

Aportaciones medievales a la maquinaria de construcción

Amparo Graciani García

Las fundamentales aportaciones de la Antigüedad grecorromana al campo de los equipos de obra y medios auxiliares de construcción, en concreto las que se refieren a la maquinaria destinada al efecto,¹ se verán complementadas por los avances del Medioevo, en especial desde las primeras novedades que comienzan a producirse a partir del siglo XII, en plena Alta Edad Media, durante la que algunos han llegado a denominar la primera «revolución industrial».² Aunque tales avances no fueran en gran modo significativos, a pesar —en segundo término— de que la frecuencia de su uso continuara resultando baja, y, en tercer lugar, de que algunas de estas novedades no llegaran a llevarse a la práctica, este período constituye un eslabón más en el progreso de la maquinaria de construcción y los equipos de obra.

De ahí, el posible interés de estas notas, sobre todo como punto de partida para contextualizar los posteriores avances del Renacimiento, algunos probablemente inspirados en aquellos «ingenios gráficos» de época medieval, que nunca llegaron a plasmarse más allá del papel. Al menos, el paralelismo resulta evidente. En ellas, el ámbito cronológico-espacial considerado será Europa Occidental entre los siglos XII y XV, en base a la dificultad que supone abarcar de modo uniforme el período medieval dada su excesiva amplitud temporal así como su diversidad espacial y cultural. Será precisamente a partir del siglo XII cuando en Europa Occidental se comience a producir una intensa transformación técnica que afectará en gran medida a la maquinaria de construcción.³

FUENTES DE ANÁLISIS

El conocimiento que se tiene del tema se basa en fuentes de información de muy diversa índole, fundamentalmente los originales de época que, aunque escasos, aún se conservan, las fuentes documentales del momento —escritas o gráficas— (recogidas en libros de fábrica o en manuscritos y cuadernos), representaciones artísticas y la tratadística posterior.

Ejemplares de época

Son muy contados y tardíos y no siempre de uso constructivo ya que la mayor parte de las máquinas han sido destruidas por la acción del tiempo o demolidas por resultar inadecuadas para las nuevas exigencias. Precisamente, su escasez ha motivado la fama de las conservadas. Entre ellas, cabe señalar dos grúas del siglo XV, existentes en Trier y Danzing.⁴

Fuentes documentales de época

Constituyen una importantísima fuente de conocimiento para el análisis del tema. Los libros de fábrica y las crónicas de construcción suelen referir los ingenios empleados. Tal es el caso de las crónicas de Gevais sobre las obras de reconstrucción del coro de la iglesia de Canterbury, construido por Guillermo de

Sens en 1174. Sin embargo, la carencia casi generalizada de análisis particularizados de los diferentes procesos constructivos de edificaciones de época medieval dificulta la posibilidad de llegar a conclusiones mayor entidad. Precisamente, éste se ofrece como un campo de investigación virgen en el que prácticamente todo está aún por decir.

Sin duda, la obra más trascendental e interesante de entre los manuscritos generales de época, entendiendo en este subgrupo los no vinculados a un proceso constructivo concreto, es el Cuaderno de Villard de Honnecourt,⁵ obra que presenta un doble valor para el estudio de estas cuestiones. De una parte, constituye el testimonio documental de la época más completo por su detallismo y por contener información gráfica y escrita —ya que algunos ingenios aparecen comentados— de una amplia diversidad tipológica de máquinas de aplicación constructiva, si bien incluye también otras de finalidad muy distinta como el trabuco quizás porque el autor fuera un hombre apasionado por los problemas técnicos en general y no sólo por los vinculados a los procesos constructivos. Un grado de detallismo que no implica que éste carezca de problemas; de hecho, en sus representaciones, el autor eludió algunos de los elementos integrantes de tales ingenios, posiblemente para simplificar sus dibujos, cayendo así en errores de interpretación, como ya indicara a mediados del siglo pasado (1855) el arquitecto francés y gran medievalista J. B. Lassus en su edición crítica del álbum. En segundo lugar, la inclusión de estas máquinas en el Cuaderno de Villard de Honnecourt nos hace reflexionar sobre la frecuencia de uso de estos tipos de máquina, algo en principio impensable dada la escasez de restos existentes; el hecho de que Villard incluyera esta maquinaria en su cuaderno, que en tantos aspectos refleja el desarrollo de la técnica constructiva medieval, nos incita a pensar que se trataría de mecanismos habituales en la época, a pesar de la escasez de ejemplos conservados.

