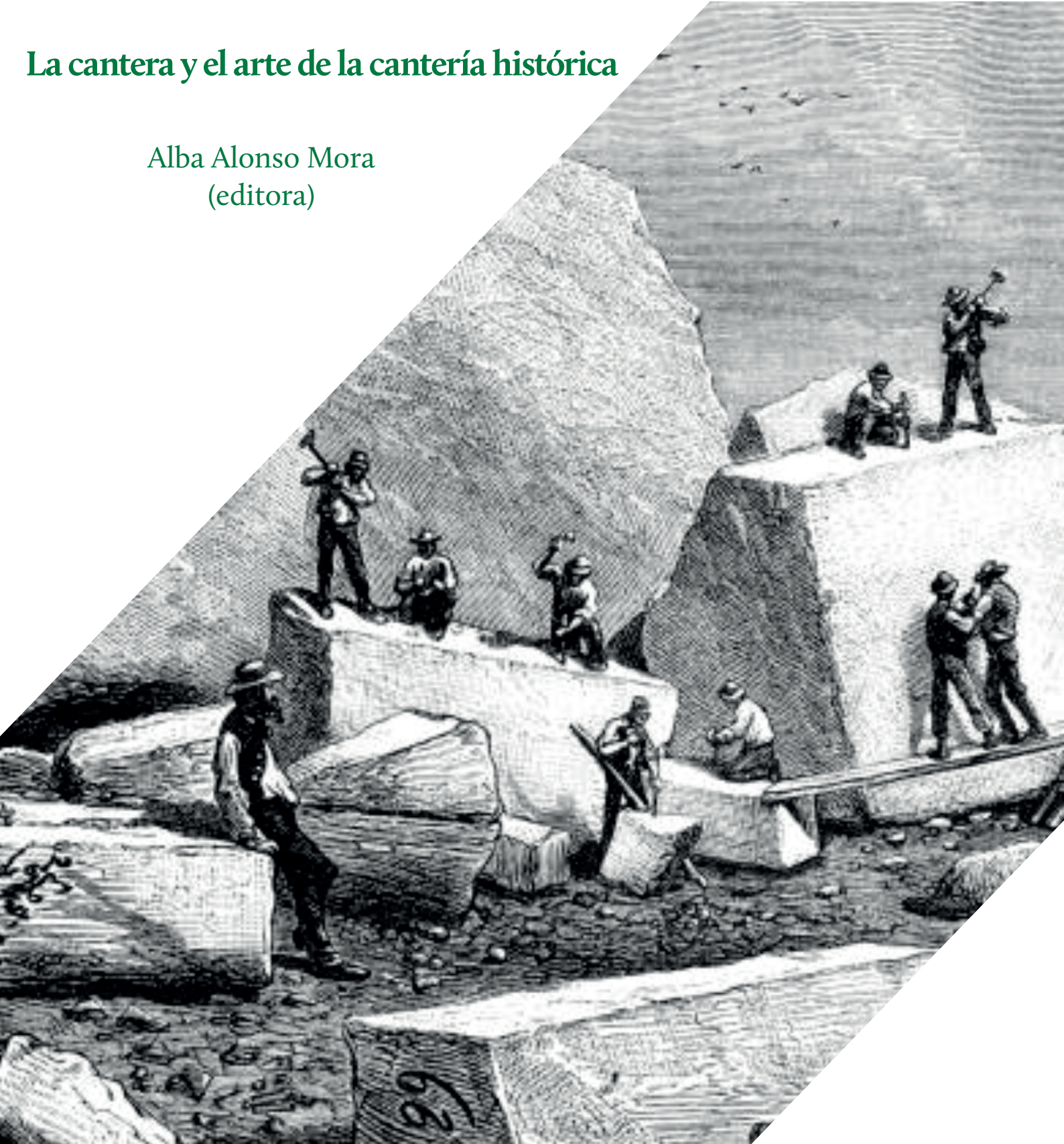


# LA VIDA DE LA PIEDRA

## La cantera y el arte de la cantería histórica

Alba Alonso Mora  
(editora)



# LA VIDA DE LA PIEDRA

## La cantera y el arte de la cantería histórica

Alba Alonso Mora  
(editora)

DOI: <https://doi.org/10.5944/canteria.historica.2022>



**EDITORA CIENTÍFICA:** Alba Alonso Mora

**AUTORES:**

Alba Alonso Mora

Andrés Molina Franco

Anselmo Carretero Gómez

Francisca Victoria Sánchez Martínez

José Nieto Sánchez

Begoña Soler Huertas y Juan Antonio Antolinos Marín

**MONOGRAFÍA REALIZADA EN EL MARCO DE:**

Proyecto de I+D+i «Arqueología e Historia de un paisaje de la piedra: la explotación del *marmor* de Espejón, Soria» (PGC2018-096854-B-I00) coordinado desde la UNED y financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades/AEI/FEDER, EU.

Red de Investigación «El ciclo productivo del *marmor* en la península Ibérica desde la Antigüedad: extracción, elaboración, comercialización, usos, reutilización, reelaboración y amortización» (RED2018-102722-T) coordinado desde la UNED y financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Proyecto de I+D+i «*Sulcato marmore ferro*. Canteras, talleres, artesanos y comitentes de las producciones artísticas en piedra en la *Hispania Tarraconensis*» (PID2019-106967GB-I00) coordinado desde el ICAC y financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades/AEI/FEDER, EU.

Proyecto de I+D+i «El mensaje del mármol: Prestigio, simbolismos y materiales locales en las provincias occidentales del imperio romano entre época antigua y alto-medieval a través del caso de Hispania y Aquitania» (PGC2018-099851-A-I100) coordinado desde el ICAC y financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades/AEI/FEDER, EU.

**DISEÑO Y COMPOSICIÓN:** Carmen Chincoa Gallardo



Créditos imagen portada:

Autor: desconocido. Fecha: s. XIX (?). Crédito: Grafissimo. Uso imagen: sin restricciones.



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional



## SUMARIO · SUMMARY

- 9 ALBA ALONSO MORA  
Prefacio  
Preface
- 17 ANDRÉS MOLINA FRANCO  
El mármol en los caminos del siglo XVII. Las cruces de mármol de Macael  
Marble in XVII Century Roads. Crosses Made with Macael Marble
- 45 ANSELMO CARRETERO GÓMEZ  
Cinco siglos defendiendo la propiedad. Las canteras de mármol de Macael (Almería)  
Five Centuries Defending the Property. The Macael Marble Quarries (Almeria)
- 71 FRANCISCA VICTORIA SÁNCHEZ MARTÍNEZ  
La influencia de las piedras ornamentales en el desarrollo de la ingeniería en el siglo  
XVI. Reconstrucción del molino de corte de mármol del monasterio de El Escorial  
The Influence of the Ornamental Stones in the XVI Century Engineering  
Development. Reconstruction of a Sawmill for Cutting Marble in the El Escorial  
Monastery
- 91 JOSÉ NIETO SÁNCHEZ  
Las canteras de pedernal de Vicálvaro durante la Edad Moderna y comienzos de  
la Edad Contemporánea  
Vicalvaro's Flint Quarries during the Modern Age and the Beginning of the  
Contemporary Age
- 115 BEGOÑA SOLER HUERTAS Y JUAN ANTONIO ANTOLINOS MARÍN  
Jaspes, travertinos y brechas del cuadrante sureste de la Península Ibérica. Materiales  
con valor patrimonial  
Jaspers, Travertines and Breccias in the Southeast Quadrant of the Iberian  
Peninsula. Materials with Heritage Value



# LA INFLUENCIA DE LAS PIEDRAS ORNAMENTALES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA EN EL S. XVI. RECONSTRUCCIÓN DEL MOLINO DE CORTE DE MÁRMOL DEL MONASTERIO DE EL ESCORIAL

## THE INFLUENCE OF THE ORNAMENTAL STONES IN THE XVI CENTURY ENGINEERING DEVELOPMENT. RECONSTRUCTION OF A SAWMILL FOR CUTTING MARBLE IN THE EL ESCORIAL MONASTERY

Francisca Victoria Sánchez Martínez<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.5944/canteria.historica.2022.04>

### Resumen

La construcción del monasterio de El Escorial en la corte de los Austrias del siglo XVI supuso la afluencia a ésta de un buen número de artistas y técnicos, que trajeron consigo, entre otras, las técnicas de trabajo con piedras duras redescubiertas en el renacimiento italiano. Dichas técnicas, estaban generalmente vinculadas a las artes suntuarias, y, por lo tanto, muy poco extendidas y prácticamente reservadas a las obras reales, del clero y de la nobleza. La prisa por terminar la obra magna de Felipe II propició un despliegue sin parangón de herramientas y máquinas específicas para los trabajos en piedra allí realizados y cuyo origen puede rastrearse en los escasos tratados y cuadernos de anotaciones que habían comenzado a producirse cerca de un siglo antes y cuyo máximo exponente fue, sin lugar a duda, los cuadernos de Leonardo Da Vinci, que llegaron a España de la mano de Pompeo Leoni uno de los constructores del retablo mayor de El Escorial.

