

TÉCNICA EN EL RENACIMIENTO ESPAÑOL. LOS MOLINOS DEL MANUSCRITO DE FRANCISCO LOBATO, PRECURSORES DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS MODERNAS

Technique in the Spanish Renaissance. The mills from the manuscript of Francisco Lobato, precursors of modern hydraulic turbines

CARLOS JIMÉNEZ MUÑOZ
IES José L. López Aranguren (Ávila)
ORCID: 0000-0003-3431-6081

ANDRÉS MARTÍNEZ DE AZAGRA PAREDES
Universidad de Valladolid
ORCID: 0000-0002-7627-7247

NICOLÁS GARCÍA TAPIA
Real Academia de Bellas Artes de la Purísima Concepción

Resumen

Entre 1547 y 1585, Francisco Lobato del Canto, técnico de Medina del Campo, redactó una serie de apuntes sobre temas variados, que incluyen observaciones de la vida cotidiana, relatos de carácter histórico y descripciones de ingenios mecánicos. Entre estos últimos destacan especialmente las ilustraciones y explicaciones que realizó sobre diversos tipos de molinos, en un momento en que estas máquinas resultaban indispensables para satisfacer las necesidades básicas de la población.

Lobato documentó molinos de sangre, incluido uno que era accionado por un solo hombre. También consignó en sus notas varios ejemplos de molinos de viento, algunos de ellos registrados durante su viaje por tierras manchegas, donde eran frecuentes estos ingenios, así como un molino de marea ubicado en Puerto Real (Cádiz, España). No obstante, sobresalen por su valor para la historia de la técnica los molinos hidráulicos descritos en su manuscrito, que revelan un conocimiento práctico sobre el aprovechamiento de la energía del agua y la aplicación de soluciones técnicas basadas en principios aún no formulados teóricamente en su época.

Entre estos ingenios hidráulicos, que se analizan en detalle en el presente artículo, destacan dos variedades especialmente significativas: un molino de cubo con rueda de “cuchares”, cuyo diseño anticipa algunos principios del funcionamiento de las turbinas Pelton, y un molino de regolfo, cuyas mejoras prefiguran características propias de las turbinas Francis. En ambos casos se han comparado los triángulos de velocidad de los molinos originales de Lobato y de las turbinas actuales, así como sus

Recibido: 14/07/2025 – Aceptado: 16/01/2026
<https://doi.org/10.47101/llull.2026.49.98.jimenez>

II, VOL. 49 (N.º 98) 2026 - ISSN: 0210-8615 (impresa) / 3020-6014 (en línea), pp. 15-39

Copyright: ©2026 Los autores. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0), debiendo otorgar el crédito adecuado al autor o a los autores originales y a la fuente.

morfologías, y se han descrito sus respectivos funcionamientos, lo que ha permitido situar a los molinos del manuscrito como claros precedentes de las turbinas hidráulicas modernas.

Abstract

Between 1547 and 1585, Francisco Lobato del Canto, a technician from Medina del Campo, compiled a series of notes on a variety of subjects, including observations of daily life, historical accounts, and descriptions of mechanical devices. Among the latter, his illustrations and explanations of various types of mills are particularly noteworthy, at a time when these machines were essential to meet the basic needs of the population.

Lobato documented animal-powered mills, including one operated by a single person. He also recorded several examples of windmills, some of which he observed during his travels through the Mancha region, where such devices were common, as well as a tide mill located in Puerto Real (Cádiz, Spain). However, the hydraulic mills described in his manuscript stand out for their significance in the history of technology, revealing practical knowledge of water power utilization and the application of technical solutions based on principles that had not yet been formally formulated.

Among these hydraulic devices, which are analyzed in the present article, two types are particularly significant: the so-called “cubo” mill, whose design anticipates certain principles of Pelton turbines, and a “regolfo” mill, whose improvements prefigure characteristics of Francis turbines. In both cases, the velocity triangles of Lobato’s mills and the current turbines were compared, along with their morphologies, and their respective modes of operation were described, allowing the mills in the manuscript to be situated as conceptual predecessors of modern hydraulic turbines.

Palabras clave: Francisco Lobato, manuscrito técnico, siglo XVI, molino de regolfo, molino de cubo, turbina hidráulica

Keywords: Francisco Lobato, technical manuscript, 16th century, “regolfo” mill, “cubo” mill, hydraulic turbine

1. INTRODUCCIÓN

En la España del siglo XVI, los círculos técnicos y científicos más relevantes estaban asociados a la Corte [GARCÍA TAPIA, 2003; VICENTE MAROTO y ESTEBAN PIÑEIRO, 2006; CÁMARA, 2008; ESTEBAN PIÑEIRO, 2020; JIMÉNEZ MUÑOZ *et al.*, 2020]. Sin embargo, a lo largo de la geografía española desempeñaban su labor constructores y técnicos con notables habilidades e ingenio, cuya motivación pasaba por mejorar los mecanismos existentes para hacerlos más eficientes. Uno de los exponentes más importantes de esta técnica popular fue Francisco Lobato del Canto, un técnico autodidacta de Medina del Campo cuya obra ha llegado hasta nuestros días gracias a un manuscrito redactado por él mismo entre 1547 y 1585 [GARCÍA-DIEGO y GARCÍA TAPIA, 1990, pp. 15-22; JIMÉNEZ MUÑOZ *et al.*, 2023, p. 67; 2025, p. 129].

Los 37 folios que forman el manuscrito recogen noticias sobre asuntos muy diversos, como hechos cotidianos, relatos autobiográficos y redacciones de carácter histórico. Resultan especialmente valiosas las descripciones e ilustraciones que realizó sobre diversas máquinas de su época, algunas de ellas diseñadas y construidas por el propio Lobato [JIMÉNEZ MUÑOZ, 2017, pp. 55-151].

La primera noticia sobre este documento se dio a conocer en los años ochenta del siglo XX, cuando García Tapia [1985b] centró su atención en un molino de regolfo sobre el que Lobato había efectuado una serie de mejoras que lo situaban como un precedente de las turbinas de reacción modernas. Sin embargo, el contenido íntegro del manuscrito permaneció oculto hasta que la transcripción y el estudio preliminar fueron publicados por García-Diego y García Tapia [1987].

La presentación del documento dio paso a otras investigaciones bastante distanciadas en el tiempo entre sí. García Tapia [1989] presentó en el I Congreso de Molinología un estudio preliminar sobre los diferentes tipos de molinos recogidos en el manuscrito. Posteriormente, García Tapia y Carricajo [1990, pp. 81-93] volvieron a abordar este asunto y aportaron nuevos datos, al igual que Flores [1993, p. 74-85], Iglesias [2007, p. 282-318] y Córdoba de la Llave [2010, p. 253]. Seis años más tarde, los apuntes de Francisco Lobato volvieron al ámbito académico a través de una publicación que se centraba en el estudio de unas máquinas peculiares, los móviles perpetuos del manuscrito que, a pesar de ser mecanismos utópicos, evidencian el indudable ingenio del técnico medinense [JIMÉNEZ MUÑOZ *et al.*, 2016]. En 2023 vio la luz otra publicación sobre el inventor medinense. En esta se mostraban los aspectos más destacados de su biografía, así como del contexto en el que creció, entre libros, ferias y viajes por la geografía española [JIMÉNEZ MUÑOZ *et al.*, 2023]. Finalmente, en 2025 se ha publicado un último trabajo que aborda aspectos diversos sobre el manuscrito, como las características de los dibujos y la caligrafía de Lobato, cuestiones relativas a la navegación de los ríos o la posible existencia de una presa de época romana en Alange (Badajoz) [JIMÉNEZ MUÑOZ *et al.*, 2025].

Son, por tanto, varias las publicaciones en torno a Francisco Lobato y su manuscrito. Sin embargo, una parte sustancial de su contenido continúa sin haber sido examinada en profundidad, y determinados aspectos de especial relevancia para la historia de la técnica, en particular los relativos a los molinos hidráulicos, apenas han sido objeto de un desarrollo analítico.

En este trabajo se pretende subsanar esta carencia. Para ello se realiza un análisis de las cuestiones técnicas, entre las que destacan las descripciones y dibujos de dos tipos de molinos, el molino de cubo con “rueda de cucharas” y la “máquina de molino de agua estancada y de regolfo”, que anticipan características de las turbinas Pelton y Francis, respectivamente. Además, se examinan y contextualizan otras variedades como los molinos de sangre, entre los que destaca un modelo que era accionado por un operario, los molinos de viento que conoció a lo largo de su viaje por tierras manchegas y cuyas descripciones e ilustraciones proporcionan referencias no conocidas previamente, así como un molino ubicado en Puerto Real (Cádiz) que aprovechaba la energía de las mareas.

2. OBJETIVOS DEL ARTÍCULO

Este estudio tiene como objetivo principal analizar, desde un punto de vista técnico, los diferentes tipos de molinos de sangre, de viento y de agua descritos y dibujados por el técnico medinense Francisco Lobato del Canto en su manuscrito.

En especial, este trabajo quiere centrarse en las propuestas de mejora que realiza este autor en los molinos hidráulicos de cubo y de regolfo, valorándolas y situándolas dentro de la historia de la técnica. Un objetivo menor, aunque también importante, consiste en dar a conocer el manuscrito en su faceta más ingenieril, pues aún sigue prácticamente ignoto en España y, más aún, en el extranjero.

