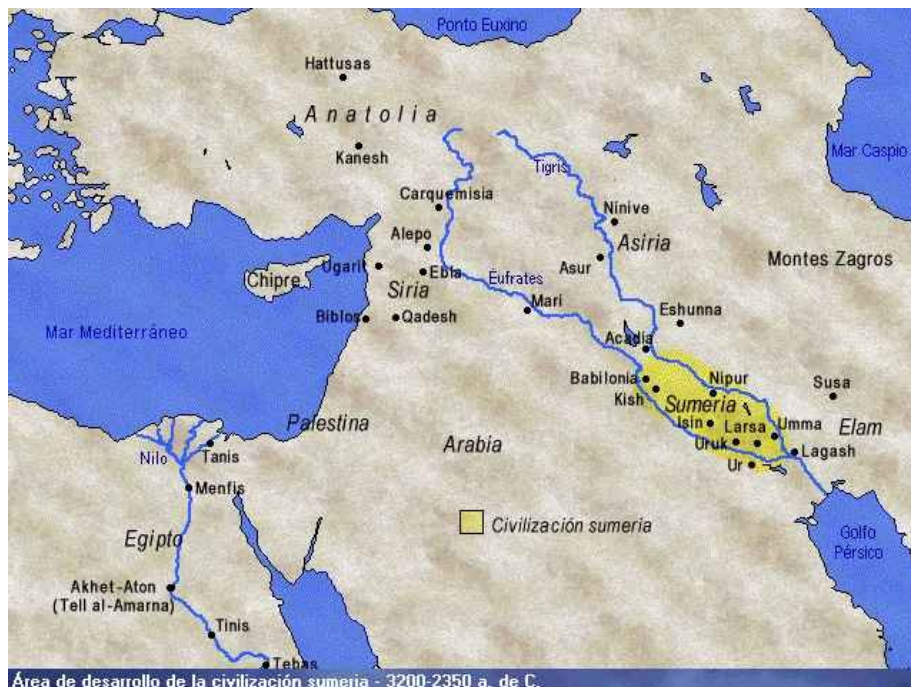


Fig.12 Imperio sumerio. Principal fuente de metal.



Fig. 13 Extensión de la producción de metal.

Esta comercialización facilitó el conocimiento de la metalurgia adquirido por los pueblos del Próximo Oriente, y que no sólo se extendiera hacia el Occidente, al continente europeo e islas británicas, sino también hacia el este y rutas de la India y sudeste de Asia.

En Europa, en la zona de los Balcanes, surgen ocasionalmente objetos de cobre fundido, como los hallazgos de la cultura Gulmenita, IV milenio a.C, su difusión por el resto de Europa viene dada por la cultura del vaso campaniforme.

Así, la extracción de mineral comenzó a ser la base de la economía, junto con la agricultura y ganadería en los pueblos antiguos de la Edad del Cobre. Aunque en su comienzo las técnicas empleadas para su extracción fuera con herramientas de piedra, también emplearon el fuego para calentar la roca y enfriarla posteriormente con agua, provocando con ello un choque térmico que la resquebrajaba, lista para ser triturada. Utilizando el cobre dispusieron también de elementos metálicos para sus trabajos mineros.

El continuo contacto con el trabajo del metal provocó que pronto llegarán las primeras aleaciones; antimonio, plomo, arsénico..., y en este proceso de experimentación se llega a la **Edad del Bronce** (3000-1000 a.C)

Al cobre se le añadió una pequeña proporción de estaño 10%, que facilitaba su dureza, disminuía su temperatura de fusión y aventajaba así en la colada del metal líquido en el molde. Esta primera aleación pudo ser posible debido a sus conocimientos para la extracción del estaño.

..." Gracias al descubrimiento en Cornualles de una escoria datada hacia el 1800 a.C, sabemos que la caserita podía reducirse y que los hombres conocían el estaño en estado metálico..." (Mohen.J.P)⁷

Surge el bronce, que en esta etapa tiene lugar su desarrollo paralelo al del cobre.

El origen del bronce parece estar en Armenia 2800-3000 a.C, coincidiendo con las grandes civilizaciones antiguas de Mesopotamia, apareciendo simultáneamente en Irán, Sumer y Egipto.

Este período se divide históricamente:

- Bronce antiguo: las hachas planas encontradas son copias de las de piedra, aún sin mango, dagas triangulares, brazaletes, agujas con cabeza para el cabello y la ropa.
- Bronce medio: primeras espadas, hachas de talón...
- Bronce Final: hoces de bronce, puntas de lanza, calderas, recipientes, corazas, cascos, escudos...



Fig. 14 Hacha de talón



Fig. 15 Escudo. Disco de Nebra
Bronce con incrustaciones de oro

No obstante, la tecnología y control del fuego, anterior a la reducción de los primeros cobres fundidos, trajo las primeras experimentaciones con la transformación de la materia; piedra con calor, cocción del barro para producir cerámica..., nos referimos a una etapa que podría haberse iniciado entre el V milenio y IV a.C, época

que coincide con los ensayos para utilizar los hornos de dos cámaras en los que se cocía ya cerámica.

El siguiente paso fue el proceso de reducción de los minerales para extraerles los metales por la acción de la temperatura.

Dora M. K. de Grinberg afirma; *"...por la facilidad con la que se reducen los carbonatos y por estar en la parte superior del afloramiento mineral, éstos debieron ser los primeros minerales que los hombres aprendieron a reducir. Si se muelen los carbonatos y se los mezcla con carbón de leña granulado, colocándolos en el interior de un crisol al que se introduce en una hoguera, por acción del calor y el carbón los carbonatos se descomponen generando gases de carbono y el cobre queda libre, fundiéndose y depositándose en el fondo del crisol en forma de un botón..."* Este fue el anteriormente citado, proceso de reducción. ⁸

Pero sin duda todos estos pasos no serían posibles sin el alcance de unas altas temperaturas. Constancia de ello, se encuentran por ejemplo en Mesopotamia, llegando a los 800 incluso 1.000°C. Famosos son los hallazgos de Tell de Sialk (Irán) y en Cayönü Tepesi (Anatolia) de los siglos VIII al VII a.C.

La existencia del horno y el conocimiento de que el cobre nativo se podía calentar para aumentar su maleabilidad y disminuir su fragilidad, suponía que la fundición no era para ellos una tecnología mucho mas compleja de la que conocían en la cerámica. Ya existía la vasija-horno, capaz de soportar hasta 1.250°C

Esas vasijas-horno, eran el preludio de los primeros hornos metalúrgicos, pese a tener su base en los utilizados para cerámica, de forma rudimentaria.



Fig. 16 *Puñal de Bronce*

Su principal característica era la utilización de un soplete de boca o un fuelle, con el que se podían alcanzar con facilidad los 1.100°C.

Existían los hornos metalúrgicos de reducción, como el israelí de Timma (s.XIV a.C), que constaba de una tobera que desembocaba a media altura del horno, el resto se aislaba con una pared de piedra y arcilla. En el fondo una cubeta recibía el metal fusionado.

Se encontraron también en Timma hornos de refundición en forma de fosa que se llenaba de carbón y la refundición se producía en un crisol. En otros la fosa tenía una tapa de arcilla y se podían alcanzar los 1.200°C.

Por lo general el combustible empleado era el carbón vegetal, que permitía una atmósfera adecuada para evitar pérdidas de metal por oxidación y formación de escoria.

Sin duda fueron los egipcios la dinastía floreciente en cuanto a agrupaciones dedicadas a fundición y trabajo de los hornos. Su planificación era tan eficaz que los hornos de fundición permanecían encendidos día y noche.

"... Los hornos de refundición del metal representados en las pinturas y en los bajorrelieves son de dos tipos, según la época:

Durante el Imperio Antiguo son altos y estrechos en la parte alta; la mejor representación es la de la tumba de Mereruka; dos crisoles en forma de cuerno unidos por los bordes, ocupan la mayor parte del horno; y este se ventila con la ayuda de sus sopladores dirigidos por seis personas...

Durante el Imperio Nuevo los hornos son mas anchos y más bajos, el crisol es único, ancho y muy abierto con pitorro vertedor y fondo redondeado; los hornos se ventilan mediante fuelle de pie..." (Mohen.J.P, 1992, p136)⁹ (véase la figura 17)



Fig 17 Mural egipcio. Trabajo de la fundición. Tumba Mereruka

Según Schaeffer¹⁰, ya conocían un bronce "accidental" al que dieron el nombre de Cobre de Asia, encontrado en inscripciones de la Dinastía III, sobre el 2.300 a.C.



Fig. 18 Tuberia de cobre. Egipto

Hacia el 2.700 a.C, los tubos de cobre eran utilizados en Egipto para trasportar agua para beber y afluentes sanitarios.

Junto a los hallazgos de antiguos hornos, aparecen los primeros moldes, generalmente de piedra blanda y arcilla, donde se tallaba la cavidad de la piedra a reproducir. En un primer momento fueron abiertos y posteriormente cerrados o bivalvos, en los que se realizaba un vaciado que se asemeja al moldeo actual.

La forma más primitiva de molde es la que se conoce en la elaboración de puntas de lanza o herramientas de labranza en la Edad del Bronce (Fig.19).



Fig. 19 *Moldes Bivalvos de fundición.*

Aquellos primeros moldes se elaboraban vaciando la superficie de una piedra arenisca con útiles duros. Generalmente el molde lo constituían dos placas complementadas, selladas con arcilla, en las que se iba incorporando el embudo de colada. Una de las mitades integraba el eje vertical, base o pedestal, cuerpo, pico asa estribo o cuello, y se unía a la otra mitad cuando la arcilla estaba aún húmeda. Con ellos se obtenían variadas formas para los útiles y adornos necesarios por el hombre antiguo.

Al igual que en el caso del cobre, no se sabe si el bronce surgió en un lugar a partir del cual se extendió o bien fueron varios los focos. Pero

no cabe duda de la extensión de rutas comerciales para buscar cobre o estaño, lejos de sus asentamientos habituales.

Ello justifica que, habitantes de Siria, Palestina, Anatolia... viajarán hacia Europa para obtener estaño en Bohemia y Hungría, o hacia el Mediterráneo, en la Península Ibérica, donde consiguen cobre argárico, así como el cobre y estaño de las islas Británicas, Cornualles.



Fig. 20 Copas y tulipas ; el Argar.

En Europa cabe destacar la cultura ibérica del El Argar. Su metalurgia bronce argárico, se caracterizaba por las armas y objetos funerarios.



Fig. 21 Caldero trípode ceremonial de bronce chino, del tipo «Li-ting»

Por otro lado, en China, el bronce no llega hasta el 1800 a.C, y la originalidad de sus obras hace pensar que sus técnicas eran autóctonas. Fue en la dinastía de Shang, cuando tuvieron un mayor desarrollo con la elaboración de hachas, vasijas, y otros objetos rituales. Ejemplo, el caso de los calderos Li-ting o las copas "Ku". (Fig.21)

En América ya eran abundantes las pepitas de cobre nativo en la región de los Grandes Lagos desde 4000 a.C, en que los hombres las golpeaban, pero no descubrieron su fusión hasta mucho más tarde.

Sin embargo en Ecuador y Colombia existía una metalurgia desarrollada. Destacaron por su trabajo metalúrgico la cultura de los mixtecos, conocedores de la soldadura, filigrana y complejas técnicas del metal.

En Asia, la edad del Bronce surge con la cultura del Valle del Indo, que dependía en gran medida de los abastecimientos de los mesopotámicos.

En África, aunque conocedora del bronce por la influencia de Egipto, desde un principio estuvieron dominados por otras culturas, y su producción metalúrgica aflora ya en la Edad de Hierro.

En el siguiente cuadro se indica una aproximación de las fechas en que cada una de las etapas de la Edad de los Metales, hizo su aparición en las diferentes áreas geográficas a las que nos referimos.

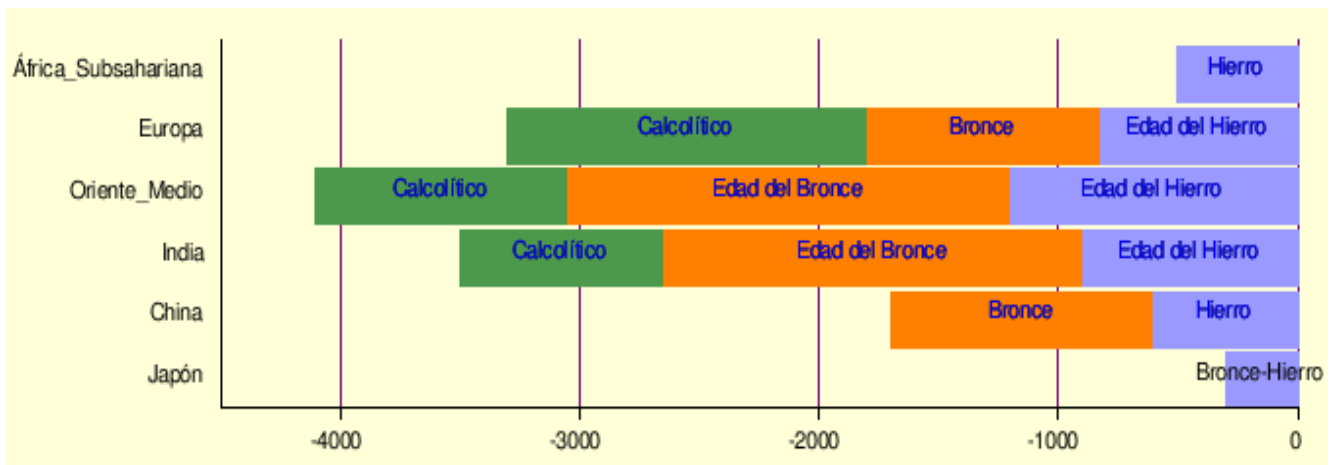


Fig. 22 Edad de los metales en el Viejo Mundo

El último período de la Edad de los Metales, es la **Edad del Hierro**.

Este fue un material más abundante en la naturaleza que el cobre y otros, pero su dureza y alto punto de fusión hizo que sus experiencias fueran más tardías, comenzando 7000 años más tarde que el cobre y 2500 años después del bronce.

El primer hierro que el hombre prehistórico conoció fue el hierro meteórico, procedente de los meteoritos, que permanecía inalterable y con mayor consistencia mecánica que los obtenidos hasta este momento.

Con este descubrimiento, el cobre y bronce se siguieron utilizando pero más comúnmente destinados a objetos de culto y decoración, como expresión artística, mientras que el hierro se afianzó para el armamento y utensilios domésticos.

Los primeros objetos de hierro proceden de un enterramiento en AlaÇa Huyük (Anatolia) de 2500-2300 a.C, entre los que destaca una elaborada daga de hierro con empuñadura de oro.



Fig. 23 *Daga de Hierro de AlaÇa Huyük , tercer milenio a.C*

La extensión de la metalurgia del hierro por el Próximo Oriente probablemente es debida a la cultura hitita, por la difusión que hicieron en su armamento.

La primera cultura europea de la edad del hierro es la Hallstatt (1200-600 a.C), seguida de la cultura de La Tené. Su red comercial era de las más extensas, desde el Mar Báltico hasta el Mediterráneo.

El trabajo en hierro se diferenciaba mucho del realizado en bronce, su elevado punto de fusión, 1537°C no llega a conseguirse hasta muchos siglos después, en la Revolución Industrial. El hombre de la antigüedad tuvo que moldearlo a través de diversos procesos de calentamiento y martillado.

Así pues el descubrimiento metalúrgico supuso el paso de la prehistoria a la Historia



Fig. 24 *Espadas de hierro. Hitita*

moderna del hombre.

Desde la aparición del primer metal y a lo largo de las sucesivas etapas en la Edad de los Metales, el acontecimiento marcó todos los ámbitos de vida de aquel hombre.

El metal trajo consigo:

- El aumento de la rentabilidad agrícola; proporciona mejor capacidad en la tala de árboles y mayor profundidad en el arado de suelos.
- Mejora en las comunicaciones; los carros se hicieron más ligeros gracias a las ruedas con ejes y radios metálicos. Las embarcaciones fueron más resistentes con uniones de clavos, lo que permitía a su vez navegaciones más lejanas.
- Decisivo en las técnicas de guerra y la supervivencia: armas, herramientas de caza más desarrolladas.
- La minería como otra fuente económica.
- Extenso intercambio entre culturas debido a las importaciones del metal.
- Nueva vía expresiva artística, que comenzó con el tallado de la piedra y continúa haciendo del metal un objeto de culto.

Han sido muchas las ventajas desde el primer metal, el cual durante siglos ha demostrado su utilidad potencial, gracias a un proceso evolutivo análogo al propio desarrollo del hombre.

Este proceso experimental ha ido dando paso a lo largo de siglos, al desarrollo de nuevas aleaciones, procedimientos en la confección de moldes, así como de materiales para modelos de fundición, la adaptación a las necesidades y demandas de cada época histórica, para su necesidad, mejora de la técnica y expresión artística.

Los métodos de fundición han sido desde sus inicios, la base de los procesos de conformación metálica. La unión del metal y la temperatura, marcaba un paso más en el manejo de materiales.

Por otra parte, la posibilidad de conferirle a una materia dura como el metal, cualquier forma diseñada por escultores, ingenieros...ha contribuido al desarrollo económico, industrial, social, cultural y artístico, de las sociedades. Primero como necesidad de evolución, en herramientas, hachas... y después como gozo de expresión, estatuillas, abalorios..., el metal nos ha permitido contemplar la evolución y la forma de pensar, hasta la actualidad.

En la búsqueda y obtención de esa materia consistente, surge la posibilidad de dotar a algo efímero un carácter permanente con la mayor facilidad. Así, el hombre ha buscado a lo largo de las etapas históricas, el modelo y el molde que le facilitaran el proceso y con los que obtuviera mejores resultados.

Conseguir hacer operativo el sistema más adecuado para reproducir un modelo a partir de un molde, con las máximas garantías, eficacia, sencillez y rentabilidad, ha sido y es el gran reto de la metalurgia.



Fig. 25 *Cera de modelar*

En principio debemos mencionar **la cera** como un material para elaborar modelos con una gran carga histórica. Se conoce su empleo desde los egipcios para elaborar velas, candelabros... y en su transcurso artístico ha sido también el componente clave en pinturas, como el temple a la cera, la encáustica o papel encerado, múltiples usos que no pasan desapercibidos. Pero ha sido sin duda su participación en el ámbito escultórico uno de los más reconocidos, por tanto es un elemento esencial en el ámbito de nuestra investigación.

La fundición a la cera perdida, introducida por los griegos durante el siglo VI a. C, ha sido hasta hoy la técnica tradicional más evolucionada desde que surgiera la fundición de metales.

Empleada desde hace milenios para modelar pequeñas figuras, se conoce su existencia, anterior a las pirámides de Egipto.



Fig. 26 *Poseidón de Artemisión.*

El uso de la cera comienza en la escultura egipcia, y son numerosas las figuras realizadas en este material con fines rituales funerarios, que eran depositadas en las tumbas de sus difuntos, o como ofrendas en ceremonias religiosas.

También artesanos de la Dinastía Shang en China (1766-1122 a.C), crearon esculturas en bronce con este método, que se hizo extensivo a todas las culturas, mesopotámica, griega..., como puede verse en obras de comienzos del clasicismo, por ejemplo, Poseidón de Artemisión del s. V a.C.

"... el bronce fue el material preferido por los escultores griegos, reflejando esa "magia" que debió suponer el metal por el color, brillo y riqueza..." (Corredor Martínez, 1997, p60)¹¹

"... Tradicionalmente se viene considerando que la técnica de ejecutar grandes broncees "a la cera perdida", la aprendieron los griegos de Oriente, del Egipto saíta, aunque atribuyeron el invento a dos escultores de Samos, Rhoikos y Theodoros, cuya actividad se desarrolló a fines del s. VII a.C..." (Blanco, 1971, p66)¹²

Durante el siglo XVI, las tribus incas del Valle Cauca en Colombia, realizaron esculturas en oro, anteriores a la llegada de Cristóbal Colón, 1492. También se encontraron esculturas del Imperio Azteca y otras culturas, de gran complejidad.

Anteriormente los romanos modelaron máscaras de los antepasados en este material para rituales funerarios. Pero el verdadero auge, no destaca hasta que en el Renacimiento las obras de grandes maestros

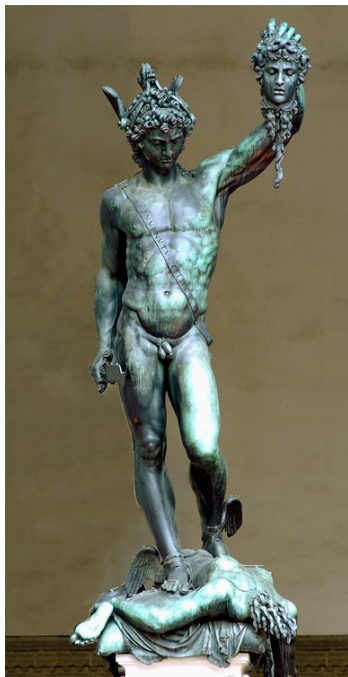


Fig. 27 Perseo. B. Cellini

como Donatello, Benvenuto Cellini, Bologna..., desarrollan las posibilidades de esta técnica, marcando las bases de toda la escultura posterior. Utilizaron la cera para increíbles esbozos de obras que culminarían en bronce, algunos de los cuales todavía se conservan. Buen ejemplo del virtuosismo de la "Técnica a la cera perdida" en aquella época es, el Perseo de Cellini (1554).

Este método de fundición, reflejada en obras claves, máximos ejemplos en la enseñanza de esta técnica como disciplina artística, se veía además reforzada por numerosos escritos de artistas de la época; por ejemplo en 1538, Vanoccio Biringuccio,

encargado de la fundición artística del Vaticano escribió detalladamente el arte de fundir en el primer volumen impreso sobre metalurgia, Pirotecnia.

A lo largo de este proceso han surgido nuevas aleaciones, herramientas, y métodos de trabajo, que han venido facilitando la fundición con esta técnica, y muestra de ello son el amplio abanico de posibilidades respecto a moldes: elaborados por piezas, a la francesa, a la italiana, flexibles, de silicona..., esta evolución permitió que durante la guerra y pos-guerra, la industria de armamento se sirviera de esta técnica, y desde entonces, joyería, ingeniería y odontología... también lo han acomodado a las necesidades del hombre.

Hoy la industria de los últimos siglos, adaptándose a la demanda de las sociedades actuales ha desarrollado una metalurgia activa como innovación y alternativa a las técnicas tradicionales, con la aparición de nuevos productos que mejoran, tanto los sistemas de producción como los resultados.

Las técnicas recientes, métodos y materiales que el panorama artístico contemporáneo ofrece, nos permiten aportar los conocimientos teórico-prácticos necesarios para utilizar modelos de fundición que se gasifican en el mismo instante en que se produce el vertido de metal sobre él.

Esta información previa nos induce a la realización de diversas pruebas de estado en este trabajo, que confirman las posibilidades de uso de estos materiales y que van a justificar la base de nuestra investigación:

- 1) Poliestireno expandido (EPS), y extrusionado o extraído (XPS)
- 2) Etil Vinil Acetato; (EVA), Goma Eva o foamy
- 3) Espuma rígida de poliuretano o espuma floral (PUR)



Fig. 28 Goma Eva

Por su alta composición de aire van a presentar notables ventajas para usarse en fundición. En el trabajo veremos como estos materiales de escasa historia artística y comúnmente familiarizados con el embalaje industrial,

manualidades o decoración floral, cada uno en su ámbito, van a presentarse como alternativa a la tradicional cera, y que pretendemos, sean operativos adaptándose a los sistemas de moldeo, tradicionales y nuevos, que experimentados y estudiados, sean compatibles con él.

Nuestro gran reto será pues, elaborar modelos gasificables con moldes que ofrezcan las máximas garantías, eficacia, sencillez y rentabilidad no sólo en los resultados obtenidos sino en todo el proceso.



Fig.29 Poliestireno Expandido y extruído

La utilización de un material gasificable y moldes de arena, que tienen su origen en la antigüedad, va a suponer distintas adaptaciones y compatibilidades químicas. Todo ello nos va a exigir el estudio y comportamiento de varias modalidades de revestimientos que permitan una fácil gasificación del producto en las diversas morfologías que pretendemos obtener.

Como modelo gasificable destacaremos el uso y comportamiento del **EPS (Poliestireno Expandido)** y otras tipologías de poliestireno espumado, en el campo escultórico; **XPS (Poliestireno Extruído)** ya que este ha sido utilizado con otros métodos de moldeo, y a su

vez la cascarilla con la cera, pero no así, el uso del EPS y la cascarilla como método en la fundición artística.

Nos va a interesar porque aporta: ligereza, resistencia y fácil gasificación. Esta última cualidad permitirá que el metal fundido entre en el molde sin necesidad de extraer el modelo, porque se gasifica en el momento de la colada; lo que denominamos, molde lleno y modelo perdido.

Junto al EPS y XPS presentamos dos nuevos modelos gasificables que pretendemos incorporar como novedad al ámbito de la fundición, en este trabajo:

- **PUR (Espuma de poliuretano rígida)** en su modalidad de **espuma floral**.
- **EVA ; Etil Vinil Acetato (o goma eva)**

Establecidas estas líneas de trabajo, experimentamos el comportamiento de los tres materiales con diferentes pruebas de estado que comparamos, por sus componentes plásticos y determinamos las ventajas de su uso como modelos de fundición.

Paralelamente a los modelos de fundición propuestos, se presenta un sistema de moldeo, que vamos a utilizar con el EPS y resto de materiales gasificables. Es el caso de la cáscarilla cerámica, hasta ahora utilizada en modelos de cera fundamentalmente.

La cascarilla cerámica y su utilización con modelos de EPS y XPS se esta desarrollando en la industria actual. Nuestra propuesta, tras numerosas pruebas de estado plantea la mejora y sobre todo la extrapolación y adaptación de este sistema, al ámbito artístico actual, y los dos nuevos modelos de fundición, la Espuma de Poliuretano rígida (PUR) o espuma floral y el Etil Vinil Acetato (EVA), reseñados anteriormente.

El molde cerámico, como base de la cascarilla cerámica surge directamente de los moldes de revestimiento hallados en la prehistoria, y ha permanecido anclado hasta hoy al tradicional método de la cera perdida. Sin embargo la industria y la actualidad artística lo restablecen para ser el revestimiento y la impronta de materiales nuevos, como el EPS, incidiendo en la ligereza del método debido a los modelos y al molde.

Así, esta investigación abarca aspectos documentales, históricos, técnicos y prácticos, de manera que llegamos a un conocimiento de la interrelación entre la fuente escrita y la experiencia práctica.

Nuestro objetivo, con fines técnicos, va más allá de los aspectos documentales históricos. Serán los ensayos de una creación artística personal los que marcan los pasos y resultados de todo el trabajo. Aplicaremos métodos experimentales científicos, unos, aplicados hoy en la complicada industria del motor, como la cáscara cerámica con el EPS, como el procedimiento "replicast", con ciertas similitudes al que proponemos, pero hecho extensible al campo artístico-escultórico para adaptación y necesidad de toda la sociedad. Ello permite asegurar su repercusión en el ámbito docente universitario y escuelas de arte, así como otros métodos nuevos, cuya base se encuentra en los últimos materiales de moldeo investigados, como por ejemplo el moldeo con arena arebond de origen industrial.

Con ello, esta investigación la estructuramos en cinco grandes capítulos:

Capítulo 1º: estudiamos la situación de los nuevos modelos que proponemos, desde su origen y empleo en la fundición, hasta su situación actual.

Capítulo 2º: analizamos como en el anterior capítulo el estado de los sistemas de moldeo utilizados en la fundición, desde los métodos

tradicionales hasta los actuales. Se describe el estado actual de la cascarilla cerámica

Capítulo 3º: plantea nuestra propuesta de investigación en torno a modelos gasificables, métodos de moldeo compatibles con aquellos y la utilización de separadores, las pinturas refractarias, como una aportación más para la rentabilidad del proceso tradicional de fundición de piezas escultóricas.

Capítulo 4º: exposición de las fichas técnicas realizadas a las obras escultóricas resultado de la investigación.

Capítulo 5º: se presentan los resultados de la investigación en la obra escultórica realizada. Una serie de piezas realizadas en bronce con una línea estética basada en la geometría.

Las piezas recogerán resultados de compatibilidad, registro superficial, dificultades o posibles errores de la experimentación entre antiguos materiales de modelo y nuevos moldes, así como la utilización de productos recientes en los dos pasos del proceso de fundición, modelo y molde.

El modelo

Va a ser la imagen definitiva de la forma que se obtendrá en metal. Por lo tanto a partir de este se desarrollará todo el proceso de fundición. Será necesario un recorrido desde los primeros y tradicionales materiales utilizados por el hombre para fundir y su evolución, hasta la aparición de los nuevos materiales fruto del creciente desarrollo tecnológico. Definición, clasificación y modos de elaboración de modelos en cera, barro..., que desembocan en los modelos gasificables: Poliestireno Expandido, Goma eva y espuma de poliuretano como ejes comparativos de la investigación.

Un estudio a partir de la experiencia práctica realizada; el comportamiento de las proporciones, la contracción, la resistencia del material, compatibilidad..., será determinante para verificar que los materiales gasificables nuevos, ofrecen excelentes garantías y ventajas, respecto a tradicionales, para ser usados en la fundición artística actual.

El molde

Vamos a extrapolar materiales segregados de la industria y aplicarlos al ámbito escultórico.

La ligereza de los materiales empleados en la elaboración de los modelos, junto con los moldes realizados por capas supone dar un paso cualitativo de vital importancia en la simplificación del proceso, mejora de la permeabilidad y la refractariedad, para así obtener un mejor registro con ausencia de anomalías en las piezas obtenidas.

Creemos que la cascarilla cerámica utilizada con modelos gasificables presenta un nuevo panorama en la fundición artística contemporánea.

Los separadores Van a jugar un papel fundamental en los resultados del sistema de moldeo que planteamos. Suponen una importante aportación en la investigación, para la mejora del proceso

de fundición, y una línea abierta para experimentar su uso sobre estos modelos de fundición con otros sistemas de moldeo.

Este material, utilizado en la industria sobre moldes de fundición, lo vamos a aplicar directamente sobre los modelos de fundición, lo que facilita en gran medida el posterior desmoldeo de la pieza obtenida en bronce.

El talco, grafito... ya se habían añadido a los materiales del molde probando su eficacia en este ámbito. Ahora, junto con las pinturas refractarias como nuevo material, serán sometidos a pruebas de compatibilidad y refractariedad, tanto con los modelos como con el molde.

Tratamos de aportar mejoras facilitando la eliminación de restos que quedan adheridos en la pieza, en intersticios, o zonas de difícil acceso en el proceso de la limpieza final. La utilización de la pintura refractaria va a suponer en los moldes de cáscara cerámica, una capa más del molde, aplicado sobre el modelo.

A partir del estudio teórico de los modelos y métodos tradicionales y nuevos, plantearemos en ese **tercer capítulo** nuestra propuesta y aportación a la investigación de la fundición artística actual:

- 1)** Nuevos modelos como alternativas a la tradicional cera, que no sólo rentabilizan y mejoran el resultado final, sino que amplían las vías expresivas del escultor contemporáneo.
- 2)** Molde aplicable a los modelos, que incrementan esa rentabilidad y calidad de la pieza, que permite que el proceso sea más accesible, debido a su reducción de peso; es el caso de la cáscara cerámica respecto al tradicional bloque de chamota.
- 3)** Pinturas refractarias que actúan como separadores, que suponen una evidente ventaja en el desmoldeo.

Por último consideramos una aportación en este trabajo, la posibilidad de integrar materiales de distinta naturaleza, metálicos o no metálicos, en las piezas elaboradas en bronce que proponemos. Ello debido a las características peculiares de los modelos propuestos, que nos permitan insertarlos en ellos.

El resultado final permite que estos materiales se adhieran a la pieza final formando parte de la misma, como veremos en el capítulo cuarto.

Capítulo I



**Situación actual de la fundición artística:
Los modelos de fundición**

SITUACIÓN ACTUAL DE LA FUNDICIÓN ARTÍSTICA:

Modelos de fundición.

1. INTRODUCCIÓN:

Desde que surgiera la metalurgia, el hombre ha buscado los materiales que le permitieran expresarse con mayor eficacia y rentabilidad a través del arte, adaptando éstos junto a los métodos al desarrollo de su tiempo. Así, modelo y molde se han sucedido paralelos, estableciendo el método de fundición que daría como resultado la pieza en metal. Veremos, como en esa búsqueda, partiendo de un material clásico como la cera, utilizado en modelos de fundición, las sociedades a lo largo de la historia han evolucionado hacia otras posibilidades, hasta adaptarse a los materiales que le ofrecen los nuevos procesos industriales. Esta nos llevará a otros materiales, de los que podremos obtener piezas de metal fundido que presentamos como alternativa a los tradicionales.

No obstante es necesario recordar aquellos primeros pasos que dio el hombre para entender el desarrollo, el porqué de esa búsqueda y la adaptación que la fundición contemporánea hace de aquellos procesos de la cera perdida y la aparición de una metalurgia más activa con la incorporación de nuevos productos, y renovados sistemas de fundición.

El avance técnico en el campo de la fundición, no supone prescindir de los métodos tradicionales. Éstos junto a los nuevos materiales son el punto de partida para el desarrollo, con una mejora y readaptación a las necesidades de nuestro tiempo.

2. MATERIALES PARA LA OBTENCIÓN DE MODELOS DE FUNDICIÓN:

El modelo es punto de partida del proceso de fundición, es la imagen definitiva de la forma que se obtendrá en metal y determina la técnica con la que se obtiene la pieza. Por tanto éste debe de tener el tamaño, forma y textura definitivos para reproducir en metal.

Existen numerosos materiales con los que se puede diseñar el modelo; arcilla, yeso, madera...; pero veremos cómo la cera, desde casi los inicios de la fundición ha marcado la evolución del proceso metalúrgico, dando su nombre a la técnica tradicional por excelencia, "**la cera pérdida**", técnica que en la Historia de la Escultura alcanza su esplendor en el Renacimiento.

A partir del desarrollo tecnológico surgen materiales alternativos para nuevos modelos de fundición como por ejemplo el poliestireno expandido entre otros, como se verá a lo largo de este trabajo de investigación.

2.1 LA CERA:

Ha sido y es el material clásico con el que se elabora un modelo de fundición. Sus propiedades plásticas y su bajo punto de fusión la hacen idónea para modelarla y conseguir detalles sin dificultad, siendo su cualidad fundamental, que su combustión no deja residuos en el interior del molde.

*"La historia de la escultura en cera arranca con la cultura egipcia, que construía figuras en cera de diversas deidades con fines rituales funerarios, y eran depositadas en las tumbas de los fallecidos."*¹³

Desde esta etapa, su uso ha ido extendiéndose a las siguientes generaciones. Los romanos usaban este material para modelar las máscaras de los antepasados y así preservarlas.

En el Renacimiento adquiere su carácter definitivo en obras de Miguel Ángel o Bologna y en otras esculturas que finalmente fueron fundidas por el proceso de la cera perdida.

Conocido es su uso en multitud de quehaceres humanos: en la fabricación de velas y cirios en iluminación, como ingrediente pictórico, en la escritura antigua sobre tablas de madera enceradas... y en la escultura, veremos cómo es un material de vital importancia para el modelo, a partir del cual comienza el proceso, y que por sus características esenciales, será el más usado en las técnicas de fundición incluso en nuestros días.

"La cera palpita: ella se calienta en mi mano, toma la temperatura de mi cuerpo, en ese momento es capaz de involucrarse en el detalle de mis dedos, de recoger mis huellas, de pasar, dulcemente y biológicamente, de una forma a otra [...] este material contra mi carne, se vuelve mi carne [...] tal es su sutileza, su fragilidad, su sensibilidad".¹⁴



Fig. 30 Muestra de material:

Las ceras son estéres de los ácidos grasos con alcoholes de peso molecular elevado.

Son sustancias altamente insolubles en medios acuosos y a temperatura ambiente se presentan sólidas y duras. Es plástica, con bajo punto de fusión, es decir arde con facilidad y mantiene su forma con temperaturas estables-bajas.

Su capacidad de reproducción y su apariencia traslúcida la han hecho apta para

copiar las carnaciones como ningún otro material.

2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CERAS:

Los orígenes de las ceras son diversos, exponemos las siguientes atendiendo a su procedencia:

- **ceras vegetales:** se producen por la exudación de ciertas plantas, que cubren sus zonas aéreas para conservar el agua del vegetal. Entre ellas podemos nombrar; cera candelilla, carnauba...
- **ceras animales:** producidas por las glándulas ceras de determinados insectos. Son conocidas el esperma de ballena y la cera de abejas.
- **ceras minerales:** derivadas del petróleo y del carbón mineral: parafina, vaselina, microcristalinas... Este tipo son las más utilizadas en fundición.
- **ceras sintéticas:** se componen de las anteriores ceras naturales con productos químicos que elevan su punto de fusión y hacen el material mas duro.

2.1.2 CARACTERÍSTICAS:

Desde el punto de vista escultórico presentan las siguientes ventajas:

- a) La plasticidad:** para ser modeladas fácilmente.
- b) Resistencia a la deformación** y por lo tanto conserva la forma.
- c) Estabilidad química,** es decir incompatibilidad con otros elementos. Ello la hace idónea en trabajos de restauración, formando barreras contra el vapor de agua por su carácter hidrófobo y otros.
- d) Bajo punto de fusión,** pasando a estado líquido con temperaturas inferiores a 100°C. El corto intervalo de temperaturas en el que cambia de un estado a otro hace que su modelado sea fácil y accesible.
- e) Viscosidad** es el estado glutinoso de un fluido. Cuanto menor sea la viscosidad de la cera, mayor fluidez tendrá en el molde, lo que

permite que penetre en las secciones más finas antes de su solidificación.

f) Carácter traslúcido le aporta gran semejanza con la piel humana, propiedad a tener en cuenta en la creación escultórica, para reproducir con gran realismo formas antropomórficas.

g) Adherencia, aspecto esencial en un proceso de creación por adición, como el modelado. Su adherencia se encuentra implícita en su constitución química grasa, pudiéndose aumentar incorporándole resinas.

En definitiva, la cera con mejores características para ser utilizada en la confección de modelos debe ser:

- Más flexible, no quebradiza.
- Sólida a temperatura ambiente
- No debe fundir hasta acercarse al punto de ebullición del agua

Su manipulación debe cumplir dos principios básicos:

- La temperatura; excesivamente alta, la convierte en un material inestable, y por el contrario con temperaturas bajas, es difícil su modelado.
- Repele el agua; característica determinante para la compatibilidad con los materiales de moldeo.

Una buena cera de trabajo debería tener poca memoria. Es decir, que si la doblamos no vuelve a su forma original.¹⁵

2.1.3 CREACIÓN DEL MODELO

"...la cera ignora la distinción y la jerarquía tradicionales de las artes plásticas, porque puede ser esculpida, modelada o moldeada... Denota una pasividad y una fragilidad fundamentales de la cera, que por así decir es a la noción del material como la mariposa a la noción de la imagen; no solamente el estado de uno u otro sigue siempre a toda metamorfosis,

espléndida y al mismo tiempo frágil, sino que además la llama de la vela es tan peligrosa para la una como para la otra...".¹⁶

La cera es una materia apta para ser trabajada por diferentes procedimientos:

- **Modelado:**

Referido a la manipulación del material con nuestras manos. Este método es ideal para ceras plásticas que expuestas al calor suave de los dedos puede modificarse su forma. En ese estado deben presentar también buena adherencia para realizar uniones seguras con la simple adicción.

Pueden modelarse doblando, retorciendo, estirando..., por métodos aditivos y sustractivos con el uso de herramientas a las que se aplica calor para obtener la forma deseada.

- **Talla:**

Su manipulación es similar al empleado en la talla de madera o piedra, eliminando progresivamente materia siguiendo la dirección de los volúmenes para definir formas.

- **Construcción:**

Este procedimiento se desarrolla con la unión directa de partes de cera mediante soldadura, como si se tratara de elementos individuales metálicos que se ensamblan para formar una pieza. En este método es importante también una buena adherencia y plasticidad de la cera.

- **Vaciado:**

El método consiste en hacer un molde negativo partiendo de un original. En el interior de éste verteremos cera líquida tantas veces como sea necesario hasta obtener el espesor adecuado, que será el mismo de la pieza resultante en metal fundido.

Por último decir, que existen también numerosas recetas para obtener ceras especiales para modelar en cualquier ámbito, y que son más blandas y fáciles de trabajar manualmente.

Una de las recetas utilizadas en nuestro trabajo tiene la siguiente composición; para 1 kg de cera:

CERA VIRGEN	700 gramos
PARAFINA	200 gramos
RESINA DE COLOFONIA	100 gramos

Elaborado el modelo se procede al moldeo del mismo y preparación del conjunto para la fundición siguiendo la técnica tradicional de la cera perdida que detallaremos en el siguiente capítulo.

2.2. NUEVOS MATERIALES:

2.2.1 ANTECEDENTES: LOS PLÁSTICOS EN LA NUEVA INDUSTRIA

Con la llegada de la modernidad y la tecnología surgen los nuevos materiales, como alternativas a productos naturales, que van a marcar notablemente el desarrollo del hombre: los plásticos.

Sin embargo; materiales como la queratina de los cuernos o el caparazón de una tortuga por ejemplo, son polímeros naturales, similares a los plásticos sintéticos que abundan en la actualidad y su existencia data de miles de años.

Consideramos necesario en esta investigación, realizar un breve recorrido acerca de los plásticos o polímeros. Los nuevos materiales que presentamos como modelos de fundición surgen directamente de ellos.

Así, la palabra plástico, procede del término griego plástikos que significa “**capaz de ser moldeado**”, esta capacidad para deformarse y adoptar cualquier forma es lo que ha hecho que se convierta indispensable en nuestra vida diaria. Técnicamente se define como un material sintético formado por macromoléculas orgánicas llamadas polímeros.

El primer plástico semi-sintético (nitrato de celulosa) fue presentado por el inventor británico Alexander Parkes en 1862, quien realizaría numerosos experimentos sin éxito. Fue en 1870 cuando Wesley Hyatt presentándose a un concurso para la fabricación de bolas de billar, da a conocer un método de procesamiento del nitrato de celulosa, patentando el celuloide posteriormente. Sin embargo, el nitrato al ser inflamable, no podía ser moldeado para transformarse. Se sucederán numerosas pruebas hasta que en 1907 se patenta el primer plástico sintético, la baquelita, utilizado en teléfonos, cámaras fotográficas...

En 1920 el químico alemán Hermann Staudinger afirmó que éstos se componían en realidad de moléculas gigantes o macromoléculas. Fruto de estas afirmaciones se iniciaron numerosas investigaciones científicas que produjeron enormes avances en esta parte de la química, produciéndose un nuevo desarrollo en la industria de los plásticos. Aparecen el celofán, PVC, PVA entre otros, y se empiezan a producir plásticos a partir del petróleo: poliestireno, polímeros, acrílicos policloruro de vinilo..., hasta la situación actual.

En esta evolución es donde se encuentran los materiales que proponemos en esta investigación; materiales plásticos, caracterizados por estar formados por macrocélulas orgánicas denominadas polímeros. Estos polímeros resultan de grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico conocido como polimerización.

El monómero es una molécula de pequeña masa molecular que unida a otros monómeros por enlaces químicos forman las macromoléculas (polímeros).

La **clasificación de los plásticos** atiende al monómero originario del cual parte la polimerización:

- Según la materia prima de origen podemos distinguir entre:
 - Plásticos naturales: de origen natural, por ejemplo la celulosa y el caucho.
 - Plásticos sintéticos: son en su mayoría los que se utilizan en la actualidad y provienen de la destilación del petróleo. Dentro de este grupo señalamos; el Poliestireno expandido, el Etil-Vinil acetato y la espuma rígida de poliuretano en su variedad de espuma floral.

A estas materias primas base, natural o sintética, se añaden una serie de aditivos para dotarles de una propiedad determinada:

- * Antioxidantes: protegen de degradaciones químicas
 - * Estabilizadores ultravioleta: protegen de la intemperie
 - * Plastificantes: producen un polímero más flexible.
 - * Lubricantes: reducen la fricción
 - * Pigmentos: colorean los plásticos
 - * Otros aditivos: producen materiales compuestos; es el caso de las espumas plásticas: plástico y gas, que proporcionan una masa de gran tamaño pero ligera.
- Según la disposición de las moléculas que lo forman y su comportamiento frente al calor. En este caso podemos distinguir tres tipos:

- Termoplásticos: sus macromoléculas se disponen libremente sin enlazarse. Es un plástico deformable y puede ser calentado, reblandeciéndose con el calor, pudiéndose adquirir la forma deseada que conserva al enfriarse. Difieren de los termoestables en que después de calentarse y moldearse, éstos pueden recalentarse y formar otros objetos.



Fig.31. Termoplásticos

- Termoestables: sus macromoléculas se entrecruzan formando una red cerrada. Se convierten en materiales rígidos cuando se calientan, de modo que sólo pueden deformarse una vez.



Fig. 32. Termoestables

- Elastómeros: sus macromoléculas se ordenan en una red con pocos enlaces, esto permite que sean muy elásticos y recuperen su forma cuando cesa la presión en ellos.

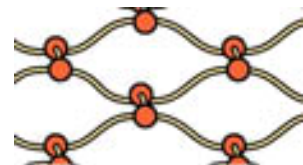


Fig. 33 Elastómeros

En el siguiente cuadro podemos ver una clasificación de los mismos:

	TIPOS MÁS COMUNES	USOS
TERMOPLÁSTICOS	POLIETILENOS	Bolsas, recipientes, contenedores...
	POLIÉSTERES SATURADOS	Botellas para bebidas, envases alimenticios...
	POLIESTIRENOS	Protectores en embalajes, planchas aislantes...
	POLIVINILOS	Tuberías de agua y gas, aislantes eléctricos, impermeables, antiguos discos de música...
	POLIPROPILENOS	Cajas, estuches con tapa abatible, jeringuillas...
TERMOESTABLES	FENOLES	Aislantes eléctricos, interruptores, bases de enchufe...
	AMINAS	Clavijas, interruptores, recubrimientos de tableros...
	RESINAS DE POLIÉSTER Y EPOXI	Embarcaciones, piscinas, fibras y tejidos, material deportivo, adhesivos, alas de aviones...
	POLIURETANOS	Gomaespuma, piel artificial...
ELASTÓMEROS	CAUCHOS	Neumáticos, mangueras, artículos de goma...
	NEOPRENOS	Trajes de submarinismo, rodilleras, correas...
	SILICONAS	Prótesis, sondas y tubos de uso médico, cierres herméticos...

Fig.34
Tipos de plásticos

Las propiedades generales de los plásticos son:

- Plasticidad: capacidad para deformarse, que permite obtener piezas mediante la aplicación de calor y el uso de moldes y maquinaria especializada.
- Resistencia mecánica
- Resistencia a la acción de agentes atmosféricos
- Aislantes de la electricidad
- Facilidad de manipulado
- Aislantes acústicos y térmicos
- Bajo costo de producción
- Posibilidad de tintado en el proceso de fabricación
- Reciclables en su mayoría

Así mismo, los **métodos de obtención de los plásticos** resumidos brevemente consisten en:

- a) **COLADA**: el vertido del material plástico en estado líquido dentro de un molde, donde se solidifica adquiriendo su forma.

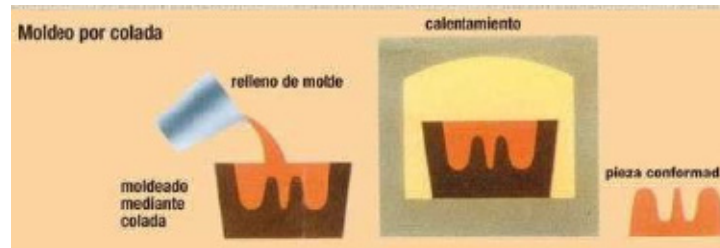


Fig.35

b) **ESPUMADO**: se introduce aire u otro gas en el interior de la masa de plástico de manera que se crean burbujas que quedan en el interior de la estructura cuando esta se solidifica. Esto hace que la densidad y peso disminuya.

c) **CALANDRADO**: el plástico en estado blando, pasa por unos rodillos precalentados que producen mediante presión láminas de plástico de diferentes grosores.

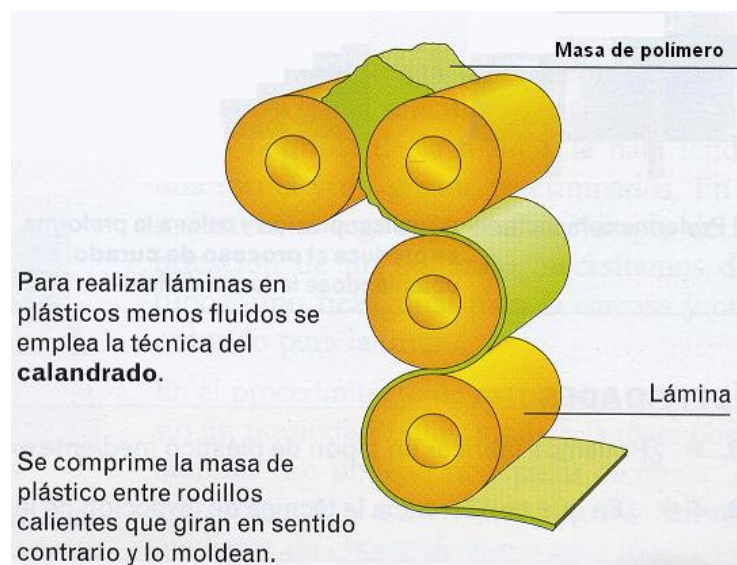


Fig.36. Proceso de calandrado

d) **MOLDEO (a alta presión):**

d.1) **Moldeo por inyección:** se vierte plástico granulado dentro de un cilindro, donde se calienta. En el interior del cilindro un tornillo actúa como un émbolo que empuja el producto inyectándolo a alta presión en el interior de un molde.

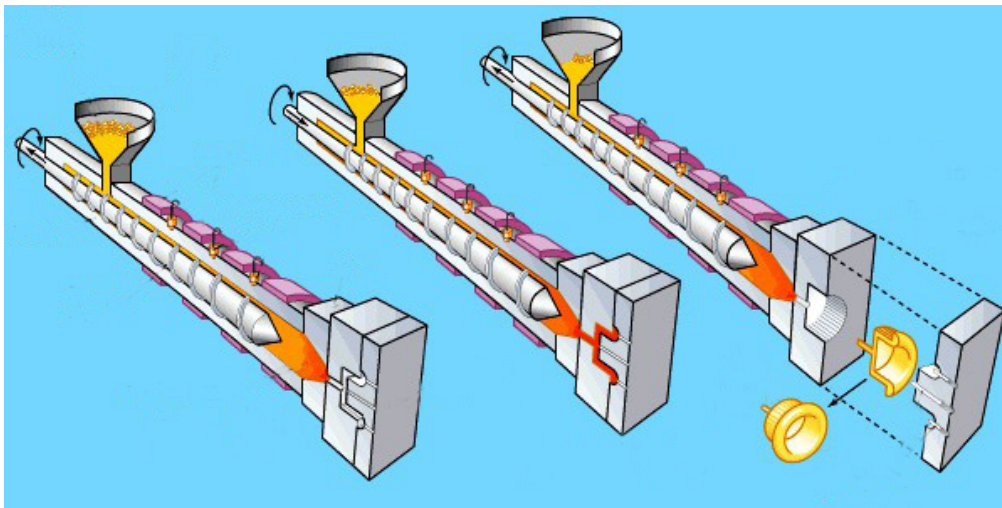


Fig.37 Moldeo por inyección

d.2) **Moldeo por extrusión:** por el mismo sistema anterior, un tornillo empuja el material a través de un cilindro que acaba en una boquilla, lo que produce una tira de material con una longitud indefinida.

d.3) **Moldeo por inyección/extrusión por soplado:** consiste en comprimir el plástico que sale por la boquilla en un molde a la vez que se inyecta aire a presión, lo que resulta una pieza hueca.

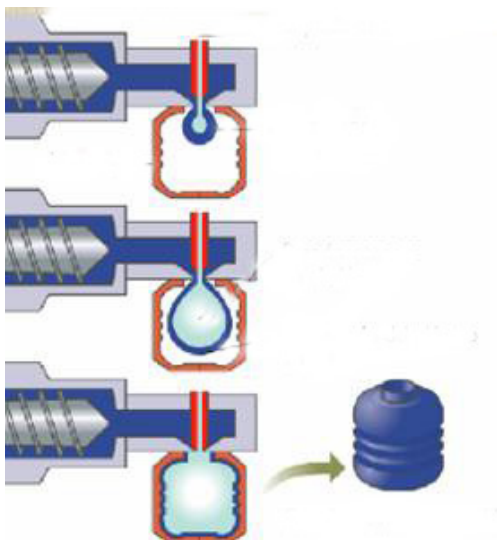


Fig.38. Moldeo por soplado

e) MOLDEO (a baja presión):

e.1) **Moldeo por vacío:** consiste en efectuar el vacío absorbiendo el aire que hay entre la lámina y el molde, para que ésta adopte la forma.



Fig. 39 *Moldeo por vacío*

Estas características y métodos de procesado de los plásticos que hemos visto brevemente se pueden aplicar a los materiales que vamos a utilizar como modelos en la fundición actual, los cuales exponemos detalladamente a continuación.

3. EL POLIESTIRENO (PS) :

3.1 HISTORIA, EVOLUCIÓN Y ESTADO ACTUAL:

Hace 3000 años AC, los egipcios, embalsamaban los cadáveres para preservarlos en el viaje que les esperaba hasta el mas allá. En este proceso, utilizaban numerosas sustancias, entre ellas una resina que extraían de un árbol oriental: el ámbar líquido.

Posteriormente en 1870, científicos ingleses empiezan a destilar la resina de ámbar líquido para extraer un fluido denominado Styrax.

En el siglo XIX, se aisló con éxito la molécula de estireno a partir de Styrax, desarrollando un método de "síntesis de laboratorio de estireno".

En 1925 el químico alemán Hermann Staudinger, consiguió ensamblar varias moléculas de estireno en el proceso que denominó

"teoría de la polimerización". Al polímero resultante lo llamó Poliestireno, a partir del cual siguieron las investigaciones.

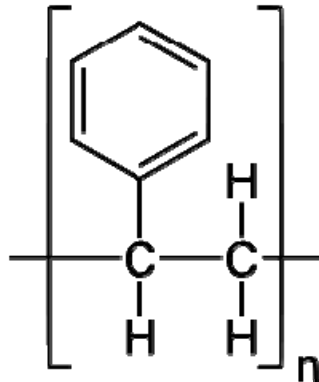


Fig.40 Composición del PS.

En 1930 fue producido por primera vez a nivel industrial en Alemania por la I.G. Farbenindustrie. Dos décadas después, en 1950 otro químico alemán, F. Stastny, del grupo químico alemán BASF, realizó la primera expansión del poliestireno expandido, estableciendo las bases de la nueva industria.

Stastny desarrolla e inicia la producción de un nuevo producto, el poliestireno expandible, bajo la marca Styporor.

El material fue utilizado como aislante en una construcción dentro de la misma planta de la empresa BASF, sometiéndolo a varias pruebas durante un largo período de tiempo, tras lo cual el material seguía manteniendo cada una de las propiedades intactas.

Durante la II Guerra Mundial, aparece el interés por estos productos orgánicos que se centran en él como un material aislante y de gran resistencia al choque.