La premura en la terminación de las obras propició la mecanización de ciertos trabajos con las piedras duras que de otra manera hubieran dilatado en exceso la finalización del retablo. Un claro ejemplo fue la construcción del aserradero para el corte de mármol del monasterio de El Escorial. Este aserradero supuso un claro avance tecnológico para la época que evidentemente pudo lograrse aunando los conocimientos desarrollados en los ambiciosos proyectos de arquitectura, hidráulica e ingeniería civil que tuvieron lugar en la España del siglo XVI.

---

1. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial, Universidad Politécnica de Madrid; correo electrónico: [franciscavictoria.sanchez@upm.es](mailto:franciscavictoria.sanchez@upm.es)

**Palabras clave**

Renacimiento; piedras duras; técnicas lapidarias; corte del mármol; aserradero de mármol; siglo XVI.

**Abstract**

The construction of the monastery of El Escorial in the 16<sup>th</sup> century involved the influx of a good number of artists and technicians, who brought with them, among others, the techniques of working with hard stones that were rediscovered in the Italian Renaissance. These techniques were generally linked to the sumptuary arts, and, therefore, very little extended and practically reserved for royal works, the clergy, and the nobility.

The rush to finish the great work of Felipe II propitiated an unparalleled display of tools and specific machines for the stone works carried out there, the origin of which can be traced in the treatises and notebooks that had begun to be produced nearly a century before. The greatest exponent was, without a doubt, the notebooks of Leonardo Da Vinci, which arrived in Spain from the hand of Pompeo Leoni, one of the builders of the main altarpiece of El Escorial.

The haste in the completion of the works led to the mechanization of certain works with hard stones that otherwise would have delayed their completion excessively. A clear example was the construction of the sawmill for cutting marble in the El Escorial monastery. This sawmill was a clear technological advance for the time that could obviously also be achieved due to the knowledge related to the ambitious hydraulic architecture or civil engineering projects that were developed at the same time.

**Keywords**

Renaissance; hard stones; hard stone cutting; 16<sup>th</sup> century; cutting marble; sawmill.

.....



## INTRODUCCIÓN

Después de la muerte del emperador Carlos V, y debido al expreso deseo de éste de ser enterrado junto a su esposa, la emperatriz Isabel, en un emplazamiento hecho *ex profeso*, Felipe II decidió levantar un monasterio para darles cristiana sepultura. El monasterio, aceptado por la Orden Jerónima, sería consagrado a San Lorenzo, como agradecimiento por haber ganado la batalla de San Quintín el mismo día de la festividad del santo, colocándose la primera piedra el 23 de abril del año 1563 (Rubio 1964).

La obra cumbre de dicho Monasterio es, como puede verse en la actualidad, el retablo mayor de la basílica, de clara inspiración italiana y enteramente hecho en piedras duras y bronce. El colosal retablo mide 14 por 26 metros de alto y está formado por cuatro cuerpos de órdenes sucesivos: el cuerpo inferior es dórico, con seis columnas estriadas de color sanguíneo y basas y capiteles de bronce dorado a fuego. El segundo cuerpo, de orden jónico, descansa sobre un podio también de color sanguíneo, y contiene seis columnas del mismo material, apoyadas en sus correspondientes pedestales, con embuticiones de color verde. El tercer cuerpo es de orden Corintio y consta de cuatro columnas y dos remates piramidales de color verde en ambos extremos (Figura 1).

Según el contrato que figura en el archivo de la Real Biblioteca de El Escorial y en el Histórico de Protocolos de Madrid, donde se encuentra el contrato original, el 3 de enero de 1579, Jacome Da Trezzo, Pompeo Leoni y Juan Bautista Comane conciertan, con el Rey y la Congregación, la ejecución con sus propios medios, trabajadores y equipos, de la arquitectura y escultura del retablo mayor, tabernáculo y grupos funerarios del presbiterio de la iglesia principal del Monasterio, que ha de hacerse según las trazas de Juan de Herrera. Dicho contrato establece la parte de la obra que debe ser hecha por cada uno de los artífices, así como la obligatoriedad de encargarse del total de la obra en caso de enfermedad o fallecimiento de cualquiera de los asociados. Igualmente se establece en dicho contrato la necesidad de construir un molino para cortar el mármol. Trezzo y Leoni debían ocuparse del tabernáculo, la custodia y la escultura, así como del enlosado del presbiterio, mientras que Comane era responsable del trabajo en mármol, junto con el gobierno y explotación de las canteras de mármol y jaspe que suministrarían estos materiales, tanto a la obra del retablo como a otras partes del Monasterio, como el enlosado de la capilla mayor (RBME VI-40, ff. 3-8), (AHPM, T. 571, f. 236).

La construcción de dicho molino para el corte de las piedras de parte de la basílica supuso un reto tecnológico sin precedentes en el siglo XVI en España, que necesitó



FIGURA 1. VISTA FRONTAL DEL RETABLO MAYOR DE LA IGLESIA PRINCIPAL DEL MONASTERIO DE SAN LORENZO DE EL ESCORIAL. Disponible en: [www.patrimoniacional.es](http://www.patrimoniacional.es)

para su realización de los conocimientos más avanzados de la época, tal y como se esboza en la reconstrucción virtual de la arquitectura, hidráulica y mecánica que ha podido llevarse a cabo y que se expone en el presente artículo.

## I. LA CONSTRUCCIÓN DEL RETABLO MAYOR DE LA BASÍLICA DE EL ESCORIAL

El material principal del retablo, el llamado «jaspe», debía provenir de las canteras de Espeja siendo el encargado de buscarlo Juan de Guzmán. Casi 10 años antes de contratarse la construcción del retablo, en mayo de 1569, Juan de Guzmán ya es enviado por la Dirección de la Obra para estudiar la extracción de mármoles y jaspes, consiguiendo muestras de jaspes para su análisis (AGS, CSR, LEG. 279). Asimismo, se le encarga la búsqueda de operarios especializados en piedras finas. Ya en una carta de 23 de junio del 1569, Jacome de Trezzo habla con exaltación de los jaspes traídos por Juan de Guzmán (AGS, CSR, LEG. 259, 506). Un año antes, Juan Bautista Comane ya había sido designado con fecha, 18 de mayo de 1578, para la labor de inspeccionar las canteras de mármol y jaspe de Espeja y Huerta en Burgo de Osma (Soria) y otras aún no descubiertas (Babelon 1922; Cano de Cardoqui 1994). Su muerte en 1582 obliga a Trezzo a hacerse cargo de toda la obra que debía realizarse en España, tanto en mármol como en otras piedras finas, mientras que Pompeo Leoni regresa a su taller de Milán para ocuparse de la realización de las esculturas y parte decorativa en bronce, contando con la ayuda de su padre Leone Leoni.

Uno de los motivos principales por los cuales fue construido el molino de mármol o aserrería era la necesidad imperiosa de Felipe II de ver acabada su obra, por lo que confió para su ejecución en el buen hacer del magnífico lapidario Jacome da Trezzo, responsable de la traza o planos del molino y en Juan de Herrera arquitecto de El Escorial y apasionado constructor de ingenios. Con dicho molino el tiempo previsto para la terminación de la obra, se aventuró en cuatro años, aunque finalmente se alargó a siete, aun así, muy inferior, tal y como relata Trezzo, al tiempo en que se habría terminado (superior a 20 años) de no haber existido dicho molino. Evidentemente, no sólo se consiguió acortar el tiempo de ejecución, sino también el esfuerzo y, por lo tanto, el coste. Inicialmente se entregó a los ejecutores 200 ducados para comenzar, los cuales se irían descontando en proporción de lo que fuesen entregando trabajado y al final de la obra se habría de tasar todo por personas nombradas para ello.

