
LA TRADICIÓN DE LOS BATANES: UN ESTUDIO DESDE LA INGENIERÍA

JOSÉ IGNACIO ROJAS-SOLA, JAVIER SUÁREZ-QUIRÓS
y RAMÓN RUBIO-GARCÍA

RESUMEN

Se muestra el estudio hidráulico de una típica instalación de un batán, situado en el término de Alfoz (Lugo, España) y que representa fielmente las características comunes a todos ellos. Asimismo se ha realizado un modelo virtual del mismo, modelándose en 3D y dotándolo de animación por ordenador para comprender su funcionamiento. Igualmente se expone un

estudio realizado sobre la rueda vertical de los batanes, para obtener conclusiones a partir de la comparación con el estudio realizado con las ruedas horizontales de los molinos hidráulicos obteniendo, por tanto, datos sobre la eficiencia de ambas tecnologías.

Este trabajo sigue la línea de otras publicaciones realizadas en el área de arqueología industrial (Rojas-Sola y Amezcua-Ogáyar, 2005; Rojas-Sola, Gómez-Elvira y Pérez-Martín, 2006; Rojas-Sola y López-García, 2007) y se basa en el estudio de la fuente de energía renovable que acciona las máquinas, en este caso el agua.

El agua ha tenido un papel primordial en el desarrollo tecnológico de las zonas rurales de todo el mundo. Un ingenio muy importante en la industria textil, que utiliza el agua como fuente de energía, ha sido el batán. En Latinoamérica, son muchos los lugares donde todavía se emplean los batanes para enfurtir paños y, por ello, este estudio intenta obtener conclusiones de forma que permitan optimizar muchos de ellos, puesto que sus características son comunes en España y Latinoamérica.

Existe abundante información relacionada con el tema, reflejando

su historia y sus características estructurales y morfológicas, así como aspectos históricos (www.btinternet.com/~rob.martin/full/full.htm; www.slaidburn.org.uk/textiles.htm; www.witheridge-historical-archive.com/fulling.htm; Colmenarejo-García y Colmenarejo-Romea, 1991; Pelham, 1960), pero no hay un estudio riguroso llevado a cabo con un enfoque técnico, habiendo existido diferentes tipologías de batanes clasificadas en función de la aplicación para la cual fueron concebidos (Sánchez-Ferrer, 1990; Balmaceda, 1998; Vázquez-Varela *et al.*, 1999).

Los batanes, comúnmente utilizados en toda España y Latinoamérica, eran movidos por el agua a fin de accionar los martillos que se empleaban para golpear, desengrasar, enfurtir y hacer más fuertes las telas de lana. Por eso los tejidos se lavaban y batían durante 24h. Estaban íntegramente contruidos de madera de roble, por su resistencia a la humedad, y solían estar colocadas a orillas de un

río o arroyo (Morís Menéndez-Valdés, 2001). El batán seleccionado para este estudio está ubicado en Alfoz, Lugo, España, y fue elegido por el buen estado de conservación de su maquinaria.

Los objetivos del estudio son, en primer lugar, lograr su reconstrucción gráfica para comprender su dimensión, desarrollando una animación por ordenador que recree su funcionamiento y, en segundo lugar, calcular los principales parámetros técnicos, incluyendo el caudal necesario, la potencia desarrollada y el momento obtenido. Estos resultados serán discutidos y comparados con los obtenidos en molinos hidráulicos de rueda horizontal (rodezo).

Además, se ha efectuado un trabajo de campo que incluye un reportaje fotográfico y croquis acotados de todos sus elementos, lo que permitirá tener información tecnológica de primera mano sobre el trabajo en el batán. Con esta información se ha desarrollado un

PALABRAS CLAVE / Animación por Ordenador / Arqueología Industrial / Batanes / Diseño Asistido por Ordenador /

Recibido: 10/08/2007. Modificado: 12/09/2007. Aceptado: 14/09/2007.