Fig. 41 Procedencia del estireno. ANAPE

Debido también a sus propiedades termoplásticas, adecuación de reblandecimiento y fluidez, lo hacen apto para conformación en caliente y moldeo por inyección.

Este polímero termoplástico llamado Poliestireno, obtenido de la polimerización del estireno da lugar a 5 tipos con las siguientes características:

- **Poliestireno cristal**: rígido, transparente y quebradizo. Por debajo de los 95°C su estado es vítreo, pero por encima de esa temperatura se vuelve blando con posibilidad de moldearse.
- **Poliestireno choque o de alto impacto**: opaco. Resulta de la mezcla en el proceso de polimerización de un 14% de caucho, normalmente, polibutadieno.
- **Poliestireno expandido (EPS)**: resultante de inyectar a un 95% del poliestireno común, un 5% de gas, que forma burbujas que reducen la densidad del material. Es la modalidad que nos va a interesar en esta investigación por sus cualidades gasificables.

- **Poliestireno extruído (XPS)**: es una variante del anterior, su composición química es exactamente igual, pero su diferencia radica en el proceso de conformación que produce una estructura de burbuja cerrada con mayor densidad, que le aporta diferentes cualidades:
 - * Permite mojarse sin perder propiedades.
 - * Tiene una superficie al tacto más lisa, no presenta textura de burbuja como en su variedad de expandido, modalidad utilizada en nuestro trabajo.
- **Poliestireno sindiotáctico**: Es un plástico cristalino que funde a 270°C y se diferencia del poliestireno atáctico normal porque los grupos fenilo de la cadena polimérica están unidos alternativamente a ambos lados de la misma, no desordenados.

En la figura 42 se observa un ejemplo de la estructura molecular de un poliestireno atáctico y sindiotáctico.

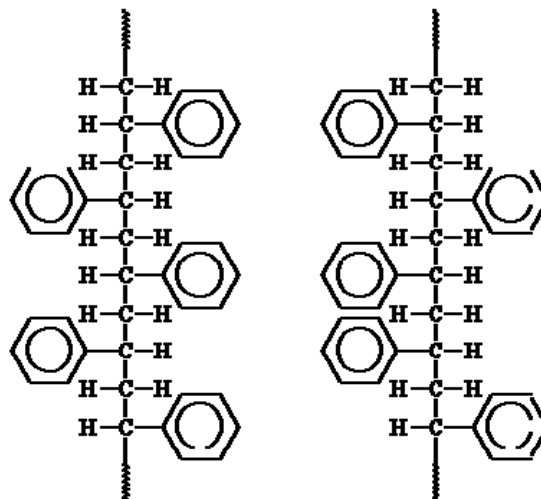


Fig.42 Estructura molecular ordenada y desordenada

3.1.1 EL POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

Técnicamente se define como un **material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible que presentan una estructura celular cerrada y llena de aire**. Su nombre común es porexpán o corcho blanco y se presenta como un material plástico espumado y un polímero de gran interés industrial.

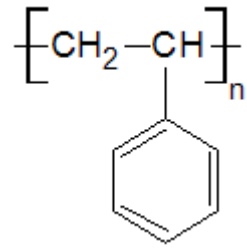


Fig..43 Composición del EPS.

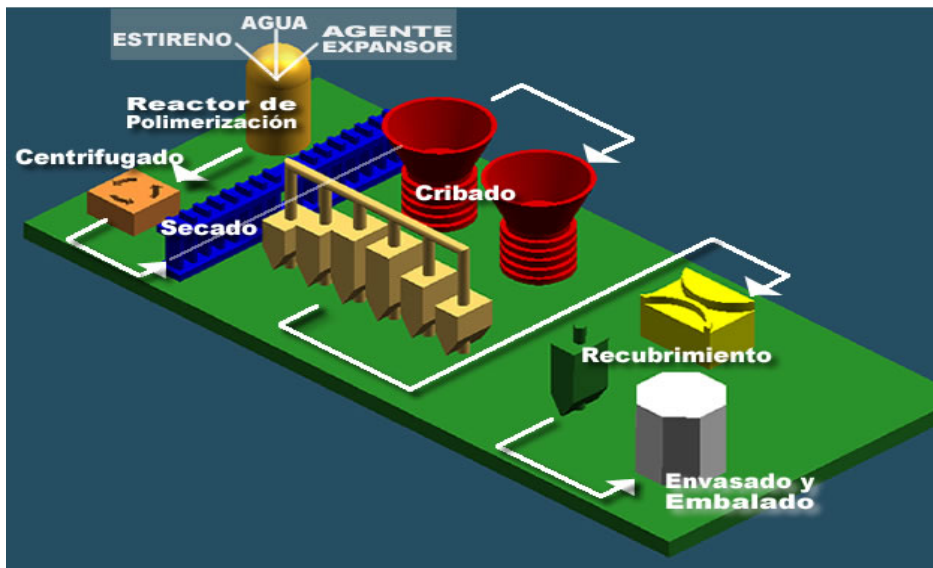


Fig.44
Fabricación del EPS.
ANAPE

La materia prima para la fabricación del EPS o Poliestireno expandible, se compone de un polímero de estireno, que contiene un agente expansor (este es un hidrocarburo de bajo punto de ebullición, habitualmente pentano).

El estireno se obtiene a partir del etileno y diversos compuestos aromáticos generados mediante el procesado de gas natural y el petróleo. El estireno junto con el agente expansor sufre un proceso de polimerización mediante suspensión en agua, dando lugar al poliestireno expandible, la materia prima para la fabricación del EPS.

La polimerización tiene lugar en reactores equipados con mecanismos agitadores que producen la división del estireno en pequeñas gotas suspendidas en el agua.

3.1.2 MÉTODO DE OBTENCIÓN:

El proceso de fabricación del EPS, consta de tres partes:

A - PREEXPANSIÓN:

Es la expansión de la perla de poliestireno mediante vapor de agua. Consiste en el reblandecimiento de las partículas de materia prima por efecto del calor y el posterior hinchamiento de estas partículas derivado del aumento de volumen del agente de expansión (pentano).

Para ello, la materia prima se calienta en instalaciones especiales denominadas pre-expansores, con vapor de agua a temperaturas situadas entre aprox. 80 y 110°C. Los pre-expansores pueden ser continuos (alimentación de materia prima y vapor de forma ininterrumpida) o discontinuos (cerrados y con dosificación definida de materia prima). En función de la temperatura y del tiempo de

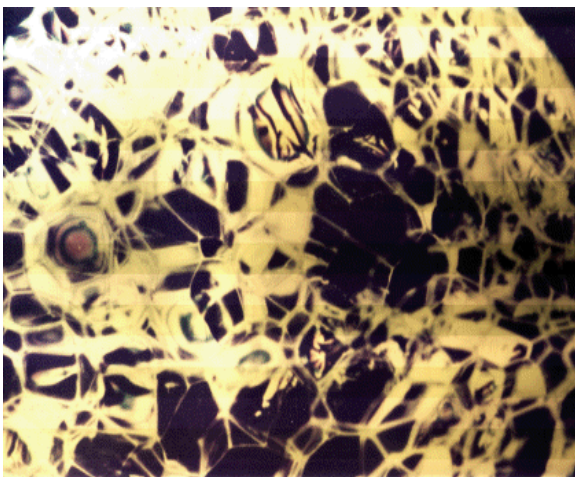


Fig.45 Estructura celular de una perla de EPS

exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m³ a densidades que oscilan, normalmente, entre los 10 - 30 kg/m³.

Con esta preexpansión, las perlas compactas de la materia prima se convierten en perlas de plástico celular con pequeñas celdillas cerradas que contienen aire en su interior.

Finalmente el proceso de preexpansión puede proseguir una vez transcurrido un determinado periodo de reposo intermedio cuando se desea obtener una densidad aparente menor y no es viable conseguirlo en una única preexpansión.

Lecho fluidizado: es una instalación de secado, que se instala a la salida del pre-expansor. Las perlas se secan dentro de una corriente de aire ascendente consiguiéndose una estabilización mecánica de las mismas que resulta conveniente antes del transporte a los silos de reposo intermedio.

Este tratamiento de reblandecimiento se puede conseguir además de por vapor de agua, por otros dos métodos:

- por vacío
- por aire a presión

B- REPOSO INTERMEDIO O ESTABILIZACIÓN:

Al enfriarse las partículas recién expandidas, se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. De este modo las perlas alcanzan mayor estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, que resulta ventajoso para la siguiente etapa.

...*"Durante el reposo intermedio se desarrollan simultáneamente varios procesos:*

b.1) Se difunde aire al interior de las celdillas a través de sus membranas consiguiendo la estabilidad mecánica de las partículas.

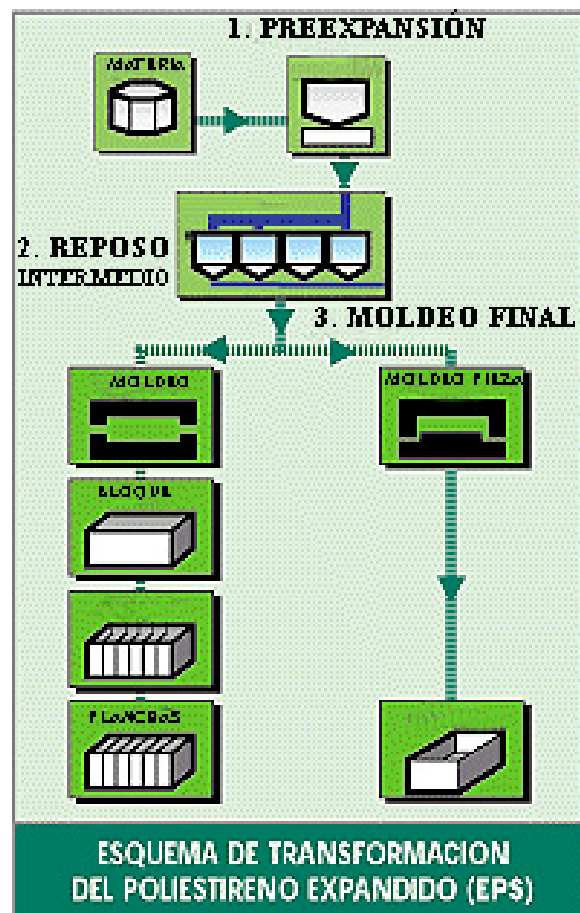


Fig 46. Obtención del EPS

b.2) Se emite humedad a la atmósfera mejorándose el transporte de las perlas y el llenado de moldes complicados.

b.3) Se elimina por difusión el exceso de agente de expansión reduciéndolo a las cantidades estrictamente necesarias para la siguiente etapa...”¹⁷

C – TRANSFORMACIÓN O MOLDEO FINAL:

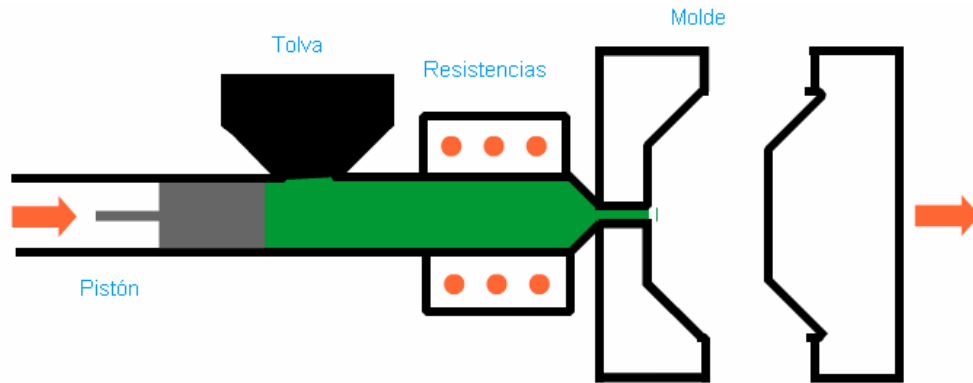
La perla preexpandida entra en un bloque, y se somete nuevamente a vapor de agua. Las perlas con la nueva expansión se sueldan entre sí formando una estructura poliédrica durante un período que varía según el tipo de densidad aparente de la pieza a obtener. Finalmente, después de un proceso de estabilización, se obtiene un bloque de este material.

Este es el proceso habitual de conformado del EPS, sin embargo Claude Rougeron¹⁸ afirma que actualmente existen tres procesos patentados de fabricación del EPS, que nombramos sin entrar en detalle:

- *El proceso alemán de la B.A.S.F, caracterizado por una doble expansión discontinua. Los productos se presentan bajo forma de gránulos expandidos soldados entre sí.*
- *El proceso francés de Industrias Saint- Gobain, caracterizado por la posibilidad de soldadura de los gránulos expandidos en continuo.*
- *El proceso americano de la Dow Chemical diferente a los dos primeros. Los productos son elaborados por extrusión en presencia de un agente porógeno y la fabricación se efectúa en continuo. Los productos fabricados bajo los nombres de Styrofoam y Roofmate están fabricado por este método de extrusión.*

C.1 MOLDEO DEL EPS:

En cuanto a la obtención del molde que EPS, al proceder este material termoplástico es necesario resumir brevemente los procesos de obtención de los mismos:



MOLDEO POR INYECCIÓN

Se introduce el plástico granulado dentro de un cilindro, donde se calienta. Cuando el material se reblandece, un tornillo lo inyecta a alta presión en un molde, para darle la forma deseada. El molde se enfría con unos canales interiores por donde circula agua.

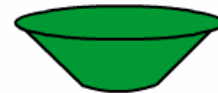
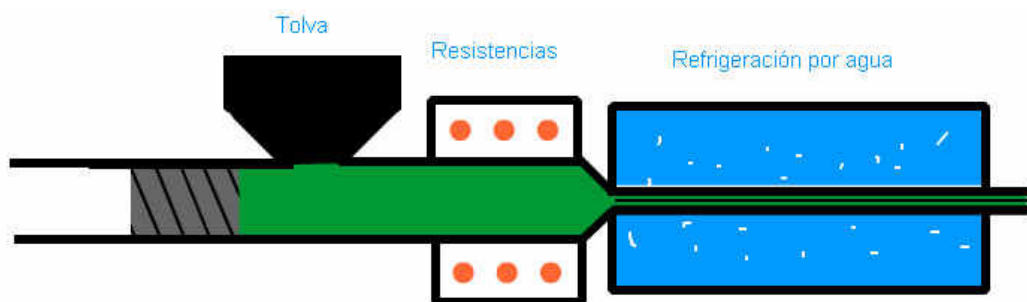


Fig.47 Moldeo por inyección



MOLDEO POR EXTRUSIÓN

El producto se moldea de manera continua. El material es empujado por un tornillo a través de un cilindro, lo que produce una tira de longitud indefinida.

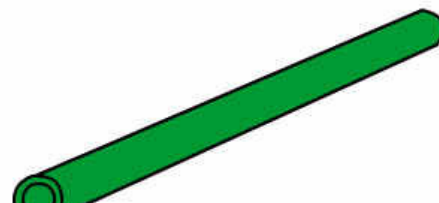


Fig. 48. Moldeo por extrusión

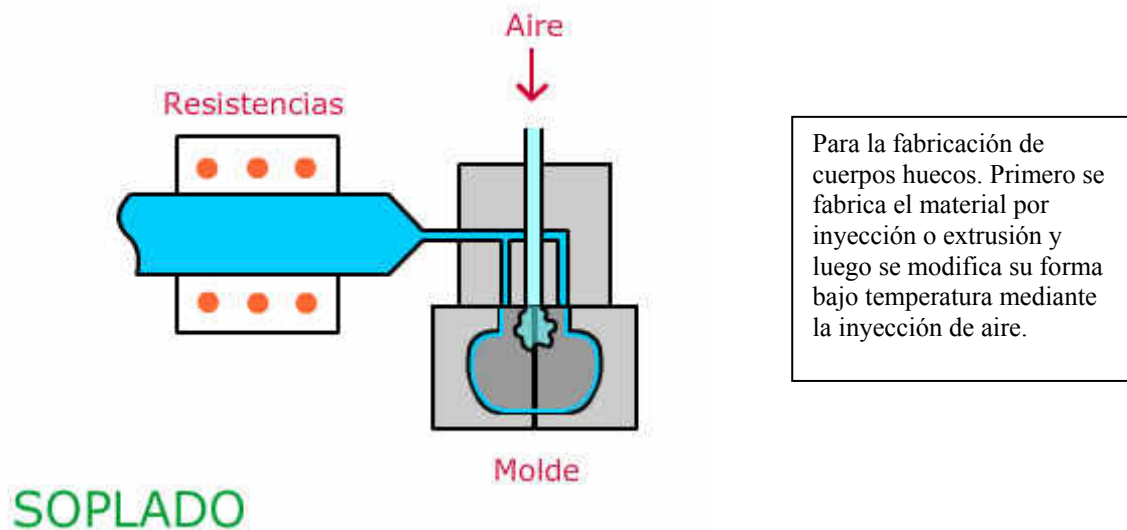


Fig 49. Moldeo por soplado

3.1.3 PROPIEDADES Y CUALIDADES DEL EPS:

El EPS, además presenta unas cualidades que lo hacen idóneo para múltiples usos con una duración extrema:

- Es 100% reciclable
- Resistencia al envejecimiento
- Amortiguación de impactos
- Excelente aislamiento térmico
- Versatilidad y facilidad de conformado
- Estable a la humedad
- Resistencia mecánica
- Resistencia química
- Carácter higiénico
- Ligereza

En cuanto a sus propiedades, se dividen en 6 apartados:

a) Propiedades físicas:

- **Densidad:** los productos de PE son ligeros pero resistentes. Las densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10Kg/ m³ hasta los 50kg/ m³.

La norma UNE 92.110 establece una serie de tipos normalizados en función de la densidad.



La franja roja significa que el producto es clasificado de acuerdo al ensayo de reacción al fuego, según la norma UNE 23727. (Fig. 50 ANAPE)

TIPO	DENSIDAD (kg/m ³)	
	MÍNIMA	NOMINAL
I	9	10
II	11	12
III	13,5	15
IV	18	20
V	22,5	25
VI	27	30
VII	31,5	35

Fig.51 . Densidad. ANAPE

- Densidad aparente:

Muchas de las características del EPS (expanded polystyrene) dependen de la densidad: conductividad térmica, resistencia a la flexión, deformación bajo carga, tensión de compresión, tracción, fluencia a compresión, absorción de agua, la resistencia a hielo-deshielo, transmisión de vapor de agua, rigidez dinámica, compresibilidad, resistencia al cizallamiento, y la resistencia a la carga dinámica.

- **Resistencia mecánica:** Se mide en función a la tolerancia del material frente a la compresión, flexión, tracción y esfuerzo cortante.

También se puede hacer referencia a:

Rigidez dinámica - se necesita para aplicaciones en que se requiera evaluar el comportamiento acústico. Ésta siempre se determina junto con una capa gruesa y pesada (por ejemplo, una losa) y describe la transmisión de vibraciones entre las dos capas. Valores bajos de rigidez dinámica conducen a un alto índice de reducción del sonido.

- **Aislamiento térmico:**

Frente al calor y al frío, de ahí que se utilice como material aislante. Esta capacidad se debe a la propia estructura del material que consiste en aire ocluido en una estructura celular conformada por el poliestireno.

El 98% del volumen del material es aire y solo el 2% materia sólida.

- **Comportamiento frente al agua y el vapor del agua:**

El PE no es higroscópico, de modo que sumergiendo el material completamente en agua, los niveles de absorción son mínimos; entre el 1% y el 3% en volumen (ensayo de inmersión después de 28 días). Sin embargo, el vapor de agua sí puede penetrar en el interior de su estructura celular.

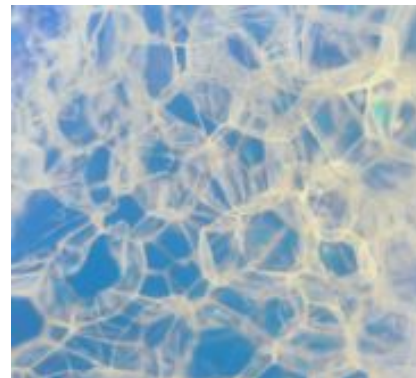


Fig.52 Estructura molecular del EPS

- **Estabilidad frente a la temperatura:**

El rango de temperaturas a que este material puede ser sometido es amplio, sin que afecte a su estructura, pero el límite se sitúa alrededor de los 80-100°C.

- Comportamiento frente a factores atmosféricos:

Bajo la acción prolongada de la radiación ultravioleta, la superficie del PE amarillea y se vuelve frágil y pueden erosionarlo.

b) Propiedades químicas:

Pese a la resistencia estructural del material, veremos como la densidad del mismo además, es un factor para que sea atacada su superficie por diferentes productos químicos.

- Resistencia química.

Es la resistencia del material a la acción de otros productos sobre él.

...“Debido a que la estructura de celda del poliestireno expandido da al material una mayor superficie, aparecen daños más rápidamente y en mayor extensión que en el caso de poliestireno de densidad primitiva (materia prima). De acuerdo a esto, los materiales expandidos de baja densidad son atacados más rápidamente y en mayor extensión que aquellos con densidad más alta.

“Ensayo de materiales expandidos: “ Determinación de la reacción a líquidos, vapores, gases y materiales sólidos ”.

En esta norma DIN, 5 se sumergen cubos de espuma durante un tiempo y se determinan los cambios que ocurren en las muestras, en masa y dimensiones. Si la espuma de poliestireno expandido va a estar en contacto con sustancias de composición desconocida que pudiera contener disolventes dañinos (pinturas o adhesivos) debe asegurarse antes que no sea atacada llevando a cabo un ensayo bajo condiciones reales...”¹⁹

El siguiente cuadro nos muestra una relación de productos que pueden deteriorar al poliestireno expandido.

SUSTANCIA ACTIVA	ESTABILIDAD
Solución salina (agua de mar)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Jabones y soluciones de tensioactivos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Lejías	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Acidos diluidos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Acido clorhídrico (al 35%) , ácido nítrico (al 50%)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Acidos concentrados (sin agua) al 100%	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Soluciones alcalinas	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Disolventes orgánicos (acetona, ésteres,..)	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Hidrocarburos alifáticos saturados	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Aceites de parafina, vaselina	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie
Aceite de diesel	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Carburantes	No estable: El EPS se contrae o se disuelve
Alcoholes (metanol, etanol)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Aceites de silicona	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie

Fig 53. Estabilidad del EPS a los productos químicos

c) **Propiedades biológicas:**

El PE no constituye sustrato nutritivo para microorganismos, es imputrescible, no enmohece ni se descompone. No obstante, en presencia de mucha suciedad, puede ser portador de microorganismos. Los productos de PE cumplen con las exigencias sanitarias, de higiene y seguridad establecidas.

No tiene ninguna influencia medioambiental perjudicial, ni incluso para las aguas.

No daña la capa de ozono y a ello se suma que es 100% reciclable y el proceso de transformación consume poca energía y no genera residuos

d) **Propiedades eléctricas:**

El poliestireno tiene muy baja conductividad eléctrica, es un aislante.

De ahí que termoplásticos como el PVC y los PE, entre otros, se

utilicen en las instalaciones de alta frecuencia, la fabricación de conductores eléctricos...Casi todas las carcasas de los equipos electrónicos se construyen en termoplásticos de magníficas propiedades mecánicas, además de eléctricas y de gran duración y resistencia al medio ambiente.

e) Comportamiento frente al fuego:

Las materias primas del poliestireno expandido, son polímeros de estireno, que contienen una mezcla de hidrocarburos de bajo punto de ebullición. Todos ellos son materiales combustibles.

Expuestos a temperaturas superiores a 80°C, empiezan a reblandecerse, se contraen, y se gasifican.

f) El EPS con el medio ambiente:

Según ANAPE (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido):

..." 1) *El EPS es 100% reciclable y existen numerosas aplicaciones para los materiales recuperados.*

2) *La fabricación y utilización del EPS no supone ningún riesgo para la salud de las personas ni para el medio ambiente.*

3) *El EPS no daña la capa de ozono al no utilizar, ni haber utilizado nunca, en sus procesos de fabricación gases de la familia de los CFCs (clorofluorocarbonatos), HCFCs (hidroclorofluorocarbonatos).*

4) *El proceso de transformación consume poca energía y no genera residuos.*

5) *La utilización del EPS como aislamiento térmico en la construcción supone un ahorro importantísimo de energía en la climatización de edificios y una drástica disminución de emisiones contaminantes (CO₂ y SO₂), contribuyendo de esta forma a paliar el "Efecto Invernadero" y la "Lluvia Ácida".*

6) *Los envases / embalajes de EPS ahorran combustible en el transporte porque es un material muy ligero.*

7) *El EPS puede estar en contacto directo con los alimentos puesto*

que cumplen todas las normativas sanitarias vigentes a nivel nacional e internacional.

Además, el EPS no actúa como soporte de cultivos de hongos y bacterias.

8) Representa una parte muy pequeña (0,1%) de los residuos sólidos urbanos que se producen en España. La incidencia en el conjunto de los residuos que genera nuestra sociedad es mínima.

9) Los productos de EPS encierran un alto potencial calorífico (1 Kg. de EPS equivale a 1,3 litros de combustible líquido), lo que le convierte en un material idóneo para la recuperación energética.

10) Por ser insoluble en agua, no emite sustancias hidrosolubles que puedan contaminar las aguas subterráneas...".²⁰

En Madrid (España), se ha abierto el primer centro ECO EPS, para el tratamiento de residuos de este material.

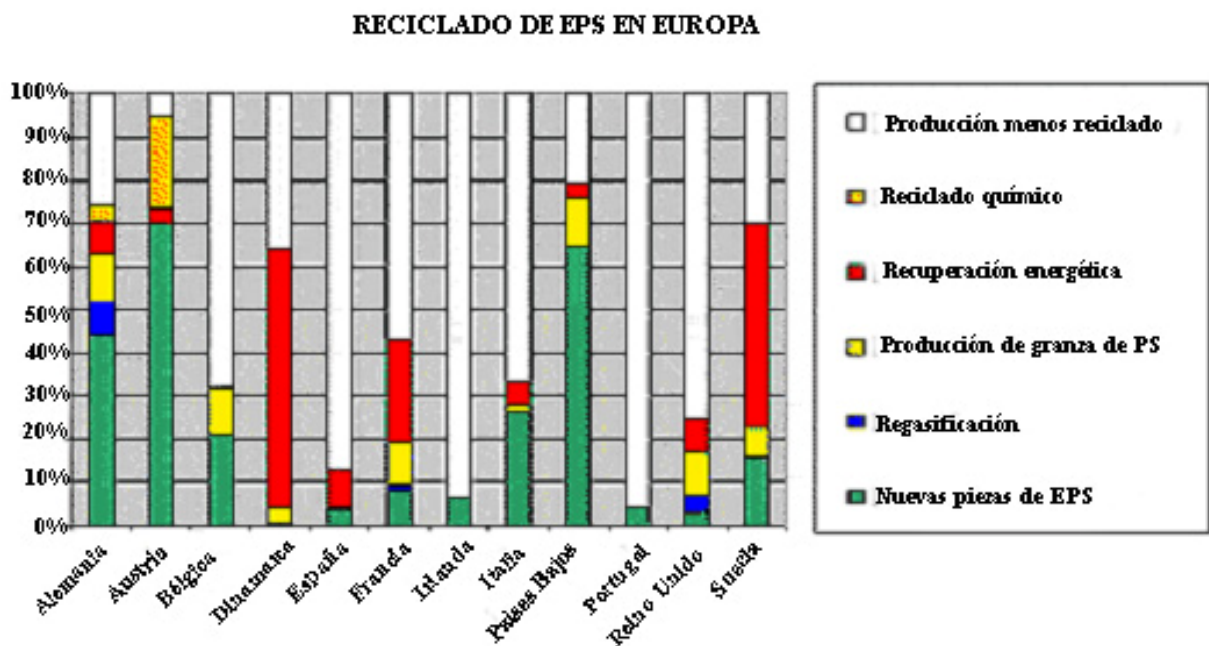


Fig 54. Reciclabilidad del EPS

3.1.4 APLICACIONES:

Muchas han sido las aplicaciones del EPS, desde que aparece en el campo industrial, entre ellas; la **edificación**, los **envases y embalajes** de alimentos quizá sean los mas conocidos debido a sus cualidades para la protección contra impactos y sus propiedades de aislamiento térmico, acústico y de conformado de diversas estructuras.



Fig 55 Envases de Poliestireno Expandido

Pero sus aplicaciones van más allá de lo cotidiano y sigue evolucionando en la actualidad como elemento constructivo como por ejemplo en la **obra civil**; por su efecto aislante, que evita que se congele el subsuelo eliminando los problemas del deshielo: (construcción de carreteras, elevación y drenaje de campos de deportes, parques, zonas de césped... Es útil en la **reducción de carga** mediante relleno para reforzar pasos elevados, y rampas para diques y edificios existentes.

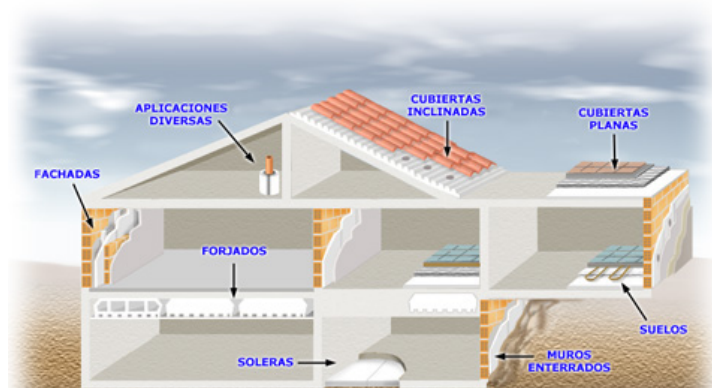


Fig 56 Aplicaciones del EPS en construcción. ANAPE



Fig 57. *Obra civil. Situación de carreteras.*

Una de sus aplicaciones concretas es la construcción de carreteras donde el EPS actúa como base sobre la que se construye la carretera. Esto se suele hacer en situaciones donde los terrenos tienen poca capacidad de sustentación, consiguiéndose con esta técnica una disminución drástica del peso y también

en carreteras donde es necesaria una nivelación perfecta.

Desde principios de la década de los 70 el EPS, se ha utilizado como material de cimentación e ingeniería civil hidráulica a escala cada vez mayor.

Todas estas aplicaciones son posibles debido a que es un material orgánico, rígido, liviano, fácil de aplicar, transportar y colocar.

4 EL POLIESTIRENO EXPANDIDO EN LA CREACIÓN ESCULTÓRICA ARTÍSTICA

4.1 EL POLIESTIRENO EN LA FUNDICIÓN ARTÍSTICA: ANTECEDENTES.

Los procesos de fundición han tenido un amplio desarrollo en los últimos años, al incorporar a los mismos, algunos de los resultados



Fig.58 *Escultura Pegasus.*

de la investigación en ingeniería, entre ellos el denominado LOST FOAM (espuma perdida), basado en la utilización de modelos no permanentes de EPS.

Estos nuevos procesos, se inician con el registro de la patente "U.S. 2830.343" por H.F.Shroyer, en 1958, en la que propone como material de modelo para fundición, una variedad de PE, que mediante la adición y

acción de un producto de espumado, es capaz de adquirir una densidad 40 veces menor que la del compuesto polímero en su forma compacta.

El método de moldeo empleado fue el tradicional en arena, y la



Fig.59 A. Duca .

colada se realizó sin necesidad de eliminar el modelo, ya que se gasificó al entrar en contacto con el metal fundido. Esto se conoció como proceso de molde lleno.

En 1964 M.C. Flemmings utiliza otro tipo de arena con dicho proceso y se le dio el nombre de LFC (lost foam casting).

En el mismo año T.R. Smith, patentó una nueva técnica al usar arena seca sin el

aglutinante, pero esta necesitó la aprobación de "Procesos de molde lleno S.A" en 1980, por lo que ha sido inválida desde entonces.

La técnica descrita en las primeras patentes, no fue usada a gran escala para la producción de fundiciones industriales, sino exclusivamente para producción artística, visible en el proceso empleado para la figura **Pegasus**, estatua en bronce de 150 kg de peso, proyectada por A.Duca, escultor y metalúrgico del instituto de Tecnología de Massachussets.

Pegasus fue la primera escultura utilizando este proceso, la textura del material puede apreciarse en la superficie de la obra.

Desde que surgiera esta técnica hasta hoy, ha tenido muchas denominaciones, que han creado confusión: evaporative foam casting, full mold, Styrocast™, Foamcast™, Styrocast Policast™.

Sin embargo, para la denominación acertada, es necesario apoyarse en características propias del proceso:

1. El carácter no permanente del proceso; LOST FOAM.
2. Gasificación del modelo con la colada del metal; EVAPORATIVE PATTERN CASTING.
3. Ausencia de previa cavidad hueca en el molde; CAVITELLESS MOLD PROCESS.

Jordi Tartera: ..." en 1958 apareció la primera patente de un proceso revolucionario en el moldeo, tan revolucionario que todavía no sabemos como denominarlo en castellano. Si decimos "moldeo en poliestireno expandido" podemos caer en un error, ya que existen otros materiales supletorios con ventaja del poliestireno. Si traducimos directamente "lost foam", por "espuma perdida", creamos confusión. Por ello vamos a dejarlo como "moldeo con modelos perdidos", que pese a aclarar poco, se acerca mas a la realidad..."²¹

Esta técnica recuerda a la tradicional de la **cera perdida**, pues ambos utilizan modelos no permanentes.

Recordemos cómo el modelo en cera se elimina por calentamiento dejando el molde hueco para recibir el metal fundido.

Aquí es donde situamos la utilización del poliestireno expandido y extruído, en el campo de la fundición, como un aporte de innovación en el proceso.

En este método, relativamente reciente, el modelo gasificable, queda dentro del molde, no se requiere la evacuación, ni extracción mecánica, ni horneo, sino que se volatiliza en el momento de la colada del bronce y adopta su forma.



Fig 60 Modelo en cera

Así pues la aportación contemporánea consiste en que el vertido del metal se realiza con el modelo dentro, con el molde lleno.

Esto sólo es posible con el empleo de esta materia, cuyo peso por unidad cúbica es inferior a 20kg/m^3 , aunque también pueden utilizarse otras variedades de poliestireno, con densidades mayores.

Jean Rudel señala: *"El vaciado en modelo perdido en poliestireno"*

..." sin duda esta técnica no es en sí misma nueva sobre el plano del proceso, puesto que está inspirada en los métodos tradicionales del vaciado a la cera perdida y a la arena, pero su modernidad radica en el hecho de que pone en juego un material nuevo; el poliestireno expandido, material plástico sintético de propiedades particulares.

Aquí el tradicional molde negativo, realizado en yeso (para la cera perdida), o en arena, a partir de un modelo generalmente hecho en barro, es suprimido. La fundición se realiza directamente a partir de un modelo positivo elaborado en EPS, que será la réplica exacta de la obra final en metal.... el metal es entonces vaciado directamente sobre el poliestireno que se inflama y toma el sitio..." ²²

Sin embargo, no es solo la supresión del molde negativo, lo que le da novedad, reviste igual importancia la reducción del proceso, ya que se eliminan operaciones respecto al método tradicional de la cera perdida y esto supone un avance y rentabilización en fundición.

Así, desde que surgiera el poliestireno, su enorme versatilidad de uso y su incorporación a la innovación tecnológica y técnicas procesuales en fundición, han hecho que un material manifieste tanto sus capacidades utilitarias como expresivas, desde la industria hasta el arte contemporáneo.

Wittkower dice;...” La irrupción del acero, los nuevos metales, y de nuevos materiales como el nylon o los plásticos ha dado continuidad así a la antigua tradición de búsqueda y experimentación en este campo...”²³

4.2 TRATAMIENTO DEL EPS y XPS:

El poliestireno expandido y extruído presenta además la ventaja, de ser un material de fácil y variada manipulación. Permite ser aserrado, cortado, perforado, cepillado, lijado, elastificado, adherido..., y compatible con múltiples materiales que pueden ser incorporados a la obra final.

Existen dos formas fundamentales para modelar el EPS y XPS:

- **Manual:** es el método más elemental. Se utilizan herramientas sencillas: cuchillo, cútex, adhesivos, alfileres...
- **Mecánico:** se utiliza en la industria, generalmente mediante termosoldadura u otras máquinas de reciente creación indicadas para este material como se muestra en las siguientes imágenes.

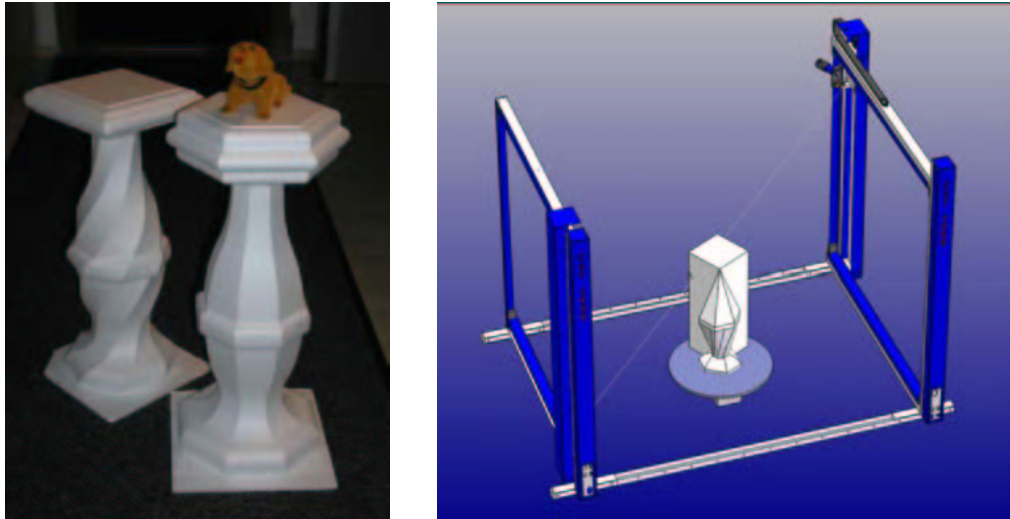


Fig 61 y 62 Modelado del EPS

Son las máquinas de corte que actúan a través de un hilo caliente, usadas con un previo diseño de corte dirigido por ordenador de absoluta precisión.

Estos nuevos equipos constan de una mesa giratoria que permite ajustar el ángulo de giro y la creación de objetos 3D con facilidad.

Además de estos, existen otros instrumentos para su tratamiento como:

- **La sierra térmica:**

Mesas con un soporte a modo de arco, con un hilo tensado en el extremo, que se calienta al pasar corriente de bajo voltaje. Este hilo actúa como una sierra que corta fácilmente la plancha de EPS y XPS

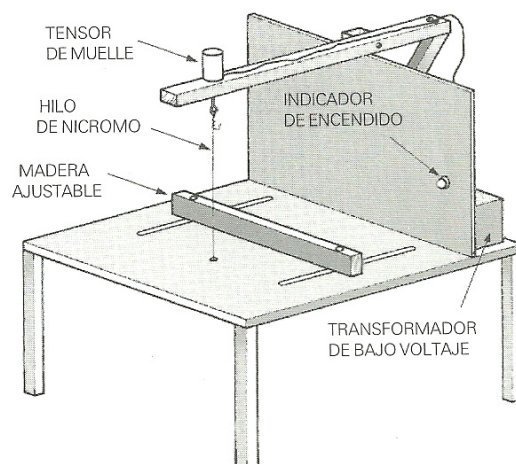
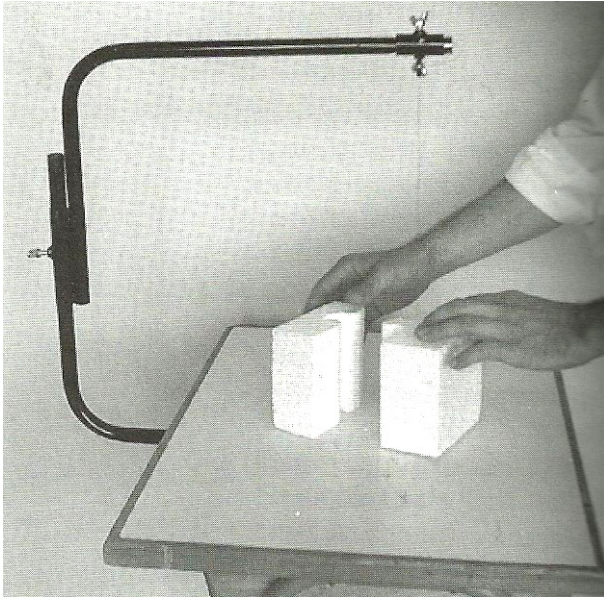


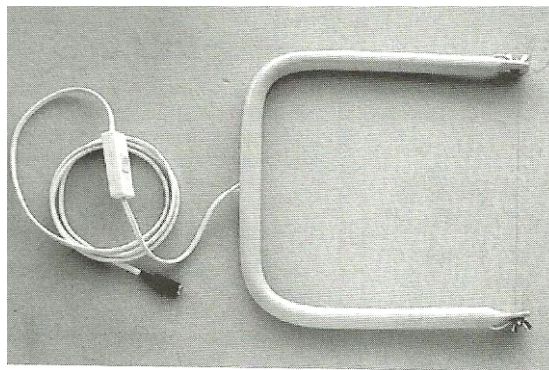
Fig. 63, Sierra térmica



Fig, 64 , Herramienta de corte del Poliestireno Expandido y/o extruído

- **Cortador térmico de mano:**

Con el mismo sistema de corte por hilo caliente que en el caso anterior, sistema abrasivo, puede ser moldeado el material.



Fig, 65 , Herramienta de corte de mano

El **sistema manual** que es el más habitual, utiliza:

- A) Sistema de corte; cútex, hilo caliente, cuchillo...
- B) Modelado: la misma herramienta que el punto anterior y además fundidores eléctricos o sistemas mas rudimentarios como superficies calientes que gasifican el material como cucharas, cuchillos o cualquier otro tipo de metal.
- C) Sistema constructivo y de unión: adhesivos y colas especiales para EPS y XPS, u otros materiales de sujeción mecánica como clavos, alfileres, alambres, grapas, que en ocasiones forman incluso parte del diseño de la obra. Señalamos la necesaria compatibilidad de los adhesivos con el modelo y el molde.

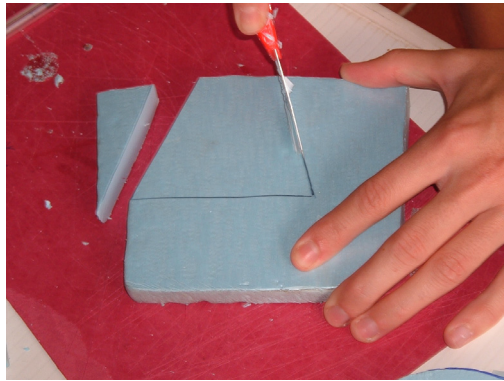


Fig. 66 *Corte manual del EPS*

C.1) **REQUISITOS DE UN ADHESIVO PARA EPS y XPS**

- * Compatibilidad con el Poliestireno
- * Fuerte viscosidad
- * Fácil aplicación
- * Secado rápido
- * Ausencia de vapores nocivos
- * Compatibilidad con la pintura refractaria aplicada la modelo
- * Fácil descomposición sin dejar residuos previos a la colada
- * Debe descomponerse a la vez que el EPS y XPS

C.2) **TIPOS DE ADHESIVOS PARA EPS y XPS**

Cada uno de ellos presenta un comportamiento respecto a los materiales del modelo, molde y separadores. Hemos experimentado los siguientes:

C.2.1 **CEYS POREX** para Poliestireno:

Requiere de superficies limpias para ser adheridas. El modo de empleo es aplicando sobre una de las superficies y a continuación unir la otra presionando. No se debe utilizar disolvente para limpiar. El tiempo de secado puede oscilar entre 1-3 minutos.

d.2.2 **COLA BLANCA "UNIFIX"**:

Requiere de removido previo a la aplicación sobre superficies limpias. Su desventaja es el largo período de secado: 8 horas.

d.2.3 **BOSTIK 1454 de contacto** para PE:

Necesita también mezclado previo y su unión se realiza 25 minutos después de la aplicación del adhesivo sobre la superficie. Posteriormente el pegado es inmediato.

Presentamos un cuadro resumen con los sistemas de unión del EPS y XPS que hemos utilizado:

ADHESIVOS	CEYS POREX
COLA	UNIFIX BLANCA
SUJECCIÓN MECÁNICA	ALFILERES METÁLICOS CLAVOS, ALAMBRES...
SISTEMA MIXTO	COMBINACIÓN DE LOS DOS

Fig. 67 *Tabla de sistemas de unión*

El amplio abanico de posibilidades para trabajar con el Poliestireno en sus distintas variedades, nos invita a imaginar múltiples usos, al que puede ser incorporado, para materializar soluciones que van más allá de los ámbitos mencionados; nos referimos a las nuevas tecnologías de los procesos de fundición, que serán desarrolladas posteriormente.

4.3 APLICACIONES DEL EPS Y XPS EN EL ÁMBITO ARTÍSTICO

En su desarrollo, se han incorporado recientemente como materiales para modelos de fundición con el uso de sistemas de moldeo adaptados a él, con los que ofrece buenos resultados como material gasificable. Se trata del moldeo en verde, químico autofraguante y chamota, que detallamos en el bloque dedicado a los sistemas de moldeo.

No obstante el EPS y XPS tienen otra diversidad de aplicaciones por su enorme versatilidad. Al ser modelado, se pueden conseguir todo tipo de efectos (suelo, roca, arena, madera...), con la utilización de pistolas de calor que funden parcialmente el material o disolventes, consiguiendo réplicas de gran calidad.

Sus ventajas de poco peso, inocuidad y bajo coste, lo convierten en un material ideal para actividades de maquetación. Así es conocida su amplia utilización en el sector del escaparatismo y decorados de televisión cine y teatro.



Fig.68 *Réplica en EPS*

Permite realizar trabajos de escenografía y elementos museográficos de digitalización 3D y modelización de arte rupestre y de escultura contemporánea. En el sector audiovisual también se crean esculturas en EPS y XPS, fibra de vidrio, materiales ligeros que facilitan su manejo.



Fig .69.
*Réplicas en
EPS*

Mencionamos trabajos dedicados a la realización de decorados, atrezzo, lo utilizan para máscaras, marionetas, cabezudos...

Por último otra aplicación del EPS la realiza Laura Lucio en sus trabajos de investigación sobre mobiliario urbano.

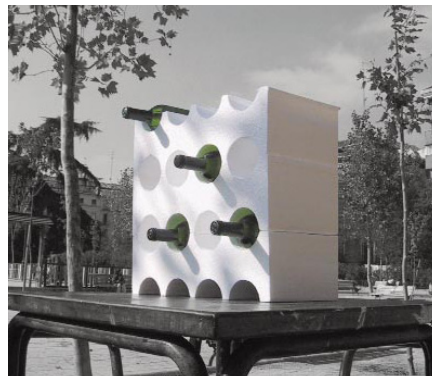


Fig. 70 *Mobiliario en EPS.*



Fig. 71 *Esculturas en EPS. Parque Europa. Alemania.*

También Ged Carter esculpe cisnes, tortugas y gigantes hongos venenosos de unos bloques de espuma particularmente finos y rígidos realizados a partir de bloques de poliuretano.

4.4. EL POLIESTIRENO EXTRUÍDO (XPS):

Es una variante del poliestireno expandido (EPS), con idéntica composición química y materiales.

Se fabrica en 1941 con una investigación dirigida por Ray McIntire, desarrollando la anterior patente del inventor sueco C.G Munters.

La diferencia respecto al EPS radica en su proceso de conformado, por extrusión del poliestireno con la acción de un gas espumante y en una mayor densidad del material.

Anteriormente vimos como en el moldeo por extrusión se utiliza un transportador de tornillo helicoidal. El polímero es transportado a través del sistema de alimentación, a la cámara de calentamiento, hasta la boca de descarga, en una corriente continua. A partir de gránulos sólidos, este emerge de la matriz de extrusión en un estado blando. La abertura de la boca, tiene la forma del producto que se desea obtener, por lo que el proceso es continuo. Posteriormente se corta a la medida adecuada.

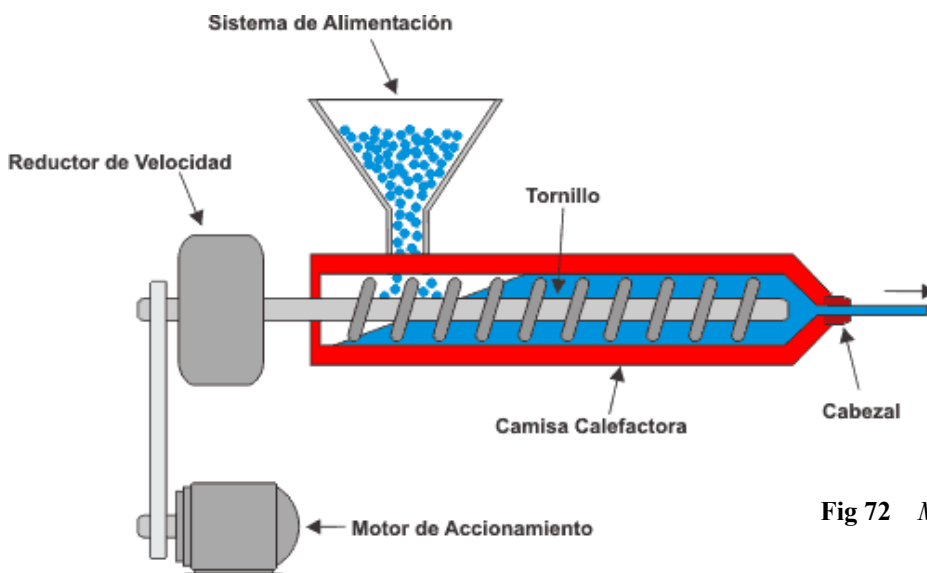


Fig 72 Moldeo por extrusión

La propiedad más diferenciada respecto del poliestireno expandido es que debido al **aumento de densidad** y burbuja cerrada de su composición, la absorción de agua es nula, es más impermeable.

El resto de propiedades y características son iguales a las del EPS, es un material habitualmente utilizado en la construcción como aislante térmico y en la industria del embalaje y conservación de alimentos.

Su importancia en nuestro trabajo de investigación radica en el tacto liso de su superficie y la variedad de texturas posibles, aún mayores que las del EPS, con mejor facilidad de manipulado.

Se comercializa casi exclusivamente en planchas de distintos grosores entre 2-4 cms y varios colores. Hemos utilizado la modalidad de poliestireno extruído de color azul y amarillo claro por su buen comportamiento en la gasificación.



Fig 73 *Variedades de poliestireno extruído*

5. EL POLIESTIRENO EXPANDIDO EN LA FUNDICIÓN INDUSTRIAL:

Los principios básicos de la tecnología de la fundición, han experimentado pocos cambios a lo largo de miles de años, sin embargo los procesos han alcanzado una gran mecanización y automatización; los modelos tradicionales han sido sustituidos gradualmente por otros de metal y plástico, se han desarrollado nuevas sustancias para la producción de machos y moldes.



Fig. 74 Diferentes modelos "Lost Foam" de EPS.

Un ejemplo de ello lo vemos en la industria del motor. La utilización del procedimiento de fundición con modelo perdido para las piezas nobles de grandes y pequeñas dimensiones, alta tecnicidad y secciones complejas y delgadas ha supuesto una revolución.

La **técnica "Lost Foam"**, está indicada para configurar óptimamente los contornos internos complicados como las cavidades para los conductos de aire, los circuitos de aceite y de líquido de enfriamiento, reduciendo los defectos en las piezas.

Fig.75 Componente automotriz hecho con el proceso de fundido por espuma perdida.



Con estos datos es evidente que el empleo de poliestireno en sus distintas modalidades en la industria de los últimos años, ha hecho posible desarrollar una técnica de fundición que ha sabido adaptarse con gran inmediatez a distintos procesos de moldeo.

El sistema de molde que incorpora simultáneamente la industria desde el punto de vista económico y técnico es; Shell moulding (molde de cáscara). La técnica industrial con mayores semejanzas a la que proponemos se denomina, "**proceso Replicast**", que insufla poliestireno expandido en moldes de aluminio, obteniendo modelos ligeros y de gran densidad y calidad superficial. Estos modelos son posteriormente revestidos con cáscara cerámica para obtener el molde y posteriormente colados por métodos al vacío.

Dado lo específico y la particularidad de moldeo de piezas en serie que utiliza la industria, pese a su parecido con la técnica que utilizamos, es un ámbito que requiere un amplio conocimiento que se desliga del campo artístico que nos interesa en esta investigación, por ello no entraremos en más detalle.

6. **ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO O ESPUMA FLORAL:**

La espuma rígida de poliuretano es una materia sintética, dura, plástica, termoestable, fuertemente reticulada espacialmente, producto de la reacción química exotérmica entre dos componentes líquidos: polioli e isocianato con presencia de un gas espumante y agua.

El calor que desprende la reacción sirve para evaporar un agente espumante que rellena las celdillas que se forman, de tal modo que se obtiene un producto sólido, que posee una estructura celular con un volumen muy superior al que ocupaban los productos líquidos inicialmente.

Los gases comunes usados en la mezcla son: aire, nitrógeno y bióxido de carbono. Mientras que el polioli y el isocianato proceden directamente del azúcar y del petróleo respectivamente.

Aunque estas espumas presentan una estructura celular predominantemente cerrada, la manera en cómo se distribuye el gas a través de la matriz del polímero va a distinguir dos estructuras:

- **celda abierta:** los poros se interconectan pero permiten el paso de fluidos a través de la espuma.
- **celda cerrada:** los poros de gas son esféricos y completamente separados el uno del otro por la matriz del polímero.

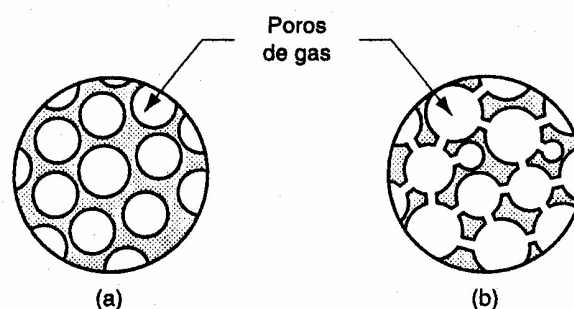


Fig 76 Dos estructuras de espuma de polímero: (a) celdas cerradas, y (b) celdas abiertas.

El descubrimiento del poliuretano se remonta al año 1937, gracias a las investigaciones desarrolladas por Otto Bayer, quién consiguió realizar la primera síntesis en Alemania, y que patentó la fórmula



Fig.77 Primera máquina de Poliuretano.
1947

polimérica, resultante de la "poliadición de isocianatos y polioli". Tras numerosas experimentaciones descubrió que la adición de agua en cantidades dosificadas, permitía controlar la formación de burbujas en la sustancia base. Fue después de la II Guerra Mundial cuando el producto empezó a comercializarse con éxito.

Hoy este material tiene multitud de aplicaciones en la vida viaria:

- Mobiliario (en forma de relleno)
- Automóviles (volantes, alerones, asientos, salpicaderos, como amortiguación de vibraciones y ruidos...)
- Calzado (sobre todo deportivo)
- Fabricación de muebles
- Pinturas y barnices
- Ventanas
- Ingeniería médica (fabricación de piezas para trasplantes y ortopedias...)
- Ingeniería aeroespacial
- Industria del frío (tuberías, cámaras frigoríficas, neveras...)
- Edificación, como aislamiento térmico, acústico e impermeabilizante, quizá sea este su uso más conocido.
- Decoración floral, con el uso de espumas de poliuretano de muy baja densidad.