Representaciones artísticas

En algunas obras de arte medievales (en especial, en los capiteles historiados románicos⁶ y en las pinturas al fresco) se representan los medios auxiliares y la maquinaria de construcción empleadas en un proceso constructivo. Sin embargo, la tendencia a la abstrac-

ción habitual en la época determina su bajo nivel de detalle, hasta el punto de que los datos aportados pueden resultar nimios, ya conocidos o al menos fáciles de suponer por ser los propios del momento. Una circunstancia ésta, que cambia radicalmente con la llegada de las nuevas tendencias pictóricas en la Baja Edad Media. Precisamente, el valor de las tablas de la escuela flamenca estribará en su detallado realismo, sin duda alguna posibilitado por el empleo de una nueva técnica pictórica, el óleo, y determinado por una novedosa forma de entender el arte, marcada por un mayor realismo. En ellas, suelen aparecer como fondo de escenas de diversa índole: alegóricas, retratos e incluso religiosos.

Por ejemplo, entre las primeras, merece ser destacada la alegoría de «*Las Construcciones Infernales*» del *Tríptico del Heno del Bosco* (hoy en el Museo del Prado), correspondiente a la cara interna del postigo de la derecha, en la escena denominada «*Las construcciones infernales*». En su primer plano, aparece una simple grúa indicando el proceso de construcción de una torre infernal, en continua actividad por resultar insuficiente para contener las almas.⁷ En el retrato que Pieter Pourbus el Viejo (1523-1584) realizara del mercader de Brujas Jan Fernaguut se introducía una grúa movida por una gran rueda (en este caso cubierta para solventar las inclemencias del tiempo) en el fondo de muelle de carga que se vislumbra por la ventana del retrato en alusión a cómo el comercio ayudó al retratado a enriquecerse.

Mayor interés sin duda presentan las obras de temática religiosa del gran artista flamenco del siglo XVI Pieter Bruegel el Viejo, quien en diferentes pinturas y grabados incorporó un gran número de máquinas y métodos de elevación de cargas utilizados en su tiempo en los principales puertos de los Países Bajos y que pueden ser extrapolados a los empleados en las actividades de construcción de la Baja Edad Media.⁸ Por la abundancia y claridad de los detalles habitual en el artista la información que de la observación de tales representaciones se puede obtener sobre los ingenios de construcción en la Edad Media, no puede ser superada por ninguna otra fuente iconográfica de la época, ejerciendo un protagonismo equivalente al que posee el Cuaderno de Villard de Honnecourt entre las fuentes documentales. La fiabilidad de la información aportada está asegurada, teniendo en cuenta que el autor conocía muy bien la actividad portuaria ya que vivió un cierto número de

años en la ciudad de Antwerp, cuyo puerto estaba en aquellos años activo y en plena expansión.

De todas sus obras, las más interesantes son aquellas en las que el autor afronta, con una interpretación personal, el problema de cómo pudo haberse construido la bíblica Torre de Babel; dos pinturas, realizadas en 1563, tituladas *La Torre de Babel* (*La pequeña Babel*, hoy en el *Museo Boymans-van Beuningen* de Rotterdam, y *La gran Babel* *Kunsthistorisches Museum* de Viena), muestran con bastante claridad al menos seis máquinas elevadoras movidas por tracción humana. En el muelle de *La pequeña Babel*, se representa una inmensa grúa de madera o cabria, que se inclina hacia arriba y hacia un lado, más allá de su rueda lateral de escalones giratorios. En *La gran Babel*, junto a un puerto activo en las proximidades de la obra aparecen dos gigantes máquinas para su traslado y, en el segundo piso de la rampa espiral de la torre, una inmensa grúa, movida por un molino de rueda de escalones a cada lado con seis u ocho obreros que trabajan en su interior.

