

NUEVOS DATOS TECNICOS SOBRE LOS ARTIFICIOS DE JUANELO

Nicolás García Tapia

Escribir algo nuevo sobre los artificios de Juanelo Turriano que, para ser unas máquinas, han suscitado tanta literatura y —aunque en menor cuantía— tantas aportaciones técnicas e históricas, pudiera parecer una tarea imposible. La reconstrucción técnica de Ladislao Reti, reflejada en la maqueta que se conserva en la Diputación Provincial de Toledo, parece definitiva. No obstante, una investigación nunca se agota y nuevos datos vienen muchas veces a modificar o a completar algo que se creía cerrado. En este trabajo pretendemos aportar nuevos elementos para una reconstrucción aún más ajustada a la realidad histórica de lo que fueron los famosos ingenios toledanos para elevar el agua del Tajo hasta el Alcázar.

1. *Importancia histórica de los artificios de Juanelo*

La historia de los ingenios toledanos ha sido trazada ya en sus líneas generales por historiadores como Llaguno y Ceán Bermúdez y recientemente por las aportaciones de Ladislao Reti, José Antonio García-Diego y Julio Porres, entre otros. No nos detendremos pues sobre ella en demasía.

Se sabe que en época romana funcionó una eficaz conducción de agua a Toledo, con su presa, su larga conducción por canales, su acueducto-sifón para salvar el Tajo y su depósito de distribución (en lo que se conoce como las Cuevas de Hércules). Al final del Imperio, abandonadas las costumbres del abundante uso del agua, todo fue desapareciendo, quedando unos escasos restos de difícil aprovechamiento.

En el Renacimiento se recupera en parte la necesidad del agua y surgen nuevos sistemas de abastecimiento de aguas para las ciudades y los palacios. En Toledo esto se traduce por el deseo y la necesidad de llevar el agua a la ciudad y al Alcázar ya en tiempos de Carlos I. Este emperador trajo a España a un hábil relojero, astrónomo y matemático de origen cremonés, conocido aquí como Juanelo Turriano, quien se ocupó de construir unos magníficos relojes astronómicos para Carlos I, entre otros ins-

trumentos. Conocedor del problema de la difícil elevación de aguas desde el Tajo hasta el Alcázar de Toledo, de casi cien metros de diferencia de nivel, Juanelo empezó entonces a pensar una posible solución.

A principios del reinado de Felipe II, el problema de elevar el agua para las obras del Alcázar y para la ciudad de Toledo, se replantea con nuevos ímpetus. Fracasados los intentos de especialistas y artesanos flamencos, alemanes y franceses traídos para este fin, Juanelo propuso una solución en una maqueta hecha por él que fue aceptada por la ciudad de Toledo y por el Rey para que se llevase a efecto en la práctica, pero de duras condiciones para Turriano, quien tuvo que adelantar dinero para construirla.

Un primer ingenio se terminó así en 1569, en un plazo de menos de cuatro años, que funcionó satisfactoriamente, pero que causó la ruina económica de Juanelo, ya que todo el agua fue utilizada en el Alcázar y la ciudad de Toledo se negó a pagarle.

Como solución se propuso la construcción de un segundo ingenio igual; adosado al anterior, a cargo del Rey y de la ciudad y que quedaría en compensación propiedad de Juanelo y de sus herederos. Se finalizó con éxito en 1581 pero tampoco logró la recuperación económica de Juanelo, ya que por causas ajenas a su voluntad, el agua no llegó a la ciudad y siguió en poder del Rey para su Alcázar. Juanelo, desesperado, ofreció incluso este segundo ingenio a Felipe II y le pidió que remediase su difícil situación y la de su familia. De esta forma, acuciado por las deudas, murió en 1585 el famoso autor de los ingenios toledanos.

El complejo mecanismo de los artificios hizo difícil su conservación que pasó primeramente a un nieto suyo llamado también Juanelo Turriano y en 1598 a un ingeniero, Juan Fernández del Castillo, quien a principios del siglo XVII construyó un sistema de bombas en cinco etapas para solucionar el problema, desmontando para ello el primer ingenio, que ya no funcionaba y dejando el segundo ingenio de Juanelo como «ornato» de la ciudad por la fama que había adquirido en todo el mundo¹.