3. LOS MOLINOS DEL MANUSCRITO

Una de las aportaciones más valiosas del manuscrito es la clasificación que el propio Lobato redactó en el año 1577, en la que enumera 18 tipos de molinos que “se an ynventado en españa”, la mayoría hidráulicos, pero también algunos movidos por tracción animal. A pesar de que omite varios modelos de la época, algunos de ellos citados o descritos por él mismo en otros pasajes, esta lista ofrece un testimonio excepcional sobre la diversidad de dispositivos empleados para la molienda en la España del siglo XVI:

Rodezno común de canal abierta
 Rodezno común de saetino
 molino de azeña general de rrios grandes
 molino de rrio de pasaje
 molino de azeñuela de tenpano
 molino de azeñuela de arquetas
 molino de azeña sobre barcas
 molino de cubo redondo saetino
 molino de saetino y cubo y balsa
 molino de con una canal dos piedras
 molino de canal lebantada común
 molino de cuchar en rueda saetino
 molino de rregolfo
 molino de bestia de Lobato
 molino de bestias de antº m'yz y ezija
 molino de juº de Aranda
 molino taona del andaluzia
 molino común de saetino rrastrero que se usa en España, en Vallid en Esgueba y en la guareña, en la bobeda y otras muchas partes. sin casi salto [LOBATO, 1547-1585, fol. 17].

Esta enumeración proporciona valiosa información sobre la diversidad de ingenios hidráulicos e impulsados por animales empleados en la molienda en la España de Lobato. No obstante, esto solo representa una pequeña parte de su contribución al estudio de los molinos, ya que esta lista resulta una pequeña aportación en comparación con las detalladas descripciones e ilustraciones que el medinense realizó sobre los molinos de la España del siglo XVI.

4. MOLINOS DE SANGRE

Estos molinos, que no dependían del viento ni del agua, eran muy comunes en el siglo XVI [GARCÍA TAPIA, 1989, p. 163]. En Medina del Campo había varios ingenios de este tipo. Lobato estudió tres de ellos en 1547 y los representó en sus apuntes junto con el nombre de sus constructores: “Ezijas [...] y Ant^o Myz buendia” [LOBATO, 1547-1585, fol. 25]. Pero no solo conocía los de su villa natal. En el viaje que realizó por el centro y sur de la Península, supo de la existencia, de forma directa o por fuentes orales, de numerosos molinos movidos por animales: “taona comun que se usa en españa que ay en sevilla y en lisboa [...] y en jerez cadiz y malaga merida y [...] otros pueblos muchas” [LOBATO, 1547-1585, fol. 25]. Estas observaciones, sin duda, le inspiraron para construir en 1557 un “molino de bestias” en el corral de las casas que tenía su tío en Medina del Campo, con el que inició su faceta como técnico e impulsor de sistemas de molienda.

Más de una década después, Lobato consignó en su manuscrito un dibujo esquemático de otro molino de este tipo. Dado lo común del mecanismo representado, no lo describió, pero proporcionó el nombre del propietario, así como la localización: “Juan de aranda mando azer [...] en medina del campo [...] en cantarranas en las casas de saboya” [LOBATO, 1547-1585, fol. 25].¹

Para finalizar con el tema de los molinos de sangre, Lobato también recurrió a la energía humana, pero en este caso solo de forma teórica. Así, presentó un “molino de grúa que muele con un hombre”; un mecanismo característico de las grúas de su época, en el que un operario se introducía dentro de una rueda y, al caminar, se convertía en el elemento motor de toda la maquinaria (Fig. 1).

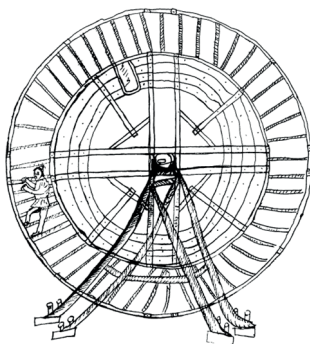


Figura 1. Molino de grúa accionado por un operario.

Fuente: Lobato [1547-1585, fol. 15].

1. Las casas de Saboya que citó Lobato sirvieron de hospedaje a algunos maestros y artistas que acudieron a trabajar a Medina, entre otros a Juan Rodríguez y a Cornelis de Holanda, que intervinieron en la ejecución del retablo de la Colegiata de San Antolín. Véase GARCÍA CHICO [1960, pp. 63-64].

En su afán por mejorar los sistemas, Lobato dibujó y describió un complejo sistema de engranajes que hacía que “la piedra [diese] ochenta bueltas mientras el hombre diere una buelta a la grúa”. Asimismo, tampoco desatendió los elementos de seguridad de la grúa e indicó cómo “a de yr entablada [...] para que el hombre no pueda caer ni rezibir daño” [LOBATO, 1547-1585, fol. 15], aspecto que no se tuvo en cuenta en las ruedas de las grúas diseñadas por Juan de Betesolo que se emplearon en la construcción del Monasterio de El Escorial [GARCÍA TAPIA, 1990a, p. 179], ni tampoco en *Le diverse et artificiose machine* de Ramelli, en cuyos grabados 123 y 124 aparecen diseños similares al de Lobato, pero sin protecciones. El medinense, por tanto, presentó en esta propuesta un proyecto que mejoraba la eficiencia de la máquina, así como la seguridad del operario.

5. MOLINOS DE VIENTO

Durante su viaje por el centro y sur de la Península, Lobato visitó Almagro, donde pudo contemplar un majestuoso molino de viento que se erigía “sobre una montañeta pequeña de pizarra parda”. En sus apuntes, el medinense dibujó de forma esquemática los mecanismos del molino y describió algunas de sus características, entre ellas las colosales dimensiones del edificio: “tenia quarenta pies de altura asta do estaba el hexe y entruesga y mas el texado y capirote”. Además, destacó su importancia y lo calificó como “el mas costoso que en españa se habia bisto [...] y el de la mayor molienda que sea ynbentado”. Este último aspecto, para que no cupiera duda, lo justificó aclarando que “acreçentaba mas de la tercera parte que los dichos comunes por acrezentar una rueda mas y aunque las belas andaban despazio traya grand ligereza y presteza y furia en el cortar” [LOBATO, 1547-1585, fol. 21]. Así pues, a este molino se le había añadido una rueda dentada más en el sistema de engranajes, de modo que la relación entre la velocidad a la entrada y la velocidad a la salida era superior a la que presentaban los molinos corrientes en aquella época.

Además de la soberbia obra de Almagro, Lobato consignó en su manuscrito el “molino de biento comun y que se a usado y husa comunmente en españa y flandes”. Este era el clásico molino de torre, con cuatro aspas exteriores en un plano casi vertical, que el técnico consideraba la base sobre la cual se desarrollaron los demás: “solo serbira para enseñar las maneras que despues de los despiertos yngenios y raras abilidades an ynbentado y ynbentan cada dia” [LOBATO, 1547-1585, fol. 22]. Asimismo, dibujó y describió otro modelo que “ynbentaron en flandes para hazer a menor costa y sobre muralla” [LOBATO, 1547-1585, fol. 22], característico de los Países Bajos, con una caseta de madera en la coronación de la torre que giraba por completo alrededor de un pivote para orientarse hacia el viento.

El técnico medinense incluyó un cuarto modelo de ingenio eólico, en este caso de eje vertical con aspas que giraban sobre un plano horizontal (Fig. 2). En la descripción que realizó, lo consideraba “un yngenio poco costoso y muy bioso y provechoso para la molienda” y detalló, con la ayuda de un dibujo, el funcionamiento y los pormenores del artificio. Según su explicación, el mecanismo consistía en un gran eje vertical en cuyo extremo superior incorporaba una rueda con álabes curvados que, accionada por el viento, giraría

solidaria al eje. En el extremo inferior, un sistema de engranajes posibilitaba el giro de la muela. Además, señaló que el viento accedería por un canal de madera cuya sección se iba estrechando: “hecho un callejon de tablas que abra de la parte de afuera largamente y benga zerrando azia dentro” [LOBATO, 1547-1585, fol. 20]. En este molino, por tanto, se aplicaría de forma práctica la ecuación de continuidad, ya que la reducción de la sección del canal incrementaba la velocidad del viento.

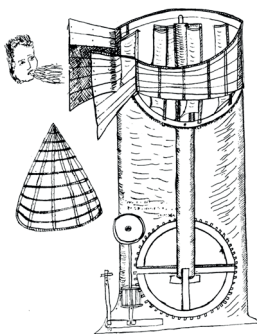


Figura 2. Molino de viento de eje vertical.
Fuente: Lobato [1547-1585, fol. 20].

Este ingenio es un elemento significativo del manuscrito, pues es el primer molino de viento de eje vertical del que se tiene noticia en España [GARCÍA TAPIA, 1989, p. 171]. De hecho, fue en 1606 cuando el inventor navarro Jerónimo de Ayaz obtuvo un privilegio de invención para múltiples ingenios, entre ellos, un molino de este tipo [GARCÍA TAPIA, 2010, p. 185].