Pese al interés de las obras flamencas, existen algunos ejemplos —aunque aislados en otras zonas—. Por ejemplo, en nuestro país, en el Cuadro de la Crucifixión del retablo de Santa Ana de Tardienta (Huesca), actualmente conservado en el Museo Diocesano de la Catedral de Huesca, pintado hacia 1449 por Pedro Zuera y Bernardo de Aras, se representa una grúa en la lejanía dentro de una escena constructiva.⁹

Tratados posteriores

Los tratados del siglo XV, en los albores del Renacimiento, podían ser en principio una interesante fuente de conocimiento sobre los métodos medievales de elevación de carga en particular —y sobre los útiles de construcción en general—. Sin embargo, son bastante pocos en esta cuestión y lo seguirán siendo durante el siglo XVI, si bien a finales de la centuria las obras sobre el tema comenzaron a publicarse, dejando de ser inéditas como lo habían sido hasta la fecha.¹⁰ Así sucede con el *Trattato di Architettura* de Antonio Averlino, *il Filarete*, (1460-1464), donde —probablemente dada la complejidad de la explicación de las grúas— el autor se limita a mostrar las láminas que a este respecto contiene el *Libro de Oro*, sin transcribir ni dibujar su contenido.

APORTACIONES Y NOVEDADES MEDIEVALES

Fundamentalmente, las novedades que afectan a la maquinaria de construcción de época medieval son de doble índole: tipológica y energética.

Novedades tipológicas

Desde el punto de vista tipológico, se produce una diversificación de los tipos de máquinas de construcción clásicas, casi limitadas a grúas para elevación (y, en menor grado, transporte) de cargas, ingeniosos mecanismos para trasladar aquellos pesos que los *hamaxaii* (carros de armazones reforzados) no pudieran soportar y algunas máquinas de percusión para hinca de pilotes. En época medieval, las novedades tipológicas se producen en un doble sentido: aparecen nuevos tipos de grúas (con sus correspondientes mejoras) y comienzan a emplearse máquinas para preparación y corte de los materiales de construcción y de pilotes.

Pese a todo, perduran algunas máquinas clásicas como los martinets tradicionales empleados para hinca de pilotes de cimentación en la construcción de azudes o esclusas, de obras portuarias y de pilas y estribos de puentes. En estos martinets, la maza¹¹ iba guiada para asegurar un impacto certero sobre la cabeza del pilote, que con frecuencia iba recubierta por una caperuza metálica. El izado de los martinets, generalmente manual, se llevaba a cabo mediante una gruesa maroma de la que tiraban varios operarios a la vez. Cuando los hombres soltaban sus cuerdas, la maza caía sobre el sombrero metálico que protegía la cabeza del pilote, clavándose éste en el suelo. El mayor inconveniente de estas máquinas radicaba en que todos los operarios habían de soltar la maza simultáneamente cuando ésta alcanzaba la altura convenida. Sin embargo, este problema no se solventará hasta el siglo XVIII, cuando se generalizarán los martinets provistos de suelta automática de la maza.¹²

Aparatos de elevación y transporte de cargas: herencia e innovación

El transporte y la colocación de material de construcción en la obra sigue constituyendo uno de los princi-

pales problemas para el constructor medieval. Si bien en el transporte en horizontal se produce una evidente mejora, la utilización de llantas metálicas en los carros, las grandes novedades se referirán al transporte en vertical. En época medieval se utilizaron diferentes máquinas para elevación de carga, en función de la potencia de carga exigida, aunque las novedades fundamentales que aporta el momento se refieren a las grúas. En este sentido, podremos distinguir entre ergates o cabrestantes, cabrias y grúas.