Los restos de los artificios de Juanelo fueron desapareciendo poco a poco, robándoles las piezas o empleándolas para otros usos. Pero quedaron los elogios que los escritores del Siglo de Oro que les conocieron² y los de los viajeros que vinieron a verlo, como Jean Lhermite³ y Sir Kennelm Digby⁴, cuya exacta descripción del ingenio de Toledo será muy útil para nuestra reconstrucción de su funcionamiento.

1. Sobre los ingenios de Fernández del Castillo, injustamente poco valorados, está en prensa un trabajo del autor.

2. SÁNCHEZ MAYENDÍA, J. C.: *El Artificio de Juanelo en la Literatura Española*, "Cuadernos Hispano-Americanos", núm. 103, Madrid, 1958, págs. 73-93.

3. LHERMITE, J.: *Le passetemps...*, Amberes, 1896, 2 vols.

4. DIGBY, K.: *Two Treatises...*, París, 1644, págs. 205-209.

En cambio, algunos escritores técnicos fueron más críticos, como el cosmógrafo Andrés García de Céspedes quien, en el *Libro de instrumentos nuevos...*, publicado en 1606, puso de manifiesto la complejidad del mecanismo del ingenio de Juanelo, causante de múltiples averías, diciendo que «la machina tiene ingenio, pero es muy violenta y de poca utilidad, y así continuamente es necesario aderezalla»⁵.

Juan Bautista Monegro, que fue amigo de Juanelo y le hizo un busto conservado actualmente en el Museo de Santa Cruz de Toledo, califica los ingenios como obras «de grandeza sin sustancia».

En cambio, la numerosa documentación relativa al ingenio de Juanelo existente en el Archivo General de Simancas, muestra la admiración que en los años siguientes a la conclusión de las máquinas se sentía en todos los que lo visitaban o tenían que ver de alguna manera con su mantenimiento. A principios del siglo XVII se plantea la cuestión de dismantelar el primer ingenio, puesto que estaba inservible; pero se decide respetar el segundo, sobre todo por su grandeza y la admiración (que a veces se califica como «espanto») que causaba a todos los que le visitaban. Por ello en 1612, cuando se valora en 37.900 reales el costo de la reparación necesaria del ingenio, el secretario Tomás de Angulo decide hacerlo porque «aunque todos los oficiales y personas con quien lo comuniqué resuelven que cuando se repare y ande será de poco o ningún provecho, son de parecer que por grandeza y conservar cosa que tanto nombre tuvo, para mostrarle a las personas que acuden a Toledo, que es lo primero en que ponen los ojos...»⁶. Todo ello se hace porque el ingenio de Juanelo era «...tan famoso y admirado en todo el mundo y por no andar dos años se va hundiendo... y los extranjeros y mucha gente que le viene a ver por la fama que tiene en todo el mundo, tienen grande lástima de ver que se pierda tan gran máquina y gran demostración de yngenio...»⁷.

La polémica se reaviva a partir de la posibilidad de sustituir el ingenio de Juanelo por unas bombas más eficaces, las «tisibicas» de Fernández del Castillo.

Todavía cuando los ingenios de Juanelo hacía años que habían perdido su uso y se les robaban las piezas de latón, aún perduraba en la memoria de los toledanos la celebridad de las máquinas elevadoras de agua. Así, cuando en 1639 se celebra un juicio contra las personas que eran responsables de dichos robos, los numerosos testigos que intervienen responden

5. GARCÍA DE CÉSPEDES, A.: *Libro de los instrumentos nuevos de Geometría...*, Madrid, J. de la Cuesta, 1606, cap. VI, pág. 40.

6. A.G.S., C. y S.R., leg. 302, fol. 200.

7. Idem, idem, leg. 328, fol. 510.

a la pregunta de si consideraban importante el ingenio de Juanelo, de una forma casi invariable:

«...el artificio del agua es obra real de las más insignes de Europa y la mayor que tiene esta ciudad de Toledo en el adorno y grandeza de su Alcázar...»⁸.

De todo ello puede deducirse que el artificio de Juanelo en Toledo fue tal vez la primera máquina del mundo considerada en su tiempo como un objeto de valor histórico y estético, digno de una admiración similar o mayor a las mejores obras de arte, independientemente de su consideración como elemento utilitario.