### 1.1. LOS MATERIALES PÉTREOS DEL RETABLO

Durante la época de construcción y varios siglos después, los cronistas de El Escorial como Sigüenza, Quevedo y otros, denominaron a los materiales utilizados indistintamente como mármoles o jaspes, por el carácter vetado de las piedras, sin atender a sus verdaderas características (Cano de Cardoqui 1994). Algo, por otra parte, muy frecuente hasta el siglo XIX. La realidad es que el retablo contiene

tres tipos de rocas, bien diferenciadas, con durezas muy distintas: la serpentina (de dureza 2,5-5 en la escala de Mohs), el jaspe (dureza 6,5 a 7 en la escala de Mohs) y el mármol (dureza 3-4 en la escala de Mohs). Tal y como explica Carlos Vicuña (Vicuña 1929):

Son de serpentina las losas verdes del plano del Presbiterio; las jambas, dinteles, sobredinteles o capirotos de todas las puertas que a él conducen; las pilastras, fondos, nichos del retablo, pirámides terminales y otras mil piezas fácilmente discernibles por su hermoso e inconfundible color verde... Toda ella procede del Barranco de San Juan (Sierra Nevada); es análoga a la de Santa María de Ortigueira y distinta a la de la Serranía de Ronda; por su origen es piroxénica o anfibólica y ostenta un color verde oscuro con manchas negras de magnetita y filoncillos blancos de calcita (Figura 2).

Todo el material pétreo restante está constituido de mármoles de Espeja (Soria), Macael en la Sierra de Filabres (Almería) y Anda, lugar de Álava, distante 5 leguas de Miranda de Ebro. El mármol pudinguiforme, almendrado o piñonate de Espeja hace casi todo el gasto en las graderías del presbiterio, zócalos, columnas, pilastras, pisos, frontones, etc.; las grandes losas de mármol negro de Anda forman los fondos de ambos enterramientos y las escasas piezas marmóreas restantes son de Macael (Figura 2).

El jaspe, propiamente dicho, forma una faja a lo largo de los frisos en los órdenes arquitectónicos del retablo, dibuja los cuarteles de las puertas de subida al Tabernáculo, traza el fondo y muchas de las figuras heráldicas de los grandes escudos de ambos enterramientos y, sobre todo, muestra sus galas en el maravilloso tabernáculo de Jácome Trezzo. A excepción de algunas fajas marmóreas del zócalo, de la cornisa y del revestimiento interior, todas las piedras restantes hasta el remate son jaspes de los más variados colores, de superior calidad y de un brillo y pulimento extraordinario. Aseguran todas las historias descriptivas del Real Monasterio que las 8 columnas de este tabernáculo se labraron en una piedra durísima que fue necesario trabajarla a punta de diamante con aparatos inventados ad hoc por el artífice italiano. Existe en abundancia el jaspe mencionado en diversos puntos de la provincia de Huelva; el del Tabernáculo escurialense fue extraído de una cantera próxima a Aracena. Además de este jaspe rojo propio de las columnas y nichos, abunda esta joya en otros jaspes de variados colores y superior pulimento; muchas piezas pasan a jaspe ágata y a mezclas de ágata calcedonia y cuarzo transparente; dígame lo mismo de algunos cuadros o cuarteles de las dos puertas que dan acceso a la obra de Jacometrezzo.



FIGURA 2. CORNISA DE MÁRMOL DE ESPEJA Y SERPENTINA VERDE EN EL PRIMER ORDEN DEL RETABLO.

Fuente: F. V. Sánchez Martínez

Esta diferencia en la calidad y sobre todo dureza de las piedras condicionó, en gran medida, la planificación de la obra y la ejecución de las tareas, realizándose éstas en distintos lugares y con métodos y herramientas distintas.

## 1.2. LA PLANIFICACIÓN DE LA OBRA

Es de suponer, que Trezzo, como experto lapidario y buen conocedor de las piedras ornamentales, comprendía perfectamente la dureza y dificultad de cada una de ellas y planificó la producción de la obra en función de dicha dificultad, siendo la parte más complicada aquella realizada en verdadero jaspe, es decir, la custodia, armas y algunos elementos del retablo como los embutidos de los frisos o los cuarteles de las puertas de subida al tabernáculo. Así se recoge en varios documentos, como en el memorial de la obra realizada hasta enero de 1581 en casa de Jacome da Trezzo donde se mencionan los jaspes duros (AGS, CSR, LEG. 261, f.169). La dificultad de dicho trabajo aparece con frecuencia en las cartas que dirige Trezzo, tanto a Juan de Herrera como a su Majestad, así como en las crónicas de El Escorial. Dice el padre Sigüenza con respecto al jaspe de las columnas del tabernáculo (Sigüenza 1963):

...Ninguna herramienta ni acero se halló que pudiese domarlo ni vencerlo, así se hizo a costa de diamantes, y con ellos están labradas y torneadas las columnas

De esta manera, se explica que Trezzo realizara la labra de dichas partes, de extraordinaria dureza, en el taller de su casa, auxiliándose de todo tipo de ingenios que le permitieran superar dicha dificultad, empleando incluso diamantes, para poder terminar la obra en el plazo estimado, tal y como relata el propio Trezzo en una carta de 1581 (AGS, CSR, LEG. 261, 232):

...mas por acavar esta obra con brevedad y con poco gasto he hecho quinze ingenios o instrumentos que los dozi me costan 22 ducados cada uno y los tres a 35 ducados que todo monta 429 ducados y esto serviran por toda la obra y valdran casi el mismo costo...  
...mas por la dicha obra es menester por tornar las ocho columnas y otras cosas de diamante e comprado ducientos e cinquenta quilates de diamante a ducado el quilate montan... (Transcripción propia).

Con frecuencia se ha hecho mención al empleo de estos artificios, aunque sin detallar su posible funcionamiento, así en la biografía de Trezzo de Jean Babelon, se mencionan sierras especiales para el tallado de las piedras, en concreto, para el pedestal de la custodia se dice que se utilizaron dispositivos que permitían realizar cortes cóncavos y convexos y que son manejados por dos peones bajo la dirección de un oficial; y así mismo se habla de un molino, cuyo emplazamiento Babelon desconoce y sitúa en casa de Trezzo, que cortaría las piedras con ayuda de ruedas de plomo con diamantes (Babelon 1922).

Hoy en día, sin embargo, se sabe perfectamente que la ubicación de dicho molino, utilizado por Jacome da Trezzo, estuvo en el río Aulencia en la villa de El Escorial; y por lo tanto, los útiles mencionados por Babelon y que aparecen en la tasación que

hicieron Joan Baptista Monnegro y Diego de Alcántara, de la obra del retablo del monasterio de San Lorenzo el Real, el 6 de mayo de 1581 (AGS, CSR, LEG. 258, 258) se encontraban en el taller de Trezzo y no así en el Molino. En dicha tasación, se explica que en el taller de Trezzo existían 12 «máquinas de serrar», para la realización de cortes esféricos, valoradas tanto por el material que contenían: cobre, hierro, madera y mangos, como por la función que desempeñan, en 30 ducados cada una. Además, pueden contabilizarse 3 máquinas para realizar cortes cóncavos o convexos, 4 sierras columnares y 6 sierras rectas, todo lo cual se encontraría en el taller madrileño de Trezzo que, sin ninguna duda, afirma Babelon, era el taller general de la obra y en el que trabajaban tanto Trezzo como Leoni.

Por otro lado, a pesar de la dificultad inherente a las piedras utilizadas, el diseño del retablo era suficientemente sencillo, artísticamente hablando, como para permitir a Trezzo conseguir la mayor parte de las piezas, a partir del trabajo de peones o mano de obra no especializada, mediante la ayuda de las herramientas citadas. Dicha simplicidad artística permitió, asimismo, a Trezzo obtener el resto de los elementos del retablo, cuya dureza no era tan comprometida, en los otros talleres dispuestos para tal fin, con la participación de peones y oficiales y sin necesidad de su intervención directa. Así ocurrió, al parecer, en el Molino, cuya construcción se planifica ya en el mismo pliego del contrato del retablo. Allí se mecanizó parte de las tareas repetitivas y se agilizó en gran medida la terminación de la obra.

