La máquina romana de serrar piedras

La representación en bajorrelieve de una sierra de piedras de la antigüedad, en Hierápolis de Frigia y su relevancia para la historia técnica

Klaus Grewe

www.klaus-grewe.de
Traducción al castellano: **Miguel Ordóñez**

El corte de piedras cuadradas y bloques de mármoles en lajas y placas, cuando es realizado por la mano del hombre, supone un trabajo muy duro y poco gratificante, quién no habrá pensado en inventar una máquina que hiciese tal trabajo.
J. Leupold -J.M. Beyer (1735)

Introducción

En el campo de tumbas situadas a la izquierda y a la derecha de la carretera que llega a Hierápolis, hoy Pamukkale, en Turquía, se encuentran numerosos sarcófagos con inscripciones y alguno menos con representaciones de imágenes.

En uno de estos relieves, que hasta ahora no se le había dado importancia, se encuentra en el frontal del sarcófago de Marco Aurelio Amiano, datado a mediados del siglo III d.C., se intuía un diseño técnico.

El relieve representa un molino hidráulico que alimenta a una sierra de doble corte[1]. Para la historia de la técnica significa una fuente única de información (figura 01).

01- Hierapolis. Relieve de una sierra doble de cortar de piedra de la antigüedad sobre el sarcófago de Marco Aurelio Amiano (2ª mitad del siglo III d.C.)

Los planos y las descripciones de estos artificios de la antigüedad, en el caso de los edificios y otros montajes técnicos, solo han perdurado en contadas ocasiones. Ha sido necesario realizar reconstrucciones con los hallazgos, que por regla general se consiguen en descubrimientos arqueológicos.

Solo unas pocas veces se puede reconstruir la funcionalidad de los aparatos técnicos fabricados según las instrucciones de los ingenieros y de los técnicos de su época. Esto ocurre también en los grandes proyectos de ingeniería y en los diseños de las máquinas empleadas.

Los textos antiguos no son siempre claros, como se demuestra en dos ejemplos:

Mientras que el texto del antiguo ingeniero Nonius Datus, sobre la construcción de un acueducto en Saldae, de mediados del siglo II a.C., describió la

1 El relieve que hasta la fecha no había sido detectado, le fue presentado a este autor en el verano del 2005, en una campaña de excavación en Hierapolis, y fue descifrado por primera vez por él mismo. Un agradecimiento muy especial le corresponde al prof. Francesco D´Andria, director de MAIER (Missione Archeologica Italiana di Hierapolis), por ofrecerme la oportunidad de trabajar con este relieve de Amiano. El epitafio del sarcófago fue tratado por Tullia Ritti, a quien se lo agradecemos y por su siempre colaboración colegial; la traducción al alemán la elaboro agradecidamente W. Eck.A P. Kessener, F. Mangrtz y J. Siegne, le doy las gracias especialmente por sus fructíferas aportaciones en debates sobre la técnica antigua de máquinas de cortar piedras.

planificación y la medición de un túnel muy preciso y claro[2], a Vitruvioio no le salió nada claro la descripción de su corobate (un nivel de su época), siendo en este caso bastante impreciso[3]. Por eso, no les queda otro remedio a los ingenieros actuales más que interpretarlo a partir del saber técnico adquirido o con los propios aparatos técnicos conocidos. De esta forma, es necesario descifrar el código de la construcción del aparato o el concepto del mismo, aunque para ello a veces solo tengan escasos restos de su construcción o de su esquema.

Descripciones técnicas antiguas, como por ejemplo la construcción de un túnel, deberían de ser siempre leídas y supervisadas conjuntamente por historiadores e ingenieros. Theodor Mommsen, se dio cuenta de inmediato cuando describió la construcción del túnel en la lápida de Nonius Datus y escribió: "Quizás logre entender un ingeniero de nuestra época, analizando la construcción, lo que nosotros no conseguimos entender con la descripción de su homologo romano"[4].

Más claramente es el caso del texto de Vitruvioio sobre su corobate: No existe el dibujo del aparato y solo se tiene el texto de la descripción sobre su nivel para su reconstrucción. Y este texto es tan confuso, que desde Leonardo Da Vinci hasta finales del siglo XV, se han hecho casi una docena de prototipos diferentes. Sorprendentemente algunas de estas reconstrucciones no sirven en la práctica, otras en cambio, incluida la de Leonardo Da Vinci, tienen tan poco que ver con la descripción de Vitruvioio, que podrían denominarse como nuevos inventos del renacimiento.

Estas indicaciones sobre los intentos de reconstrucciones con textos antiguos, son necesarias para explicar las dificultadas de la reconstrucción de la sierra del relieve del sarcófago de Marco Aurelio Amiano. Es necesario considerar que esta representación tampoco está nada clara.

A primera vista, se tiene la sensación de que lo que Amiano pretendía con este relieve era demostrar en primer lugar el invento de la transmisión o engranaje y en segundo lugar, que la sierra estaba conectada a él.

El epígrafe en el sarcófago, le nombra a él como constructor del dispositivo del relieve, pero no dice nada sobre su construcción ni sobre su funcionamiento.

Así que, también en este caso, tenemos que interpretar lo que se pueda a partir del relieve, cotejarlo con otros ejemplos y en otros lugares y emplear la lógica que nos lleve a su correcta reconstrucción.

FUENTES HISTÓRICAS Y HALLAZGOS ARQUEOLÓGICOS

Como tantas veces en la investigación de la historia y de la técnica, Vitruvioio suele tener casi siempre las respuestas referentes a las preguntas relacionadas con la técnica de la construcción.

En la descripción de un molino hidráulico, nos enseña que "la transmisión de la fuerza de una noria se realiza a través de un eje y unido a él, una rueda dentada que activa a su vez otra rueda que es la responsable de mover la muela. Los molinos hidráulicos funcionan siguiendo este mismo principio, solo que al final del eje llevan una rueda dentada, esta rueda está colocada en paralelo a la rueda hidráulica y se mueve en su misma dirección. Pegada a esta rueda grande se encuentra una más pequeña en horizontal, que es lo que mueve la muela"[5].

Vitruvioio, sin embargo, nunca dedicó ningún párrafo al tema del corte de piedras. Solamente hace referencia una sola vez a las placas de mármol en la casa del rey Mausolos de Halikarnasos[6].

También Plinio, entrando más en detalle, habla de la casa de Mausolos:

"Es posible que cortar el mármol en placas haya sido inventado en Karien. Por lo que yo sé, es la casa de Mausolos en Halikarnasos la más antigua que se conoce con las paredes de ladrillo revestidos en mármol. Mausolos murió al segundo año de las 107 olimpiadas, en el año 403 de la fundación de Roma (ab Urbe condita), el 351 a.C.

Según Cornelio Nepos el primero en tener paredes revestidas de mármol en el Mons Caelius, en Roma, fue Mamurra, un caballero romano en Formia, coronel de zapadores de Cesar en la Galia…

Tanto M. Lepido como Q. Catulo Consul pusieron peldaños de mármol de Numidia, cosa que produjo bastante alboroto. Él, fue cónsul en el año 676 de la fundación de Roma (78 a. c.).

Entre los amantes del mármol fue primero M. Scaurus quien forró las paredes de su escenario, aunque no se puede precisar si eran placas cortadas o trozos de bloques pulidos, como se utilizaron en el templo del Júpiter del Trueno en el Capitolio. No he

2 Grewe 1998, 134–139.

3 Vitruvio VIII, 5,1-3; Grewe 1985, 18–21

4 Th. Mommsen, realización de túneles en época de Antonino Pio. En: AZ NF III, 1871, 5 nombrado en: Grewe 1998, 5.

5 Vitruvio X, 5.2.

6 Vitruvio II, 8.

encontrado ningún rastro de placas de mármol cortada en la Italia de aquella época"[7].

Plinio se refiere precisamente a la técnica de la sierra de piedra, cuando dice que el corte de una piedra no es comparable al corte de la madera:

"Aquél al que se le ocurriera por primera vez el corte del mármol por presumir, tuvo una desgraciada idea. El corte se realiza con arena y es la hoja metálica la que corta, a la vez que se balancea sobre una línea muy fina presionado la arena y al final corta el mármol. La arena utilizada para el corte proviene preferentemente de Etiopía, así que además había que traer la arena de corte de Etiopía e incluso de la India, cuando según los preceptos de los ancianos todo lo que no sea traer perlas o similares de allí era una cosa indigna. La arena india era elogiada como la segunda en calidad, aunque la etíope era más fina. Esta, corta sin dejar áspera la superficie, mientras que la de la India no alisa igual, pero sí recomiendan los especialistas que se utilice para pulir una vez se haya calentado.

Un fallo similar tienen también las arenas de Naxos y Koptos, llamadas las egipcias. Estos eran los antiguos métodos de cortar mármol.

Más tarde, se encontró una arena igualmente apta, en un arenal en el mar Adriático, que en bajamar se encuentra al alcance, pero no es fácil de detectar. La picardía de los artesanos llegaba a tal punto que utilizaban cualquier arena de cualquier rio para el corte, un beneficio de los que pocos se percataban.

A través de esta arena más gruesa se ensanchaba el corte, con el consiguiente pulido del mármol y para pulir el mármol se utilizan arenas de Tebas, así como la conseguida de la toba y de la piedra pómez"[8].

No sin razón, escribió J. Röder que Plinio se había percatado que no era la hoja metálica la que cortaba sino que era la arena, pero no explica nada sobre la técnica del corte de piedras[9]. Incluso no se puede precisar si en la antigüedad se utilizaba sierra de mano o máquinas de serrar accionadas por un molino hidráulico.

Hasta que se encontraron las primeras huellas del corte de placas de mármol y de sarcófagos, solamente existía un texto del poeta romano Ausonio, donde daba una referencia directa de la aplicación de una sierra accionada por un molino hidráulico en la antigüedad. Ausonio, en su famoso poema al río Mosella, en el 371 a.C., escribió:

"A ti (Mosella) que te llegan tan rápido como pueden tus aguas, acariciándote, empuja el río Kyll con ímpetu y el río Ruwer, famoso por su mármol. Peces excelentes habitan en el Kyll, en sus remolinos, giran allí en el Ruwer los molinos de grano y extraen lisas placas de mármol de un bloque, chirriando las hojas de corte, pudiéndose oír un ruido incesante desde ambas orillas"[10]

Esto significa que las aguas del Ruwer movían máquinas de cortar piedra[11]. Otros molinos hidráulicos de cortar piedras, se conocen también por Gregor von Nyssa[12] en el siglo IV d.C. y por Amiano Marcelino[13], pero sin explicar su funcionamiento técnico.