2. *Reconstrucción técnica de los ingenios de Juanelo*

¿Cómo eran estas máquinas que han producido tanta admiración? Nada queda en Toledo de estos «ingenios» y no se ha encontrado ningún plano o dibujo que los represente. En el siglo XVIII ya había desaparecido toda la maquinaria, quedando algunos restos de los edificios supervivientes que aún pueden apreciarse en grabados del siglo XVII (figura 1), en los que no se ve la maquinaria. Los «Teatros de Máquinas» del siglo XVIII, no mencionan ya a los ingenios de Juanelo.

El primero que se enfrentó al reto de dar una explicación del funcionamiento del ingenio de Juanelo fue el ingeniero de minas español Luis de la Escosura y Morrogh, quien había sido comisionado por el ayuntamiento de Toledo en la segunda mitad del siglo XIX para hacer un estudio del problema de abastecimiento de aguas a la ciudad que aún no se había resuelto. Sus conclusiones fueron publicadas en contados ejemplares por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid en el año 1888, acompañadas de todo lo que pudo encontrar sobre el ingenio y una posible reconstrucción del mismo⁹. Esta obra fue traducida al alemán unos años después por el ingeniero Theodor Beck, añadiendo algunas observaciones propias¹⁰. De esta forma la reconstrucción del ingenio realizada por Escosura y Beck fue universalmente admitida. Se basaba principalmente en el conocido texto de Ambrosio de Morales, reproducido por Llaguno y Ceán Bermúdez en sus *Noticias*...:

«La suma de esta invención es anexar o engoznar unos maderos pequeños en cruz por enmedio y por los extremos de la manera que

8. Idem, idem, leg. 272-1, fol. 80.

9. ESCOSURA Y MORROGH, Luis de la: *El Artificio de Juanelo y el Puente de Julio César*, Memoria publicada por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, a. 1888.

10. BECK, Theodor: *Juanelo Turriano (1500-1585)*, en *Beitrag zur Geschichte des Maschinenbaues*, Berlín, 1899, págs. 365-390.

en Roberto Valturio está una máquina para levantar un hombre en alto. Estando todo el trecho así encadenado, al moverse los dos primeros maderos junto al río se mueven todos los demás hasta el Alcázar con gran sosiego y suavidad, cual para la perpetuidad de la máquina convenía... Mas lo que es más maravilloso es haber encajado y engoznado en este movimiento de la madera unos caños largos del mismo metal a los cabos, los cuales subiendo y abajando con el movimiento de la madera, al bajar el uno va lleno y el otro vacío, y juntándose por este lado ambos, están quedos todo el tiempo que es menester para que el lleno derrame en el vacío. En acabando de hacerse esto, el lleno se levanta para derramar por el caño en el vacío, y el que derramó ya y quedó vacío se levanta para bajarse y juntarse con el lleno de atrás, que también se baja para henchirle. Así los dos vasos de un caño están alguna vez vacíos, teniendo sus dos colaterales un vaso lleno, yéndose mudando así, que el que tuvo un vaso lleno queda vacío del todo, y el vacío del todo tuvo luego un vaso lleno, y siempre entre dos llenos hay un caño con dos vasos vacíos»¹¹.

Para tratar de descifrar esta enrevesada descripción de Ambrosio de Morales, Escosura recurrió a la lámina XCV del conocido libro de Ramelli¹², aunque confesó que no correspondía exactamente a lo descrito por Morales, por lo que ideó una complicada estructura cinemática, luego corregida en parte por Beck, cuyo principio exponemos en la figura 2 y es la que ha sido reproducida por los libros de Historia de la Técnica que se han ocupado hasta ahora del ingenio de Juanelo. Por ello no nos detendremos en la descripción pormenorizada de la solución adoptada por estos investigadores.

Aunque la reconstrucción de Escosura y de Beck tiene el enorme mérito de ser la primera intentada para resolver el enigma del ingenio en Juanelo, no puede negarse que hay en ella algunas contradicciones que han sido puestas de manifiesto por el historiador de la técnica Ladislao Reti, quien en un brillante trabajo culminado en 1967, estudió muchos de los numerosos documentos existentes en el Archivo General de Simancas y en otros lugares sobre el ingenio de Juanelo. También consultó y estudió las descripciones dadas, no sólo por Ambrosio de Morales, sino las de otros viajeros como Digby y Zuccaro. Comparó éstas con los dibujos de los «Teatros de Máquinas» de la época que tenían alguna relación con el mecanismo del ingenio de Juanelo. Finalmente, estudió sobre el

11. MORALES, Ambrosio de: *Op. cit.*, reproducido en LLAGUNO Y CEÁN: *Noticias de los arquitectos y arquitectura de España desde su restauración*, Madrid, 1977, tomo II, págs. 102-103.

