

MOLDEO Y FUNDICIÓN CON ARENA DE LAS PLAYAS DE TENERIFE

María Puy Boneta Lisarri
Universidad de La Laguna

RESUMEN

El presente proyecto trata de comprobar la capacidad de moldeo y fundición de las arenas costeras de Tenerife. Las arenas han sido analizadas en cuanto a su composición, granulometría, morfología, etc., y estudiado su comportamiento ante los aditivos aplicados en el moldeo: resina y catalizador. Para ello se ha hecho una cata de las arenas por todo el litoral de Tenerife conociendo el entorno y especificidades de la isla.

PALABRAS CLAVE: Fundición artística, granulometría, escultura en bronce, fundición a la arena.

ABSTRACT

This project is designed to test the moulding and casting capacity of Tenerife's coastal sands. The sands have been analysed as to their composition, granulometry, morphology, etc., including their behaviour when subjected to the additives applied during the moulding process: resin and catalyst. For this purpose, samples have been taken of the sands throughout Tenerife's coastline knowing the island's environment and particular features.

KEY WORDS: Artistic casting, granulometry, bronze sculpture, sand casting.

ESTADO DE LA CUESTIÓN

La fundición de metales se estudia en varios campos como son la ingeniería, la escultura o la joyería y tan diversas son las técnicas utilizadas como los modelos a reproducir. Los niveles de ejecución y procedimiento se definen atendiendo a las necesidades del modelo y su finalidad. Los moldes con los que se funden piezas metálicas pueden ser desechables o permanentes¹ y se llevan a cabo con moloquita, chamota, arena, hierro... todo sujeto a las características del modelo y las reproducciones a realizar.

La técnica en la que se basa este proyecto es el moldeo con arena. Se pueden investigar aspectos diversos dentro de esta técnica, como son la propia arena, el aglutinante, la resina y el catalizador; los desmoldeantes, el encofrado o el compuesto para las superficies de arena que entrarán en contacto con el metal, entre otros. Este proyecto se centra en el comportamiento de las arenas de playa de Tenerife como material para procesos de moldeo y fundición.



El hecho de trabajar con un material natural conlleva el conocimiento del medio y sus recursos. Siempre con máximo respeto por el medio ambiente, se han realizado catas puntuales en playas de distintas zonas, recorriendo la práctica totalidad de la costa tinerfeña.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Entre los objetivos del presente proyecto de investigación, destaca el de normalizar el proceso de moldeo mediante algunas arenas de playas tinerfeñas con resina y catalizador para la fundición artística.

Para la normalización de las arenas se ha partido de su análisis en cuanto a su composición, que afecta al catalizado, y en cuanto a morfología del grano, que incide en el registro del metal. De la misma manera se ha tenido como objetivo el desarrollo de un proceso de tamizado, lavado y secado, con el fin de optimizar las arenas de playa para el moldeo y fundición.

Comprobar la capacidad de registro y de moldeo de cada arena de playa implica la realización de pruebas para verificar la capacidad de catalización y su compatibilidad con una resina y un catalizador. El fin específico es conseguir diferencias de superficie en las obras escultóricas. Para potenciar los volúmenes en clarooscuro se moldea con arena fina en las luces y arena gruesa en las sombras. Para comprobar esta capacidad de registro, se han llevado a cabo pruebas de moldeo con el mismo modelo, permitiendo la comparación de las distintas calidades superficiales obtenidas en bronce.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El trabajo de investigación se organiza en dos bloques diferenciados, la primera parte incluye una breve introducción histórico-geográfica de la isla de Tenerife, las formaciones rocosas que la componen, las clasificaciones de las arenas de playa atendiendo a su localización, granulometría y composición y los análisis de microfotografías y difractogramas de cada arena. En el segundo bloque se desarrolla el proceso de moldeo y fundición con las arenas así como los análisis relacionados directamente con el mismo, como son el de granulometría y catalización.

El proceso de moldeo y fundición con arenas de playa se ha realizado en el Taller de Fundición de la Facultad de Bellas Artes de la ULL con el catedrático Juan Carlos Albaladejo González como director del proyecto. Los análisis de cada arena en cuanto a la composición, morfología y granulometría se han llevado a cabo en el

¹ LUIS PÉREZ, Carmelo Javier; UGALDE BARBERÍA, Miguel José; PUERTAS ARBIZU, Ignacio; ÁLVAREZ VEGA, Lucas. *Proceso de conformado por fundición. Moldeo en arena*. Universidad Pública de Navarra. Pamplona, 2001.



Laboratorio de Química de la Facultad de Bellas Artes con la colaboración del doctor Iñigo Jáudenes Ruiz De Atauri. El Servicio de Investigación de la ULL ha facilitado los difractogramas con la colaboración de Laurett Nordstrom.

TABLA I: CORRESPONDIENTE A LAS PLAYAS DONDE SE HICIERON LAS CATAS Y MUNICIPIOS A LOS QUE CORRESPONDEN CADA UNA DE ELLAS

LISTADO DE LAS ARENAS PARA LOS ANÁLISIS		MUNICIPIO AL QUE PERTENECE LA PLAYA
Nº 1	A. Sílice	
Nº 2	A.P. La Tejita	M. Grandilla
Nº 3	A.P. Grande	M. Arico
Nº 4	A.P. El Bollullo	M. La orotava
Nº 5	A.P. El Médano (negra)	M. Granadilla
Nº 6	A.P. Las Gaviotas	Santa Cruz de Tenerife
Nº 7	A.P. Montaña Pelada	M. Granadilla
Nº 8	A.P. Igueste de s. Andrés	Santa Cruz de Tenerife
Nº 9	A.P. Candelaria	M. Güímar
Nº 10	A.P. Porís de Abona	M. Arico
Nº 11	A.P. De Los Abrigos, Abades	M. Arico
Nº 12	A.P. Las Teresitas	Santa Cruz de Tenerife
Nº 13	A.P. El Médano (dorada)	M. Granadilla
Nº 14	A.P. La Tejita (duna)	M. Granadilla
Nº 15	A.P. La Arena	Santiago del Teide
Nº 16	A.P. Punta de Teno	M. Buenavista del Norte
Nº 17	A.P. San Marcos	Icod de Los Vinos
Nº 18	A.P. Troya	M. Adeje
Nº 19	A.P. San Juan	M. Guía de Isora
Nº 20	A.P. Los Gigantes	Santiago del Teide
Nº 21	A.P. Los Cristianos	M. Adeje

A. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LAS ARENAS DE PLAYAS DE TENERIFE

Pruebas de canalización

Están relacionadas con la capacidad de moldeo de las arenas. Determinan qué tipo de arenas de playa son compatibles con los productos utilizados para el

moldeo, la resina (P52) y el catalizador (CAT/CV80). A cada arena le corresponden unas proporciones de reactivos dependiendo de su densidad. Las proporciones idóneas se obtienen partiendo de las proporciones facilitadas por la empresa suministradora de los productos (Viade S.A.) y dirigidas hacia la arena comúnmente utilizada en el moldeo y fundición, la de sílice N° 1. Se trata de comprobar qué arenas catalizan de forma óptima en el moldeo, para ello se aplica una presión uniforme a las arenas en el interior de unos cilindros que sirven como contenedor o encofrado, una vez mezcladas con los reactivos, catalizador y resina. Tras un día de espera, se comprueba que no todas las arenas catalizan, lo que indica que, además de la densidad, la composición también interviene en la correcta catalización de la arena, debido al contenido en sales incompatibles con la resina y el catalizador (ver el apartado de análisis de composición).

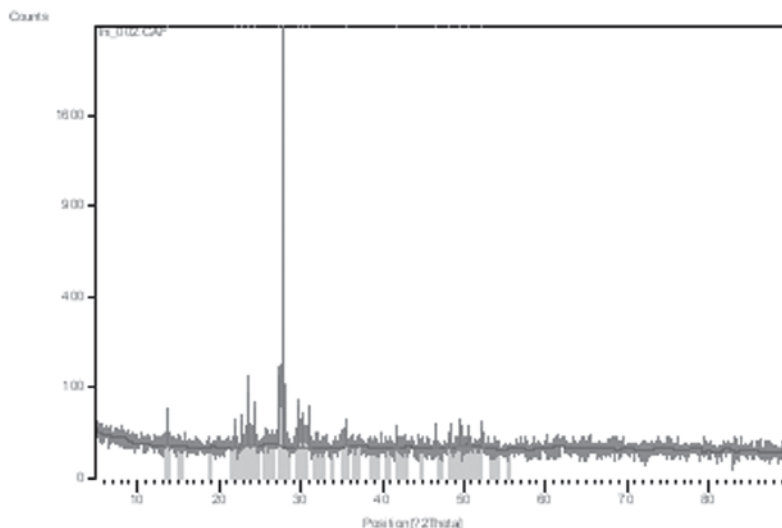
Una vez hechas las pruebas se puede concluir que las arenas que mejor catalizan son las correspondientes a playas del norte de la isla, en cambio las arenas de las playas del sur nunca llegan a endurecer.

TABLA II: DONDE SE REFLEJAN LAS ARENAS QUE HAN CATALIZADO Y LAS QUE NO, DENOMINADAS COMO ARENAS APTAS O NO APTAS

ARENAS APTAS		ARENAS NO APTAS	
N° 4	A. P. El Bollullo	N° 2	A. P. La Tejita
N° 5	A. P. El Médano (negra)	N° 3	A. P. Grande
N° 6	A. P. Las Gaviotas	N° 7	A. P. Montaña Pelada
N° 8	A. P. Iguete de S. Andrés	N° 11	A. P. Abades
N° 9	A. P. Candelaria	N° 12	A. P. Las Teresitas
N° 10	A. P. Porís de Abona	N° 13	A. P. El Médano (dorada)
N° 15	A. P. La Arena	N° 14	A. P. La Tejita (duna)
N° 16	A. P. Punta de Teno	N° 18	A. P. Troya
N° 17	A. P. San Marcos	N° 21	A. P. Los Cristianos
N° 19	A. P. San Juan		
N° 20	A. P. Los Gigantes		

Análisis de composición

Estos análisis permiten conocer el contenido en sales, componente que influye en la correcta catalización de las arenas. Se han sometido a la Difracción de Rayos X o DRX, que forma parte de las técnicas de examen de superficie con misiones de luz invisibles al ojo humano, junto a los rayos ultravioletas e infrarrojos. Los



LISTA DE PATRONES

VISIBLE	REF. CODE	SCORE	COMPOUND NAME	DISPLACEMENT [2θ .]	SCALE FACTOR	CHEMICAL FORMULA
*	00-009-0478	40	Anorthoclase, disordered	0.000	0.073	(Na , K) (Si3 Al) O8
*	00-018-1202	23	Anorthite, Na-rich, intermediate	0.000	0.048	(Ca , Na) (Si , Al)4 O8

Figura 1: Gráfico del difractograma y lista de patrones encontrados en la muestra N° 2. En el anexo del proyecto se incluye una recopilación de las características, procedencia y otros datos de interés acerca de los minerales encontrados en todas las muestras.

Rayos X incidentes con diferente ángulo en la muestra, se difractan al pasar por la estructura cristalina de la sustancia. Se pueden utilizar para revelar información detallada sobre la composición química y naturaleza física de toda clase de materiales naturales y artificiales. El resultado son los difractogramas, unas bandas difractadas con más intensidades y grados determinados, característicos de cada sustancia. Dispone de una base de datos de compuestos de referencia. Las arenas se han triturado para preparar una pequeña muestra dirigida a este análisis.

Los difractogramas han sido necesarios para la comprensión de la no catalización de algunas arenas por el alto contenido en sales (Na) y materiales cálcicos (Ca). Las arenas del norte no contienen estos minerales y tienen una óptima catalización; en cambio, las arenas de las playas del sur, más claras, presentan en el difractograma plagioclasa y no catalizan.