Fueron los descubrimientos arqueológicos de Gerasa (Jordania) y Éfeso (Turquía), los que demostraron la utilización de máquinas de serrar, aunque fuese ya en el periodo bizantino.

GERASA

En un espacio de 8,65 x 6,65 m en el templo de Artemisa de Gerasa, se encontraron en unas excavaciones arqueológicas, después de 1930, unas instalaciones de actividad secundaria que se podrían definir como un taller de cortar piedras[14]. Se encontraron huecos en una pared que fueron utilizados para la provisión de agua, se encontró la zanja donde giraba la rueda hidráulica con los apoyos en los muros para el soporte del eje y se encontraron dos trozos de columnas de 1,67 m. y de 1,51 m de largo y de un metro de diámetro, que como se comprobó no tenían ninguna asociación con la arquitectura y que estaban en mitad del habitáculo.

Al presentar estos dos trozos marcas indiscutibles de cortes longitudinales, se cree que se trata de la instalación de un taller para cortar las columnas del pórtico del templo de Artemisa y convertirlas en placas de mármol. El taller se instaló previsiblemente después de que en el siglo V d. C. el templo fuese abandonado y antes del desastroso terremoto que arraso con todo en el año 749 d. C. Siegne, data esta actividad en tiempo de Justiniano (527-565 d. C.)[15]

Las marcas de corte en las dos columnas, confirman una actividad de corte con dos marcos conjuntos y en cada marco, cuatro hojas de corte (figura 02). Ambas sierras eran puestas en marcha por un molino

7 Plinio. Historia Natural. XXXVI, 6–8

8 Plinio. Historia Natural. XXXVI, 9

9 Röder 1971, 307, Anm. 33.

10 Ausonius, Mosella, 359–364; traducción métrica por B. K. Weis (Darmstadt 1994).

11 Simms 1983; Wikander 1981; Wikander 1989; Warnecke 1997

12 Hom. III 656a M

13 Amiano Marcelino. Res gestae XXIII, 4,4.

14 Seigne 2000; Seigne 2002a; Seigne 2002b; Seigne 2002c; Seigne 2006.

15 Seigne 2002a, 212; Seigne 2006, 388.

02- Gerasa. Huellas en una columna antigua reutilizada, realizadas por una sierra con cuatro hojas de corte tensadas en un marco múltiple (siglo VI d.C.).

hidráulico, donde las bielas deberían estar conectadas al final de un cigüeñal, en los extremos del eje, o excéntricamente en ambas partes de la rueda el molino. Contando con la profundidad de la zanja y la distancia de los asientos del eje, se llega a la conclusión de que la rueda tendría una anchura de 0,5 m y un diámetro de entre cuatro y cuatro metros y medio. En función de la posición del molino y la superficie del habitáculo, solo cabe suponer que las sierras estaban situadas una al lado de la otra.

Los resultados arqueológicos eran bastante evidentes: Aquí se había encontrado un taller de corte de piedra en el que se habría trabajado siguiendo un determinado esquema o método, del que Ausonio solo nos menciona los ruidos que producía el proceso. De la actividad en el taller solo se encontraron las dos columnas y nada más.

ÉFESO

Un descubrimiento similar al de Gerasa, fue el que consiguió el Instituto de Arqueología de Austria (OAI), cuando entre 1969 y 1985 excavaron la casa de la Pendiente en Éfeso[16]. Este descubrimiento también se sitúa en el siglo VI d. C. y al igual que el de Gerasa, el taller de corte se instaló en un habitáculo previsto para otra actividad. Los canales y las fosas, dan fe del aprovisionamiento de agua y de los desagües para esta actividad. El posicionamiento de la rueda del molino (aunque no se encontró) con un diámetro estimado de unos 2,8 m, no encontraba ninguna dificultad de trabajo, según las condiciones del lugar.

La referencia más clara de que se trata de un taller de corte, son dos bloques de piedras con marcas de cortes inacabados, encontrados in situ.

No se encontraron las piezas de madera de la sierra ni de la transmisión, pero los dispositivos de la parte baja dejaban entrever bien la actividad de corte. A esta función pertenecen los agujeros para las vigas y los soportes para la rueda hidráulica y sobre todo la canaleta del desagüe con el sedimento de la arena de corte.

Las huellas del esmerilado en ambas bloques de mármol es lo más interesante de nuestro examen. Se ve una línea de corte de arriba abajo en ambos bloques que deben de pertenecer a un trabajo ya terminado. Después, tuvieron que posicionar de nuevo los bloques y empezar a cortar otra vez, pero no terminaron el trabajo.

En los dos bloques se ven dos huellas de corte a lo largo de las piezas pero la hendidura solamente tiene un palmo. Esto demuestra que la sierra tenía dos hojas de corte y que se trabajaba con dos piedras a la vez. Ya que cuando se interrumpió el corte, la profundidad era la misma en ambos bloques (figura 03).

EL RELIEVE DE AMIANO DE HIERÁPOLIS, CON LA MÁQUIMA DE SERRAR PIEDRA

Lo primero que salta a la vista es la gran rueda de tracción que se aprecia a la derecha de la imagen.

16 Schiøler 2005; Mangartz 2006.

03- Éfeso. Huellas, en un bloque de mármol, de una sierra con dos hojas de corte tensadas en un marco múltiple (siglo VI d.C.)

Parece ser que se trata de una rueda de golpeo medio. Esto significa que el agua golpeaba sobre las palas a mitad de la altura. La condición previa para el funcionamiento de una rueda de estas características pasa por la retención del agua en un pequeño embalse y conducir el agua mediante un artificio.

El impacto del agua sobre las palas hace mover la rueda y consigue un movimiento de giro constante. A través de este dispositivo se proporciona la energía necesaria para el funcionamiento de la sierra (figura 04).

En el relieve se ve perfectamente la transmisión del movimiento giratorio al mecanismo de la sierra de piedra. Según se expresa en la presentación, el eje de la rueda forma la unión con un engranaje (figura 05). Para poder reflejar las ruedas y el eje en su parte más ancha, el artista tuvo que girar la vista de las ruedas a 90º. De lo contrario no se hubiesen podido reconocer como tales.

El piñón está montado fijamente al final del eje de la rueda y gira en el mismo sentido que esta. Este piñón mueve una tercera rueda que hace de cigüeñal y en esta rueda se transforma el movimiento de giro en movimiento horizontal de vaivén. Otras partes de la transmisión son las bielas, que son sujetadas al cigüeñal, como es lógico, no en el eje sino en los laterales y en un punto excéntrico para así realizar el movimiento de vaivén anteriormente mencionado.

El diámetro de los pivotes que soportan las bielas en su giro del cigüeñal, es la longitud exacta del movimiento horizontal de las bielas y por consiguiente también la longitud del recorrido de trabajo de la sierra.

04- Hierápolis. Relieve de Amiano. Vista de la rueda hidráulica y del punto de ataque del agua.

05- Hierápolis. Relieve de Amiano.
Vista de la transmisión de fuerza hacia las dos sierras con el eje, rueda dentada, piñón y bielas.

06- Hierápolis. Relieve de Amiano. Vista de la transmisión de fuerza del piñón con el cigüeñal, a través de la biela hacia una de las dos sierras. El bloque de piedra reflejado está cortado a la mitad.

Según muestra el relieve, el cigüeñal era más pequeño que el piñón y esto significa que el cigüeñal giraba con más revoluciones que el piñón. Las dos sierras y los dos bloques de piedra están muy pormenorizados, pero su reproducción es bastante sencilla y simbólica (figura 06).

Se trata en ambas casos de sierras de tipo atirantadas, a las que se dotaba de la suficiente tensión de las hojas de corte a través de un armazón.

La representación muestra la maquina en funcionamiento, ya que uno de los bloques de piedra se observa semicortado. La sierra, en concreto, es una sencilla sierra de carpintero como las que se utilizan para cortar madera habitualmente.

En la industria de corte de piedras, a la sierra con una hoja de corte se la llama hoja de separar o dividir, mientras que la que tiene más de una hoja se la llama sierra de peine.

Aunque ambas sierras está expuestas muy detalladamente, falta en la exposición algún tipo de armazón que permitiese su guiado.

Un corte liso, solo se puede realizar si la sierra está perfectamente en posición vertical y no tiene la posibilidad de coger holgura lateral. Para ello se necesita un armazón de tipo caja en el que esté incorporada la sierra. Mientras corta, la biela mueve la sierra en vaivén y así se introduce la hoja en la piedra. Al mismo tiempo hay que proporcionar, además del movimiento horizontal de la sierra, un movimiento vertical a esta. Pero todos estos movimientos se tienen que realizar sin holguras porque, si no, no se consiguen el mismo grosor de las placas y por supuesto tampoco la uniformidad de su superficie.

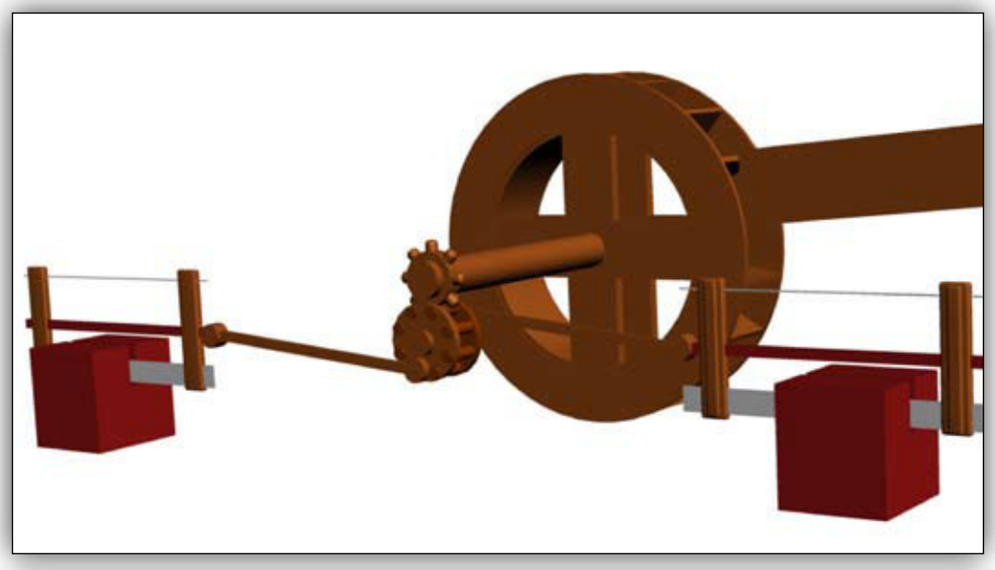
La condición previa para realizar un proceso de corte, es decir la posibilidad de guía de la sierra tanto en la posición vertical como en la horizontal, no está representada en el relieve de Amiano.