En los dos primeros años, cuando aún no estaba en funcionamiento el Molino, los trabajos en mármol se realizaron en las propias canteras, como la de Espeja, donde se aserraban y labraban las distintas piezas del retablo. Estando equipada la cantera, para este menester, con las necesarias fraguas para la construcción y reparo de las herramientas, un taller para la labra, etc... Como figura en el memorial de enero de 1581 (AGS, CSR, LEG. 261, 169).

Pero a partir de la fecha en que estuvo listo el Molino, no vuelven a aparecer memoriales de canteras, en los que figuren que se han elaborado piezas, por lo que es de suponer que, desde ese momento, el labrado y pulido del resto de piezas del retablo de dureza igual o inferior al mármol, se trasladó al Escorial. Así se deduce de las *dattas* de pagos a los peones del Molino, así como del memorial que Trezzo envía al rey, en noviembre de 1587, donde se pone de manifiesto la supervisión que, a lo largo de los años que duró la obra, hace del trabajo del Molino puesto que, entre otros gastos, se mencionan: 29 viajes desde Madrid al edificio del Molino en El Escorial (AGS, CSR, LEG. 261, 527).

La puesta en marcha del Molino supuso una verdadera industrialización de parte de los trabajos del retablo, llamándosele «*aserrerya*», lo que denota que su principal misión era el corte, tal y como puede leerse en las nóminas de los trabajadores del jaspe de 1582, y donde se recoge que sólo trabajan en ella peones. En dicha nómina, se distingue claramente entre el trabajo mecánico realizado por las máquinas del Molino y el trabajo manual realizado por peones y oficiales, como es lógico, con ayuda de herramientas. En dicho documento queda patente que en el mismo edificio convivían ambas actividades, por lo que debía existir una zona de taller donde se realizaban las labores manuales, aparte del espacio ocupado por el propio Molino donde estaban las máquinas. La envergadura de dicha fábrica debió ser tal que los

costes fueron asumidos por el rey, en vez de cargarse a la cuenta de los responsables del retablo, según estipulaba el contrato (RBME VIII-16, f. 16).

Por último, en 1583, cuando la obra estaba suficientemente avanzada, y los trabajos de montaje en el retablo comenzaron a ser importantes, se construyó un taller de madera, de 90 pc de largo y 34 pc de ancho (unos 10 por 30 metros), donde es de suponer que se realizaron aquellas tareas necesarias para el asiento del retablo, incluyendo labrado, pulido, embutido y retoques finales a pie de obra (RBME VIII-24, f.19), (RBME IX-19, ff. 15,17).

## II. EL MECANIZADO DEL CORTE DE PIEDRAS HASTA EL SIGLO XVI



FIGURA 3. COLUMNA SERRADA POR SIERRA MÚLTIPLE DE CUATRO HOJAS EN GERASA. Fuente: Morin et Seigne 2007



FIGURA 4. BLOQUES SERRADOS Y PULIDOS EN ÉFESO. Fuente: Greeve et Kessener 2007

Uno de los aspectos cruciales a la hora de abordar la reconstrucción del aserradero ha sido definir el estado tecnológico de la época en cuanto al trabajo con las piedras, en especial ornamentales. Hacia el 1000 a.C. todas las herramientas esenciales de uso cotidiano como el hacha, el martillo, el cincel, y por supuesto la sierra, así como el pulido con abrasivo o con lima, se conocían y usaban de forma habitual desde hace tiempo (Strandh 1988; VV. AA. 1993). Más tarde, en época romana es de sobra conocido el empleo de piedras ornamentales como el mármol, por lo que los procesos de trabajo con estos materiales se generalizaron. La primera descripción del proceso de serrado y pulido de estas piedras la tenemos por Plinio que habla de su posible primera utilización en el Mausoleo de Halicarnaso (352 a. C.) y de cómo seguramente se realizaba el proceso de serrado (Hernández 1999). Existen referencias al corte de piedras con sierra, en los mismos lugares de extracción, como las expuestas por el arqueólogo Albert Neuburger en una cantera explotada por los romanos en el sur de Alemania donde se han

encontrado monolitos serrados de una longitud de 4,5 metros, aparentemente, la misma técnica que se utilizaba dos mil años antes en la época de las pirámides (Neuburger 1919).

Uno de los aspectos cruciales en cuanto al desarrollo tecnológico de esta época fue el empleo de la energía hidráulica como fuerza motriz. Con respecto a los procesos de serrado de piedras, sabemos que se utilizó la energía hidráulica debido

a un poema del poeta Décimo Máximo Ausonio (310-395 d.C.). En su poema al Mosela evoca los molinos de grano y las sierras para el corte de mármol accionadas por la corriente situadas en algunos afluentes del río.

La confirmación de que dichas máquinas existieron se produjo con el descubrimiento de los restos arqueológicos de Gerasa (Jordania) en 1930 (Figura 3) y de Éfeso (Turquía) en 1969 (Figura 4). La confirmación última llegó en el año 2007, con el descubrimiento de un bajorrelieve en Hierápolis, hoy Pamukkale, en Turquía, en el que puede verse grabado el mecanismo de una sierra movida por una rueda hidráulica. Dicho bajorrelieve se encuentra en el frontal del sarcófago de Marco Aurelio Amiano y está datado en el siglo III d. C (Figura 5).

A pesar de que el serrado de madera y piedras y el pulido de piedras, llegaron a mecanizarse en época romana, la escasez de referencias durante la mayor parte de la Edad Media con respecto al desarrollo mecánico de estos procesos, hacen suponer que sufrieron un retroceso o estancamiento. Debido, seguramente, a su mayor dificultad tecnológica con respecto a otras aplicaciones como el bataneo o la molienda, apenas se tienen referencias de sierras hidráulicas para el corte de madera y mucho menos de piedras en Europa hasta el siglo XIII.



FIGURA 5. RELIEVE DE UNA SIERRA HIDRÁULICA DE CORTAR PIEDRA. SARCÓFAGO DE MARCO AURELIO AMIANO EN HIERÁPOLIS. Fuente: Greeve et Kessener 2007

### III. LA TECNOLOGÍA DEL CORTE DE PIEDRAS DURAS EN EL SIGLO XVI

El Renacimiento, como su propio nombre indica, supuso un completo resurgimiento de los aspectos artísticos y técnicos parcialmente olvidados de la época Clásica. El interés por las artes suntuarias favorecido por las circunstancias socioeconómicas de los distintos estados de Europa y principalmente de Italia relanzó el trabajo con las piedras ornamentales.

El resurgir del arte lapidario unido al interés por los clásicos en Italia, provoca que artistas y mecenas se interesen nuevamente por materiales como el mármol y el resto de las piedras duras; recomenzando así su utilización masiva en las obras de arte. La necesidad de grandes cantidades de piedras duras aumentó la necesidad de los procesos primarios de corte, como el serrado, que seguía realizándose con ayuda de abrasivos, generalmente esmeril, y agua como refrigerante y fue utilizado en las grandes obras como el Duomo de Milán, por Domenico y Giovanni Maria Ferrari de Arzo (Vera 2004).

El trabajo con las piedras ornamentales siguió utilizando los tipos básicos de herramientas manuales utilizadas desde la Antigüedad, es decir las herramientas de

percusión y las de abrasión. Las herramientas de percusión empleadas, en general, para dar forma o tallar como hachas, martillos, cinceles, gubias y trépanos, se utilizaban dependiendo del trabajo a realizar y del tipo de piedra que se estuviera utilizando. El trabajo de las piedras más duras requería de herramientas cuya dureza fuera superior a ellas, empleándose a veces el corindón que se talla sólo con el diamante. Y en el caso de trabajos muy finos en piezas pequeñas, se utilizaban directamente unos bastoncitos con diamantes encastrados (Giusti 2003).