Fig. 78 Espuma floral

La variedad de espuma de poliuretano que utilizamos radica en su densidad, que determina la resistencia del mismo y por consiguiente el uso para el que va a ser destinado.

Reseñamos dos tipos de espumas utilizadas en la industria de la decoración floral.

- Espuma de poliuretano rígida: mezcla de poliol e isocianato con baja densidad y utilizada para el mantenimiento de flor seca. Es la que vamos a utilizar en esta investigación.
- Espuma fenólica: compuesta por resinas fenólicas y otros agentes catalizadores, se emplea en la decoración para flor fresca por la gran capacidad de absorción de agua del material.

6.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA ESPUMA DE POLIURETANO:

Se dividen en dos tipos:

- **Por proyección**: se produce en el mismo lugar en el que vaya a ser utilizado y consiste en pulverizar la mezcla de los dos componentes mediante una pistola aspersora específica para ello, y rápidamente el producto expande y se endurece.
- **Por colada**: que consiste en verter la mezcla líquida de los dos componentes en un molde, donde la reacción de los reactivos llena completamente la cavidad.

Pero el material espumoso que conocemos surge del denominado: **proceso de espumado**, que podemos dividir en 5 fases:

1. Compatibilidad de reactivos
2. Formación de burbujas
3. Crecimiento de burbujas
4. Estabilización de burbujas
5. Abertura celular.

Los factores envueltos en cada paso son ampliamente divididos en uno químico y otro mecánico.

- El factor químico es la mezcla de los dos componentes principales que producen la reacción; el poliol e isocianato.
- El factor mecánico envuelve el mecanismo de mezcla y espumado mediante una espumadora.

6.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO:

- **Conductividad térmica:**

La baja conductividad frente al calor que posee el gas espumante ocluido en el interior de las celdas cerradas explica el alto aislamiento térmico de este material.

- **Propiedades mecánicas:**

Muestran la resistencia del material frente a diferentes factores externos: fuerza, compresión, flexión, cizallamiento...

Esta característica va unida a la densidad del material y a la finalidad a la que vaya destinado el producto. Las propiedades mecánicas dependen de la medida de su peso volumétrico, a medida que este se incrementa, aumenta su propiedad de resistencia.

Los pesos volumétricos más usuales se hallan comprendidos entre 30 y 100 kg/m³, dentro de estos límites se obtienen los siguientes valores:

En los siguientes gráficos se muestran diferentes resistencias de la espuma de poliuretano rígida. (Responden a una espuma de poliuretano de mayor densidad que la espuma floral, utilizada en la investigación.

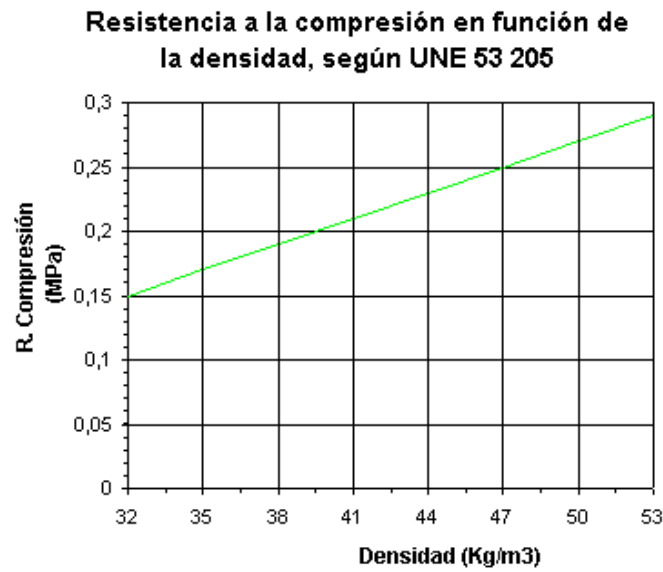


Fig. 79 Resistencia a la compresión

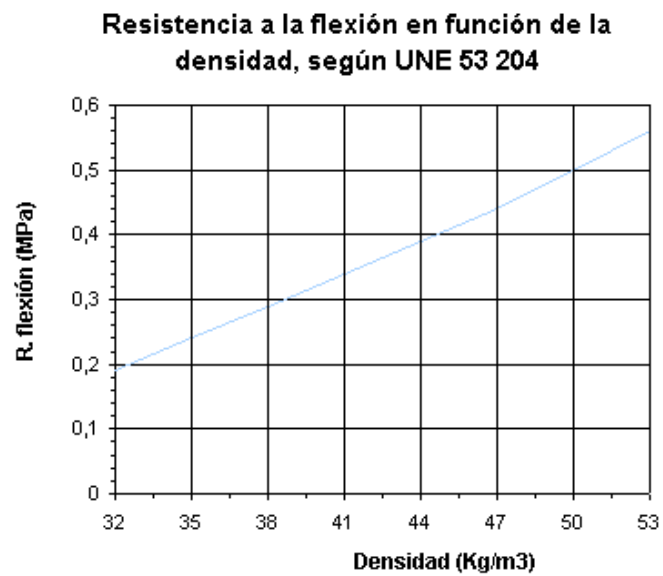


Fig. 80 Resistencia a la flexión

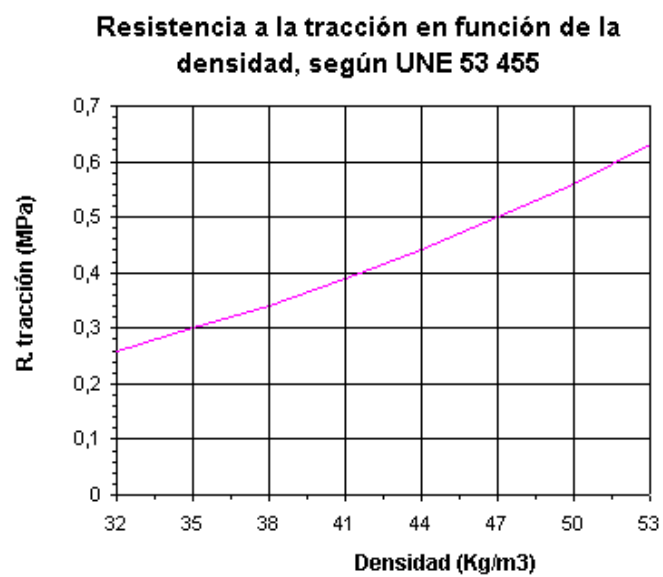


Fig. 81 Resistencia a la tracción

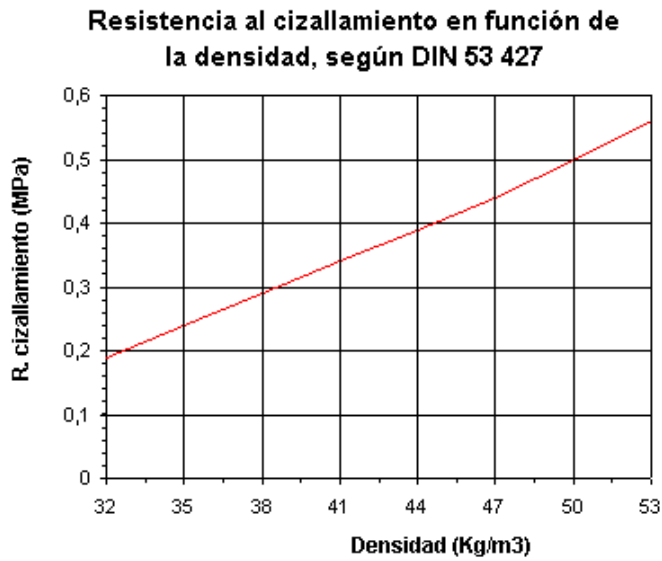


Fig. 82 Resistencia al cizallamiento

- **Estabilidad química:**

Es altamente resistente a una amplia variedad de materiales, adhesivos, pinturas, ácidos y gases.

La ATEPA (Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado), recoge en la siguiente tabla la estabilidad del producto en ensayos de 28 días a 20°C.

Producto químico	Cambio de volumen	Comportamiento
Álcalis, ácidos y soluciones salinas		
Agua de mar	3%	estable
Ácido clorhídrico conc.	--	atacado
Ácido clorhídrico 10%	2%	estable
Ácido sulfúrico conc.	--	atacado
Ácido sulfúrico 10%	2%	estable
Ácido nítrico conc.	--	atacado
Ácido nítrico 10%	6%	estable
Sosa cáustica conc.	2%	estable
Sosa cáustica 10%	2%	estable
Amoniaco conc.	6%	estable
Amoniaco 10%	4%	estable
Hidrocarburos alifáticos		
Gasolina	1%	estable
Gas-oil	2%	estable
Aceite mineral	1%	estable
Gasolina / benceno 60:40	1%	estable
Hidrocarburos aromáticos		
Benceno	5%	estable
Tolueno	2%	estable
Clorobenceno	5%	estable
Estireno monómero	2%	estable
Otros disolventes orgánicos		
Etanol	13%	hinchamiento
Metanol	12%	inestable
Butanol	9%	estable condicionado
Acetona	18%	inestable
Acetato de etilo	16%	hinchamiento
Tricloroetileno	14%	hinchamiento
Cloruro metileno	17%	inestable
Dimetilformamida	--	atacado

Fig.83 Estabilidad química

- **Presencia de humedad:**

El poliuretano, al ser generalmente de celda cerrada, presenta impermeabilidad al agua. No obstante, es permeable al vapor del agua, factor que se puede reducir aumentando la densidad de la espuma y así evitar condensaciones y deterioros del material.

Según ATEPA el contenido de humedad en la práctica, no supera el 5% en volumen.

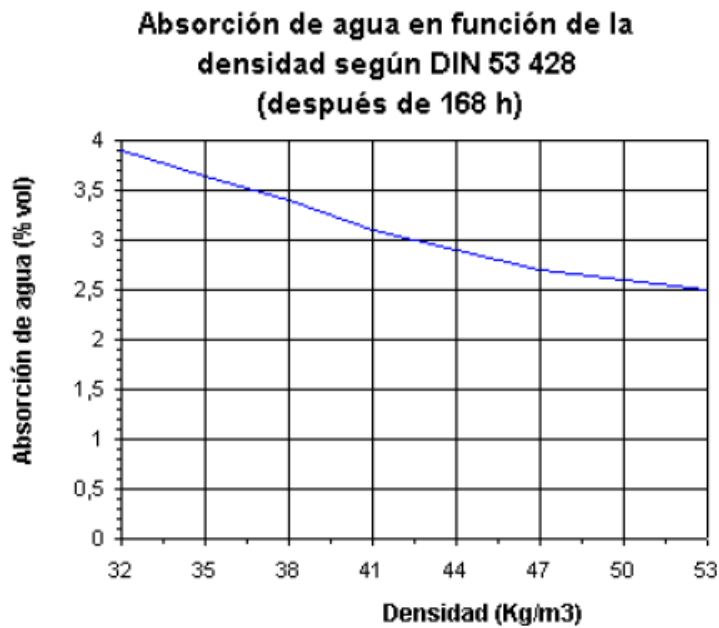


Fig.84 Resistencia a la humedad

- **Comportamiento frente a los rayos UVA:**

Estos aceleran su proceso de envejecimiento, para lo cual su superficie es tratada con pinturas y recubrimientos específicos.

Existen otras cualidades específicas de la espuma de poliuretano que no afectan a nuestra investigación pero consideramos necesario mencionar:



Fig. 85 Aplicación de PUR en edificación

- alto aislamiento y absorción acústica
- baja conductividad eléctrica
- aislante térmico

- **Comportamiento frente a la salud y al medio ambiente:**

Su absoluta inmersión en elementos de la vida cotidiana, prueban que es un material inocuo y saludable.



Fig.86 Espuma de poliuretano

Desde el punto de vista ecológico, y desde que tuvieron lugar los acuerdos del Protocolo de Montreal de 1991, los componentes de poliuretano cumplen la normativa y exigencias respecto a la utilización de productos clorados que atacan la capa de

ozono. Así desde 1995, el poliuretano espumoso no utiliza los llamados CFCs, sino productos alternativos (hidrocarburos, HCFCs, CO2...) que son respetuosos con el medio ambiente.

- **Sostenibilidad.**

Según la ATEPA:

...“un producto será sostenible cuando el impacto negativo que produce no supere al impacto positivo...” Este impacto tiene tres facetas:²⁴

- Impacto medioambiental: supone un importante ahorro de energía en la construcción de edificios al ser sustituto de materiales que degradarían al medio.

...“ las emisiones no llegan al 2% de los ahorros alcanzados en la fase de utilización. Por lo que si sustituyéramos el poliuretano proyectado por otro material ideal, con 0 emisiones en su fabricación, transporte, instalación y desecho, pero con una vida útil solo un 2% inferior, el balance energético total saldría desfavorable..”²⁵

- Impacto económico: material altamente resistente con una vida superior a la de un edificio, en el caso de poliuretano proyectado.

- Impacto social: por las ventajas que aporta de climatización, aislamiento térmico, acústico.

- **Reciclabilidad:**

ATEPA (Asociación Técnica de Poliuretano Aplicado) establece:

- **Reciclado como material:** Los restos de poliuretano, una vez molidos, pueden volver a ser utilizados para la fabricación de placas y para los acolchados en general.
- **Aprovechamiento térmico:** Todos los desechos de poliuretano se pueden quemar en cámaras de combustión para transformar la energía en electricidad y contribuir a preservar los recursos naturales.
- **Reciclado como materia prima:** A través del proceso de glicólisis o glucólisis, donde variadas reacciones químicas y térmicas rompen el polímero base y sustituyen el polioliol por glicol. De esta manera se transforman los restos nuevamente en materia prima. El polioliol obtenido con esta técnica se puede volver a utilizar para fabricar poliuretano.

7. LA ESPUMA DE POLIURETANO EN LA CREACIÓN ARTÍSTICA:

Con el desarrollo de la creciente industria química durante la 2ª Guerra Mundial, surgieron nuevos polímeros que condujeron al gran desarrollo industrial de los plásticos. Es entonces cuando el artista, con el deseo de experimentar y alcanzar nuevos objetivos para reflejar sus experiencias, manipula estos nuevos materiales entre los que se encuentra la espuma de poliuretano.

Desde entonces la escultura contemporánea se ha hecho eco de las posibilidades de este material combinándolo con otros polímeros, o incluso con materiales tradicionales en obras que surgen de la talla directa de la espuma o del vertido en moldes.

- **Baldaccini. C:** seguidor del movimiento artístico Nuevo Realismo (1960). Inició su obra escultórica en metal, pero a partir de 1965 trabajó con el plástico vertiendo poliuretano que expandía y se solidificaba, a modo de performance.



Fig. 87 "Expansión" (1971). Espuma de poliuretano

- **Ferrari. L:** comenzó con esculturas en cerámica, alambre y otros materiales, abarcando temas de guerra y religión. Actualmente trabaja con espumas de poliuretano, huesos, madera...



Fig. 88 "Los Músicos". Espuma de poliuretano coloreada

Su obra "Los músicos", realizada entre 2007 y 2008 muestra la expresividad de este material espumado.

- **Jong. F:** (1972 Holanda), desarrolla su trabajo en el campo de la escultura e instalación con temas de intercambio cultural, el poder, las muertes políticas, sobre la barbaridad y crueldad del materialismo y el capitalismo.

El artista crea obras figurativas y provenientes de la historia del arte, crítica política...

Es reconocida su obra inspirada en temas de la pintura de artistas holandeses que trata de manera irónica y grotesca. La instalación "Operation Harmony" (2008),



inspirada en la pintura de Jan De Baen **Fig. 89** "Operation Harmony"

"Los cadáveres mutilados de los hermanos Witt, colgados en Vijverber en Hage"

- **Zermeño. A:** utiliza materiales plásticos entre los que se encuentran la espuma de poliuretano, que aplica a creaciones para el cine y la televisión.

Sobre su trabajo afirma: "...Recurriendo a un cambio estructural, planteo una serie de esculturas de gran formato- escala humana utilizando la espuma de poliuretano en sus diferentes tipos, olores y espesores, retirándolos de su contexto citadino industrial para transformarlos en símbolo de la nueva valorización estética del objeto y de la obra escultórica como reflejo de la crisis del diálogo entre la industria, la ciudad y el quehacer artístico contemporáneo". ²⁶



Fig. “El ser Industrial”. Espuma de poliuretano.
Alejandra Zermeño

7.1 TRATAMIENTO DE LA ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO:

Al igual que las variedades de Poliestireno que hemos estudiado anteriormente, es un material de sencilla manipulación. Así, permite ser cortado, cepillado, adherido..., con dos métodos básicos:

- **Manual:** en el que se utilizan herramientas como cútex, cuchillos, lijas, productos químicos para dar textura, elementos de anclaje como clavos, alfileres...
- **Mecánico:** con maquinaria de corte por hilo caliente. (Veáse la maquinaria utilizada en la manipulación del EPS y XPS).

7.1.1 ADHESIVOS PARA LA ESPUMA DE POLIURETANO:

Han de ser compatibles con el modelo, molde y pinturas refractarias. Existe una amplia gama de adhesivos para poliuretano, pero en nuestro caso hemos empleado CEYS POREX, con buenos resultados.

- **REQUISITOS DE UN ADHESIVO PARA ESPUMA DE POLIURETANO**
 - * Compatibilidad
 - * Alta viscosidad
 - * Secado rápido
 - * Compatibilidad con la pintura refractaria aplicada la modelo
 - * Fácil descomposición sin dejar residuos previos a la colada

7.2 OTRAS APLICACIONES DE LA ESPUMA DE POLIURETANO:

Es bien conocido su uso en el ámbito de la construcción y edificación como conformado de diversas estructuras y aislante térmico y acústico de gran resistencia y ligereza.



Fig .90 *Espuma de Poliuretano en edificación*

8. **ETIL-VINIL ACETATO / E.V.A O GOMA EVA:**

Se trata de un material termoplástico obtenido a partir de la copolimerización de etileno y acetato de vinilo (VA), y posee propiedades elastoméricas.

Un co-polímero es un polímero cuyas moléculas se componen de más de un tipo de monómero, molécula de pequeña masa molecular que unida a otros monómeros, a veces cientos o miles, por medio de enlaces químicos forman macromoléculas llamadas polímeros.

Por tanto el co-polímero no es una mezcla de polímeros, sino un compuesto químico que puede tener propiedades diferentes de las de cualquiera de los polímeros puros.

Así el co-polímero Etil Vinil Acetato, desciende del polietileno de baja densidad (LDPE), y es el contenido de VA de 5 a 50%, lo que va a determinar que sus cualidades sean de una forma u otra.

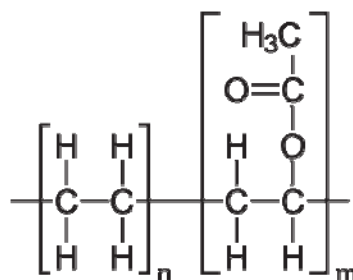


Fig.91 Fórmula estructural de una unidad de co-polímero EVA

8.1 COMPONENTES DEL CO-POLÍMERO E.V.A

Este co-polímero consiste en modificar las propiedades del polietileno, añadiendo acetato de vinilo. Así las propiedades de este material respecto del polietileno normal son la flexibilidad y resistencia a la intemperie.



Fig. 92 Etil- Vinil- Acetato

- **POLIETILENO:** es un polímero termoplástico cuya unidad como monómero es el etileno. Su producción se remonta al año 1935 en Inglaterra, pero fue en 1952 y 1953 cuando K. Ziegler desarrolló el procedimiento de polimerización del polietileno sin presión con catalizadores mixtos. Su producción se emprendió en 1954, y hoy es uno de los plásticos más comunes y de mayor producción mundial.

Existen cuatro tipos de polietileno:

- Polietileno de baja densidad.(LDPE)
- Polietileno lineal de baja densidad. (LLDPE)
- Polietileno de alta densidad. (HDPE)
- Polietileno ionómero. (IPE)

- **ACETATO DE VINILO:** El acetato de vinilo es un compuesto orgánico también llamado VAM, líquido, transparente e incoloro. Esta sustancia química se evapora rápidamente en el aire y se disuelve fácilmente en el agua. El acetato de vinilo es altamente inflamable y puede incendiarse debido a la acción del calor o las llamas.

Se utiliza para producir sustancias químicas industriales (los polímeros de acetato de polivinilo y los copolímeros de etileno y acetato de vinilo, como es nuestro caso). Estas otras sustancias sirven principalmente para producir adhesivos en las industrias del embalaje y la construcción.



Fig. 93 *Acetato de vinilo*

- **ETILENO:** El etileno o eteno, es el hidrocarburo insaturado más sencillo. Es un gas incoloro e inflamable, con olor débil y agradable. Se usa como materia prima en la industria química orgánica sintética. Su polimerización da lugar al polietileno.

8.2 CARACTERÍSTICAS DEL CO-POLÍMERO EVA:

El polietileno (PE) es parcialmente cristalino y cuando en su estructura se introduce un monómero flexible, como es el VA, se rompe la regularidad estructural, la distancia entre las cadenas poliméricas aumenta disminuyendo su cristalinidad, entendida como un ordenamiento regular de la moléculas.

La disminución de la cristalinidad del EVA incide en:

- Menor resistencia a la tensión
- Incremento de la resistencia a la rotura en frío
- Menor resistencia a la deformación con calor (reblandecimiento)
- Incremento de la flexibilidad
- El punto de fusión varía al aumentar la cantidad de VA, va disminuyendo hasta 50°C al aproximarse la cristalinidad a cero.
- Resistencia al impacto
- Resistencia al choque térmico
- Resistencia química y a la intemperie

En los siguientes gráficos se muestran algunas de estas alteraciones debidas al VA de su composición:

Mayor % de Acetato de Vinilo	
Aumenta	Disminuye
- Transparencia	- Cristalinidad
- Flexibilidad	- Rigidez
- Compatibilidad con otros polímeros	- Punto de fusión
- Aceptación de cargas	- Punto de reblandecimiento
- Adhesión	- Aislamiento eléctrico
- Coeficiente de fricción	- Resistencia en rotura
- Permeabilidad	- Resistencia química
- Solubilidad	- Dureza
- Densidad	- Temperatura de transformación
- Resistencia al cuarteamiento por tensiones	

Fig 94 Propiedades de los copolímeros de EVA en función del contenido en VA.

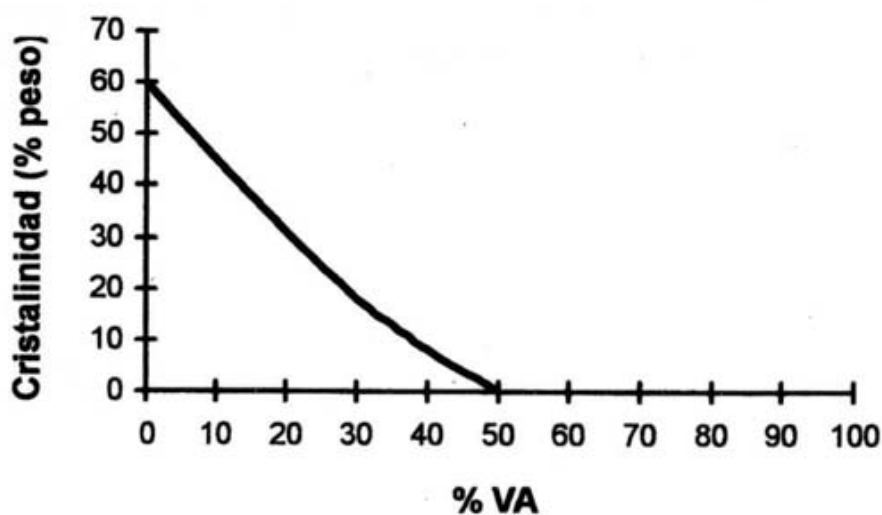


Fig 95. Dependencia de la cristalinidad con el contenido en VA

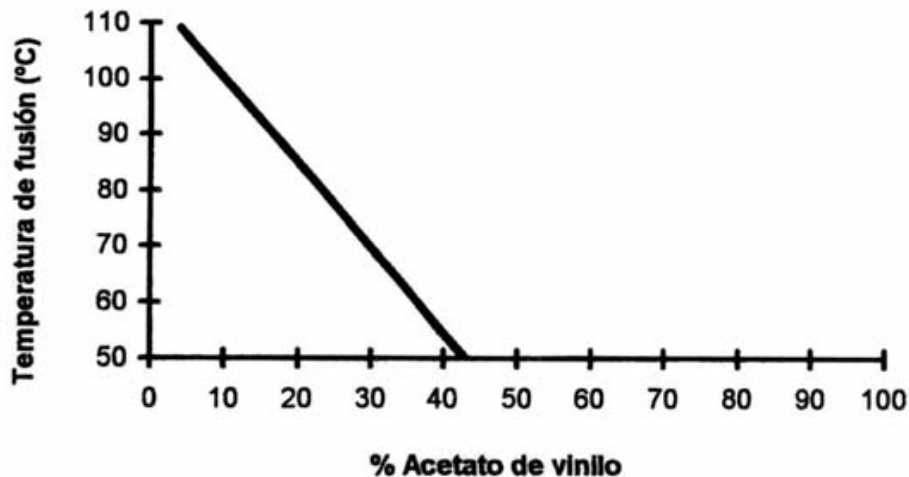


Fig 96. Variación del punto de fusión en función del VA

Otra de las características del co-polimero EVA es la compatibilidad de otras cargas en su composición, como carbonatos, sílices, silicatos muy utilizadas en la fabricación de espumas microcelulares de Eva.

8.3 PROPIEDADES DEL EVA:

- **Resistencia a agentes químicos y adhesivos**

Los copolímeros EVA resisten a soluciones salinas, ácidos no oxidantes, álcalis fuertes, detergentes, adhesivos al agua y de contacto.

El siguiente cuadro compara la estabilidad química de la EVA y el EPS. *Ya que la temperatura y el tiempo son muy importantes en relación con la resistencia química, el cuadro debe considerarse como meramente indicativo. El cuadro ha sido elaborado a temperatura de ambiente, cerca de 20°C.*

	EPS	EVA
Agua - fría	●	●
Agua - caliente	●	●
Solución de cloro	☒	○
Aceite de motor	○	☒
Gasóleo	○	☒
Aceite de silicona	●	○
Gasolina	○	○
Acetona	○	○
Alcohol	○	●
Hidróxido sódico 10%	●	
Amoniaco 30%	●	●
Acido crómico 20%	●	
Acido fosfórico 20%	●	
Acido clorhídrico 35%	●	●
Acido sulfúrico 40%	●	○
Acido nítrico 10%	☒	○
Radiación UV ¹	○	○
● Resiste	☒ Resiste parcialmente	○ No resiste

Fig.97 Estabilidad química comparativa entre EVA y EPS

- **Resistencia a la tensión:** resiste mejor que el PE al cuarteo por tensiones al ser menos cristalino. La tabla muestra las propiedades mecánicas del material.

GOMA E.V.A.	
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	DE 3 A 7 N/mm ²
ELASTICIDAD	2
RASGADO	3 N/mm
FLEXIÓN CON CORTE INICIAL 2mm	DESPUES DE 30.000 FLEXIONES EL CORTE NO DEBE PASAR LOS 6mm
FLEXIÓN SIN CORTE INICIAL	DEBE RESISTIR 30.000 FLEXIONES SIN DAÑO

Fig. 98 Propiedades del E.V.A

- **Resistencia al envejecimiento**: la degradación del Eva es lenta al someterse a radiación ultravioleta o en presencia de oxígeno atmosférico.
- **Resistencia térmica**: el material empieza a reblandecerse entre 85 y 100°C
- Buen **aislante** térmico, acústico y eléctrico al igual que el resto de materiales espumados. Con resistencia al impacto y absorción de las vibraciones.
- **Buena procesabilidad**, se puede trabajar por los métodos de conformado empleados para otros termoplásticos; inyección, extrusión y soplado. Además de termoformado y termo-moldeado.
- **Alta plasticidad** (cuando se estira, no se recupera)
- **Flotabilidad** con baja o nula absorción de agua
- **No es tóxico** ni dañino al medio ambiente
- Puede estar en contacto con alimentos
- Incinerable
- Resistencia a la oxidación
- Sustituto más económico de otros materiales plásticos como: fieltro, neopreno, caucho natural, espuma de poliuretano, espuma de PVC, compuestos de madera, lana mineral y fibra de vidrio.
- Alta diversidad de densidades que determinan la longitud, ancho y espesor de la lámina.

MetroFoam Products establece las distintas densidades en la siguiente tabla:

Producto - Densidad	Tamaño de la hoja	Max Espesor
EVA30 - 30kg/m ³	2000 x 1000 mm	40mm
EVA45 - 45kg/m ³	2000 x 1000 mm	40mm
EVA60 - 60kg/m ³	2000 x 1000 mm	36mm
EVA75 - 75kg/m ³	1900 x 940 mm	32mm

<http://metrofoam.com.au/eva-foam.html>

8.4 TIPOS DE EVA:

Actualmente existen varios tipos de EVA según la cantidad de vinilo de acetato en su composición y la densidad del material:

- **Eva con 3 a 20%:** habitualmente utilizado en la industria del juguete
- **Eva con 15 a 40%:** utilizado en el mercado de recubrimientos y adhesivos termofusibles
- **Eva con 45 a 55%:** para la fabricación de cauchos y la combinación del Eva con el PVC

8.4.1 EVA MICROCELULAR ESPUMADO:

Es de menor densidad que el Eva puro, y surge de la acción de agentes espumosos que en la reacción liberan nitrógeno y se forma una espuma de microburbujas de aspecto liso, peso liviano y de celda cerrada. Estas espumas microcelulares moldeadas y procesadas habitualmente por inyección o compresión han surgido en los últimos años como alternativas a las microporosas de caucho en industrias como el calzado o juguete, consiguiendo un material con menor densidad, lo que significa menor cantidad, más económico y con una mayor resistencia química.



Fig. 99 Planchas de Goma Eva

Una de sus principales propiedades es su elasticidad y absorción de impactos también debido a otro de sus componentes principales; **el látex**. A esta resina que se obtiene de centenares de especies de árboles (de forma natural), o del petróleo (de forma sintética) se le añade el etileno, vinilo y acetato para obtener la Goma EVA.

Su facilidad de coloreado es ilimitada lo que hace común su presencia en el mercado de juegos desde la primera infancia y educación escolar.

Es esta la modalidad que utilizamos en nuestra investigación para **modelos de fundición** por su ligereza, facilidad de manipulado y expresividad.

Sempere Alemany, J.²⁷ presenta una formulación estándar de una espuma microcelular de EVA que consta de los siguientes componentes:

- El copolímero EVA, según la flexibilidad deseada (normalmente con un 18% de VA), para el que vamos a utilizar en esta investigación.
- Agentes de expansión o espumantes; dichos agentes pueden ser:
 - *Físicos*: adición de compuestos que al calentarse producen en el interior del polímero celdas debido al burbujeo del gas.
 - *Químicos*: compuesto orgánico o inorgánico, que por acción del calor se descompone generando subproductos sólidos y gaseosos, siendo el gas generado el responsable del proceso de espumación.
 - *Mecánicos*: incorporación de aire a los polímeros mediante burbujeo.

Generalmente los agentes espumantes son compuestos de nitrógeno estables a temperaturas de almacenaje

- Agentes reticulantes: hace posible la unión de las distintas cadenas de polímeros.
- Activador del agente celular: habitualmente óxido de zinc, en forma de polvo muy fino.
- Cargas: para reducir costes y cambiar algunas propiedades.

8.5 CARACTERÍSTICAS DE LA EVA ESPUMADA:

Utilizada para las pruebas de estado y confección de modelos de fundición en esta investigación, se han observado las siguientes:

- Flexible
- Facilidad de corte, pintado y adhesión
- Baja absorción de agua
- No tóxico
- Reciclable
- Fácil de moldear al calor
- Ligero

El siguiente gráfico muestra las características de la Goma EVA en el formato que utilizamos en la investigación:

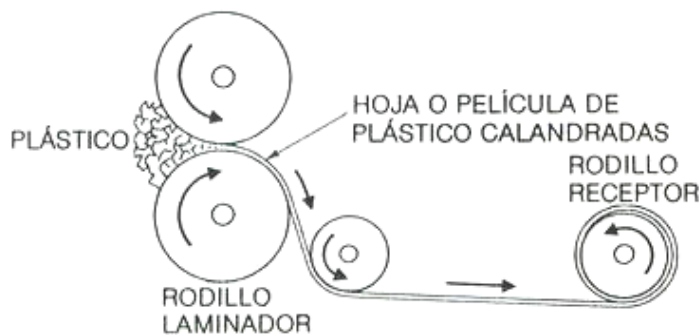
Material	Eva Hule
Intensidad de colores	Buena y surtida
Dureza	35 a 38 Grados Shore a (lisa)
Espesor	Entre 44 y 0,8 mm
Resistencia a Rotura	48 kgs / cm ²
Composición Set	34%

Propiedad	Unidad	Valor referencia	Limite superior	Limite inferior
Dureza	Shore A	20	23	17
Densidad	gr. /cm ³	0,13	0,16	0,1
Tracción	Kg. / cm ²	6	8	4
Incremento Elongación	%	80	100	60

Fig.99 y 100 Características de la Goma Eva

8.6 MÉTODO DE OBTENCIÓN DE LA GOMA EVA:

Al igual que otros plásticos puede obtenerse por extrusión o inyección, no obstante para la modalidad de Eva que utilizamos, en plancha, primero se utilizan autoclaves tubulares para la síntesis del co-polímero de Eva que es blando, de bajo punto de fusión y pegajoso. Posteriormente el producto en bloques o planchas se obtiene por calandrado.



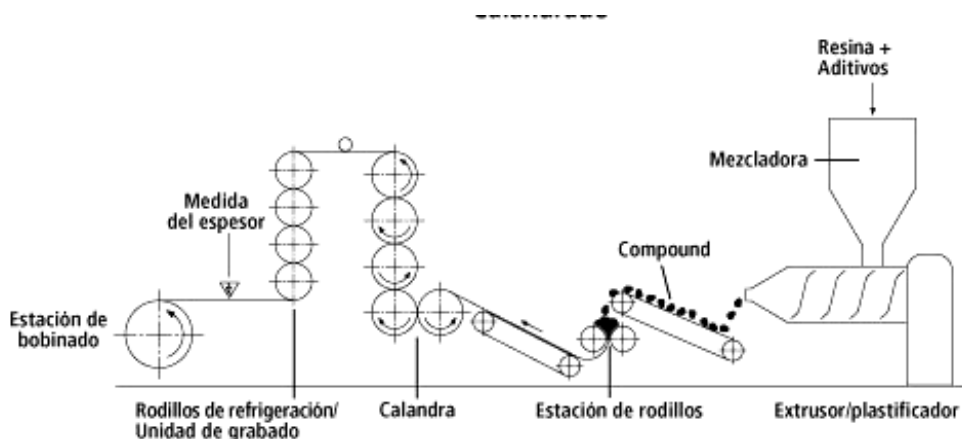
El material calentado pasa a través de dos o más rodillos, que producen una lámina.

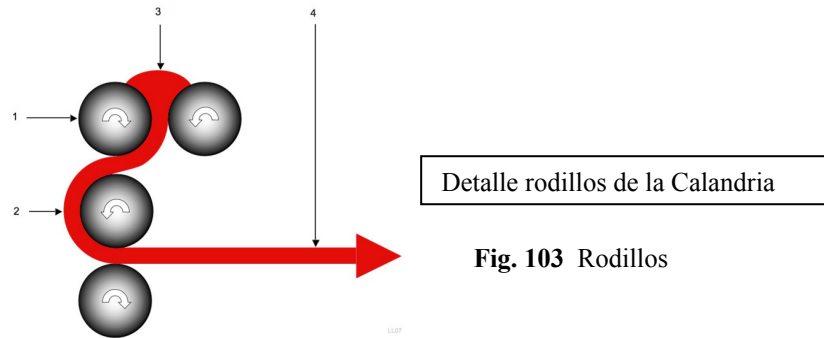
Fig. 101: *The Society of the Plastics Industries.*

El método se conoce como: calandrado para termoplásticos:

Es un proceso de conformado que consiste en hacer pasar el plástico previamente sometido a altas temperaturas y en estado viscoso, por una serie de rodillos que giran en sentido opuesto y producen una hoja continua que se ajusta a los cilindros de calibración, enfriamiento, acabado y recogida.

Fig 102. Calandrado





Detalle rodillos de la Calandria

Fig. 103 Rodillos

8.7 APLICACIONES Y USOS DE LA EVA:

Por su presencia visual coloreada y tacto blando y flexible, es utilizado sobre todo en:

- Sector de la juguetería infantil
- Realización de trabajos manuales

Sin embargo en los últimos años se ha incrementado su utilización en otros sectores:

- Industria del calzado, desplazando al caucho
- Decoración
- Cuidado hortofrutícola
- Aislante acústico y térmico
- Adhesivo termofusible
- Material deportivo
- Pavimento animal en establos
- Automoción
- Envases
- Embalaje



Fig 104 y 105. Manualidades en Goma Eva

8.8 TRATAMIENTO DE LA GOMA EVA:

Hemos utilizado preferentemente el método manual como en el caso de los dos anteriores modelos de fundición propuestos: el Poliestireno y la Espuma de Poliuretano. No obstante la Goma Eva puede manipularse con dos procedimientos:

- Manual:

- Sistema de corte: uso de cútex, tijeras e hilo caliente para cortar y perforar el material.
- Modelado: aprovechando la elasticidad del material, puede doblarse, arrugarse creando formas complejas.
- Sistema de unión: adhesivos para la sujeción mecánica.
-

- **Mecánico**: con el uso de maquinaria especializada que perfora las planchas de EVA para conformar piezas para hermetizar sistemas hidráulicos y neumáticos, aisladores de dispositivos eléctricos, juguetes...

A nivel industrial es común el uso de la troqueladora para cortar, agujerear, estampar, doblar... de mecanismos sencillos de uso infantil o industriales, como muestran las imágenes.



Fig 106. Máquina manual EVA



Fig 107. Máquina industrial EVA

8.9 ADHESIVOS PARA EVA:

La característica principal de un adhesivo para este material es que sea flexible por las características elásticas del propio material.

Son compatibles con la Goma EVA:

- Adhesivos sintéticos químicamente reactivos (supergen, loctite, novopren...
- Pegamentos de doble contacto
- Adhesivos de resinas o especiales para plásticos flexibles como Vinilceys...
- Colas
- Siliconas
- Aplicación de calor



Fig 108. Adhesivo para EVA

Para la realización de nuestros modelos de fundición hemos utilizado pegamento Super Glue y Ceys Porex.

9. APLICACIONES DEL E.V.A EN EL ÁMBITO ARTÍSTICO:

Al igual que el poliestireno expandido, hemos visto como la goma Eva es un material empleado para decorados, instalaciones...

Ejemplo de ello son las obras escultóricas de **Eun Lee, J.** que trabaja la goma Eva creando espacios tridimensionales.

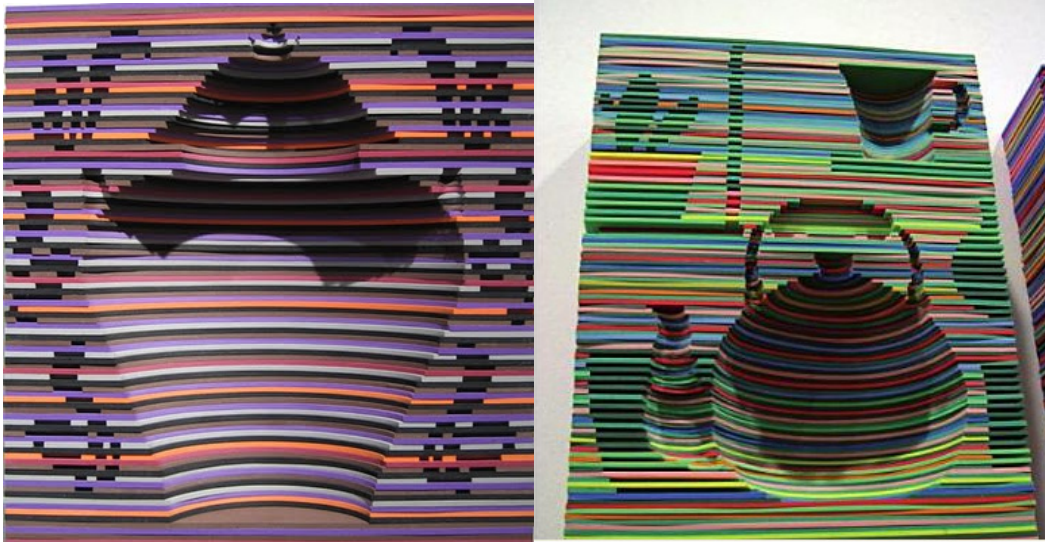


Fig 108 y 109 *Obra en Goma Eva. Jin Eun Lee*

Gabriel Zir, M. realiza esculturas en las que se hace visible el cromatismo de la Goma Eva.



Fig 110 *Escultura en EVA*
Mariano Gabriel Zir

Gassetti, J. utiliza este versátil material para sus ambientas esculturas.



Fig 111 *Escultura e instalación en EVA. Jorge Gassetti.*

Son diversas las aplicaciones en esculturas para decorado, no obstante son pocas las intervenciones de este material en el ámbito propiamente escultórico y aún menos en la construcción de modelos para fundición artística como proponemos en esta investigación, es por ello la novedad que presenta en este ámbito.



Fig 112. *Escultura EVA*

Capítulo II



Estado actual:
Nuevos sistemas de moldeo

ESTADO ACTUAL: NUEVOS SISTEMAS DE MOLDEO:

1. INTRODUCCIÓN:

Referíamos en el capítulo anterior la importancia del material del modelo de fundición, es por lo general lo que da nombre a la técnica de fundición utilizada por el escultor. Un ejemplo es el método a la cera pérdida, cuyo modelo es elaborado en cera y posteriormente es eliminada para dejar el hueco que será ocupado por el metal utilizado.

En ocasiones es el material de moldeo, el que da el nombre definitivo al sistema de moldeo empleado en el proceso de fundición, por ejemplo fundición a la arena, en verde, químico. autofraguante cascarilla cerámica...

La American Society For Metals, toma al molde como principio clasificador debido a la variedad y complejidad de todo lo referido a él. Así en la clasificación de los procesos de fundición, la primera división separa los procesos elaborados con molde permanente y los realizados en molde perdido. Las subclasificaciones las desarrolla basándose en los modelos, si estos son perdidos o permanentes, y así sucesivamente. ²⁸

En este capítulo vamos a tratar de manera evolutiva los sistemas de moldeo que inician la historia de la fundición, evolucionan, aparecen cambios, experimentación, simplificación y se adaptan a los procesos actuales, acomodándose al desarrollo de la industria y tecnología, ofreciéndonos la posibilidad de otros sistemas de moldeo con nuevos materiales que van surgiendo recientemente.

Descubrir del comportamiento de los materiales, su evolución, adaptación, su impronta, expresividad..., nos lleva a la necesidad de definir y caracterizar el concepto de molde, como una de las principales fases que son motivo de estudio en esta investigación.

1.2. EL MOLDE

El molde en fundición, genéricamente es la matriz que contiene el hueco, "el negativo", el cual ocupará el metal fundido, obteniéndose así la pieza definitiva.

Recogemos varias definiciones del término de molde, como la ofrecida por la Enciclopedia Británica: *la cavidad o matriz en la que una sustancia fluida o plástica es conformada en el producto acabado deseado.*²⁹

Navarro.J.L afirma: *... " un molde es simplemente, la forma envolvente de un objeto. Al separar la forma original de esta envolvente tenemos el "negativo", una réplica exacta, pero invertida de los volúmenes, detalles y texturas del original o "positivo"*³⁰

Esta generalidad del concepto de molde, se sintetiza cuando clasifica al proceso de fundición a partir del cual se va a obtener la pieza escultórica, esto es, que da nombre al método, por ejemplo: moldeo en arena, que se refiere a la vez, tanto al método de elaboración del molde como al material usado en él. Así, cualquiera que sea el metal colado en un molde de arena, el producto será llamado, fundición en arena.

Llegado este punto, aunque todos los moldes compartan el hecho de reproducir un objeto, su importancia dentro del proceso de fundición es debido a que deben responder a una serie de características específicas compatibles con la naturaleza del material del modelo que contienen en su interior, y con el propio material que configura el molde.

Estas características son comunes a todos los procesos de moldeo y se describen a continuación:

- Su **naturaleza refractaria**: el material con el que se confecciona el molde debe soportar las altas temperaturas tanto si previamente es horneado, como soportar el metal fundido vertido en su interior.
- Contiene un **aglutinante-adherente**: este se encarga de ligar las partículas del refractario formando un bloque estable en la manipulación de todo el proceso de moldeo y resistente al vertido del metal.
- **Poroso**: ya que el espacio que ocupaba el modelo queda vacío, y existirá aire hasta la entrada del metal fundido, el cual aportará además sus propios gases.
- Tener un grado de **permeabilidad** que posibilite la evacuación del conjunto de gases y aire, e impidan la formación de defectos de fundición en la pieza.

"..La resistencia mecánica y la permeabilidad son propiedades que caracterizan el desempeño del molde en servicio, proporcionándole a este la capacidad para soportar la presión metalostática, el choque térmico y permitir la evacuación de los gases producidos en su interior durante el llenado..."³¹

- Poseer **compatibilidad y adherencia de materiales entre el modelo y molde**. Hay casos como la cera, que al ser un material graso y los moldes generalmente acuosos, es necesaria la aplicación de una capa de goma-laca, jabón o alcohol de quemar para que liguen entre sí y evitar burbujas que dañarían el aspecto final de la pieza.
- **Capacidad del molde para separarse del metal** tras la colada. En ocasiones es necesario recubrir el modelo con elementos desoxidantes para que el metal no quede adherido a la pared del molde y se facilite el proceso de desmoldeo.

1.2.1. MATERIAL DEL MOLDE:

En los inicios de la metalurgia, los primitivos moldes de fundición se elaboraban vaciando con útiles duros la superficie de una piedra, normalmente arenisca, resultando dos placas que contendrían el modelo, y selladas posteriormente con arcilla.



Fig113. Moldes primitivos de piedra

Aquellos moldes han ido evolucionando adaptándose al desarrollo tecnológico y material de cada época histórica hasta imprimirle a cada método de fundición el nombre con el que actualmente los conocemos. Ello no sólo como una plataforma de expresión al hombre, sino también estando al servicio de él, la sociedad y la industria para una mejora y economía de su trabajo. Nos referimos a la fundición industrial con metales, moldes y procesos en los que no entraremos en detalle pero veremos sin duda similitudes con la fundición artística escultórica, ya que ambas formas de metalurgia se suceden paralelas.

Aplicados al campo artístico, presentamos a continuación una clasificación material de los distintos moldes:

- **Moldes de yeso:**

Mineral cuya materia prima es una roca sedimentaria denominada aljez, o piedra de yeso, constituida por dos moléculas de agua de cristalización, es decir, sulfato cálcico hidratado, procedente de fenómenos de evaporación de cuencas salinas. A menudo va acompañado de impurezas, arcillas, arenas, sales y otros sulfatos como la anhidrita.



Fig. 114 Yeso

Señalar que el yeso como tal, sirve para denominar a cualquier variedad de sulfato de calcio, y la escayola es una variedad refinada de este, habitualmente utilizada en la reproducción de moldes.

Como producto industrial es sulfato de calcio semihidratado, y se encuentra en forma de polvo fino blanco.

B. Conill, da una detallada explicación de la manipulación de este material:

...” el yeso crudo o natural se llama también hidrato doble, porque cada uno de sus elementos contiene dos moléculas de agua, de cristalización; pero ésta al hallarse a la temperatura de ebullición del agua, o sea a 100º, transformarse en vapor, desintegrándose del cristal y transmutando a la piedra de yeso en un polvillo blanco y farináceo tal como se ofrece el yeso en el comercio. Sin embargo el dihidrato no se deshidrata de una vez, sus dos moléculas de agua no abandonan juntas, sino que primero se desprende de una y media que estaba débilmente combinada con el sulfato de cal y la otra media molécula de agua queda fuertemente combinada al mismo, siendo preciso una gran temperatura (cerca de 1000ºC) o un largo tiempo de cocción para que acabe de desprenderse y queda el yeso completamente deshidratado” (Conill, B.) ³²

El conocimiento de este material se remonta al Neolítico, *...”en Catal Hüyük, en el 7.000 a.C, se han encontrado restos de yeso en muros, suelos y pavimentos..” (Gárate, 1999)* ³³, sustituyendo al anteriormente usado, el mortero de barro. Esta aplicación pasó a los egipcios, que lo emplearon para sellar monumentos funerarios o como decoración, por ejemplo en el Busto de Nefertiti; Arnold Hauser en *“La historia Social de la literatura y el arte”* describe:

“...la habilidad pedagógica que los egipcios dedicaban a la formación de los jóvenes artistas se percibe en los materiales escolares que han sobrevivido; vaciados en yeso del natural, reproducciones anatómicas hechas con fines educativos...” ³⁴

...“Así se atribuye a los egipcios la invención de las técnicas de vaciado de yeso, que permitieron la realización de modelos escultóricos reproducibles, conocidos en algún caso como “calcos”. (Bruquetas, 1994)³⁵

Es un producto deshidratado formado por fases reactivas al agua, se produce en combinación con esta el fenómeno de rehidratación o fraguado que provoca un endurecimiento de la pasta lo que permite un trabajo rápido pero fácil en el moldeo de obras.

La tipología de moldes más utilizada con este material es denominada “por piezas”.

Fig.115 *Moldes de yeso*



Su uso se extendió también a la estatuaria griega y romana, con un empleo quizá más artístico y decorativo que funcional: enlucidos, ornamentación, escultura..., y es en la época de los árabes cuando se muestra su mayor reconocimiento, dejándonos un virtuoso empleo de él.

Es a partir del Renacimiento cuando se utiliza de manera continuada para la reproducción de esculturas y vaciados.

En la actualidad su empleo continúa siendo efectivo no sólo en la construcción y ornamentación, también como material definitivo para escultura y en el moldeo para fundición de piezas.

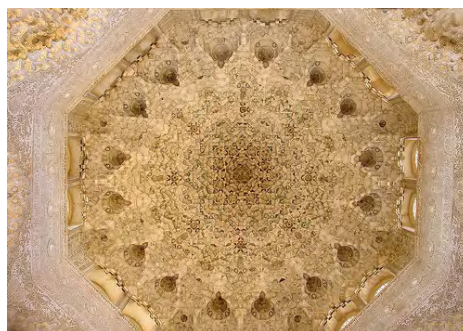


Fig.116 *Cúpula Sala de los Abencerrajes*

Otros usos del yeso son:

- **Construcción:** debido a sus excelentes propiedades bioclimáticas, de aislamiento y regulación higrométrica, mecánicas y estéticas, se utiliza en guarnecidos, enlucidos, prefabricados y relieves arquitectónicos, proporcionando bienestar, belleza y comodidad.
- **Agricultura** para mejorar las tierras de cultivo, como abono y desalinizador.
- **Medicina** se utiliza para elaborar vendas de yeso, en la fabricación de moldes quirúrgicos y odontológicos y en la producción de pasta dentífrica.
- **Industria química y farmacéutica** como fuente de calcio, componente en diversos medicamentos.
- **Industria de los alimentos** en el tratamiento de agua, limpieza de vinos, refinado de azúcar, vegetales enlatados y alimentos para animales...
- En el **arte**, campo que nos ocupa, se centra su utilización en moldes para el proceso de fundición o en cerámica.

- **Moldes de chamota**

Son revestimientos compuestos de ladrillo molido refractario, escayola y agua.

La chamota es un material cerámico, una mezcla de arena refractaria de grano grueso, preparada a partir de arcilla calcinada y ladrillos molidos mezclados con arcilla cruda para aportar plasticidad. Su característica principal es su refractariedad y resistencia mecánica a elevadas temperaturas entre 700 y 800°C o superiores.

Aunque su uso es más conocido en la industria cerámica, se generalizó para el moldeo en la fundición artística e industrial.

Su utilización en nuestro campo se remonta a las primeras fundiciones en las que el molde se conformaba con tierra natural humedecida y compactada.

Corredor.J.A explica: *... no tenemos evidencia de la utilización de otra materia que no sea la tierra húmeda compactada alrededor del modelo, y posiblemente enterrado a muy poca profundidad dejando al descubierto la entrada de metal y alguna salida de gases...*³⁶

En el Renacimiento Cellini nos explica la evolución de esta técnica de molde, reforzada ya con una armadura de hierro que sustentaba la mezcla.

En la actualidad, la pasta está constituida por:

- Tres partes de ladrillo refractario cocido y molido
- Dos partes de escayola
- Agua



Fig.117 Molde de chamota

La elaboración del molde lo presentamos a través de las siguientes fases:

- Elaboración de un modelo en cera
- Instalación de bebederos a la pieza, para la entrada posterior del metal fundido y respiraderos para la evacuación de gases
- Colocación del modelo en el interior de un armazón de hierro
- Vertido de la mezcla de chamota en el interior del armazón
- Horneado del molde
- Descere de la pieza durante el horneado y eliminación del agua utilizada en su fraguado.
- Vertido del metal fundido
- Desmoldeo y retoque final de la obra.

Esta tipología de molde se verá ampliamente desarrollada, más adelante, en el sistema de fundición a la cera perdida.

- **Cascarilla cerámica**

Los precedentes de este tipo de moldes hay que buscarlos en la antigüedad, al igual que los anteriores, cuyos componentes se basaban en barro refractario, con la posible adición de restos de cuarzo, fibras vegetales, pelo y otros materiales.

Vasary deja constancia de este modo de elaborar los moldes:

..." el artista hace una pasta de barro muy fina, borra y estiércol de caballo y con esta mezcla va cubriendo toda la figura y, una vez seca la primera capa, se le pone otra, y así sucesivamente hasta darle un espesor de medio palmo o más..."³⁷



Fig. 118 Moldes de cascarilla cerámica

Pero su evolución en cuanto a materiales y técnica dista mucho de aquellas primeras fundiciones de revestimiento. Actualmente estos moldes se caracterizan por su:

- **Composición;** un refractario denominado moloquita y un aglutinante, la sílice coloidal.
- **Proceso:** consiste en configurar el molde por capas en función de las peculiaridades morfológicas de la pieza.

Este método de moldeo se tratará en extensión en el apartado dedicado a los sistemas de moldeo.

- **Arena en verde**

Aparece en los antiguos moldes elaborados con arenas naturales. El desarrollo y la escasez progresiva de los yacimientos hizo que aparecieran las arenas sintéticas, hoy en constante investigación y desarrollo en el campo de la fundición.

Se componen de un material refractario granular, generalmente arena de sílice, un aglomerante arcilloso que suele ser la bentonita, agua y otros aditivos, como por ejemplo hulla (carbón mineral).

Los moldes de arena verde presentan un buen comportamiento en la mayoría de sus aplicaciones, así como buena refractabilidad, permeabilidad y reutilización, a lo que se suma su bajo coste.

La primera capa de la mezcla de arena de sílice y bentonita, se denomina **arena de contacto**. Tras su primera utilización esta mezcla es reutilizable como **arena de relleno**.

La utilización del moldeo en verde con modelos gasificables es de gran interés por su peculiar aportación al campo del conocimiento en **moldes con modelo no extraíble**.

- **Moldes furánicos:**

Fabricados con arena seca de grano angular, mezclado con ácido fosfórico, el cual actúa como acelerador, endureciendo al agregarle a la mezcla una resina denominada furánica. Esta mezcla de ácido, arcilla y resina, una vez endurecida, soporta suficientemente el metal fundido y por tanto el choque térmico.