En el relieve, está la sierra encima de la piedra sin más, no tiene ningún soporte en la dirección vertical y tampoco en los laterales. En la exposición el escultor se limitó a generalizar la obra y prescindió de todo tipo de detalles técnicos.

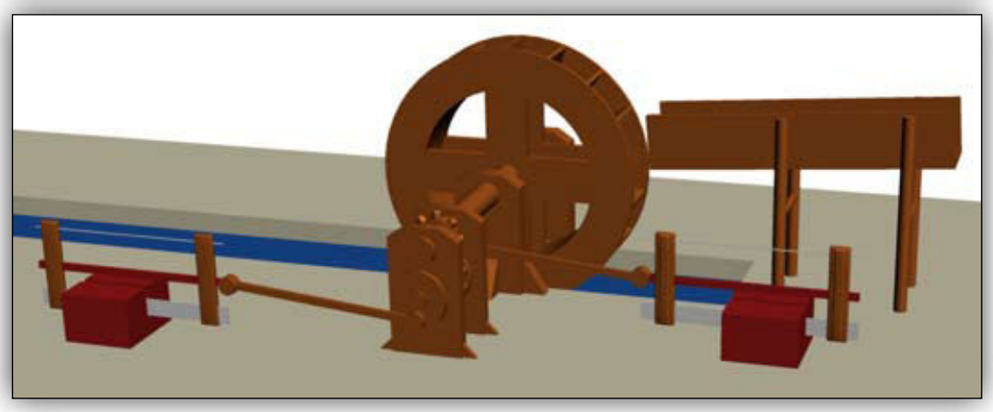
Presuponemos que plasmar todo un taller de corte para el escultor fue sencillamente imposible. Tampoco los medios necesarios para el corte, como pueden ser el agua y la arena, están contemplados en el relieve. Posiblemente tampoco hubiesen aportado ninguna claridad a quien contemplase el relieve, sino que probablemente lo hubiese dejado más confuso aun.

Lo mismo pasa con los asientos de los ejes de la rueda y otros aspectos que se han omitido en favor de la claridad del relieve (figura 07).

Pero, aun así, la pregunta es porque Amiano quiso remarcar la transmisión de la sierra con tanto mimo de detalle y sin embargo, la misma sierra, solo fue representada lo suficiente para ser reconocida como tal. Una de las respuestas será, seguramente, por el



07- Hierápolis. Relieve de Amiano. La transformación tridimensional del relieve nos enseña la opción técnica por la que optó Amiano. En la imagen no se muestran los pivotes de los ejes, así como el armazón para el soporte de los mismos. Es por ello que tanto la rueda hidráulica como el engranaje flotan libremente en el aire. Las sierras están representadas simbólicamente, porque carecen de guías horizontales y verticales.



08- Hierápolis. Relieve de Amiano. Exposición tridimensional de la máquina de corte con sus necesarios soportes para la rueda hidráulica y el engranaje.

hecho de que sea reconocido el objeto claramente y sin dudas de lo que se trata.

Pero podría ser por otra cuestión, por el hecho de que Amiano no contemplase el descubrimiento de la propia sierra como un motivo de mérito y si la trasmisión desde la rueda hidráulica con todos sus ejes, piñones, cigüeñales y bielas.

Sierras de mano, posiblemente habrá habido bastantes en su época, pero talleres como el representado en el sarcófago de Amiano, muy pocos o tal vez ninguno en ningún otro lugar.

Probablemente tengamos ante nosotros la exposición más antigua de una transmisión. No en vano Amiano constata en su sarcófago ser un hábil Dédalo, lo que viene a significar que se auto declara como famoso inventor[17].

Amiano quería sorprender a todos los que pasaban por la carretera, que era la principal para llegar a la ciudad, con el relieve en el sarcófago que estaba en la orilla misma de la vía, con la gran reconstrucción de una sierra mecánica y por falta de una, hizo dos (figura 08).

Para Amiano parecía importante dejar reflejada la invención de una máquina de serrar para la posterio-

Texto en el frontón:	Μ. Αὐρ. Ἀμ[μι]α[ν]ὸς Ἱεραπο- λείτης τροχοδέ- [δ]αλος (?) ἐποίησεν Δεδαλ(ουλέη) ↄ τέχνη
En la caja:	καὶ νῦν ὧ- δε μενῶ.

Marcus Aurelio Amiano, ciudadano de Hierápolis, tan hábil cómo Dédalo en la elaboración de una maquina movida por una rueda. Ahora descansa aquí para siempre, en este sarcófago.

17 La inscripción fue leída por T. Ritti; traducción al alemán por W. Eck.

ridad. Para ello escogió el frontal de la tapa de su sarcófago y aquí, mandó hacer un relieve que mostrase los detalles de su invención. Con esta exposición quería impresionar a todo aquel que lo contemplase.

La sierra en sí es simplemente simbólica, ya que mostrar los detalles en un relieve sería imposible, quedando al margen de la maquina en general.

Puede afirmarse que, con este tipo de máquinas de tracción, también se pondrían en marcha otros tipos de factorías.

LA RECONSTRUCCIÓN DEL PROCESO DE CORTE

Ante la falta de hallazgos y en consecuencia de resultados arqueológicos, las reconstrucciones deben realizarse con mucha precaución. Así que, hasta ahora, solamente se habían descrito sierras manuales para el corte de mármol, suponiendo de esta forma su utilización en las canteras.

Esto, en cualquier caso, no supone ninguna sorpresa porque hasta el descubrimiento de Gerasa y de Éfeso, la única indicación sobre una máquina de serrar, propulsada por agua, la había dado Ausonio en su descripción literaria.

A través del esclarecimiento del relieve de Amiano de Hierápolis, añadimos un apoyo más para la reconstrucción del proceso.

Las sierras de péndulo, eran las únicas sierras de piedra movidas a mano que se habían reconstruido, descartando las más pequeñas accionadas simplemente a mano. "El principio de la sierra de péndulo consiste en un marco o bastidor, colocado con las patas para abajo, en las que se tensa un hilo o cinta de hierro, fijada en ambos extremos. A través del movimiento de vaivén o pendular de la hoja de corte, a la que se le añade arena de cuarzo mojada, va cortando la piedra, bajando lentamente el bastidor de la sierra. A través del movimiento pendular, la hoja de corte solo toca muy de pasada el fondo del conducto del corte hasta el punto de retorno donde se cuela entre la hoja de corte y las pareces, la arena mojada. La arena se pone entre la hoja de corte y la base para cuando el marco retorna, profundice el corte. En este proceso no solo se desgasta la piedra sino que también de desgasta la hoja"[18].

Al no estar dentadas la hojas de corte, toda la importancia recaía en la arena y en sus componentes.

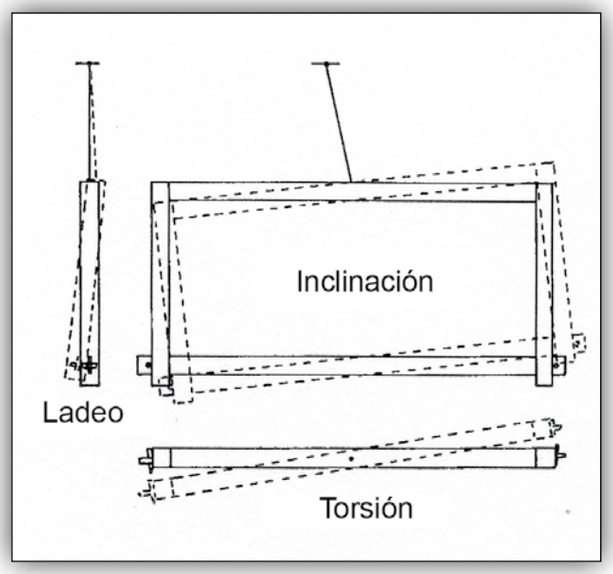
Röder, nos muestra diferentes aspectos de este proceso, pero llega a la conclusión de que principalmente, junto con el efecto cincel, lo más efectivo era el cepillado en la base del corte."Los granos de arena se incrustaban constantemente en la hoja de corte de hierro blando, el resto de la arena se escapaba a través de los laterales al ser accionada con fuerza y velocidad para el corte.

El efecto era totalmente diferente según la arena utilizada, la cantidad de arena, la presión de empuje y la manera de corte de la piedra y de su composición"[19].

Según las posibilidades mencionadas por Röder sobre la sierra pendular, los errores más frecuentes que se producían en las máquinas de serrar con propulsión hidráulica y las hacían inviables por su deficiente construcción, venía producido por el desequilibrado del guiado del corte, con ladeos, inclinaciones y torsiones (figura 09).

En las sierras de mano, solo valía la destreza del cantero para conseguir un corte más o menos limpio. En las máquinas se serrar se guiaban las fuerzas, que provenían de la rueda hidráulica de tal manera, que las desviaciones del recorrido fuesen las mínimas posibles, o mejor nulas.