José Ignacio Rojas-Sola. Ingeniero Industrial, Universidad de Sevilla, España. Doctor Ingeniero Industrial, Universidad Nacional de Educación a Distancia, España. Profesor, Universidad de Jaén, España. Dirección: Edificio A-3, Campus de las Lagunillas s/n, 23071-Jaén, España. e-mail: jirojas@ujaen.es

Javier Suárez-Quirós. Doctor Ingeniero Industrial, Universidad de Oviedo, España. Profesor, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial (EUITI), Gijón, España. e-mail: quiros@uniovi.es

Ramón Rubio-García. Doctor Ingeniero Industrial, Universidad de Oviedo, España. Profesor, EUITI, Gijón, España. e-mail: rrubio@uniovi.es

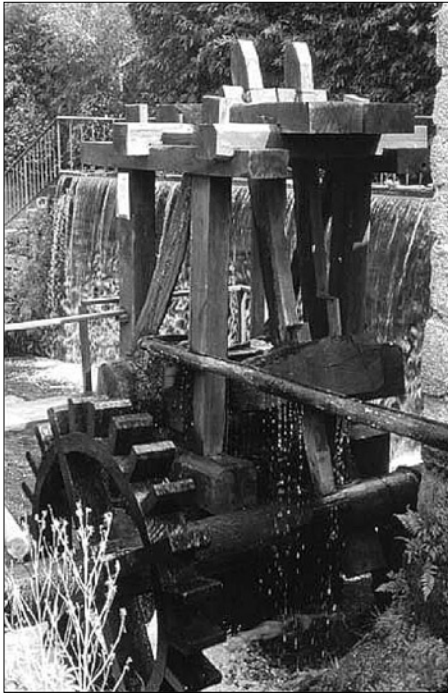


Figura 1. Imagen del batán (Cortesía de Gonzalo Morís Menéndez-Valdés)

modelo CAD y a partir de aquí una animación por ordenador.

El batán de Alfoz

Alfoz es una localidad de la provincia de Lugo, Galicia, España. El estado actual del batán se aprecia en la Figura 1, mientras que la disposición de un antiguo batán se ilustra en la Figura 2.

En todos los batanes se observa la misma disposición en cuanto al sistema hidráulico. La fuente de energía es el agua almacenada a cierta altura, ganando energía potencial y transformándose en energía cinética y mecánica. Desde esa altura el agua es conducida hasta la rueda por una canalización de 4m de largo y una sección cuadrada de 0,3m, teniendo un desnivel que oscila entre 3 y 4m.

La rueda posee un diámetro de 2,4m y un ancho de 0,2m. Tiene unas 20 paletas cucharas y el eje, de 0,4m de diámetro, posee en su parte central dos levas dispuestas a 90° que son los mecanismos encargados de izar y dejar caer los dos pesados mazos (porros). Una vez en funcionamiento las telas se colocan en el interior de un recipiente de madera (imina), dobladas en zigzag con una longitud de entre 17 y 20m.

La rueda vertical convertía la energía hidráulica del agua en energía mecánica, haciendo girar el eje o árbol



Figura 2. Un batán del siglo XVII (Böckler, 1997) A: rueda vertical, B: árbol de levas, C: leva, D: martillos

y, por tanto, mediante las levas se izaban y se dejaban caer los mazos. Sin embargo, las ruedas perdían propiedades mecánicas por el desgaste continuo al entrar en contacto con el agua y por el funcionamiento, al estar contruidos de madera.

Modelado con técnicas CAD

Se llevó a cabo una reconstrucción tridimensional del batán y posteriormente una animación por ordenador, basadas en la documentación fotográfica obtenida y los croquis acotados de todos los elementos que constituyen la máquina. Utilizando un sistema CAD (*AutoDesk Inventor Professional*) se realizó una reconstrucción tridimensional, para lo cual es necesario que los croquis realizados sean lo más precisos posibles y sea posible obtener una reconstrucción que sea fiel a la realidad. Una axonometría del batán se presenta en la Figura 3. Además, con programas de animación por ordenador (en este caso el *Blender*) se puede observar su funcionamiento previa exportación del modelo CAD obtenido. A fin de conseguir un grado de realismo alto es necesario, además, situar cámaras, luces y texturas al modelo generado con el sistema CAD utilizado.

En muchos casos, la aplicación de texturas es dificultosa, siendo quizás la parte más importante del proceso informático. Por ello, el reportaje fotográfico realizado *in situ* es clave para que se puedan escanear las texturas y mapearlas

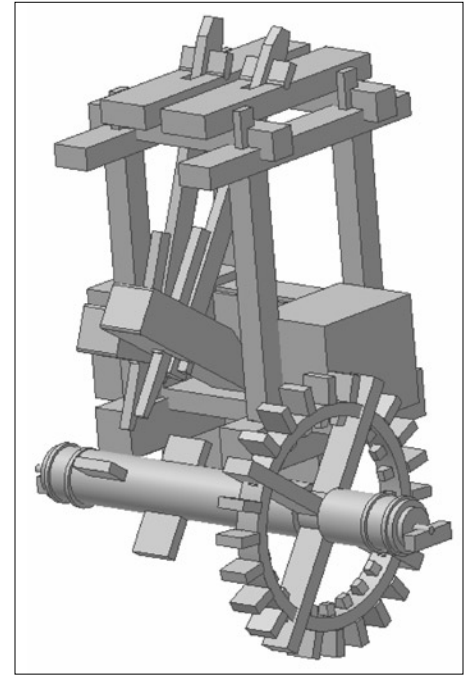


Figura 3. Axonometría del batán modelado con técnicas CAD.

sobre el modelo. La Figura 4 muestra un cuadro del modelo sólido de la animación por ordenador.