La distinción obtenida por Jerónimo de Ayaz sugiere que este tipo de ingenios no existían previamente en España o eran muy infrecuentes. Asimismo, el contexto en el que creció Lobato hace pensar que este molino pudo haber sido una copia o una reinterpretación de algún artificio extranjero, ya que a las ferias de Medina del Campo acudían comerciantes de toda Europa. Además, tenía acceso a centenares de obras que confeccionaban sus tíos, Francisco y Mateo del Canto, en la imprenta familiar [JIMÉNEZ MUÑOZ *et al.*, 2023, p. 71]. Esto le permitía conocer, tanto a través de fuentes orales como escritas, la tecnología de otros países, donde sí existían estos molinos.² Por tanto, cabría pensar que este artificio eólico se basaba en las ilustraciones y descripciones de algún tratado extranjero o en las ideas transmitidas por algún mercader.

2. En el folio 15 del tratado de Jean Errard de Bar-le-Duc *Le premier livre des instruments mathematiques mechaniques* (Nancy, 1584) aparece dibujado un molino similar con una breve descripción en latín. También en la ilustración n.º 13 de la obra de Fausto Veranzio *Machinae novae* (Venecia, c. 1595) se presenta un molino de eje vertical denominado “Molae turris rotunda”.

Sin embargo, en la explicación de Lobato se describe un ingenio técnicamente superior, que incluía un sistema para incrementar la velocidad del viento y dirigirlo hacia las aspas. Aportó, además, múltiples detalles que difícilmente podrían provenir de una fuente oral o de un tratado, en los que habitualmente se priorizaban los aspectos estéticos por encima de los técnicos, entre ellos datos numéricos o muy específicos: “ocho belas an de andar presas en una rueda [...] que baya çircundando el anchura de la torre [...] y a la fin de la parte baja a de estar una rueda de 200 dientes quadrados [...] y esta rueda a de herir en un carro de doze balaustres [...]” [LOBATO, 1547-1585, fol. 20].

Así pues, la complejidad técnica del molino de eje vertical que describió e ilustró Lobato, superior a la de los tratados de la época e incluso a algunos posteriores, así como la minuciosidad de su descripción, son indicios de que pudo verlo y estudiarlo con detalle, probablemente en alguna de las localidades que visitó durante su viaje, en el que tomó buena nota de los aspectos técnicos.

6. UNA CURIOSA PROPUESTA: UN MOLINO DE VIENTO PARA DRENAR TIERRAS

Medina del Campo se encuentra sobre el acuífero de los Arenales, cuyo nivel freático aflora en las épocas lluviosas. Este fenómeno, agravado por el deficiente drenaje de los suelos y las frecuentes crecidas del Zapardiel, provocaba el encharcamiento de extensas superficies. Rodríguez Fernández [1904, p. 462] aludió a esta problemática al recoger la opinión del cronista Antonio de Guevara (1480-1545), quien describió de forma vívida los problemas que sufría la Noble Villa: “Mi parecer es que no tiene suelo ni cielo, porque el cielo está siempre cubierto de nubes y el suelo lleno de lodos, por manera que, si los vecinos la llaman Medina del Campo, los cortesanos la llamamos Medina del lodo”.

Lobato también estaba preocupado, pues en el entorno de Medina “aconteze azerse muchas lagunas en la tierra y se dexan de sembrar las tierras donde estas aguas se recoxen”. Como era habitual en él, no solo señaló el problema, sino que además propuso una solución que permitiría “sembrar de lino o zebada ladilla o trigo tremesino” las tierras previamente anegadas [LOBATO, 1547-1585, fol. 24].

La idea fue concebida para drenar una “laguna o palude [...] de çinquenta obradas de tierra” situada “cuatro o çinco pies” por debajo de las tierras contiguas. En ella se habría de realizar una poza circular “un poco más honda que el suelo mas hondo de la laguna” y con un diámetro de “treyn ta y seis pies”. En el medio se construiría una “torre redonda de quarenta pies de altura y en lo mas alto de la dicha torre [...] un texado de madera en redondo al modo que se aze el del molino de biento”. En el citado “texado” iría el eje principal del molino, construido con “fuertes maderos” para “sostenir las aspas que an de hir en el dicho hexe puestas” y que tendrían una longitud suficiente para que sus extremos entrasen en la laguna durante el movimiento. La gigantesca obra serviría para que “quando el biento bentare mobiendo con belozidad las belas lebante y arroje aquel agua a la tierra que tubiere mas çercana [...]” [LOBATO, 1547-1585, fol. 24]. Esto es, las aspas al penetrar en la laguna proyectarían el agua al salir hacia las tierras secas de sus alrededores (Fig.3).

Lobato precisó además que la mejor época para poner en marcha este molino drenante sería del “fin de hebrero a mediado marzo”, puesto que en este periodo la energía solar iría “escallentando la tierra y con el calor lo yra consumiendo [el agua]” [LOBATO, 1547-1585, fol. 24] hasta que la tierra estuviese preparada para labrarla y sembrarla.

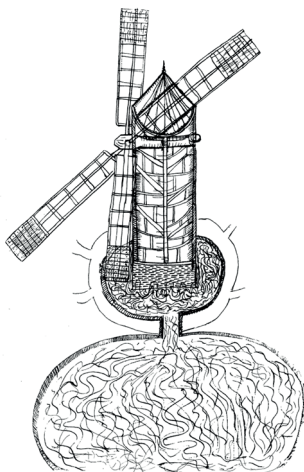


Figura 3. Molino de viento para desecar tierras de labor.
Fuente: Lobato [1547-1585, fols. 23, 24].

Este invento se apartaba de los sistemas tradicionales empleados para drenar terrenos, como los canales de desagüe, que fueron el sistema más utilizado desde la antigüedad [GARCÍA TAPIA, 1989, p. 163]. Fue, al parecer, una invención de Lobato, probablemente concebida en su juventud, cuando aún no tenía la experiencia que demostró en otros ingenios.

7. MOLINOS HIDRÁULICOS

Las descripciones y dibujos del manuscrito sobre los artificios hidráulicos, así como las mejoras que Lobato introdujo en algunos de ellos, son los máximos exponentes del ingenio del técnico. En sus notas, no solo documentó con precisión las características y el funcionamiento de estas máquinas, sino que también propuso algunas innovaciones que mejoraron su rendimiento, un aspecto relevante para la historia de la técnica.

7.1. Molino de “rodezno comun de canal abierta” y “molino saetino que con una canal muebe dos rrodeznos”

El molino de “rodezno comun de canal abierta” es el primero que Lobato consignó en su enumeración, pero, dado que era muy corriente, no lo describió. Sin embargo, el dibujo permite comprender el mecanismo a la perfección. El agua se retenía en una pesquera y, cuando la altura era suficiente, se abría una compuerta que daba paso al “canal”. El agua fluía a través de este y accionaba un “rodezno común” [LOBATO, 1547-1585, fol. 17], una rueda hidráulica horizontal y de eje vertical que giraba solidaria a la piedra de moler.

Por su parte, el “molino saetino que con una canal muebe dos rrodeznos” [LOBATO, 1547-1585, fol. 19] tenía un funcionamiento análogo, pero con la peculiaridad de que el agua que fluía por un solo canal servía para accionar dos rodeznos situados en los laterales de este.

7.2. “Molino común de saetino rrastrero”

Este ingenio hidráulico era muy similar al anterior, pero el “saetino rrastrero” sustituía al canal, lo que permitía un ahorro significativo de agua. Lobato indicó que funcionaba “sin casi salto”, por lo que era adecuado para caudales escasos. Aunque no aportó más datos sobre el mecanismo, aclaró que se usaba “en España en Valladolid en esgueba y en la guareña en la bobeda y otras muchas partes” [LOBATO, 1547-1585, fol. 17].

En efecto, el río Guareña que, como indicó Lobato, pasa junto a La Bóveda de Toro, proporcionó la energía necesaria para el funcionamiento de numerosos molinos [MARTÍN FERRERO, 1988, p. 342]. También está confirmado que las riberas del Esgueva albergaban molinos harineros en el siglo XVI y fueron las fábricas que abastecieron de harina a la ciudad de Valladolid desde al menos el siglo XI, como bien explica Sangrador [1851, p. 28]:

Se hallaban ya en el río Pisuerga en el siglo XI las antiquísimas aceñas de Linares, situadas medio cuarto de legua al norte de esta población [Valladolid], y en el río Esgueva dos molinos harineros, uno al sitio titulado el Badillo de la Esgueva, y otro contiguo al puente de la cárcel de la ciudad, debajo del antiguo alcázar o palacio real.

7.3. “Molino de azeña general de rrios grandes”

Lobato no proporcionó detalles sobre esta variedad, pero trazó un dibujo esquemático en el que se aprecia la típica rueda vertical de la aceña y el sistema de engranajes que la conecta con la piedra del molino.

Como indicó Lobato, las aceñas eran habituales en los márgenes de los grandes ríos, como lo demuestra su presencia documentada en los ríos Duero, Tajo, Tajuña, Guadiana, Guadalquivir y Ebro [SAN JOSÉ Y FERNÁNDEZ MARTÍN, 2010, pp. 20-21; VELA, 2009, p. 16; LÓPEZ RIDER, 2019, p. 136; PALLARÉS, 2013], entre otros. De hecho, una aceña del Ebro sirvió de escenario para una aventura de *El Quijote*, en la que el Ingenioso Hidalgo creyó que estaba encerrada una princesa a la que debía liberar [GONZÁLEZ TASCÓN, 1987, p. 169; GARCÍA TAPIA, 2004, p. 36].