- **Moldes CO₂**

Responden a la tipología de moldes de arena mezclada con silicato de sodio y posteriormente ésta es apisonada alrededor del modelo. Una vez armado el molde, se inyecta bióxido de carbono a presión, de manera que el silicato de sodio, reacciona aumentando la dureza del molde.

- **Moldes por coquilla:**

Conocidos como moldes duros. Se emplearon en la antigüedad con

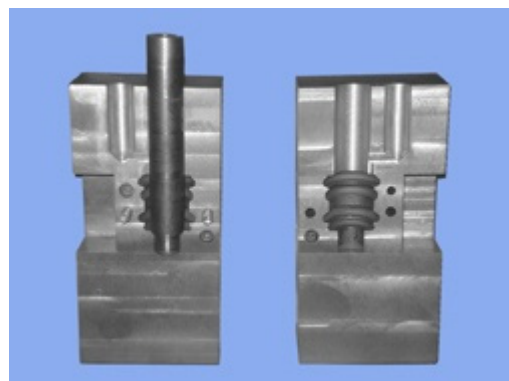


Fig. 119 Molde en coquilla

materiales como la piedra, terracota, bronce..., pero se han ido sustituyendo hasta utilizarse hoy los moldes metálicos, acero, hierro, latón... Normalmente se emplean para fundir grandes series de piezas de bajo punto de fusión como aluminio, cinc o aleaciones de cobre. La ventaja más notable es su resistencia, pero como desventaja presenta la limitación del tamaño de la pieza a reproducir en metal.

- **Moldes de silicona**

Son moldes flexibles y se componen de un material relativamente reciente, un compuesto silícico sintético en forma de pasta o fluido viscoso, que se endurece con la mezcla de un agente catalizador. El resultado es un producto sólido elástico que soporta temperaturas de hasta 300°C, y posee una excelente capacidad de registro superficial. Se pueden reproducir numerosas copias con materiales diversos sin sufrir deterioro los moldes, no obstante su gran desventaja es su precio elevado.



Fig 120. Moldes de silicona

Destacamos algunas de sus características principales:

- Buena capacidad de registro
- No es recuperable tras su catalizado
- Resistencia a la flexión
- Compatible con otros productos como las resinas de poliéster
- Necesidad de un contramolde normalmente realizado en poliéster

Su variedad es amplia, encontrándose siliconas con una baja viscosidad para facilitar la colada, especiales para cemento, para moldes sobre la piel...

Dentro de esa diversidad encontramos: **el látex y las gelatinas**. El primero corresponde a un material natural extraído de la *Hevea Brasiliensis, el árbol del caucho*, que manipulado industrialmente ofrece multitud de usos: artículos textiles, guantes...

El látex es un material muy resistente y con alto grado de elasticidad, soluble en agua, se mezcla con otros componentes que mejoran su calidad y lo estabilizan.

Las gelatinas, se diferencian entre orgánicas o sintéticas, se pueden fundir repetidas veces y gelifican al enfriarse. Son una gran alternativa a la silicona en cuanto a su bajo coste, pero desciende su calidad en registro superficial.

Un ejemplo de gelatinas orgánicas son; la cola de conejo, cola de pescado, debidamente deshidratadas y mezcladas con glicerina, talco y bórax.

Como gelatina sintética podemos referirnos al plastoflex, con propiedades intermedias entre las gelatinas y las siliconas propiamente dichas.

1.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MOLDES:

El actual tratamiento del molde dentro de la fundición, tanto artística como industrial, establece una división claramente diferenciada, atendiendo a diferentes factores:

A) Perdurabilidad del molde:

- **Moldes permanentes:** que permiten la extracción del modelo. Son moldes compuestos de 2 o más secciones, que permiten su apertura para recuperar la pieza. Se construyen en metal o material cerámico refractario para soportar las altas temperaturas de la fundición.
- **Moldes desechables:** precisa ser destruido para recuperar la pieza de su interior. Estos moldes suelen realizarse de arena, yeso o materiales similares, que mantienen la forma exigida del modelo, con sus correspondientes aglomerantes.

La fundición en arena es el ejemplo mas destacado de este grupo de moldes.

B) En relación al material del molde:

- **Moldes duros:** realizados con materiales que endurecen adaptándose a la forma del modelo. Es el caso de la escayola, chamota, arena...
- **Moldes flexibles:** debido a la propiedad que muestran sus materiales: silicona, látex, gelatinas..., presentan un comportamiento elástico que hace más fácil el trabajo en cuanto al desmoldeo final y resistencia, soportando repetidas reproducciones.

C) Morfología del molde:

- **Moldes únicos:** realizados de una sola pieza, un ejemplo de ello son los realizados en relieves o figuras planas.
- **Moldes por piezas:** son moldes compuestos por diferentes secciones dada la complicación o dimensiones del modelo a reproducir.

D) Atendiendo a la colada:

- **Molde vacío:** nos referimos a aquel que mantiene vacío el espacio que ocupaba el modelo en el momento de la colada del metal fundido. El mejor ejemplo de ello es el proceso de la cera perdida que horneamos para eliminar la cera y dejar espacio al metal fundido.

- **Molde lleno:** en el momento de la colada, mantiene el modelo en su interior, sin necesidad de extraerlo. Es el caso de fundiciones con modelos gasificables con moldeo en verde, químico..., de gran importancia en este trabajo, como precedentes más inmediatos de nuestra propuesta.

...“el metal fundido se puede colar directamente en el modelo apisonado en la arena, que se quema y desaparece instantáneamente, reemplazándose por el metal...”³⁸

2. MÉTODOS DE FUNDICIÓN: sistemas de moldeo.

2.1 INTRODUCCIÓN:

La fundición de metales se remonta en la historia a 4000 años a.C, en que el hombre descubre el primer metal, tras años de experiencia con la piedra y otros materiales fáciles de manipular que le ofrecía la naturaleza.

Partiendo de aquellas experimentaciones, primero con el oro, el cobre, la plata, a los que se fueron añadiendo aleaciones, el hombre se ha enriquecido, ha evolucionado y siempre ha sentido la necesidad de seguir avanzando en el gran descubrimiento de la metalurgia.

Herramientas, utensilios, armas, fueron los primeros objetos obtenidos en moldes primitivos que iban modernizándose paralelos a sucesivos descubrimientos de materiales, para la obtención de objetos fundidos.

Posteriormente fue el arte, la necesidad de expresión, la escultura, como eternizante de la realidad, la que se sirvió del proceso de la fundición y conseguir los propósitos del hombre de comunicarse a través de él.

Hoy, en plena evolución tecnológica, tanto en ámbito industrial como artístico, surge la creciente preocupación por la elaboración de piezas fundidas con sistemas de moldeo que nos garanticen no sólo la máxima calidad en los resultados, también en esfuerzo y economía. Comienza a crecer el interés por la unicidad de la obra, el patrimonio, su conservación, ya que a lo largo de la historia, no han sido pocos los objetos con un valor incalculable que se han deteriorado gravemente durante los procesos de moldeo, vaciados...

Es por ello que desarrollamos en los siguientes puntos, sistemas de moldeo que aún teniendo sus primeros antecedentes en la Historia, hace miles años, con materiales y procedimientos más que rudimentarios, son hoy los puntos de anclaje con el actual proceso de la fundición, su evolución e investigación en busca de mejoras.

2.2 FUNDICIÓN A LA CERA PERDIDA:

2.2.1 INTRODUCCIÓN:

Desde el descubrimiento de los metales, fue este método, el primero que practicó el hombre para la obtención de sus piezas. Hablar de cera implica hablar de antigüedad. En un principio se comenzó a conformar los primeros moldes de fundición con materiales que la naturaleza le facilitaba; barro, tierras, estiércol..., sin embargo a partir de aquellas primeras prácticas la mayor preocupación ha sido la evolución de los procesos y los materiales, en consonancia con la etapa histórica correspondiente al hombre y desarrollar moldes que le permitieran obtener piezas en metal fundido, de forma eficaz y rentabilizadora.

De esta búsqueda, y como resultado del desarrollo industrial, se hizo evidente el progreso de la fundición tanto en el ámbito artístico como industrial.

Efectivamente, hablar del proceso metalúrgico en el arte, nos lleva a la tradicional técnica de la cera perdida ya utilizada en la época egipcia y descrita en los murales de sus monumentos funerarios.

Los pequeños bocetos de culturas como la mesopotámica o griega



mostraron con virtuosismo las posibilidades de este procedimiento del cual se conservan grandes obras artísticas y donde se escribieron los primeros tratados que narran al detalle el método, como fue el tratado de Benvenuto Cellini; "Tratado de orfebrería, escultura, dibujo y arquitectura", refiriéndose a la receta de cera para modelar: *"...esta cera se hace tomando cera blanda pura y mezclándola con una mitad de albayalde bien molido con un*

Fig 121. *Condottiero de Verrochio*

*poco de trementina clarísima, mas o menos cantidad según la estación del año, porque si es invierno puedes incluir una mitad más de trementina que en verano...'*³⁹

El método fue gradualmente perfeccionándose hasta llegar en el Renacimiento a grandes obras de la historia como el Condotiero de Verrochio realizado por el procedimiento de la cera perdida.

Hasta hoy la técnica, íntimamente ligada a las escuelas y estudios de arte, ha evolucionado en un intento por rentabilizar el proceso y la calidad de la pieza obtenida, con el empleo de nuevos materiales de moldeo.

En su esencia básica, el procedimiento consiste en la fabricación del modelo en cera alrededor del cual se construye un molde. El molde horneado, hará que la cera se funda en su interior y libere el espacio, el cual ocupará el metal fundido.

Atendiendo a la complejidad geométrica de la pieza podemos distinguir entre:

- **Método directo:** el modelo en cera se recubre con los materiales refractarios, que endurecen conformando el molde. Este se introduce en un horno y la cera desalojará el espacio que ocupará del metal fundido.
- **Método indirecto:** el modelo se realiza en otro material del cual se obtiene un molde por piezas. Una vez extraído el modelo del interior del molde, se vuelve a unir y se realiza una colada de cera. Tras eliminarse la cera, el metal fundido, ocupará su lugar.

En el procedimiento de vaciado existen varios métodos:

Rosier.P.⁴⁰ por ejemplo, hace referencia a varias posibilidades:

- Tirada por volteo: la cera en estado líquido se vierte en el interior de un molde, el cual se voltea despacio en todas direcciones para formar una capa que se va regruessando.

- Vaciado de estratificado de cera por estampación o impresión: consiste en aplicar la cera con un pincel suave hasta alcanzar el grosor deseado.
- Colada directa: se obtienen ceras macizas por llenado completo del molde.

El método de la cera perdida ha evolucionado en técnica y materiales que actualmente conocemos. Veremos a continuación los tres procedimientos más utilizados en la fundición actual como punto de partida de esta investigación y paralelos a los nuevos materiales y métodos que proponemos en nuestro trabajo.

2.2.2 FUNDICIÓN A LA CERA PERDIDA CON MOLDE DE CHAMOTA MOLDEO HORNEADO:

El método consta de:

- **El modelo**: elaborado en cera
- **El molde**: está constituido por los siguientes componentes
 - a) Chamota: ladrillo molido refractario
 - b) Escayola
 - c) Agua; en las proporciones adecuadas para obtener su densidad correcta.

En la antigüedad se denominaban moldes de olla, y los materiales empleados variaban en cuanto a proporciones y mezclas de otros aditivos que reforzaban el conjunto.

Corredor.J.A señala: *"...la posibilidad de hacer moldes con la misma tierra natural, revistiendo con ella el modelo en cera y secándolo con un fuego como si fuese una cerámica para la fusión de la cera. Luego habría que volverlos a enterrar compactándolos con la tierra para evitar su rompimiento por la presión del metal fundido a la hora de la coladura. La tierra húmeda empleada podía estar mezclada con fibras vegetales tales como pajas pequeñas para una mejor cohesión, o fibras de animales, pelo y otras..."*⁴¹

Los antiguos pueblos mesopotámicos revestían el modelo de cera con tierra natural y lo dejaban secar a fuego como si se tratase de una cerámica. Posteriormente enterraban los moldes en tierra para realizar el vertido del metal.

Estos moldes horneados, eran utilizados en el siglo XVII con características similares a los realizados en la actualidad, pero han ido evolucionando hasta sustituir a la tierra arcillosa inicial.

Cellini, B. nos da una versión muy pormenorizada de la forma de proceder en el Renacimiento:

...” Tómese yeso fresco de modelar bien molido y aplastado y un ladrillo de tierra cocida también molido y aplastado; se deben mezclar muy bien dos tercios de este ladrillo y dos tercios de la cantidad del yeso mencionado, después se diluyen en agua fresca pura a modo de una salsa...”

...”una vez que este bien cocida, se le aplicará por encima un sutilísimo barro hecho de hueso molido y ladrillo graso triturado mezclado con un poco de tierra de la tundidura...”⁴²

Es un proceso adecuado para composiciones huecas, por la facilidad de recubrimiento de la mezcla, que llega a zonas de difícil acceso asegurando la obtención de secciones menores.

2.2.2.1 Fases que constituyen el método de fundición a la cera perdida con molde de chamota:

1) Elaboración del modelo en cera:

Por alguno de los procedimientos escultóricos básicos: modelado, construcción, talla y vaciado, anteriormente detallados.

2) Preparación de los sistemas de alimentación:

Consiste en dotar al modelo de cera de lo siguiente:

- a) Bebedero principal
- b) Bebederos secundarios
- c) Salidas de gases

La unión de estos elementos se realizará con una espátula caliente u otro procedimiento similar.

3) **Moldeo de la cera:**

Se sitúa el modelo en un armazón metálico dentro del cual se vierte la mezcla de chamota, que endurecerá conformando un molde suficientemente resistente.

4) **Horneo del molde:**

Se introduce en horno hasta eliminar la cera.

En este tiempo ocurren tres hechos:

- a) El agua de los materiales del molde desaparece por el gradual calentamiento de los mismos.
- b) La mezcla se endurece para soportar el choque térmico del vertido.
- c) La cera del modelo se derrite y evacua el espacio, dejándolo libre para ser ocupado por el metal.

5) **Vertido del metal:**

Fundido el metal a la temperatura adecuada y se procede a la colada gradual en el interior del molde.

6) **Desmoldeo y limpieza final de la pieza:**

Se extrae la pieza del interior del molde y se procede a la limpieza de restos de refractario y retoque final de la misma.



Fig. 122 Armazón metálico.
Moldeo con chamota

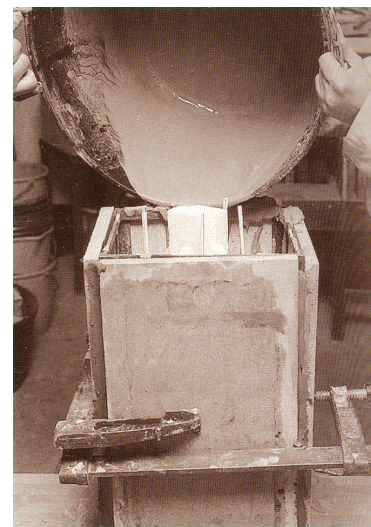


Fig 123. Moldeo con chamota

2.2.3 FUNDICIÓN A LA CERA PERDIDA CON MOLDE DE CASCARILLA CERÁMICA:

Si buscamos los orígenes de esta técnica, nos remontamos casi al punto de partida de la fundición. Aquellos primeros moldes de la antigüedad consistían en tierra natural mezclada con fibras vegetales, pelo..., humedecida y compactada alrededor del modelo. El conjunto se secaba a fuego a modo de una cerámica.

Vasary escribe:

...“el artista hace una pasta de barro muy fina, borra y estiércol de caballo y con esta se va cubriendo toda la figura. Una vez seca la primera capa, se le pone otra, y así sucesivamente hasta darle un espesor de un palmo o más...”¹⁴³

Es evidente que aquellos materiales distan de los empleados actualmente en la técnica de la cascarilla cerámica, pero es preciso realizar este gran paso en el tiempo, por dos razones:

- **El proceso de moldeo por capas**, que guarda similitud con el empleado actualmente.
- **Un método antiguo evoluciona y participa de las novedades materiales y técnicas actuales.** Los nuevos materiales y arenas debido al desarrollo de la industria sustituyen a las arenas naturales empleadas en la antigüedad. Hay una adaptación del proceso.

El método consta de:

→ **El modelo**: elaborado en cera

→ **El molde** constituido por:

- a) Moloquita como refractario
- b) Sílice coloidal como aglutinante

→ **Las fases** de este método se detallarán en el capítulo centrado en nuestra aportación. Esta tipología de molde será uno de los ejes de la investigación, estudiado y aplicado a modelos gasificables.

2.2.4 FUNDICIÓN A LA CERA PERDIDA CON MOLDE DE YESO:

En el proceso de fundición, recuperamos este material por su importancia en la confección de moldes a lo largo de la historia.

Moral.F.R, "Metalurgia general, vol.2" afirma:

..." la escayola se ha utilizado como material de moldeo durante varios siglos. La mezcla empleada consiste en yeso calcinado, un reforzador fibroso, tal como el silicato magnésico y pequeñas cantidades de impurezas-sales y ácido clorhídrico- para acelerar el fraguado de la mezcla. Para fraguar esta, se añade mas agua de la necesaria y la mezcla se coloca alrededor del modelo, y en cuanto adquiere el estado pastoso, se extrae éste..."⁴⁴

La diferencia de este método respecto a los descritos anteriormente consiste en que no utilizamos directamente un modelo en cera, sino otro material.

Consta de lo siguientes pasos:

→ **El modelo** elaborado en barro, plastilina, terracota...

→ **El molde** constituido por:

- a) Escayola
- b) Agua en sus proporciones adecuadas.

2.2.4.1 Fases que constituyen el método de fundición a la Cera perdida con molde de yeso o escayola:

- 1) Elaboración del modelo.
- 2) Estudio y división del modelo en dos o mas partes.
- 3) Moldeo de las partes
- 4) Secado del molde
- 5) Retirada del modelo del interior del molde de yeso o escayola
- 6) Cierre del molde

- 7) Vertido de cera en el interior del molde, en sucesivas capas, hasta obtener un grosor determinado del modelo a reproducir.
- 8) Desmoldeo.
- 9) Réplica del modelo en cera, la cual moldeamos por cualquiera de los métodos antes descritos para obtenerla en metal.



Fig 124. Estudio de divisiones del modelo para moldeo

Por último dentro de la fundición a la cera perdida es necesario mencionar el procedimiento industrial, **microfusión** con modelos de cera, que requiere de una infraestructura especializada lo que hace que sea limitado en el campo de la escultura.

Este método es empleado en la joyería para piezas de pequeñas dimensiones.

Para obtener los modelos, la cera se inyecta a presión en un molde generalmente metálico o de caucho y una vez desmoldado estos se montan en un *árbol de colada*, como se muestra en la imagen, se reviste con el material refractario, se hornea y se procede a la colada del metal elegido.



Fig 126. Moldeo en cáscara cerámica



Fig 125. Modelos en árbol de colada

2.4 FUNDICIÓN A LA ARENA:

2.4.1 INTRODUCCIÓN:

Los inicios de este procedimiento como el de la cera perdida, se remontan a la primera metalurgia, por la manera en que el hombre conformaba el molde alrededor del modelo, compactando arenas o tierras naturales.

Sin embargo hoy, relacionamos la fundición en arena con los métodos actuales por dos aspectos:

→ El creciente desarrollo en la fundición industrial utiliza este método para la obtención de piezas de cierta complejidad dimensional, con una reducción de costes, mejor calidad y mayor rentabilidad en el proceso de trabajo. Es el caso de la fundición de la industria del motor, aeronáutica...

→ Fruto de ese avance tecnológico surgen nuevos materiales no sólo para la confección de los moldes, y nuevas arenas sino también para modelos, que permiten colar en metal fundido sin la necesidad de extraer el modelo del interior del molde, como por ejemplo los modelos gasificables.

2.4.2 ARENAS DE MOLDEO:

Se encuentran en la naturaleza y están constituidas normalmente por arena de sílice (SiO_2) que es producto de la desintegración de las rocas a lo largo de períodos amplios de tiempo.

Gerling.H; *"Moldeo y compactación"*, explica:

*..." la arena de moldeo es una mezcla natural de granos de cuarzo y arcilla. El cuarzo es un sólido difícilmente fusible. Según el tamaño del cuarzo , la arena puede ser de grano grueso o fino. La arcilla adquiere propiedades aglomerantes al absorber el agua. Sirve por lo tanto como aglomerante, y hace que los granos de cuarzo se adhieran unos a otros..."*⁴⁵

Existen dos tipos de arenas según su origen:

- **Arenas naturales:** se encuentran en la naturaleza y están constituidas por granos de cuarzo (bióxido de silicio) un material altamente refractario, arcilla que es el aglomerante y agua. Son también denominadas tierras de fundición.
- **Arenas sintéticas:** compuestas artificialmente por varios materiales como; cuarzo, polvo de carbón..., no contienen naturalmente arcilla, como las arenas de río o mar. Son las que actualmente utiliza la industria por su calidad y precisión.

2.4.3 TIPOS DE ARENAS:

- **Arena de sílice:** muy abundante en la naturaleza, su nombre común SiO_2 o cuarzo en forma mineral.

Entre sus características:

- Fácil extracción natural
- Bajo precio
- Altamente refractaria
- Variedad de tamaños y formas del grano redonda o angular
- Impurezas prácticamente nulas
- Reutilizable

La desventaja de esta arena es su expansión térmica, lo que implica un mayor control en la elaboración de los moldes para evitar agrietamientos.

- **Arena de zirconio:** significa color dorado. En estado puro existe en;

*Forma cristalina, un metal blanco, blando y dúctil.

*Forma amorfa, un polvo negro azulado.



Fig. 127 Arena de Circonio

Se encuentra en la naturaleza como metal libre, formando parte de numerosos minerales. La principal fuente de circonio, se obtiene del mineral circón.

Entre sus características:

- Alto punto de fusión, aproximadamente a 2.175°C
- Forma redonda de sus granos que resulta en mayor calidad superficial
- Baja expansión térmica
- Compatibilidad con resinas orgánicas.
- Estabilidad dimensional y térmica

Su desventaja es el coste elevado.

- **Arena de Cromita**: está compuesta por óxido natural de hierro y cromo. Es especial para la fabricación de machos y moldes, por su resistencia a elevadas temperaturas.

Entre sus características:

- Granulometría de forma angular
- Alto punto de fusión
- Estabilidad térmica

Es compatible con todos los procesos químicos de condicionamiento de moldes y machos, destacando la fundición para aceros en la industria. Como desventajas, su presencia elevada de impurezas que pueden causar porosidades en la superficie de la pieza y su precio elevado.

- **Arena de Olivino**: con propiedades parecidas a la anterior, presenta las siguientes características.

- Alta resistencia al choque térmico por elevadas temperaturas.
- Dilatación térmica muy baja
- No presenta peligro de silicosis
- Mayor refractariedad
- Diferentes granulometrías

- **Arena Cerabeads**: reciente arena sintética compuesta de silicato de alúmina. Presenta excelentes propiedades, alta refractariedad y dilatación térmica muy baja. Una de sus ventajas es su granulometría redondeada.

- **Arena Beauxita**: Arena sintética con excelentes propiedades refractarias, alta resistencia mecánica y variedad de granulometría.

- **Arena Arebond**: sílice aglomerado con bentonitas y aceite mineral. De color rojizo, se trata de una arena de reciente creación y se utiliza de forma similar a la arena del moldeo en verde.

2.4.4 CARACTERÍSTICAS GENÉRICAS DE LAS ARENAS DE MOLDEO:

Las arenas de moldeo, como otros materiales utilizados en fundición deben responder a una serie de cualidades que las hacen aptas para tal fin:

- **Plasticidad**: deben amoldarse con exactitud a los contornos del modelo.
- **Permeabilidad a los gases**: permiten la evacuación de los gases que desprende el metal al entrar y enfriarse en el molde. Abril.E.R afirma que:..." *la porosidad es la misma cualquiera que sea el tamaño de los granos (supuestos esféricos) de una arena, a condición de que todos sean de igual diámetro. La evacuación de gases en cambio será mayor, cuanto mayor sea el diámetro de los granos, debido a que los espacios vacíos resultarán en ese caso de mayor tamaño..*"⁴⁶

Añade que para lograr una buena permeabilidad con arenas de grano pequeño debe procurarse una uniformidad en la granulometría.

- **Propiedades Refractarias:** punto de fusión alto y resistencia a la vitrificación sin fundirse ni reblandecerse. Deben permanecer estables durante la colada del metal fundido, dadas las altas temperaturas y el choque térmico.
- **Estabilidad de forma – cohesión:** nulos o casi inexistentes índices de contracción. (resistencia a la tracción y flexión)
- **Compatibilidad química** con el material del modelo y el metal fundido.
- **Conductividad térmica:** control de la velocidad de enfriamiento.
- **Facilidad de desmoldeo:** para extraer la pieza fundida.
- **Variedad granulométrica:** determinada normalmente por tamizado.

La siguiente tabla representa el tamiz del grano.

TAMIZ	ABERTURA DE MALLA	
	Pulgadas	Milímetros
6	0,1320	3,360
12	0,0661	1,680
16	0,0469	1,190
20	0,0331	0,840
30	0,0232	0,590
40	0,0165	0,420
50	0,0117	0,297
60	0,0098	0,248
70	0,0083	0,210
80	0,0070	0,177
100	0,0059	0,149
120	0,0049	0,124
140	0,0041	0,105
170	0,0035	0,088
200	0,0029	0,074
230	0,0024	0,060
270	0,0021	0,053

Eduardo. R Abril. "Metalurgia Técnica y fundición", 1956

Además de las características genéricas a las que deben responder las arenas de moldeo; Abril.E.R⁴⁷, en "Metalurgia técnica y fundición" distingue entre los siguientes parámetros para establecer su calidad:

- Impurezas químicas
- Humedad
- Forma y tamaño de los granos de cuarzo
- Porcentaje y cualidades de la arcilla o materiales que la reemplazan o complementan.

Por otro lado las arenas de moldeo presentan algunas particularidades decisivas en el proceso de moldeo:

- **Forma del grano:**
 - Esferoidal
 - Angulado
 - Compuesto
- **Tamaño del grano:**
 - Grueso
 - Medio
 - Fino

La granulometría va ejercer una influencia directa en:

- El acabado superficial de la pieza
- La permeabilidad del molde
- El comportamiento de la arena en la colada

2.4.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DE LA ARENA:

Determinar una buena arena de moldeo está ligado a una correcta proporción de los materiales que la componen: los granos de cuarzo, arcilla y agua.

- **Los granos de cuarzo:** influyen en la resistencia y permeabilidad del molde.

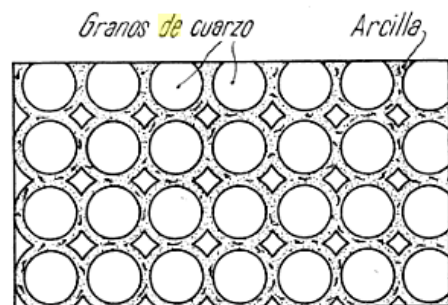


Fig. 128 Disposición ideal de los elementos de una arena de moldeo.

Los granos finos y de superficie irregular aumentarán la resistencia mecánica del molde, pero por otro lado disminuirán la permeabilidad del mismo.

- **Cantidad de arcilla:** va a determinar en el molde, la capacidad de absorción de agua y por tanto la formación de películas de gran adherencia. Las bentonitas confieren una resistencia mayor que las arcillas naturales.

- **Agua:** aumenta o disminuye la resistencia mecánica del conjunto.

En el siguiente gráfico vemos como influye la humedad en la consistencia del molde y su permeabilidad:

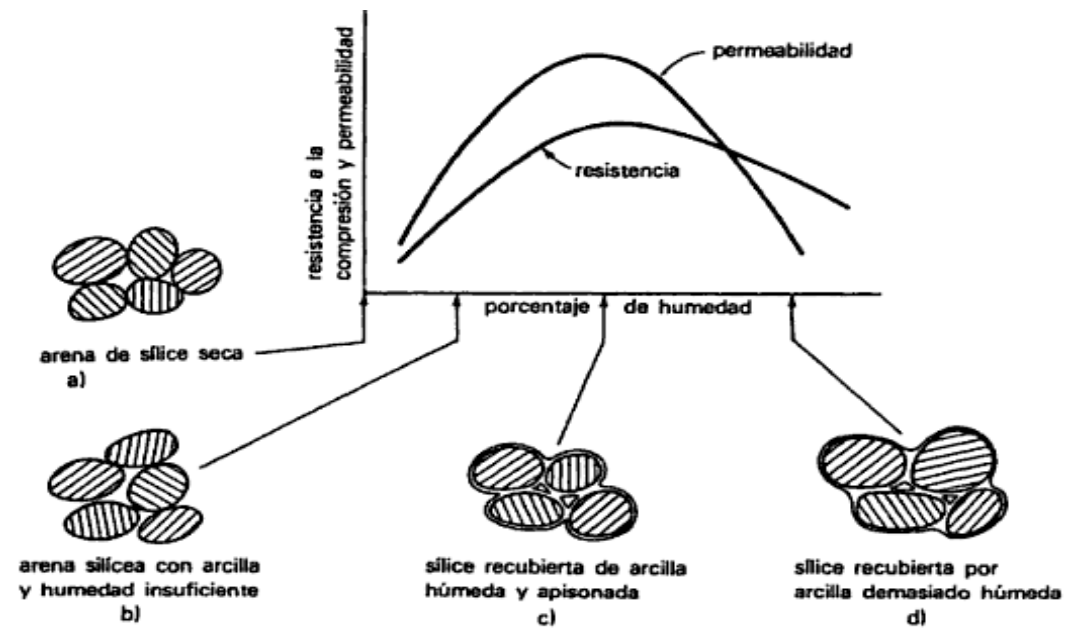


Fig.129 *Porcentaje de humedad para la consistencia del molde*

El exceso de aglutinante tiende a llenar los poros y por tanto disminuye la permeabilidad porque produce una saturación de esos espacios.

2.5 MÉTODOS DE FUNDICIÓN A LA ARENA:

El procedimiento de fundición a la arena es el más utilizado actualmente en cuanto a nivel industrial se refiere; por su evolución, excelentes resultados y rentabilidad de trabajo.

Las crecientes investigaciones se han ido incorporando al ámbito de la escultura con métodos y materiales tradicionales y nuevos.

Aunque el modelo utilizado en este tipo de fundición puede ser elaborado con distintos materiales, como por ejemplo en cera, nos centramos a continuación en los métodos de fundición a la arena más recientes en el ámbito escultórico y que más se acercan a nuestra investigación por el uso del poliestireno expandido como modelo gasificable.

2.5.1 FUNDICIÓN A LA ARENA EN VERDE CON MODELOS DE EPS:

Este procedimiento aparece ya descrito en los murales de la tumba de Rek Mira, visir de Tutmosis III, de la XVIII dinastía en Tebas. Su precedente más inmediato es el moldeo con “arenas naturales”, las cuales se han ido reemplazando por arenas sintéticas, debido a la escasez de yacimientos naturales y a exigencias de precisión en la creciente industria.

El moldeo en verde data aproximadamente del siglo XVIII y se debe a Biringuccio de Siena. Ha estado durante mucho tiempo destinado a la ejecución de piezas de orfebrería y a la fundición de piezas pequeñas. Como procedimiento industrial surge en torno al Renacimiento y se afirma a lo largo del siglo XVIII.

Sin embargo este proceso ha sido escasamente utilizado en el ámbito escultórico, debido a la dificultad que presentaba el moldeo con piezas mínimamente complicadas debido a la obligatoriedad de extracción del modelo anterior a la colada del bronce.

Como indica Sorroche.A⁴⁸; con Poliestireno Expandido como modelo de fundición esta limitación es superada puesto que la pieza no requiere ser extraída del molde, debido a la gasificación del material en el momento de la colada.

2.5.1.1 ARENA EN VERDE:

Es una arena sintética constituida por:

- Material refractario granular, generalmente arena de sílice.
- Aglomerante arcilloso que suele ser bentonita, que le proporciona cohesión.
- Agua como aglomerante de la bentonita.
- Aditivos, generalmente polvo de carbón que contrarresta el ataque químico y térmico del metal líquido y facilita el desmoldeo.

• **ARENA DE SÍLICE:** dióxido de silicio

(SiO₂) es un compuesto de silicio y oxígeno. Su composición química está formada por un átomo de sílice y dos átomos de oxígeno. Aparece en la naturaleza normalmente en su variante cristalina, el cuarzo.



Fig. 130 Arena de sílice

En la fundición nos interesa por su alta refractariedad, que variará en función de la pureza y la procedencia del sílice.

Strobl.S.M comenta:..." Una arena sílice en forma pura, 98% SiO₂, tiene un punto de fusión de aproximadamente 3100 F (1704 C). Si el contenido de SiO₂ en la arena se reduce, entonces el punto de fusión también descenderá. Existen varios subgrupos de arena base sílice, como la arena de lago por ejemplo, que tienen porcentajes reducidos de SiO₂ y temperaturas correspondientes de fusión de aproximadamente 2800 F (1538 C) dependiendo de la composición de la arena..."⁴⁹

- **BENTONITA:** es una arcilla de grano muy fino cuyo nombre procede de un yacimiento en EE.UU, Fort Benton. Las Montmorillonitas, arcillas esmécticas con una estructura de capas, son el constituyente principal de las bentonitas.

Es el aglutinante arcilloso de los granos de arena y tiene que tener las siguientes características:

- Facilidad de manipulado
- Poder aglutinante (cohesión en verde)
- Poder aglomerante (cohesión tras endurecer)
- Resistencia en caliente
- Fácil desmoldeo
- Reutilizable
- No tóxica
- Poco coste
- Morfología laminar
- Tamaño de partícula pequeño
- Alta plasticidad

Existen dos tipos de arcillas naturales.

- Bentonita sódica: compuesta por alto nivel de iones de sodio
- Bentonita cálcica: es una montmorillonita cuyo catión intercambiable predominante es el calcio. Con propiedades absorbentes.

El siguiente gráfico muestra características entre ellas:

Características de Arena	100% Bentonita Sodica	100% Bentonita Calcica	50:50 Na:Ca
Resistencia a la Compresión en Verde	11.8 psi	14.3 psi	12.6 psi
Deformación Verde a Resistencia Maxima	1.3%	0.95%	1.1%
Resitencia a la Tensión en Humedo	0.466 N/cm ²	0.071 N/cm ²	0.346 N/cm ²
Resistencia a la Compresión Caliente	575 psi	110 psi	320 psi

Fig. 131 Características de resistencia de la bentonita

- **AGUA;** es necesaria para desarrollar las propiedades aglutinantes de la bentonita.

El contenido de humedad en el conjunto de moldeo en arena verde es crítico y va a determinar las propiedades físicas del molde.

Strobl.S.M comenta: *...” Generalmente, incrementando el agua se incrementa la resistencia a la compresión en verde hasta un punto, referido como el punto de templado. Incrementos adicionales de agua traerán como resultado un decremento en la resistencia a la compresión en verde... Ambas resistencias a la compresión, en seco y en caliente, muestran un incremento en la resistencia conforme se incrementa la humedad dentro de un rango normal.”*⁵⁰

La relación entre el contenido de humedad y la resistencia en seco y caliente puede verse en la siguiente gráfica:

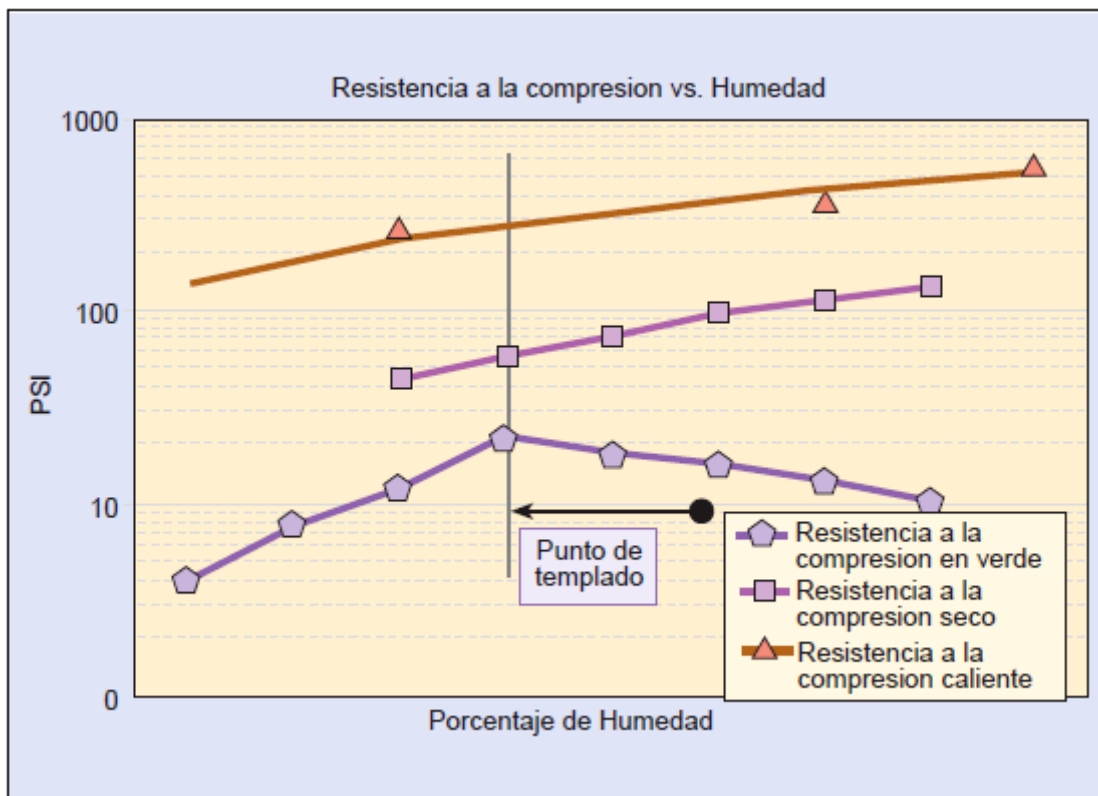


Fig.132 Resistencia a la compresión vs. Humedad de la arena verde

La arena en verde debe tener las siguientes características genéricas:

- 1) **Plasticidad:** fidelidad de copiado
- 2) **Finura:** calidad superficial
- 3) **Refractariedad:** resistencia al metal fundido y facilidad de evacuado de gases por su porosidad.
- 4) **Reciclabilidad:** la primera mezcla de arena realizada, se denomina, arena de contacto. Tras su uso, esta adquiere de nuevo sus propiedades iniciales añadiéndole agua, denominándose, arena de relleno.

2.5.1.2 Fases del método de fundición en verde:

→ **El Modelo:** puede ser

- Removible: el modelo se extrae para dejar vacía la cavidad que ocupará el metal.
- Desechable: el modelo permanece en el interior del molde en el momento del vertido del metal.

→ **El molde** se aglutina generalmente en dos semi-cajas, mediante compactación de la arena alrededor del modelo de manera:

- Manual (apisonada)
- Mecánica mediante moldeadoras (por sacudidas, prensado, vibración, vacío, aire comprimido, que es aplicado en la industria.

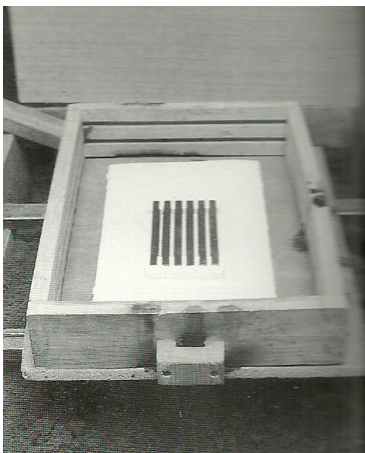
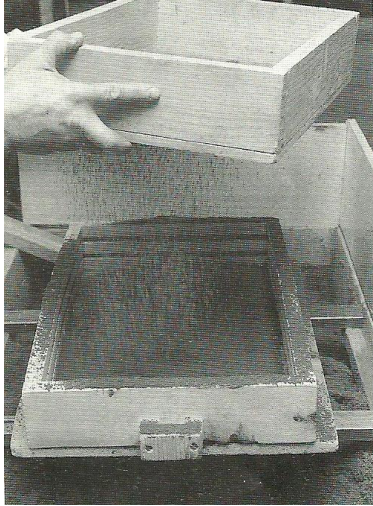


Fig. 133

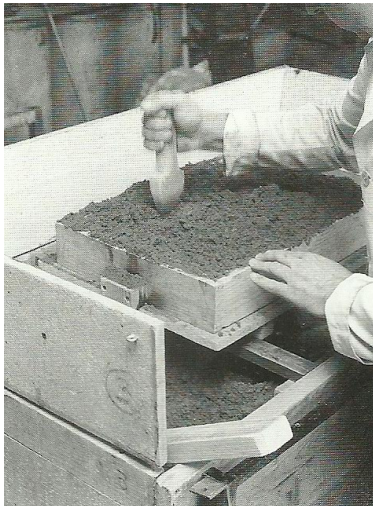
Las fases que constituyen el moldeo en verde con modelo desechable las desarrolla el profesor Sorroche.A⁴⁶ en su libro: "Nuevas técnicas y nuevos materiales en la fundición escultórica actual" en los siguientes apartados:

- 1) Colocación del modelo en una semi-caja de madera, preparada con canales interiores para evitar desprendimientos de la arena.



2) Cernido de la arena sobre el modelo en la primera semi- caja

Fig. 134



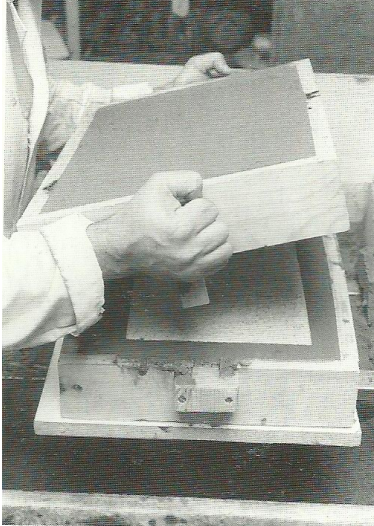
3) Compactado de la arena alrededor del molde con presión uniforme

Fig. 135



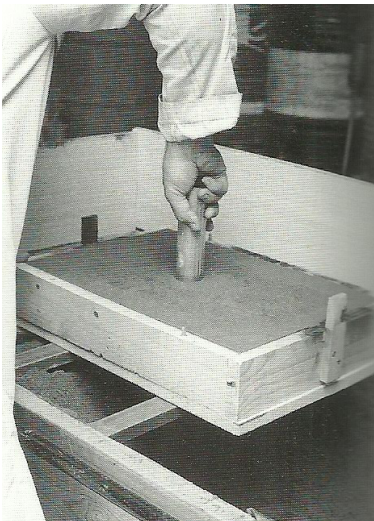
4) Limpieza de los restos de arena para estabilizar el asentamiento de la otra

Fig. 136



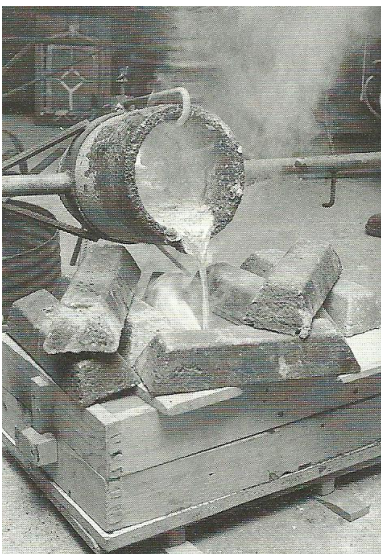
5) Volteamos la semi-caja y elaboramos la otra mitad compactando de igual manera. Acoplamos las dos semi-cajas

Fig. 137



6) Apertura del sistema de alimentación y salida de gases

Fig. 138



7) Colada del metal fundido

Fig.139

2.5.2 FUNDICIÓN CON MOLDEO QUÍMICO:

Los orígenes de este procedimiento surgen de la reciente investigación industrial para la mejora en la calidad de los productos y la simplificación en el proceso de producción.

Siguiendo el mismo esquema que en los anteriores sistemas de moldeo, el proceso consta de:

→ **El modelo:** removible o desechable

→ **El molde;** constituido por:

- Arena de sílice
- Productos químicos que endurecen por reacción, que pueden ser:
 - Inorgánico: utilizan como base el silicato sódico y como catalizador un éster orgánico.
 - Orgánico: con dos subtipos:

Resinas fenólicas: compuestas por

Formol libre

Fenol libre

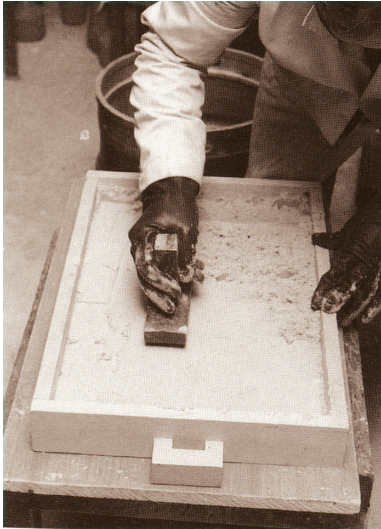
Nitrógeno

Según Inasmet⁵¹ (Centro Tecnológico de Materiales), el porcentaje de estos componentes varia en función de:

- * Temperatura ambiente
- * Temperatura de la arena
- * Humedad
- * Tipo de arena
- * Velocidad de desmoldeo deseada

Resinas furánicas: su componente principal es el alcohol furfurílico. Son más resistentes a la flexión y tracción, pero el inconveniente de mayores desprendimientos gaseosos y un coste elevado.

Ambas resinas son tóxicas y contaminantes, por lo que es necesario tomar precauciones en su manipulación y en zonas de adecuada ventilación.



Este tipo de moldeo se suele emplear para la fabricación de series cortas y piezas de gran tamaño. Utiliza instalaciones de mezclado continuo o discontinuo donde se realiza la adición de resinas y catalizadores químicos a la arena, y después se compacta de forma manual o mecánica.

Fig.140 Moldeo químico

2.5.2.1 Fases de la fundición con moldeo químico:

Son las mismas que en el moldeo en verde visto anteriormente.

- 1) Elaboración de un modelo
- 2) Posicionado del modelo en un cajón sobre un tablero de madera
- 3) Preparación de la arena de sílice en la mezcladora con el catalizador.
- 4) Vertido de la arena aglutinada sobre el modelo
- 5) Compactación de la arena
- 6) Volteo del molde endurecido
- 7) Esparcir talco en la superficie para evitar que las dos mitades queden adheridas.
- 8) Elaborar la otra mitad de la caja.
- 9) Retirar el cajón de moldeo
- 10) Preparación del sistema de alimentación
- 11) Vertido del metal
- 12) Desmoldeo y limpieza final de la pieza



Fig. 141 Mezcladora

2.5.3 FUNDICIÓN A LA CASCARILLA CERÁMICA:

2.5.3.1 Introducción:

Los orígenes de la cascarilla se remontan a los primeros moldes de fundición en la Antigüedad, elaborados por la técnica de revestimiento cerámico sobre modelos de cera.

Tal descubrimiento se produce en 1972 en; Gussage All Saints, (Inglaterra)

...” En Gussage en la Edad del Hierro (I siglo A.C), ya existía una fabrica donde se llevaba a cabo el proceso de cera perdida para la producción en masa de piezas de bridas y otros accesorios de arrees y carros de bronce. Más de 7.000 fragmentos de moldes de revestimiento de barro fueron recuperados junto con otros: crisoles, carbón vegetal, escorias y demás restos...”⁵²

...” La mayoría de los moldes eran de barro refractario de alta cocción con la adición de cantidades variadas de cuarzo... Fueron modelados a mano alrededor de los originales de cera y sólo se colocó un bebedero...”⁵³



Fig. 142 Carro del sol de Trundholm.

Existe un testimonio más antiguo del empleo del molde de revestimiento de barro. Se trata de una pieza aislada, el carro del sol de Trundholm, del año 1300 a.C, ubicada actualmente en el Museo Nacional de Copenhague.

Cruz. M^a dice:

...“el procedimiento de la cera perdida se llevó a un mayor grado de maestría en la realización del caballo. Se construyó en capas de arcilla (para evitar grietas en la combustión), un modelo de caballo elemental (sin orejas y con cuatro vástagos para las patas). Una reproducción mas detallada del caballo en una capa muy fina (1-2 mm) de cera cubrió el modelo de arcilla..., por encima de la cera se aplicaron capas de arcilla que formarían un molde externo agujereado que daría cabida al bronce fundido...”⁵⁴

Este pequeño acercamiento a los moldes de revestimiento, nos aclara aún mas los antecedentes directos de la cascarilla; los moldes de olla. Estos, son revestimientos generalmente de ladrillo molido refractario y escayola, que contienen un modelo en cera. Sin embargo su realización, no se limita sólo al uso de estos materiales, sino también: tierra, cemento aluminoso, cáscara cerámica...

Desde que surgen estos moldes, la técnica de la chamota, que ya vimos y la cascarilla, se suceden a la par, solamente diferenciados por los materiales utilizados en el moldeo.

Mas adelante, cada técnica iría alcanzando sus propias características, hasta diferir incluso en el aspecto final del molde.

En la antigüedad los fundidores han utilizado tierra natural humedecida para la creación de sus moldes, tierra humedecida, posiblemente mezclada con fibras vegetales, pajas pequeñas, pelos..., que era compactada alrededor del modelo y posiblemente el molde enterrado luego a poca profundidad, dejando al descubierto la entrada del metal y salidas de gases.

Vasary dice:

...“ el artista hace una pasta de barro muy fina, borra y estiércol de caballo y con esta se va cubriendo toda la figura. Una vez seca la primera capa, se le pone otra y así sucesivamente hasta darle un espesor de un palmo o más...”⁵⁵

Otra documentación escrita original, describe el molde de fundición con gran parecido a la cascarilla cerámica actual:

Cellini.B: *..." tomé tierra de la que usan los maestros artilleros y una vez seca, la tamicé muy bien y la mece con tundidura de paños finos y con un poco de estiércol de buey pasado por el cedazo; después lo batí todo junto con grandísimo cuidado...*

Hecho esto, tomé trípoli del que utilizan los joyeros para pulir las piedras preciosas, lo trituré muy finamente y, utilizándolo como si fuese un color de pintar, lo apliqué sobre mis ceras, en las cuales ya había practicado todas las bocas en la misma cera y todos los respiraderos... lo apliqué sobre dichas obras en capas del grosor de un filo de cuchillo, dejándola secar en cada ocasión hasta que llegó a tener un dedo de grosor..."⁵⁶

El mismo tipo de evidencias encontramos en la obra de Wilburt Feinberg.W, referidos a África, cuyos procesos de fundición primitivos dicen: *..."consistía en recubrir el modelo de cera con varias capas de papilla refractaria, se incluyen fórmulas como la correspondiente a Papúa Nueva Guinea; 35% de barro muy fino de color claro, 30% de cáscaras de grano muy fino, 30% de estiércol de vaca y 5% de ceniza y carbón fino..."⁵⁷*

Reid.D, documenta también una técnica primitiva de fundición que se emplea todavía en la zona de Katmandú;*..."la primera capa es una mezcla de barro fino, con partículas sólidas (algo de arena), estiércol de vaca, carbón, cáscara de arroz y agua. Se muelen bien los ingredientes... El barro aporta adherencia, la arena es el principal componente refractario, el carbón es refractario, antioxidante y ayuda al descascarillado, el estiércol es un refuerzo fibroso que evita el craquelado y aporta porosidad y la cáscara de arroz aumenta esto último. Tras esta primera capa se aplicaba otra mas gruesa con mayor porcentaje de cáscara de arroz. Y después del secado se aplicaba una tercera capa..."⁵⁸*

Estos antecedentes históricos nos indican la evolución paralela que sufre la técnica de la chamota junto con la de la cascarilla.

Sin embargo ambas modalidades se van separando gradualmente con la incorporación de nuevos materiales en sus respectivos procesos de moldeo y la forma de ejecutarlos.

La cascarilla cerámica como la conocemos hoy, fue aplicada en la industria dental en la década de los 30 y más tarde en los años 40,



Fig. 143 moldeo en cascarilla. Industria dental

en la industria aeronáutica con la que experimenta grandes avances en cuanto a materiales y procesos de elaboración.

En un principio Se utiliza en la industria norteamericana para someterla a diversas investigaciones y adaptarla a las nuevas necesidades,

después llega a Europa tras la II Guerra Mundial mostrando su autonomía, facilidad y ventajas.

Krekeler nos expone:

...“con ello puede decirse que se dio el primer paso en la aplicación del procedimiento de la cera perdida a la producción industrial...”⁵⁹

Actualmente son varias las técnicas de fundición empleadas para obtener piezas artísticas, y ésta aparece como alternativa a otros procesos, presentando sus ventajas y excelentes resultados.

Su utilización dentro de la fundición artística ha sido escasa hasta ser retomada recientemente por David Reid adaptándola a las condiciones actuales. De ahí que existan estudios y fuentes escritas de este método aplicado a modelos de cera.

Consideramos que la utilización de estos nuevos modelos, supone una primicia en nuestro trabajo de investigación. Veamos de manera pormenorizada el proceso utilizado en esta tipología de molde.

La fundición a la cáscara cerámica (ceramic shell casting) es una técnica de fundición por revestimiento (investment casting), en la que el molde es desechable o perdido.

Consta de:

→ **El modelo**: elaborado en cera.

→ **El molde** está constituido por:

a) un refractario: moloquita

b) un aglutinante: sílice coloidal, que le va a dar fluidez y consistencia necesaria para resistir el choque de presión y temperatura en el momento de la colada.

2.5.3.2 EL MOLDE DE CÁSCARILLA CERÁMICA

El molde y el modelo son los elementos esenciales en el proceso.

Las características de estos son determinantes para la elección de los métodos de trabajo, así como los materiales de los que se compone.

• Características del molde:

El molde de fundición debe cumplir:

- Propiedades específicas respecto al metal que se utiliza
- Elevadas temperaturas
- Variedad de materiales en su composición
- Tipo de metal vertido en su interior.

Para ello debe tener:

- **Naturaleza refractaria**, para permanecer estable a las elevadas temperaturas del horneado y metal fundido.
- **Agglutinante** en su composición que ligue las partículas y forme paredes firmes.
- **Porosidad**
- **Permeabilidad** que posibilite la evacuación del conjunto de gases y aire, y no se formen defectos en la pieza.

- **Compatibilidad y adherencia entre los materiales del modelo y molde.** En el caso de modelos de cera, es un material graso y los moldes generalmente acuosos, por lo que se debe aplicar una capa de goma-laca, jabón o alcohol de quemar, para que el material del modelo y molde sean compatibles y evitar que se produzcan burbujas que dañarían el aspecto final de la obra.
- **Capacidad del molde para separarse del metal tras la colada.** Es necesario recubrir la obra en cera de elementos desoxidantes, como por ejemplo grafito, para facilitar el descascarillado o desmoldeo final.

- **Componentes del molde:**

Los principales componentes del molde son:

- A) El refractario:** la moloquita
- B) El aglutinante:** sílice coloidal
- C) Otros componentes**

El refractario deriva directamente de un material tan antiguo y con tanta tradición como la cerámica (arcilla cocida); de ahí el carácter cerámico y las cualidades del molde de cáscara.

Las arcillas proceden de la descomposición de diferentes minerales silico-aluminosos de la naturaleza; feldespatos, micas, caolín...