En la figura 1 se incluye un ejemplo de difractograma y un cuadro resumen con la composición de la playa de La Tejita (N° 2):

TABLA III: COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARENAS DE PLAYA

	CLASE DE ARENAS	COMPOSICIÓN MINERALÓGICA
Nº 1	A. Sílice	(Si O ₂) Cuarzo
Nº 2	A.P. La Tejita	(Na, K) (Si ₃ Al) O ₈ . Anorthoclase. (Ca, Na) (Si,Al) ₄ O ₈ . Anorthite.
Nº 3	A.P. Grande	(Na K, Al) Si ₃ O ₈ . Anorthoclase. (K, Ba, Na), (Al, Mg, G, V) ₂ , (Si, Al, V) ₄ , O ₁₀ (OH, O) ₂ . Muscovite.
Nº 4	A.P. El Bollullo	Tl ₄ As S ₂ . Thallium. Arsenic. Sulfide. Cr Cu Mn ₂ O ₄ . Copper. Manganese. Chromium. Oxide.
Nº 5	A.P. El Médano (negra)	Fe ₃ O ₄ . Magnetite. Mg Cu Zn. FeO ₄ . Copper. Magnesium. Zinc Iron. Oxide.
Nº 6	A.P. Las Gaviotas	(Mg, Fe, Al, Ti) (Ca, Na, Mg, Fe) (Si, Al) ₂ O ₆ . Phonolite.
Nº 7	A.P. Montaña Pelada	(Na, K) (Si ₃ Al) O ₈ . Anorthoclase.
Nº 8	A.P. Iguste de S. Andrés	(Mg, Fe, Al, Ti) (Ca, Na, Mg, Fe) (Si, Al) ₂ O ₆ . Phonolite.
Nº 9	A.P. Candelaria	Ca (Mg, Fe) Si ₂ O ₆ . Augita.
Nº 10	A.P. Porís de Abona	(Na, K) (Si ₃ Al) O ₈ . Anorthoclase.
Nº 11	A.P. Abades	(Na, K) (Si ₃ Al) O ₈ . Anorthoclase.
Nº 12	A.P. Las Teresitas	Si O ₂ . Ca (CO ₃). Quartz. Calcite.
Nº 13	A.P. El Médano (dorada)	(Na, K) (Si ₃ Al) O ₈ . Anorthoclase.
Nº 14	A.P. La Tejita (duna)	(Na, K) (Si ₃ Al) O ₈ . Anorthoclase.
Nº 15	A.P. La Arena	Ca (Mg, Fe) Si ₂ O ₆ . Augita.
Nº 16	A.P. Punta de Teno	(Ca, Na) (Si,Al) ₄ O ₈ . Anorthite.
Nº 17	A.P. San Marcos	(Ca, Na, Al) Si ₂ O ₈ . Anorthite sodian.
Nº 18	A.P. Troya	Na Ca. Al ₄ Si ₂ O ₈ . Andesine.
Nº 19	A.P. San Juan	(Na, K) (Si ₃ Al) O ₈ . Anorthoclase.
Nº 20	A.P. Los Gigantes	Ca (Mg, Fe, Al) Si, Al ₂ O ₆ . Augita.
Nº 21	A.P. Los Cristianos	(Ca, Na). (Si, Al) ₂ O ₈ . Anorthite.

Análisis de granulometría

Este análisis facilita el conocimiento con respecto al tamaño y cantidad de granos, así como la distribución granulométrica de cada arena. Se han realizado dos tamizados, uno manual y otro mecánico.

Tamizado manual: Todas las arenas han sido tamizadas con un cernidero de malla 0,4 μ con la finalidad de eliminar granos muy gruesos, piedras y suciedades.



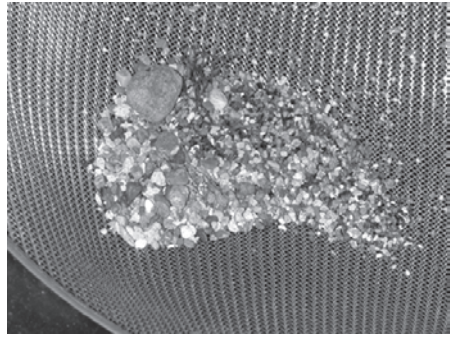


Figura 2 : Resto del tamizado manual de la arena de playa N° 8: piedras, algas, etc.

Tamizado mecánico: En una máquina vibradora se han introducido 130 gramos de cada arena, peso inicial. Los tres tamices o mayas con aberturas diferenciadas, ($> \phi = 500 \mu$), ($> \phi = 200 \mu$) y ($> \phi = 100 \mu$) distribuyen los granos atendiendo a su tamaño.

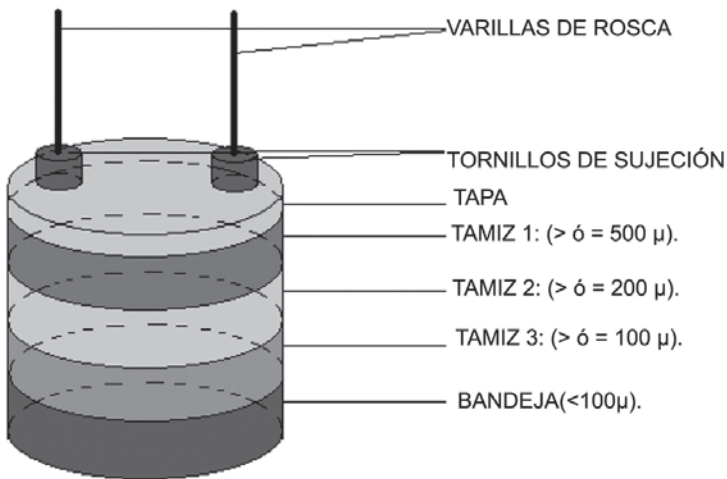


Figura 3: Esquema del agitador magnético utilizado para el tamizado mecánico.

La finalidad de esta prueba es conocer la distribución granulométrica de cada arena, característica de la que depende la porosidad del molde, la compactación entre los granos y, por lo tanto, el registro de la superficie metálica.