Estudio hidráulico

El estudio del aprovechamiento de un salto de agua comprende la medición de su potencia o fuerza motriz. Si se considera una corriente de agua de caudal Q ($m^3 \cdot s^{-1}$), que en una sección determinada del cauce lleva una velocidad media V ($m \cdot s^{-1}$), la potencia teórica disponible del salto, estará representada (Huertas-Talón y Val-Blasco, 1998) por $P = 37500gQV^2$, siendo la aceleración de la gravedad $g = 9,8m \cdot s^{-2}$.

Dado que la conducción tiene 4m de longitud es posible calcular la velocidad en el tramo final de la mis-

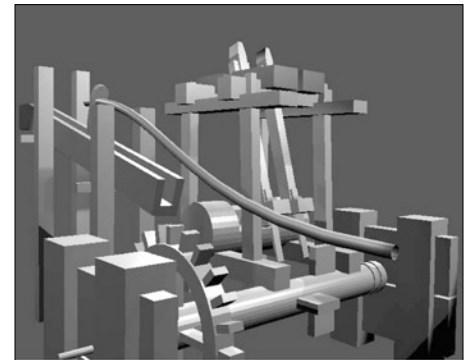


Figura 4. Cuadro del modelo sólido en la animación por ordenador del batán.

ma, obteniendo un valor de $8,9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ y tomando un coeficiente de reducción de 0,80 debido a su irregularidad, resulta una velocidad de $7,1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Puesto que la sección es cuadrada con lado de 0,3m la sección resultante es de $0,09\text{m}^2$. Por tanto, se puede calcular el caudal de salida de la conducción, que impacta en las paletas de la rueda, resultando $Q = 0,64\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$

Por otro lado, la altura neta viene dada por la diferencia entre la altura del agua en la presa y la salida del agua de la conducción. En el batán de Alfoz, esta altura se puede conocer puesto que el ángulo de incidencia es de 60° . Así resulta una altura $H = 4 \sin 60^\circ = 3,46\text{m}$

El cálculo de la velocidad de giro de la rueda es difícil de realizar, debido al desconocimiento del valor de los distintos parámetros que intervienen, y la mayor parte de ellos se obtienen a partir de la experiencia del pisador (hombre que trabajaba en el batán). La variedad de parámetros que inciden, impiden de una forma analítica obtener un resultado preciso. Las paletas de la rueda tienen un rendimiento no determinado, dependiendo de la pericia del artesano su forma y ángulo de colocación. Los cálculos se han realizado a plena carga, es decir, con un flujo de salida máximo, que darán como resultado el máximo rendimiento que se podría obtener de la maquinaria, aunque el pisador regulaba el caudal de accionamiento de la rueda.

Cálculos sobre la rueda hidráulica vertical

La rueda hidráulica es el elemento encargado de transformar la energía cinética que posee el agua en energía mecánica. La rueda vertical puede ser considerada una turbina de tipo Pelton (Mataix, 1977), funcionando como una turbina de acción de flujo tangencial.

Este tipo de ingenios funciona según el principio de acción y reacción, aprovechando solo la energía cinética del agua. Sus principales características son:

- estructura de madera con una cruceta central que se une al eje o árbol.
- 20 palas de madera
- 2,4m de diámetro.
- ángulo de 60° formado por el chorro que proviene de la conducción y la horizontal de la paleta.

El parámetro principal a analizar en la rueda es la potencia que era capaz de suministrar al proceso. Suponiendo que no se producen pérdidas en la conducción, el flujo a la entrada de la rueda, tendría una potencia dada por $P =$

$\rho QV^2/2$ que depende, como se observa, del caudal y de la velocidad de salida del agua de la conducción. Aplicando la ecuación se obtiene que para un valor de $H = 3,46\text{m}$ ($V = 7,1 \text{ m/s}$), la potencia será de $P = 16131\text{W} = 21,9\text{CV}$. No se dispone de datos precisos de la potencia útil desarrollada por la rueda, pues no se ha experimentado y por lo tanto no se puede aportar una variable en función del tiempo, imprescindible para obtener la velocidad o el par resistente que soporta.