El refractario que usamos para los baños cerámicos proviene directamente de las arcillas puras dentro de las cuales se encuentran:

- los caolines
- las arcillas refractarias

Ambos sometidos a una temperatura de 1600°C no presentan indicios de fusión, así la moloquita como refractario de la cascarilla cerámica tiene en su composición al caolín como componente principal.

Las arcillas presentan unas características principales que justifican su uso como refractarios:

- **Plasticidad:** Mediante la adición de agua, la arcilla puede adquirir la forma deseada. Así, toma la capacidad de deformarse sin agrietarse ante un esfuerzo mecánico, conservando la deformación al retirarse la carga.
- **Hidratación:** El agua produce un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.
- **Triaxotopía:** Se caracteriza por la pérdida de resistencia al amasarlo y su posterior recuperación de cohesión con el tiempo necesario.
- **Contracción:** Al secarse las moléculas de agua que las constituyen, los materiales reducen su volumen pudiéndose producir resquebrajamientos.

A) EL REFRACTARIO: la moloquita

El molde de cáscara cerámica, se compone de un refractario que es el cuerpo sólido que forma el grueso del volumen del molde.

También existen otros productos de menor importancia que complementan las acciones del refractario.

A.1 Clasificación: tipos de refractarios

- **Refractarios naturales:** se emplean tal como provienen de la naturaleza sin variaciones en su composición química y estructura física.
- **Refractarios fabricados:** generalmente parten de un mineral que es alterado con procesos físicos y químicos para mejorar sus propiedades. Entre ellos la moloquita.
- **Refractarios silíceos:** en su composición domina la sílice. Su fabricación consiste en fundir arena natural de cuarzo y solidificarlo para formar el cristal, se tritura hasta diversos tamaños de partícula y luego se tamiza para controlar la distribución del grano.

MOLOQUITA:

Es el refractario que vamos a emplear en nuestro trabajo.

Pertenece al grupo de refractarios de los silicatos de aluminio. Es un material duro, resistente y producido por la calcinación de caolines.

De entre todas sus aplicaciones destaca su importancia en la

fundición de precisión. Según la ECCI Internacional, *"más del 30% de la Moloquita de ECCI se utiliza en la industria de fundición y actualmente es aceptada en todo el mundo como el material refractario standard en la producción de moldes para microfundición"*...⁶⁰



Fig. 144. Moloquita en diferentes granulometrias

A.2 Características del refractario, la moloquita:

Resaltamos las siguientes:

- Estabilidad a altas temperaturas
- Forma y tamaño de partículas adecuados
- Compatibilidad con metales líquidos
- Compatibilidad con diversidad de aglutinantes
- Baja expansión térmica, esto es que pone resistencia al choque térmico durante el proceso de fundición.

Como arena de moldeo responde de forma adecuada presentando:

- **Permeabilidad:** porosidad de la arena que permite el escape de los gases y vapores formados por el molde en la entrada del metal
- **Resistencia:** la arena presenta un buen factor de cohesión
- **Resistencia en seco:** mantiene la forma de la cavidad del molde durante el secado.
- **Refractariedad:** resistencia a altas temperaturas sin fundirse

- **Resistencia en caliente:** estabilidad dimensional una vez que el metal se solidifica.
- **Desprendimiento:** facilidad de la arena para ser desmoldada
- **Tamaño y forma del grano,** adecuados según dimensiones de la pieza.

A.3 Granulometría:

La moloquita puede suministrarse en una amplia gama de tamices. Pese a su diversidad, las grandes empresas distribuidoras de este producto habitualmente comercializan cuatro grados:

- 1) **Moloquita -200:** llamada harina. Es la que utilizamos en la barbotina y en ocasiones para la primera capa de registro del molde.
- 2) **Moloquita 30-80:** de grano fino para las primeras capas del molde.
- 3) **Moloquita 16-30:** de grano medio para el resto de las capas.
- 4) **Moloquita 8-16:** de grano grueso, la cual se destina solo a piezas de gran tamaño, para dar más resistencia el molde.

Este refractario va a hacer la función de estuco en el moldeo a la cascarilla cerámica.

B) EL AGLUTINANTE: la sílice coloidal

Es el material ligante que confiere cohesión y plasticidad a la mezcla y hace posible la unión de los granos de los materiales refractarios. Este hecho es imprescindible para conformar el molde y que éste mantenga su forma durante la cocción y colada.

B.1) Tipos de aglutinantes de sílice:

- **Agglutinantes de barro y agua:** son de bajo costo y se aplican generalmente en moldes de arena en verde. Las arcillas empleadas como ligantes “*en verde*”, son las bentonitas, debido a su plasticidad y consistencia.

- **Aglutinantes de silicato sódico:** este se emplea en moldes de gran tamaño que precisan dureza. Pueden ser hasta en un 60% reciclables.

- **Etil - silicato:** es un aglutinante compuesto de sílice y se presenta como una solución alcohólica. Puede ser una alternativa a la sílice coloidal, ya que reduce los tiempos de secado, al ser un alcohol la vaporización es mas rápida. Pero en su defecto, hace que el molde sea mucho más débil, propiciando que se craquele durante su cocción.



Fig. 145 Sílice coloidal

SÍLICE COLOIDAL: ligante, inodoro, e insípido. Su composición es de 30% en sílice y 70% en agua. Junto con el refractario, la moloquita, es el más adecuado en este trabajo de investigación.

Prosider hace referencia en su ficha técnica:

...” El Hispasil 1731 es una diaporación acuosa de partículas finas de sílice coloidal con buenas características de refractariedad y muy bajo coeficiente de dilatación térmica. Se utiliza como aglomerante en la preparación de papillas para revestir modelos de fundición de precisión a la cera perdida...”.⁶¹

Marcos.C⁶² también afirma la comercialización de este producto por la empresa española Hispano Química en dos modalidades: Hispasil 1730 e Hispasil 1740, con diferencias en el tamaño de partícula.

La misma autora explica como el sílice coloidal empieza a deformarse a 1400°C, así este alto punto de fusión le da excelentes propiedades refractarias.

Tiene multitud de aplicaciones que destacamos en la siguiente tabla:

PRINCIPALES APLICACIONES DE LA SILICE		
ACTIVIDAD	USO	APLICACIONES
Fundición por el proceso de "cera perdida"	Aglomerante Inorgánico	Aglomerante en la preparación de moldes de cerámica para fundición de precisión.
Empaque	Agente antideslizante	Friccionante para cajas de cartón corrugado.
Aislamientos	Aglomerantes	Aglomerante inorgánico de fibras inorgánicas o polvos refractarios.
Catálisis	Aglomerante o soporte	Aglomerante o soporte de materiales catalíticos.
Elastómeros	Agente de refuerzo	Provoca resistencia a la compresión de las espumas de hule, provee de resistencia a la abrasión a las películas de elastómero.
Textiles	Acabados, mejoramiento de las propiedades de los hilos y telas.	Fuerza en las costuras, estabilización de la trama, aumento de la resistencia a la tracción.
Cerámica	Aglomerante	Empleado en cementos y morteros para altas temperaturas, junto con arenas refractarias y fibras inorgánicas.
Industria del acero	Aglomerante o recubrimiento	Aglomerante en la formulación de pinturas para lingoteras y moldes

Fig. 146 Aplicaciones de la sílice

B.2 Características que aporta la sílice coloidal al molde:

El aglutinante debe ser compatible con el refractario y complementarlo en características propias, por ello debe tener:

- **Elevada porosidad** para evacuar gases del metal en el momento de la colada.
- **Mayor índice de refractariedad** que otros aglutinantes. La sílice coloidal empieza a deformarse a 1400°C. Su alto punto de fusión hace que paradójicamente pensemos que este material sea un problema para conseguir el estado cerámico de nuestras cascarillas, ya que se debería alcanzar esa temperatura de fusión. Sin embargo este problema se soluciona por la pequeña cantidad de sodio que presenta la sílice. El sodio actúa de fundente, bajando la temperatura de fusión de la sílice coloidal.

- **Imprime dureza al refractario:** todas las arcillas son por naturaleza plásticas, pero la dureza del molde de cáscara se justifica por las sustancias coloidales que contiene.

C) **OTROS COMPONENTES DEL MOLDE:**

Grafito: Se encuentra dentro del grupo de los refractarios sólidos.

Las características mas importantes que aporta al molde de cascarilla son:

- Refractariedad
- Capacidad desoxidante al contacto del metal con el molde
- Reblandece la cáscara lo que facilita el descascarillado y lo hace recomendable para utilizar en las primeras capas sobre todo de piezas que exijan gran calidad superficial y su sección sea compleja o con espacios de difícil acceso. Su porcentaje recomendado es de un 50% respecto a la moloquita.



Fig. 147 Grafito

Talco: Se aplica también con la función de facilitar el descascarillado, pero no es desoxidante. Se suele utilizar en las primeras capas, dada su finura que lo hace apropiado para buena capacidad de registro superficial.

2.5.3.3 Fases que constituyen el método de fundición a la cascarilla cerámica:

La fundición a la cascarilla cerámica consta de:

- 1) Elaboración del modelo** en cera
- 2) Preparación de los sistemas de alimentación:**

- a) Bebedero principal
- b) Bebederos secundarios

Debido a la buena permeabilidad y porosidad del molde no es necesaria la colocación de salidas de gases o respiraderos.

- 3) Compatibilizar la cera con el material del molde:**

La cera es un material graso y los materiales del molde acuosos. Debemos dar a la cera una capa de goma laca para conseguir una buena adherencia al molde.

- 4) Moldeo de la cera**, que consta de:

- a) Sumergir la pieza en una barbotina cerámica compuesta por el refractario, la moloquita, y el aglutinante, la sílice coloidal.



Fig. 148 Modelo en cera



Fig. 149 Moldeo en cáscara

- b) Estucar la barbotina, con moloquita de grano fino (harina), que irá aumentando en granulometría, en sucesivas capas. Este sucesivo estucado va a determinar el grosor y resistencias definitivos del molde.

Describimos la **función de los estucos**:

- Microcraquelado: el grano evita grietas de contracción que se producirían en el caso de usar sólo la barbotina.
- Secado: el agua del molde desaparece por capilaridad, subiendo por cada grano, además estos absorben parte del fluido de la barbotina, aumentando su viscosidad.
- Llaves: los granos cierran espacios, quedando sólo aquella cavidad responsable de la porosidad del molde.
- Grosor: se consigue un molde resistente de forma rápida.

c) Respetar los tiempos de secado (4 a 7 horas) entre capas.

Existe una clasificación de los **modos de secado** en los moldes de cascarilla:

c.1) Desección por el calor de los **hornos**

c.2) Secaderos: son espacios provistos de estanterías con canalizaciones de aire caliente.

c.3) Ventilación: de la zona de almacenamiento y evitar el exceso de humedad en el ambiente.

Los tiempos de secado vienen determinados por la morfología de las piezas, no obstante diferenciar:

- **Secado de la primera capa**: esta en contacto con el metal y copiará la superficie del modelo, por tanto se le dará mayor tiempo de secado.
- **Secado entre las capas** será de un mínimo de 4 horas.
- **Secado de la última capa**: tras su aplicación el siguiente paso es el horneado del molde, por tanto es aconsejable que el tiempo de secado entre esta última capa y el horneado sea de 24 h, debido al brusco cambio de temperatura que experimentará el molde.

Los factores que afectan al secado se resumen en los siguientes:

- Húmedad ambiental: debe de permanecer estable. Una cáscara con humedad favorece la rotura cuando entre en contacto con una fuente de calor.
- Tamaño de la pieza: si la superficie es mayor el número de capas se incrementará.
- Diseño de la pieza: las formas intrincadas presentan mayor dificultad en el secado que las simples o planas.

Existen otra serie de peculiaridades con modelos de cera que hay que tener en cuenta. Su secado experimenta dilataciones y contracciones, que producen micro-fisuras en las capas de cascarilla durante el proceso.

Reid. D dice:

...“si el secado es demasiado rápido, el efecto de enfriamiento causa la contracción del modelo mientras la capa está aún húmeda y sin ligar. Luego, mientras la capa está desarrollando fuerza e incluso encogiéndose de alguna manera, la cera comienza a expandirse al tiempo que la tasa de secado declina y gana temperatura. Esto puede romper la cáscara...”⁶³

5) Repetir estos pasos de baño cerámico y estucado hasta conseguir con capas, un espesor adecuado y resistencia mecánica suficiente.

6) Despejar la entrada del bebedero principal, cubierta por las sucesivas capas del molde.

7) Cocción del molde:

Se introducen los moldes en una campana de descere (horno), descubierta en su parte inferior, como se muestra en la figura nº150, y se aplica una llama directa.



Fig. 150 Campana de cocción

Durante este tiempo se produce:

- La eliminación de la cera, sin dejar residuos, liberando el hueco que ocupará el metal fundido.
- La transformación al estado cerámico de los materiales del molde, haciéndolo resistente a la colada.

8) Preparación del molde para la colada: el molde caliente tras su cocción, se coloca sobre un lecho de arena dejando al descubierto el bebedero de colada.

9) Vertido del metal: Es directo por gravedad, de forma gradual en el interior del molde. En esta tipología de molde es necesario realizar el vertido con el **molde en caliente**.

10) Solidificación es la fase de enfriamiento del metal. Este pasa de estado líquido a sólido hasta llegar a la temperatura ambiente. El molde debe permanecer en reposo.

11) Desmoldeo y limpieza final de la pieza, se extrae la misma del interior del molde.



Fig. 151 *Desmoldeo de una pieza fundida.*

Exponemos un cuadro a modo de síntesis, con los pasos más importantes del proceso.

FUNDICIÓN A LA CERA PERDIDA, TÉCNICA DE CASCARILLA:

<p>1) CREACIÓN DE MODELO EN CERA</p> <ul style="list-style-type: none"> - COMPOSICIÓN. - SISTEMA DE COLADA 	<p>2) PREPARADO DE LA BARBOTINA</p> <p>COMPOSICIÓN: AGLUTINANTE(SÍLICE COLOIDAL)</p> <p>REFRACTARIO (MOLOQUITA)</p>	<p>3) PREPARADO DE LAS GRANULOMETRÍAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - FUNCIÓN - MANIPULACIÓN
<p>4) QUEMADO DE LA CERA.</p> <ul style="list-style-type: none"> - CHOQUE TÉRMICO - TEMPERATURA - MANIPULACIÓN - SEGURIDAD 	<p>5) BAÑO CERÁMICO</p> <p>ATENCIÓN A VISCOSIDAD</p>	<p>6) ESTUCADO</p> <ul style="list-style-type: none"> - GROSOR - GRANULOMETRÍAS
<p>7) OBTENCIÓN DEL MOLDE DE CASCARILLA.</p> <div style="text-align: right; margin-right: 100px;"> <p>COCCIÓN</p> <p>COLADA</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> - TEMPERATURA - MANIPULACIÓN - DISEÑO RECORRIDO 		

Fig. 152 Cuadro resumen; moldeo en cascarilla cerámica

3. RECIENTES INVESTIGACIONES EN EL MOLDEO CON CASCARILLA CERÁMICA:

Por su evidente interés, haremos referencia a diversos trabajos de investigación llevados a cabo en torno a esta técnica y que están íntimamente relacionados con nuestra propuesta.

- **Reid, D.:** químico metalúrgico, aplicó sus conocimientos de física, química y matemáticas en sus investigaciones de tipos de moldes. Sus recientes incursiones en el molde de cascarilla cerámica nos llevan a su patente; “Técnica Reid” que consiste como él mismo explica en:

...” un dispositivo conteniendo el equipamiento y materiales necesarios (incluyendo el horno de fibra cerámica especial) para permitir a un artesano hacer pequeñas fundiciones (hasta 800gr) en bronce, plata, oro... El método está basado en un sistema de cera perdida a la cascarilla cerámica que ha sido disminuido en tamaño y simplificado para permitir la fundición de metales de alta precisión que tengan un punto de fusión de hasta 1200°C..”⁶⁴

Se trata pues, de una variante adaptada de la cascarilla, en la que, como vemos en las siguientes imágenes, el crisol de fusión del metal es adherido a la pieza y simplemente se voltea para llenar el molde.

En el siguiente gráfico se muestra el procedimiento:

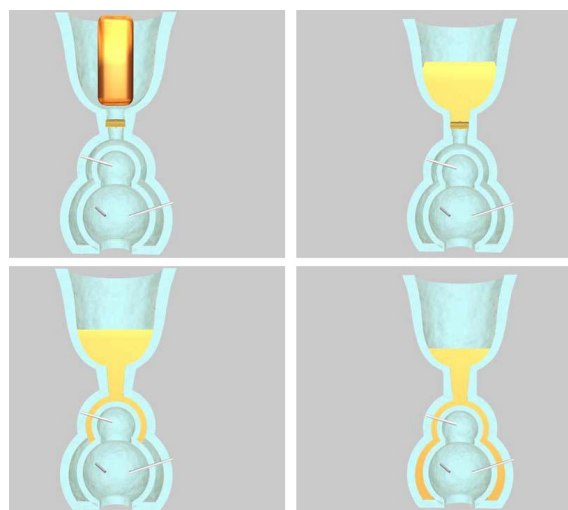


Fig. 153 Gráficos
Técnica Reid

Sus ensayos prácticos:



Fig. 154



Fig. 155



Fig. 156

*Imágenes técnica crisol fusible.
David Reid*

- **Albadalejo, J.A:** aplica las investigaciones realizadas por David Reid, y difunde la técnica de la cascarilla cerámica, microfusión y crisol fusible, con modelos de cera.

Las siguientes imágenes explican el proceso:



Modelo de cera: 1^{er} baño cerámico



Estucado con moloquita en grano



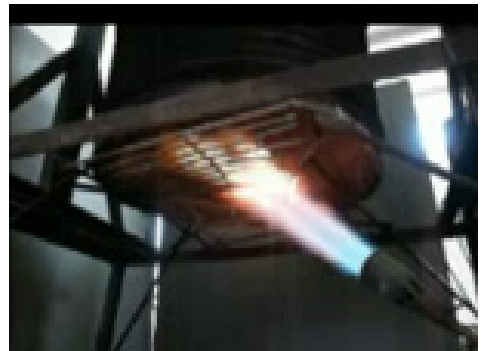
Estucado con moloquita



Baño cerámico del bebedero



Ventilación del molde



Horneo de los moldes de cascarilla



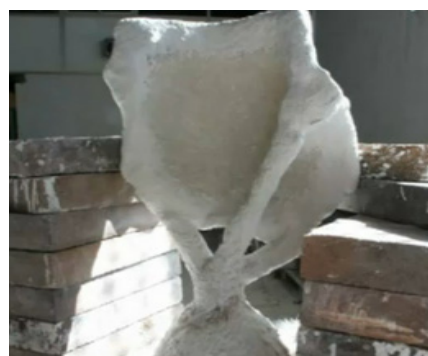
Tras el horneo el molde es cerámico



Retoque del molde con fibra de vidrio



Horneo de la parte retocada



Adhesión del bebedero al molde



Preparación del molde para horneo



Baños cerámicos del conjunto y estucado



Baños cerámicos del conjunto y estucado



Baños cerámicos del conjunto y estucado



Desmoldeo de la pieza

Figuras de la 157 a 171

• **Varela P.G, Cotella N.G, Gonzalez Oliver C.J.R, Khol R.G**

Realizan diversos estudios de investigación con moldes de precisión en el campo de la fundición.

En 1999 plantean un estudio; *“Moldes para fundición a la cera perdida; liga química y secado”*⁶⁵ en el que presentan al silicato de sodio como aglutinante alternativo a los tradicionales (sílice coloidal).

Esta técnica recientemente desarrollada consiste en revestir un modelo de cera con sucesivas capas empleando en cada una de ellas un aglutinante y un refractario de distinta granulometría. Las capas aglutinadas con silicato de sodio se gelifican en una atmósfera de dióxido de carbono haciendo circular el gas entre el molde y después es secado, descerado y por último calcinado. Con este estudio determinaron la presión exacta de dióxido de carbono necesaria para la resistencia mecánica del molde, y el tiempo de permanencia de la misma.

En el año 2000, publican un estudio denominado: “Caracterización de moldes cerámicos aglomerados con silicato de sodio para distintos espesores de cáscaras”⁶⁶. Los autores realizan prácticas experimentales midiendo la permeabilidad y resistencia mecánica del molde en función del número de capas.

*...“Duplicar el número de capas implica reducir la permeabilidad, e incrementar ligeramente la resistencia mecánica de las cáscaras sin calcinar y calcinadas. El incremento de la resistencia mecánica de los moldes implica la posibilidad de soportar mayor presión metalostática, pero a la vez aumenta los costos de producción, fundamentalmente en lo referido al crecimiento de los tiempos de moldeo y secado...”*⁶⁷

En 2002 en Conamet Sam-Simposio, realizan un estudio; “Rol del aglomerante de sílice en fundición de precisión”⁶⁸ acerca de los fallos producidos en la estructura interna de moldes aglutinados con silicato de sodio, mediante microscopio electrónico de barrido. Aseguran que el aglutinante más utilizado para moldes de precisión es sílice coloidal o silicato de etilo, pero este procedimiento de elaboración de moldes cerámicos para microfusión aglomerados con silicato de sodio lo presentan como una técnica reciente. La presencia de impurezas en el aglutinante determina notablemente la resistencia mecánica del

molde y además los autores de la investigación finalmente concluyen que:

...” Los resultados mostraron que los moldes presentan una gran porosidad interconectada, una red no predecible de aglomerante y partículas sólidas, y además cuellos de sinterización en las partículas refractarias de relleno, y en las partículas que conforman el barro secundario. Además, una cierta influencia de la gelificación sobre la cristalinidad del aglomerante. Se mostró que la respuesta estructural del molde depende de la red de puentes de sílice del aglomerante, que para el caso particular de los moldes aglomerados con silicato de sodio aquí estudiados, tiene una estructura de fase que depende fuertemente de la forma de realizar la gelificación.” (Se adjuntan los gráficos de estudio 1 y 2)⁶⁹

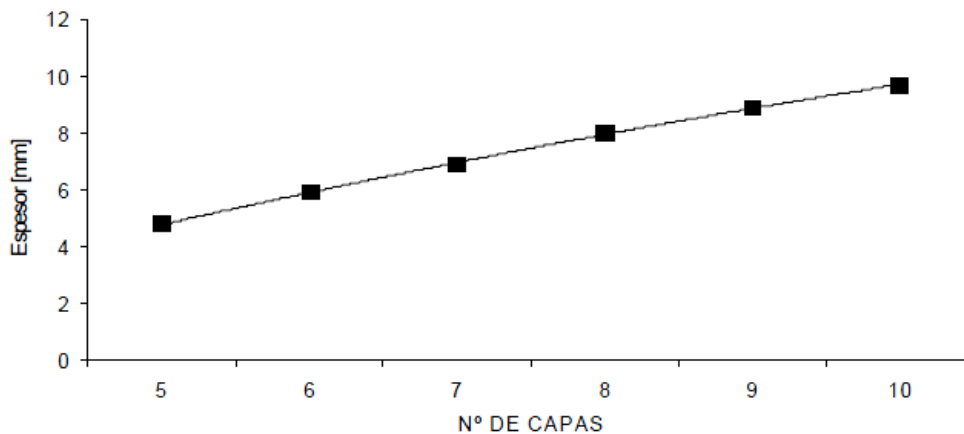


Gráfico 1. Variación del espesor del molde con el número de capas.

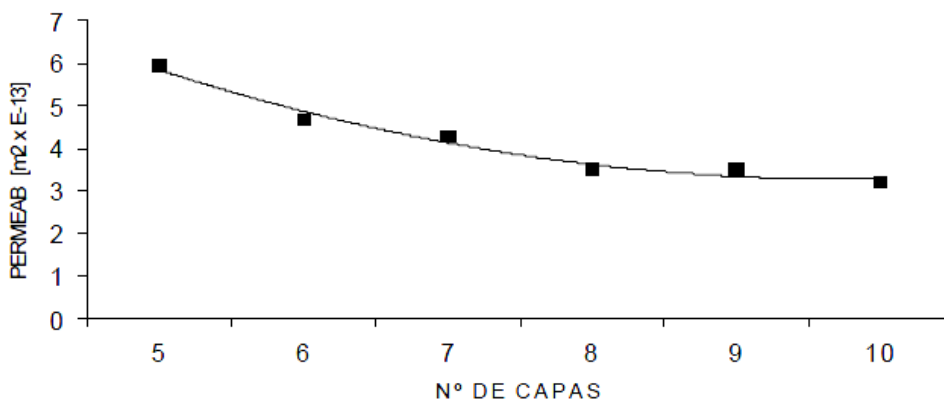


Gráfico 2. Variación de la permeabilidad con el número de capas

• **Sorroche Cruz, A.**: En 1997 realiza su trabajo sobre, “Nuevas Técnicas y nuevos materiales en la fundición escultórica actual”⁷⁰ en la que presenta al Poliestireno Expandido como modelo de fundición alternativo a la tradicional cera.

Este material termoplástico es sometido a diferentes métodos de moldeo tradicionales y nuevos propuestos por el autor, que determinan las múltiples ventajas de la fundición con molde lleno, gracias a la gasificación instantánea del modelo en contacto con el metal fundido. Sus procedimientos han sido descritos en anteriores puntos.

En las imágenes se puede ver el resultado de una pieza fundida por uno de los nuevos métodos que presenta: método de moldeo químico.

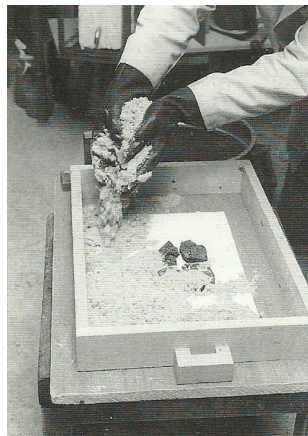


Fig. 172



Fig. 173

Estas técnicas han sido aplicadas por el mismo autor en: “Técnicas de vidrio en horno”⁷¹, donde se utiliza el Poliestireno Expandido como modelo gasificable en pasta de vidrio.

• **Marcos Martínez, C.**: realiza un estudio pormenorizado del método de la cascarilla cerámica con modelos de cera, desde el campo de la fundición artística.

Analiza detalladamente las características y particularidades del modelo y molde para obtener resultados positivos en la fundición por este método.

• **Torres Sanabria, P. y Lozano López, L.F:** presentan un estudio sobre; “Permeabilidad y resistencia mecánica de cáscaras cerámicas empleadas en el proceso de microfusión”⁷², publicado en la revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG (La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica (FIGMMG) de La Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Perú).

Para ello hacen uso de maquinaria especializada para medir la permeabilidad y resistencia mecánica de los moldes. (Véase las imágenes).

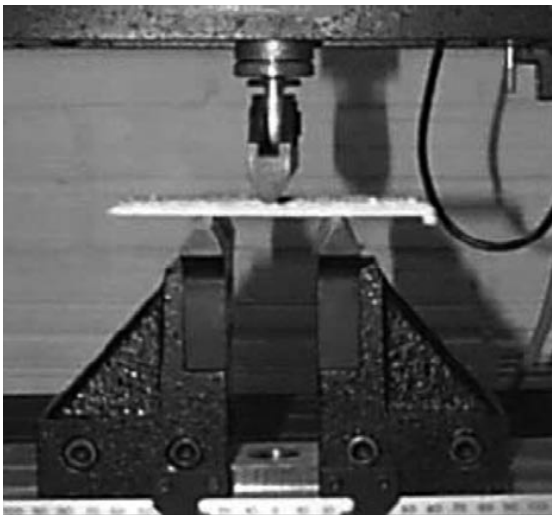


Fig. 174 Máquina universal de ensayos para obtener el MOR



Fig. 175 Permeámetro digital para pruebas de cáscaras cerámicas

Concluyen que la permeabilidad de la cáscara presenta un comportamiento inversamente proporcional al espesor; al aumentar el número de capas aplicadas el espesor se hace mayor, mientras que la permeabilidad disminuye.

En cuanto a la resistencia mecánica, los datos obtenidos en las prácticas experimentales son muy similares en base a los tiempos de secado seleccionados 41 y 64 horas respectivamente, esta no varía y no tiene mayor influencia en la permeabilidad del molde.

3.1 Ejemplos de cascarilla cerámica en fundición artística:

Esta técnica es utilizada en el ámbito de la enseñanza artística y en talleres escultóricos:

Harvey, H.:⁷³

Hace un análisis pormenorizado de la técnica de la cascarilla con modelos de cera.

Los bronce de Harvey son modelados primero en arcilla, a la cual se le realiza un molde para obtener una reproducción en cera.

Seguidamente realiza el moldeo y fundición por el método de la cascarilla ya descrito.



1. Modelo en cera



2. Modelo cubierto con cáscara



3. Molde dentro del horno para derretir la cera



4. Vertido del bronce en el lugar que ocupaba la cera.

Fig 177

Capítulo III



Objeto de estudio:

Nuevos modelos gasificables aplicados
a la técnica de la cascarilla cerámica:
Uso de pinturas refractarias

OBJETO DE ESTUDIO:**NUEVOS MODELOS GASIFICABLES APLICADOS A LA TÉCNICA DE LA CASCARILLA CERÁMICA: USO DE PINTURAS REFRACTARIAS****1. INTRODUCCIÓN:**

Nuestro trabajo se sustenta en un proceso innovador desde una doble vertiente:

- a) La simplificación de los procesos
- b) La investigación de nuevas parcelas expresivas por la incorporación de materiales nuevos.

Por ello planteamos una serie de objetivos en torno a los elementos esenciales de que consta todo proceso de fundición de metales:

- Modelo
- Molde
- Separadores o desmoldeantes

1.1 EL MODELO:

Esta investigación aporta al campo del conocimiento: la realización de obras escultóricas con nuevos modelos gasificables, utilizando la técnica de la cascarilla. Anteriormente vimos cómo el poliestireno expandido, es utilizado en la fundición escultórica actual con moldeo en verde y químico con excelentes resultados. Ahora recuperamos este material junto a otros dos provenientes de los plásticos, para ser moldeados por una técnica de precisión como es la cascarilla.

Los materiales que proponemos como modelos de fundición son:

- Poliestireno Expandido (EPS) y Poliestireno Extruído (XPS)
- Etil-Vinil Acetato (EVA o Goma Eva)
- Espuma rígida de poliuretano (Espuma Floral)

Con ello pretendemos:

- **Incorporar al ámbito escultórico nuevos materiales debido al desarrollo de la tecnología industrial.**
- **Ampliar el uso de modelos gasificables.**
- **Presentar la cascarilla como una alternativa de moldeo viable con dichos modelos gasificables, con mayor facilidad de manipulación, mejores resultados en calidad superficial, así como la posibilidad de realizar piezas de mayor complejidad que en moldeo verde o químico.**
- **Aportar nuevos procesos en la fundición escultórica que desde sus inicios habían quedado anclados casi exclusivamente en la técnica de la cera perdida.**

Con el uso de estos nuevos materiales en la fundición aportamos:

- **Ventajas en el proceso de moldeo, principalmente por sus cualidades de ligereza tanto de los modelos como de los moldes.**
- **Mejora de los métodos de trabajo ampliando el conocimiento en el ámbito artístico.**
- **La ampliación de parcelas expresivas, consecuencia las peculiaridades propias de cada material presentado como modelo de fundición.**

1.2 EL MOLDE:

El método de moldeo que hemos utilizado en nuestra investigación es la cascarilla cerámica.

Si lo comparamos con otros sistemas de moldeo, utilizado con modelos gasificables presenta las siguientes ventajas:

- Excelente capacidad de registro
- Facilidad para reproducir formas complejas
- Manejabilidad y poco peso de los moldes
- Compatibilidad con los nuevos materiales propuestos

Ello, junto a los buenos resultados obtenidos en las pruebas de estado que hemos realizado, justifica su incorporación a este trabajo, como una alternativa a los procesos de fundición que se aplican actualmente.

1.3 PINTURAS REFRACTARIAS O SEPARADORES:

El uso de pinturas refractarias aplicadas a los modelos, supone una importante novedad en este trabajo:

Permite:

- a) Aumentar el registro superficial del modelo
- b) Facilitar la permeabilidad para la salida de gases
- c) Resuelve un importante problema existente con modelos de cera, la facilidad de descascarillado
- d) La inmediatez conseguida para la eliminación del modelo del interior del molde

1.4. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE NUESTRA INVESTIGACIÓN:

- a) Creación del modelo en:
 - Poliestireno Expandido y Extruído
 - Etil Vinil Acetato; Eva o Goma eva
 - Espuma rígida de Poliuretano (Espuma Floral)
- b) Aplicación de pinturas refractarias en los tres modelos propuestos.
- c) Utilización del molde en cascarilla
- d) Obtener la obra en metal fundido.

La combinación de los modelos que proponemos para fundición, el molde de cáscara cerámica y las pinturas refractarias lo presentamos como una adaptación del proceso metalúrgico al desarrollo y necesidades actuales de la escultura, como se ha indicado anteriormente.

2. TÉCNICA DE LA CASCARILLA CERÁMICA CON MODELOS GASIFICABLES:

Trataremos de justificar las ventajas que aporta este tipo de moldeo aplicado a los modelos gasificables que presentamos en el trabajo.

El proceso consta de las siguientes fases:

2.1 REALIZACIÓN DEL MODELO:

Proponemos un tema de trabajo centrado en la geometría cuya base es: la línea. Planos que describen líneas rectas, curvas, espirales..., juegos de líneas en contornos y masas que interactúan con el espacio que rodea al modelo.

La utilización del Poliestireno expandido (EPS), Extruído (XPS), el Etil Vinil Acetato (Eva) y la Espuma rígida de Poliuretano (PUR) en su modalidad de espuma floral, posibilita una variedad de texturas superficiales que contrastan con la combinación entre ellos y con la integración que realizamos de otros metales como: hilo de cobre, chapa de latón, hierro...

- **Poliestireno** en su variedad de Expandido y Extruído, que varía desde el color azulado y superficie lisa al conocido porexpan con textura de bolitas y color blanco.
- **EVA** o **Goma Eva** se emplea con un grosor de 5mm aprox. La textura de este material es lisa y suave, aunque nos va a interesar por su flexibilidad y la posibilidad de crear curvas y planos intrincados con facilidad.
- **Espuma rígida de Poliuretano (floral)** es un bloque rígido de poliuretano, de color verdoso y poca densidad que nos va a permitir obtener texturas de micro-poros y mayor facilidad de corte.

2.1.a) - **MODELOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO:**

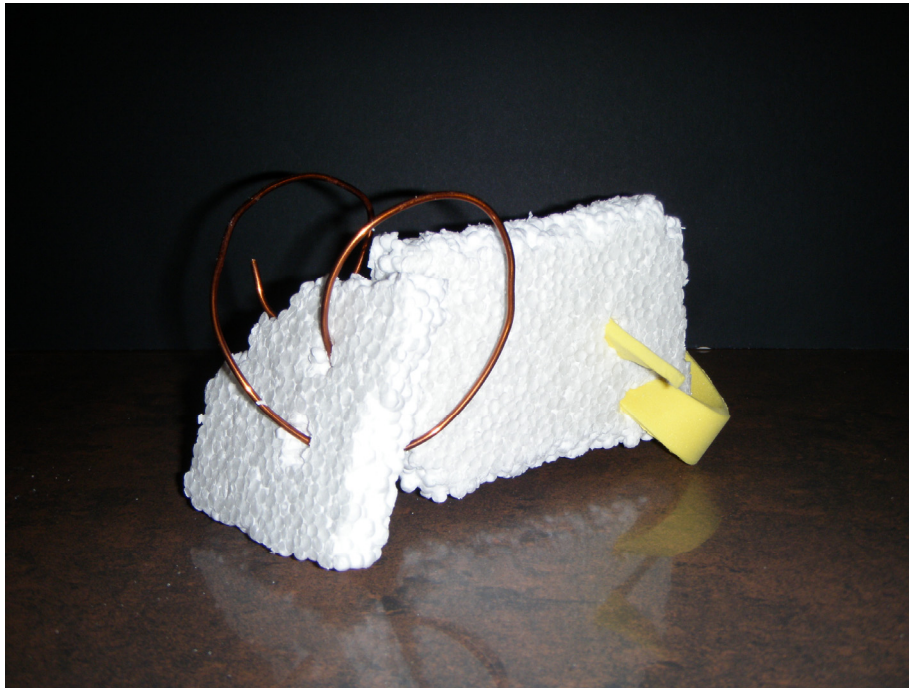


Fig. 178
Modelo de EPS

Se han realizado piezas con dos modalidades de poliestireno de distinta densidad, que afectan directamente a la textura superficial del material:

- **Poliestireno Expandido o Porexpan** (corcho blanco) de menor densidad, interesa por su textura rugosa y fácil adherencia con el empleo de pintura refractaria que proponemos como separador aplicado al modelo.

- **Poliestireno extruido o extrusionado**: de color azulado o amarillo claro, de mayor densidad permite obtener una textura más homogénea.

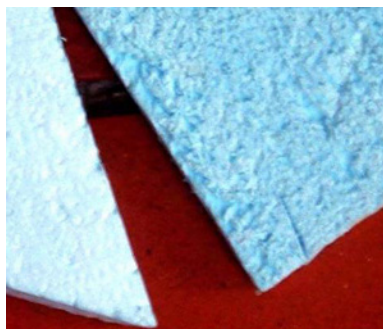


Fig. 179 *Variedades de Poliestireno empleado*

- La técnica de obtención de los modelos ha sido:
 - Manual: cútex, cuchillos, herramientas calentadas...
 - Mecánica con cortador térmico de mano.
 - De unión mediante adhesivos y sujeción mecánica (alfileres)
- El adhesivo utilizado se menciona detalladamente en el primer capítulo.

2.1.b) - **MODELOS DE GOMA EVA:**



Fig. 180
*Modelo en
Goma Eva*

Partimos de un formato industrial, en plancha con un grosor de 5mm. Este material permite dar expresividad a las piezas que pretendemos realizar por su tolerancia dimensional y su flexibilidad. Comparado con los otros dos modelos de fundición era importante comprobar la estabilidad del material en dos momentos claves del proceso:

- En el modelado de la pieza; buen comportamiento, ofreciendo resistencia a la rotura, deformación y correcta adhesión respecto a otros materiales utilizados.

- Durante el moldeo; Es un material flexible al peso de la barbotina y tiende a inestabilizar la pieza en la primera capa del moldeo.

- El sistema de modelado utilizado:
 - Manual: uso de cútex y tijeras
 - De unión: uso de adhesivos.
- El adhesivo utilizado para la confección de los modelos ha sido:
De contacto en sus distintas variedades.
Para la instalación de bebederos, se ha utilizado poliestireno expandido con EVA, siguiendo el método siguiente:
 - 1) Calentando los dos materiales, teniendo en cuenta que el EPS gasifica más rápidamente.
 - 2) Uso de cera fundida como adhesivo entre los dos materiales.
 - 3) Finalmente se decidió **Ceys porex** para Poliestireno, como método compatible y estable con los dos materiales.

2.1.c) - **MODELOS DE ESPUMA FLORAL:**



Fig. 181
*Modelo de
espuma floral*

Este material espumado presenta grandes ventajas como modelo en nuestro trabajo por su facilidad de corte y lijado.

Sin embargo requiere precaución en su manipulación porque presenta baja resistencia al choque, lo que puede producir deformaciones en la superficie de la pieza.

Lo utilizamos como modelo de fundición combinado con Eva y Poliéstireno en sus distintas variedades, mostrando una adecuada compatibilidad entre ellos.

- El sistema de obtención del modelo utilizado:
 - Manual: uso de cútex, cuchillos y lijas.
 - De unión: con adhesivos y sujeción mecánica (alfileres)
- La compatibilidad de este material con adhesivos es menor. Se experimentó con una amplia variedad de ellos: adhesivos de contacto, colas..., con resultado poco satisfactorio. Finalmente se utilizó Ceys Porex para Poliéstireno, que resultó ser compatible para los tres modelos de fundición propuestos.

2.2 FACTORES DEL DISEÑO QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO:

Las obras que presentamos nos han requerido cuidar aspectos determinantes en los resultados de la pieza final.

a) Tamaño:

Las tensiones del molde se multiplican proporcionalmente al aumento del tamaño de la pieza, por ello las obras que realizamos son de tamaño medio.

En el caso de modelos de Goma Eva, como consecuencia de la flexibilidad del material, la inestabilidad del modelo se incrementa con el excesivo aumento de tamaño, además del peso que la barbotina ejerce durante del moldeo.

La aparente inestabilidad de este material se resuelve en el secado de la primera capa, que permite a la Goma Eva mayor rigidez.

b) Forma:

Los modelos van desde la simplicidad de figuras planas a obras de formas intrincadas que prueban las posibilidades y limitaciones de los materiales tanto de los modelos como del molde.

Así en nuestra investigación presentamos varios tipos de obras:

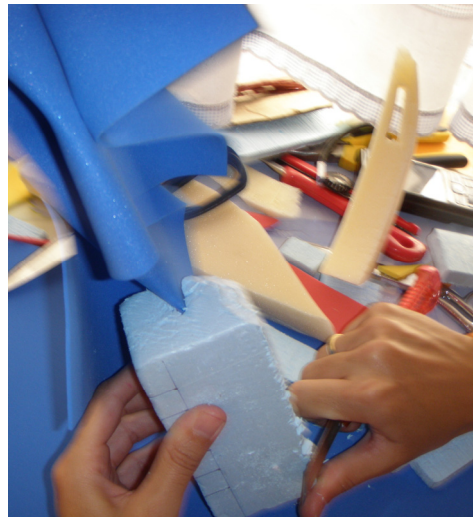


Fig. 182 *Elaboración de un modelo*



Fig. 183 *Modelo en Goma Eva*

- Formas con huecos y líneas onduladas con diferentes tolerancias dimensionales en una misma pieza, buscando la complejidad, cuyo objetivo era comprobar la precisión de la cascarilla en los siguientes aspectos:

- * Tolerancias estrechas
- * Estabilidad durante el proceso de moldeo.
- * Secado óptimo en zonas intrincadas

- Formas planas con líneas rectas. El espesor de la superficie de las obras es constante. Son aparentemente simples, pero pueden presentar problemas por su forma, como la facilidad de deformación por contracción del metal al enfriarse, o el empuje hacia la cara superior que ejerce la presión.

Es importante prestar atención en estas formas planas, a la fijación de las capas de la cascarilla en sus bordes, que tienden a ser partes más debilitadas durante el moldeo.

- Tridimensionales: son piezas con líneas curvas que se interrelacionan con el espacio. Estas piezas no necesitan núcleo, pero sí merece una especial atención en la colocación de bebederos y conductos secundarios para el llenado completo de las mismas por sus estrechas tolerancias dimensionales.

- Huecas: realizamos una obra para comprobar el secado de la cascarilla en las partes cóncavas de la misma.

Por otro lado, la complejidad de algunas piezas tridimensionales hace que haya zonas de difícil acceso y secado, en condiciones similares a obras de núcleo cerrado o semicerrado con necesidad de macho.



Fig. 184 *Obra hueca con interacción de materiales.*

Es necesario prestar atención a estas zonas con menos aireado, porque la cascarilla presenta algunas dificultades respecto a otras técnicas con piezas de estas características.

Esto obliga a aplicar ventilación directa en las zonas de difícil acceso o crear un núcleo de otro material refractario como arena endurecida.

Biringuccio dice:

...“para realizar espacios vacíos sería necesario con una masa de barro enganchada dentro del molde, hacer la abertura necesaria. Esto debe arreglarse de modo tal que se sitúa y permanece en el molde una vez puesto y el espacio entre él y el molde exterior deberían ser exactamente el grosor del bronce que tú desees que tenga tu trabajo, esto es llamado macho y a veces alma...”⁷⁴

c) Sección: los modelos con un grosor irregular ocasionalmente pueden presentar problemas de tensión en el molde de cascarilla. No obstante en nuestro trabajo de investigación comprobamos las limitaciones de la cascarilla con algunas piezas con evidentes diferencias de tolerancia dimensional.

c.1) Características de los materiales investigados:

- Poliestireno EPS/EXPS y Espuma rígida de Poliuretano (espuma floral): son materiales con alta resistencia al impacto y al choque. No obstante, las secciones delgadas deben moldearse con precaución por el peso que la barbotina ejerce sobre ellas.

Referido a la espuma rígida de poliuretano, hemos utilizado un material de baja densidad (espuma floral), lo que presenta mayor dificultad en su manipulación.



Fig. 185 Moldeo de modelo en EVA

- Goma Eva: es un material delgado y flexible pero con alta resistencia durante la manipulación. Las secciones aisladas presentan una aparente inestabilidad durante el moldeo que se ha tenido en cuenta al:

- * Sumergir el modelo por partes
- * Verter pequeñas cantidades de barbotina sobre las zonas aisladas o más delgadas, las cuales se verán reforzadas a medida que el número de capas y estucado aumenta.

d) Textura: los nuevos materiales propuestos como modelos de fundición ofrecen una amplia variedad de texturas:

- Por la estructura interna del propio material
- Provocadas con herramientas de corte manual o mecánica que hace que el aspecto sea liso, rugoso o poroso en otros casos.

2.3 SISTEMA DE COLADA DEL MODELO:

La cascarilla es una técnica de colada directa, por gravedad con el molde en caliente. Una adecuada distribución de los conductos garantiza la obtención de la obra en perfecto estado.

a) Bebedero principal:

Permite la entrada del metal fundido al interior del molde.

En nuestro caso diseñamos un bebedero ancho y corto, de poliestireno extruído en unos casos y de espuma floral en otros, ambos con buenos resultados.

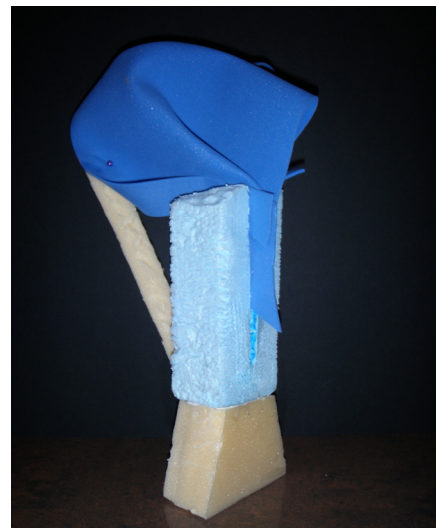


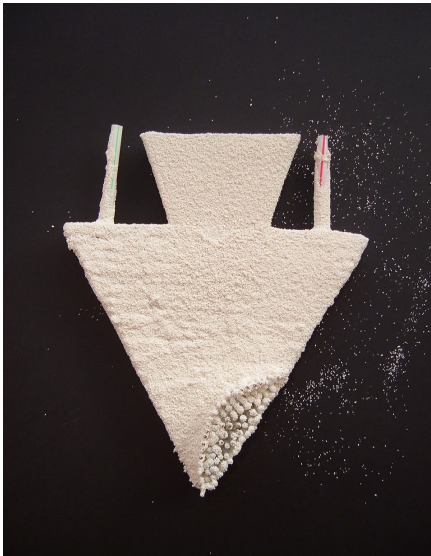
Fig 186 Elaboración del bebedero principal y bebederos secundarios

b) Los bebederos secundarios:

Distribuyen el metal fundido a zonas aisladas o secciones delgadas de la pieza y de difícil el acceso.

Estos se han elaborado como en el caso anterior, de poliestireno extruído o espuma rígida de poliuretano (espuma floral).

c) Respiraderos: son conductos de salida de aire y gases del interior del molde, que colocamos en la parte alta de la pieza.



Es importante señalar que los respiraderos pueden suprimirse en piezas de poca complejidad dada la permeabilidad de la cascarilla, el sistema de moldeo que utilizamos. Sin embargo ha sido necesario el uso de ellos en piezas de estrecha tolerancia dimensional como en el caso de los modelos de EVA.

Fig. 187 *Respiraderos en el molde de cascarilla*

2.4 APLICACIÓN DE PINTURAS REFRACTARIAS O SEPARADORES:

La oportunidad de realizar pruebas de estado con estas pinturas, nos permitió comprobar las enormes ventajas que aporta en nuestro trabajo el uso de éstas.

Pretendemos transferir los métodos de trabajo utilizados en la fundición de metales férricos a nuestras técnicas de modelos gasificables en escultura, con metales no férricos.

Los enlucidos o pinturas refractarias que vamos a emplear en este trabajo, son compuestos de material refractario que sirven de barrera física y química entre el material del molde y el metal fundido.

En el ámbito industrial se aplican como revestimiento de machos y moldes para evitar el contacto directo con el metal líquido.

- **Sobre el molde:** actúa de tapaporos confiriendo homogeneidad a la superficie de la pieza, así como de barrera de contención evitando el desplome de la arena de moldeo, cuando se utiliza en arena seca, especialmente en moldeo por vibración.



Fig. 188 Pintura refractaria sobre el modelo

- **Sobre el modelo:** la aplicamos a los tres materiales para modelos de fundición propuestos, convirtiéndose así en la primera capa de registro manteniendo contacto directo con el molde y modelo.

Observamos las siguientes particularidades:

- * **Poliestireno expandido:** muestra buena adherencia, reflejada en la coloración de la pared del molde tras la cocción. La capa de pintura refractaria aparece adherida a la pared interna del molde. (*Véase las fases del método*)
- * **Poliestireno extruído:** la aplicación de este material como aislante en la construcción, justifica su comercialización en planchas impermeabilizadas por dos de sus lados con una fina capa de resina. Esta capa hace que la pintura se adhiera con más dificultad y sea necesaria mayor insistencia sobre la superficie del Poliestireno.
- * **Goma Eva:** presenta buena compatibilidad con la pintura.

* **Espuma rígida de poliuretano:** muestra buena adherencia. Sin embargo, existe la particularidad de que la variedad de espuma de poliuretano que utilizamos es excesivamente porosa y absorbe más pintura, lo que aumenta su tiempo de secado.

A partir de estas pruebas concluimos:

- Buen grado de adherencia sobre los modelos
- Compatibilidad y adherencia con la cascarilla cerámica
- Reducción de gases ya que la pintura actúa como aislante entre el material del molde y el metal.

2.4.1 COMPOSICIÓN:

Estos revestimientos se componen de:

a) Elemento de carga:(refractario) zirconita, grafito, sílice, chamota...

Los factores a tener en cuenta en su elección son:

- refractariedad
- expansión térmica
- compatibilidad con el metal
- formación de escoria
- tamaño de partícula

b) Un disolvente: agua o alcohol isopropílico.

El agua es muy usada como líquido portador por su bajo precio, ausencia de toxicidad y compatibilidad con materiales.

c) Agente de suspensión: arcilla

d) Aglutinante: resinas, dextrinas...

2.4.2 TIPOS DE PINTURA REFRACTARIA:

Existen dos clases, en función del elemento que actúe como disolvente:

- **Al agua:** es la modalidad con la que trabajamos para nuestros modelos.
- **Al alcohol**

2.4.3 PROPIEDADES DE LAS PINTURAS QUE UTILIZAMOS EN LA INVESTIGACIÓN:

Presentan unas cualidades que las hacen aptas para ser usadas en fundición.

- **Refractariedad:** junto con esta misma propiedad implícita en los materiales del molde, soporta altas temperaturas.
- **Permeabilidad:** para facilitar la salida de gases producidos en la colada. Esta debe tener un control intermedio como afirma Sorroche Cruz, A.⁷⁵:

...” si la permeabilidad del enlucido es demasiado débil, la presión de los gases en el espacio interpuesto entre el metal que avanza y el modelo que se retira, aumenta hasta sobrepasar la presión metalostática.

Por consiguiente, el gas se escapa de manera tumultuosa a través de la bajada de la colada del metal fundido, provocando turbulencias y resultado defectuosos.... Y si la permeabilidad es demasiado grande, la arena no está sujeta por el enlucido, a causa de la poca presión del gas que actúa sobre él, y puede haber derrumbamientos en el interior...”

- Deben poseer **compatibilidad química** con el molde.
- **Flexibilidad:** para adaptarse a la deformaciones internas dependiendo del material en que esté elaborado.

- **Dureza;** debe resistir la abrasión producida por la arena durante el moldeo.

2.4.4. MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL ENLUCIDO:

Recordamos que el uso de pinturas refractarias o enlucidos forma parte de uno de los elementos esenciales de esta tesis. Todo ello como consecuencia de numerosas pruebas de estado que nos permite asegurar los buenos resultados que justifica su uso.

Lo aplicamos sobre la superficie de los modelos de la siguiente manera:

- a) **A pincel:** este método se utiliza generalmente para moldes pequeños con secciones complejas. Es el procedimiento que utilizamos sobre nuestros modelos de fundición.
- b) **A pistola:** actúa pulverizando la superficie cuyo factor a tener en cuenta es que la capa resulta mas fina que aplicada con pincel.

2.4.5 SECADO DEL ENLUCIDO:

Su importancia reside en que la pintura actúa favoreciendo el resultado final de la pieza.

El método de secado idóneo se adaptará al tipo de pintura aplicada sobre la pieza y al material con que esté hecho el modelo.

A) En pinturas al agua; el tiempo de secado es más lento, y se aconseja a temperatura ambiente.

a.1) La utilización de hornos o estufas para el secado, presenta problemas de espacio interno.

B) En pinturas al alcohol: el tiempo es menor ya que se vaporiza rápidamente. Hemos comprobado que el secado normal es de 24 horas en una temperatura ambiente cercana a los 20°C

2.4.6 COMPORTAMIENTO DE LA PINTURA EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN:

Hemos observado el comportamiento de la pintura refractaria en dos momentos importantes del proceso:

A) En el moldeo: es el momento en que la pieza esta expuesta a las mayores manipulaciones.

B) En la colada: la resistencia exigida tiene que ver con las propiedades naturales de los componentes que forman la pintura. Esta debe ser lo suficientemente permeable para regular los gases desprendidos en la entrada del metal fundido en el molde.

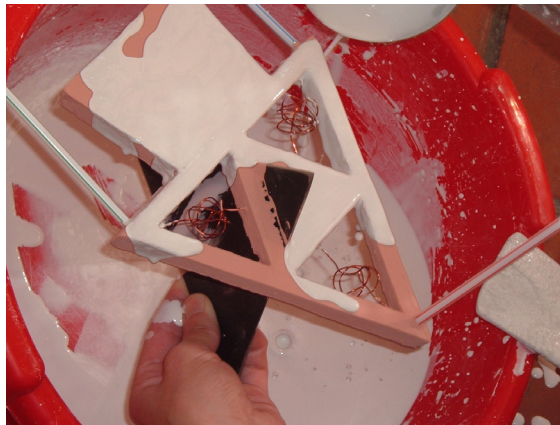


Fig. 176. Enlucido de la pieza durante moldeo .