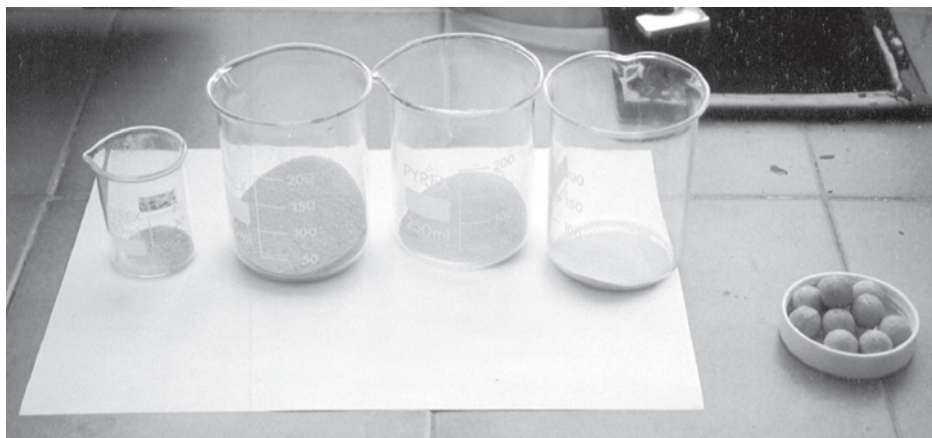


Figura 4: Se puede ver la repartición granulométrica de la arena de sílice N° 1, de izquierda a derecha, desde los granos más gruesos ($> \phi = 500 \mu$) a los más finos ($< 100 \mu$).

Tras el tamizado, se puede deducir que la mayoría de las arenas tienen un mayor porcentaje de grano medio grueso, en algunas de ellas, como la N° 2 o N° 17, se asemeja el porcentaje al de la arena de sílice y otras lo superan, como la N° 11 o N° 14. Con respecto a la distribución granulométrica de la arena, para un óptimo registro, éste tiene que ser variado: en su mayoría grano medio grueso con menor proporción de grano medio fino y grano fino. El grano grueso incide directamente en la superficie del metal y el grano fino impide la salida de gases, ya que el molde resulta menos poroso.

TABLA IV: INDICA LA MAYOR CANTIDAD DE ARENA RETIRADA DE UNO DE LOS TAMICES DE LA MÁQUINA, DATO QUE INDICA A QUÉ GRUPO DE GRANULOMETRÍA PERTENECE, GRUESA, MEDIA GRUESA, MEDIA FINA O GRANULOMETRÍA FINA

	GRUESA $> \phi = 500\text{Mu}$	MEDIA GRUESA $> \phi = 200\text{Mu}$	MEDIA FINA $> \phi = 100\text{Mu}$	FINA $< 100\text{Mu}$
N° 1		87,90g 67,90%		
N° 2		84,22g 64,78%		
N° 3		82,60g 63,53%		
N° 4		82,60g 63,53%		
N° 5		68,90g 53,06%		
N° 6		78,92g 60,70%		
N° 7			69,71g 53,62%	

Nº 8			85,61g	65,85%
Nº 9	79,74	61,33%		
Nº 10	100,48g	77,29%		
Nº 11	110,26g	84,81%		
Nº 12	72,17g	55,51%		
Nº 13			86,90g	66,84%
Nº 14	113,18g	87,06%		
Nº 15	90,31g	69,46%		
Nº 16	106,60g	82%		
Nº 17	87,42g	67,24%		
Nº 18			78g	60%
Nº 19	81,08g	62,36%		
Nº 20	117,95g	90,73%		
Nº 21			87,46g	67,27%

> ó = 500 Mayor o igual a 500 Mu. < 100 Menor que 100Mu. > ó = 100 Mayor o igual a 100 Mu.
 > ó = 200 Mayor o igual a 200 Mu.

Análisis de morfología del grano

Las microfotografías nos indican la morfología del grano y textura, aspecto que interviene en la compactación de la arena en el moldeo, en el grado de adherencia de los reactivos a la superficie del grano y otros aspectos de la técnica.

Las microfotografías se llevan a cabo con un microscopio eléctrico con una ampliación de 50A, tomando de cada muestra cuatro imágenes con exposiciones de luz diferentes: luz reflejada polarizada y sin polarizar, luz transmitida polarizada y sin polarizar.

Cuando la muestra se expone a luz reflejada polarizada y sin polarizar, en materiales opacos a la luz visible, sólo la superficie es susceptible de ser observada.

La transmitida polarizada y sin polarizar es proyectada por debajo de la muestra y permite determinar las sustancias traslúcidas².

En las figuras 5 y 6 vemos unos ejemplos de microfotografías donde se pueden apreciar la diferencia de morfología en el grano dependiendo de la playa de procedencia:

² CALLISTER, William D.. *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. J.R. Ed. Reverte, S.A. Barcelona, 1997.

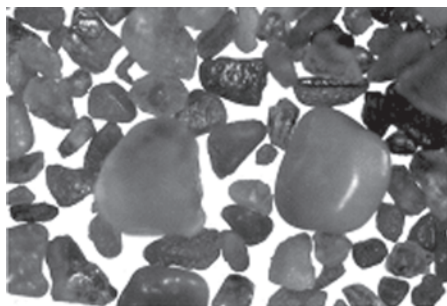


Figura 5: Microfotografía con luz reflejada polarizada de la muestra de arena de Las Teresitas N° 12, donde se observan granos redondeados.

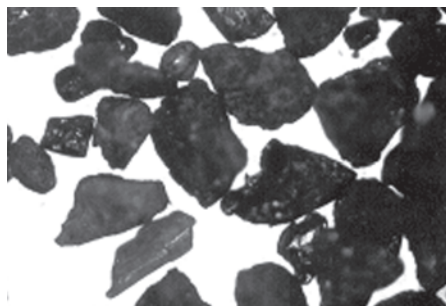


Figura 6: Microfotografía con luz reflejada polarizada de la muestra de arena de Las Gaviotas N° 6 con un tipo de grano más anguloso.

B. PRUEBAS DE MOLDEO Y FUNDICIÓN CON LAS ARENAS

Optimización de las arenas de playa para el moldeo

El proceso consiste en el lavado, secado y tamizado manual para favorecer el proceso de moldeo y mejorar la capacidad de registro:

Lavado: La gran diferencia a nivel de composición entre la arena de sílice y las arenas de playas son las sales marinas. Es una característica desfavorable para la técnica de moldeo con arena, resina y catalizador, ya que afectan al proceso de catalización. Entre las sales de las aguas marinas más comunes y en orden de mayor a menor atendiendo al porcentaje por litro de agua se encuentran: NaCl , MgCl , MgSO_4 , CaSO_4 , K_2SO_4 , CaCO_3 , MgBr_2 ³.