7.4. “Molino de rrio de pasaje”

La presencia de esta variedad en el manuscrito resulta especialmente interesante, pues no hay referencias a ingenios similares en otros documentos de la época [GARCÍA TAPIA, 1989, p. 160]. Su principal ventaja radicaba en que proseguiría la molienda incluso si el edificio se inundaba por una crecida. El técnico lo abordó de forma detallada a través de una descripción y tres ilustraciones. En la primera de ellas, ubicó el edificio junto a una “muralla de çiudad” en la “que topare el río”, y lo representó durante una crecida en la que el agua “cubre la casa” y, a pesar de ello, “muele el molino”. La segunda ilustración muestra las características del

molino, que consistiría en un rodete de siete radios terminados en álabes situado en una cámara cilíndrica abierta hacia el “pasaje”. En este espacio el agua haría un torbellino que provocaría el giro del rodete. Finalmente, en el tercer dibujo trazó de forma esquemática la “planta de molino de pasaje” (Fig. 4), en la que se observan cuatro cámaras cilíndricas con sus respectivos rodetes dispuestas en paralelo [LOBATO, 1547-1585, fol. 18].

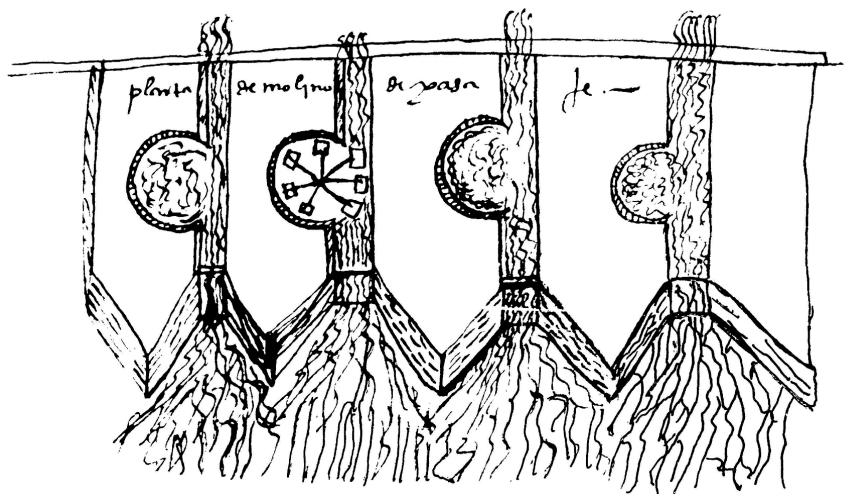


Figura 4. Planta del molino de pasaje de agua con cuatro rodetes en paralelo.

Fuente: Lobato [1547-1585, fol. 18].

7.5. “Molino de azeñuela de tempano” y “molino de azeñuela de arquetas”

El elemento principal de estos dos modelos era una rueda hidráulica vertical de cangilones, que era característica de lugares donde el agua escaseaba [GONZÁLEZ TASCÓN, 1987, p. 180].

Lobato no describió el “molino de azeñuela de arquetas” [LOBATO, 1547-1585, fol. 17], pero realizó un dibujo esquemático que permite entender que se trataba de un mecanismo accionado por una rueda vertical de cangilones, que era alimentada por su parte superior desde un canal cuya función era aumentar la velocidad del agua y con ella su energía. La “rueda entablada y zerrada” del “molino de azeñuela de tempano” [LOBATO, 1547-1585, fols. 17-18] era similar, pero era alimentada a una altura intermedia desde un estanque de agua.

7.6. “Molino de azeña sobre barcas”

Esta variante era ampliamente conocida en España y existen referencias desde época romana [GARCÍA TAPIA, 1989, p. 160]. Estos molinos empleaban ruedas anchas para aprovechar mejor la energía hidráulica y, en su forma inicial, consistían en dos ruedas instaladas en los lados de una misma barca. Sin embargo, el sistema evolucionó hacia un modelo más eficiente, constituido por una única rueda motriz instalada entre dos barcas

[GONZÁLEZ TASCÓN, 1987, p. 183], que es el que Lobato citó y dibujó en sus apuntes. Así, el técnico trazó un esquema en planta en el que se observan las dos barcas. Debido a la dificultad de representar la rueda, optó por no incluirla, aunque indicó su posición: “aquí la rueda de azeña comun con sus aparejos” [LOBATO, 1547-1585, fol. 18].

7.7. Molinos de cubo

Los molinos de cubo fueron poblando las riberas del sur de la Península Ibérica desde época andalusí y en el siglo XVI eran abundantes en regiones donde las precipitaciones eran escasas, como Andalucía, Extremadura y amplias zonas de Castilla. Aunque su mecanismo de molienda era similar al de otros molinos de la época, contaban con un depósito de bastante altura, el cubo, en el que se acumulaba agua para mantener la energía del chorro que incidía sobre el rodete, lo que permitía aumentar la potencia empleando caudales menores [GONZÁLEZ TASCÓN, 1987, pp. 191-192; GARCÍA TAPIA, 1989, p. 159; GARCÍA TAPIA y CARRICAJÓ, 1990, p. 207; CRESSIER, 1998, pp. 155-157]. Lobato, en su manuscrito, describió y acompañó de ilustraciones tres modelos distintos de molino de cubo, con diferencias significativas entre ellos.

7.7.1. “Molino [que] muele con agua de una fuente pequeña”

El “molino [que] muele con agua de una fuente pequeña” era apropiado para caudales muy escasos, ya que “no gasta mas del agua que entra en el cubo y siempre esta moliendo”. Sin embargo, también presentaba inconvenientes, puesto que “muele poco por tener pequeña llave”³ y, al funcionar de manera continua, no permitía al molinero descansar de su tarea. Pero, sin duda, la relevancia de esta máquina radicaba “en la rueda de tempano” y, más específicamente, en sus “cuchares cabadas en arco” [LOBATO, 1547-1585, fol. 16] (Fig. 5).

Cuando el ingenio se ponía en funcionamiento, el saetín proyectaba el agua hacia la “rueda de tempano” produciendo la rotación de esta. El fluido incidía sobre el extremo superior de cada una de las “cuchares”, que hoy denominaríamos álabes, recorría la parte cóncava de forma tangencial y salía proyectado por “la parte baja [a través de] los agujeros de las quachares” [LOBATO, 1547-1585, fol. 16].

El análisis de esta descripción y de la ilustración que trazó Lobato permite situar a este molino de cubo como un precedente de las actuales turbinas de acción tipo Pelton.

Actualmente, las turbinas Pelton se aprovechan en grandes saltos y con caudales escasos [SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ, 2012, pp. 231-232], aspecto que en el fondo persigue el ingenio presentado por Lobato, puesto que aumentar el salto es precisamente la función del cubo. Por otra parte, en la turbina Pelton, los filetes líquidos circulan libremente, sometidos únicamente a la presión atmosférica, a lo largo de la superficie cóncava de los álabes receptores (Fig. 6) [RUBIO SANJUÁN, 1966, p. 462]. Esta trayectoria es idéntica a la que sigue el agua en el molino descrito por Lobato.

3. Lobato se refería a que tenía poco paso debido a que el flujo de agua disponible para accionar el molino era reducido, lo que limitaba su capacidad operativa.

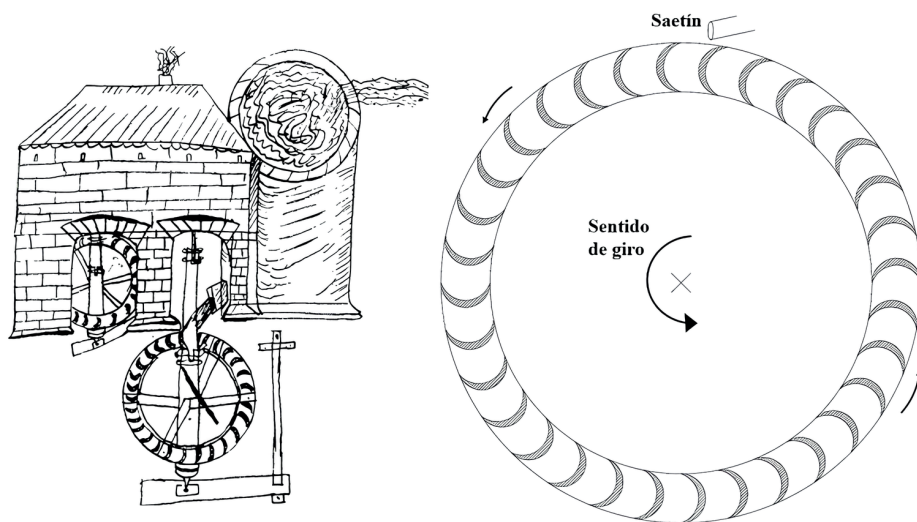


Figura 5. Molino de cubo del manuscrito de Lobato (izquierda) y reconstrucción de la “rueda de tempano” (derecha).

Fuente: Lobato [1547-1585, fol. 16] (izquierda) y elaboración propia (derecha).

Nótese el detalle de la forma cóncava que presentaban las cucharas para que el empuje hidrodinámico del agua al incidir sobre ellas resultase mayor.