Durante el medioevo continúan empleándose los *ergates* o *cabrestantes* de tradición clásica, que en el lenguaje de la época, son frecuentemente denominadas «ingenios elevadores». En ellas, el peso se eleva a través de un torno o un simple tambor, en torno al cual se enrolla una cuerda a medida que unos hombres lo hacen girar, y en el cual los objetos se elevan mediante una polea o varias poleas. Se trata de una máquina con menor capacidad portante que la grúa. Un ingenio de este tipo aparece, por ejemplo, en *La Gran Babel*, en el primer nivel de la rampa de la torre; en el ya referido capitel del claustro de Monasterio de Santa María la Real de Nieva, así como las máquinas referidas por el monje Gevais, cronista de la construcción de la Catedral de Canterbury quien indica que Guillaume de Sens lo utilizó en 1174 para reconstruir el coro de la iglesia destruido por las llamas.

Mientras las cabrias se utilizaban para elevar el sillar del suelo a los carros, las grúas, sin duda las máquinas más complejas de la Edad Media, se emplearán para elevar a grandes alturas las cargas, lo que exigía una elevada potencia motriz, obtenida al multiplicarse la fuerza mediante un juego de poleas y polipastos. Parece probable que precisamente la esbeltez de la viga vertical (*pescante*) que la constituía, que por tanto exigía ser reforzada, estuviera en el origen del término «grúa», al asemejarse esta máquina por su «largo cuello» con la grulla. Dado que, según se ha indicado las novedades medievales afectarán a las grúas nos centraremos en ellas.

Las grúas medievales continuaron trabajando con los elementos básicos de tradición clásica: sistemas de gancho, cables de tracción, trocleas de poleas y tambores de arrollamiento o, en sustitución de ellos una rueda lateral —en ocasiones dos, una a cada lado— de escalones giratorios (con una disposición semejante a la de una jaula de ardillas) en la que trabajadores humanos —moviéndose en su interior¹³— proporcionaban la energía necesaria para hacerla

operar, ocasionalmente protegidos de las inclemencias del tiempo por un tejadillo como evidencia el retrato de Jan Fernaguut. Precisamente, la rueda se convertirá en el símbolo por excelencia utilizado en las representaciones artísticas para aludir los procesos de transporte de materiales de construcción. Quizás por resultar fácilmente simplificable como motivo iconográfico en una época caracterizada por un elevado grado de abstracción.

El número de personas que trabajarían en el interior de estas «ruedas de ratón» dependería lógicamente de su diámetro, que debía oscilar entre 4 y 6 metros. Las ruedas de la grúa de Trier tiene 4,20 m de diámetro (y 1,20 de llanta interior) mientras que se estima que la que aparece en el retrato de Jan Heraguut debía tener unos seis metros de diámetro. Klein, al analizar las representaciones de Bruegel el Viejo estima las posibilidades que ofrecen este tipo de grúas, considerando que seis obreros, trabajando a máximo rendimiento, y con unas pérdidas por fricción del 20%, tardaría unos dos minutos y medio en elevar a quince metros de altura un bloque de una tonelada y media. No obstante, la potencia de carga podía ser mayor. De hecho, la grúa de Trier —aún en servicio a principios del siglo XX— podía transportar una carga mayor a dos toneladas y media.

A pesar de su clara herencia clásica, las propias necesidades constructivas del momento así como el auge de la navegación, la industria minera y la metalurgia, propiciaron que durante la Alta Edad Media se produjeran dos importantes (pero simples) mejoras en la estructura de las grúas de elevación de cargas, que, en cualquier caso, coincidían con unos cambios estilísticos que posibilitaban su aplicación a maquinaria constructiva, dado el complejo entramado técnico que requería el montaje de las grandes catedrales e iglesias góticas. Dichas mejoras generaron la aparición de la grúa de viga en voladizo y la de columna giratoria, así como tres importantes novedades en el mecanismo de elevación, el empleo de palancas oscilantes, trinquetes y engranajes de dientes rectos. En su conjunto, todas ellas permitirán que las grúas alcancen un grado de estabilidad y potencia desconocido hasta la fecha.