Para desalar la arena se la somete a un proceso de lavado con el fin de eliminar las sales solubles y restos orgánicos como algas y contaminantes.

Secado: La humedad es otro de los enemigos del catalizador y la resina ya que anula la catalización. Si los granos de arena están húmedos, la resina no realiza su función de aglutinante, no se dispersa bien y el catalizador no actúa.

El secado puede ser al sol o mediante una fuente de calor puntual, se ha optado por secado al aire libre, aprovechando las horas solares más intensas y colocando las arenas sobre cartón que absorbe la humedad y acelera el proceso. Las

³ RUBIO SÁEZ, Nicolás. *Guía escolar Vox. Ciencias Naturales*. Bibliograf, S.A. Barcelona, 1990.

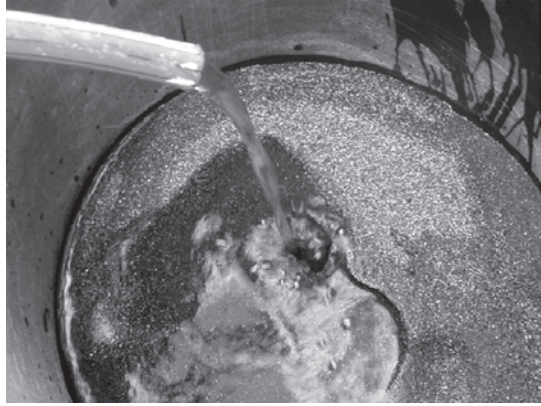


Figura 7: Lavado de la arena de la playa de El Médano (N° 5).

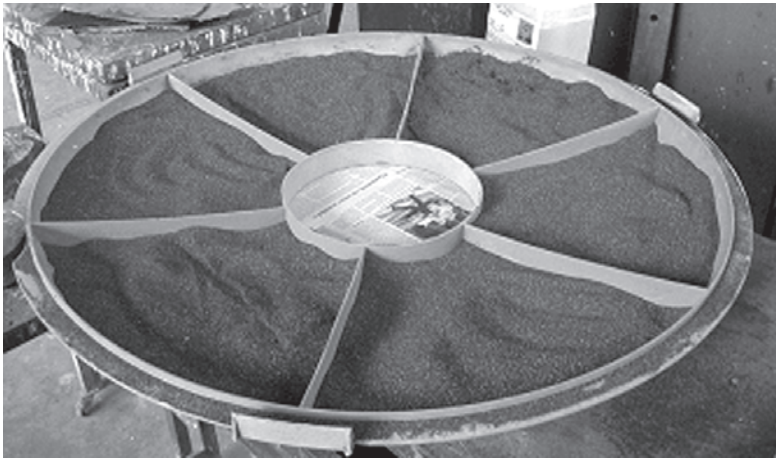


Figura 8: Bandeja que realiza la función de secadero.

arenas negras cogen altas temperaturas y aumentan su brillo cuando son expuestas al sol. Para asegurar la total pérdida de humedad se les ha aplicado aire caliente cuando el proceso de secado está en estado avanzado.

Conviene tener en cuenta que, expuestas al sol, las arenas que tienen en su mayoría granos gruesos se secan antes que las de granos finos en cambio, con el secado mediante aire caliente, las de grano fino pierden antes la humedad debido al movimiento de las partículas.

Tamizado: Se realiza manualmente con una maya de $0,4\mu$. La arena queda limpia de piedras, algas y otros materiales que no son favorables para el moldeo y fundición.

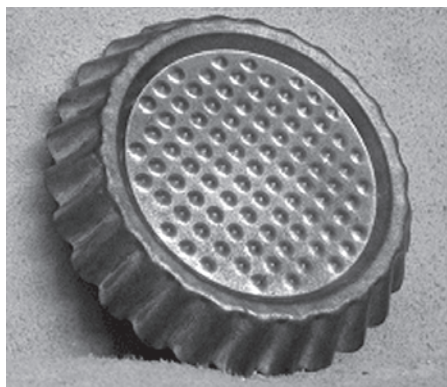


Figura 9: Superficie con registro del modelo y cantos en curvas.

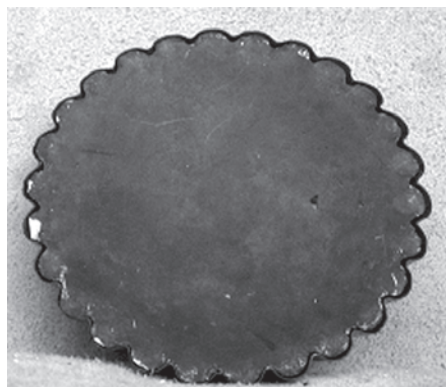


Figura 10: Cara inversa del modelo rellena con masilla impregnada con grafito.

El modelo-probeta para el moldeo y fundición

La técnica de moldeo con arena tiene sus ventajas e inconvenientes. La resina y el catalizador con los que se mezcla la arena no admiten humedad en el modelo. Además esta catalización provoca un calentamiento que puede llegar a deformar el modelo, dependiendo de la materia en que se conforma, la forma, sección y textura superficial. El modelo de escayola tiene en su contra la humedad y fragilidad ya que la arena se tiene que prensar para hacerla compacta y podría romperlo. Por otro lado el modelo en cera tiende a la deformación debido al calentamiento del molde.

Para el moldeo y fundición se ha empleado un modelo común, así se confirman los distintos resultados superficiales en metal que varían atendiendo a las características de cada arena. Las calidades obtenidas se aplican a obras escultóricas, potenciando la forma y el volumen con el moldeo de distintas arenas en un mismo molde. En la búsqueda del modelo para reproducción, se optó por materiales sintéticos, no porosos y rígidos, como pueden ser el plástico, el cristal y el aluminio, entre otros. Ese objeto tenía que tener partes texturadas, para poder analizar la capacidad de registro de cada una de las arenas de playa.

Tras varias pruebas con diferentes modelos, se eligió un molde de metal, con superficie pulida y convexidades regulares situadas en orden en una de sus caras (fig. 9).

Para este modelo concreto se ha empleado el grafito como desmoldeante, ya que da mejores resultados que el polvo de talco.