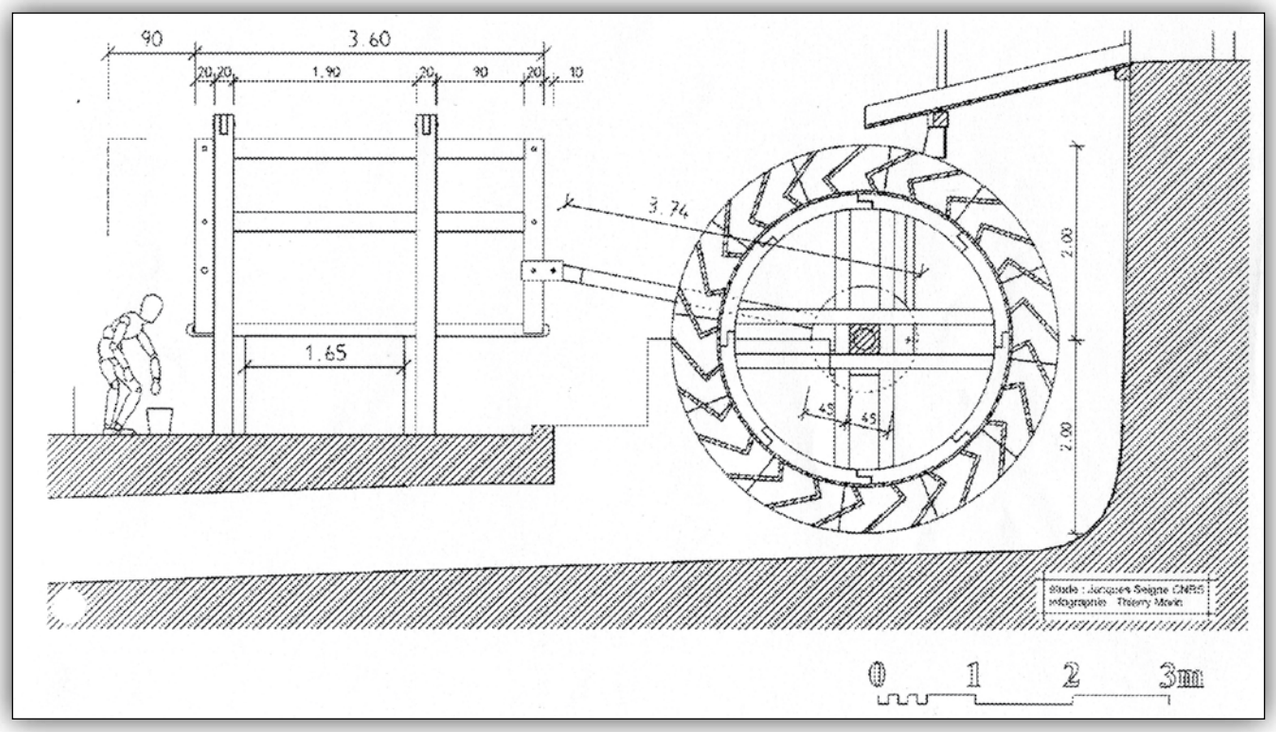
Esto se conseguía, si la hoja de corte era obligada a ser perfectamente guiada en su recorrido, a partir de la tracción de la máquina, tanto en su movimiento vertical como horizontal. Sólo así se conseguía un corte de superficie liso.



09- Posibles desviaciones de recorrido (según J. Ralöder). Una máquina de corte sin una guía potente en su recorrido horizontal, provocaría una tendencia a la inclinación.

18 Röder 1971, 307–308.

19 Röder 1971, 308.



10- Gerasa. En la reconstrucción de la máquina de cortar de J. Seigne no está contemplada la guía vertical del marco de corte.

Las reconstrucciones de los modelos presentados hasta la fecha, como el de Seigne para el de Gerasa, Schiøler y Mangartz para el de Éfeso y Kessener para el del relieve de Amiano, no convencen sobre este punto, porque ninguna de estas reproducciones permite un adecuado control del movimiento de bloqueo[20].

Las dos reconstrucciones de Éfeso no estaban protegidas contra el movimiento de ladeo ni contra el movimiento de giro. Así que, con una mínima holgura del eje de la rueda hidráulica el bastidor de corte vibraría y saltaría sin control.

En el caso de la sierra de Gerasa, el fallo en la reconstrucción de Seigne se encuentra en el bastidor de corte. Él se inspiró en la tensión de las hojas de corte de las sierras de mano[21]. En la reconstrucción de Siegne se guía el bastidor con sus hojas de corte en el armazón, sólo en el movimiento vertical. El movimiento horizontal carece por completo de guía y así, se encontraría el bastidor de corte a merced del movimiento de la biela conectada a la rueda de hidráulica. Una sierra así, podría permitir más o menos un corte con protección de los movimientos tipo pendular y de ladeo, pero en ningún caso está protegido contra el movimiento de inclinación (figura 10).

Las reconstrucciones de Schiøler y Mangartz son en horizontal en vez de la variante vertical. En este caso, el bastidor está suspendido de cuatro cuerdas atadas a sus esquinas y mantenido en equilibrio mediante contrapesos[22]. Aquí, no existe ni siquiera un armazón que guie el marco en el movimiento vertical. El más mínimo desequilibrio de la biela haría que este modelo vibrase y temblase. Esta sierra no estaría protegida en ninguna de las desviaciones del recorrido mencionadas por Röder (figura 11 y 12).

Kessener comete el mismo fallo en su reconstrucción del modelo de Hierápolis, como Seigne hace con su reproducción de Gerasa, utilizó el relieve como si fuese un plano de diseño técnico[23].

En su reconstrucción sí que se le añadió un armazón y adicionalmente también una articulación en la biela, pero el guiado del bastidor de corte solo se garantiza en el movimiento vertical (figura 13).

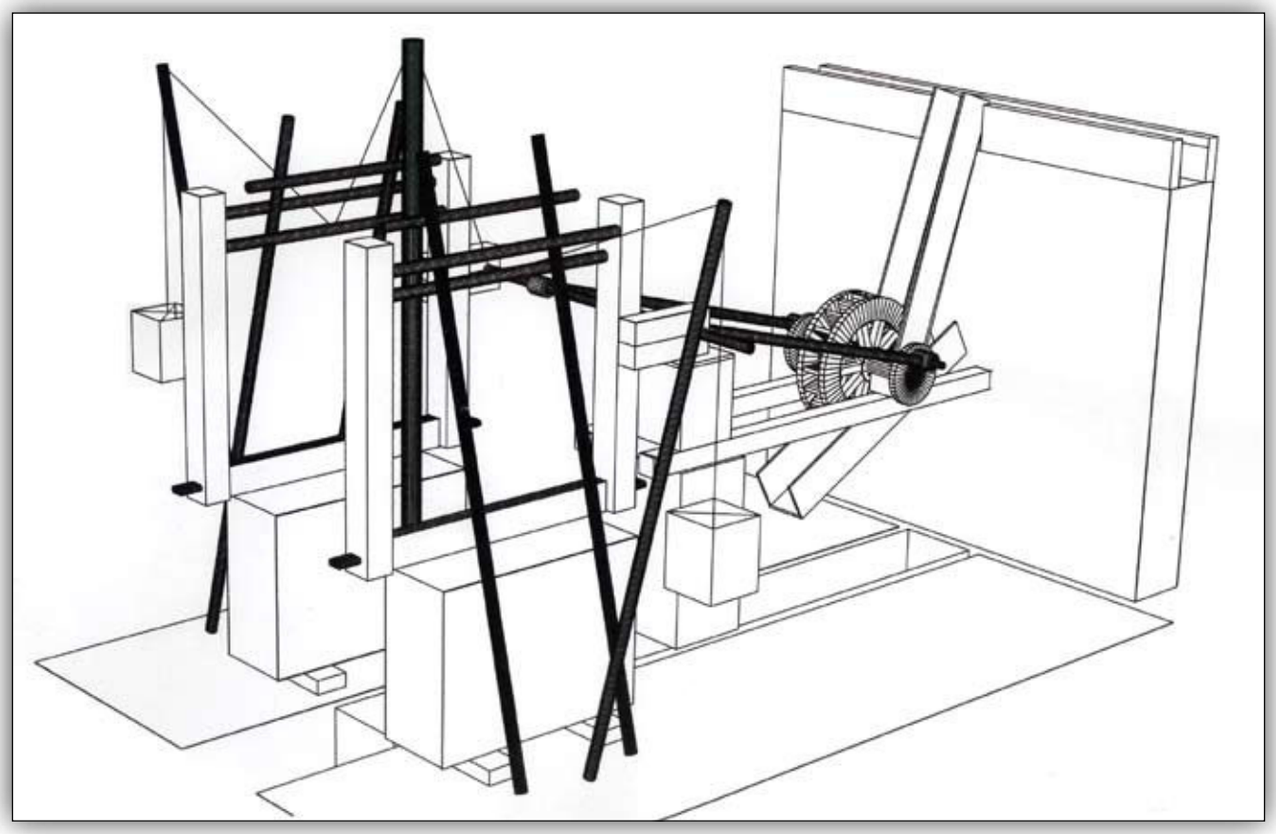
Todos estos guiados del corte de las reconstrucciones que acabamos de analizar, tendrían como

20 Es remarcable que no exista ninguna de las reconstrucciones recomendadas, que funcione. En la reconstrucción impresionante de Gerasa, está la sierra tan incapacitada por artilugios añadidos, en su movimiento vertical, que solamente hace el movimiento de vaivén, pero es imposible que penetre en la piedra.

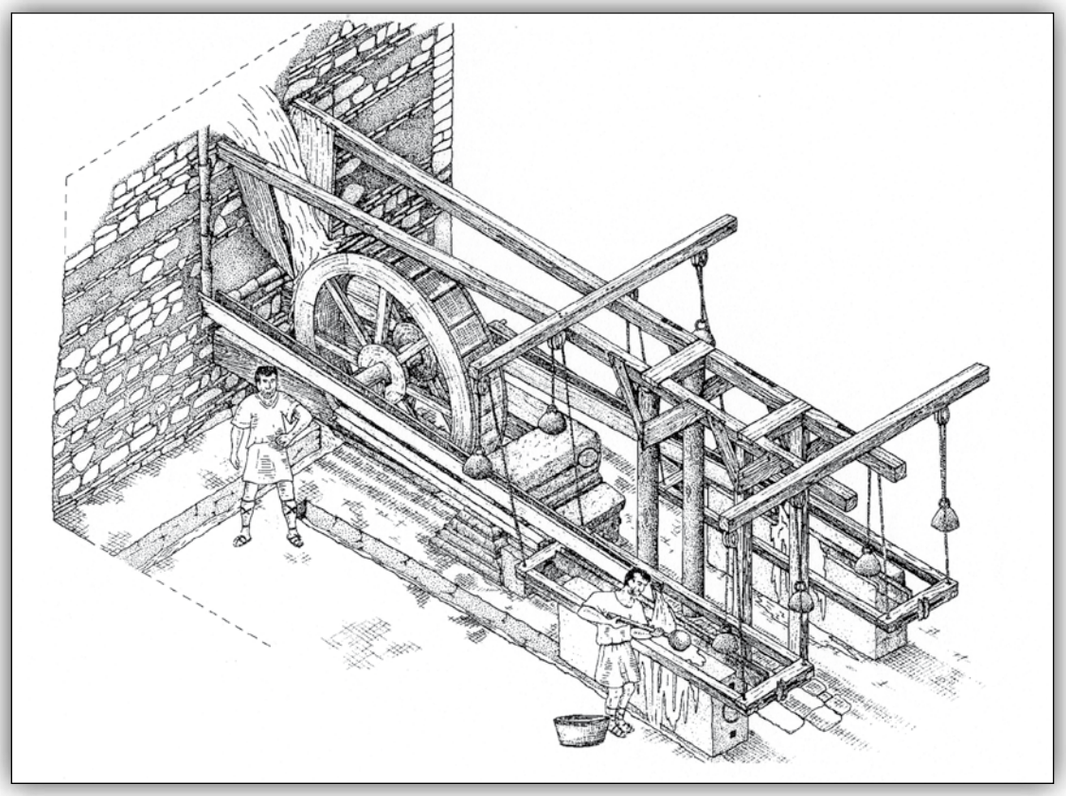
21 Seigne 2000; Seigne 2002a; Seigne 2002b; Seigne 2002c; Seigne 2006.