Por otro lado, las herramientas de abrasión se utilizaban para cortar, pulir y también dar forma a las piedras duras y como se ha visto, son quizás las herramientas más antiguas utilizadas (Rockwell 1993). Las sierras para el corte de piedra del siglo XVI pertenecen a esta última categoría empleándose principalmente para el corte de piedras duras. Aunque se sabe que podían ser de muy diversos tamaños, por lo general, las hojas de las sierras eran rectas, delgadas y largas, de metal, cobre o hierro, podían ser de más de 3 m de longitud, entre 10 y 20 cm de altura, y como máximo de 5 mm de anchas. Sólo la sierra para piedras muy blandas, como la toba, o el alabastro (de dureza 1,5-2 Mohs) tenía dientes, las demás, todas cortaban con polvo abrasivo (por lo general, esmeril) y con la ayuda de agua para evitar el recalentamiento. La esencia del corte es el movimiento de ida y vuelta de la sierra sobre el abrasivo, produciéndose de ese modo un corte estrecho y un acabado casi perfecto de la superficie aserrada.

Empleado desde la Antigüedad, el serrado es muy útil, no malgasta ni rompe la piedra, permite el corte de losas grandes, pero también es posible utilizar sierras pequeñas, o piedras abrasivas, y el polvo y el agua necesarios son fácilmente accesibles. Además, en aquellas tareas que pudieran ser repetitivas, era posible rescatar los procesos de mecanización ya existentes en la época romana, que como ya se ha explicado estaban basados fundamentalmente en procesos de abrasión como el serrado sin dientes. Dichos procesos antiguos fueron, sin duda, desarrollados y mejorados en el renacimiento debido a la tremenda simbiosis técnico-artística de esta época.

Aunque existe poca información acerca de las técnicas y usos exactos del serrado de piedras duras, parece cierto que no fue una técnica utilizada masivamente en construcción, para dar forma a bloques de cantería o sillares, trabajo que solía realizarse manualmente con herramientas de percusión, sino que se usó fundamentalmente en las artes suntuarias, para el corte de elementos decorativos (en Arquitectura y Escultura), como las delgadas losas que luego podían emplearse en el revestimiento de interiores (las losas utilizadas en exteriores solían ser mucho más gruesas y no se serraban), el corte de columnas, o para el corte de azulejos o piezas para mosaicos en el recubrimiento de pisos y también para conjuntos escultóricos como el retablo mayor de la basílica de El Escorial. De esta forma se cortaban principalmente los mármoles, de dureza 3-4 Mohs (es decir, que pueden ser rayados por el acero), para la fabricación de losas de revestimiento que posteriormente se tallaban con una plantilla y se pulían.

Un elemento fundamental en el trabajo con piedras duras era el uso del esmeril, mineral de color negro que se conoce desde la Antigüedad y que se extraía de las minas del archipiélago griego y de Asia Menor. El esmeril se encuentra en forma de guijarros, que se seleccionan mediante lavados y decantación, para elegir los diferentes grosores. Su dureza en torno a 9 en la escala de Mohs, permite que con



una herramienta de hierro o mejor, acero, y la ayuda del esmeril y agua, se pueda cortar casi cualquier piedra.

En los distintos tratados de máquinas que comenzaron a proliferar en el Renacimiento, primero en Italia y luego en toda Europa, podemos encontrar ejemplos de la mecanización del serrado de piedras, como en el de Fausto Verancio, en *Machinae Novae* de 1615. Éste propone una sierra mecánica basada en un sistema de vaivén de accionamiento manual, aunque podría adaptarse a otra fuente de energía. La sierra, al igual que una de accionamiento manual de Leonardo Da Vinci, es de marco horizontal lo que permite la inserción de varias hojas. Los contrapesos pendulantes, situados de forma simétrica a ambos lados de la sierra, permitirían reducir el esfuerzo a realizar por el operario (Figura 6).

Otro mecanismo de una sierra para cortar mármol de marco vertical aparece representado en *Le Machine* (1629) de Giovanni Branca. Branca propone un mecanismo general que puede ser accionado igualmente por agua, viento o sangre. En él puede verse el cigüeñal, que proporciona el movimiento atrás y adelante, un sistema (D) para asegurar la direccionalidad del marco, y un sistema de poleas y contrapesos para mantener perpendicular el bastidor de la hoja, que puede ser de hierro o cobre, según se indica en las explicaciones. También se indica que el operario debe aportar al corte el abrasivo y el agua (Figura 7).

El ejemplo de la figura 8 es una sierra de Agostino Ramelli, publicada en *Des artificieuses machines* en 1588. La sierra es de bastidor horizontal y dispone de tres hojas de sierra, sobre las que el operario vierte el abrasivo y el agua para conseguir cortar la piedra, evitando el recalentamiento de las cuchillas u hojas. El movimiento del bastidor horizontal de la sierra es producido por la fuerza motriz del agua, suministrada por una canaleta, que alimenta la rueda de cangilones por su parte superior. Dicho movimiento se transmite mediante un engranaje de tipo linterna a la rueda para moler grano, mientras que la parte inferior del eje de dicha rueda lleva tallado un tornillo sin fin (que no se percibe en la imagen), que engrana en una linterna que transmite el movimiento a la sierra. La transformación del movimiento rotativo en movimiento de desplazamiento lineal se realiza mediante dos manivelas,

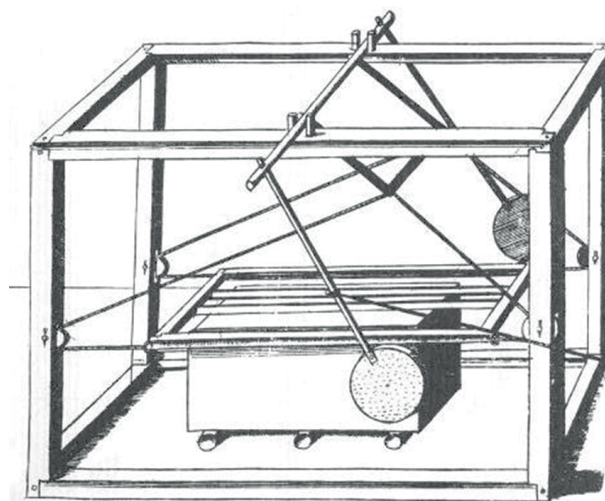


FIGURA 6. SIERRA PARA CORTAR PIEDRAS DE ACCIONAMIENTO MANUAL. FAUSTO VERANCIO 1615: *MACHINAE NOVAE*. Disponible en <http://dmd.mpiwg-berlin.mpg.de/>

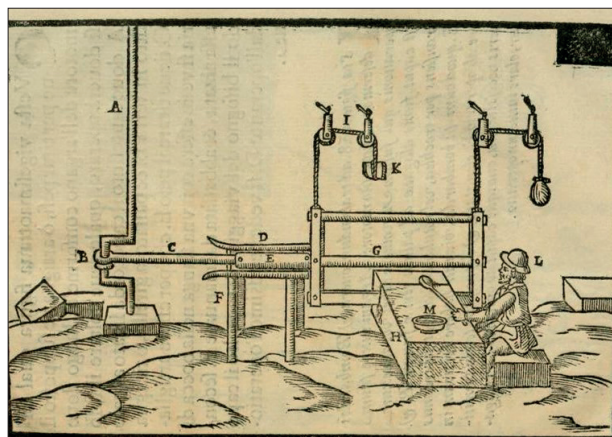


FIGURA 7. SIERRA VERTICAL DE CORTAR PIEDRA. GIOVANNI BRANCA 1629: *LE MACHINE*. Fuente: Branca 1629

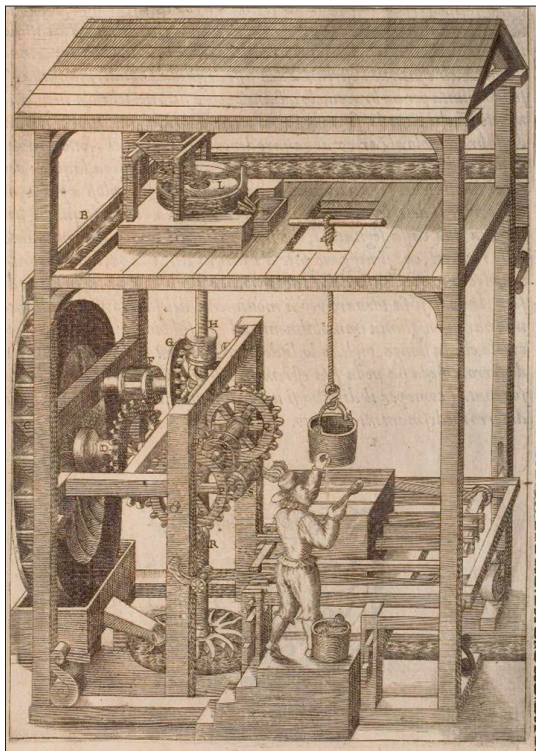


FIGURA 8. MOLINO HIDRÁULICO DE GRANO Y DE CORTAR PIEDRA. AGOSTINO RAMELLI DAL PONTE 1588: *LES DIVERSES ET ARTIFICIEUSES MACHINES*. Fuente: Ramelli 1588

dispuestas simétricamente a ambos lados del bastidor, produciendo el movimiento adelante y atrás necesario para serrar el bloque de piedra. Por otro lado, la fuerza que aún le resta al agua, después de ser aliviada de la rueda vertical, se aprovecha, mediante un rodezno o rueda horizontal, para ayudar a mover el eje principal del molino de grano (Figura 8).