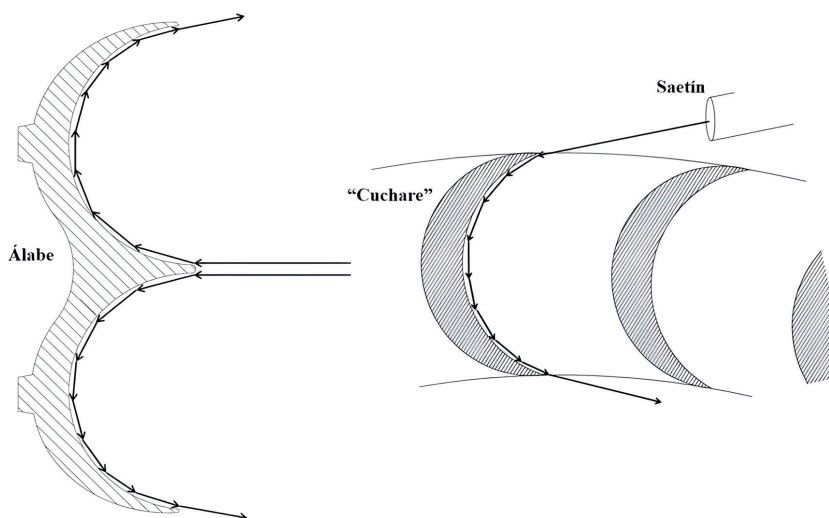


Figura 6. Comparación del flujo en la turbina Pelton (izquierda) y en la “rueda de tempano” del manuscrito de Lobato [1547-1585, fol. 16] (derecha).

Fuente: elaboración propia.

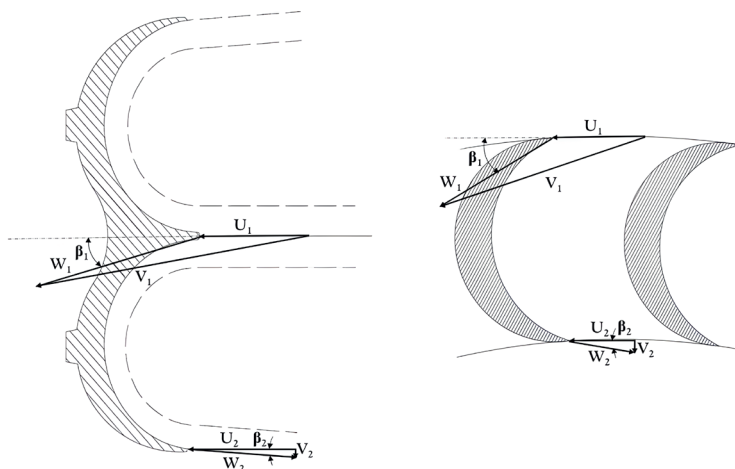


Figura 7. Comparación de los triángulos de velocidad en la turbina Pelton (izquierda) y en la “rueda de tempano” (derecha).

Fuente: elaboración propia basada en García Tapia [2002, p. 309] y en la ilustración y la descripción de Lobato [1547-1585, fol. 16].

Asimismo, en las turbinas Pelton el flujo provoca una reacción en los álabes al incidir en ellos, cuya componente normal impulsa el movimiento del receptor [RUBIO SANJUÁN, 1966, p. 462]. Este fenómeno se producía de forma análoga en “las cuchares” del molino descrito por Lobato, como se comprueba al comparar los triángulos que forman los vectores de velocidad de ambas máquinas (Fig. 7).

Los vectores U_1 y U_2 representan las velocidades tangenciales de giro, mientras que W_1 y W_2 son las velocidades relativas del agua a la entrada y salida del álabe, respectivamente. V_1 y V_2 , por su parte, corresponden a las velocidades absolutas, que resultan de la composición de las anteriores. Finalmente, β_1 y β_2 son los ángulos entre las velocidades relativas W_1 y W_2 y la tangente al rodete.

Las similitudes entre la turbina Pelton y la “rueda de tempano” descrita por Lobato resultan notables. Aunque es evidente que existen diferencias técnicas debido a los más de cuatro siglos de evolución, ambos sistemas funcionan de acuerdo con el mismo principio físico: la transferencia de cantidad de movimiento desde el chorro de agua a los álabes o “cuchares” del rodete. Esta transferencia se explica mediante la ecuación de transferencia de energía de Euler, que establece que la variación de cantidad de movimiento de un fluido en un sistema abierto es igual a la suma de las fuerzas que actúan sobre él [MATAIX PLANA, 1993, pp. 359-368]. En el caso de las turbinas de acción, como la Pelton, y de forma análoga en la “rueda de tempano”, el chorro impacta sobre el rodete y cambia su momento lineal, generando una fuerza útil que impulsa el movimiento de giro. Esta similitud no solo refuerza el ingenio técnico del sistema descrito por Lobato, sino que permite interpretarlo como un claro antecedente conceptual de las turbinas modernas de acción, tipo Pelton o Turgo.

7.7.2. “Molino de balsa y cubo y saetino”

En este molino, el mecanismo de molienda no varía con respecto al anterior. La diferencia radica en que funciona “con agua que recoxe de una fuente” y la almacena en una “grand balsa y de la balsa se ynche el cubo”.⁴ Este sistema permitía disponer de un volumen de agua mucho mayor, lo que permitía moler “mas ferozmente [...] mientras le dura el agua” [LOBATO, 1547-1585, fol. 16].

Aunque era necesario detener la molienda cada cierto tiempo hasta que la balsa se repusiese, Lobato consideraba esto una ventaja, ya que el molinero, “entretanto que se ynche la balsa, puede cabar una viña o huerta y así es de más provecho” [LOBATO, 1547-1585, fol. 16].

Tanto este tipo de molino como el anterior eran comunes en tierras castellanas. Lobato tenía noticia de la existencia de uno “en Coca” y otro en “balberde zerca de medina de Rioseco” [LOBATO, 1547-1585, fol. 16].

7.7.3. “Molino de cubo redondo saetino”

En este molino, el rodete era menos sofisticado que en los otros de cubo. Se trataba de un rodezno sencillo y común en la época, que consistía en una rueda hidráulica de eje vertical con paletas alargadas y con la sección rebajada para mejorar la hidrodinámica (Fig. 8).

Al igual que en los molinos anteriores, el agua era “recoxida en un cubo de ladrillo de 40 pies de alto”⁵ y, una vez lleno, fluía a través de un “canal de piedra”, que hacía la función del “saetino”, situado en el suelo del molino [LOBATO, 1547-1585, fol. 19]. Debido a la altura, la energía potencial acumulada se convertía en energía cinética al salir, lo que generaba una velocidad considerable y permitía moler con un caudal relativamente reducido.

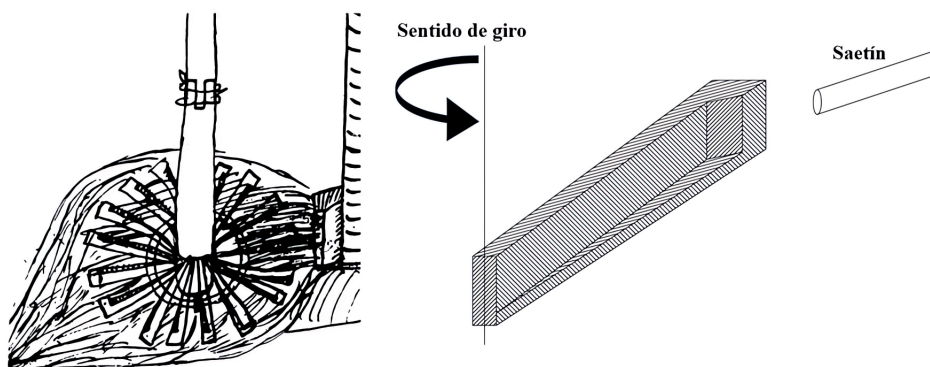


Figura 8. Rodete del “molino de cubo redondo saetino” del manuscrito de Lobato (izquierda) y reconstrucción de una de las paletas (derecha).
Fuente: Lobato [1547-1585, fol. 19] (izquierda) y elaboración propia (derecha).

4. El agua fluye de la balsa al cubo, lo que produce su llenado.

5. Aproximadamente 11 m de altura.

7.8. “Molino de canal lebantada”

Los molinos que se abastecían de agua a través de un canal móvil eran habituales en la Castilla del siglo XVI [GARCÍA TAPIA, 1989, p. 160]. La peculiaridad de este ingenio no residía en el mecanismo empleado para la molienda, sino en la presencia del citado canal, elevado por unos soportes de madera, que recogía el agua de un torrente o arroyo y lo derivaba hacia el rodezno. Así, el molinero, “desde dentro del molino” y a través de una “bentana”, utilizaba una “bara” para levantar o bajar una pequeña compuerta, “para dar agua o quitalla” según fuese necesario.

Este mecanismo permitía que, durante las labores de mantenimiento, “quando este molino pica la piedra”, los molineros situados aguas abajo “muelan con [el agua de] la garganta”. Esto era posible porque el agua retornaba al cauce original “por un albañar [...] por bajo del rodezno” [LOBATO, 1547-1585, fol. 14].

7.9. “Molino de regolfo”

Los molinos de regolfo, desarrollados en España en el siglo XVI, representan un hito fundamental en la historia de la técnica. Fueron ingenios que poblaron las riberas de los ríos españoles hasta bien entrado el siglo XIX y su diseño inicial incorporaba elementos que anticipaban características propias de las turbinas hidráulicas modernas [RETI, 1971, p. 80; GARCÍA TAPIA, 1985a, p. 68, 1985b, p. 46; GONZÁLEZ TASCÓN, 1987, p. 215; FLORES, 1993, pp. 78-79; CÓRDOBA DE LA LLAVE, 2010, pp. 249, 253; JIMÉNEZ MUÑOZ, 2017, pp. 125-151].