22 Schiøler 2005; Mangartz 2006.

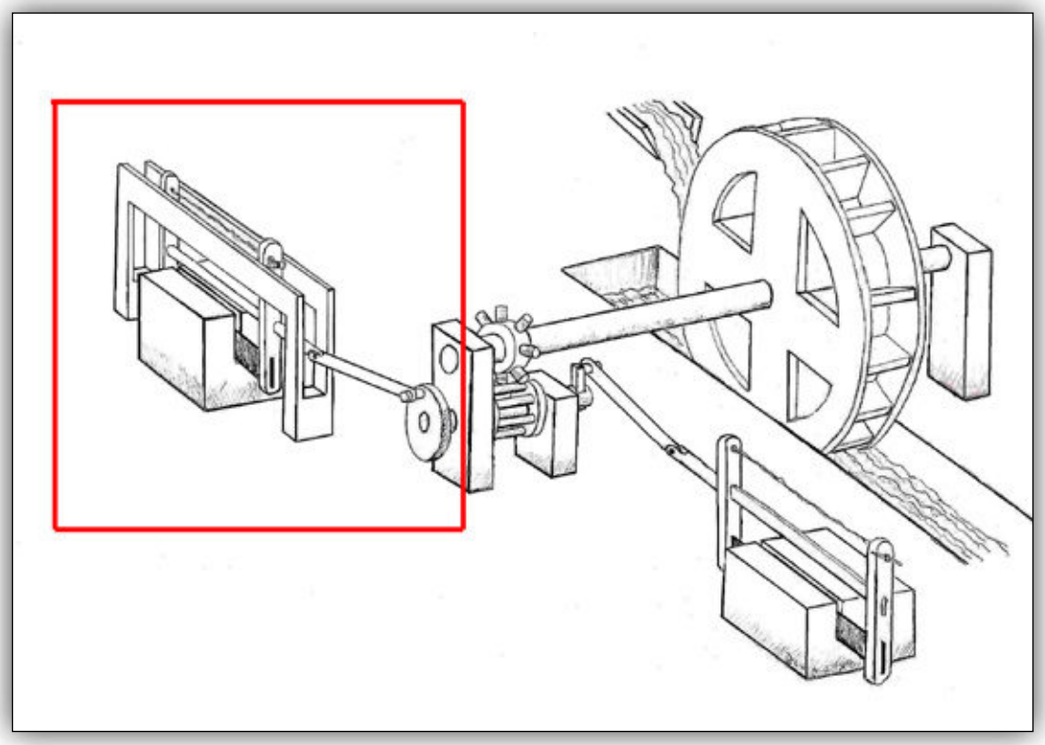
23 H. P. M. Kessener in Grewe – Kessener 2007.



11- Éfeso. En la reconstrucción de la máquina de cortar de Th. Schiøler, el marco de corte está colgado libre como un péndulo.



12- Éfeso. En la reconstrucción de la máquina de cortar de F. Mangartz, el marco de corte está igualmente colgado, libre como un péndulo.



13- Hierápolis. En el diseño de la máquina de cortar de Kessener, el corte es guiado solo en su recorrido vertical.

consecuencia que la línea de corte nunca podría ser horizontal sino que tendría seguramente una forma arqueada convexa.

La razón de este comportamiento está en el diseño. En el caso de las sierras propulsadas por ruedas hidráulicas a través de una biela, al convertir el movimiento de giro en el de vaivén, se libera fuerzas que afectan al guiado y dirección del corte.

La longitud del cigüeñal, determina el rango del movimiento horizontal de la sierra, que se corresponde exactamente con el diámetro de giro que realiza.

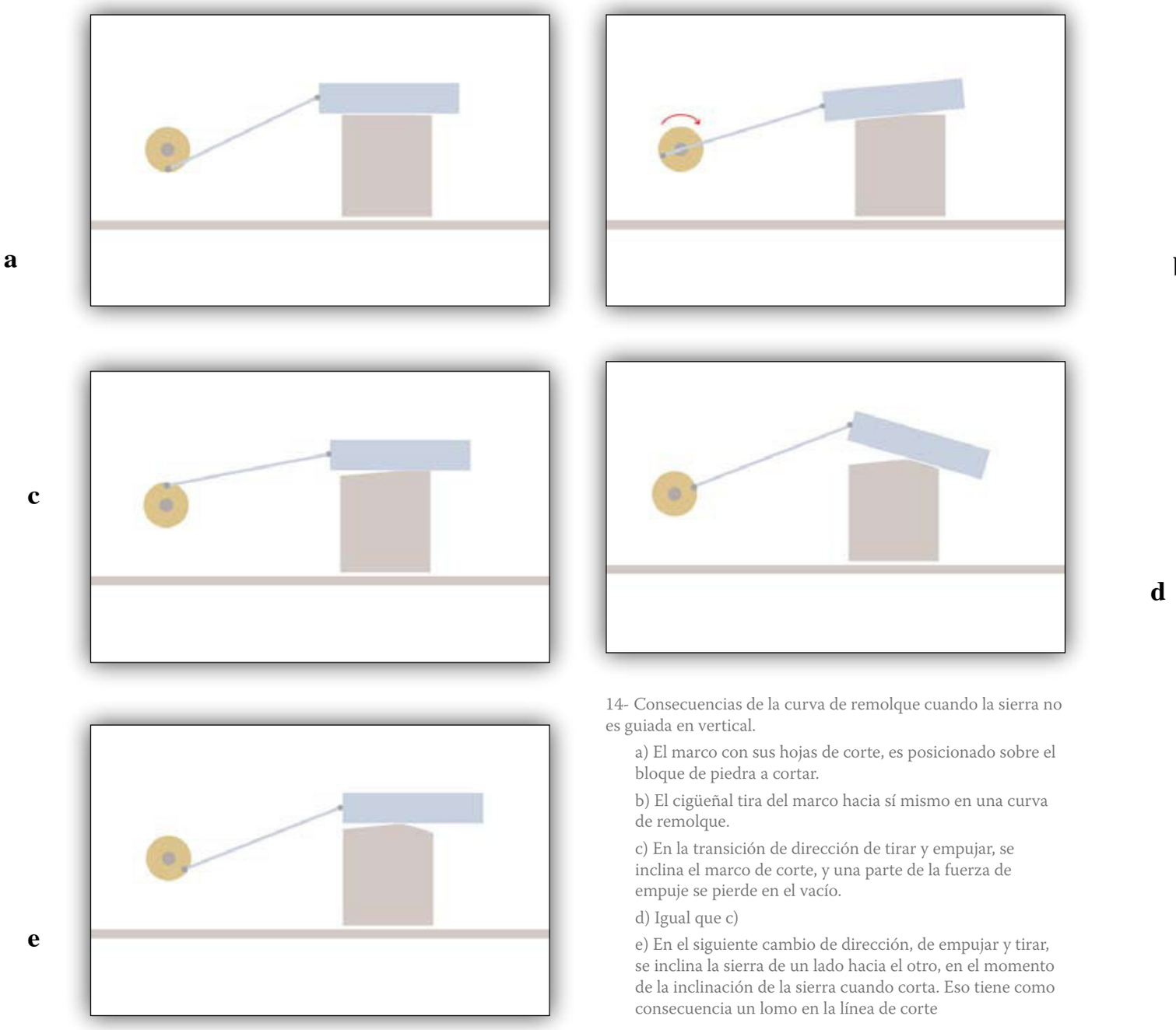
Si la sierra va guiada solamente por un armazón colocado verticalmente y conectada a la biela, entonces el movimiento horizontal esta fuera de control y limitara los movimientos provenientes del cigüeñal. Los movimientos circulares del cigüeñal se trasmiten a través de la biela a la sierra. El movimiento de la sierra se circunscribe en una curva de remolque o trayectoria, que siempre se encontrará en el plano en que se encuentra el cigüeñal según su movimiento de giro.

La curva de remolque siempre tendrá trayectorias diferentes cuando el movimiento sea de tirar o de empujar. Esto se puede explicar mejor con un ejemplo de carretera, ya que es comparable con un remolque enganchado a un coche y su trayectoria. Si un coche con su remolque entran en una curva, el remolque no podrá realizar la misma trayectoria que el coche, si no que realmente la corta.

En la práctica, mientras el coche realiza la curva, el remolque es arrastrado por encima del bordillo. Todavía más complicada es la trayectoria cuando el coche da marcha atrás con el remolque, es decir, cuando el coche empuja al remolque. Todo aquel que haya experimentado este ejercicio alguna vez y no sea un profesional conocerá el resultado, el remolque no reculara sobre el trazado que había recorrido cuando marchaba hacia adelante, sino que se cruzará con él. El conductor tendrá que tener mucha destreza para poderlo guiar con una única trayectoria y dirigirlo por la dirección deseada.

De forma similar se comportan las sierras que solo van guiadas por un armazón vertical sin guías horizontales, o aquellas cuyo bastidor está fijado con cuatro cuerdas y queda suspendido libremente en el espacio. Al estar garantizado el guiado del movimiento vertical, tiene toda la libertad del mundo el movimiento horizontal, con lo que el bastidor se tambaleará con cada movimiento de tiro.

Según la dirección de giro del cigüeñal, tirará hacia arriba o hacia abajo. Aún más graves serán las consecuencias cuando se trate del movimiento de empuje y además, parte del empuje irá al vacío. Como resultado tendremos un canal de corte no uniforme, con



14- Consecuencias de la curva de remolque cuando la sierra no es guiada en vertical.

a) El marco con sus hojas de corte, es posicionado sobre el bloque de piedra a cortar.

b) El cigüeñal tira del marco hacia sí mismo en una curva de remolque.

c) En la transición de dirección de tirar y empujar, se inclina el marco de corte, y una parte de la fuerza de empuje se pierde en el vacío.

d) Igual que c)

e) En el siguiente cambio de dirección, de empujar y tirar, se inclina la sierra de un lado hacia el otro, en el momento de la inclinación de la sierra cuando corta. Eso tiene como consecuencia un lomo en la línea de corte

una curva convexa de cortes profundos en los laterales, en vez de un corte horizontal (figura 14 a-e).