2.4.7 OBSERVACIONES EN EL USO DE PINTURA REFRACTARIA CON MODELOS GASIFICABLES:

Nuestros objetivos con el uso de pinturas refractarias sobre los modelos son los siguientes:

- a) Sujeción sobre los modelos de fundición propuestos: poliestireno expandido, poliestireno extruído, goma eva y espuma floral, que prácticamente son impermeables.
- b) Con el moldeo a la cascarilla cerámica, debido a la forma porosa del molde, observamos que el pintado evita la

- penetración del metal a través de los granos de arena y así obtener una superficie más lisa. Mayor calidad superficial
- c)** Compatibilidad con los adhesivos utilizados sobre los modelos para la confección de la pieza.
 - d)** Evitamos adherencias de la arena al metal y por tanto fácil descascarillado
 - e)** Aislante entre modelo y metal para evitar evoluciones gaseosas
 - f)** Resistencia a una mayor erosión producida por los componentes del molde de cascarilla.
 - g)** Mayor índice de permeabilidad que otros moldes de fundición.
 - h)** Evitar otros defectos como por ejemplo porosidades en la superficie de la pieza.
 - h)** Mejoramos el poder refractario del conjunto del molde y modelo

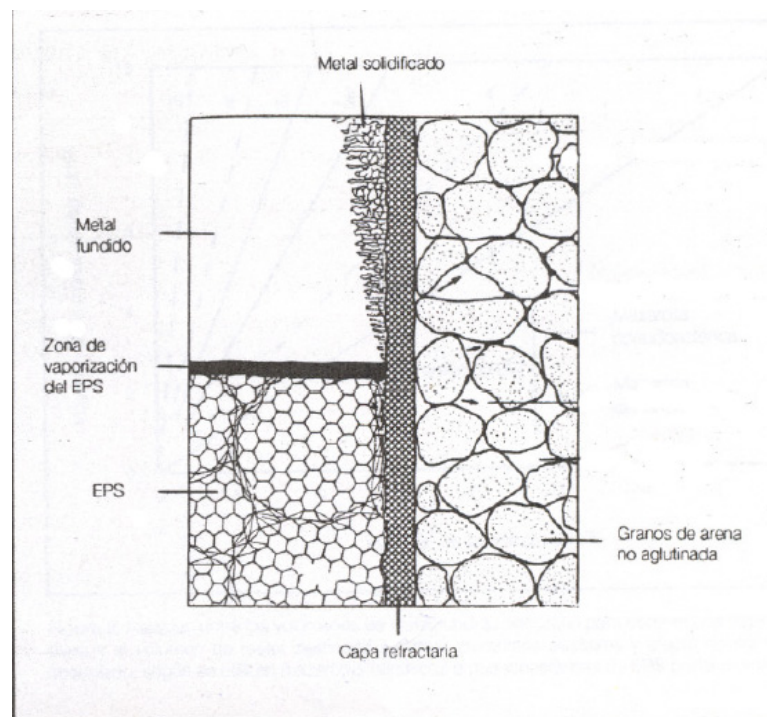


Fig. 177 *Detalle de la función de la pintura refractaria en el moldeo vibrado.*

2.5 BARBOTINA CERÁMICA:

En un recipiente amplio adaptado al tamaño de las piezas, se coloca la moloquita -200 (harina) a la que se añade sílice coloidal. El conjunto se mezcla hasta deshacer los grumos y conseguir una viscosidad adecuada en cada capa.

Las proporciones de los componentes varían en función de las características de las piezas.

El diseño de las obras influye directamente en la fluidez de la barbotina:

→ Las piezas con pequeños detalles precisan una mezcla con menor viscosidad que llegue a esas zonas de difícil acceso.

→ En el caso de piezas planas es necesaria mayor viscosidad, que quede suficientemente adherida a los planos rectos y esquinas del modelo.

Tras los baños, la barbotina debe conservarse en un lugar fresco hasta su siguiente aplicación. Durante este tiempo la moloquita se decanta en el fondo del recipiente siendo necesario mezclarla adecuadamente antes de su nueva utilización.



Fig. 189 *Barbotina cerámica*

2.6 APLICACIÓN DE LOS BAÑOS CERÁMICOS:

La barbotina se esparce con un recipiente adecuado, cuidando las zonas de difícil acceso.

Durante esta fase, la pieza sufre tensiones por la propia manipulación y el peso de la mezcla. Por ello hemos tenido en cuenta:



Fig. 190
Aplicación de la barbotina..

- a)** No sujetar la obra exclusivamente por el bebedero principal; se corre el riesgo de separarla del resto de la pieza.
- b)** El baño de barbotina debe ser uniforme, para que el peso de la misma vaya siendo homogéneo.
- c)** Los sucesivos baños cerámicos deben prepararse con menos viscosidad para lograr mayor penetración y adherencia de la moloquita evitando así, el efecto hojaldre o solapamiento entre capas. Esto es que las capas tienden a recuperar la humedad que les falta del aglutinante, restando fuerza al molde.

2.6.1 Particularidades de la barbotina con el material de los modelos:

Señalamos aquí las particularidades de compatibilidad y adherencia de la barbotina atendiendo al material con que se confeccionaron los modelos, Poliestireno expandido, extruído, Etil Vinil Acetato (goma Eva) y Espuma de Poliuretano (espuma floral).



Fig. 191 Baño de barbotina sobre espuma floral

- **Poliestireno expandido:**

hemos comprobado que existe mejor adherencia sobre modelos de poliestireno de menor densidad o corcho blanco.

En la modalidad de Poliestireno extruído observamos la necesidad de mayor insistencia con el baño de barbotina por la fina capa de resina que cubre la superficie del material, pero sin presentar complicaciones.

- **Espuma rígida de poliuretano (espuma floral):** determinamos un mayor grado de absorción mayor que el poliestireno, debido a la porosidad del material. Este aspecto incide en el secado de las obras. En el caso de aplicar pintura refractaria sobre el modelo disminuye el tiempo de secado.

- **Goma Eva:** comprobamos que la compatibilidad con la barbotina es óptima.

2.7 APLICACIÓN DEL ESTUCO (ESTUCADO):

Tras el baño de barbotina cubrimos la superficie de la pieza con moloquita de diferentes granulometrías.

Determinamos que el procedimiento debe ser enérgico para evitar que la barbotina se seque en algunas



Fig. 192 Detalle de recipientes para moloquita

zonas y provoque debilitamientos donde no ha conseguido adherirse el grano.

Repetimos esta operación con los correspondientes tiempos de secado intermedios, hasta conseguir un grosor adecuado del molde que soporte la presión metalostática del metal fundido que vertimos en su interior.



Fig. 193 Detalle de estucado sobre una de las piezas

El número de capas va directamente relacionado con la forma y tamaño del modelo de manera que hemos comprobado lo siguiente:

→ Piezas de tamaño medio-grande: el número de capas aumenta. El choque térmico será mayor, proporcional a la cantidad de metal fundido en el interior del molde.

→ Piezas con planos de 90°, es aconsejable un mayor número de capas que solucione el problema de los ángulos rectos. La adhesión

de los granos en estas zonas no es homogénea y tienden a ser zonas debilitadas.

Aplicamos 5 capas para las piezas realizadas en el trabajo. Las 2/3 primeras capas de grano fino (30-80) y las siguientes de grano grueso (16-30).

En piezas de mayor tamaño realizadas en Goma Eva aplicamos 6 capas, las dos primeras de grano fino y las restantes de granulometría gruesa.

2.8 SECADO DE LAS PIEZAS:

Deben respetarse los tiempos de secado entre una y otra capa para la consistencia general del molde.

En nuestro caso hemos espaciado los tiempos de la siguiente manera:

- 24 horas para la primera capa "de registro superficial"
- 4 horas entre las restantes capas.
- 12 horas desde la aplicación de la última capa hasta el horneado del molde para los modelos de Poliestireno expandido y Goma Eva.



Fig. 194 Molde de cascarilla cerámica

- 24 horas desde la aplicación de la última capa hasta el horneado del molde para los modelos de Espuma rígida de Poliuretano.

De esta forma se evita la existencia de humedad y moléculas de agua, que en el proceso de cocción del molde pudieran producir la rotura del mismo.

Durante ese tiempo de secado, determinado en 4 horas se comprobó:

- a)** Las piezas pequeñas con menos capas, secaron antes.
- b)** Las obras complejas aumentan sensiblemente el tiempo de secado debido a las zonas intrincadas y de difícil aireado.
- c)** Los modelos realizados de Espuma rígida de Poliuretano (espuma floral) presentaron un tiempo de secado más lento por la alta porosidad del material.

Es importante señalar la importancia de la zona de almacenamiento de los moldes, con una sencilla ventilación, evitando el exceso de humedad en el ambiente, y un control de temperatura que oscile entre 18°C y 22°C, y sin cambios bruscos en la misma.

Feinberg comenta: *"...un secado adecuado del molde en una zona bien ventilada es crucial, pues un molde húmedo romperá al contacto del fuego durante el descere. Los moldes no se pueden secar por el calor directo..."*⁶



Fig. 195 *Almacenamiento y secado de las piezas*

2.9 REPASO DE LA CASCARILLA:

Las piezas que hemos llevado a cabo no han presentado defectos o agrietamientos que necesitaran corregirse.

No obstante, al igual que en otros métodos de trabajo, en la elaboración de moldes de cascarilla se pueden producir fisuras que es preciso reparar antes de proceder al vertido del metal fundido y evitar fugas del mismo.

Un método para reforzar una cáscara que se ha debilitado en el secado, es aplicar fibra de vidrio en las zonas que creemos más susceptibles de romperse, con sílice coloidal puro, estucando después la zona convenientemente.

Por otro lado hay que tener en cuenta que en las zonas donde se aplica fibra de vidrio la cascarilla pierde porosidad.

David Reid dice:..."Los métodos tradicionales de refuerzo como el de moldes cerámicos con fibra de vidrio o cementos refractarios, provocan tensiones debidas a una expansión desigual durante los rápidos cambios de temperatura que acompañan a la colada del metal..." 77

2.10 DEFECTOS EN LAS PIEZAS:



Presentamos esta imagen de una de las obras sufrió agrietamiento tras la cocción. Se optó no repararlo para comprobar el alcance del propio material.

Fig. 196 Grietas en el molde después de la cocción.

2.11 COCCIÓN DEL MOLDE Y ELIMINACIÓN DEL MODELO:

En esta fase el estado de la cascarilla se transforma en cerámica, debido a un choque térmico violento sobre el molde.

El proceso seguido fue el siguiente:

a) Limpieza de los restos de cascarilla existente en la entrada del bebedero principal.



Fig. 197 Limpieza del bebedero principal

Con ello observamos el grosor adquirido en el molde con las sucesivas capas de barbotina y estucado.

b) Situación de las obras que se van a someter a cocción en un soporte adecuado.



En las imágenes se observa la dirección que debe adoptar el soplete respecto a los moldes que se encuentran en el interior de la **campana de cocción**.

La duración de este proceso se simplifica, comparado con el uso de modelos de cera a causa de la rápida gasificación de los materiales utilizamos como modelos de fundición.

Fig. 198 Campana de cocción

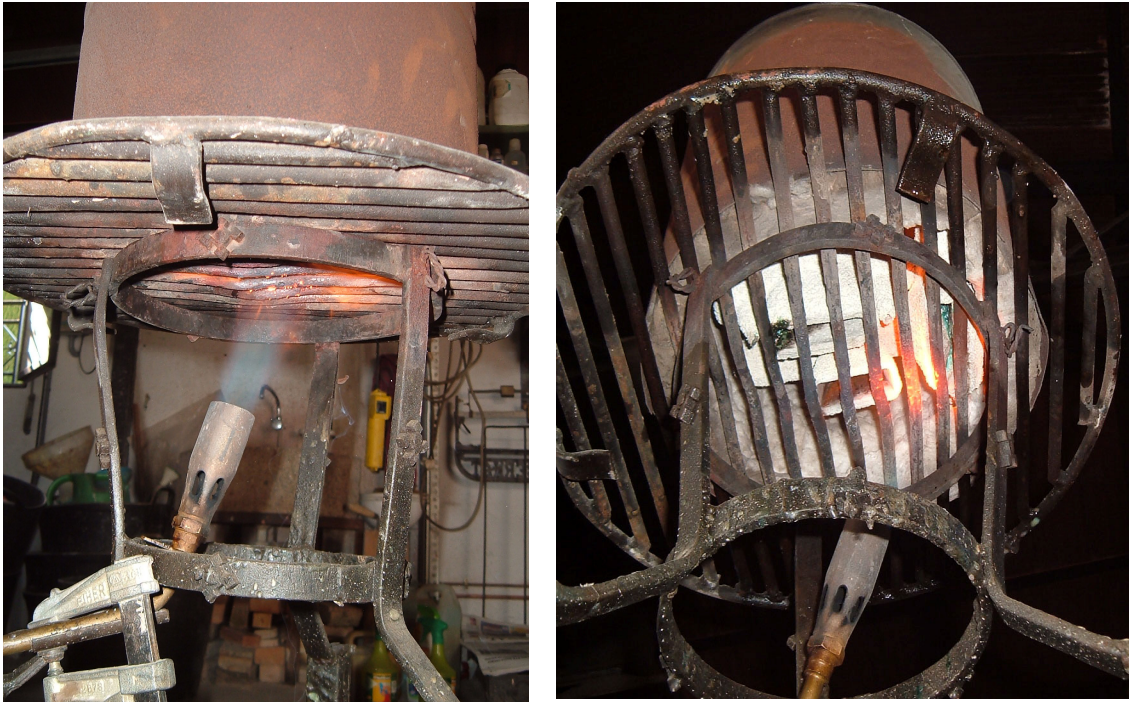


Fig. 199 y 200 Detalles de la situación del soplete según las piezas a cocer.

Para modelos de Poliestireno expandido, Poliestireno extruido y Espuma de Poliuretano, por su rápida gasificación no fue necesaria una fuente de calor más potente de la que observamos en las imágenes.

Sin embargo hemos comprobado que en el caso de modelos de Etil Vinil Acetato (goma eva), la gasificación es mas lenta, por lo que el tiempo de cocción aumenta.

Ante ello, consideramos necesaria la aplicación de dos fuentes de calor o de mayor potencia. (Véase la imagen 199)



Fig. 201 Aplicación de dos fuentes de calor

c) Uso de campana de cocción y dos fuentes de calor:

Observamos la presencia de componentes gomosos del material de EVA en las paredes interiores del molde si aplicamos el mismo sistema que para modelos de Poliestireno expandido. Ello requiere un incremento de tiempo a la vez que la proyección dirigida de dos fuentes de calor:

→ Hacia la **parte interna** del molde, por el bebedero principal.

→ Por la **parte externa** del mismo con la ayuda de otro soplete, asegurando la completa eliminación del modelo.

d) Cocción del molde en horno.

El incremento del tiempo de cocción para la eliminación de modelos de Eva, presenta en el trabajo la alternativa de cocer el molde en un horno con una fuente de calor más potente.

Con este procedimiento obtuvimos buenos resultados.



Fig. 202 *Cocción del molde en horno*

En la imagen se muestran los resultados de la cocción del molde en la campana de descere, observándose aún restos carbonizados del modelo de Goma Eva en la entrada del bebedero principal.



Tras la cocción en el horno de fundición, apreciamos un molde completamente limpio. (Véase las imágenes 202 y 203)

Fig. 203 *Restos carbonizados en el interior del molde tras la cocción en la campana*



Fig. 204 y 205 Evolución de la gasificación del modelo de EVA (goma eva). Limpieza del molde tras la cocción en el horno

2.11.1 TRANSFORMACIONES EN EL MODELO Y MOLDE DURANTE LA COCCIÓN:

La fuente de calor actúa sobre los moldes durante el tiempo estimado en función al volumen de las piezas.

En este momento pudimos observar:

a) Gasificación del modelo que se encuentra en el interior del molde.



Fig. 206 El modelo se gasifica desprendiendo gas

b) Emanación de gases provenientes de la eliminación del modelo.

c) Cocción del molde. Pasa a ser un material duro, poroso y cerámico que soporta con gran resistencia al choque térmico.

d) Cambio del color que adquieren las cáscaras.

Antes de la cocción el molde es de color blanco-grisáceo.



Fig. 207-208 Cocción del molde. Cambio de color de la

Posterior a la cocción:

→ En la primera fase se observa un tono anaranjado.

→ En la segunda fase, la cocción ha finalizado y el color de la cascarilla es blanco-amarillento



Fig. 209 1ª fase: tono anaranjado



Fig 210 *2ª fase: color blanquecino del molde*

Tras de la cocción dejamos enfriar un poco el molde y lo preparamos para la colada.

Se puede observar en la imagen el aspecto que presenta la pintura refractaria completamente adherida a la pared del molde en una de las piezas realizadas



Fig. 211 *3º. Aspecto final del molde cocido*

2.12 LA COLADA DEL METAL:

En este trabajo hemos seguido las siguientes fases:



Fig. 212 Lecho de arena con las piezas preparadas para la colada del metal.

A) Situamos los moldes en un lecho de arena con un doble objetivo:

→ Conservar el molde caliente para garantizar el registro superficial de las piezas.

→ Evitar posibles fugas de metal fundido

B) Se funde el metal y se extrae del crisol para situarlo sobre la vertedera.



Fig. 213 Preparación del crisol para la colada

C) Eliminación de las impurezas que flotan en la superficie del metal con herramienta específica, simplemente de una cuchara de acero inoxidable.

D) Vertido del metal en los moldes, procurando que el caudal sea lo mas uniforme posible y así facilitar la salida de gases.



Fig. 214 y 215 *Metal fundido en el crisol*



Fig. 216 *Vertido del bronce en el interior de los moldes*



Fig. 217 Detalle del vertido del bronce en el interior de los moldes

E) El contenido del bronce sobrante en el crisol es vertido sobre una lingotera precalentada.



Fig. 218 Metal sobrante

Finalmente se produce la solidificación del metal. En este momento se produce un cambio volumétrico del material al enfriarse, que apreciamos en una contracción (rechupe) en el bebedero principal.



Fig. 219 y 220 *Rechupes en la zona de entrada.*

2.13 DEFECTOS FRECUENTES DE FUNDICIÓN:

En este complejo proceso de cambios en el estado del metal, observamos los posibles defectos que se originan con la entrada del metal y la reacción de erosión que este tiene con los materiales del molde.

No obstante en todo método de fundición pueden aparecer diversos defectos debidos a los cambios que se producen en el metal, así como en el resto de componentes que intervienen.

Los defectos más comunes son:

* **Cavidad por contracción**: producida por la solidificación del metal.

* **Llenado incompleto**: debido a la solidificación prematura. Las causas típicas son:

- fluidez insuficiente-vaciado lento.

- Baja temperatura de vaciado

* **Aparición de rebabas**: producidas por el agrietamiento del molde. Entonces el metal líquido penetra en la cavidad formando una aleta en la superficie de la pieza.

* **Sopladura**: son cavidades en forma de esferas producidas por gases.

En nuestra experiencia:

→ Han aparecido rechupes o contracciones en el bebedero principal, aspecto este muy común que obviamente no afecta al diseño de la obra.

→ Llenado incompleto de zonas con estrechas tolerancias dimensionales a causa de falta de respiraderos.

Para la solución a estos problemas hemos seguido un correcto diseño de las piezas. Estos defectos no sólo surgen por una inadecuada realización del molde, es común que se deba a la complejidad de sección de la pieza.

2.14 DESMOLDEO O ELIMINACIÓN DEL MOLDELO:

Tras la solidificación y enfriamiento del molde, se extrae la pieza del interior del molde.



Fig. 221 Descascarillado de una de las piezas.

→ **Modelos de Poliestireno Expandido y Extruído:** se observó un fácil desmoldeo, no obstante en la superficies más texturizadas, la utilización de la pintura refractaria facilitó de manera evidente el desmoldeo y eliminación de la cascarilla.

→ **Modelos de Goma Eva:** se determina un fácil desmoldeo por la textura lisa propia del material

→ **Modelos de Espuma Floral:** se observa facilidad en el desmoldeo.

Por otra parte añadimos que el descascarillado se simplifica aún más con un enfriamiento brusco del molde. Este contraste térmico no afecta a las características del metal.

También hemos comprobado la consecuencia de usar el grafito, que ya mencionamos en capítulos anteriores, mezclado en la primera barbotina, pues ello facilita el descascarillado.



Fig. 222 *Limpieza final de una de las piezas.*



Fig 223 *Pieza en bronce*



Metodología práctica aplicada:
Fases del método de fundición

FASES DEL PROCEDIMIENTO:

**MOLDEO DE CASCARILLA CERÁMICA SOBRE
MODELOS DE CERA Y POLIESTIRENO:**



Fig.224

1. Diseño de la obra en cera, con integración de Poliestireno Expandido



Fig.225

2. Colocación del sistema de colada: bebedero principal, conductos secundarios y respiraderos.



Fig.226

3. Aplicación con pincel, de goma laca sobre la cera para facilitar la adherencia del recubrimiento refractario



Fig.227

4. Primer baño cerámico de la pieza.



Fig.228

5. Primer estucado con moloquita de grano fino



Fig.229

6. Sigüientes baños cerámicos controlando el tiempo de secado



Fig.230

7. Sucesivos estucados con moloquita de grano fino en las primeras capas y moloquita de grano grueso en las siguientes



Fig.231

8. Molde terminado.



Fig.232

8. *Proceso de cocción del molde*



Fig.233

9. *Molde cerámico, eliminada la cera y el poliestireno.*



Fig.234

10. Preparación del molde en un lecho de arena para el vertido del metal



Fig.235

11. Colada del metal en el interior del molde



Fig.236

12. Descascarillado de la pieza



Fig.237

**13. Retoque de la pieza.
Corte de bebederos**



Fig.238

14. Pieza finalizada

FASES DEL PROCEDIMIENTO:

**MOLDEO DE CASCARILLA CERÁMICA SOBRE
MODELOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO CON
INTEGRACIÓN DE OTROS MATERIALES:**

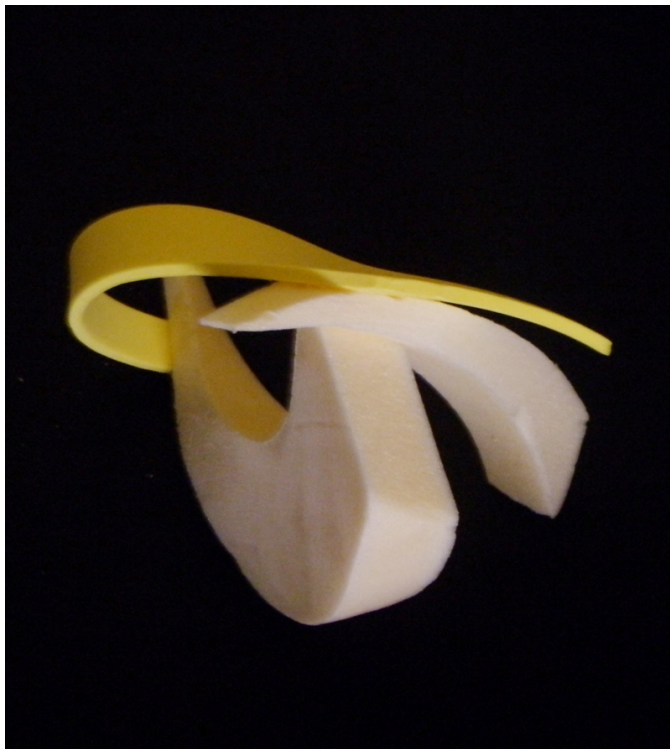


Fig.239

1. Diseño en poliestireno de la obra. La pieza incluye integración de materiales (GOMA EVA), formando parte expresiva de ella.

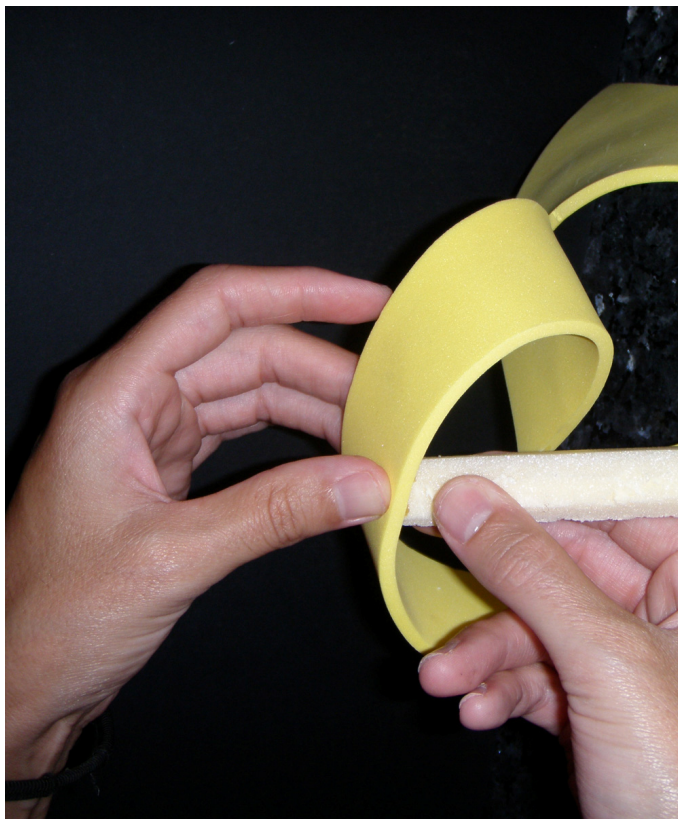


Fig.240

2. Colocación del bebedero principal y conductos secundarios.



Fig.241

3. Primer baño cerámico



Fig.242

4. Estucado con moloquita de grano fino



Fig.243

5. Sucesivos baños de barbotina



Fig.244

6. Estucado con moloquita de grano grueso.



Fig.245

7. Aspecto final del molde elaborado por capas, antes del horneo.



Fig.246

8. Situación del molde en el interior de la campana, antes de la cocción



Fig.247

9. Proceso de cocción del molde



Fig.248

10. Apoyo de una segunda fuente de calor en las obras con integración de EVA en el modelo.



Fig.249

11 y 12. *Color rojizo del molde tras la cocción. Esta coloración explica el carácter cerámico del mismo y el buen comportamiento de la cascarilla.*



Fig.250

13. *Detalle del molde cerámico una vez eliminado el EPS. El bebedero debe quedar completamente limpio de restos del material.*



Fig.251



Fig.252

14. Colada del metal en el interior del molde



Fig.253

15. Descascarillado de la pieza.



Fig.254

16. Obra terminada

FASES DEL PROCEDIMIENTO:

**MOLDEO EN CASCARILLA CERÁMICA SOBRE
MODELOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO:
APLICACIÓN DE PINTURAS REFRACTARIAS
(figuras planas)**

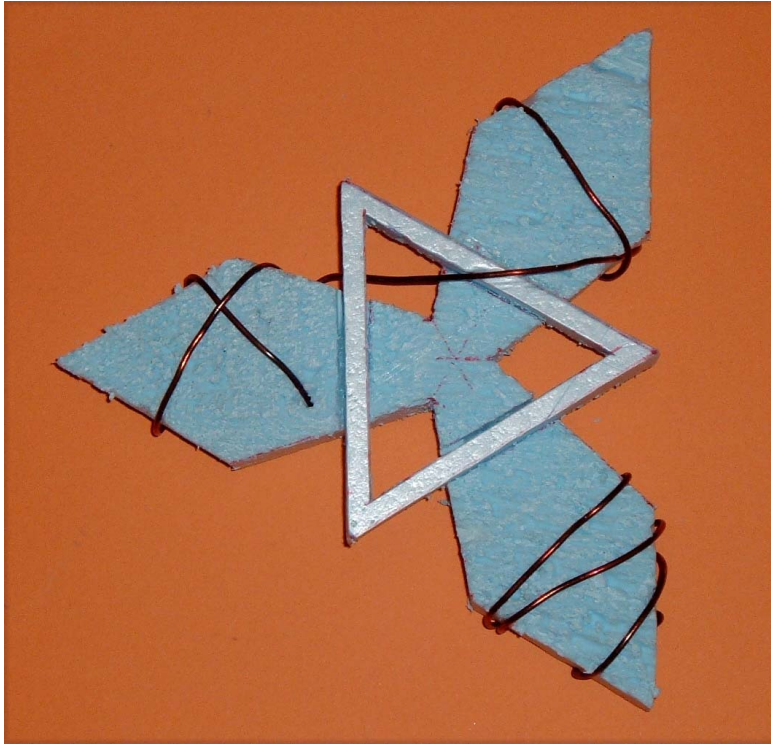


Fig.255

1. Diseño en poliestireno de la obra. La pieza incluye integración de materiales (hilo de cobre de grosor medio), formando parte expresiva de ella.

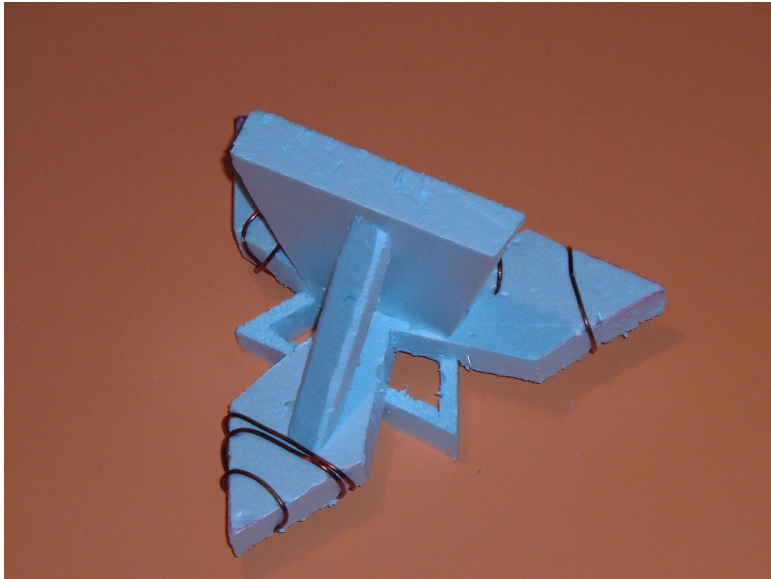


Fig.256

2. Colocación del bebedero principal y secundario



Fig.257

3. Aplicación de la pintura refractaria.



Fig.258

4. Baño cerámico de la pieza..



Fig.259

5. Detalle de la primera capa de estuco en la pieza.



Fig.260

6. Molde terminado.



Fig.261

7. Pieza situada para cocción.



Fig.262

8. Pieza en proceso de cocción



Fig.263

9. Aspecto cerámico que presenta el molde una vez eliminado el PE. Se observa la capa interna de pintura refractaria.



Fig.264

10. Colada del metal en el interior del molde



Fig.265

11. Descascarillado de la pieza.



Fig.266

12. Pieza finalizada

FASES DEL PROCEDIMIENTO:

**MOLDEO DE CASCARILLA CERÁMICA
SOBRE MODELOS DE GOMA EVA**



Fig.267

1. Diseño de la obra en Goma Eva



Fig.268

2. Colocación del bebedero principal



Fig.269

**3. Aplicación de la
pintura refractaria**



Fig.270

**4. Primer baño cerámico
sobre la pintura refractaria**



Fig.271

5. Primer estucado con moloquita de grano fino



Fig.272

6. Sigüientes capas de baños cerámicos.



Fig.273

7. Capas de estucado de grano grueso



Fig.274

8. Molde elaborado en capas sucesivas de baño y estucado controlando el tiempo de secado



Fig.275

9. Pieza situada para la cocción del molde.



Fig.276

10. Pieza en proceso de cocción



Fig.277

11. *Tras la cocción del molde observamos restos del modelo de EVA (gomaeva). Ello implica mayor tiempo de cocción.*



Fig.278

12. *Utilizamos el horno de fundición para una cocción complementaria que eliminase los posibles restos.*



Fig.279

13. *Aspecto de la pieza en el interior del horno.*



Fig.280

14. *Preparación de la pieza en el lecho de arena para la*



Fig.281

15. *Colada del metal fundido en el interior del molde de cascarilla.*



Fig.282

16. *Desmoldeo de la pieza*



Fig.283

17. Obra en bronce

FASES DEL PROCEDIMIENTO:

**MOLDEO DE CASCARILLA CERÁMICA SOBRE
MODELOS ESPUMA FLORAL
INTEGRACIÓN DE OTROS MATERIALES**



Fig.284

1. *Diseño en ESPUMA FLORAL de la obra. La pieza incluye integración de materiales (GOMA EVA), formando parte expresiva de ella.*



Fig.285

2. *Colocación del bebedero principal*



Fig.286

*3. Primer baño
cerámico.*



Fig.287

*4. Estucado con moloquita
de grano fino*



Fig.288

5. Sigüientes baños cerámicos



Fig.289

6. Estucado con moloquita de grano grueso.



Fig.290

7. Aspecto final del molde elaborado, antes del horneado.



Fig.291

8. Proceso de cocción.



Fig.292

9. Aspecto cerámico del molde tras eliminarse la Espuma rígida de Poliuretano (ESPUMA FLORAL).



Fig.293

10. Colada del metal en el interior del molde



Fig.294

**11. Descascarillado
de la pieza.**



Fig.295

**12. Obra en bronce
finalizada.**

Capítulo IV



Resultados del método:
Obras escultóricas realizadas

**OBRAS ESCULTÓRICAS
REALIZADAS EN EL TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**



Fig.296

OBRA n°1

Material del modelo: Poliestireno extruido y cera virgen

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Separador: Goma laca sobre el modelo de cera

Dimensiones: 17x 3,5x 9,5 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Refractario: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

SIMBOLISMO: fuerza de líneas quebradas, curvas, abiertas, juegos de espacios que escapan de la masa de líneas cerradas en pos del énfasis en la materia irregular, del movimiento que se hace sentimiento.



Fig.297 v 298



Obra nº 1 Bronce

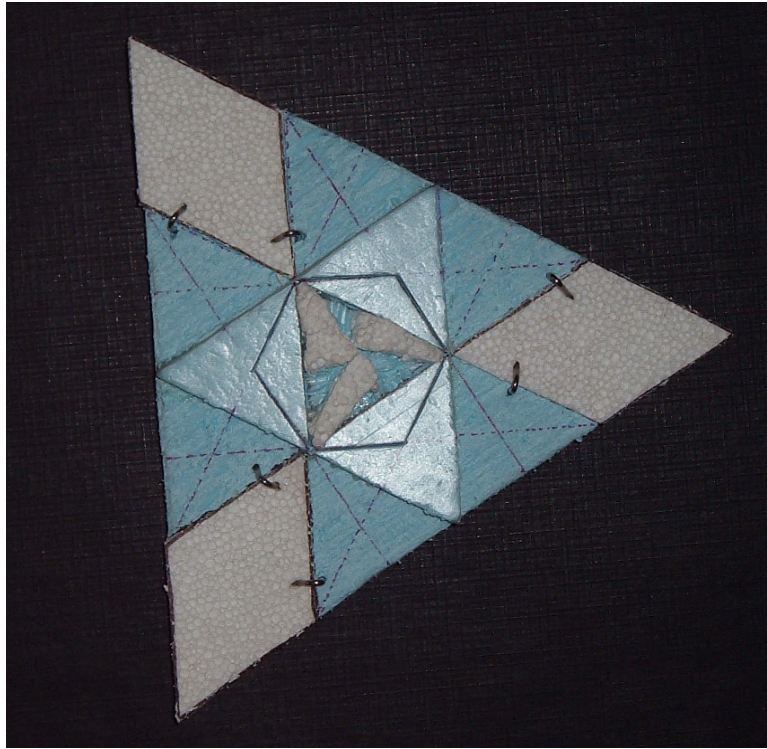


Fig.299

OBRA n°2

Material del modelo: Poliestireno expandido y extruido.

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Se ha utilizado enlucido: No

Dimensiones externas: 17 x17 x 1,5 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Refractario: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

Integración de materiales: Puntas de acero

SIMBOLISMO: figura plana de líneas contenidas que parecen superponerse queriendo simular la complicada geometría matemática de la estrella, la fuerza contenida de la idea que se repite una y otra vez, línea sobre línea...



Obra nº 2
Bronce y metal férrico

Fig.300



Fig.301

OBRA n°3

Material del modelo: Etil Vinil Acetato o GomaEva (EVA)

Adhesivo utilizado: pegamento de contacto Superglue

Se ha utilizado enlucido: no

Dimensiones externas: 4x 22x 8,5 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Refractario: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

SIMBOLISMO: líneas curvas abiertas, huidas y a la vez encerradas en el espacio interno y externo que rodea. La línea se hace volumen.



Fig.302

Obra nº 3
Bronce



Fig.303

OBRA n°4

Material del modelo: Etil Vinil Acetato (EVA o GOMAEVA).

Adhesivo utilizado: pegamento de contacto Superglue

Se ha utilizado enlucido: si

Dimensiones externas: 26,5x 19x 10 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Refractario: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

SIMBOLISMO: líneas sobre el plano, huecos de líneas y trazos cerrados en el espacio. El plano es línea, la línea es plano...



Fig.304

Obra nº 4
Bronce

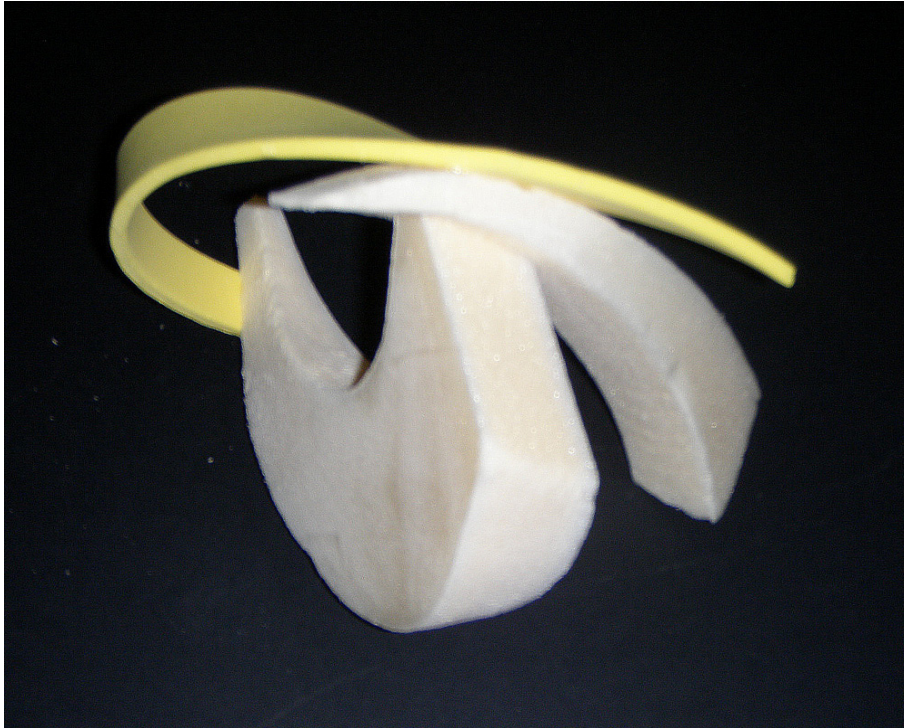


Fig.305

OBRA nº5

Material del modelo: Poliestireno y Eva .

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Se ha utilizado enlucido: no

Dimensiones externas: 16x 17x 14 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Materia de moldeo: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

SIMBOLISMO: figuras geométricas definidas por el “trazo” de la herramienta de corte, cuyas líneas envolventes de contorno, dibujan líneas y espacios interconectados en un todo envolvente y fugaz al mismo tiempo.



Fig.306

Obra nº 5
Bronce

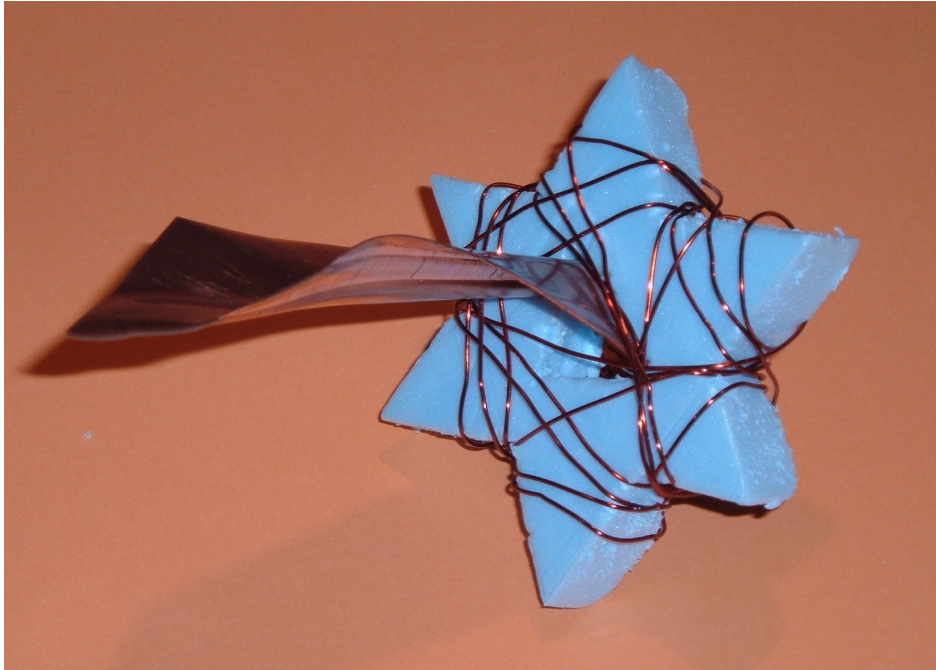


Fig.307

OBRA n°6

Material del modelo: Poliestireno extruido.

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Se ha utilizado enlucido: no

Dimensiones externas: 7 x 7 x 16 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Refractario: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

Integración de materiales: Chapa e hilo de cobre

SIMBOLISMO: líneas envolventes forman una trama en el volumen de la pieza, mientras la chapa de cobre la secciona como plano independiente de líneas cortantes.



Obra nº 6
Bronce.

Fig.308

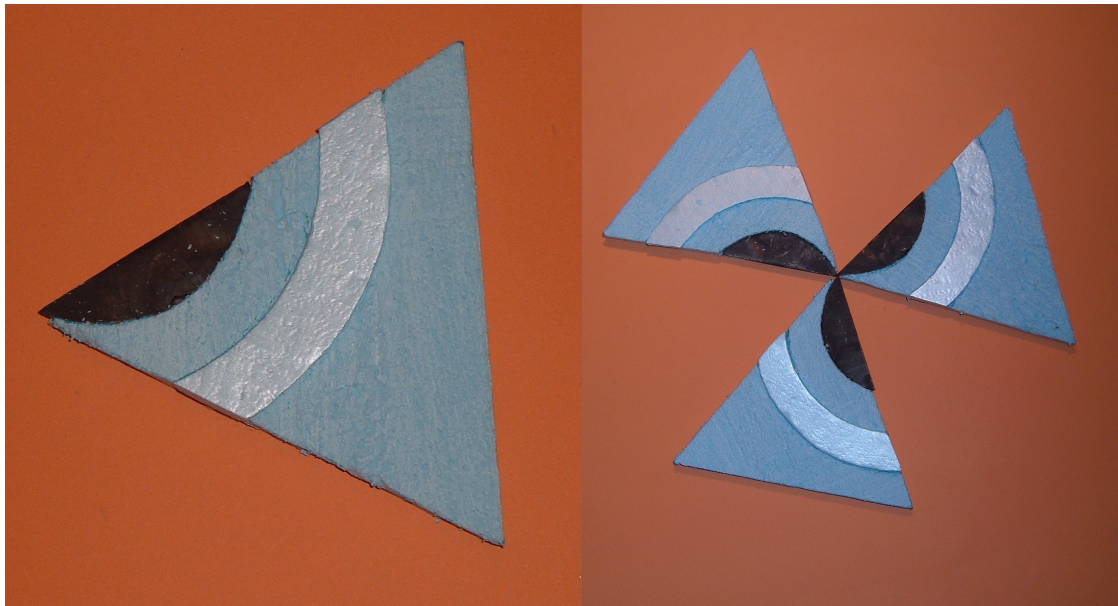


Fig.309

OBRA n°7

Material del modelo: Poliestireno extruido.

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Se ha utilizado enlucido: si

Dimensiones externas: 15 x 15 x 1,5 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Refractario: Moloquita

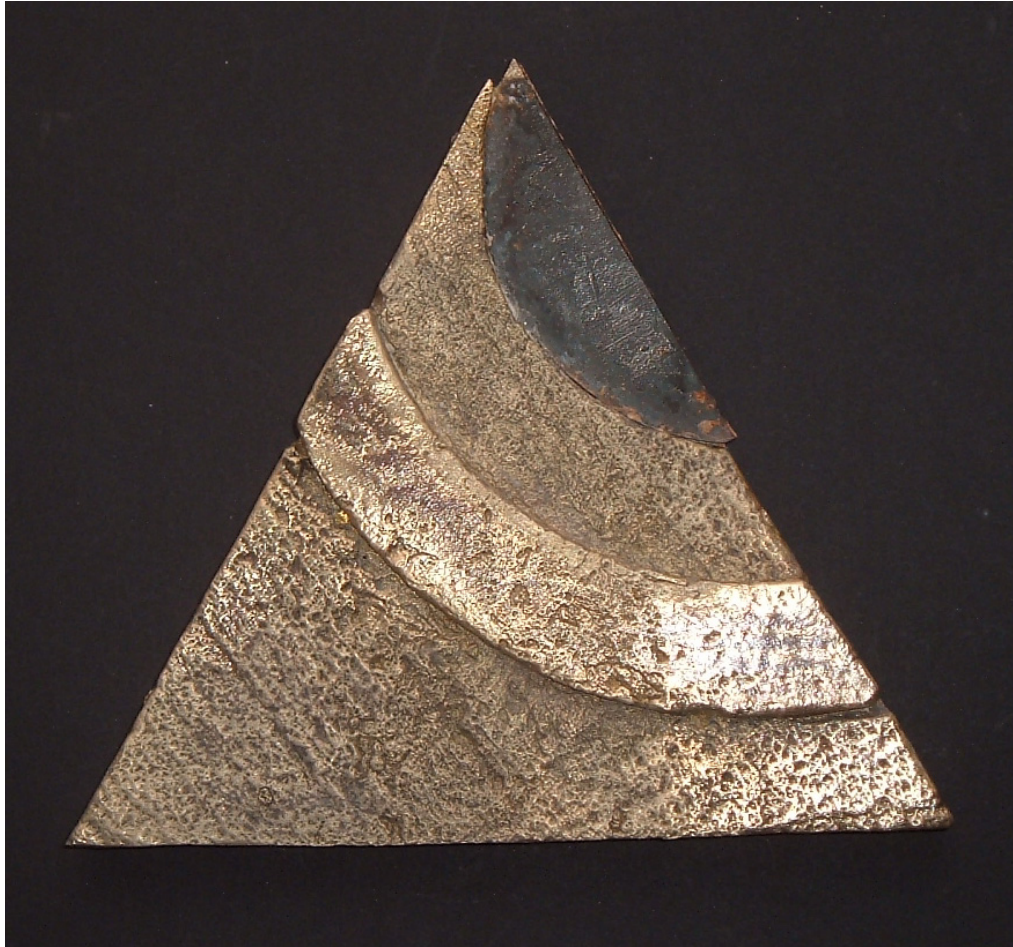
Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

Integración de materiales: Chapa de hierro

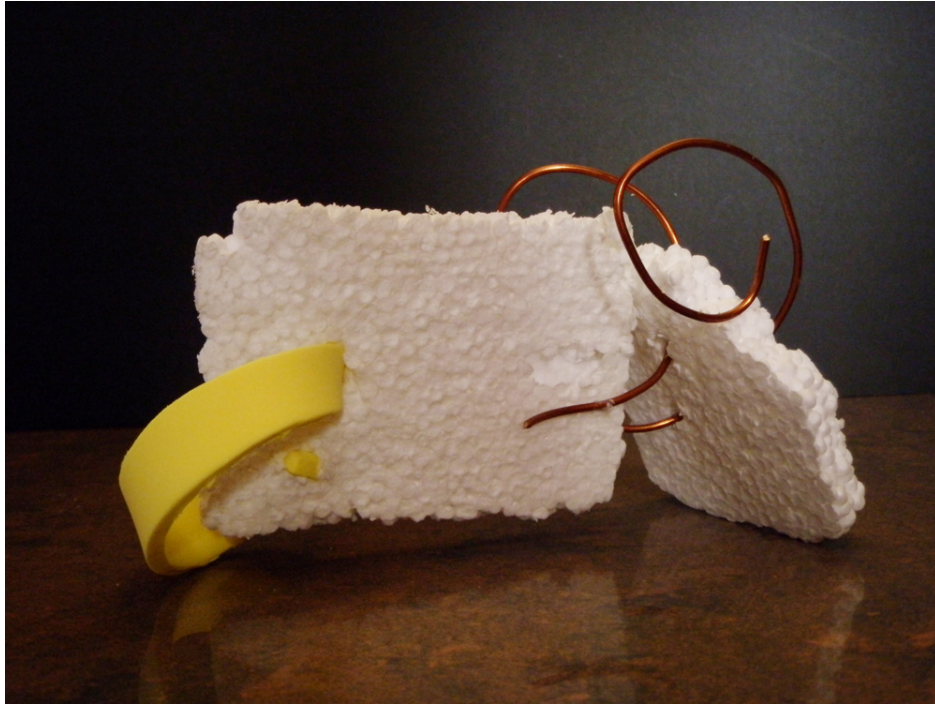
SIMBOLISMO: líneas externas, internas, contraposición de curvas y rectas en el espacio. Líneas imaginarias que terminan de cerrarse en la mente del espectador.



Obra nº 7 Bronce. Composición



Fig.310 v 311



OBRA nº8

Fig.312

Material del modelo: Poliestireno expandido (EPS) y EVA

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Se ha utilizado enlucido: no

Dimensiones externas: 8x 18x 8 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Refractario: Moloquita

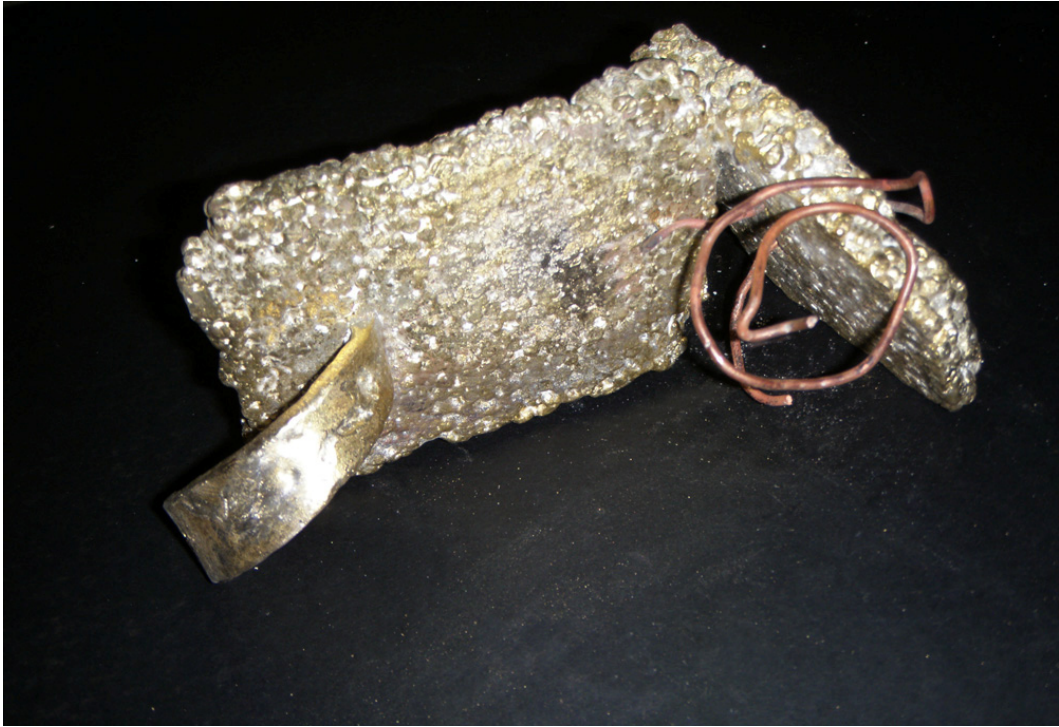
Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

Integración de materiales: hilo de cobre

SIMBOLISMO: planos interrelacionados con líneas espirales. Contraste entre formas abiertas y cerradas de líneas de distinto grosor y las líneas cerradas que marcan los contornos de los pesados planos rectangulares.



Obra nº 8.
Bronce

Fig.313

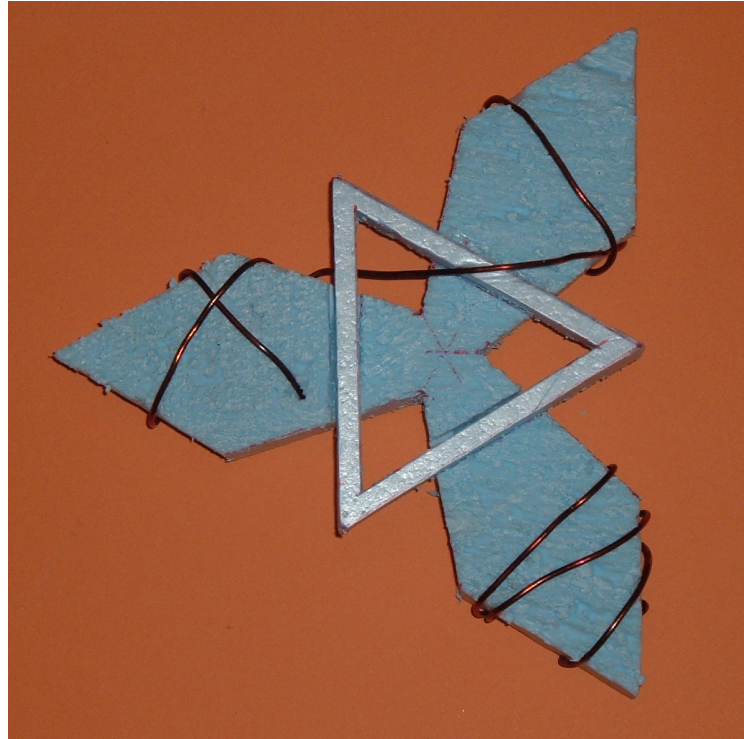


Fig.314

OBRA n°9

Material del modelo: Poliestireno extruido.

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Se ha utilizado enlucido: si

Dimensiones externas: 15,5 x 15,5 x 4 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Refractario: Moloquita

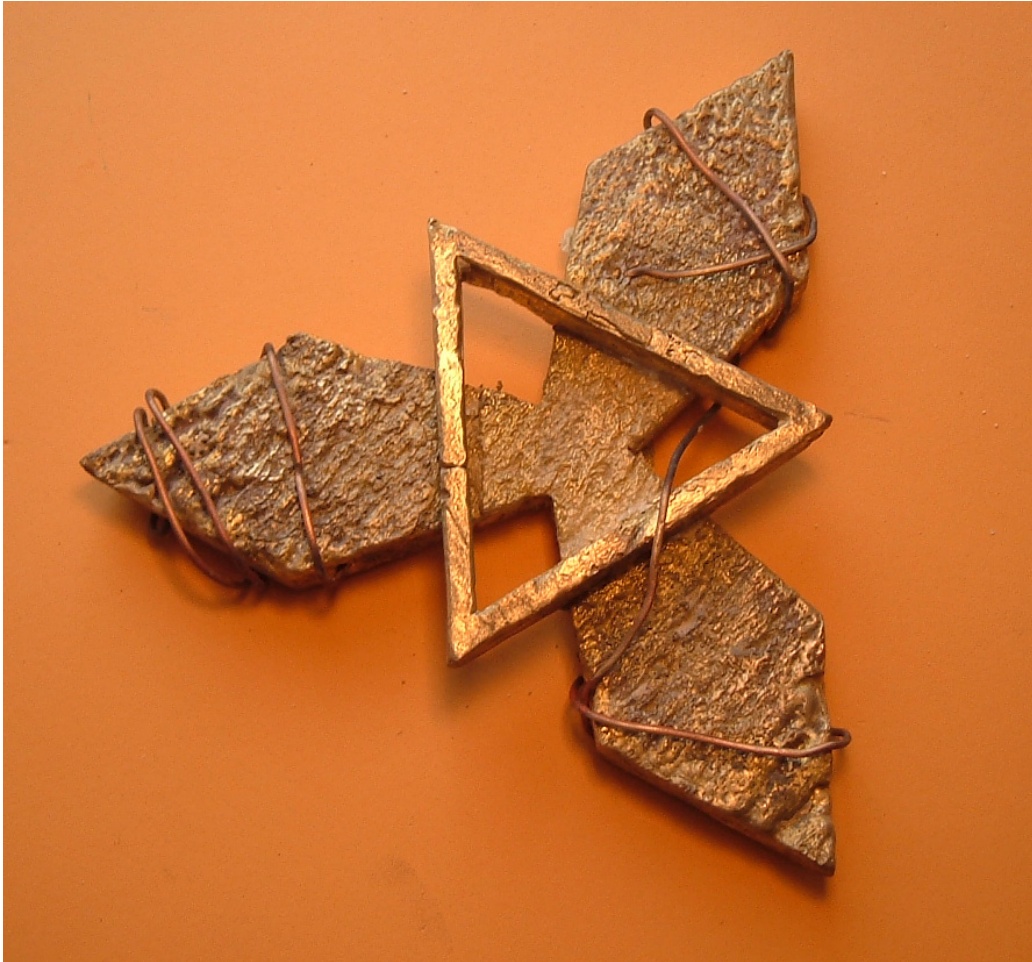
Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

Integración de materiales: Hilo de cobre

SIMBOLISMO: juego de espacios creados por líneas y volumen, contornos rectos en contraposición con la irregularidad de la línea que lo envuelve todo.