El tratado de hidráulica de *Los veintiún libros de los ingenios y las máquinas* ofrece una detallada descripción del molino de regolfo. El mecanismo contaba con una rueda horizontal, o rodezno, situada a media altura dentro de una estructura cilíndrica denominada cubete. El agua fluía a través de un canal trapezoidal que reducía su sección conforme se acercaba al cubete, al que accedía a través de una abertura dispuesta tangencialmente al rodezno. Esto generaba un flujo de alta velocidad que adoptaba la forma de un paraboloide de revolución. La energía cinética del agua, combinada con la acción de la gravedad, impulsaba el rodezno y, a su vez, este movía la muela situada encima [GARCÍA TAPIA, 1990b, p. 140; JIMÉNEZ MUÑOZ, 2017, pp. 125-134].

La relación de Francisco Lobato con este ingenio comenzó en 1559, cuando imaginó “una maquina de molino de agua estancada y de rregolfo”, pero no comenzó su construcción “asta que [en] el año de 1576 años [hizo] el de zapardiel” [LOBATO, 1547-1585, fol. 33], que consistió en una gran infraestructura hidráulica levantada en la ribera, cuyo diseño priorizó el ahorro de la escasa agua que proporcionaba este curso fluvial. El artificio, entre otros elementos, incluía una amplia balsa para el almacenamiento de agua, así como un edificio destinado a albergar el molino. Sin embargo, el aspecto más destacado residía en el mecanismo de molienda, sobre el que Lobato introdujo mejoras técnicas destinadas a aumentar su

rendimiento o eficiencia,⁶ que pasaron por emplear materiales más ligeros, modificar el sistema de acceso del agua y optimizar la hidrodinámica del rodete [JIMÉNEZ MUÑOZ, 2017, pp. 138-142].

7.9.1. *Perfeccionamiento del rodete mediante la experiencia práctica*

Lobato comenzó los ensayos de su molino de regolfo con un “rodezno y parauso de madera que es el común que se usa en los molinos”. En efecto, la madera era el material utilizado tradicionalmente en los rodeznos de la segunda mitad del siglo XVI [VIGUERAS, 2002, p. 19]. No obstante, pronto advirtió que mediante la incorporación de elementos metálicos podría optimizar la molienda, ya que, según anotó, le había “parecido que para este molino sera mejor el rodezno de fierro”. De este modo, construyó los radios del rodete de hierro y los álabes “de chapa de yerro delgada”, con lo que consiguió reducir el peso y aumentar la velocidad de giro: “con mayor biolençia bolbera” [LOBATO, 1547-1585, fol. 34, 36].

También llevó a cabo ensayos para determinar cuál era el número óptimo de álabes (Fig. 9). Inicialmente consideró que cuatro sería lo idóneo, ya que el agua impulsaría cada uno un cuarto de vuelta: “quando el agua entra toca en la primera y llevala hasta la 4 parte de la cuba y toma luego el agua a la otra y ansi entiendo que ara mas efeto”. Posteriormente valoró la posibilidad de instalar un rodete con seis álabes, pues “si este de seis se puede forjar en la caja cuadrada de fierro, será mejor y con menos agua molerá”. Finalmente, optó por un rodezno de ocho álabes, al considerar que “con menos agua molerá de ocho”, lo que muestra su interés por maximizar la eficiencia hidráulica de su prototurbina [LOBATO, 1547-1585, fols. 34, 36].

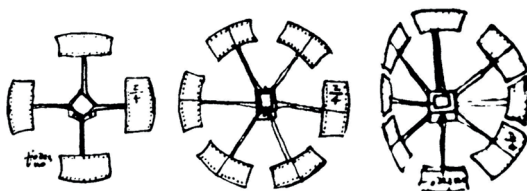


Figura 9. Diseños esquemáticos de los rodets probados por Lobato.

Fuente: modificado a partir de Lobato [1547-1585, fol. 36]. Nótese que los álabes se muestran abatidos.

6. Eficiencia es la relación entre la potencia útil en el eje conseguida (momento de giro multiplicado por la velocidad angular) y la potencia hidráulica disponible (densidad absoluta del agua multiplicada por el caudal volumétrico, por la altura del salto y por la aceleración de la gravedad). Este cociente siempre ha de ser inferior a 1, pues existen pérdidas inevitables debidas a la fricción en los componentes mecánicos, turbulencias en el flujo del agua, disipación de energía en forma de calor y otros factores como la resistencia del aire y las imperfecciones en el diseño del sistema. Estas pérdidas hacen que nunca se pueda convertir la totalidad de la potencia hidráulica en potencia útil en el eje. Véase PARRILLA [1979, pp. 20-21].

7.9.2. Construcción de un canal de entrada original

En los regolfos comunes, el agua fluía a través de un canal trapezoidal que se estrechaba paulatinamente hasta llegar a la saetilla, por donde accedía a la cámara. La reducción de la sección llevaba consigo un incremento de la velocidad y, por tanto, de la energía cinética. Se aplicaba de forma práctica el aún no enunciado matemáticamente principio de continuidad. Lobato modificó este sistema de acceso del agua incorporando un canal tangente a la cámara cilíndrica en la que entraba el agua en toda su altura, ya que “la cuba a de tener de alto al justo con la canal” (Fig. 10). Con este diseño conseguía un reparto más uniforme de la energía del flujo en la cámara y que, con un caudal relativamente reducido, el rodete siguiera moviéndose, puesto que “no menea mas del agua que anda dentro en la cuba que es poca y la larga tan grande por fuerza la aze moler” [LOBATO, 1547-1585, fol. 33]. Además, el canal del ingenio de Lobato también disminuía su sección, con lo que igualmente aumentaba la energía cinética con la que el agua accedía al cubete.

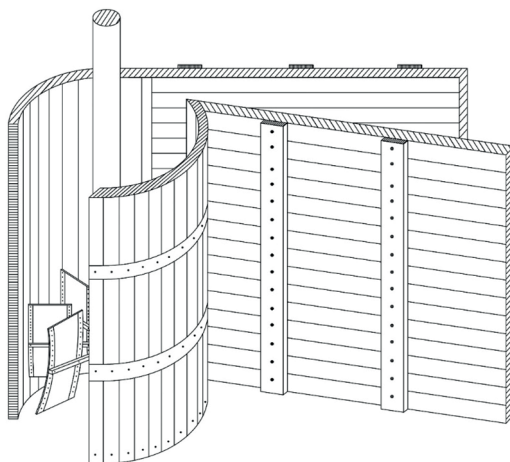


Figura 10. Reconstrucción del molino de regolfo de Francisco Lobato basada en las descripciones y dibujos del manuscrito.

Fuente: elaboración propia.

7.9.3. Optimización de la ubicación y la hidrodinámica del rodete: Lobato anticipa las turbinas de reacción modernas

Lobato modificó la ubicación del rodete y lo situó en el fondo de la cuba, “abajo [...] para que entre allí el rodezno”. De este modo, se aprovechaba mejor la presión hidrostática del agua y se optimizaba el rendimiento con un caudal reducido. Sin embargo, más relevante que la ubicación fue la configuración que proporcionó al rodete. Así, realizó un diseño con los álabes curvados y con forma hidrodinámica (Fig. 10), “a manera de un cuchillo y tendido su fuerza azia atrás y no azia abajo porque su fuerza es azia atras” [LOBATO, 1547-1585, fol. 34].

Esta disposición permitía el aprovechamiento de la energía del agua en el impacto sobre los álabes (acción) y además la reacción del fluido a la salida. Esto se debía a que, al fluir sobre el álabe (Fig. 11), el agua perdía velocidad en la dirección original del flujo, lo que resultaba en una pérdida de energía cinética que era captada por el álabe. De este modo, Lobato intuía, de forma empírica, conceptos que serían desarrollados más de un siglo después en el principio de acción y reacción de Newton.

7.9.4. *El molino de regolfo de Lobato y las turbinas de reacción modernas*

El molino de regolfo, con las mejoras introducidas por Lobato, presentaba un diseño que puede considerarse pionero en la historia de las máquinas hidráulicas. Su funcionamiento se basaba en el aprovechamiento de la energía del agua mediante su paso por un rodete contenido en una cámara o cuba. El flujo de agua accedía con cierta presión y energía cinética y, al pasar por el rodete, modificaba su dirección y su velocidad, generando una fuerza que provocaba su giro. Este proceso respondía a fenómenos físicos que fueron enunciados de forma matemática en el siglo XVIII por Daniel Bernoulli, con su principio sobre la conservación de la energía en los fluidos, y por Leonhard Euler, con el teorema fundamental de la cantidad de movimiento.

Asimismo, resulta aún más notorio que algunos aspectos del diseño de Lobato están presentes en las turbinas de reacción modernas, particularmente en la diseñada por James B. Francis en el siglo XIX. De este modo, en ambos dispositivos los álabes presentan una forma hidrodinámica muy similar, lo que hace que la trayectoria que describe el fluido al incidir y desplazarse sobre ellos sea análoga (Fig. 11). Este diseño además permite aprovechar tanto la acción inicial del chorro como la reacción del agua al salir del rodete.