Elaboración del molde

El encofrado: Se trata de una estructura que hace las funciones de retener la arena hasta su catalización y de fomentar la compactación de los granos en el pen-



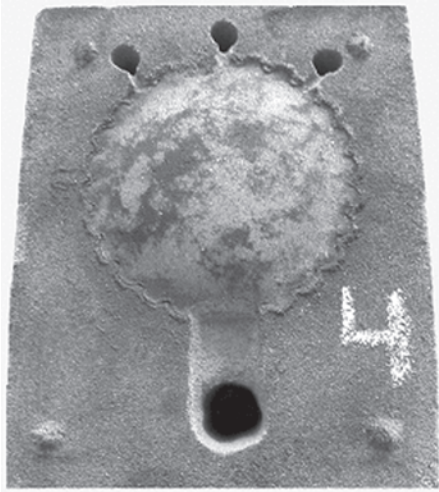


Figura 11: Tapa de colada de arena de sílice (Nº 1) con sus correspondientes respiraderos, los tres orificios de la parte superior por donde saldrán los gases y el bebedero, en la parte inferior por donde se colará el metal.



Figura 12: Arena de la playa de El Bollullo (Nº 4) que contiene el registro del modelo. La tapa superior tiene las llaves con forma circular y positiva (convexa) mientras que a la tapa inferior le corresponden circulares también pero con forma negativa (cóncava).

sado. En la fundición industrial se emplean encofrados de metal debido a su uso múltiple y al gran tamaño de los moldes. Cuatro tablas de madera garantizan la misma función para moldes más reducidos.

Las partes del molde: En primer lugar se ha moldeado con arena de playa (500 gramos) sobre la superficie con registro del modelo y, una vez catalizada, se ha reforzado con arena de sílice (3 kilos), colocando hierros curvados entre las dos arenas, para mejorar la consistencia. Endurecidas y soldadas las dos arenas, se abre el encofrado y se le da vuelta, apareciendo la otra cara del modelo y la arena de playa. En esta superficie se realizan las llaves y se impregna de grafito para proceder al moldeo de la segunda tapa del molde y evitar que se adhieran. Se vuelve a cerrar el encofrado con la primera tapa dentro, con la cara del modelo hacia arriba y se lleva a cabo otro moldeo con arena de sílice (5 kilos), dándole una buena altura ya que será la tapa por donde se va a efectuar la colada. Una vez que el molde ha catalizado se procede a abrirlo, desmoldear el modelo, realizar bebederos y respiraderos y verter el metal.

Consideraciones ante las proporciones de resina y catalizador: La arena de sílice responde correctamente a las proporciones de resina y catalizador indicados por el fabricante. En las primeras aplicaciones de estos productos químicos con arenas de

playas se utilizaron las mismas proporciones y se pudo comprobar que algunas arenas no catalizaban. Tras las pruebas, se deduce que todas las arenas no tienen la misma densidad, por lo que requieren unas proporciones de resina y catalizador distintas a las utilizadas con la arena de sílice.

La densidad de las arenas es diferente en cada una de ellas, incógnita a resolver para calcular las proporciones de resina y catalizador. Se pueden calcular dos tipos de densidad: pesando la arena sin aire se obtendría la llamada densidad real o con aire, la densidad aparente, calculada a continuación, mediante un volumen constante de 100 ml.

La arena de la playa de H Médano (Negra, N° 5) con una masa de 249,00g en 100 ml viene a ser la más densa de las arenas seleccionadas. La menos densa es la arena de Playa Grande (N° 3) con 106,00g en 100 ml.

Batido, vertido, prensado y catalización de la arena: En esta fase hay que utilizar guantes, mascarilla y gafas de protección, ya que la inhalación o el contacto con los productos es tóxico y abrasivo, sobre todo el catalizador.

Primeramente se baten en un cubo la arena y el catalizador, siendo muy importante que llegue a todos los granos para que el molde quede sólido. El efecto que produce en la arena es de aspecto húmedo. Tras asegurar la uniformidad de la mezcla se añade la resina y se sigue batiendo, ya que tiende a formar grumos que hay que deshacer repartiendo el producto por toda la arena. El batido puede ser manual cuando se trata de poca cantidad o mecánico para grandes moldes. En volúmenes medios dan buen resultado el batir la arena mediante un mezclador adaptable al taladro.

Una vez bien mezclada la arena se vierte en el encofrado, sobre el modelo, presionando con insistencia mediante taco de madera, ladrillo, mortero, etc., para que la arena quede compacta y conseguir un buen registro.

Retirada del modelo y ejecución de bebederos, respiraderos y mazarota: El molde se abre fácilmente introduciendo un formón o cuña poco a poco en diferentes puntos de la junta entre las dos tapas. El modelo de aluminio seleccionado tiene un buen desmoldeo ya que, gracias al grafito, la arena no se adhiere y además la pieza no tiene encajes, con lo que se retira con facilidad.

Los respiraderos, la copa y bebedero se hacen en la tapa en la que no está el registro. Definen el recorrido que va a llevar el bronce para el correcto llenado del molde. Cada pieza requiere un diseño concreto dependiendo de la forma, el volumen y el registro. El objeto escogido tiene forma circular y una superficie de registro texturada por lo que se ha optado por una colada indirecta con un bebedero lateral conectado a la pieza por un canal y tres respiraderos al final del recorrido del metal, en los cantos del modelo.

Adecuación del molde para la colada: El molde de arena precisa de una preparación antes de colar el metal en su interior. Se trata de la aplicación de un compuesto de alcohol y grafito preparado por el fabricante con esta finalidad. Una vez impregnada toda la superficie que vaya a estar en contacto con el metal, se prende fuego con un soplete, tomando todas las precauciones, se quema así el alcohol de la



mezcla y se evita que prenda en la colada. El color de la mezcla cambia del negro al gris después de ser quemada, quedando el grafito adherido a la superficie.

La aplicación del grafito tiene varias funciones: desoxidante del metal y conductor del calor en el momento en que el caldo metálico entra en contacto con el grafito, manteniendo más tiempo el calor y aportando fluidez en el recorrido. En general protege el registro y la superficie del choque térmico del metal.

Colada del metal

Para el llenado de los moldes se han utilizado lingotes de bronce (G5) fundidos en un crisol de grafito con un horno con un quemador de gasoil.