Obra nº 9
Bronce.

Fig.315



Fig.316

OBRA nº 10

Material del modelo: Espuma rígida de poliuretano(PUR)
o Espuma Floral y EVA (goma eva)

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Se ha utilizado enlucido: no

Dimensiones externas: 17x 11x 9 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Materia de moldeo: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

SIMBOLISMO: pesados volúmenes cuyos contornos dibujan líneas en el espacio...y en el espectador... fondo-figura.



Fig.317

Obra nº 10
Bronce

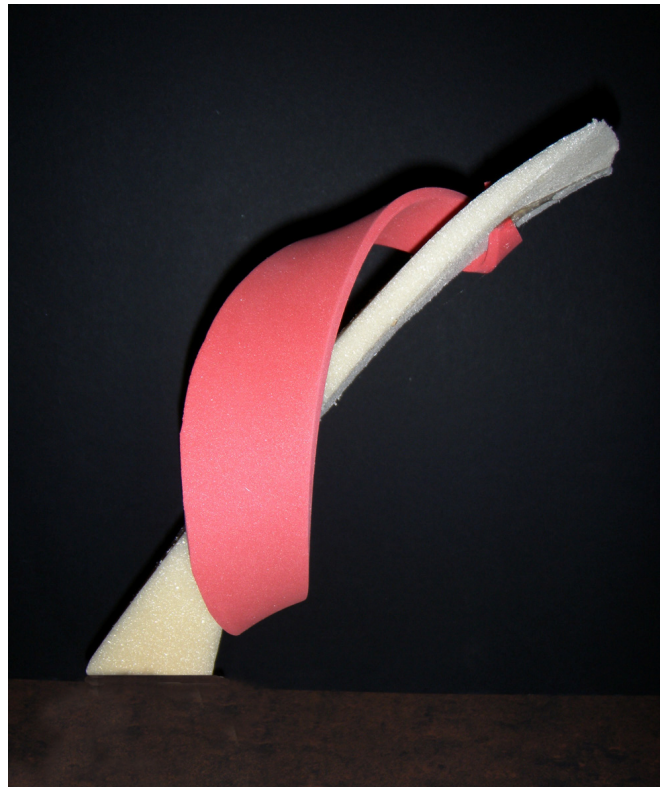


Fig.318

OBRA nº 11

Material del modelo: Poliestireno extruído y EVA

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Se ha utilizado enlucido: no

Dimensiones externas: 25x 7x 8 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Refractario: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

SIMBOLISMO: contraste de curvas y rectas. Líneas definidas por el contorno de los cuerpos, espacios definidos por el volumen de las líneas.



Fig.319

Obra nº11
Bronce



Fig.320

OBRA nº 12

Material del modelo: EVA o gomaeva

Adhesivo utilizado: pegamento de contacto Superglue

Se ha utilizado enlucido: no

Dimensiones externas: 6,5x 11,5x 9,5 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Refractario: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

SIMBOLISMO: líneas que encierran los planos. Contraste de volúmenes y huecos vacíos y espacio.



Fig.321

Obra nº 12
Bronce



Fig.322

OBRA nº 13

Material del modelo: espuma de poliuretano rígida

Adhesivo utilizado: Ceyporex

Se ha utilizado enlucido: si

Dimensiones externas: 18x 22x 14 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Refractario: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

SIMBOLISMO: líneas abiertas que cortan el espacio queriendo salir, c volúmenes macizos de metal que quieren quedarse...



Fig.323

Obra nº 13
Bronce

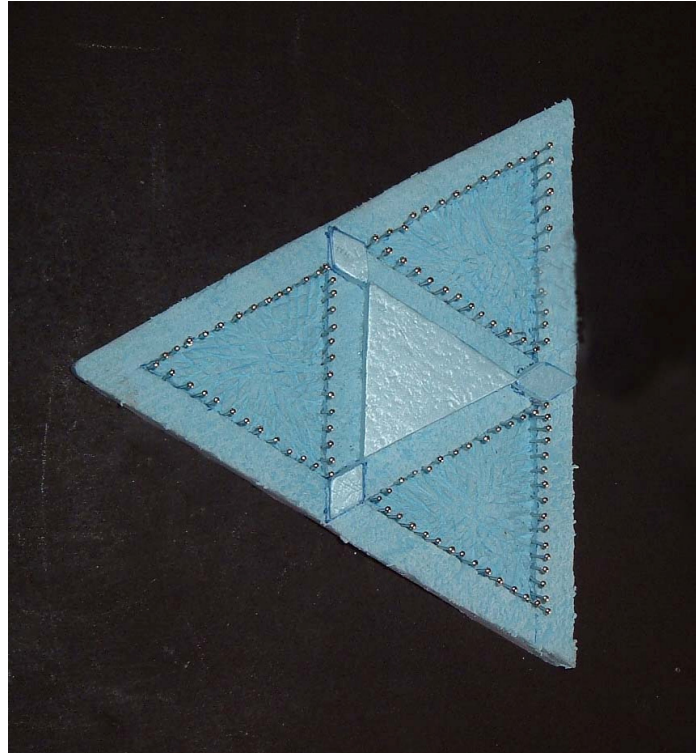


Fig.324

OBRA nº14

Material del moldeo: Poliéstireno extruído.

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Se ha utilizado enlucido: No

Dimensiones externas: 15x15x 1,5 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Materia de moldeo: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

Integración de materiales: alfileres

SIMBOLISMO: el orden de la línea en el espacio.



Obra nº 14
Bronce.

Fig.325

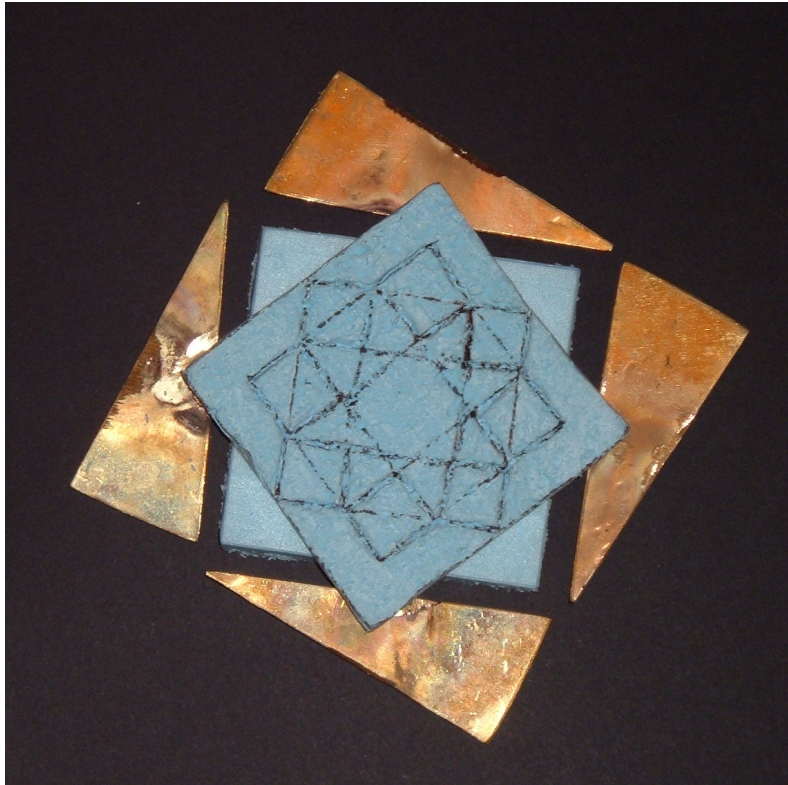


Fig.326

Obra nº15

Material del modelo: Poliestireno extruído.

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Se ha utilizado enlucido: si

Dimensiones externas: 13 x13 x 2 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Materia de moldeo: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

Integración de materiales: Chapa de latón

SIMBOLISMO: líneas contenidas en el espacio cerrado del objeto



Fig.327

Obra nº 15
Bronce

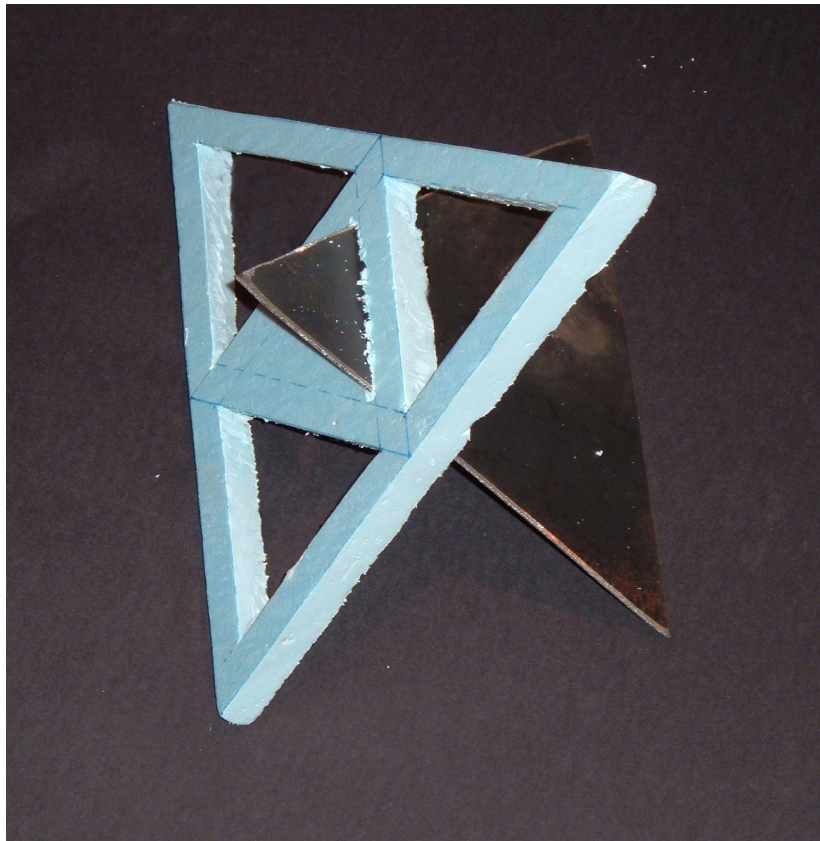


Fig.328

Obra nº16

Material del modelo: Poliestireno extruído.

Adhesivo utilizado: Ceys Porex

Se ha utilizado enlucido: si

Dimensiones externas: 16,5 x 16,5 x 1 cms

MOLDEO CASCARILLA CERÁMICA

Materia de moldeo: Moloquita

Tipo de aglutinante: Sílice coloidal

OBRA FUNDIDA

Metal: Bronce

Integración de materiales: Chapa de hierro

SIMBOLISMO: sección de líneas



Obra nº 16
Bronce

Fig.329

Capítulo V

Conclusiones

CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN:

A lo largo del trabajo, hemos expuesto en cada capítulo, conclusiones parciales que han ido dando forma a la idea principal de la investigación: los nuevos materiales y métodos de fundición.

Nuestra aportación presenta novedades desde el comienzo hasta el final del proceso de fundición:

- La elaboración del modelo
- Nuevos sistemas de moldeo
- Mejora en el desmoldeo final.

Hemos comprobado la confluencia entre las nuevas tecnologías y la adaptación de antiguos procesos y materiales, lo que permite:

- **Materializar posibilidades técnicas que aventajan el proceso de fundición.**
- **Extrapolar procesos de fundición industriales al campo escultórico y adaptarlos a él.**
- **Mejorar el resultado de la pieza obtenida**
- **Economizar los procesos tradicionales**
- **Aumentar las oportunidades expresivas en nuestro campo escultórico-artístico**

Esto va a ser posible porque unimos en un mismo método de trabajo:

- Uso de materiales gasificables y las propiedades ligeras de esos nuevos materiales propuestos como modelos:
 - Poliestireno en sus variedades Expandido y Extruído,
 - Etil Vinil Acetato, denominado EVA o Goma Eva)
 - Espuma rígida de poliuretano en su variedad de Espuma floral.

- Mejora de las características en los moldes con el uso de la cascarilla cerámica. Poco peso y precisión en su elaboración por capas.
- Utilización de las pinturas refractarias como separadores entre modelo y moldeo para facilitar el descascarillado final.

Con los nuevos modelos y moldes adaptados a ellos, este trabajo aporta soluciones técnicas y plásticas concretas aplicadas a un elemento expresivos por excelencia en el arte: **la línea**; será el tema de la obra escultórica que presentamos, resultado de este trabajo de investigación.

Nuestra aportación se basa en aplicar los tres elementos esenciales que hemos ido desarrollando:

A) EL MODELO: lo resolvemos con los nuevos materiales siguientes:

A.1 El Poliestireno Expandido (EPS) y Extruído (XPS):

Por sus excelentes cualidades gasificables y ligereza que había demostrado con métodos denominados en verde y químico autofraguante descritos en este trabajo.

Con esta investigación incrementamos sus posibilidades en el proceso de fundición artística, con dos aportaciones que han demostrado resultados satisfactorios y por tanto amplían el campo del conocimiento:

- **Uso del EPS y XPS como modelos de fundición** y su combinación con los otros dos materiales para modelos de fundición propuestos, EVA y Espuma de Poliuretano.
- **Uso del EPS y XPS con moldeo a la cascarilla cerámica.**

- El EPS y XPS utilizados como modelos en el proceso de fundición presentan las siguientes ventajas:
 - a) Facilidad de manipulado, corte, talla, construcción...
 - b) Permite la obtención de obras de dimensiones variables.
 - c) Muy ligero
 - d) Resistencia alta a la manipulación
 - e) Estable a las temperaturas de almacenamiento
 - f) Gasificable durante la cocción del molde
 - g) Precio económico

A.2 Etil Vinil Acetato (EVA o Goma eva):

Su uso en el proceso metalúrgico se presenta totalmente innovador. Se justifica por sus propiedades de flexibilidad y ligereza que aumentan el ámbito expresivo de los modelos gasificables, con dos aportaciones:

- **Goma Eva como modelo de fundición**, compatible con otros materiales incorporados a él.
 - **Uso de la Eva con el moldeo a la cascarilla cerámica.**
- Su incorporación a la fundición artística presenta las siguientes ventajas:
 - Material ligero
 - Cualidades elásticas que permiten el diseño de modelos con formas curvas con dificultades morfológicas.
 - Fácil de cortar, tallar y manipular
 - Compatibilidad con múltiples adhesivos
 - Resistencia a la manipulación y al choque
 - Estable a temperaturas de almacenamiento
 - Extinguible durante la cocción del molde
 - Precio muy económico

Como desventaja comparado con el EPS XPS y la Espuma de Poliuretano, es su lenta gasificación por lo que necesita mayor tiempo de cocción para su eliminación u horneado previo.

A.3 Espuma de poliuretano rígida o Espuma Floral:

Este material plástico y poroso nos va a interesar por su ligereza y facilidad de manipulado. La modalidad que reúne estas características es la espuma destinada al mantenimiento y decoración floral, cuya elevada porosidad y muy baja densidad va a permitir que la utilicemos como modelo de fundición.

- A partir de nuestras experiencias, señalamos las siguientes ventajas de este material:
 - Material extremadamente ligero
 - Fácil de modelar, tallar, lijar y cortar
 - Su manipulación no ofrece dificultad
 - Baja resistencia al choque
 - Estable a temperaturas de almacenamiento
 - Gasificable durante la cocción
 - Precio muy económico

B) EL MOLDE:

Las características gasificables y ligeras de los modelos propuestos requería un método de moldeo adaptado a ellos que aumentara inmediatez del proceso y la ligereza del conjunto.

Hemos visto la existencia de numerosos sistemas de moldeo tradicionales y recientes adaptados siempre:

- en función a las necesidades del escultor
- al modelo a reproducir
- obtención de mejores resultados

El sistema de la cascarilla cerámica se presenta como innovación al combinarlo con los modelos de fundición que proponemos, con materiales asociados a los plásticos y compatibles con ellos.

Esta combinación amplía el campo del conocimiento destacando la inmediatez procesual, ligereza y facilidad de conformado tanto del molde como de los modelos.

- En este trabajo de investigación, las ventajas del sistema de moldeo a la cascarilla combinado con los modelos: el EPS (poliestireno expandido), XPS (poliestireno extruído), EVA (etil vinil acetato) y PUR (espuma rígida de poliuretano en la variedad de espuma floral), han sido las siguientes:
 - Gran ligereza de los moldes, que facilita su manejo y transporte.
 - Mayor calidad de registro superficial
 - Ausencia de respiraderos en la mayoría de las piezas, dada la permeabilidad del molde.
 - Control de todo el proceso de moldeo, por su aplicación por capas.
 - Economía de los materiales que lo constituyen
 - Rapidez y sencillez de ejecución

- Compatibilidad entre los materiales del molde y los modelos
 - Buen comportamiento con los separadores, las pinturas refractarias aplicadas sobre los modelos.
 -
- **Como sistema de moldeo aporta otras ventajas de inmediatez procesual durante las fases del proceso de fundición:**
- Cocción del molde
 - Reduce el tiempo de cocción más de un 60% respecto a otros sistemas tradicionales como por ejemplo, el moldeo con chamota.
 - Ahorro de energía
 - No se requieren hornos de calentamiento
 - Gran limpieza en el proceso
 - Vertido del metal
 - El ahorro de tiempo y esfuerzo se ve aumentado por el vertido inmediato del metal fundido con el molde precalentado.
 - Desmoldeo:

Sencillo y rápido comparado con otros sistemas debido a:

 - Los propios materiales que constituyen el molde
 - El uso de pinturas refractarias sobre los modelos que facilita el proceso de descascarillado.

Teniendo en cuenta estas ventajas generales exponemos a continuación una tabla comparativa que evalúa los tres modelos propuestos en una relación de parámetros específicos que observamos en cada material.

MODELOS DE FUNDICIÓN	EPS (Poliestireno Expandido)	EPS (Poliestireno Expandido)	PUR -Espuma Floral (espuma rígida de poliuretano)
Ejecución del modelo	Dificultad nula	Dificultad nula	Dificultad nula <i>(requiere cuidadosa manipulación)</i>
Ligereza del material	Elevada	Elevada	Muy elevada
Compatibilidad con adhesivos	Baja <i>(adhesivos específicos)</i>	Alta	Baja <i>(adhesivos específicos)</i>
Resistencia mecánica	Elevada	Elevada <i>(Propied. flexibles)</i>	Baja
Compatibilidad con pintura refractaria	Elevada	Elevada	Elevada
Compatibilidad con los materiales de moldeo	Buena	Buena	Buena
Reacción durante el moldeo	Estable	Estable <i>(1ª capa aparente inestabilidad elasticidad del EVA)</i>	Estable
Tiempo de secado de las capas.	Ajustado a las 4h. requeridas	Ajustado a las 4h. requeridas	6h. Incremento del tiempo
Gasificación del modelo en la cocción del molde	Rápida eliminación	Lenta eliminación <i>(incremento de tiempo solucionado con aplicación de dos fuentes de calor u horno)</i>	Eliminación mas lenta que el EPS
Registro superficial	Calidad elevada	Calidad media-alta	Calidad elevada

Fig.324

C) LOS SEPARADORES:

Las pinturas refractarias o separadores aplicadas sobre los modelos suponen una importante aportación que sintetizamos en dos apartados:

- Facilidad de desmoldeo
- Mejora la calidad superficial evitando en gran medida los defectos superficiales que se puedan originar.

■ OBRAS REALIZADAS:

Con la utilización de nuevos materiales y procedimientos surge un nuevo lenguaje que nos va a permitir materializar ideas con rapidez, sencillez, calidad y expresividad.

Ello nos ha permitido especular en el tratamiento de la superficie de las obras realizadas que evidencia la composición molecular como es el caso del EPS.

Además la posibilidad de incorporar materiales de distinta naturaleza al modelo, amplía el ámbito expresivo de las pruebas realizadas. A algunas de las obras se han incorporado hilo de cobre para reforzar el significado y fuerza de la línea, la cual interactúa en el espacio, con el volumen de las piezas, las líneas de sus contornos y huecos... (Véase *las obras nº 6,8,9*)

El punto de partida de las obras que presentamos aportan:

- Técnicas nuevas que amplían el campo de conocimiento en el proceso metalúrgico aplicado el arte.
- Unos planteamientos plásticos concretos basados en figuras geométricas que utilizan a la línea como elemento expresivo y simbólico.

Dentro del Arte, sea quizá **la línea**, el elemento plástico y de comunicación más expresivo y polivalente. Es la encargada de "escribir" una forma, cierra espacios, delimita formas, estructura,

establece recorridos visuales, produce y crea texturas, gradaciones tonales...es la "escritura de la forma".

En esta investigación, presentamos una serie de piezas fundidas en bronce que pretenden recoger su sinuoso juego en la escultura, como definidora de formas geométricas, planos, contornos, espacios, volúmenes y sentimientos.

Líneas rectas, verticales, horizontales, inclinadas, curvas, espirales...hacen que volumen y espacio interactúen en una relación de líneas presentes e imaginarias que crea la mente del espectador o que define el propio espacio que rodea a la figura.

Las obras realizadas muestran:

- una estructura: configurando formas y organizando la relación espacio-volumen
- una dirección: que describe el dinamismo deseado
- un volumen: que se interrelaciona con el espacio, el aire, creando nuevas formas.

Cada material, debido a sus cualidades nos ha permitido tratarlo y conseguir un objetivo expresivo:

- **EPS** y **XPS**: ha ofrecido mayores posibilidades de textura por la combinación entre ambas variedades. La línea aparece no sólo en la conformación propia del modelo (masas, contornos, espacios), también en la superficie del material al ser rallado, aserrado, lijado...(Véase la obra 2)
- **EVA**: la forma del material, en una delgada plancha, y su flexibilidad han permitido experimentar con la expresión de la línea de sus contornos, visible en el espacio, así como elaborar modelos con delgadas tolerancias dimensionales. (Véase las obras 3 y 4)
- **PUR**: la baja densidad del material lo hace más delicado para su manipulación, pero ha presentado mayor facilidad de corte y lijado. Piezas de volúmenes macizos describen la fuerza

geométrica y lineal con sus contornos y relación con el espacio circundante. (*Véase las piezas 10 y 13*)

Finalmente añadimos que el presente trabajo es el inicio de una creciente investigación que puede abarcar el estudio de los modelos propuestos con otros sistemas de moldeo: chamota, en verde, en químico u otras recientes arenas de moldeo, para comparar las ventajas y resultados de cada proceso.

Así, esta línea de trabajo que dejamos abierta, supone el futuro conocimiento de la fundición y el lenguaje expresivo del escultor.

RIESGOS PARA LA SALUD EN LA UTILIZACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO, ESPUMA DE POLIURETANO Y ETIL VINIL ACETATO COMO MODELOS DE FUNDICIÓN:

Los materiales que utilizamos, procedentes de los plásticos, emiten cierta cantidad de residuos y gases en su combustión, que obliga en el proceso de fundición a prestar atención a condiciones ambientales, sistemas y medios de aspiración, ventilación y protección respiratoria, que mantengan la zona de trabajo libre de peligro para la salud.

Veremos a continuación como son evidentes los riesgos debido a la exposición a los gases generados de la combustión, sin embargo, esta toxicidad dependerá de los siguientes factores:

- Intensidad de exposición al gas (concentración del contaminante)
- Tiempo de exposición
- Cantidad de material expuesto para la combustión

La clasificación de los gases emitidos en la combustión de los tres materiales propuestos como modelo de fundición; EPS (Poliestireno Expandido), PUR (Espuma de poliuretano) y Etil vinil Acetato (EVA o Gomaeva) van a ser brevemente y en líneas generales: formaldehído, amoníaco, metanol, ácido, cianhídrico, monóxido de carbono... cuyos posibles efectos son: conjuntivitis, faringitis, tos, anomalías en el tracto respiratorio, dolor de cabeza, nauseas, vómitos y en casos graves edema pulmonar.

Las medidas preventivas son:

- Instalación de una ventilación adecuada
- Mascarilla de gas o corriente de aire
- Gafas protectoras
- Guantes protectores
- Vestimenta adecuada para al trabajo a realizar

Aunque la exposición a estos productos puede parecer peligrosa para nuestra salud, se debe aclarar que la cantidad de Poliestireno, EVA y Poliuretano utilizados en la técnica objeto de esta investigación es reducida y por tanto no presenta riesgos.

De cualquier forma, la liberación de estos gases, sí se produce de manera brusca, así que debemos hacer uso de las medidas preventivas a las que nos referíamos anteriormente.

MEDIAMBIENTE:

RECICLADO DE LOS MODELOS DE FUNDICIÓN PROPUESTOS:

Los materiales que proponemos en esta investigación como modelos de fundición provienen directamente de los plásticos, es por ello que merece una breve atención el proceso de reciclabilidad al que pueden ser sometidos.

La razón por la que hacemos referencia al reciclado, es para destacar otra ventaja en el uso de estos materiales, contrariamente a lo que se cree habitualmente, que catalogan a los plásticos como productos negativos para el medio y como recurso económico.

A continuación exponemos los métodos tradicionales de reciclado para este tipo de productos:

RECICLADO PRIMARIO:

Convierte los desechos, en plásticos con las mismas propiedades del material original. Sus fases son:

- Recogida: en contenedores propios
- Separación: según la densidad del material, propiedades...
- Molienda: con maquinaria especializada
- Limpieza
- Peletizado: consiste en fundir el granulado obtenido del plástico de origen y mediante extrusión darle la forma continua de hilo. Después se corta en trozos denominados pellets.

RECICLADO SECUNDARIO:

Este proceso recupera fundamentalmente plásticos termoestables con propiedades inferiores a las del material original. No es necesario la separación y limpieza del producto. Los residuos se funden en un extrusor.

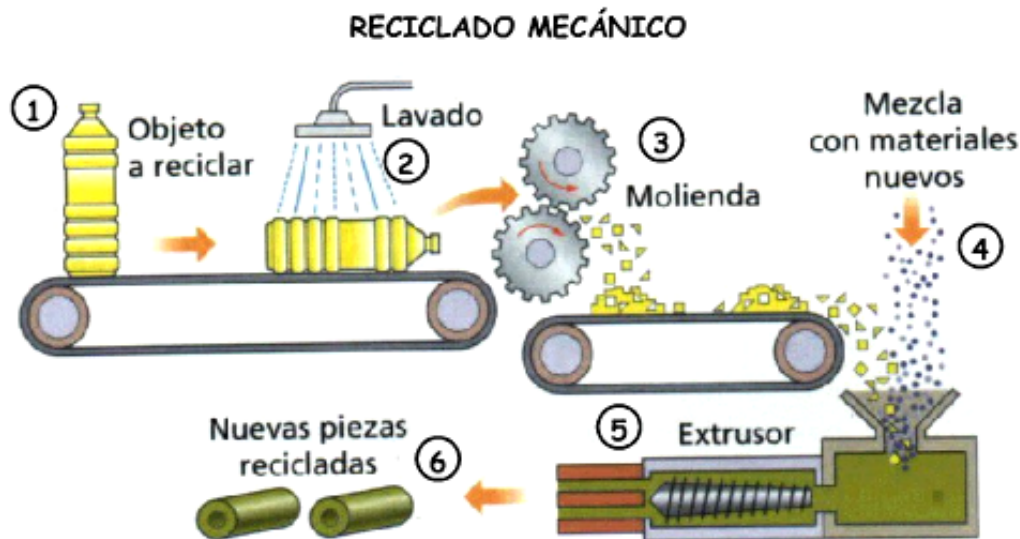


Fig.330

RECICLADO TERCIARIO:

Descompone el plástico en compuestos químicos y combustible degradando al polímero base. Se diferencia de los anteriores en que existe un cambio químico en su estructura. Es también llamado reciclado químico.

Cuenta con varios métodos de los que destacamos los dos más utilizados: la pirolisis y la gasificación.

- Pirolisis: los plásticos se calientan y su combustión produce gases y humos que se convierten en materiales aprovechables; gasolina, alquitrán que darán lugar a nuevos polímeros puros.
- Gasificación: con el mismo principio que el anterior se calienta el material a elevadas temperaturas, para recuperar energía del gas emitido.

RECICLADO CUATERNARIO:

Consiste en la incineración del plástico con el fin de utilizar el calor del proceso, como fuente energética.

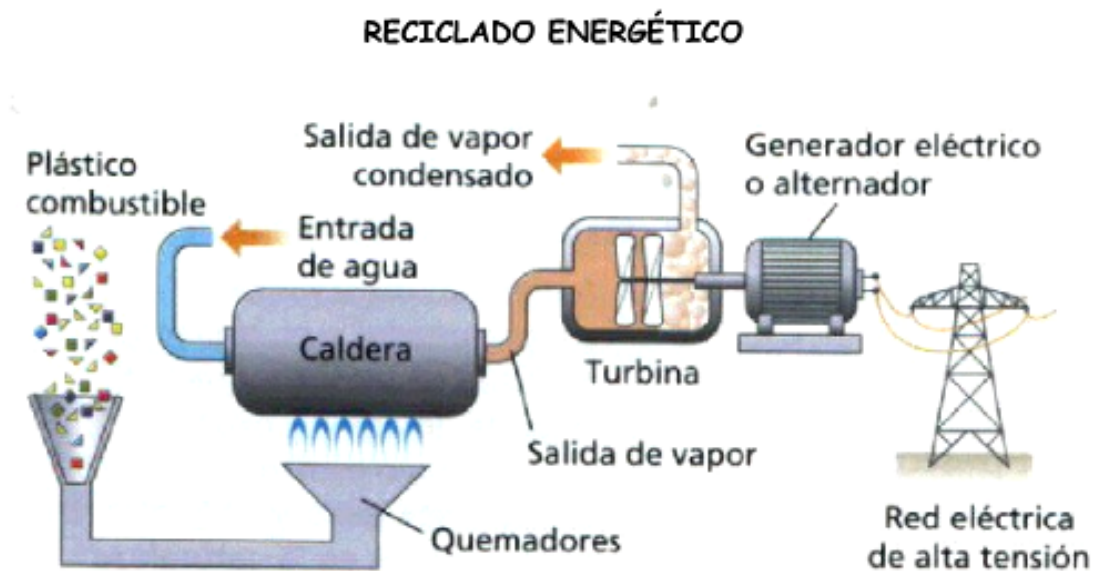


Fig.331

A continuación explicamos brevemente el reciclado de cada uno de los materiales utilizados como modelo de fundición:

- POLIESTIRENO EXPANDIDO y EXTRUIDO:

* Se reciclan mecánicamente creando nuevas piezas de EPS y XPS para distintas aplicaciones destinadas fundamentalmente a embalajes y planchas de construcción, u obteniendo el material de partida el Poliestireno (PS), con el que se fabrica mediante moldeo por inyección, perchas, bolígrafos...

* Se reciclan energéticamente a través del aprovechamiento de la energía intrínseca del material. Para ello, el material pasa por el proceso de combustión, que contrariamente a lo que se cree, no produce gases dañinos, ya que las emisiones se controlan y filtran adecuadamente.



Símbolo de clasificación para el reciclado del Poliestireno



Fig.332 y 333

Estos procesos de recuperación del material se realiza en plantas especializadas ECO EPS.

- ETIL VINIL ACETATO:

Puede ser reciclado como cualquier termoplástico a partir de los 4 métodos anteriormente descritos: primario, secundario, terciario y cuaternario.

A partir del reciclado mecánico del Etil Vinil Acetato, los nuevos productos adquiridos pierden algunas de sus propiedades mecánicas y pueden encarecer el producto.

Las aplicaciones del Etil Vinil Acetato reciclado las encontramos en: Suelas de zapatos, colchones, aislante térmico, juguetes, material para natación, embalaje...

Fig.334



- ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO:

* Se recicla mecánicamente granulando el material, se somete a altas temperaturas y mediante extrusión o inyección el material adquiere la forma determinada que posteriormente se corta para emplear de nuevo, por ejemplo como material de relleno para cojines, muebles, camas, moquetas...

* Se recicla de manera química por los procedimientos generales explicados anteriormente para los plásticos.

En relación al reciclado de la espuma rígida de poliuretano:

...”El uso de incineraciones cuidadosamente controladas para convertir los desechos post-consumo en energía aprovechable se practica en diversos países europeos como Alemania. Suecia, Suiza y Dinamarca donde estas técnicas son practicadas para suministrar a las comunidades locales electricidad y calefacción. Hasta un 10% de los requisitos de electricidad doméstica pueden ser generados por estas unidades y cada vez está siendo más considerada como una opción de recuperación aceptable.(Myriam García-Berro. Departamento de Proyectos IDI .Fundació ASCAMM)⁷⁸

Notas bibliográficas
Documentación gráfica

Referencias Notas bibliográficas:

Sub. 1 <http://www.opitzarmin.de/libro/alle/bronze01.html> (20/09/05)

Sub. 2 Lubbock. J. “*La prehistoria: paleolítico y neolítico*”. Jorge Juan Eiroa. Ed. Akal.1994

Sub.3 Gordon Childe <http://es.scribd.com/doc/10937549/Gordon-Childe-Los-Origenes-de-La-Civilizacion-1ra-Parte> (30/09/05)

“*Los orígenes de la civilización.*” Breviarios series. Vol 92. Fondo de la cultura económica. 1997.

Sub.4

http://www.proyectos-saluda.org/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=1625
(30/09/05)

http://www.sedpgym.org/descargas/Metallica/n5_87.pdf (30/09/05)

Sub 5. Marcos. C. “Fundición a la cera perdida. Técnica de la cascarilla cerámica”. Departamento de escultura. Valencia. Diciembre 2000

Sub.6

http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya8/8metalurgia_prehispanica_tecnicas.htm
(03/10/05)

Sub 7 Mohen.J.P. : “Metalurgia Prehistórica. Introducción a la Paleometalurgia.” Editorial Masson, S.A. París. 1992.

Sub 8 <http://www.ingenierias.uanl.mx/22/quesabian.PDF> (02/02/06)

Sub 9 Mohen.J.P. :” Metalurgia Prehistórica. Introducción a la Paleometalurgia.” Editorial Masson, S.A. París. 1992

Sub 10: <http://www.procobreperu.org/historia.htm> (20/12/05)

Sub 11 Corredor Martínez J.A. “Técnicas de fundición artística”. Ed. Universidad de Granada.1997

Sub 12: Blanco, A: “Arte griego.” C.S.I.C. Madrid, 1971

Sub 13: Marcos Martínez.C. “ Fundición a la cera perdida. Técnica de la cascarilla cerámica.” Valencia. Diciembre 2000

Sub 14: Didi-Huberman, Georges. L’Empreinte. Ed Centre Georges Pompidou, París, 1997

Sub 15: FEINBERG, Wilburt. “*Lost Wax Casting. A Practitioner’s Manual. Intermediate*”
Technology Publications. Londres, 1983.pág 11

Sub 16: Didi- Huberman. *Carne de cera, círculos viciosos. Op.cit.pág.76*

Sub 17: <http://www.anape.es/> (10/01/2006)

- Sub 18:** Claude Rougeron: “Aislamiento acústico y térmico en la construcción”. Editores técnicos asociados S.A, 1977. Barcelona
- Sub 19:** <http://www.anape.es/> (10/01/06)
- Sub 20:** <http://www.anape.es/> (13/01/06)
- Sub.21** Tartera, J. “Criterios de selección de una instalación de moldeo” revista fundidores, nº8, p.50.1992
- Sub 22** Rudel.J “Tecnicas de la escultura” P.45, 1986.Mexico
- Sub 23** Wittower.R. “La escultura. Procesos y principios. Madrid. Ed Alianza, 1988. p.15
- Sub 24 y 25** <http://www.atepa.org/> (25/07/08)
- Sub 26:** <http://defecito.com/2008/05/28/el-ser-industrial-de-alejandra-zermeno/> (18/06/11)
- Sub 27:**
http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10130/3/Sempere%20Alemany,%20Francisco%20Javier_2.pdf
- Sub 28:** Marcos.C.”Fundición a la cera perdida: Técnica de la cascarilla cerámica. Valencia. Año 2000. Pág 209)
- Sub 29:** <http://www.britannica.com/> (20/04/09)
- Sub 30.**
Navarro Lizandra. J.L; “Maquetas, modelos y moldes: materiales y técnicas para dar forma a las ideas.” Ed. Publicacions de la Universitat Jaime I. Server de Comunicació i Publicacions. Castelló de la Plana. 2002
- Sub 31.** <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/neuquen/Trabajos/0207.PDF>
(23/09/09)
- Sub 32:** Conill, B: “Enseñanza técnico práctica de la yesería”.Ed. Uralita. Barcelona. 1928
- Sub 33:** GARATE, I., (1999). Artes de los yesos. Yiserías y Estucos. Madrid: Munilla-Lería.
- Sub 34:** Hauser, A.” Historia social de la literatura y el arte”. Ed. Guadarrama, Madrid, 1964
- Sub 35:** BRUQUETAS, R., (1994). El trabajo de la yesería en España. En T. GÓMEZ, ed, *La obra en yeso policromado de los Corral de Villalpando*. Madrid: ICRBC- Ministerio de Cultura,
- Sub 36:** Corredor Martinez, J.A. “tecnicas de fundición artistica” Ed Monografica Arte y arqueología. Universidad de Granada,1997
- Sub 37:** Vasary, Giorgio. “Las vidas de los más excelentes arquitectos, pintores y escultores italianos desde cimabue a nuestros tiempos (antología). Ed Tecnos. Madrid, 1998
- Sub 38** Midley, B. “Escultura, modelado y cerámica” Madrid. Hermann Blume, 1982.
- Sub 39:** Cellini, Benvenuto. . “Tratados de orfebrería, escultura, dibujo y arquitectura. Ed. Akal, Madrid,1989

- Sub 40** ROSIER.P .” *La sculpture: Méthodes et matériaux nouveaux*”. Paris. Dessain et Tolra.1990
- Sub 41:** Corredor Martinez, J.A. “Técnicas de fundición artística” Ed Monografica Arte y arqueología. Universidad de Granada,1997
- Sub 42** Cellini, B. . “Tratados de orfebrería, escultura, dibujo y arquitectura. Ed. Akal, Madrid,1989
- Sub 43** Vasary, Giorgio. “Las vidas de los más excelentes arquitectos, pintores y escultores italianos desde cimabue a nuestros tiempos (antología). Ed Tecnos. Madrid, 1998
- Sub 44** F.R. Morral, P.Jimeno, P.Molera. “Metalurgia general. Vol.2. editorial reverté
- Sub 45:** Gerling, H. “Moldeo Y Conformación “: Libro De Consulta Acerca De Los Procedimientos De Fabricación. Ed Reverte. 1979
- Sub 46:** Eduardo R.Abril .”Metalurgia técnica y fundición” Ed Alsina. 1956. Buenos Aires
- Sub 47:** Eduardo R.Abril .”Metalurgia técnica y fundición” Ed Alsina. 1956. Buenos Aires
- Sub 48:** Sorroche Cruz, A. “Nuevas técnicas y nuevos materiales en la fundición escultórica actual. El uso del poliestireno expandido. Ed. Bolonia s.l , Granada, 1998
- Sub 49:** Scott M. Strobl. “Fundamentos en la preparación y control de la arena verde”
<http://www.simpsongroup.com/tech/Fundamentalsofsandcontrolspanish.pdf> (14/03/11)
- Sub 50:** Scott M. Strobl. “Fundamentos en la preparación y control de la arena verde”
<http://www.simpsongroup.com/tech/Fundamentalsofsandcontrolspanish.pdf> (14/03/11)
- Sub 51;** <http://www.inasmet.es/home.aspx?tabid=1> (20/05/10)
- Sub 52:** Goodway, Martha. “History of casting”, A.S.M. Handbook.VV.AA. Ed A.S.M. 1996
- Sub 53:** Goodway, Martha. “History of casting”, A.S.M. Handbook.VV.AA. Ed A.S.M. 1996
- Sub 54:** Fernandez, Mari Cruz. “La edad de los Metales”. Grupo 16. Madrid, 1989
- Sub 55:** : Vasary, Giorgio. “Las vidas de los más excelentes arquitectos, pintores y escultores italianos desde cimabue a nuestros tiempos (antología). Ed Tecnos. Madrid, 1998
- Sub 56:** Benvenuto Cellini. “Tratados de orfebrería, escultura, dibujo y arquitectura.1989
- Sub 57.** Feinberg, Wilburt. Lost wax casting. A practitioners manual. Intermediate Technology Publications. London, 1983
- Sub 58:** Reid. D. “Waxes and Waxworking”
<http://home.c2i.net/metaphor/bkwaxworking.html> (10/02/08)
- Sub 59:** KREKELER, K. A.: Microfusión. Fundición con modelo perdido. Gustavo Gili. Barcelona, 1971
- Sub 60:** Inasmet centro tecnologico de materiales
<http://www.inasmet.es/home.aspx?tabid=1> (20/05/10)

- Sub 61:** Corredor Martinez J.A. Técnicas de fundición artística. Ed. Universidad de Granada.1997
- Sub 62:** Carmen Marcos Martinez. “Fundicion a la cera perdida. Técnica de la cascarilla cerámica”. Valencia. Diciembre 2000
- Sub 63:** Reid. D. “Specialist Waxes for Ceramic Shell”
<http://home.c2i.net/metaphor/rt.html> (10/02/08)
- Sub 64:** Reid, David. The reid Technique. <http://home.c2i.net/metaphor/rt.html> (10/02/08)
- Sub 65:** <http://biblio.unicen.edu.ar/download/sam99/indice/trabajos/titu26.pdf> (23/03/08)
- Sub 66:** <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/neuquen/Trabajos/0207.PDF> (04/04/08)
- Sub 67:** <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/neuquen/Trabajos/0207.PDF> (04/04/08)
- Sub 68:** http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/chile/Indice_Archivos/Download/E109.PDF (11/05/08)
- Sub 69:** http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/chile/Indice_Archivos/Download/E109.PDF (11/05/08)
- Sub 70:** Sorroche Cruz, A. “Nuevas técnicas y nuevos materiales en la fundición escultórica actual. El uso del poliestireno expandido. Ed. Bolonia s.l , Granada, 1998
- Sub 71:** Asuncion Dumont Botella y Antonio Sorroche Cruz. Técnicas de vidrio den horno: aplicación del poliestireno expandido como modelo gasificable en pasta de vidrio. Ed Rodych. Granada 2006
- Sub 72:**
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol11_n21/a05vol11n21.pdf
- Sub 73:** <http://www.andreharvey.com/lost-wax-process.html> (07/08/09)
- Sub 74:** Biringuccio, Vannoccio. The Pirotechnia. Dover Publications. New York, 1990
- Sub 75:** Sorroche Cruz, A. “Nuevas técnicas y nuevos materiales en la fundición escultórica actual. El uso del poliestireno expandido. Ed. Bolonia s.l , Granada, 1998
- Sub 76:** Feinberg, Wilburt. Lost Wax casting. A practitioners manual. Intermediate Technology Publications. London, 1983
- Sub 77:** Reid David. Specialist Waxes for Ceramic Shell.
http://www.cornwell.demon.co.uk/wax_1.htm (12/10/08)
- Sub: 78:** <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6260-Reciclado-de-piezas-de-poliuretano-procedentes-de-la-industria-del-automovil.html> (14/05/11)

Notas documentación gráfica:

Fig.1 http://images.google.es/imgres?imgurl=http://usuarios.lycos.es/Uxio_Noceda/-XX_XX_Vigo/Vigo0000Hacha.jpg&imgrefurl=http://usuarios.lycos.es/Uxio_Noceda/PrehistoriaCastella no.htm&usq=-sKJBIC-dC42nzcnCiDN5fbuOMY=&h=1907&w=822&sz=1016&hl=es&start=44&um=1&tbnid=TOmh4b6TQio QsM:&tbnh=150&tbnw=65&prev=/images%3Fq%3Dhachas%2Bedad%2Bde%2Bpiedra%26ndsp%3D2 0%26hl%3Des%26lr%3Dlang_es%26sa%3DN%26start%3D40%26um%3D1 (20/09/05)

Fig. 2 (tabla prehistoria): <http://www.opitzarmin.de/libro/alle/bronce01.html> (24/09/05)

Fig.3 http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Mineral_S%C3%ADlex_GDFL104.jpg (03/10/05)

Fig.4 : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Axe_polished.JPG (14/12/06)

Fig.5

http://www.google.es/imgres?q=colgante+amuleto+oro+%C3%A9poca+egipcia+3.100+antes+de+cristo &um=1&hl=es&sa=N&rlz=1R2ADBFEs&biw=1024&bih=543&tbnid=73fIM7XKNxuklM:&imgrefurl=http://html.rincondelvago.com/egipto_17.html&docid=Ksi-H8pbWIoHBM&imgurl=http://html.rincondelvago.com/000697943.png&w=150&h=135&ei=a-KvTtHQJsbIsgb618lG&zoom=1&iact=rc&dur=171&sig=118033146394844749127&page=1&tbnh=108 &tbnw=120&start=0&ndsp=8&ved=1t:429.r:5.s:0&tx=83&ty=61 (27/02/06)

Fig. 6 http://images.google.es/imgres?imgurl=http://4.bp.blogspot.com/_oeiBdtiVZtA/R-qqL4Xkg8I/AAAAAAAAARxc/6gBRkLtnmiE/s800/5309-404.jpg&imgrefurl=http://www.mtiblog.com/2008/03/mina-cueva-de-la-guerra-antigua.html&usq=fCR73V9Vt_LE_0YtaGpjep-QhLc=&h=263&w=404&sz=45&hl=es&start=10&tbnid=fHJfdkgyEa57mM:&tbnh=81&tbnw=124&prev=/images%3Fq%3Djoyas%2Bcobre%2Bnativo%2Bneolitico%26gbv%3D2%26hl%3Des%26sa%3DG 823/11/05

Fig..7 <http://www.louvre.fr/llv/commun/home.jsp?bmLocale=en> (14/07/08)

Fig.8 <http://www.heurema.com/Origenes10.htm> (07/04/08)

Fig. 9 http://images.google.es/imgres?imgurl=http://4.bp.blogspot.com/_oeiBdtiVZtA/R-qqL4Xkg8I/AAAAAAAAARxc/6gBRkLtnmiE/s800/5309-404.jpg&imgrefurl=http://www.mtiblog.com/2008/03/mina-cueva-de-la-guerra-antigua.html&usq=fCR73V9Vt_LE_0YtaGpjep-QhLc=&h=263&w=404&sz=45&hl=es&start=10&tbnid=fHJfdkgyEa57mM:&tbnh=81&tbnw=124&prev=/images%3Fq%3Djoyas%2Bcobre%2Bnativo%2Bneolitico%26gbv%3D2%26hl%3Des%26sa%3DG (27/01/07)

Fig.10 http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Egyptian_metal_workers.png (09/10/09)

Fig.11 http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya8/8metalurgia_prehispanica_tecnicas.htm (Sahágun, F. Bernardino” *Historia general de las cosas de la nueva España.*” Tomo 3. Ed. Porrúa. Mexico, 1981 (09/10/09)

Fig.12 <http://es.wikipedia.org/wiki/Mesopotamia> (12/09/08)

Fig.13 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Beaker_culture.png (12/09/08)

Fig 14

<http://images.google.es/imgres?imgurl=http://www.chaosamartin.es/imagenes/bronce1.jpg&imgrefurl=htt p://www.chaosamartin.es/museo2.htm&usq=TJT08YGy853oIQguH31OdKPrfFs=&h=105&w=250&sz=4&hl=es&start=5&um=1&tbnid=5Q0WMrSn6yyttM:&tbnh=47&tbnw=111&prev=/images%3Fq%3D hachas%2Bde%2Btalon%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1> (06/11/08)

Fig 15

http://images.google.es/imgres?imgurl=http://fanjacc.files.wordpress.com/2007/12/phaistos1.jpg&imgrefurl=http://tejiendoelmundo.wordpress.com/category/ooparts-y-objetosextranos/&usq=__UM8y6sstWM4zDcKhHv0VwrJk5U0=&h=400&w=380&sz=354&hl=es&start=45&um=1&tbnid=m66OK9J1twt6M:&tbnh=124&tbnw=118&prev=/images%3Fq%3Descudo%2Bbronce%2Bedad%2Bde%2Bbronce%26ndsp%3D20%26hl%3Des%26sa%3DN%26start%3D40%26um%3D1_1_06/11/08

Fig 16

http://images.google.es/imgres?imgurl=http://www.icarito.cl/showjpg/0..1_147566709_165.00.jpg&imgrefurl=http://www.icarito.cl/medio/articulo/0,0,38035857_152309051_147566715_1,00.html&usq=-2XL5O83NqntdWtZJTUL6a5zUE=&h=357&w=165&sz=7&hl=es&start=10&um=1&tbnid=m9dmIwIzXdajOM:&tbnh=121&tbnw=56&prev=/images%3Fq%3Dpu%25C3%25B1al%2Bde%2Bbronce%2Bprehistoria%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1_15/11/08

Fig.17

http://www.google.es/imgres?q=Trabajo+de+la+fundici%C3%B3n.+Tumba+Mereruka&um=1&hl=es&rlz=1R2ADBF_es&biw=1024&bih=543&tbnid=3eO4jba17XI_qM:&imgrefurl=http://www.egiptologia.com/arqueologia/1033-la-escultura-en-bronce-en-el-antiguo-egipto-primera-parte.html&docid=wwCT6YDyHRjMAM&imgurl=http://www.egiptologia.com/images/stories/arqueologia/bronce1/figura05.jpg&w=600&h=268&ei=i_GvTuSdGeff4QTrndmgAQ&zoom=1&iact=hc&vpx=79&vpy=182&dur=4610&hovh=150&hovw=336&tx=169&ty=95&sig=118033146394844749127&page=1&tbnh=97&tbnw=217&start=0&ndsp=8&ved=1t:429.r:0.s:0_16/01/09

Fig 18 <http://www.procobreperu.org/historia.htm> (15/06/08)

Fig.19

http://images.google.es/imgres?imgurl=http://lacomunidad.elpais.com/blogfiles/bronceatlantico/MoldeBivalvo.JPG&imgrefurl=http://lacomunidad.elpais.com/bronceatlantico/2008/11/15/-por-bronce-atlantico-&usq=__QdJKaH6toJu1eGO_2r5oi2V65dE=&h=214&w=200&sz=19&hl=es&start=1&um=1&tbnid=0DEsc1bTzg0VnM:&tbnh=106&tbnw=99&prev=/images%3Fq%3Dmolde%2Bbivalvos%2Bde%2Bfundicion%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1_13/11/07

Fig 20 http://es.encarta.msn.com/media_81570538_761585263_-1_1/Copa_y_tulipas_de_El_Argar.html (13/11/07)

Fig 21 http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Gefujia_Yan_Steamer.jpg (16/02/09)

Fig 22 http://es.wikipedia.org/wiki/Edad_de_los_Metales (07/11/08)

Fig 23 http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Dagger_Alacahoyuk.jpg (07/11/08)

Fig24 http://images.google.es/imgres?imgurl=http://www.laguia2000.com/wp-content/uploads/2007/05/edad-del-hierro.jpg&imgrefurl=http://www.laguia2000.com/la-prehistoria/la-edad-del-hierro&usq=__v7hIRIC5it6h4eNzVig7xUogUqI=&h=408&w=283&sz=10&hl=es&start=2&um=1&tbnid=hqaykOJSzFYbMM:&tbnh=125&tbnw=87&prev=/images%3Fq%3Despadas%2Bde%2Bhierro%2Bprehistoria%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1_23/11/08

Fig 25 http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya/cera_sustituto.htm (20/11/08)

Fig 26

http://images.google.es/imgres?imgurl=http://1.bp.blogspot.com/_Zlg2HZJ7rag/SDoCzyGpuNI/AAAAAAAV8/97kXYXJx37w/s320/2224330630_8092d852da.jpg&imgrefurl=http://lalogiacatorce.blogspot.com/2008/05/el-poseidn-de-artemisin.html&usq=__X6_mV-WqfF2wUF5pDgVc5GU7Rmc=&h=287&w=320&sz=10&hl=es&start=11&tbnid=UWbBfsTRoHv1sM:&tbnh=106&tbnw=118&prev=/images%3Fq%3Dposeid%25C3%25B3n%2Bde%2Bartemision%26gbv%3D2%26hl%3Des_15/03/09

Fig27

[http://images.google.es/imgres?imgurl=http://www.lacocelera.com/myfiles/desdebarcelona/Perseo-1.jpg&imgrefurl=http://desdebarcelona.lacocelera.net/post/2007/06/21/florenxia-perseo-cellini&usg=__XegB3pQpDGrtq5TCMyH-yK_6a4Q=&h=480&w=354&sz=34&hl=es&start=2&um=1&tbnid=OS8gTXMALyZERM:&tbnh=129&tbnw=95&prev=/images%3Fq%3Dperseo%26ndsp%3D20%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1\(14/06/08\)](http://images.google.es/imgres?imgurl=http://www.lacocelera.com/myfiles/desdebarcelona/Perseo-1.jpg&imgrefurl=http://desdebarcelona.lacocelera.net/post/2007/06/21/florenxia-perseo-cellini&usg=__XegB3pQpDGrtq5TCMyH-yK_6a4Q=&h=480&w=354&sz=34&hl=es&start=2&um=1&tbnid=OS8gTXMALyZERM:&tbnh=129&tbnw=95&prev=/images%3Fq%3Dperseo%26ndsp%3D20%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1(14/06/08))

Fig 28

[http://www.google.es/imgres?q=goma+eva&um=1&hl=es&sa=N&rlz=1W1ADBF_es&biw=1024&bih=543&tbnid=isch&tbnid=99Hk0tCgvqZ8BM:&imgrefurl=http://www.lasmanualidades.com/2010/11/09/adornos-infantiles-en-goma-eva&docid=7AJ1O1N5zpgF2M&imgurl=http://www.lasmanualidades.com/wp-content/uploads/2010/11/adornos-de-goma-eva-para-ninos.jpg&w=450&h=275&ei=MhuwTtO5D5TE4gTvsqmQAQ&zoom=1&iact=rc&dur=188&sig=118033146394844749127&page=13&tbnh=111&tbnw=182&start=113&ndsp=10&ved=1t:429.r:2.s:113&tx=90&ty=55\(15/02/09\)](http://www.google.es/imgres?q=goma+eva&um=1&hl=es&sa=N&rlz=1W1ADBF_es&biw=1024&bih=543&tbnid=isch&tbnid=99Hk0tCgvqZ8BM:&imgrefurl=http://www.lasmanualidades.com/2010/11/09/adornos-infantiles-en-goma-eva&docid=7AJ1O1N5zpgF2M&imgurl=http://www.lasmanualidades.com/wp-content/uploads/2010/11/adornos-de-goma-eva-para-ninos.jpg&w=450&h=275&ei=MhuwTtO5D5TE4gTvsqmQAQ&zoom=1&iact=rc&dur=188&sig=118033146394844749127&page=13&tbnh=111&tbnw=182&start=113&ndsp=10&ved=1t:429.r:2.s:113&tx=90&ty=55(15/02/09))

Fig 29 Isabel M^a Lozano Rodríguez.