Otro de los procesos que se sabe que fue mecanizado en el Renacimiento fue el pulido de la piedra por lo menos en lo que respecta a sus primeras fases. Aunque se desconocen los métodos exactos de pulido de los antiguos egipcios y romanos, los métodos del Renacimiento no parecen diferir mucho de aquellos, ya que muchos artistas de esta época se ocuparon de investigar y recuperar aquellos antiguos métodos, que en gran parte de los países se habían olvidado o perdido.

En términos generales, la aplicación del pulido de la piedra se realiza principalmente sobre piezas, utilizadas para pavimentar o enlosar, o en piedras decorativas, y tiene dos fases bien diferenciadas: la primera,

que suele denominarse raspado o pulido, consiste en desgastar la superficie dejándola perfectamente lisa, aunque sin brillo, mientras que la segunda consiste en proporcionar el brillo final a la superficie. Para poder pulir la piedra, ésta debe ser dura, de grano fino y homogéneo. Los mejores resultados se consiguen con los mármoles, jaspes, granitos y alguna caliza. El pulido se realiza frotando la superficie con elementos de mayor dureza que la superficie a pulir, asegurando que el frotamiento se realiza en un plano horizontal. Para el pulido de piedras como los mármoles, podían utilizarse piedras abrasivas de aspereza media o fina o bien polvos abrasivos. Entre las piedras, se utilizaban fundamentalmente la piedra de esmeril, las areniscas y la piedra pómez, y entre los polvos abrasivos más utilizados estaban igualmente el de esmeril y las areniscas y para trabajos de gran calidad el polvo de diamante. La obtención del pulido mediante polvo abrasivo se realiza mediante el frotado de la superficie con distintos tipos de polvos. Primero con productos menos duros y luego más duros y finos, pero siempre de mayor dureza que la piedra a pulir. En el pulido de mármoles podían utilizarse distintas areniscas, piedra pómez y en los jaspes y granitos, el asperón, la potea de estaño, el esmeril, el polvo de corindón o incluso el polvo de diamante. Además del frotamiento de la superficie con varios tipos de abrasivos cada vez más finos, se utilizaba también agua, como en el proceso de serrado, para evitar quemar la piedra. Los abrasivos se frotaban sobre la piedra junto con el agua, lo que mantenía la piedra limpia. Toda

la zona a pulir o alisar debía frotarse por completo con cada tipo de abrasivo más fino utilizado (Rockwell 1993).

El último paso para conseguir un acabado con brillo era el bruñido, que tenía por finalidad eliminar las rayas producidas por los abrasivos y dar brillo superficial, para ello, podían utilizarse discos de esparto, trípoli o polvo de azufre, generalmente mezclado con aceite, frotando con movimientos circulares y evitando, en lo posible, un ambiente de polvo que pudiera rayar la superficie. En la documentación referente a la construcción del retablo de El Escorial se encuentra abundante información sobre dichos procesos de raspado y bruñido. Tal y como explica Jean Babelon (Babelon 1922), para pulir las piedras se empleaban distintos tipos de abrasivos: «*se empleaba igual que siempre se ha hecho, el polvo de diamante, el esmeril, el plomo, el tripoli, la potea, el aceite, etc.*». De la utilización de dichos materiales hablan las cuentas del taller de Trezzo en Madrid que se conservan en el Archivo General de Simancas (AGS, CSR, LEG. 258, 258).

#### IV. PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN DEL ASERRADERO DE MÁRMOL DE EL ESCORIAL

Cuando se decide construir el molino de mármol en 1579, es obvio que necesitan situarlo cerca de un suministro de agua importante para poder contar con la fuerza hidráulica necesaria con que mover las máquinas. Dos años antes de comenzar la construcción del molino de mármol se había construido cerca del Monasterio el primer molino harinero para suministro de éste. La presa de este molino harinero constituye, por tanto, el lugar ideal para construir el molino de mármol, no sólo por la inmediata provisión de agua, sino también por su cercanía al monasterio de El Escorial. Al utilizar el molino de mármol la instalación hidráulica del molino harinero ha sido necesario analizar y ubicar correctamente ambos molinos para conseguir una reconstrucción virtual coherente de ambos.

En la construcción de ambos molinos se utilizaron trazas y documentos, gran parte de los cuales no han llegado hasta nuestra época, no disponemos, por ejemplo, en la actualidad de ninguna de las trazas de los dos molinos. Esto, unido a los escasos restos físicos conservados, ha dificultado grandemente su reconstrucción arquitectónica y tecnológica a lo largo de estos 500 años. Y es en gran parte debido a este hecho, por lo que no existía, hasta el momento, un modelo explicativo de dicho conjunto que fuera coherente con los datos físicos y documentales que todavía permanecen.

La obtención de un modelo arquitectónico y tecnológico de dicho conjunto molinar, ha necesitado, por lo tanto, de las siguientes líneas de actuación: búsqueda de datos existentes; búsqueda, recopilación y análisis de la tecnología de serrado y pulido en el renacimiento; búsqueda, recopilación, transcripción y análisis de los datos documentales; exploración e investigación de los restos físicos del conjunto molinar; comparación de datos documentales y restos físicos; búsqueda, recopilación y análisis de las representaciones gráficas existentes del conjunto; estudio del estado constructivo y tecnológico común de la época; búsqueda y análisis de modelos precedentes.

Con respecto a las fuentes documentales, las más interesantes, sin duda, han sido los documentos manuscritos relacionados con la construcción y funcionamiento de los molinos. En este sentido, podemos distinguir varios tipos de documentos:

1. Las obligaciones contractuales de los distintos maestros destajeros que hicieron las obras, firmadas generalmente ante el obrero mayor, el contador, el veedor y a veces el prior del Monasterio.
2. Las tasaciones, documentos emitidos por uno o varios profesionales del gremio, una vez terminada una obra, para dar fe de su ejecución y que resultan claves para entender su construcción, de las que, desgraciadamente, han sobrevivido muy pocas.
3. Las libranzas de pago o «*dattas*» que debía presentar el pagador. En el caso que nos ocupa, los pagadores, durante los años en que se construyó el Molino y estuvo en funcionamiento, fueron; primero, Juan de Paz y después del fallecimiento de éste, su hijo Tomás de Paz. Dichas libranzas se basaban en la razón proporcionada por el contador, encargado de dar el visto bueno al pago de las obras, así como por el tenedor de materiales, encargado de la recepción y provisión de estos.
4. Otros, como cartas de los distintos implicados en el funcionamiento del Molino del Jaspe (Jacome da Trezzo, Juan de Herrera, Maese Pedro de la Mola, etc.), manuales de hacienda del Monasterio, actas capitulares, etc.

En base al análisis de los datos anteriores, se ha realizado una propuesta arquitectónica y tecnológica del conjunto molinar que incluye, tanto al molino de mármol como al molino de harina. Dicho modelo ha sido la base para su reconstrucción en 3D y es consecuente con los datos encontrados. Por otro lado, la reconstrucción de aquellos aspectos arquitectónicos o tecnológicos de los que se ha carecido de datos se ha realizado de forma coherente tanto con los datos que sí existen como con el funcionamiento lógico de ambos molinos y con el estado arquitectónico y tecnológico común de la época (Sánchez 2015).