La grúa de viga en voladizo era aquella en la que la columna vertical quedaba rematada por una viga superior y horizontal, el aguillón («en voladizo») unida a ésta con travesaños de refuerzo. Podían ser incluso dos vigas, contrabalanceadas por riostras de

hierro y adecuadamente tornapunteadas; así sucedía la grúa de Trier, en la que la voladura del aguilón alcanzaba los seis metros. El otro avance consistió en hacer girar sobre sí mismo el eje o columna de la estructura de la grúa, apareciendo la grúa de columna giratoria, en la que ésta posibilitaba el directo emplazamiento en obra de la carga. Con ambas novedades aumentaba la maniobrabilidad de la máquina y mejoraba la seguridad de la obra, puesto que la elevación no dependía exclusivamente de la tensión de unos cables. Además, se ahorraría tiempo y esfuerzo en el transporte de la carga, desde el momento en que la misma máquina aúne las dos funciones: elevación y transporte en horizontal.

Si bien la primera referencia documental de una grúa de eje giratorio (en este caso referida a una máquina muy simple) no aparece datada hasta 1430, la grúa de Trier (anterior a 1413, fecha en que se solicitó el permiso para su instalación) unía ya ambos avances. De hecho, tenía una robusta columna de madera (de 50 × 50 cm de sección) que, calzada con una espiga de hierro, apoyaba en un tejuelo del mismo material, y soporta la parte interna del tejado cónico, la cual gira al mismo tiempo que aquélla; las vigas superiores se hallan contrarrestadas por un entramado de vigas de madera de 30 por 40 cm, apoyado en la cresta del muro circular. Sin embargo, puede afirmarse que estas novedades son mucho anteriores pues ya Villard de Honnecourt dibujaba una grúa con ambas particularidades, en la que sería la primera representación gráfica de un elevador medieval.

Junto a estas novedades estructurales, durante la Edad Media evoluciona asimismo el mecanismo de elevación de las grúas. De un lado, comienzan a utilizarse engranajes de dientes rectos como elementos reductores, los cuales se mantendrán hasta la transición del siglo XIX al XX; en segundo lugar, la elevación, deja de ser manual al aplicárseles palancas oscilantes y trinquetes. Con ello, las cargas se pueden elevar de forma progresiva al tiempo que aumenta la seguridad de la máquina en relación a las anteriores. La grúa dibujada por Villard estaba ya dotada de palancas colocadas horizontalmente dispuestas al eje. Según Lassus, en su dibujo Villard eludía algunos elementos de la carpintería de la máquina. En concreto, echaba de menos las piezas que habrían de sostenerla durante la elevación de la carga. Sin embargo, Lassus apuntaba la importancia del ensamblaje de los montantes que servían de guías con las jam-

bas del aparato y el detenido estudio que su constructor habría tenido que hacer de la resistencia de los diferentes integrantes de la máquina.

Nuevas máquinas para preparación y corte de materiales

La aparición de máquinas para preparación y corte de materiales (madera y piedra) es una de las novedades de la Edad Media. Especialmente interesantes resultan las noticias existentes sobre máquinas para solucionar uno de los problemas más acuciados: el del corte de pilotes y estacas de cimentación bajo el agua a un mismo nivel en construcciones hidráulicas como las pilas de los puentes y los diques. La primera referencia, tanto escrita como gráfica sobre el tema es la de Villard de Honnecourt, quien en su Álbum muestra cómo, bajo el agua, los pilotes se podían aserrar mediante «una sierra fijada horizontalmente a un armazón que sobresale del agua y que descansa en una plataforma, donde los obreros la deslizan imprimiendo un movimiento de ida y vuelta. El nivel y el plomo, situados a lo largo de un pilote, tienen por objeto, asegurar su verticalidad».¹⁴

En realidad, no se sabe si la máquina dibujada por Villard funcionaba realmente. De haber sido así, podría afirmarse que la Edad Media abría camino, pues aunque parece que la técnica de serrar los pilotes bajo el agua se perdió durante el Renacimiento, en el siglo XVIII (1758) volvió a ser redescubierta y puesta a punto, por M. De Vauglie, tras los infructuosos esfuerzos de sus inmediatos predecesores como del gran ingeniero hidráulico Bélidor, autor de *L'Architecture hydraulique* (1737). Así puede leerse en el tomo XIII de la *Encyclopédie*, bajo el vocablo Pont (puente).¹⁵ También muestra de cómo este tipo de maquinaria proliferará en el siglo XVIII es la presencia de diseños similares en el Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro, siendo de todas ellas la que mejor se conoce la que se utilizó en Inglaterra para realizar la cimentación de puente de Westminster.¹⁶ El modelo número 63 de la Colección del Gabinete de Máquinas del Buen Retiro era una máquina colocada en la proa de un barco que servía para serrar pilotes bajo el agua; aunque el modelo español ha desaparecido, en el Museo del Instituto que fundó Betancourt en Rusia se conserva uno, realizado bajo su dirección.¹⁷