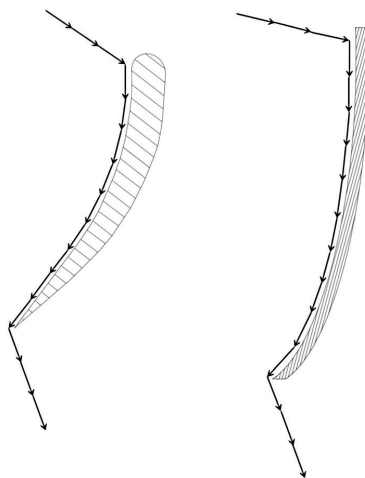


Figura 11. Comparación del flujo en la turbina Francis (izquierda) y en el regolfo mejorado por Lobato (derecha). Fuente: García Tapia [2002, p. 321] (izquierda) y elaboración propia basada en las descripciones y dibujos de Lobato [1547-1585, fols. 14, 29-36] (derecha).

Por otra parte, el hecho de que la trayectoria del agua sea análoga en los álabes de ambos rodets implica que los triángulos de velocidades a la entrada y a la salida del álabe también lo sean, como puede apreciarse en la figura 12, donde los vectores U_1 y U_2 representan las velocidades tangenciales de giro, mientras que W_1 y W_2 son las velocidades relativas del agua a la entrada y salida del álabe, respectivamente. V_1 y V_2 , por su parte, corresponden a las velocidades absolutas, que resultan de la composición de las anteriores. Finalmente, β_1 y β_2 son los ángulos entre las velocidades relativas W_1 y W_2 y la tangente al rodete.

En definitiva, Francisco Lobato concibió en 1576 un sistema hidráulico que no solo aprovechaba con eficacia la energía del agua, sino que incorporaba principios que siglos más tarde serían formalizados por eminentes científicos. Su regolfo mejorado, con un rodete inmerso en el fondo de la cámara y álabes curvados de forma hidrodinámica, anticipaba soluciones técnicas presentes en turbinas de reacción tan avanzadas como las turbinas Francis o Kaplan. La similitud en el diseño de los álabes y, por consiguiente, en la trayectoria del flujo y en los triángulos de velocidades, confirma que nos encontramos ante un diseño excepcionalmente avanzado para su tiempo, que puede considerarse un hito en la historia de la ingeniería hidráulica.

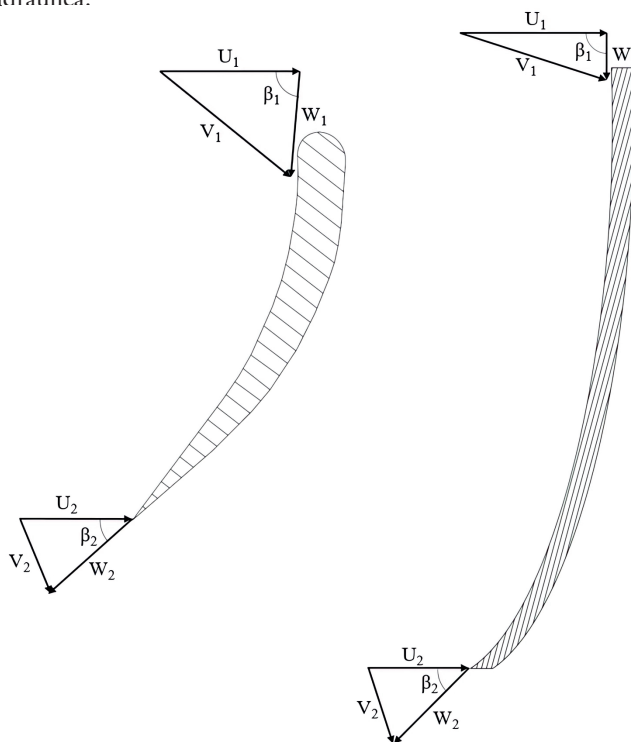


Figura 12. Comparación de los triángulos de velocidad en la turbina Francis (izquierda) y en la “rueda de trapano” (derecha). Fuente: elaboración propia basada en García Tapia [2002, pp. 321-322] y en las ilustraciones y descripciones de Lobato [1547-1585, fols. 14, 29-36].

8. EL MOLINO DE MAREA DE PUERTO REAL

Francisco Lobato realizó un viaje por tierras del sur de España en el que llegó hasta las costas gaditanas [JIMÉNEZ MUÑOZ *et al.*, 2023, p. 72]. Allí, concretamente en una “cala de mar” situada junto a “porto Regal [Puerto Real]”, tuvo la oportunidad de ver un “molino de marea” (Fig. 13) [LOBATO, 1547-1585, fol. 10].



Figura 13. Molino de marea de Puerto Real.
Fuente: Lobato [1547-1585, fol. 10].

Los molinos de marea no eran una novedad en el siglo XVI, pues se tiene constancia de su existencia desde al menos el siglo XI [VÉLEZ, 2012, p. 52]. Sin embargo, el manuscrito recoge la primera ilustración conocida de un molino de este tipo en España [GARCÍA TAPIA, 1989, p. 157] y la segunda en Europa, tras la realizada por Mariano di Jacopo “*il Taccola*” en el siglo XV.⁷ Asimismo, el molino de marea dibujado y descrito por Lobato constituye el

7. Véase DI JACOPO “*IL TACCOLA*” [c. 1410].

primer testimonio relativo a un molino de marea de doble efecto, “que muele con el subiente de marea la una rueda y quando mengua muele otra” [LOBATO, 1547-1585, fol. 10]. Este diseño permitía, por tanto, una molienda continua, lo que aumentaba significativamente su rendimiento.

El molino que visitó Lobato en la bahía gaditana continuó con su actividad durante siglos, hasta los primeros años del siglo XX, cuando fue demolido. El edificio que albergaba el ingenio debía de ser imponente, pues a finales del siglo XVII fue recogido en uno de los mapas de la obra *Emporio del Orbe*⁸ de fray Gerónimo de la Concepción, y en 1789 el brigadier Vicente Tofiño también lo incluyó en el mapa del litoral gaditano⁹ de su *Atlas Marino de España* [MOLINA, 2001, pp. 69-85; JIMÉNEZ MUÑOZ, 2017, pp. 117-125].

9. CONCLUSIONES

El manuscrito de Francisco Lobato del Canto ha permitido conocer a un excelente representante de la técnica popular del Renacimiento español. Las descripciones que consignó sobre diversos tipos de molinos constituyen un testimonio excepcional. No solo amplió la información sobre variedades ya conocidas, sino que además citó algunas desconocidas previamente, como el molino de viento de eje vertical.

Las descripciones e ilustraciones que Lobato realizó sobre el molino de cubo con “rueda de cucharas”, así como del molino de regolfo sobre el que introdujo modificaciones, anticipan soluciones técnicas que hoy asociamos a desarrollos posteriores, como las turbinas de acción tipo Pelton y las de reacción tipo Francis. Sin proponer un desarrollo teórico formal, Lobato alcanzó soluciones eficientes mediante la experimentación, el rediseño y el análisis empírico, que ponen de relieve una forma de conocimiento técnico situada entre la experiencia artesanal y la invención científica.

Estos técnicos locales, sin formación académica, pero con una capacidad de invención notable, han sido tradicionalmente pasados por alto por la historiografía de la técnica, centrada en los grandes científicos asociados a la Corte. Sin embargo, casos como el de Lobato permiten reivindicar la existencia de una tradición tecnológica popular, creativa y rigurosa, que también impulsó avances significativos.

En definitiva, el estudio sobre Francisco Lobato del Canto y su manuscrito obliga a ampliar nuestra comprensión del desarrollo tecnológico en la España de la Edad Moderna, mediante la atención a aportaciones que, aunque al margen del saber institucional, contribuyeron de forma decisiva al progreso técnico de su época. La contribución del manuscrito a la historia de la técnica, aunque humilde en apariencia, anticipa soluciones que siglos después serían clave en el desarrollo de la ingeniería hidráulica. Francisco Lobato merece, por tanto, ser reconocido como un inventor notable, que introdujo mejoras

8. Véase DE LA CONCEPCIÓN [1690].

9. Véase TOFIÑO [1789].

hidráulicas relevantes en los molinos de cubo y de regolfo, cuya eficacia se adelantó a desarrollos que más tarde aparecerían en otros ríos de España y del extranjero.

FUENTES ARCHIVÍSTICAS

LOBATO DEL CANTO, FRANCISCO (1547-1585) “Apuntes manuscritos adheridos a un ejemplar de la ‘*Geographia*’ de Ptolomeo”. Propiedad privada.

TOFIÑO DE SAN MIGUEL, VICENTE (1789) “Carta náutica levantada por el Brigadier de la Real Armada Vicente Tofiño de San Miguel, Director de las Academias de Guardias Marinas; Bauzá lo delineó; Fernando Selma lo grabó”. Depósito Hidrográfico (Madrid), Sig. S1-35-N-37.