## V. RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DEL ASERRADERO DE MÁRMOL

Como se ha comentado en el apartado anterior, al estar ya construido el molino de harina en el margen izquierdo del río, junto con su cubo y canal para tomar el agua de la presa, era del todo imposible situar el molino de mármol en dicho margen izquierdo, que era la zona más accesible para la entrada y salida de carretas. Por tanto, la única posibilidad que tenían para situarse cerca de la presa, era construirlo sobre el mismo río, con la fachada principal paralela al muro de la presa. Por lo tanto, los restos físicos existentes en la villa de El Escorial en forma de arcada (Figura 9), han de corresponderse, sin duda, con el edificio del molino de mármol construido por Jacome da Trezzo y Juan de Herrera, mientras que los restos del canal y el cubo que todavía subsisten han de corresponderse con el primer molino harinero que tuvo el monasterio.

La reconstrucción del edificio se ha basado en los datos existentes, en las funciones que debía desempeñar el Molino y en los usos constructivos de la época. Los documentos relativos a su construcción, existentes hoy en día, son realmente escuetos. En concreto, se dispone de las obligaciones de la obra de cantería y las de mampostería y froga, así como las libranzas de pagos por estas obras (AGS,



FIGURA 9. PRIMER ARCO COMPLETO, ARRANQUE DEL 2º ARCO Y MURO DE LADRILLO EN LA PLANTA SUPERIOR DE LA FACHADA PRINCIPAL DEL MOLINO DE MÁRMOL. Fuente: F. V. Sánchez Martínez

CMC, IEP, LEG.1761) y la tasación de la cantería del Molino (RBME VII-25, f. 5), que aporta datos significativos. También se han extraído algunos datos importantes de la libranza por la obra de carpintería que se hizo para su reconstrucción en molino de papel en 1590 (RBME XII-7, ff. 15-17). En casi todos estos documentos se hace mención a que el Molino se construye junto al molino de harina a la salida de la dehesa de la Herrería. Del análisis de la documentación estudiada puede deducirse que el edificio estaba realizado parte en piedra labrada, es decir, sillares y parte en mampostería y fábrica de ladrillo. Según puede verse aún (Figura 9), parece que la sillería y, seguramente, el mampuesto se utilizaron en la planta baja, mientras que la fábrica de ladrillo se utilizó en la planta superior. Con respecto a la cimentación, se usó el propio lecho pétreo del río, como atestiguan las rozas realizadas sobre los macizos rocosos del arroyo donde se encuentran los restos y según se especifica en la documentación.

El molino de mármol estaba, por tanto, sobre el río, en dirección transversal al cauce, para disponer de la toma de agua y, por supuesto, para disponer de un acceso adecuado, para los materiales, a través de un terraplén construido para tal efecto, que todavía puede verse en el lugar. Del análisis de los datos (Sánchez 2015) se concluye, que la planta de dicho edificio debía ser de aproximadamente de 13,3 x 21,7 m, es decir, la longitud del cubo más la longitud del molino de harina, por el ancho que ocupaba en dirección transversal al río, aproximadamente 21,7 m. Lo que hace un total de 290 m<sup>2</sup> de superficie. El Molino, al estar situado sobre el río, tenía obligatoriamente sus elementos hidráulicos y mecánicos dispuestos en dos plantas, lógicamente los segundos encima de los primeros. En la planta inferior o lecho del río debía estar dispuesta la maquinaria hidráulica, que permitía mover las máquinas de serrar, tal y como atestiguan los apoyos que existen en el arco que permanece en pie (Figura 9).

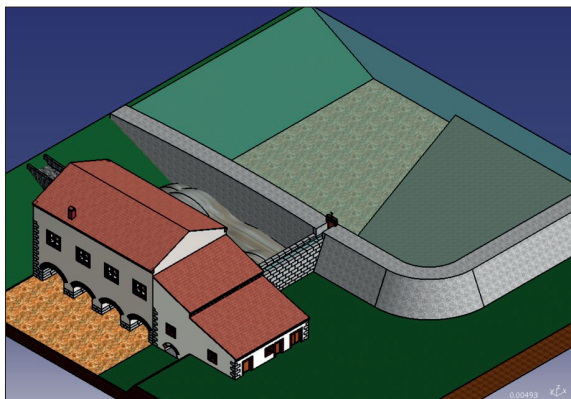


FIGURA 10. VISTA POSTERIOR DEL CONJUNTO MOLINAR FORMADO POR EL MOLINO DE MÁRMOL, QUE CONSTA DE DOS PLANTAS, SITUADO JUNTO AL MOLINO DE HARINA CON SU CANAL Y LA PRESA. Fuente: F. V. Sánchez Martínez

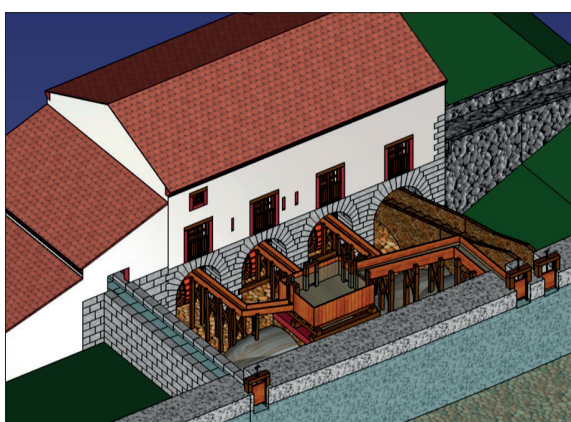


FIGURA 11. VISTA PRINCIPAL DE LA INSTALACIÓN HIDRÁULICA DEL MOLINO DE MÁRMOL. Fuente: F. V. Sánchez Martínez

En la planta superior, sobre los arcos, y al mismo nivel que el terraplén de sillarejo que todavía puede verse en el margen derecho del río, debía encontrarse la maquinaria, situada en la parte más próxima a la presa y al terraplén. Puesto que de la documentación (RBME VIII-16, f. 16), se deduce que en el mismo edificio se encontraba un taller para el trabajo del mármol, éste debía estar ubicado en el espacio que quedaba al fondo del edificio donde no estaban las máquinas. Además de estas dos plantas principales, se construyó una escalera, puerta, ventana y suelo, seguramente para hacer accesible la planta bajo cubierta (RBME VII-36) (Figura 10).

La infraestructura hidráulica del molino de mármol tenía como objetivo asegurar la suficiente potencia motriz para que las máquinas pudiesen realizar su trabajo. Los encargados de su construcción fueron Maese Pedro de la Mola y Andrés de Herrera responsables del Ingenio (RBME VI-22, ff. 1,1r). No existiría prácticamente información acerca de dicha instalación hidráulica si no fuera por la *datta* de carpintería, para la reconstrucción del molino de mármol en molino de papel, de 18 de enero de 1591 (RBME XII-7). Como el molino de papel aprovechó el edificio y las instalaciones previas del molino de mármol, y puesto que se utilizó la misma presa, es de suponer que se reconstruyeron los

mismos elementos hidráulicos. La reconstrucción virtual del sistema hidráulico, por tanto, se ha apoyado en dicha documentación, y en las libranzas a Andrés de Herrera y maese Pedro de la Mola por el ingenio del *Molino del Jaspe* (molino de mármol) (AGS, CMC, 1EP, LEG. 1761), además de en el funcionamiento lógico del molino y en los manuales hidráulicos de la época. Obteniéndose como elementos más característicos de esta instalación, tal y como puede verse en la figura 11, un nuevo aliviadero (de superficie) en la presa, que se realizó en 1579 (AGS, CMC, 1EP, LEG. 1761, *dattas* de Albañilería 1579), junto a él, la toma de agua para la instalación, un arca o depósito regulador para alimentar a las ruedas del ingenio, tres ruedas verticales (de tipo gravitatorio), apoyadas en una estructura de viguería sostenida por la sillería del edificio, un canal madre y tres canaletas para llevar el agua a las ruedas, además de las necesarias compuertas y demás elementos de accionamiento. (Sánchez 2015) (Figura 11).

El análisis de las posibles funciones que pudo desempeñar el Molino (Sánchez 2015), justifica que la función primordial de las máquinas tuvo que ser el serrado rectilíneo horizontal mediante bastidor, sin descartar otras funciones como la del pulido.