Los moldes de arena se han llenado por el procedimiento de colada por gravedad. En esta fase entran en juego la altura de colada, la velocidad, el estado del metal, la inclinación del crisol y la destreza de los fundidores para colar el metal.

En el proceso han participado tres personas, una dirige y otras dos levantan el crisol con unas pinzas especiales para fundición y lo dejan dentro del círculo del maneral colocando el seguro para fijarlo. Los coladores cambian las pinzas por el maneral y el que dirige la colada retira la escoria para evitar que caiga dentro de los moldes y perjudique el registro. También se encarga de regular el chorro de metal, retener los posibles restos de escorias y ayudar a los coladores a apuntar con el vertido del caldo metálico en la boca de los moldes.

Desmoldeo y mecanizado

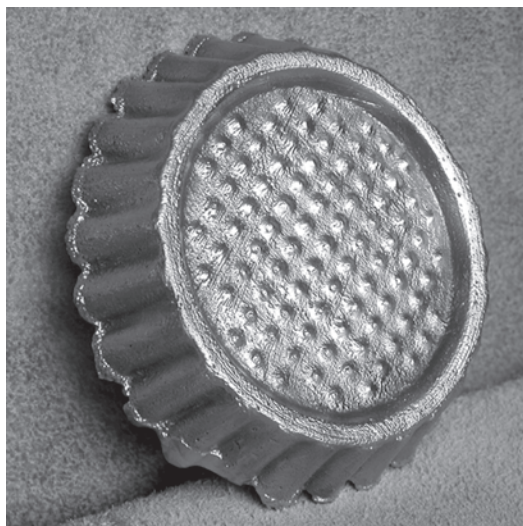
Las arenas de playa de grano fino desmoldean mejor que las más gruesas. La pieza una vez fundida queda unida por un canal al bebedero indirecto y a la copa, así como con los tres respiraderos en el otro extremo del objeto. Una vez desmoldeadas, las piezas se han sometido a cepillado para eliminar el resto de arena adherida al bronce y poder observar mejor la capacidad de registro y la incidencia de los granos en el metal.

Con el bronce limpio se han mecanizado los respiraderos y el bebedero mediante una amoladora.

Análisis de las pruebas en bronce

Se ha analizado la capacidad de registro de cada arena mediante las pruebas fundidas en bronce a partir del mismo modelo. Las arenas de playa que se han utilizado para el moldeo son la Nº 4 playa del Bollullo, la Nº 5 playa de Lemédano (negra), la Nº 6 playa de Las Gaviotas, la Nº 9 playa de La Candelaria, la Nº 10 playa de Brís de Abona, la Nº 15 playa de La Arena, la Nº 16 playa de La Punta de Teno, la Nº 17 playa de San Marcos, la Nº 19 playa San Juan y la Nº 20 playa de Los Gigantes. Se incluye además una prueba fundida con arena de sílice Nº 1 utilizada como patrón.





- Bronce fundido en arena N° 5.
- Medidas: 10,3cm x 2cm.

Figura 13

Los parámetros que se han seguido para la determinación de las características superficiales de cada pieza giran en torno a la granulación, definición de la forma, cantidad de rebaba en los bordes y la cantidad de oquedades o agujeros en superficie. Con ellos se valora la capacidad de moldeo (retirada del modelo sin rastro de arena) y de registro de cada arena, en apta y no apta atendiendo a la fidelidad de la pieza con el modelo y su superficie.

En general las arenas con un granulado más acusado, ordenadas de mayor a menor, son la N° 15 playa de La Arena, N° 17 playa de San Marcos, N° 9 playa de La Candelaria, N° 4 playa de El Bollullo y N° 10 playa de El Porís de Abona. Las restantes aportan granulados más sutiles, complicados de clasificar ya que son parejos entre ellos. Por el contrario estas arenas se pueden clasificar en cuanto a la cantidad y dimensiones de cavidades que afloran en la superficie de bronce, de mayor cantidad a menor, N° 19 playa de San Juan, N° 6 playa de Las Gaviotas, N° 5 playa de El Médano, N° 20 playa de Los Gigantes y N° 16 playa de la Punta de Teno.

- Ejemplo de análisis de la prueba fundida con la arena N° 5 (playa de El Médano, negra) (fig. 13).
- Granulado muy sutil en la cara de registro con unas pequeñas burbujas de bronce en los cantos.
- Buena definición de la forma, afín al modelo en los cantos pero las conexidades de la cara del registro no quedan uniformes.
- Rebaba mínima en los cantos con una granulación más acusada.
- Las oquedades son abundantes en toda la superficie de la pieza.

Capacidad de moldeo apta con la salvedad de los agujeros que alteran la superficie.



Figura 14 a

- Figura 14:
- Medidas: 58cm x 36 cm.
 - Material: Bronce.
 - Técnica de fundición: Moldeo con arena.
 - Moldeo con arena N° 20, N° 15 y N° 1.



Figura 14 b

La arena que mejor define la forma se ha determinado teniendo en cuenta la limpieza de granos en los contornos y convexidades del modelo. Ha resultado ser la N° 5 de la playa de El Médano. La que peor definición aporta es la N° 15 de la playa de La Arena, que es la de granulado más acusado y la que más burbujas causa.

En definitiva, para la fundición de piezas con calidades superficiales muy precisas conviene el moldeo con arenas de grano fino, que dejan muy poca huella. Las arenas de grano grueso no registran los detalles de superficie pero aportan un granulado que puede ser utilizado como acabado superficial de la obra.

Algunas de las arenas finas registran mejor que otras debido a la forma y composición del grano. Cuanta más cantidad de granos con minerales de calcio y sodio tenga, peor registro, con el desprendimiento de esos granos en la superficie de registro.

C. APLICACIONES ARTÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN

Tras los primeros moldeos con arenas de playa se ha obtenido un amplio abanico de registros. La superficie del mismo modelo cambia dependiendo de la arena que se emplee para el moldeo, aspecto que se quiere potenciar con la combinación de varias arenas en una misma pieza. Se han llevado a cabo varios moldeos con arenas de diferente granulometría tomando como modelo piezas en cera con fragmentos del cuerpo humano. La superficie en cera es moldeada por partes con arena de playa gruesa y arena fina, persiguiendo resaltar zonas del relieve y una variedad de calidades en el bronce. Cuanto más fino sea el grano mejor registrará la superficie de la cera y al moldear con arena gruesa se consigue un peor registro pero la propia arena aporta un granulado a la pieza interesante y enriquecedor.