BIBLIOGRAFÍA

- CÁMARA MUÑOZ, ALICIA (2008) “La profesión de ingeniero: los ingenieros del rey”. En: Manuel Silva Suárez (ed.) *Técnica e ingeniería en España I. El Renacimiento: De la técnica imperial y la popular*. Zaragoza, Institución “Fernando el Católico”, 129-168.
- CÓRDOBA DE LA LLAVE, RICARDO (2010) “El proceso de difusión del molino de regolfo y la sustitución de aceñas de origen medieval en la provincia de Córdoba”. *Arte, arqueología e historia*, 17, 249-264.
- CRESSIER, PATRICE (1998) “El resbalón de Sitan. Observaciones sobre el molino hidráulico en Al-Ándalus y Marruecos”. En *Homenaje a Tomás Quesada Quesada*. Granada, Universidad de Granada, 151-171.
- DE LA CONCEPCIÓN, GERÓNIMO (1690) *Emporio de el Orbe, Cádiz ilustrada, investigación de sus antiguas grandezas, discurrida en concurso de el General Imperio de España*. Amsterdam, Imprenta de Joan Bus.
- DI JACOPO “IL TACCOLA”, MARIANO (c. 1410) *Liber tertius, de ingenis acediftiis non usitatis*. Florencia.
- ESTEBAN PIÑEIRO, MARIANO (2020) “Madrid, ciencia y técnica al servicio del poder. Matemáticos e ingenieros”. En: Magoga Piñas Azpitarte y Almudena Palancar Barroso (coords.), *El ingenio al servicio del poder. Los códices de Leonardo da Vinci en la corte de los Austrias*. Madrid, Consejería de Cultura y Turismo, 24-43.
- FLORES ARROYUELO, FRANCISCO JOSÉ (1993) *El molino: piedra contra piedra*. Murcia, Universidad de Murcia.
- GARCÍA CHICO, ESTEBAN (1960) *Catálogo Monumental De La Provincia De Valladolid. Tomo III: Medina Del Campo*. Valladolid, Diputación Provincial de Valladolid.
- GARCÍA-DIEGO, JOSÉ ANTONIO y GARCÍA TAPIA, NICOLÁS (1987) *Vida y técnica en el Renacimiento: manuscrito que escribió, en el siglo XVI, Francisco Lobato vecino de Medina del Campo*. 1ª edición, Valladolid, Secretariado de Publicaciones de la Universidad.
- GARCÍA-DIEGO, JOSÉ ANTONIO y GARCÍA TAPIA, NICOLÁS (1990) *Vida y técnica en el Renacimiento. Manuscrito de Francisco Lobato, vecino de Medina del Campo*. 2ª edición, Valladolid, Universidad de Valladolid.
- GARCÍA TAPIA, NICOLÁS (1985a) “Sobre el origen de las turbinas hidráulicas”. *Técnica industrial*, 179, 68-72.
- GARCÍA TAPIA, NICOLÁS (1985b) “The Regolfo Mills of Francisco Lobato”. En: *Actas del VI Simposio*. Gante, International Molinological Society, 44-50.

- GARCÍA TAPIA, Nicolás (1989) “Los molinos en el manuscrito de Francisco Lobato”. En: Luis Vicente Elías (coord.) *Los molinos: cultura y tecnología*. Sorzano (La Rioja), Centro de Investigación y Animación, 151-172.
- GARCÍA TAPIA, Nicolás (1990a) *Ingeniería y arquitectura en el Renacimiento español*. Valladolid, Universidad de Valladolid.
- GARCÍA TAPIA, Nicolás (1990b) *Los veintiún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo, atribuidos a Pedro Juan de Lastanosa*. Zaragoza, Diputación General de Aragón.
- GARCÍA TAPIA, Nicolás (2002) *Ingeniería fluidomecánica*, Valladolid, Universidad de Valladolid.
- GARCÍA TAPIA, Nicolás (2003) *Técnica y poder en Castilla durante los siglos XVI y XVII*. Salamanca, Junta de Castilla y León.
- GARCÍA TAPIA, Nicolás (2004) “Las máquinas en El Quijote: molinos, batanes, aceñas y cantimploras”. *Boletín de la Real Academia de Bellas Artes de la Purísima Concepción*, 39, 31-49.
- GARCÍA TAPIA, Nicolás y CARRICAJO CARBAJO, Carlos (1990) *Molinos de la provincia de Valladolid*. Valladolid, Cámara Oficial de Comercio.
- GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio (1987) *Fábricas hidráulicas españolas*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
- IGLESIAS GÓMEZ, Laura María (2007) “El legado tecnológico agroindustrial de España a América de 1492 a 1598”. *Marchamos*, 25, 8-15.
- JIMÉNEZ MUÑOZ, Carlos (2017) *Francisco Lobato del Canto (c. 1530-c. 1589): del móvil perpetuo a la turbina hidráulica* [Tesis doctoral]. Director: Andrés Martínez de Azagra Paredes. Palencia: Universidad de Valladolid.
- JIMÉNEZ MUÑOZ, Carlos; MARTÍNEZ DE AZAGRA, Andrés y GARCÍA TAPIA, Nicolás (2016) “Los móviles perpetuos en el manuscrito de Francisco Lobato (siglo XVI)”. En: Francisco González Redondo (coord.) *Actas del XII Congreso de la SEHCYT “Ciencia y Técnica entre la Paz y la Guerra, 1714, 1814, 1914, Volumen 2”*. Madrid, Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, 1133-1140.
- JIMÉNEZ MUÑOZ, Carlos; MARTÍNEZ DE AZAGRA, Andrés y GARCÍA TAPIA, Nicolás (2020), “De la técnica imperial a la popular. Los casos de Jerónimo de Ayanz y Francisco Lobato”. En: Magoga Piñas Azpitarte y Almudena Palancar Barroso (coords.) *El ingenio al servicio del poder: Los códigos de Leonardo da Vinci en la corte de los Austrias*. Madrid, Comunidad de Madrid, Consejería de Cultura y Turismo, 234-251.
- JIMÉNEZ MUÑOZ, Carlos; MARTÍNEZ DE AZAGRA, Andrés y GARCÍA TAPIA, Nicolás (2023) “Francisco Lobato del Canto (c. 1530-1589). Biografía de un técnico castellano del siglo XVI”. *Llull*, 46(93), 65-89.
- JIMÉNEZ MUÑOZ, Carlos; MARTÍNEZ DE AZAGRA, Andrés y GARCÍA TAPIA, Nicolás (2025) “Técnica en el siglo XVI en Castilla. Aportación al estudio del manuscrito de Francisco Lobato (1547-1585)”. *Llull*, 48(97), 127-151.
- LÓPEZ RIDER, Javier (2019) “La aceña de Villa del Río (Córdoba). Un ejemplo de patrimonio histórico y arquitectónico en el río Guadalquivir”. En: Aina R. Serrano Espases (coord.) *Actes XI Congr s Internacional de Molinologia: Memória, arquitectura, enginyeria i futur, Volumen 2*. Mallorca, Consell de Mallorca, 135-146.
- MARTÍN FERRERO, María de los Ángeles (1988) “Las aceñas de la ciudad de Toro (1460-1999)”. En: Carmen Seisdedos Sánchez (dir.) *Anuario 2000 Instituto de estudios zamoranos Florián de Ocampo*. Zamora, Instituto de Estudios Zamoranos “Florián de Ocampo”, 337-379.
- MATAIX PLANA, Claudio (1993) *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Madrid, Ediciones del Castillo.

- MOLINA FONT, Julio (2001) *Molinos de marea de la Bahía de Cádiz (siglos XVI-XIX)*. Cádiz, Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- PALLARÉS JIMÉNEZ, Miguel Ángel (2013) “Una aceña en el río Ebro y el molino de la Acequia Imperial, maquinarias hidráulicas de Gallur en los siglos XVI, XVII y XVIII”. *Cuadernos de Estudios Borjanos*, 56, 149-206.
- PARRILLA ARMADA, Francisco (1979) *Mecánica de fluidos: Turbinas hidráulicas*. Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.
- RETI, Ladislao (1971) “The horizontal waterwheels of Juanelo Turriano (ca. 1565): a prelude to Basacle”. En: Georges Canguilhem; René Taton (coords.). *XIIe Congrès International d'Histoire des techniques*. París, Conservatoire des arts et métiers, 79-82.
- RUBIO SANJUÁN, Isidoro (1966) *Elementos de Hidráulica general y aplicada con Motores hidráulicos*. Barcelona, Labor.
- SAN JOSÉ ALONSO, Jesús y FERNÁNDEZ MARTÍN, Juan José (2010) *Aceñas del Duero. Tordesillas, Toro y Zamora*. Valladolid, Junta de Castilla y León.
- SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ, Urbano (2012) *Máquinas hidráulicas*. Alicante, Editorial Club Universitario.
- SANGRADOR VITORES, Matías (1851) *Historia de la muy noble y leal ciudad de Valladolid, desde su más remota antigüedad hasta el reinado de Fernando VII, Volumen I*. Valladolid, Imprenta de D. M. Aparicio.
- VELA SANTAMARÍA, Francisco Javier (2009) “Agua e industria en la segunda mitad del siglo XVI: los molinos harineros de la Meseta Sur”. *Investigaciones históricas*, 29, 11-40.
- VÉLEZ CIPRIANO, Iván (2012) *Agua, máquinas y hombres en la España preindustrial*. Oviedo, Pentalfa Ediciones.
- VICENTE MAROTO, María Isabel; ESTEBAN PIÑEIRO, Mariano (2006) *Aspectos de la ciencia aplicada en la España del Siglo de Oro*. Valladolid, Junta de Castilla y León.
- VIGUERAS GONZÁLEZ, Modesto (2002) “La tecnología de los molinos de rodezno en la época de Felipe II”. En: Salvador Navarro Lorente, Caridad Irene de Santiago Restoy y José María Bernal Palacios (coords.) *De la tradición al futuro: III Jornadas Nacionales de Molinología*. Cartagena, Patrimonio Cultural de la Región de Murcia, 1-22.