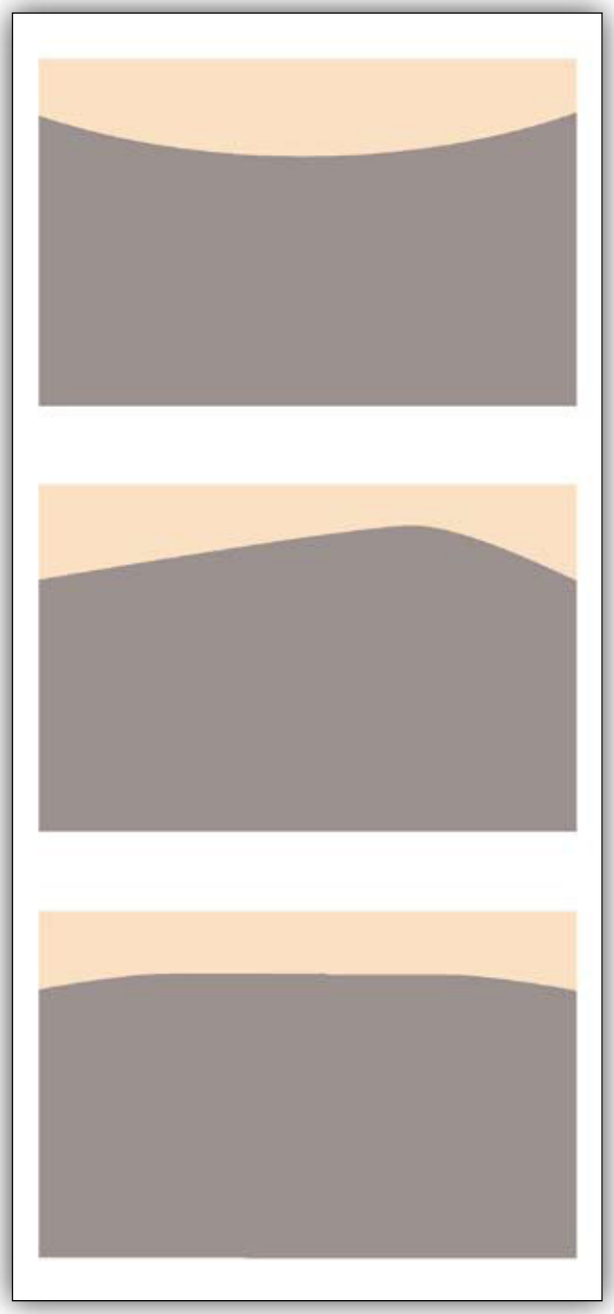
Todos los bloques de mármol que se hubiesen realizado con las reconstrucciones de las máquinas de cortar de Seigne, Schiøler, Mangartz o Kessener, tendrían el mismo desvío de corte en el plano horizontal.

Sin embargo, los pilares de mármol encontrado en Gerasa y los bloques de mármol encontrados en Éfeso, ofrecían un corte totalmente distinto. Estos sí que estaban casi horizontales.

Los dos bloques de mármol de Éfeso tenían un largo de 2,2 m y una curva convexa de solamente 12 mm (el del norte) y de 15 mm (el del sur) respectivamente[24].

La mínima curva convexa demuestra que las sierras estaban perfectamente guiadas en el plano hori-

24 Los resultados me fueron facilitados amablemente por G. Wiplinger, ÖAI Wien.



15- Típicas líneas de corte como consecuencias de algunas técnicas de corte.

a) Una sierra pendular colgada centralmente, con una hoja de corte redondeada, conseguirá una línea de corte convexa.

b) Una máquina de cortar sin una potente guía horizontal, originará un lomo en la línea de corte.

c) Una línea de corte guiada, tanto en vertical como horizontal, donde los finales están ligeramente redondeados, por el movimiento brusco en el cambio de dirección.

zontal, resultado que con las reconstrucciones existentes sería imposible de conseguir[25].

Este ejemplo demuestra que, sin unos sólidos guiados en los movimientos verticales y horizontales, las máquinas de corte no pueden trabajar correctamente.

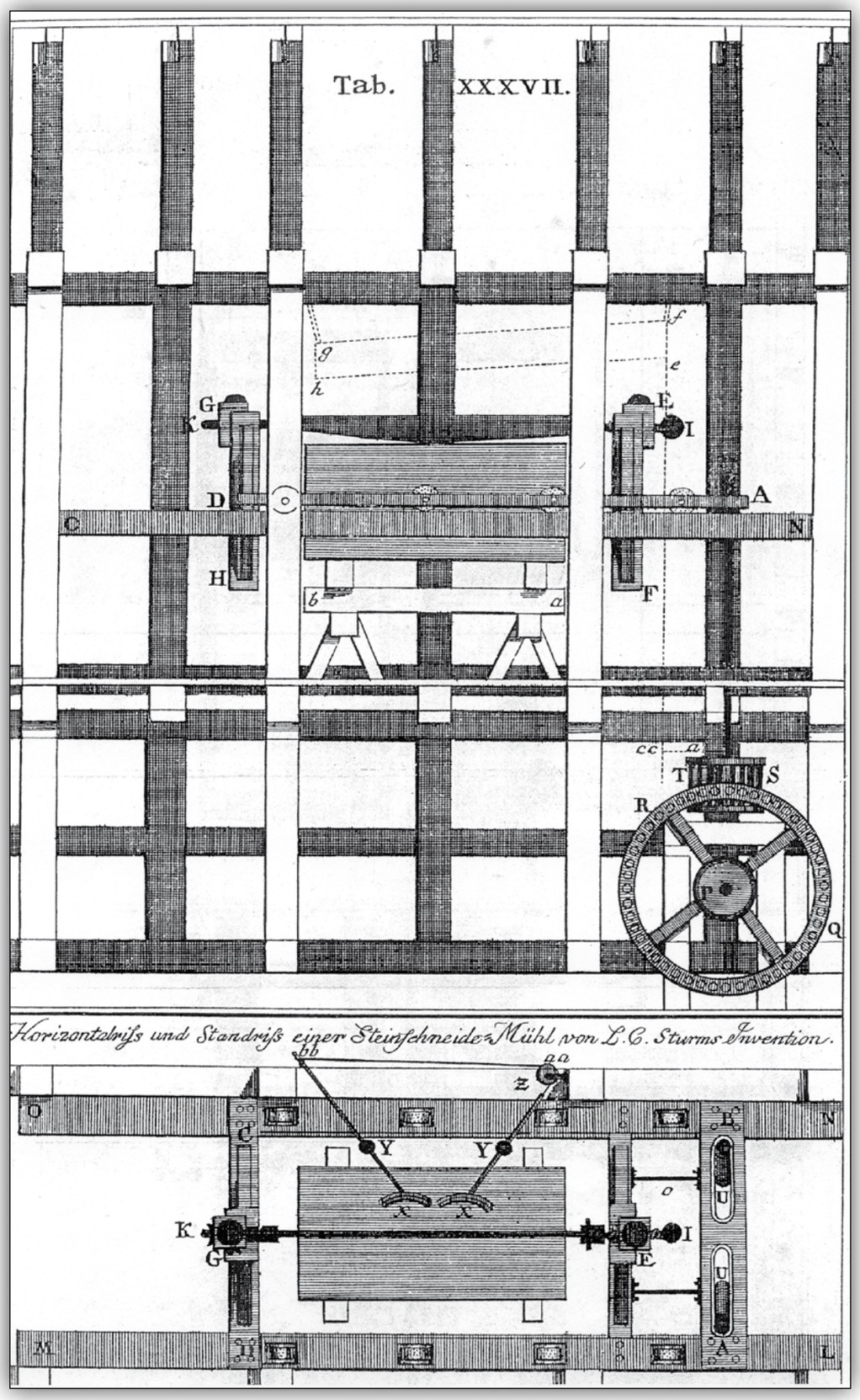
Para conseguir un modelo de sierra de piedra que funcione, hay que introducir en los planos de proyecto todo lo encontrado en las excavaciones arqueológicas sobre este tema. Esto significa que lo encontrado en el relieve de Amiano sobre los detalles de las piezas también se tendrá que reflejar en los modelos.

Igualmente, se tendrán que tener en cuenta las marcas halladas en las piezas de Gerasa y de Éfeso, que indican cómo se produjo el proceso de corte. Es por esto, que no se puede reconstruir una máquina que nos dé como resultado unas huellas de trabajo totalmente diferentes a las halladas, dado que un recorrido irregular de la sierra dejaría su huella particular. Hay que ir a una reconstrucción que elimine cualquier desvío del corte en su funcionamiento (figura 15).

Si consultamos los libros sobre molinos de principios de la edad moderna, llegaremos a esta misma conclusión. Para conseguir estos requerimientos, J. C. Sturm, desarrolló en 1718 un nuevo mólelo, reconstruyéndolo según sus propias palabras después de haber observado algunas máquinas de serrar que funcionaban mal[26].

25 Una sierra guiada fuertemente en horizontal, también tiene ligeros cortes cóncavos por el movimiento brusco al cambiar de dirección el marco cortador

26 Sturm 1718, Tab. XXXVII.



16- Máquina hidráulica para cortar piedra, de L. C. Sturm (1718). Se trata de un carro puesto en movimiento de vaivén por un engranaje y tiene una hoja de corte tensada en un marco con deslizamiento vertical.

La máquina de serrar de Sturm consiste de un caballete fijo, en este caso se trata de un armazón de madera, donde se mueve en vaivén un carro con la sierra. La piedra que se va a serrar está colocada en el centro en un soporte de madera (figura 16).

Esta sierra está perfectamente guiada, tanto en el movimiento horizontal como en el vertical y además tiene un sistema de abastecimiento automático de la arena y de goteo para el agua. La trasmisión consiste en un engranaje compuesto por una rueda dentada de 48 dientes y un piñón con 16 vástagos de madera.

El carro, que es la pieza móvil de esta máquina de serrar, es puesto en movimiento desde la transmisión a través de ocho rodillos y dos vigas de madera que lo mueven en vaivén. El carro movido en horizontal, tiene colocado en su parte más delgada, centrados, dos trozos de madera que le ayudan en su movimiento de guía vertical.

Al cortar la piedra, la sierra resbala en el canto de los maderos verticales y va profundizando. Para que la presión vertical sea fuerte, hay colocadas en ambos extremos de la sierra una pesas[27]. ¡Con esta construcción, queda guiado el corte tanto horizontal como verticalmente!

Hay una cuestión que salta a la vista en este modelo: aquí no se mueve directamente la sierra a través de la biela, sino que la sierra está metida en un carro que la mueve hacia adelante y hacia atrás en vaivén.

La sierra de Sturm solo tenía una hoja de corte y por eso damos por buena su colocación. En el caso de sierras con más de una hoja de corte deberían estar colocadas en un marco, unas al lado de las otras y tensadas. Luego tendría que deslizarse todo el marco hacia abajo en bloque.