Se incluyen algunos ejemplos de aplicación en la obra creativa (figuras 14a, 14b, 15a, 15b, 16a y 16b):



Figura 15 a

- Figura 15:
- Medidas: 16 cm x 15 cm.
 - Material: Bronce.
 - Técnica de fundición: Moldeo con arena.
 - Moldeo con arena N° 20, N° 5 y N° 1.

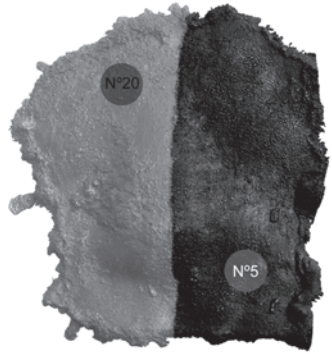


Figura 15 b

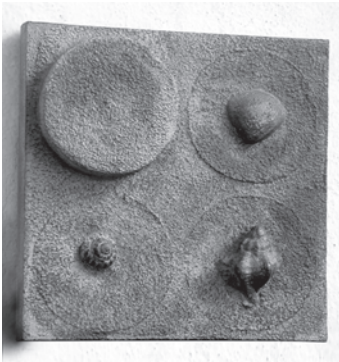


Figura 16 a

- Figura 16:
- Medidas: 18 cm x 18 cm.
 - Material: Bronce.
 - Técnica de fundición: moldeo con arena.
 - Moldeo con arena N° 20, N° 15, N° 5 y N° 1.

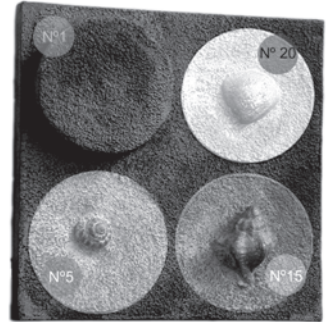


Figura 16

CONCLUSIONES

Las arenas del norte de la isla tienen una catalización óptima, a diferencia de las del sur, que no endurecen con el ácido y la resina utilizados. Al tener cada arena distinta densidad necesita unas proporciones concretas de reactivos, la diferencia tan sólo es de unos gramos arriba o abajo, aspecto decisivo para la catalización, por un gramo de menos no endurecería la arena y por un gramo de más se perjudicaría el registro del metal.

Los análisis de composición han permitido detectar en las arenas no catalizadas sales varias, característica desfavorable para la técnica de moldeo con arena, resina y catalizador, ya que anulan el proceso de catalización.

Tras el moldeo de arenas compatibles se ha comprobado que las procedentes de las playas del norte de la isla tienen mayor capacidad de moldeo, quedando más compactas y resistentes, por lo que también conllevan un buen registro. Las

arenas de grano más fino reproducen el modelo sin apenas intervenir en la superficie, en cambio las de grano grueso la alteran con un granulado que empeora el registro. La capacidad de aportar un buen registro sin granulado en el metal, depende también de la cantidad de grano $> \phi = 100\mu$ y $< 100\mu$; a mayor porcentaje mejor registro. Entre las arenas aptas para el moldeo, las Nº 5 El Médano (Negra), Nº 6 Las Gaviotas, Nº 8 Igueste de San Andrés y Nº 19 San Juan contienen un porcentaje mayor en granos $> \phi = 100\mu$ que el de arena de sílice (Nº 1). Son arenas que apenas inciden en la superficie del metal al colar sobre ellas y, por lo tanto, se obtiene un buen registro.

Se han obtenido superficies en bronce con diferencias de granulado derivado de las características propias de cada arena. Esto es debido a que las arenas más finas se compactan más en el prensado; mientras que las de grano grueso dejan un espacio mayor entre cada una de las partículas, dando lugar a una compactación menor y por consiguiente a una superficie más texturada.

Los moldes de arena fina se desprenden fácilmente del metal sin dejar rastro alguno, en tanto que los moldes de arena más gruesa se adhieren al metal, creando una película en la superficie de contacto. Esto es debido a que el metal en estado fluido queda atrapado entre los granos gruesos, introduciéndose por el espacio entre partícula y partícula.

Algunas de las arenas finas registran mejor que otras debido a la morfología y composición del grano. A mayor cantidad de granos con minerales de calcio y sodio, peor registro y catalización más frágil, desprendiéndose granos en la superficie de registro.

La arena que mejor define la forma se ha determinado teniendo en cuenta la limpieza de granos en los cantos y convexidades y ha resultado ser la Nº 5 de la playa de El Médano, aportando un leve granulado y una buena definición de los contornos y vértices. La que peor definición aporta es la Nº 15, de la playa de La Arena, ya que es la arena con el granulado más acusado y la que más burbujas deja en el metal.

Los granos de arena más gruesa se quedan adheridos al metal formando cavidades y deteriorando el registro, estos efectos pueden ser aplicados como calidades superficiales definitivas en esculturas. La aplicación de los tratamientos superficiales a obras escultóricas ha permitido la creación de piezas con una singularidad propia dada por la diferencia de cada arena.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBALADEJO GONZÁLEZ, Juan Carlos. *Fundición a la cer a perdida. Técnica del crisol fusible*. Edita: Departamento de Pintura y Escultura. ULL, Tenerife 2003.
- ANGUITA VIRELLA, Francisco y MORENO SERRANO, Fernando. *Geología, procesos externos*. Editorial: Luis Vives. Zaragoza, 1980.
- BERL JEAN DANS, Ernest. *Métodos de análisis químico industrial*. Editorial: Labor. Barcelona, 1945.
- DANA. John Wiley. *Manual de mineralogía de Dana*. John Wiley and Sons, Inc., New York. VE: Dr. G. Martín Guzman. Editorial: Reverte. S.A. Barcelona, 1974.

JULIAN, I., MARTÍNEZ, S. y SÁEZ, R. *Diccionario Oxford-Complutense*. Química. Editorial: Complutense de Madrid, 1999.

SCHUTZE ALONSO, Óscar. *Tratado de moldeo y fundición*. Editorial: Gustavo Gili, 3ª edición. Barcelona, 1972.