12. RAMELLI, Agostino: *Le Diverse et Artificiose Machine...*, París, 1588.

terreno, con todo detalle, las posibilidades, en cuanto a dimensiones y potencia de implantación, de una máquina de este tipo. El resultado de tan exhaustivo trabajo fue expuesto en una conferencia pronunciada en Toledo y recogida en la revista *Provincia* de la Excm. Diputación Provincial de esta ciudad¹³. En el edificio de ésta se expone la maqueta que se construyó con arreglo a las indicaciones de Ladislao Reti por el toledano Juan Luis Peces y cuyo funcionamiento es absolutamente convincente, hasta tal punto que, basándose en ella, el ingeniero e historiador de la técnica José Antonio García-Diego, elaboró —junto con un amplio equipo de personas, entre ellas el arquitecto Fernando Chueca— un detallado proyecto para reconstruir parte del ingenio de Juanelo en el mismo lugar en que se encontraba en Toledo¹⁴. Por desgracia, las circunstancias adversas hacia este tipo de actividades culturales, malograron —de forma inexplicable— una reconstrucción que hubiera tenido un enorme interés para la Historia de la Técnica.

Según el funcionamiento propuesto por Reti, hemos diseñado el esquema de la figura 3, que representa la armadura de una de las torres de cazos oscilantes de los ingenios. Unos lunetos o ruedas semicirculares verifican un movimiento oscilante, transmitido desde las ruedas hidráulicas de los molinos por un mecanismo que luego comentaremos y que no hemos representado en el dibujo. El movimiento oscilante de los lunetos, hace deslizar unas cadenas que alternativamente hacen subir y bajar una serie de tirantes que sostienen unos tubos con unos cazos metálicos en un extremo (que reciben el agua) y unos codillos en el otro extremo que sirven para derramarla en el cazo siguiente.

El primer cazo (n.º 1) es el más alargado y se introduce en el canal o arca inferior; al elevarse el cazo 1 pasa el agua, derramándose por su codillo, al cazo 2. Por movimientos alternativos de elevación y descenso, la estructura de tirantes va haciendo que el agua pase sucesivamente de un cazo a otro, y finalmente llegue al último (n.º 8), cuyo codillo derrama el agua en el arca superior.

Ladislao Reti estableció también, basándose en un inventario del ingenio conservado en el Archivo General de Simancas¹⁵, referente a un proceso por robo de latón que tuvo lugar en 1639, el número de canales o cazos oscilantes, así como las etapas en que iban colocados. Con un número total de cazos de 192, calculó que el agua podía subir hasta 86 metros, teniendo en cuenta que cada cazo elevaba el agua unos 45 centíme-

13. RETI, Ladislao: *El artificio de Juanelo en Toledo: Su historia y su técnica*, "Provincia", núm. 60, 1967, págs. 3-46.

14. *Proyecto de reconstrucción parcial del artificio de Juanelo en Toledo*, Confederación Hidrográfica del Tajo, 1975 y GARCÍA-DIEGO, J. A.: *Restoration of Technological Monuments in Spain*, "Technology and Culture", núm. 13, julio 1972.

15. A.G.S., C. y S.R., leg. 272-1, fols. 10 y sigs.

tros. El artificio de Juanelo tenía una primera elevación compuesta por una cadena de cangilones, movida por una rueda que subía el agua hasta catorce metros, desde donde se iba elevando por unidades de torres de cazos, que según Reti, se distribuían de la siguiente forma:

	Número de cazos	Metros sobre el río
Desde el río hasta la balsa del acueducto	—	14
Desde la balsa del acueducto hasta la Puerta de la Fragua.....	16	21,2
Desde la Puerta de la Fragua hasta el Pasadizo del Carmen.....	52	44,6
Desde el Carmen hasta el Llano de Santiago	44	64,4
Desde Santiago al Corral de Pavones	36	80,6
Desde el Corral de Pavones hasta el Castillo	24	91,4
En el Alcázar	20	100,4
	192	

Las mediciones topográficas confirmaron las alturas de elevación del agua de cada estación de cazos, distribuidas en muchas unidades o torres, que Zúccaro indicaba que eran de ocho órdenes, con lo que entonces habría en total 24 torres.