Parece probable que las primeras máquinas de dragado, con cucharones y movidas mediante ruedas, fueran de época medieval. No obstante, las primeras representaciones datan del siglo XV. Entre ellas, un dibujo del artista flamenco Roeland Savery (1576-1639), de la *Trustees of the Chatsworth Seetlement*, conservado en la *Colección Devonshire en Chatsworth*, en Inglaterra, en la cual dos molinos de rueda de escalones situados a la izquierda movían una correa de transmisión con cucharones de draga que penetraban en el agua.

Novedades energéticas

El apasionado interés que algunos hombres de la Edad Media demostraron por la búsqueda de nuevas fuentes de energía, impulsó que los cambios producidos en la maquinaria de construcción se relacionaran también con las fuentes de energía empleadas. De hecho, desde la Alta Edad Media se utilizará la energía hidráulica en sustitución de la fuerza o el peso humano, desempeñando ésta en la Edad Media un papel similar al del vapor en el siglo XIX o el petróleo en el siguiente. Al mismo tiempo, comenzaban a generarse las primeras reflexiones sobre la producción del movimiento continuo. Se puede pues afirmar que en la Edad Media se produjo una auténtica revolución en cuanto a la utilización de nuevas fuentes de energía, ya que se aprovecha masivamente las del agua y el viento, algo que hasta el siglo XI sólo se había hecho de forma esporádica. La búsqueda de nuevas fuentes de energía en principio se vio estimulada por el aumento de producción cerealística en la época¹⁸ ya que se hacía necesario moler una mayor cantidad de cereal y el molino de mano resultaba insuficiente, al tiempo que los animales estaban empleados en tareas agrícolas. No obstante, en maquinaria de construcción sólo se utilizará la energía hidráulica, no la eólica.

La energía hidráulica era empleada desde época romana: de hecho, estos constructores ya conocían los molinos hidráulicos pero los aplicaban poco ante la abundancia de mano de obra esclava. Ahora, dadas las nuevas condiciones de la economía medieval, resultaba rentable la utilización de la energía hidráulica de las corrientes de agua para mover las ruedas de los molinos. Para el aprovechamiento eficaz de las corrientes de agua se recurría a las ruedas de paletas,

convenientemente diseñadas. El molino, primera máquina energética y automática, no sólo se utilizaba para la molienda de grano: por ejemplo, en actividades relacionadas con la construcción, se emplearía para mover las sierras y para el accionamiento de los fuelles y los martinets de las herrerías.

Es en este contexto cuando comienzan a proliferar las sierras hidráulicas en la Historia de la Construcción, si bien este tipo de herramienta debió de ser utilizada por primera vez en el Bajo Imperio Romano. De hecho, la primera mención de una probable utilización del agua para mover sierras, correspondiente a la segunda mitad del siglo IV, aparece en la obra de Ausonio, quien en su poema *Idyllia*, escrito hacia el 367 de nuestra era, al evocar el valle del Mosela (entre Tréveris y el Rin), describía una sierra para cortar el mármol. Sin embargo, es probable que con la caída del Imperio Romano y el consiguiente proceso de barbarización, este tipo de ingenio fuera poco empleado: quizás así se explique que de época medieval no exista ninguna referencia a una sierra hidráulica anterior a 1204, año en que queda recogida en un documento normando. Pese a todo, la primera representación de una sierra hidráulica aparece en el Cuaderno de Villard de Honnecourt hacia 1230.¹⁹ Se trata de una máquina automática de dos tiempos, pues al movimiento circular de las ruedas, que creaba un movimiento rotativo capaz de serrar, había que añadir el avance automático de la madera en la sierra.