Fig 30

[http://www.google.es/imgres?q=cera+virgen&um=1&hl=es&rlz=1W1ADBF_es&biw=1024&bih=543&tbnid=isch&tbnid=y_uXumP-fsdAeM:&imgrefurl=http://jabonesnaturalesdemayte.blogspot.com/2009_10_01_archive.html&docid=QD1s9QYStwKc2M&imgurl=http://3.bp.blogspot.com/_aMtM4O6fcKw/StMFF4Bm2WI/AAAAAAAAALs/A8j4yeIDegU/s320/cera%252Bvirgen.JPG&w=320&h=240&ei=ECewTraTAuih4gSXzqTWAQ&zoom=1&iact=rc&dur=141&sig=118033146394844749127&page=2&tbnh=158&tbnw=205&start=9&ndsp=9&ved=1t:429.r:2.s:9&tx=124&ty=70\(21/06/10\)](http://www.google.es/imgres?q=cera+virgen&um=1&hl=es&rlz=1W1ADBF_es&biw=1024&bih=543&tbnid=isch&tbnid=y_uXumP-fsdAeM:&imgrefurl=http://jabonesnaturalesdemayte.blogspot.com/2009_10_01_archive.html&docid=QD1s9QYStwKc2M&imgurl=http://3.bp.blogspot.com/_aMtM4O6fcKw/StMFF4Bm2WI/AAAAAAAAALs/A8j4yeIDegU/s320/cera%252Bvirgen.JPG&w=320&h=240&ei=ECewTraTAuih4gSXzqTWAQ&zoom=1&iact=rc&dur=141&sig=118033146394844749127&page=2&tbnh=158&tbnw=205&start=9&ndsp=9&ved=1t:429.r:2.s:9&tx=124&ty=70(21/06/10))

Fig. 31, 32 , 33

[http://www.google.es/imgres?q=tipos+de+plasticos&um=1&hl=es&sa=N&rlz=1W1ADBF_es&biw=1024&bih=543&tbnid=isch&tbnid=zCNgANEN-1KHfM:&imgrefurl=http://materialesplasticosydeconstruccion.blogspot.com/2011/05/tipos-de-plasticos.html&docid=y4Gfbeiu4Jxd3M&imgurl=http://2.bp.blogspot.com/_esPEsUi4sw8/TeKWZqyE40I/AAAAAAAAAAU/9HhgtD-3Gts/s1600/tipos_plasticos.gif&w=495&h=303&ei=qSqwTuE1qtXhBLf2pMsJ&zoom=1&iact=rc&dur=469&sig=118033146394844749127&page=3&tbnh=115&tbnw=188&start=19&ndsp=10&ved=1t:429.r:9.s:19&tx=82&ty=37\(17/06/11\)](http://www.google.es/imgres?q=tipos+de+plasticos&um=1&hl=es&sa=N&rlz=1W1ADBF_es&biw=1024&bih=543&tbnid=isch&tbnid=zCNgANEN-1KHfM:&imgrefurl=http://materialesplasticosydeconstruccion.blogspot.com/2011/05/tipos-de-plasticos.html&docid=y4Gfbeiu4Jxd3M&imgurl=http://2.bp.blogspot.com/_esPEsUi4sw8/TeKWZqyE40I/AAAAAAAAAAU/9HhgtD-3Gts/s1600/tipos_plasticos.gif&w=495&h=303&ei=qSqwTuE1qtXhBLf2pMsJ&zoom=1&iact=rc&dur=469&sig=118033146394844749127&page=3&tbnh=115&tbnw=188&start=19&ndsp=10&ved=1t:429.r:9.s:19&tx=82&ty=37(17/06/11))

Fig 34 Isabel Lozano Rodríguez

Fig. 35 [http://www.slideshare.net/donbelerma2/los-plasticos-5250663\(21/11/10\)](http://www.slideshare.net/donbelerma2/los-plasticos-5250663(21/11/10))

Fig.36 [http://www.tecnologiajavier.es/3eso/t01plasticos/05procesado.html\(02/04/11\)](http://www.tecnologiajavier.es/3eso/t01plasticos/05procesado.html(02/04/11))

Fig.37

[http://www.google.es/imgres?q=plasticos+moldeo+por+inyeccion&um=1&hl=es&sa=N&gbv=2&biw=1024&bih=543&tbnid=isch&tbnid=Ydvsj3zleK6IHM:&imgrefurl=http://www.petervaldivia.com/ejercicios/plasticos/index.php&docid=QMZTdDFMf6ZcWM&imgurl=http://www.petervaldivia.com/technology/plastics/image/1662-004-F7EE1007.gif&w=600&h=300&ei=ihSxTvO3Fo6KhQfLzr3cAg&zoom=1&iact=rc&dur=125&sig=118033146394844749127&page=2&tbnh=101&tbnw=201&start=8&ndsp=9&ved=1t:429.r:1.s:8&tx=74&ty=51\(24/09/09\)](http://www.google.es/imgres?q=plasticos+moldeo+por+inyeccion&um=1&hl=es&sa=N&gbv=2&biw=1024&bih=543&tbnid=isch&tbnid=Ydvsj3zleK6IHM:&imgrefurl=http://www.petervaldivia.com/ejercicios/plasticos/index.php&docid=QMZTdDFMf6ZcWM&imgurl=http://www.petervaldivia.com/technology/plastics/image/1662-004-F7EE1007.gif&w=600&h=300&ei=ihSxTvO3Fo6KhQfLzr3cAg&zoom=1&iact=rc&dur=125&sig=118033146394844749127&page=2&tbnh=101&tbnw=201&start=8&ndsp=9&ved=1t:429.r:1.s:8&tx=74&ty=51(24/09/09))

Fig 38

[http://www.google.es/imgres?q=moldeo+plasticos+por+soplado&hl=es&biw=1024&bih=543&gbv=2&tbnid=isch&tbnid=0fDm_UHeXYYqVM:&imgrefurl=http://www.kalipedia.com/popup/popupWindow.html%3FAnchor%3Dklpingtcn%26tipo%3DImprimir%26titulo%3DImprimir%2520Art%25EDculo%26xref%3D20070822klpingtcn_42.Kes&docid=Ool2mAkujCzIEM&imgurl=http://www.kalipedia.com/kalipedia/ingenieria/media/200708/22/tecnologia/20070822klpingtcn_11.Ees.SCO.png&w=555&h=538&ei=ihSxTvO3Fo6KhQfLzr3cAg&zoom=1&iact=rc&dur=125&sig=118033146394844749127&page=2&tbnh=101&tbnw=201&start=8&ndsp=9&ved=1t:429.r:1.s:8&tx=74&ty=51\(24/09/09\)](http://www.google.es/imgres?q=moldeo+plasticos+por+soplado&hl=es&biw=1024&bih=543&gbv=2&tbnid=isch&tbnid=0fDm_UHeXYYqVM:&imgrefurl=http://www.kalipedia.com/popup/popupWindow.html%3FAnchor%3Dklpingtcn%26tipo%3DImprimir%26titulo%3DImprimir%2520Art%25EDculo%26xref%3D20070822klpingtcn_42.Kes&docid=Ool2mAkujCzIEM&imgurl=http://www.kalipedia.com/kalipedia/ingenieria/media/200708/22/tecnologia/20070822klpingtcn_11.Ees.SCO.png&w=555&h=538&ei=ihSxTvO3Fo6KhQfLzr3cAg&zoom=1&iact=rc&dur=125&sig=118033146394844749127&page=2&tbnh=101&tbnw=201&start=8&ndsp=9&ved=1t:429.r:1.s:8&tx=74&ty=51(24/09/09))

[=mIqxTvmAE8jOsgaSu6Q9&zoom=1&iact=rc&dur=109&sig=118033146394844749127&page=1&tbnh=169&tbnw=174&start=0&ndsp=8&ved=1t:429,r:1,s:0&tx=79&ty=73](http://www.slideshare.net/donbelerma2/los-plsticos-5250663) (24/09/09)

Fig 39 <http://www.slideshare.net/donbelerma2/los-plsticos-5250663> (14/11/10)

Fig 40 <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/60/Polyestyrene.svg> (17/03/09)

Fig 41 <http://www.anape.es/> (09/03/08)

Fig 42 <http://pslc.ws/spanish/styrene.htm> (09/03/08)

Fig 43 <http://wikipedia.org> (13/05/08)

Fig 44 <http://www.anape.es/> (09/03/08)

Fig.45 <http://www.anape.es/> (09/03/08)

Fig 46

http://forcepol.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=3&Itemid=31
(12/04/09)

Fig 47, 48, 49

<http://isa.umh.es/isa/es/assignaturas/tftm/Tema%206%20Conformado%20por%20Moldeo%20-%20Plasticos.pdf> (03/05/10)

Fig.50 <http://www.anape.es/> (15/03/08)

Fig. 51 <http://www.anape.es/> (25/04/08)

Fig 52 <http://www.koepp.de/wSpanisch/produkte/zellpolyethylen-der-werkstoff.php> (23/06/11)

Fig. 53 <http://www.anape.es/> (14/10/10)

Fig 54 <http://www.anape.es/> (17/10/10)

Fig.55.

http://www.google.es/imgres?q=envases+de+poliestireno+expandido&um=1&hl=es&sa=N&rlz=1W1ADBF_es&biw=1024&bih=543&tbn=isch&tbnid=btKDAOZVhrqMPM:&imgrefurl=http://www.asetub.es/empresas/anape_envases/&docid=nwDk5uvZiRAYLM&imgurl=http://www.asetub.es/empresas/anape_envases/portada_envases.jpg&w=198&h=164&ei=RjyyTumuJcOo8QPFypSaAQ&zoom=1&iact=rc&dur=94&sig=118033146394844749127&page=5&tbnh=131&tbnw=158&start=38&ndsp=8&ved=1t:429,r:6,s:38&tx=96&ty=54 (25/11/10)

Fig 56 y 57 <http://www.anape.es/> (05/02/11)

Fig 58 y 59 http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.decordova.org/decordova/sculp_park/duca.htm&prev=/search%3Fq%3DPegasus%2Bby%2BA%2BDuca%26hl%3Des%26lr%3D%26sa%26DG (15/03/07)

Fig 60 Isabel M^a Lozano Rodríguez

Fig 61 y 62 <http://www.tendu.com/hotwire.htm> (04/10/08)

Fig 63, 64 y 65 Navarro Lizandra. J.L; “Maquetas, modelos y moldes: materiales y técnicas para dar forma a las ideas.” Ed. Publicacions de la Universitat Jaume I. Server de Comunicació i Publicacions. Castelló de la Plana. 2002

Fig 66 Isabel Lozano Rodríguez

Fig. 67 Isabel Lozano Rodríguez.

Fig 68 y 69 <http://www.tragacanto.com/> (13702/07)

Fig. 70 <http://www.anape.es/pdf/BOLETIN%2013.pdf> (21/08/10)
y <http://www.designbylauralucio.blogspot.com/>

Fig 71 <http://www.europapark.com/lang-de/c1174/default.html> (10/05/08)

Fig 72 <http://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado> (03/05/07)

Fig 73

http://www.google.es/imgres?q=poliestireno+extruido&um=1&hl=es&sa=N&rlz=1W1ADBF_es&tbnid=yU8Q3D2yEZj0uM:&imgrefurl=http://www.arabelen.com/actividades/cursillos/cursillo03.html&docid=F9pVVKBOPovdSM&w=800&h=600&ei=B8J5TvtOcia-wb4jdEy&zoom=1&iact=hc&vpx=718&vpy=229&dur=3281&hovh=194&hovw=259&tx=112&ty=110&page=1&tbnh=143&tbnw=177&start=0&ndsp=8&ved=1t:429,r:7,s:0&biw=1024&bih=543 (17/11/08)

Fig 74 http://dongfenggongshui.en.alibaba.com/column/207499105/process_of_lost_foam_casting.html (12/11/08)

Fig 75 <http://www.jsp.com/industries/automotive.php> (12/11/08)

Fig 76 Groover. Mikell.P “Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas”. Ed Pearson .Prentice Hall

Fig 77 <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pu/historia.htm> (12/03/09)

Fig 78 <http://www.lafleurnouvelle.com/lang-es/367-brique-de-mouse-dure-pour-piquer-vos-fleurs-naturelles.html> (15/05/10)

Fig 79, 80, 81 y 82 <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3904/14/34017-14.pdf> (16/06/10)

Fig 83 <http://www.atempa.org/> (02/05/09)

Fig 84 <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3904/14/34017-14.pdf> (16/06/10)

Fig 85 y 86 <http://www.atempa.org/> (02/05/09)

Fig 87 <http://www.ucm.es/BUCM/revistas/bba/11315598/articulos/ARIS0909110027A.PDF> (17/09/08)

Fig 88 http://cefnoticias.com.ar/13_arte%2008%2004-08-2011%20Los%20Musicos.php (23/05/11)

Fig 89 <http://defecito.com/2008/05/28/el-ser-industrial-de-alejandra-zermeno/> (17/05/09)

Fig 90 http://www.multireformes.com/servicios_poliuretano.htm (05/05/10)

Fig 91 <http://es.wikipedia.org/wiki/Etilvinilacetato> (23/04/10)

Fig.92 <http://www.solostocks.com.mx/venta-productos/plasticos-derivados/materias-plasticas/eva-etil-vinil-acetato-859243> (15/05/11)

Fig. 93

http://www.google.es/imgres?q=acetato+de+vinilo&hl=es&biw=1024&bih=543&gbv=2&tbnid=raJcJhnkEAX5ZM:&imgrefurl=http://alfadental.cl/lista_productos.htm&docid=AwnotwAUNSvfgM&imgurl=http://alfadental.cl/images/productos/acetatoVinilo.jpg.jpg&w=300&h=225&ei=rty4Tva0MuOG4gTm-rnvBw&zoom=1&iact=rc&dur=63&sig=118033146394844749127&page=3&tbnh=152&tbnw=164&start=17&ndsp=9&ved=1t:429,r:3,s:17&tx=84&ty=94 (19/05/11)

Fig 94

http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10130/3/Sempere%20Alemany,%20Francisco%20Javier_2.pdf
(12/02/09)

Fig 95 y 96

http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10130/3/Sempere%20Alemany,%20Francisco%20Javier_2.pdf
(12/02/09)

Fig 97

http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10130/3/Sempere%20Alemany,%20Francisco%20Javier_2.pdf
(12/02/09)

Fig 98 <http://issuu.com/cosass/docs/p.e> (13/01/11)

Fig 99 y 100 <http://issuu.com/cosass/docs/p.e> (13/01/11)

Fig 101

<http://www.google.es/imgres?q=calandrado+de+termoplasticos&hl=es&gbv=2&biw=1190&bih=732&tbn=isch&tbnid=Ta2E7M4yGpkc6M:&imgrefurl=http://www.monografias.com/trabajos32/procesamiento-plasticos/procesamiento-plasticos.shtml&docid=BUesFWgGoXlhLM&imgurl=http://www.monografias.com/trabajos32/procesamiento-plasticos/Image3398.jpg&w=479&h=264&ei=kXe1TqHOEtK68gOyleCdBQ&zoom=1&iact=hc&vpx=84&vpy=327&dur=2625&hovh=167&hovw=303&tx=192&ty=89&sig=108686013588935486556&page=4&tbnh=107&tbnw=194&start=55&ndsp=15&ved=1t:429,r:0,s:55> (23/04/09)

Fig 102

<http://www.google.es/imgres?q=calandrado&hl=es&biw=1190&bih=769&gbv=2&tbn=isch&tbnid=4qeJVEPupKaNuM:&imgrefurl=http://mimundoplastico.wordpress.com/2010/06/17/tecnica-de-conformacioncalandrado/&docid=v1QTg5ZSIFgb3M&imgurl=http://mimundoplastico.files.wordpress.com/2010/06/calandrado.gif&w=400&h=178&ei=KHq1Tp3lBsmr8QP54MXwBA&zoom=1&iact=hc&vpx=405&vpy=202&dur=7625&hovh=142&hovw=320&tx=185&ty=74&sig=105900058620446952207&page=1&tbnh=72&tbnw=161&start=0&ndsp=24&ved=1t:429,r:2,s:0> (23/04/09)

Fig 103

[http://www.google.es/imgres?q=calandrado&hl=es&biw=1190&bih=769&gbv=2&tbn=isch&tbnid=5lWwByYwkBHhM:&imgrefurl=http://es.wikipedia.org/wiki/Calandria_\(m%25C3%25A1quina\)&docid=iw15nQuJNOBM-&imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6c/Calender_process.png/220px-Calender_process.png&w=220&h=186&ei=KHq1Tp3lBsmr8QP54MXwBA&zoom=1&iact=hc&vpx=968&vpy=174&dur=62&hovh=148&hovw=176&tx=110&ty=63&sig=105900058620446952207&page=1&tbnh=121&tbnw=141&start=0&ndsp=24&ved=1t:429,r:5,s:0](http://www.google.es/imgres?q=calandrado&hl=es&biw=1190&bih=769&gbv=2&tbn=isch&tbnid=5lWwByYwkBHhM:&imgrefurl=http://es.wikipedia.org/wiki/Calandria_(m%25C3%25A1quina)&docid=iw15nQuJNOBM-&imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6c/Calender_process.png/220px-Calender_process.png&w=220&h=186&ei=KHq1Tp3lBsmr8QP54MXwBA&zoom=1&iact=hc&vpx=968&vpy=174&dur=62&hovh=148&hovw=176&tx=110&ty=63&sig=105900058620446952207&page=1&tbnh=121&tbnw=141&start=0&ndsp=24&ved=1t:429,r:5,s:0) (24/04/09)

Fig 104

<http://www.google.es/imgres?q=goma+eva&hl=es&biw=1190&bih=769&gbv=2&tbn=isch&tbnid=H4kfLm75O2pUNM:&imgrefurl=http://www.woomanualidades.com/2010/01/video-como-hacer-rosas-de-goma-eva/&docid=ipAUy9lQy6uNoM&imgurl=http://www.woomanualidades.com/wp-content/uploads/2010/01/rosas-gomaeva.jpg&w=301&h=262&ei=ZnulTt6-GsKs8gO5qvmMBQ&zoom=1&iact=hc&vpx=659&vpy=249&dur=1359&hovh=209&hovw=240&tx=134&ty=101&sig=107296725037307400828&page=1&tbnh=127&tbnw=134&start=0&ndsp=26&ved=1t:429,r:23,s:0> (01/05/09)

Fig. 105

http://www.google.es/imgres?q=goma+eva&hl=es&biw=1190&bih=769&gbv=2&tbn=isch&tbnid=zqJ42zYzfTH8eM:&imgrefurl=http://bogota.evisos.net/fotos/anuncio/fomi-fomy-foami-o-goma-eva-como-la-id-534117&docid=J45iTfgHsE4MiM&imgurl=http://www.evisos.com.co/images/advertisements/2009/07/06/fomi-fomy-foami-o-goma-eva-como-la_61b02da8c_3.jpg&w=500&h=666&ei=ZnulTt6-GsKs8gO5qvmMBQ&zoom=1&iact=hc&vpx=805&vpy=313&dur=2812&hovh=259&hovw=194&tx=9

[5&ty=133&sig=107296725037307400828&page=7&tbnh=123&tbnw=98&start=165&ndsp=26&ved=1t:429,r:4,s:165](http://www.google.es/imgres?q=maquina+cortar+eva&hl=es&gbv=2&biw=1190&bih=732&tbnh=123&tbnw=98&start=165&ndsp=26&ved=1t:429,r:4,s:165) (28/05/10)

Fig 106

<http://www.google.es/imgres?q=maquina+cortar+eva&hl=es&gbv=2&biw=1190&bih=732&tbnh=123&tbnw=98&start=165&ndsp=26&ved=1t:429,r:4,s:165>
http://craftychile.blogspot.com/2008/04/maquinas-cortadoras.html&docid=tzNmQ44Tp2QPM&imgurl=http://2.bp.blogspot.com/_TPcHLf4VN-8/R_pviWLEeYI/AAAAAAAAACo/vho9Z6weBNI/s200/DSC03675.JPG&w=200&h=150&ei=HX21ToqKCIz8QO175HqBA&zoom=1&iact=hc&vpx=587&vpy=491&dur=156&hovh=120&hovw=160&tx=99&ty=94&sig=104446969392442959386&page=2&tbnh=120&tbnw=160&start=26&ndsp=15&ved=1t:429,r:7,s:26 (15/06/11)

Fig 107

<http://www.google.es/imgres?q=maquina+cortar+eva&hl=es&gbv=2&biw=1190&bih=732&tbnh=123&tbnw=98&start=165&ndsp=26&ved=1t:429,r:4,s:165>
<http://www.enlog.us/es/products/Cortadoras-de-l%25C3%25A1minas&docid=j1hRwz0LQ8ChUM&imgurl=http://www.enlog.us/inc/img/upimages/116.gif&w=140&h=105&ei=HX21ToqKCIz8QO175HqBA&zoom=1&iact=hc&vpx=727&vpy=375&dur=1968&hovh=84&hovw=112&tx=95&ty=48&sig=104446969392442959386&page=2&tbnh=84&tbnw=112&start=26&ndsp=15&ved=1t:429,r:13,s:26> (15/06/11)

Fig 108 y 109

http://1.bp.blogspot.com/_-RECjKsv7M/RdSt2eBFxSI/AAAAAAAAAek/POsmDE-ilt8/s1600-h/Ji_Eun_Lee.jpg (02/05/11)

Fig 110

<http://www.google.es/imgres?q=esculturas+en+Goma+Eva&hl=es&biw=1190&bih=769&gbv=2&tbnh=123&tbnw=98&start=165&ndsp=26&ved=1t:429,r:4,s:165>
<http://www.zirgertz.com/MASCOTAS.swf&docid=IOnRKEGBaq9v7M&imgurl=http://www.zirgertz.com/2009S3M4a.jpg&w=527&h=445&ei=poC1TpfkF87B8QOikZGjBQ&zoom=1&iact=hc&vpx=93&vpy=139&dur=4015&hovh=206&hovw=244&tx=123&ty=102&sig=112269506973563415268&page=1&tbnh=129&tbnw=153&start=0&ndsp=28&ved=1t:429,r:0,s:0> (16/04/10)

Fig. 111

<http://www.google.es/imgres?q=esculturas+en+Goma+Eva&hl=es&biw=1190&bih=769&gbv=2&tbnh=123&tbnw=98&start=165&ndsp=26&ved=1t:429,r:4,s:165>
http://jorgegasseti.blogspot.com/2009/06/esculturas-de-jorge-gasseti-en-brasil.html&docid=vB_AIRJaEpJ99M&imgurl=http://2.bp.blogspot.com/_Ig4V4VHzXFf/S-5AbZZKhtI/AAAAAAAAAMw/f-Fzxy2psQw/s1600/jorge2010%252B2067.jpg&w=600&h=450&ei=poC1TpfkF87B8QOikZGjBQ&zoom=1&iact=hc&vpx=253&vpy=145&dur=32&hovh=194&hovw=259&tx=116&ty=76&sig=112269506973563415268&page=1&tbnh=129&tbnw=158&start=0&ndsp=28&ved=1t:429,r:1,s:0 (17/04/10)

Fig 112

<http://www.google.es/imgres?q=escultura+goma+eva&hl=es&gbv=2&biw=1190&bih=732&tbnh=123&tbnw=98&start=165&ndsp=26&ved=1t:429,r:4,s:165>
http://jorgegasseti.blogspot.com/2009/06/esculturas-de-jorge-gasseti-en-brasil.html&docid=vB_AIRJaEpJ99M&imgurl=http://2.bp.blogspot.com/_Ig4V4VHzXFf/S-5AbZZKhtI/AAAAAAAAAMw/f-Fzxy2psQw/s1600/jorge2010%252B2067.jpg&w=600&h=450&ei=4oW1TunZG9K68gOyleCdBQ&zoom=1&iact=hc&vpx=539&vpy=141&dur=1640&hovh=194&hovw=259&tx=187&ty=98&sig=108558237846526516215&page=1&tbnh=122&tbnw=174&start=0&ndsp=30&ved=1t:429,r:3,s:0 (17/04/10)

Fig 113: http://www.museuprehistoriavalencia.es/ficha_museo_virtual.html?cnt_id=10 (13/05/09)

Fig 114: <http://ruthla.blogs.uv.es/2011/08/23/africa-recursos-naturales/yeso-2/> (23/03/08)

Fig 115: Isabel Lozano Rodríguez

Fig 116 <http://lugaresendigital.blogspot.com/2009/03/un-paseo-por-la-alhambra-i.html> (14/06/11)

Fig 117 Sorroche Cruz, A. “Nuevas técnicas y nuevos materiales en la fundición escultórica actual. El uso del poliestireno expandido. Ed. Bolonia s.l , Granada, 1998

Fig 118 Isabel Lozano Rodríguez.

Fig 119: <http://www.fundicionesmacar.com.ar/matriceria.html> (14/05/09)

Fig 120 Groover. Mikell.P “Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas”. Ed Pearson .Prentice Hall

Fig 121

http://www.google.es/imgres?imgurl=http://cv.uoc.edu/~04_999_01_u07/percepcions/colleoni.jpg&imgrefurl=http://cv.uoc.edu/~04_999_01_u07/percepcions/perc51a.html&usq=__7rg3GW2CS4fZydxJ4ayR-LlhvyA=&h=653&w=490&sz=494&hl=es&start=0&zoom=1&tbnid=vTQo-8hjql_0EM:&tbnh=103&tbnw=80&ei=ukEpTseMG8bKsgb0qvGTDA&prev=/search%3Fq%3Dcondoti%2Bde%2Bverrochio%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DN%26rlz%3D1W1ADBF_es%26biw%3D1024%26bih%3D543%26tbn%3Disch&um=1&itbs=1&iact=rc&dur=625&page=1&ndsp=20&ved=1t:429.r:0.s:0&tx=30&ty=63 (03/05/08)

Fig 122 Corredor Martinez, J.A. “Técnicas de fundición artística” Ed Monográfica Arte y arqueología. Universidad de Granada,1997

Fig 123 Isabel Lozano Rodríguez

Fig 124 http://www.google.es/imgres?imgurl=http://2.bp.blogspot.com/_SN-m_4hz5J8/SNWkHQ69mMI/AAAAAAAAAdc/AMPKZLTKr54/s400/cortes_esc.jpg&imgrefurl=http://artevalor.blogspot.com/2008/08/desnudo-femenino-en-escultura.html&usq=__Q1Sd_ng_clCw0k4fnd5J189fvs8=&h=400&w=300&sz=29&hl=es&start=84&zoom=1&tbnid=fh7pw1pnSF6E5M:&tbnh=116&tbnw=87&ei=PWYpTsjtC8zvsgbwHsXxCw&prev=/search%3Fq%3Ddescultura%2Bmolde%2Bde%2Byeso%26hl%3Des%26biw%3D1024%26bih%3D543%26gbv%3D2%26tbn%3Disch&itbs=1&iact=hc&vpx=632&vpy=163&dur=141&hovh=259&hovw=194&tx=118&ty=187&page=6&ndsp=18&ved=1t:429.r:16.s:84&biw=1024&bih=543 (24/09/08)

Fig 125

http://2.bp.blogspot.com/_dHP22BgJHIA/TMS4gy7FTGI/AAAAAAAAADY/cypO1LYezkQ/s1600/microfusion-joyeria-6.jpg (03/06/09)

Fig 126 Permeabilidad y resistencia mecánica de cáscaras cerámicas empleadas en el proceso de microfundición

María del Pilar Torres Sanabria ; Luis Fernando Lozano Gómez

Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Colombia

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1561-08882008000100005&script=sci_arttext (19/09/09)

Fig 127: <http://www.laboratoriodentalcespo.com/Informacion%20ZirkonZahn.htm> (13/06/10)

Fig 128 y 129: Eduardo R.Abril .”Metalurgia técnica y fundición” Ed Alsina. 1956. Buenos Aires

Fig 130:

http://www.google.es/imgres?q=arena+de+s%C3%ADlice&hl=es&biw=1190&bih=769&gbv=2&tbnid=ch&tbnid=jxPxjXpMCnQPpM:&imgrefurl=http://www.mundojardineria.com/product/arena-de-silice-1.html&docid=nAYzdM9Io7rCgM&imgurl=http://www.mundojardineria.com/site/product/45/55/64622/30431/arena-de-silice-1_0_prs4.jpg&w=377&h=300&ei=NWy2Tu3_G5G38gPc4ajyBA&zoom=1&iact=hc&vpx=390&vpy=286&dur=1625&hovh=200&hovw=252&tx=154&ty=97&sig=111594988790064298215&page=1&tbnh=133&tbnw=155&start=0&ndsp=22&ved=1t:429.r:7.s:0 (15/04/08)

Fig 131 <http://www.simpsongroup.com/tech/Fundamentalsofsandcontrolspanish.pdf> (17/02/08)

Fig 132 <http://www.simpsongroup.com/tech/Fundamentalsofsandcontrolspanish.pdf> (17/02/08)

Fig 133, 134, 135, 136, 137, 138 y 139: Sorroche Cruz, A. "Nuevas técnicas y nuevos materiales en la fundición escultórica actual. Ed. Bolonia S.L, Granada 1998

Fig 140 Sorroche Cruz, A. "Nuevas técnicas y nuevos materiales en la fundición escultórica actual. Ed Bolonia S.L, Granada 1998

Fig 141 Isabel M^a Lozano Rodríguez

Fig 142:

http://www.google.es/imgres?q=carro+del+sol+de+Trundholm&hl=es&biw=1190&bih=769&gbv=2&tbm=isch&tbnid=Jfo0y7SzG4a_BM:&imgrefurl=http://mirincondelabahia.wordpress.com/page/40/%3Farchives-list%26archives-type%3Dtags&docid=jhNt0wCwACTiVM&imgurl=http://mirincondelabahia.files.wordpress.com/2010/03/chariot-of-the-sun-ca-1400-bc-recovered-in-1902-from-trundholm-marsh-in-denmark-the-sun-is-a-bronze-disk-covered-with-gold-leaf-drawn-on-wheels-by-a-horse.jpg&w=418&h=300&ei=2nq2TuDeGdL18QYP4inBQ&zoom=1&iact=hc&vpx=519&vpy=251&dur=1344&hovh=190&hovw=265&tx=156&ty=101&sig=106954783718527794563&page=1&tbnh=128&tbnw=181&start=0&ndsp=24&ved=1t:429,r:21,s:0 (08/11/10)

Fig 143:

<http://www.google.es/imgres?q=moldeo+cascara+ceramica&hl=es&biw=1024&bih=543&gbv=2&tbm=isch&tbnid=iOXYd5bEPkD5FM:&imgrefurl=http://www.scielo.org.pe/scielo.php%3Fpid%3DSciArttext&docid=y-UUEufegMm54M&imgurl=http://www.scielo.org.pe/img/revistas/iigeo/v11n21/a05foto02.jpg&w=364&h=330&ei=DOG4TovtNo6IhQfQnKWfBw&zoom=1&iact=rc&dur=312&sig=118033146394844749127&page=1&tbnh=164&tbnw=182&start=0&ndsp=8&ved=1t:429,r:1,s:0&tx=117&ty=75> (19/11/09)

Fig. 144 Isabel Lozano Rodríguez

Fig. 145 <http://www.prodcosa.com.mx/silicecoloidal.html> (13/07/10)

Fig 146 <http://www.prodcosa.com.mx/silicecoloidal.html> (13/07/10)

Fig 147 <http://definicion.de/grafito/> (02/04/08)

Fig 148 y 149 Isabel Lozano Rodríguez

Fig 150, 151 y 152 Isabel Lozano Rodríguez

Fig 153 <http://webpages.ull.es/users/fundir/nuevos%20procedimientos%20escultoricos.htm> (12/05/10)

Fig 154, 155 y 156 <http://cursodefundicion.blogspot.com/> (12/05/10)

Fig 157 a 171 <http://cursodefundicion.blogspot.com/> 07/11/10)

Fig 172 y 173 Sorroche Cruz, A. "Nuevas técnicas y nuevos materiales en la fundición escultórica actual. El uso del poliestireno expandido. Ed. Bolonia s.l , Granada, 1998

Fig 174 y 175

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol11_n21/a05vol11n21.pdf
(04/10/08)

Fig 176. Isabel Lozano Rodríguez

Fig 177: <http://www.andreharvey.com/spanish/wax.html> (13/10/08)

Fig 178 a 329 Isabel Lozano Rodríguez

Fig 330: <http://www.slideshare.net/guesta3d1bc/reciclaje-del-plastico> (24/04/11)

Fig. 331: <http://www.slideshare.net/guesta3d1bc/reciclaje-del-plastico> ((24/04/11)

Fig. 332: <http://www.amarilloverdeyazul.com/tags/puntos-limpios/page/2/> (17/05/11)

Fig: 333: www.anape.es (03/06/11)

Fig 334: <http://www.amarilloverdeyazul.com/tags/puntos-limpios/page/2/> (17/07/11)

Unidades de medida y acrónimos de interés:

Grados shore – dureza shore: mide la reacción elástica de un material.

Kg/m³: unidad de medida de la densidad. Kilogramo por metro cúbico

MPa : (Megapascal) Unidad de presión que expresa la fuerza que se ejerce por unidad de superficie.

N/mm²: Unidad de presión en el sistema internacional de unidades., donde N es un Newton, unidad de fuerza, por milímetro cuadrado.

N/cm²: Newton por centímetro cuadrado

Psi : unidad de presión en el Sistema de unidades. Libra-fuerza por pulgada.

EPS: Expanded Polystyrene (poliestireno expandido)

XPS: Extruded Polystyrene (poliestireno extruído o extrusionado)

EVA: Etil Vinil Acetato

PUR: Poliuretano

LOST FOAM: Espuma perdida (referente a la fundición con modelo perdido)

EVAPORATIVE PATTERN CASTING: Fundición modelo gasificable

CAVITELESS MOLD PROCESS – FULL MOLD PROCESS: proceso de molde lleno

Glosario

GLOSARIO:

Tiene un carácter informativo de términos que han aparecido a lo largo del trabajo, específicos del área escultórica que tratamos y que podrían crear confusión. El objetivo de este apartado es aclarativo.

AGENTE EXPANDENTE: hidrocarburo de bajo punto de ebullición: en el caso del Poliestireno Expandido; pentano

ALÚMINA: material residual proveniente de la desoxidación del acero y que constituye en este inclusiones muy finas y duras. Se presenta en formas cristalinas y diversos tamaños de partícula dependiendo del uso que vaya a darse. La alúmina calcinada constituye un material refractario de alta calidad.

ARCILLAS ESMÉCTICAS: también llamadas *bentonitas*, son materiales deteritivos (con capacidad de limpiar). Su extrema porosidad le permite absorber las grasas, por ello es muy utilizado en varios procesos industriales, por ejemplo como emulsionante. En la formación de estas arcillas tienen lugar materiales de origen volcánico, aguas marinas e hidrotermales

ARENA: es un conjunto de granos procedentes de partículas disgregadas de las rocas. Su tamaño varía entre 0,063 y 2 mm. El componente más común de las arenas es el sílice en forma de cuarzo. Las arenas de fundición se caracterizan por soportar altas temperaturas y debido a su forma de grano (redondos o irregulares) alcanzan gran compactación que las hacen aptas para el copiado de piezas de fundición.

BENTONITA: es una arcilla utilizada en cerámica de grano muy fino. Está compuesta principalmente de sílice coloidal y mohtmorillonita, que proviene de la alteración de antiguas cenizas volcánicas.

BRONCE: cuerpo metálico que resulta de la aleación de cobre con el estaño.

CATIÓN: es un ión, sea átomo o molécula, con carga eléctrica positiva. Ha perdido electrones.

CERA: material blando y amarillento de origen animal, vegetal o mineral.

CERÁMICA: fenómeno de endurecimiento que sufre la arcilla mediante la cocción.

CIZALLAMIENTO: Determinación de la resistencia a la cortadura. / Tipo de deformación en el que los planos de una pieza se desplazan unos con respecto a otros paralelamente a sí mismos.

COLOIDAL: que puede pegarse, formado por moléculas muy grandes.

En química un coloide, suspensión coloidal o dispersión coloidal es un sistema fisicoquímico formado por dos o más fases, principalmente: una *continua*, normalmente fluida, y otra *dispersa* en forma de partículas; por lo general sólidas.

COMPRESIÓN (esfuerzo de): resultado de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable, caracterizado porque tiende a una reducción de volumen o acortamiento en determinada dirección.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA: facilidad que tiene un material para transmitir el calor. Físicamente significa: Cantidad de calor que pasa a través de un metro cuadrado de un material de caras plano-paralelas de espesor un metro, durante una hora, cuando, entre las dos caras opuestas, hay una diferencia de temperatura de 1°C.”

CONTRACCIÓN: acción y efecto de contraer. Disminuir en longitud y volumen.

CONTRAMOLDE: parte de un molde que sujeta la forma evitando su deformación.

CONVECCIÓN: transporte de cantidades de calor por los cuerpos en movimiento. Este fenómeno se produce cuando un cuerpo caliente es sumergido en un líquido o gas, formándose corrientes en el fluido como consecuencia del calentamiento al contacto con el cuerpo caliente.

CRISOL: recipiente hecho con tierra refractaria, alúmina, grafito o un metal de aleación. Se emplea en las fundiciones o calcinación de ciertas sustancias.

CUARZO: anhídrido silícico compuesto de sílice que forma cristales trigonales, de tamaño y color variables en función de las impurezas presentes. Es muy duro y abundante en la naturaleza; formando parte de todo tipo de rocas.

CHAMOTA: se denomina así a la arcilla cocida. Se prepara con materiales cocidos de desecho. Su buena porosidad hace que resista las variaciones de temperatura. Se emplea también como revestimiento refractario. / Material arcilloso que granulado y cocido a

alta temperatura se emplea como desengrasante de pastas cerámicas refractarias con las que se mezcla para disminuir su plasticidad.

CHOQUE TÉRMICO: se refiere a la rotura de algún material al sufrir un cambio drástico de temperatura.

DENSIDAD: es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia.

DENSIDAD DE LOS LÍQUIDOS: cociente resultante de dividir masa del líquido desplazado por la masa del mismo volumen de agua.

DESCASCARILLAR: despojar de una cáscara.

DUREZA: la resistencia que opone un cuerpo a ser penetrado por otro.

EBULLICIÓN: es el proceso físico en que un líquido pasa a estado gaseoso./ Fenómeno que acompaña el paso del estado líquido al de vapor cuando el proceso de vaporización tiene lugar no sólo en la superficie sino en el interior del líquido.

ELASTICIDAD: facultad que posee un cuerpo para sufrir una deformación que cesa tras la supresión del esfuerzo.

ESCORIA: producto de desecho formado comúnmente por óxidos, silicatos...

ESTÉR: compuesto orgánico por adición de un ácido y un alcohol con eliminación de agua.

ESTIRENO: hidrocarburo bencénico que se encuentra principalmente en los alquitranes de hulla.

ESTRUCTURA CRISTALINA: ordenación interna de los cristales.

ETILENO: compuesto químico orgánico formado por dos átomos de carbono mediante doble enlace.

FLEXIÓN: tipo de deformación que presenta un elemento en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

FUNDENTE: es un material que recoge las impurezas. Se emplean en la metalurgia cuyo objetivo es eliminar la incorporación de impurezas. Existe una función del fundente, y es facilitar la fusión del metal, bajando su punto de fusión.

FUNDICIÓN: acción y efecto de fundir. Procedimiento de fusión y purificación de metales y sus aleaciones. Instalación metalúrgica en la que se funden metales o aleaciones.

Una fundición está compuesta por una serie de operaciones características:

- 1) Modelaje: realización del modelo a fundir.
- 2) Moldeo: preparación del molde para la colada. Estos pueden ser de arena o metal principalmente.
- 3) Fusión: el metal pasa a estado líquido.
- 4) Colada: vertido del metal en los moldes.
- 5) Desmoldeo: abrir del molde para extraer la pieza una vez enfriado el metal.
- 6) Acabado: eliminar rebabas y limpieza de la pieza extraída en metal.

GAS: cuerpo fluido cuya fuerza cohesiva es prácticamente nula y tiende a ocupar totalmente el volumen en el que está cerrado.

GOMA LACA: sustancia orgánica que se obtiene a partir del residuo o secreción resinosa de un insecto llamado "gusano de la laca" o *Kerria laca*, que habita en el sudeste asiático; Indonesia o Sri Lanka

GRANULACIÓN: acción de granular o granularse. Aglomeración de granos de una sustancia pulverulenta humedecida.

GRUPOS FELINO: en química orgánica, es el radical formado por 6 átomos de carbono y 5 átomos de hidrógeno.

HIDRÓFILO: que tiene capacidad para absorber agua.

HIDROSTÁTICA: parte de la mecánica que estudia las condiciones de equilibrio de los líquidos.

HIDROSTÁTICA, PRESIÓN: fuerza ejercida perpendicularmente por unidad de área.

INOCUIDAD: que no hace daño: sustancia inocua.

METAL: cuerpos que pueden ser forjados.

Estas propiedades se deben a la estructura particular de sus átomos y sus recíprocas combinaciones. Debido a su distribución correcta de los átomos, dispuestos en planos y en el espacio; en los cuerpos cristalinos y en los metales, forman una red espacial cristalina. Ello hace posible sus propiedades de elasticidad y plasticidad.

MOLÉCULA: la parte más pequeña de una sustancia que conserva sus propiedades químicas, y a partir de la cual se puede reconstituir la sustancia sin reacciones químicas.

Conjunto estable y eléctricamente neutro de al menos dos átomos enlazados covalentemente.

MONÓMERO: es una molécula de pequeña masa molecular que unida a otros monómeros por medio de enlaces químicos, forman macromoléculas llamadas polímeros.

MUFLA: son hornos de tiro superior que proveen de un recipiente de material refractario para proteger la cerámica de las llamas directas o de la oxidación.

OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: son las reacciones que constituyen la base de muchos procesos metalúrgicos, en los que la escoria puede llevar disueltos uno o más de los reactivos y de los productos de reacción.

PENTANO: hidrocarburo saturado o alcano. Fórmula química $C_5 H_{12}$. Se encuentra en forma líquida a temperatura ambiente.

PERMEABILIDAD: propiedad de dejar filtrar líquidos o gases a través de ellos mismos.

PETRÓLEO: mezcla homogénea de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos insolubles en agua.

PLÁSTICO: materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación semi-natural de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales. Son similares

estructuras que carecen de un punto fijo de evaporación y poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones. / Dúctil, blando, fácil de moldear. Término plasticidad.

POLIBUTADIENO: es un elastómero o caucho sintético que se obtiene de la polimerización del butadieno.

POLIMERIZACIÓN: reacción en que dos o más moléculas se combinan para formar otra en la que se repiten unidades estructurales de las primitivas y su composición porcentual. Varias moléculas de bajo peso molecular llamadas monómeros se unen y dan lugar a moléculas mayores llamadas polímeros.

POLÍMERO: compuesto de elevado peso molecular formado por polimeración de monómeros iguales o distintos./ Materia plástica, mezcla cuyo componente fundamental es una sustancia macromolecular y que en general posee la propiedad de ser moldeable.

POLIURETANO: Son materiales sintéticos que proporcionan productos de gran elasticidad: gomas, espumas...,se emplea como pegamento y como barniz de gran dureza, se puede manufacturar en forma de espuma en el lugar de uso, se obtiene en forma sólida a partir de dos reactantes, el artículo final se puede extruir, calandrar, fundir. Los poliuretanos han sido un material tradicional en la fabricación de espuma flexible y espuma rígida.

POROSIDAD: calidad de poroso. Capacidad de un material de absorber líquidos o gases. En metal: defecto consistente en una serie de pequeñas cavidades o minúsculas sopladuras de paredes lisas y contornos redondeados, que aparecen en algunas piezas de fundición como consecuencia de una oclusión gaseosa.

REFRACTARIO: se dice de ciertos materiales como la arcilla que resisten elevadas temperaturas sin fundirse, y a la acción de diversos productos químicos y físicos.

RESINAS: La resina es cualquiera de las sustancias de secreción de las plantas. También las sustancias que sufren un proceso de polimerización o secado dando lugar a productos sólidos siendo en primer lugar líquidas como poliéster, poliuretano, poliestireno.... Se dividen pues en resinas naturales y sintéticas.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: es la respuesta de un material ante una carga aplicada sobre él. En los materiales aislantes térmicos se determina según la norma UNE-EN 826 para una deformación del 10% de su espesor, asegurando así la precisión y repetibilidad de los resultados.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN: es la máxima resistencia de un material justo antes de su rotura

RESISTENCIA TÉRMICA: oposición al paso del calor.

SILO: estructura diseñada para almacenar grano u otros materiales a granel.

SINTERIZACIÓN: es el proceso por el cual se consigue que pequeñas partículas de un material, se mantengan unidas por difusión al estado sólido.

SINTÉTICO: perteneciente o relativo a la síntesis, preparación de un compuesto a partir de cuerpos simples que corresponden a los elementos constitutivos.

SISTEMA DE COLADA: es la red de conductos a través de los cuales el metal líquido llega a todas las partes de un molde. Se compone de:

- bebedero principal de colada
- bebedero primario
- bebedero secundario

SOLIDIFICACIÓN: paso de un cuerpo del estado líquido a sólido. El proceso sigue las siguientes leyes:

- a) Todo cuerpo se solidifica a la temperatura que se funde
- b) Durante la solidificación la temperatura es constante
- c) Al solidificar un cuerpo, desprende la misma cantidad de calor que absorbe al fundirse.

TALCO: silicato natural de magnesio de escasa dureza, suave y untuoso al tacto, adherente y de color diverso.

TRACCIÓN: esfuerzo al que está sometido un cuerpo, por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto y tienden a estirarlo.

TRIPOLÍ: roca que se deshace con facilidad y pulverulenta, utilizada para limpiar y pulir metales, piedras duras, mármoles y vidrios.

VISCOSIDAD: calidad de viscoso, pegajoso, glutinoso. Grado de espesamiento.

SISTEMA DE COLADA: es la red de conductos a través de los cuales el metal líquido llega a todas las partes de un molde. Se compone de:

- bebedero principal de colada
- bebedero primario
- bebedero secundario

SOLIDIFICACIÓN: paso de un cuerpo del estado líquido a sólido. El proceso sigue las siguientes leyes:

- a) Todo cuerpo se solidifica a la temperatura que se funde
- b) Durante la solidificación la temperatura es constante
- c) Al solidificar un cuerpo, desprende la misma cantidad de calor que absorbe al fundirse.

TALCO: silicato natural de magnesio de escasa dureza, suave y untuoso al tacto, adherente y de color diverso.

TRACCIÓN: esfuerzo al que está sometido un cuerpo, por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto y tienden a estirarlo.

TRIPOLÍ: roca que se deshace con facilidad y pulverulenta, utilizada para limpiar y pulir metales, piedras duras, mármoles y vidrios.

VISCOSIDAD: calidad de viscoso, pegajoso, glutinoso. Grado de espesamiento.

Referencias
bibliográficas

BIBLIOGRAFÍA:**ESCRITA****A**

ALBRECHT, H. (1981) *“La escultura del siglo XX”*. Barcelona, Blume,.

ALSINA BENAVENTE, J. (1992) *“La fundición a la cera perdida (microfusión)”*. Barcelona, Alsina,

AMERICAN FOUNDRYMEN’S SOCIETY. (1998) *“Lost foam, showcasing the process”*. Alabama. Octubre .

B

BIRINGUCCIO, VANNOCCIO (1990) *“The pirotecniá”*. Dover publication. New York

BOZAL FERNANDEZ, V. (1970) *“El lenguaje artístico”*. Barcelona, Península

BLAS, E. (2009) *“Procedimientos y materiales en la obra escultórica”*. Ed. Akal. Madrid

C

CALABRESE, O. (1987) *“El lenguaje del Arte”*. Barcelona, Paidós Ibérica,

CALVO, F.A y GUILMANUY, J.M^a *“La metalurgia desde su historia”* artículo en Colada, vol.14 (1981), 15 (1982) y 16 (1983)

CELLINI, Benvenuto.(1980) *“Tratado de orfebrería, escultura dibujo y arquitectura”*. Akal Madrid .

CELLINI, Benvenuto (1993) *“Vida y otros escritos”*, Ed. Parsifal. Barcelona

CLEG, J.A (1991) *“Precision casting processes”*. Ed. Pergamon Press. Oxford

CORRADO, M. (1985) *“Las técnicas artísticas”*. Madrid, Cátedra, .

CORREDOR MARTÍNEZ, J.A. (1997) *“Técnicas de fundición artística”*. Universidad de Granada. 1997.

D

DUMONT BOTELLA.A y SORROCHE CRUZ, A(2006) “*Técnicas de vidrio en horno. Aplicación del EPS como modelo gasificable en pasta de vidrio.* Ed Rodych. Granada

DUPONCHELLE.J (1942) “*Manual del fundidor de metales*”. Barcelona

F

FEINBERG WILBURT (1983) “*Lost wax casting. A practitioners manual.* Intermediate Technology Publications. London

FERNANDEZ, Mari Cruz. La edad de los metales. Grupo, Madrid 1989.

FOSTER, Jennifer (1991) “*Metalworkingal Gussage AllSaint, Dorset: A review of Recent Work, artículo en “Aspects of Early Metallurgy”* Ed. W.A.Oddy. Departament of Scientific Research. British Museum. Londres

G

GIL ARÉVALO, J. (1986) “*Técnicas de fundición en cera perdida*”. Sevilla.

GOOVER, Mikell.P. “*Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*”. Ed. Pearson Prentice Hall. México

H

HEINE.R.W; LÓPEZ, C.R; ROSENTHAL, P.C. “*Principles of metal Casting*”. Macgraw Hill Book ompany. U.S.A

HILL, M, VRIECE A.E, MOODYT.L.... “*Effect of metal velocity on defect formation in Al LFCs.* Universidad de Missouri.

HISCOX, Hopking: “*El recetario Industrial*”Ed. GG. México

HOWARD, E.D. (1953) “*Tratado práctico de fundición*”. Ed. Aguilar. Madrid

HUFNAGEL, W (1992) “*Manual del aluminio*” Vol.I. Ed. Reverte. Barcelona

I

INASMET. (1989) Centro Tecnológico de Materiales. San Sebastián. Depato de Fundic.,

K

KREKEKER, K.A. (1971) “Microfusión. Fundición con modelo perdido”. Ed. Eduardo Gili. Barcelona

L

LASHERAS ESTEBAN, J, M^a (1962) “Tecnología de los materiales” Ed. Cedel. Barcelona

M

MACKINSON, F.W. (1982) “Guía de riesgos químicos”. Barcelona, Seg. e Hig

MARCOS MARTÍNEZ , C. (2000) “Fundición a la cera perdida. Técnica de la cascarilla cerámica”. Departamento escultura, Valencia.

MARTINEZ MONTERO, P. (2008) “Aspectos científico químicos de la industria del plástico. Ed. C.S.U. Granada

MAYER, Raph (1985)“Materiales y técnicas el arte” Ed. Hermann Blume. Madrid

METAL HANDBOOK. (1988) Ohio, A.S.M . Metal Park, 9^a Ed..Vol 15.

MIDGLEY , B. (1982) “Escultura, modelado y cerámica”. Herman Blume. Madrid

MILLS, W.J. (1967) “The technique of casting for sculpture”. London, BT. Batsford. Lid

MIRAVETE, A. (2007) “Materiales compuestos” Vol.I. Ed. Reverte. Barcelona

MOHEN, J.P (1992) “Metalurgia prehistórica. Introducción a la paleometalurgia”. Ed. Masson. Baercelona

MORRAL, F.R.; JIMENO.E y MOLERA.P (1982) “Metalurgia general” Ed. Reverte. Barcelona

P

PARMEGGIANI, L. (1989) Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo. Madrid, Ministerio de Trabajo y S.S, Vol I (A-E)

R

REID, David. The Reid Technique. <http://.c2i.net/metaphor/rt.html>

ROSIER, P.D. (1992) «*La sculpture: Méthodes et matériaux. Nouveaux*». París, Dessain et Tolra,

RUDEL, J. (1986) “*Técnica de la escultura*”. México, F.C.Economica

S

SORROCHE CRUZ, A. (1998) “*Nuevas técnicas y nuevos materiales en la fundición escultórica actual. El uso del poliestireno expandido.*” Granada

SORROCHE CRUZ A. y otros . (1999) “*Fusión e interacción de metales no férricos con la utilización de modleos gasificables de Poliestireno Expandido aplicados a la escultura*”. Universidad de Granada

SCHÜTZE ALONSO, O. (1954) “*Moldeo y fundición*”. Barcelona, Gustavo Gili

V

VASARY, Giorgio. (1998) “*Las vidas de los mas excelentes arquitectos, pintores y escultores italianos desde Cimabue a nuestros tiempos (Antología)*. Ed. Tecnos. Madrid

VERHELST, W. Sculpture. New Jersey, Prentice-Hall, 19988

W

WITTKOWER, R. La escultura; Procesos y Principios. Madrid , Alianza, 1988.

ARTÍCULOS Y COMUNICACIONES:

- AUGUSTIN, G.** Controle de l'état de surface des pieces obtenles par le P.M.P. (procédé Modélé Perdu). Hommes etfonderie, N° 185. mai 1988
- BAYLEY ROBIN. D.** Understanding the evaporative pattern casting process (E.P.C) Modern casting, 72 (1982) N°4
- CENTRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES DE LA FONDIERE** Que peut-on attendre de l'analyse granulométrique. Notice GE 299, Editions Techniques des industries de la fonderie, 1975.
- CLEGG, A.J** Evaporative pattern casting a reliev of recent : Developments and progress. Foundry trade journal international, 14 (1992) N°2, P.72-83.
- CLEGG, A.J.** Expanded- polystyrene moulding-status report. Foundy trade journal international, 9. (1986), N°30, Pp. 51-69.
- COMBE, C.** Innovative approach opens up new opportunities for policast process technology. Foundry trade journal international, 10 (1987), N°35, Pp. 106-11.
- CORNIAU, D.** Dernieres evolutions des procédés utilisant des modeloes perdus en polystyrene. A.t.a. Cyclatef 88-A, N° 555, Charleville- Mezieres, Juin 1988
- DONALSON, E.** Polystyrene patterns- An economical casting route. Metals and materials, October 1987.
- GARCÍA ZAYAS, J.** El E.P.S como material de modelos en fundición. Novamáquina 2000, n°160, 1990.
- GARCÍA ZAYAS, J.** Proceso de macrofusión con modelos de E.P.S. Novamáquina 2000, n° 167, 1990.
- GARCÍA ZAYAS, J.** Proceso Lost Foam, con modelos de E.P.S Metalurgia y Electricidad, n° 628, 1990
- VALDERRAMA, J.O.** Información tecnológica. Vol.8, n°1, 1997

WEBS

<http://www.fomyart.com/>

<http://www.poliuretanos.com/>

<http://www.floricel.com.mx/>

<http://www.anape.es/>