Además, dicho análisis hace suponer que las máquinas fueron utilizadas para serrar piedras de dureza igual o inferior al mármol o la serpentina (3-5 Mohs). Por lo tanto, dichas máquinas, tuvieron que ser de características similares a las que existían en el Renacimiento y conocían los ingenieros y artistas más avanzados de la época, como Ramelli (Ramelli 1588) y della Volpaia (Volpaia s.XVI) que procedían sobre todo de Italia, de donde eran Trezzo, artífice del ingenio, Pompeo Leoni y Comane. Dichas máquinas, necesitaban para serrar, de un movimiento horizontal



FIGURA 12. VISTA DEL CONJUNTO HIDRÁULICO Y MECÁNICO DEL MOLINO DE MÁRMOL. Fuente: F. V. Sánchez Martínez

rectilíneo alternativo. El proceso de serrado era sencillo, consistía en el desplazamiento horizontal del bastidor con las hojas de serrar, generalmente de hierro o acero, con un movimiento de vaivén sobre el bloque de mármol, mientras un operario vertía esmeril y agua sobre las líneas de corte. En cuanto al utillaje empleado en estas máquinas en el Molino del Jaspe, se tienen evidencias, gracias a las *dattas* de pago de los repuestos de las hojas de sierra y de otros elementos que se fabricaron (AGS, CMC, 2EP, LEG. 383), (AGS, CMC, 2EP, LEG. 391), (AGS, CMC, 2EP, LEG. 399), (AGS, CMC, 1EP, LEG. 1760). A partir de dichos datos se puede intentar reconstruir un modelo para las máquinas.

Partiendo de la disposición arquitectónica y de la instalación hidráulica, es obvio que las máquinas debían estar situadas encima de las tres ruedas motrices, en la primera planta del Molino y, por lo tanto, ubicadas encima de los tres arcos. Como es lógico, las máquinas debían estar dispuestas en posición paralela al cauce del río para asegurar, de la forma más sencilla posible, una correcta transmisión del movimiento de cada rueda y puesto que el primer arco, desde el camino de acceso, era por el cual pasaba el aliviadero o desagüe, éste no podía tener rueda ni máquinas, sirviendo de muelle de entrada para el depósito del material.

A partir de los datos disponibles y los modelos de sierras estudiados del Renacimiento, se ha procedido a realizar un modelo de la máquina de serrar, cuyas principales características, son las siguientes (Sánchez 2015): a. Estructura de pórtico, longitudinalmente proporcional al tamaño de las hojas de serrar encontradas en la documentación y, transversalmente, al espacio entre transmisiones. b. Doble bastidor, uno para realizar los movimientos de bajada de las hojas de serrar y otro que sujeta las hojas de serrar para realizar el movimiento de vaivén y cortar la piedra con ayuda del agua y el esmeril suministrados por el operario. c. Dos agarres simétricos a ambos lados del bastidor colocados en la parte trasera del mismo. El desplazamiento vertical del bastidor se producía por gravedad, por lo que la sierra debía contar con una serie de pesos, colocados sobre el bastidor, que le ayudaran en su descenso. Además, cuando se terminara de serrar la pieza, la máquina debía contar con poleas y cuerdas, para levantar el bastidor de hojas y permitir retirar y colocar un nuevo material (Figura 12).

## Agradecimientos

La autora agradece a Patrimonio Nacional de España, por permitir y autorizar la investigación y desbroce de los restos físicos del Molino Caído, pertenecientes al molino de mármol y al primer molino harinero que tuvo el monasterio de El Escorial. Asimismo, al Ayuntamiento de la villa de El Escorial, en especial a Ana Luzón responsable del archivo y a Gregorio Sánchez Meco, cronista de la Villa, por los datos facilitados; a Almudena Pérez de Tudela, conservadora del monasterio de El Escorial y al personal de la Real Biblioteca del Monasterio. Al Archivo General de Simancas, y al resto de archivos consultados.



## BIBLIOGRAFÍA

- Babelon, J. 1922: *Jacopo da Trezzo et la construction de l'Escorial*. Bibliothèque de l'École des hautes études hispaniques, fasc. III. Feret et fils. Burdeos.
- Cano de Gardoqui, J. L. 1994: *La construcción del Monasterio de El Escorial*. Universidad, secretariado de. Valladolid.
- Giusti, A. M. 2003: *Eternità e nobiltà di materia. Itinerario artistico fra le pietre policrome*. polistampa. Florencia.
- Greeve, K., Kessener, P. 2007: A Stone Relief of a Water-powered Stone Saw at Hierapolis. En Actes du Colloques International Nápoles: Collection du Centre Jean Bérard 27.
- Hernández, F., Huerta, J. de. 1999: *Historia natural de Cayo Plinio Segundo* (pp. 1106-1112). Visor Libros. Madrid.
- Morin, T., Seigne, J. 2007: «Restitution et reconstitution d'une scierie hydraulique du IV<sup>e</sup> siècle de notre Ère à Gerasa/Jerash (Jordanie)» en *Actes du colloques Virtual Retrospect Pessac* (Francia): Archéovision 3, éditions Ausonius.
- Neuburger, A. 1919: *Die Technik des Altertums*. R. Voigtländer. Leipzig.
- Rockwell, P. 1993: *The Art of Stoneworking*. University Press. Cambridge.
- Rubio Calzón, L. 1964: *Cronología y topografía de la fundación y construcción del monasterio de El Escorial*. Benzal. El Escorial, Real Monasterio.
- Sigüenza, Fray J. de. 1963: *Fundación del Monasterio de El Escorial*. Aguilar. Madrid.
- Sánchez Martínez, F.V. 2015: «Estudio histórico-tecnológico de las serrerías de corte de piedras duras en el s. XVI: aplicación al análisis y reconstrucción gráfica del molino de corte de mármol utilizado en la construcción del retablo mayor del Monasterio de El Escorial», tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Strandh, S. 1988: *Las máquinas, una historia ilustrada*. Raíces. Madrid.
- Vera Boti, A. 2004: *Elucidario: arquitectura del Renacimiento: significado de los términos según los tratadistas y evolución histórica de los elementos utilizados en la arquitectura, sus oficios y en el urbanismo*. Real Academia Alfonso X El sabio. Murcia.
- Vicuña, P. C. (O.S.A). 1929: *Los minerales de El Escorial: con una descripción geológica del circo del mismo nombre* (discurso) (pp. 223-235). Imprenta del Real Monasterio. El Escorial.
- VV. AA. 1993: *Crónica de la técnica* (vol.1). Plaza y Janés. Barcelona.

## Abreviaturas

- AGS: Archivo General de Simancas  
 AHPM: Archivo histórico de protocolos de Madrid  
 CSR: Casas y Sitios Reales  
 f.: folio  
 ff.: folios  
 LEG.: Legajo  
 pc: pie castellano  
 RBME: Real Biblioteca del Monasterio de El Escorial  
 T.: Tomo



# LA VIDA DE LA PIEDRA

## La cantera y el arte de la cantería histórica

**9** ALBA ALONSO MORA  
Prefacio · Preface

**17** ANDRÉS MOLINA FRANCO  
El mármol en los caminos del siglo XVII. Las cruces de mármol de Macael · Marble in XVII Century Roads. Crosses Made with Macael Marble

**45** ANSELMO CARRETERO GÓMEZ  
Cinco siglos defendiendo la propiedad. Las canteras de mármol de Macael (Almería) · Five Centuries Defending the Property. The Macael Marble Quarries (Almeria)

**71** FRANCISCA VICTORIA SÁNCHEZ MARTÍNEZ  
La influencia de las piedras ornamentales en el desarrollo de la ingeniería en el siglo XVI. Reconstrucción del molino de corte de mármol del monasterio de El Escorial · The Influence of the Ornamental Stones in the XVI Century Engineering Development. Reconstruction of a Sawmill for Cutting Marble in the El Escorial Monastery

**91** JOSÉ NIETO SÁNCHEZ  
Las canteras de pedernal de Vicálvaro durante la Edad Moderna y comienzos de la Edad Contemporánea · Vicalvaro's Flint Quarries during the Modern Age and the Beginning of the Contemporary Age

**115** BEGOÑA SOLER HUERTAS Y JUAN ANTONIO ANTOLINOS MARÍN  
Jaspes, travertinos y brechas del cuadrante sureste de la Península Ibérica. Materiales con valor patrimonial · Jaspers, Travertines and Breccias in the Southeast Quadrant of the Iberian Peninsula. Materials with Heritage Value