Una máquina como la descrita por Villard fue construida en el lugar que ocupó la iglesia de Honnecourt por la referida asociación que llevaba el nombre del autor medieval. No resulta extraño que Villard de Honnecourt recogiera estas referencias gráficas a la energía hidráulica, dado que parece debió trabajar para los cistercienses,²⁰ monjes que alcanzaron una amplia difusión entre los siglos XII y XIII gracias al rendimiento que obtuvieron de la energía hidráulica al mecanizar sus trabajos (forja, producción de harina, curtido de pieles...). Tras el siglo XIII, la sierra hidráulica se empleó en la construcción no sólo para la preparación y el corte de los sillares sino también para el trabajo de la madera. Precisamente, en tanto su utilización aceleraría la deforestación de ciertas regiones, hubo frecuentes reacciones hostiles y en algunos casos se llegaría a prohibir su uso (como en Colmars, en los Alpes de la Alta Provenza, a finales del siglo XIII).

NOTAS

1. Graciani García, Amparo: «Medios auxiliares y equipos de obra en la Antigüedad», en *La técnica de la Arquitectura en la Antigüedad*. Universidad de Sevilla, 1998 (en prensa).
2. Gimpel, Jean: *La revolución Industrial en la Edad Media*. Madrid, 1981. Según Gimpel, se produjo una Revolución Industrial muy anterior a la iniciada en Gran Bretaña a mediados del siglo XVIII. Entre otras cuestiones, el autor refería a la polución por la combustión de la madera propia de la Edad Media.
3. Para algunos autores como White, esta transformación técnica llevaba ligada un cambio social (White, Lynn: *Tecnología medieval y cambio social*. Buenos Aires, 1973).
4. La de la ciudad alemana de Trier (conocida en el lugar como la *alte Kran*, «la grúa vieja») constituye el monumento principal de la ciudad alemana del Mosela, donde se encuentra encerrada en una torre. Debió ser construida en los primeros años del siglo XV y para transporte y elevación de cargas portuarias; de hecho, según consta en los archivos de la ciudad de Trier, el permiso para la instalación de este aparato (*Einen niuwen Cranen mit allem Werke*) fue solicitado por el barquero Gottel y su mujer, Margarita, el 26 de mayo de 1413. Algo posterior es la grúa de Danzing, que da nombre a una de las puertas de la ciudad (*Das Kranthor*), instalada hacia 1444.
5. Gimpel, Jean: «Villard de Honnecourt, arquitecto e ingeniero», en *Villard de Honnecourt. Cuaderno. Siglo XIII*. (Present. y coment. por). Ed. Akal. Madrid, 1981, pp. 31-43.
6. Actualmente, Nicolás García Tapia se encuentra realizando un estudio de las representaciones iconográficas de esta índole en Castilla-León. De las escasas representaciones técnicas conservadas en Castilla, en alguna publicación anterior el autor ha señalado el ejemplo de un capitel del claustro de Santa María la Real de Nieva que representa «de forma excepcional, precisa y realista, un ergate o cabrestante que eleva el peso a través de una polea». (Al respecto, vid.: García Tapia, Nicolás: «La técnica en la Edad Media en Castilla», en *Santo Domingo de Caleruega: contexto cultural, III Jornadas de Estudios Medievales* (Cándido Ruiz y Luis V. Díaz, coord.). Salamanca, 1995, p. 38).
7. Cinotti, Mia: *La obra pictórica completa de El Bosco*. Clásicos del Arte Noguera. Rizzoli Ed. Láms. XVII y XIX y p. 96.
8. Klein, Arthur H.: «Bruegel el Viejo, guía para el estudio de la Ciencia del siglo XVI», en *Investigación y Ciencia*, núm. 20, mayo de 1978, pp. 86-93.
9. García Tapia, Nicolás: «Op cit.», p. 39.
10. Arciniega GARCÍA, Luis: «Representación de la arquitectura en construcción en torno al siglo XVI», en *Actas del I Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. CEHOPU, CEDEX, e Instituto Juan de Herrera. Madrid, septiembre de 1995, pp. 55 y ss.
11. *Ut supra*, p. 235.
12. Por ello, en el siglo XVIII se usaban con mayor frecuencia martinets provistos de la suelta automática de la maza, como el que diseñó en 1756 el ingeniero militar Francisco Ricaud de Tirgale, cuyos planos se encuentran el Archivo Real de Simancas. En el Real Gabinete se disponía de martinets más vanguardistas, como los utilizados en la construcción del puente de Westminster en Inglaterra que eran accionados por caballerías o los que diseñó Perronet para la construcción de los puentes de Sainte Maxence y Neuilly en Francia.
13. Esta circunstancia se mantendría hasta el siglo XVI, cuando fuera inventada la rueda de Verancio, accionada a pie para un molino. En palabras de éste: «Estamos complacidos por haber sido los inventores del nuevo procedimiento de esta rueda... en las otras ruedas los hombres caminan por la parte interior y por la exterior, pero en la nuestra sólo estarán en el exterior de las ruedas».
14. Gimpel, Jean: *Op. cit.*, p. 37.
15. En el tomo XIX del *Recueil des Planches* aparece reproducida una gran lámina que ocupa dos páginas: «La Máquina de serrar en el agua», de M. De Vauglie.
16. V.V.A.A.: *Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa*. Catálogo de la Exposición CEDEX, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, CEHOPU y Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1996, p. 238.
17. *Ut supra*, p. 246.
18. Asimismo, el aumento de la producción agrícola se debió a una serie de novedades técnicas, en especial a la generalización de la collera para animales de tiro y a la sustitución del viejo arado romano.
19. Gimpel, Jean: *Op. cit.*, pp. 35 y 36.
20. Por ejemplo, en Vaucelles, cercano a Honnecourt, o en la abadía de Pilis (Hungría).