Esa potencia se aproxima a la que posee el flujo de agua a la salida de la conducción, y la diferencia se debe a la pérdida de energía que se produce en las paletas. Así, el rendimiento efectivo (η) de la rueda oscilaría para las turbinas Pelton alrededor de un 80% (Rojas-Sola y Domene-García, 2005), por lo que la potencia útil será $P_u = P_f \times \eta = 16131 \times 0,8 = 12904\text{W} = 17,5\text{CV}$, siendo P_u la potencia útil o real del rodezno y P_f la potencia final o total del flujo del agua.

El rendimiento de una turbina de acción está condicionado por la capacidad de las paletas para aprovechar la energía cinética que posee el agua. Según la ecuación de Euler, la fuerza F que actúa sobre una paleta será $F = P_1S_1 + P_2S_2 + \rho Q(C_1 - C_2)$, siendo P_1 y P_2 las presiones a la entrada y salida del chorro de agua en el choque con la paleta, S_1 y S_2 las superficies de contacto a la entrada y a la salida, y C_1 y C_2 las velocidades tangenciales a la entrada y a la salida respectivamente.

Como en el presente caso el chorro de agua actúa a presión atmosférica, P_1 y P_2 son nulas, por lo que la ecuación anterior quedará como $F = \rho Q(C_1 - C_2)$ y, por tanto, la fuerza del agua sobre una paleta solo depende del caudal Q y de las velocidades de entrada y salida del chorro de agua, C_1 y C_2 .

De esta manera la turbina tendría su máximo rendimiento cuando C_2 , la velocidad de salida del agua de las paletas, fuera nula. Teniendo en cuenta el rendimiento de la rueda calculado anteriormente, la ecuación quedaría como $F = \rho Q C_1 \eta$.

Como se conoce que la dirección del chorro de agua forma un ángulo de 60° con el plano horizontal de la rueda, la velocidad tangencial C_1 será $C_1 = V \cos 60^\circ = 7,1 \cos 60^\circ = 3,55\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ y la fuerza ejercida sobre las paletas se obtendrá sustituyendo en la ecuación anterior, para llegar a $F = 1818\text{N}$.

Una vez calculado el valor de la fuerza tangencial al eje de la rueda, el momento producido por el giro vendría dado por la expresión $M = Fr$, donde M es el momento producido por la fuerza aplicada y r es la distancia

perpendicular (1m) desde el eje de giro de la rueda hasta la zona de la paleta en la que impacta el agua. Sustituyendo este valor en la ecuación anterior se tendrá un momento $M = 1818 \text{ Nm}$

Conocidos ya los valores de la potencia y el momento, se está en condiciones de calcular la velocidad angular (ω) a la que se mueve la rueda, la que corresponde a $\omega = P/M = 12904\text{W}/1818 \text{ Nm} = 7,1\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ y, en revoluciones por minuto a $\omega = 7,1\text{rad}\cdot\text{s}^{-1} \cdot 60 / 2\pi = 68\text{rpm}$.

Los cálculos realizados indican la velocidad máxima que se obtendría si la rueda desarrollara 17,5CV de potencia. Esto no ocurriría con frecuencia; solo en los casos en que pasara la máxima cantidad de agua por la conducción, aunque es sabido que el pisador regulaba, en función del tejido, la compuerta de regulación de la entrada de agua a la rueda.

Conclusiones

Sobre las ruedas hidráulicas y su funcionamiento hay mucha información. Las ruedas verticales se utilizaban en instalaciones con abundancia de agua y grandes caudales, a diferencia de las ruedas horizontales utilizadas, por ejemplo, en los molinos hidráulicos, donde el caudal no era tan grande.

En general, el rodezno (rueda horizontal) desbancó a la rueda vertical por su mayor rendimiento en zonas de carácter árido con ríos de caudal escaso y variable en las distintas épocas del año. Además, en un molino hidráulico, la velocidad de rotación de la rueda horizontal oscilaba entre 60 y 86rpm, el momento podía tener un valor de 325Nm y la potencia alcanzar 4CV (Rojas-Sola y Domene-García, 2005).