En ningún caso se trasladan así las fuerzas de empuje y de retorno directamente sobre las hojas de corte, si no que van directamente al carro y de ahí, indirectamente, a las hojas de corte.

Estos requerimientos también los buscaban Leupold y Beyer, en las máquinas de serrar. Leupold y Beyer se quejaban de que, la mayoría de las máquinas que encontraban, no cumpliesen con estos requisitos y recomiendan la de Sturm, que había sido publicada hacía algún tiempo, "porque no hemos topado con ningún invento mejor"[28].

Leupold nombra las características más importantes del molino de serrar:

– El continuo vaivén de las hojas de corte29.

– El corte uniforme del bloque de piedra30.

– El ágil funcionamiento de la máquina de serrar31.

– El autoabastecimiento de arena sobre el corte32.

– El goteo de agua de manera uniforme sobre el corte33.

Si recopilamos todas las consideraciones que hemos hecho hasta ahora, se podría realizar una reconstrucción que funcionase. Una coincidencia quiso que este autor descubriera hace unos años en Schwerin un modelo de sierra que funcionaba muy bien. Esta estaba en un histórico molino hidráulico, pero se trataba de una reconstrucción realizada con instrucciones históricas.

EL MODELO DE LA SIERRA DE PIEDRA DE SCHWERIN

El peligro de las reconstrucciones de temática técnica y de aparatos antiguos, está en que no se encuentre el prototipo de la antigüedad, si no que casi siempre consiste en un nuevo invento.

Seria seguramente un placer si, en relación con esta reconstrucción, pudiésemos trasladarnos y contemplar las máquinas del principio de la era moderna. Pero las sierras están hechas ya completamente de hierro y por lo tanto no son comparables a los modelos de la antigüedad[34].

En los años 80 del siglo pasado se propusieron en Schwerin dar vida a un molino histórico de esmerilado, utilizando materiales antiguos para la reconstrucción del edificio y darle así vida de nuevo.

Después de esto se consiguió una réplica histórica, que desde 1705 cortaba y pulía piedras, pero observando la instalación de su antecesor faltaban las componentes más esenciales[35]. Para la reconstrucción

27 Sturm habla de un peso de dos centner =100kg (1centner =50kg).

28 Leupold – Beyer 1735, 115–116, Taf. XL.

29 Para que la sierra se introduzca constantemente durante en su recorrido vaivén.

30 Que el corte sea igual de grueso que el anterior.

31 Que vaya suave, que no haga ruidos y que trabaje sigilosamente.

32 Que el suministro de arena sea automático.

33 Que el goteo del agua sea distribuido por toda la línea de corte. Porque, si no, cuando en una parte está bien húmeda y en otra está seca, provoca el consiguiente chirrío y el trabajo se vuelve muy penoso.

34 Las sierras de hoy en día son programadas por ordenador y utilizan unos cables de corte, este sistema no sirve como comparación. Folletos de 1920-30 de la empresa de Maquinaria (ya extinguida), Carl Mayer, que fue absorbida en 1993 por la empresa Burkhardt GMBH, entonces con el nombre de Eisenwerk Hensel, muestran sierras múltiples fijas, un marco con las hojas de corte y transmisión de la fuerza con cigüeñales y bielas como la sierra de Amiano.

35 De las piezas originales, solo se encontró un segmento de la rueda dentada. Las maderas utilizadas para su reconstrucción fueron:

17-La vieja máquina de esmerilado de Schwerin. Sierra de corte de piedra, elaborado según referencias históricas.

del molino, entre los años 1983-1985, se consultaron los datos de libros históricos del siglo XVIII, especialmente se fijaron en Leupold y Beyer, aunque estos se orientaron en la "Arquitectura total de molinos" de Sturm[36].

La sierra es un componente de un molino hidráulico con dos dispositivos, consistente en una sierra de piedras y en una pulidora[37].

La sierra de piedras de Schwerin es tan parecida a de Amiano, que sus técnicas de transmisión desde la rueda hidráulica hasta la sierra son prácticamente idénticas (figura 17). La construcción de la sierra es de madera, sencilla y efectiva y por tanto puede valer como ejemplo de modelo para la reconstrucción de la sierra romana.

Con la máquina de serrar de Schwerin se obtiene por primera vez un modelo para la ciencia a escala 1:1. Así mismo, es posible observar los detalles que en el relieve de Amiano no eran visibles y así tener una visión de una sierra de la antigüedad en funcionamiento, con la característica especial que supone su probada capacidad de funcionamiento.

La sierra la mueve una enorme rueda hidráulica (4,45 m diámetro y 1,60 m ancho), que está anclada fuera sobre un riachuelo junto a la pared del edificio, donde el agua ataca por debajo las palas de la noria. En el mejor de los casos se consiguen 12 revoluciones por minuto, que equivalen a 6 caballos de vapor de potencia.

De ahí se traslada el movimiento de giro al interior del edificio a través de un eje de 5,5 m de largo. Conectada al eje esta una rueda dentada de 2,2 m de diámetro[38]. Esta rueda tiene a su vez dos ruedas más pequeñas que, conectadas a su vez, hacen de cigüeñales. La una mueve la sierra y la otra mueve la pulidora.

La transferencia del movimiento giratorio al movimiento oscilador es igual, tanto en esta máquina de Schwerin como en la de Amiano, que consiste en colgar la biela sobre el cigüeñal.

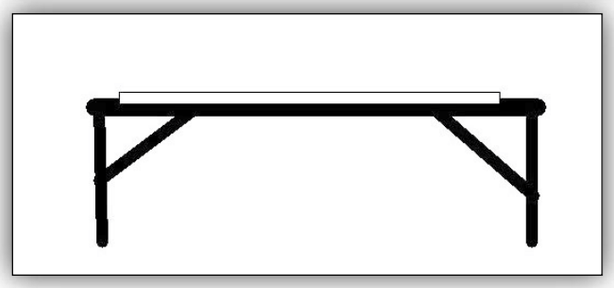
Biela-Fresno; Ruedas-Roble; Dientes-Haya blanca (cortada en verano y untada con sebo de ternera dos veces al año para preservarla de las termitas). Para los asientos y soportes-madera de trinquete; información obtenida gracias a W. Leide, Schwerin.

36 Sturm 1718; Leupold – Beyer 1735; Behrens 1789.

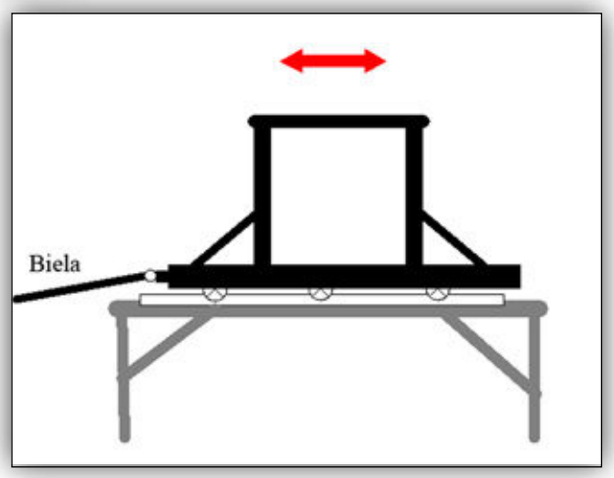
37 El molino data de 1705; La máquina de cortar la instalaron entre 1753 y 1755. Se utilizó hasta la finalización del palacio de Schwerin en 1857, como suministrador de piedras cortadas. Su reconstrucción en 1983 solo tuvo fines museísticos. El molino de Esmerilado de Schwerin depende de la Asociación Trägerschaft des Stadtgeschichtsund Museumsvereins Schwerin e. V. Agradecemos las informaciones recibidas de W. Leide y J. Moll. El reportaje fotográfico lo hizo P. Schmidt, Schwerin.

38 Rueda dentada con los dientes laterales.

18- La vieja máquina de esmerilado de Schwerin. La transmisión de fuerza a través de una corona sobre un piñón y una biela hasta el marco de corte, corresponde en lo esencial a la figura del relieve de Amiano. La diferencia consiste en la rueda dentada que se aprecia en el relieve y que aquí se trata de una corona.



19- La vieja máquina de esmerilado de Schwerin replica de una máquina de corte histórica. Mesa de corte con dos railes para el carro de corte.



20-El carro de corte (patinete de corte), se mueve sobre seis rodillos y puesto en movimiento vaivén a través de una biela.

La única pequeña diferencia es que, en la de Schwerin, el cigüeñal está fabricado en acero y está montada sobre el eje. Sin embargo, la de Hierápolis, estaba seguramente situado a un lateral de la rueda y movido a través de un pivote. La biela es en ambos modelos de madera (figura 18).

La transmisión de la fuerza hacia la sierra se conseguía a través de la biela. Para conseguir el necesario corte liso, la sierra se compone de tres piezas fundamentales: la mesa de corte, el carro de corte y el bastidor tensor. Estos son los requisitos necesarios para conseguir un corte fuertemente guiado de las hojas, tanto en su movimiento horizontal como vertical[39].

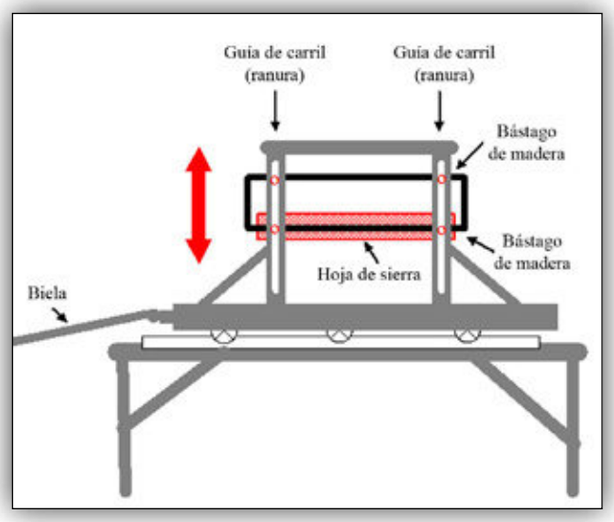
La mesa es el fundamento de la sierra y esta fija. Es parecido a una mesa sin el tablero, donde se coloca el bloque de piedra. En los laterales de la parte larga lleva unos carriles sobre los que se mueve el carro hacia adelante y hacia atrás[40] (figura 19).

El carro va sobre tres pares de ruedas y es movido a través de la biela que está colocada en el frontal. A través del registro lateral del carro se consigue un movimiento horizontal compensado y así se garantiza un corte liso en este mismo sentido (figura 20).