BIBLIOGRAFÍA

- Con la colaboración documental de Fidel Márquez Palacios y Carmen Baena Alonso.
- Arciniega García, Luis: «Representación de la arquitectura en construcción en torno al siglo XVI», en *Actas del I Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. CEHOPU, CEDEX, e Instituto Juan de Herrera. Madrid, septiembre de 1995, pp. 55 y ss.
- Derry, T. K. y Willians, T. I.: *Historia de la Tecnología*. Ed. Siglo XXI de España, 1977.

- Erlande-Brandenburg, Alain; Pernoud, Régine; GIMPEL, Jean y BECHMANN, Roland: *Villard de Honnecourt. Cuaderno. Siglo XIII*. (Present. y coment. por). Ed. Akal. Madrid, 1981.
- García Tapia, Nicolás: «La técnica en la Edad Media en Castilla», en *Santo Domingo de Caleruega: contexto cultural, III Jornadas de Estudios Medievales* (Cándido Ruiz y Luis V. Díaz, coord.). Salamanca, 1995, pp. 33-56.
- Gimpel, Jean: «Villard de Honnecourt, arquitecto e ingeniero», en *Villard de Honnecourt. Cuaderno. Siglo XIII*. (Present. y coment. por). Ed. Akal. Madrid, 1981.
- Gimpel, Jean: *La Revolución Industrial en la Edad Media*. Madrid, 1981.
- Gille, Bertrand: *Les Ingénieurs de la Renaissance*. París, 1964, p. 148.
- Miravete...: *Aparatos de elevación y transporte....* Zaragoza, 19... pp.
- Soulard, Robert: *Historia de la Maquinaria*. Ed. Continente, 1965.
- Strandh, Sigvard: *Máquinas. Una Historia Ilustrada*. Herman Blume Editores, 1982.
- White, Lynn, Jr.: *Technologie médiévale et transformations sociales*. París, 1969 (*Tecnología medieval y cambio social*. Buenos Aires, 1973).
- Von Klinckowstroem, Carl: *Historia de la Técnica*. Ed. Labor, 1965.
- V.V.A.A.: *Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa*. Catálogo de la Exposición CEDEX, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, CEHOPU y Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1996.