Sin embargo, a diferencia de los molinos hidráulicos de rueda horizontal, la rueda vertical de los batanes condiciona la disposición del árbol de levas. A partir del estudio realizado, la velocidad de rotación obtenida fue de 68rpm y el momento desarrollado de 1818 Nm, lo que supone casi un 560% de incremento, mientras que su potencia de 17,5CV supone un incremento de casi un 438%.

Estos valores son significativamente superiores en el caso de la potencia y el momento, pues al ser el caudal mucho mayor, la potencia, la fuerza del agua sobre la paleta y por consiguiente el momento, son notablemente superiores. Además, las dimensiones de la rueda vertical son mucho mayores que las de la rueda horizontal, 2,4 vs 1,6m, y por ello la velocidad angular es menor.

Todas estas consideraciones justifican el hecho de que efectivamente los batanes estuvieran situadas en lugares con abundancia de agua y por tanto con grandes caudales.

REFERENCIAS

- Balmaceda JC (1998) *Los batanes papeleros de Málaga y su provincia*. Universidad de Málaga. España. 190 pp.
- Böckler GA (1997) *Teatro de las artes mecánicas de molinos y construcciones hidráulicas*. Nuremberg; Alemania, 1661- Facsímil de la Universidad Europea de Madrid, España. 308 pp.
- Colmenarejo-García F, Colmenarejo-Romea PL (1991) *Molinos y batanes de Colmenar Viejo*. Ayuntamiento de Colmenar Viejo. Madrid, España. 262 pp.
- Huertas-Talón JL, Val-Blasco S (1998) *Mecánica: 2º Bachillerato*. McGraw-Hill. Madrid, España. 359 pp.
- Mataix C (1977) *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Castillo. Madrid, España. 582 pp.
- Morís Menéndez-Valdés G (2001) *Ingenios hidráulicos históricos: molinos, batanes y ferrerías*. Colegio Oficial de Ingenieros Superiores Industriales de Asturias y León. Oviedo, España. 184 pp.
- Pelham RA (1960) *Fulling mills: a study in the application of water power to the woollen industry*. Society for the Protection of Ancient Buildings, 1950-1959. London. 16 pp.
- Rojas-Sola JI, Amezcua-Ogáyar JM (2005) Southern Spanish windmills: Technological aspects. *Renewable Energy* 13: 1943-1953.
- Rojas-Sola JI, Domene-García J (2005) Engineering and computer-aided design: study of watermills in southeastern Spain. *Inter-ciencia* 30: 745-751.
- Rojas-Sola JI, Gómez-Elvira González MA, Pérez-Martín E (2006) Computer-aided design and engineering: A study of windmills in La Mancha (Spain). *Renewable Energy* 10:1471-1482.
- Rojas-Sola JI, López-García, R (2007) Engineering Graphics and watermills: ancient technology in Spain. *Renewable Energy* 12:2019-2033.
- Sánchez-Ferrer J (1990) Los batanes lagunares de Ossa de Montiel. *Al-Basit: Rev. Est. Albacetenses* 26: 27-79.
- Vázquez-Varela JM, Villarino Pérez M, Cabana González M (1999) *Batanes de Mosquetín*. Diputación Provincial. La Coruña, España. 38 pp.

THE TRADITION OF FULLING MILLS: A STUDY FROM ENGINEERING

José Ignacio Rojas-Sola, Javier Suárez-Quirós and Ramón Rubio-García

SUMMARY

The hydraulic study of a typical fulling mill is shown. Located in Alfoz (Lugo, España), it faithfully represents the characteristics that are common to all fulling mills. A virtual model of the mill is also presented, modelled in 3D with computer animation in order to show how the mill worked. In addition, a study is

carried out on the vertical wheel of the mill, in order to draw conclusions from the comparison of these wheels with the horizontal wheels of hydraulic mills and, therefore, obtain data on the efficiency of both technologies.

A TRADIÇÃO DOS PISÕES: UM ESTUDO A PARTIR DA ENGENHARIA

José Ignacio Rojas-Sola, Javier Suárez-Quirós e Ramón Rubio-García

RESUMO

Mostra-se o estudo hidráulico de uma típica instalação de um pisão, situado no término (município) de Alfoz (Lugo, Espanha) e que representa fielmente as características comuns a todos eles. Mesmo assim foi realizado um modelo virtual do mesmo, tendo sido modelando em 3D e dotando de animação por orde-

nador para compreender seu funcionamento. Igualmente se expõe um estudo realizado sobre a roda vertical dos pisões, para obter conclusões a partir da comparação com o estudo realizado com as rodas horizontais dos moinhos hidráulicos obtendo, portanto, dados sobre a eficiência de ambas as tecnologias