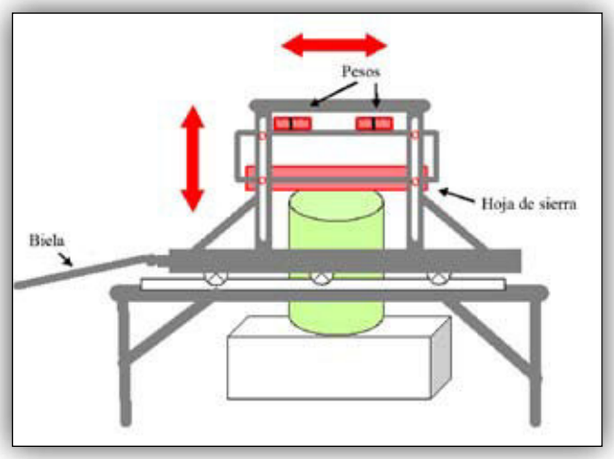
El corte se realiza a través de dos hojas de hierro que están tensadas en un bastidor tensador. El bastidor garantiza un movimiento vertical compensado y esto garantiza un corte muy fino en su componente vertical. El bastidor lleva adicionalmente colocado un total de ocho pernos de madera, que van guiados por

39 La máquina de serrar de Schwerin fue montada entre los años 1983 y 1985, según planos y datos literarios del siglo XVIII. Dado que el funcionamiento y el corte consiguen todos los requisitos exigidos para una comparación, nos permitimos considerar el modelo realizado en Schwerin como el más auténtico, pudiendo además contemplar el engranaje que coincide en todas sus piezas con el relieve de Amiano.

40 En un montaje más grande, se podría prescindir de la mesa si los raíles estuviesen fijados en el suelo.



21- Pequeños bulones de madera en el marco de corte, se deslizan a través de las cuatro guías de la mesa de corte y garantizan un ahondamiento uniforme.



22-El carro de corte es puesto en movimiento vaivén a través de la biela. Al mismo tiempo el marco de corte es empujado hacia abajo por unos pesos colocados encima y así las hojas de corte pueden introducirse en el bloque de piedra y cortarlas. El marco de corte está colgado libremente y solamente

una ranura situada en los cuadrados de madera verticales fijados en el carro. Estos pernos son los responsables de que el marco pueda ahondar limpiamente sus hojas de corte en el bloque de piedra (figura 21).

La presión adecuada se consigue con unas pesas posicionadas encima del bastidor[41]. Para que estas pesas no caigan con el movimiento vaivén del proceso de corte, han sido fijadas con unos tirantes de madera a la parte superior del bastidor (figura 22).

Solamente cuando las fuerzas horizontales y verticales presionan a la vez sobre las hojas de corte, se pueden conseguir el corte fino deseado.

Esta sierra en teoría tendría que realizar un corte horizontal exacto. Pero como una sierra así siempre tiene una pequeña holgura a la hora de fabricarla, también se nota un poco el ladeo, sobre todo en el cambio de movimiento en el vaivén.

Al ser estos cambios bastante bruscos, las hojas se introducen algo más en los finales de las piezas que en el centro de la línea de corte. Por este motivo se producen en los finales del corte ligeras formas convexas. El tamaño de esta deformación depende, entre otros, del desgaste de los pernos y del de las guías del carro.

Las hojas de corte son simples hojas de hierro sin dientes[42] (figura 23). El corte se consigue añadiendo

23- La vieja máquina de esmerilado de Schwerin. Parte de la hoja de corte no dentada.

41 Los pesos son necesarios para ejercer una cierta presión sobre el marco cortador con dos hojas de corte y a su vez, sobre la piedra a cortar. Cuando hay más de dos hojas de corte, se incrementa su propio peso y a partir de ocho hojas, no es necesario un peso adicional. El marco de corte pesa unos 50 kg.

42 Las hojas de corte más avanzadas incorporan pequeños recortes rectangulares para conseguir una mayor eficacia en el corte. Las máqui-

24- La vieja máquina de esmerilado de Schwerin. Mientras que la aplicación de la arena es manual, el agua es suministrada por un pequeño tubo.

25-La pieza de Schwerin muestra claramente la línea de corte cuando la sierra es guiada en horizontal y en vertical. Los extremos están ligeramente caídos debido al movimiento brusco en el cambio de dirección del corte, que se introduce un poco más al cortare. La parte izquierda de la pieza está rota.

una pasta de arena y agua que hacen de esmeril y se vierte en la línea de corte (figura 24).

Aquí, es cuando puede surgir un reparo. Al llevar la hoja de corte tan fuertemente guiada en el movimiento horizontal no puede penetrar el esmeril entre la hoja y la piedra. Sin embargo, el efecto descrito antes en los cambios de recorrido que surgen bruscamente, le ayuda extraordinariamente (figura 25).

Al saltar ligeramente la hoja de la sierra, cada vez que hay un cambio de dirección, se cuela la arena ayudada por el agua y la coloca como hemos comentado anteriormente, entre la hoja de corte y el bloque de piedra.

Para la justa colocación de la piedra a cortar, se sube y se baja el bastidor a través de unas cuerdas. Estas cuerdas están fijadas en las cuatro esquinas del bastidor, son dobles y están colocadas sobre un ro-

nas modernas utilizan cables de corte.

dillo en la parte superior del carro. A través de un movimiento de giro se puede elevar y bajar uniformemente todo el bastidor. De esta manera, se puede elevar el bastidor si por ejemplo se rompe una hoja de corte o el proceso de corte ha acabado.

CONCLUSIÓN

La representación de una máquina de serrar de la antigüedad encontrada en un sarcófago en Hierápolis, puede ser considerada como uno de los descubrimientos más importantes para la investigación de la historia de la técnica. Aquí, se puede contemplar gráficamente por primera vez como un molino hidráulico transfiere, a través de una transmisión, su potencia. Amiano, que en su epígrafe se define a sí mismo como un hábil inventor, posiblemente quería dejar patente esta máquina de fuerza como su invento más importante y su aporte vital a las generaciones venideras. Del relieve simbólico con dos sencillos bastidores que habían cortado medio bloque cada uno, se desprende que esta máquina podía realizar dos cortes a la vez.

Los detalles perfectos de la representación de la transmisión, permitieron una reconstrucción funcional. En cambio, hubo que recurrir a los textos especializados de este gremio, del siglo XVIII, para poder reconstruir la parte de la sierra y así conseguir una reproducción completa que funcionase bien.

Cómo hasta ahora se creía que la propulsión de máquinas con estas transmisiones era propia de la edad media, recae sobre el desciframiento del relieve de Amiano una importancia especial en relación con la historia de la técnica.

Referencias bibliográficas

AUSONIUS. Ausonius, Mosella; deutsch von K. Weis (Darmstadt 1984).

BEHRENS 1789. E. C. Behrens, Die practische Mühlen-Baukunst oder gründliche und vollständige Anweisung zum Mühlen- und Mühlen-Grundwerks-Baue mit den Haupt- und Spezialrissen zum gemeinnützigen Gebrauche für Bauliebhaber, Müller und Zimmerleute (Schwerin 1789).

GREWE 1985. K. Grewe, Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen. Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft, Suppl.bd. I. (Wiesbaden 1985) 18–21.

GREWE 1998. K. Grewe, Licht am Ende des Tunnels, Planung und Trassierung im antiken Tunnelbau (Mainz 1998) 134–139.

GREWE – KESSENER 2007. K. Grewe – H. P. M. Kessener, A Stone Relief of a Water-powered Stone Saw at Hierapolis, in: Énergie hydraulique et machines élévatrices d´eau dans l´Antiquité, Actes du Colloques International, Collection du Centre Jean Bérard 27 (Naples 2007) 227–234.

LEUPOLD – BEYER 1735. J. Leupold, Theatrum machinarum molarium, oder Schauplatz der Mühlen-Bau-Kunst. Welcher allerhand Sorten von solchen Machinen, die man Muehlen nennet, so wohl histor. als pract, nebst ihren Grund- und Aufrissen vorstellet…; zusammengetragen von Johann Mattias Beyer (Leipzig 1735; Nachdruck Hannover 1982).

MANGARTZ 2006. F. Mangartz, Zur Rekonstruktion der wassergetriebenen byzantinischen Steinsägemaschine von Ephesos, Türkei – Vorbericht, AKorrBl 36/4, 2006, 573–590.

MOMMSEN 1871. Th. Mommsen, Tunnelbau unter Antoninus Pius, AZ NF III, 1871, 5.

PLINIO. C. Plinio Segundo d. Ä., Naturkunde, deutsch von R. König und J. Hopp (Darmstadt 1992).

RÖDER 1971. J. Röder, Marmor Phrygium – Die antiken Marmorbrüche von Iscehisar in Westanatolien, JdI 86, 1971, 253–312.

SCHIØLER 2005. Th. Schiøler, How to Saw Marble, Journal of the International Society of Molinology 70, 2005, 34–35.

SEIGNE 2000. J. Seigne, Note sur le sciage des pierres dures à l´époque romaine, RACFr 39, 2000, 223–234.

SEIGNE 2002a. J. Seigne, Une scierie méchanique au VIe siècle, Archéologia 385, 2002, 36–37.

SEIGNE 2002b. J. Seigne, Sixth-Century Waterpowered Sawmill, Journal of the International Society of Molinology 64, 2002, 14–16.

SEIGNE 2002c. J. Seigne, A Sixth Century Water-powered Sawmill at Jerash, AAJ 26, 2002, 205–213.

SEIGNE 2006. J. Seigne, Water-powered Stone Saws in Late Antiquity. The Precondition for Industrialisation? in: G. Wiplinger (Hrsg.), Cura Aquarum in Ephesos, Proceedings of the 12th Int. Congress on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterrannean Region 2004, BABesch Suppl.12 (Leiden 2006) 383–390.

SIMMS 1983. D. L. Simms, Water Driven Saws. Ausonius and the Authenticity of the Mosella, Technology and Culture 24, 1983, 635–643.

STURM 1718. L. C. Sturm, Vollständige Mühlen-Baukunst (Augsburg 1718).

VITRUVIO. Vitruvio, Zehn Bücher über Architektur, deutsch von C. Fensterbusch (Darmstadt 1976).

WARNECKE 1997. H. Warnecke, Die antike Marmorsäge – Eine Werkzeugmaschine wird rekonstruiert, RheinMusBonn 2, 1997, 33–38.

WIKANDER 1981. Ö. Wikander. The Use of Water Power in Classical Antiquity, OpRom XIII, 1981, 91–104.

WIKANDER 1989. Ö. Wikander. Ausonius´ Saw-Mills – Once More, OpRom XVII, 1989, 185–190.