Parece pues a primera vista que ésta debía ser exactamente la disposición de los ingenios, según la brillante reconstrucción de Reti, y así se proyectó la reconstrucción que se iba a hacer sobre el terreno. Sin embargo, sin alterar sustancialmente esta concepción del ingenio, deben hacerse una serie de precisiones:

La primera, que ya había sido observada por Reti, es que no todas las unidades de cazos pueden ser de ocho, según esta distribución. Reti admite la posibilidad de que el número de cazos variase según la pendiente. El pintor Federico Zuccaro, precisa aún más: «...y hay infinito número de tales cazos, ocho de los cuales son siempre llenos y ocho vacíos, en cada orden que son muchos...»¹⁶. Según esto, el número de cazos por torrecilla sería de 16. Atendiendo a la reconstrucción de Reti, y subiendo cada cazo 45 cms., daría una altura de elevación de 7,2 m. por torrecilla, lo que no es compatible con algunas de las etapas del ingenio y además sería excesiva para un correcto funcionamiento técnico.

16. DOMÍNGUEZ BORDONA, J.: *Federico Zuccaro en España*, "Archivo Español de Arte y Arqueología", núm. 7, año 1927, pág. 77.

Pero si atendemos a la más precisa descripción del viajero inglés Sir Kennelm Digby, que visitó Toledo a principios del siglo XVII, vemos cómo estaban colocados estos cazos exactamente:

«Estaba constituida la máquina de Juanelo por un gran número de canales o cazos, colocados uno sobre el otro, en dos hileras, una enfrentando la otra...» y añade después «...de esta manera, los dos lados de la máquina parecían dos pies que alternativamente pisaban la agua, como los hombres que exprimen las uvas en el lagar cuando la vendimia...»¹⁷.

Queda así aclarado que los 16 cazos se disponían en los dos lados de la máquina, de modo que había dos hileras de 8 cazos cada uno, teniendo cada hilera su cazo recogedor de agua que alternativamente se introducía en su arca para elevarla. De esta forma, en efecto, los dos lados de la máquina parecían dos pies que alternativamente pisaban el agua. Así, ocho cazos estaban llenos y ocho vacíos como decía Zuccaro y sin embargo su altura de elevación era la correspondiente a un orden simple de ocho cazos, es decir, 3,6 m., lo que sí es divisible por las alturas reales de la elevación. Además, en todos los documentos se habla de «dos vías de agua por ingenio», lo que explica perfectamente esta disposición.

En la figura 4 hemos hecho el esquema de lo que sería en realidad una de las torrecillas del ingenio, según nuestra propuesta de reconstrucción. En la realidad es la misma de Reti, añadiendo al otro lado del pie derecho otra estructura similar que se mueve alternativamente con ella por el juego de las cuatro cadenas que penden de los lunetos. La vía de agua del lado anterior, correspondería a la de los cazos del 1 al 8 y la del lado posterior a la de los 1' al 8'. Así el agua fluiría continuamente, ya que cuando no descarga uno de los brazos, descarga su opuesto y además el agua se toma también de forma continua gracias al juego alterante de los cazos iniciales: cuando el cazo 1 está introducido en el arca para tomar agua, su opuesto 1' está levantado pasando el agua al siguiente 2', y viceversa. Se comprende ahora el sentido de la frase de Digby: «...de esta manera, los dos lados de la máquina parecían dos pies que alternativamente pisaban la agua...». Hay también de forma alternativa ocho cazos vacíos y ocho llenos, como decía Zuccaro, y su forma no contradice la descripción de Ambrosio Morales, a quien, en efecto, le recordaba la escala extensible de Roberto Valturio para subir los muros de una fortaleza, dado que el ingenio tiene una forma similar.

En realidad, lo que Juanelo hizo fue una máquina de doble efecto. Necesitaba, pues, doble número de cazos de los 192 que Reti determinó

17. DIGBY, K.: *Op. cit.*, pág. 205.

basándose en el inventario de Simancas. Pero si nos fijamos en dicho inventario, al nombrar el número de cazos que debía de haber en cada una de las etapas del ingenio, se añade siempre «a cada lado» o «en el otro lado igual»¹⁸; esto fue interpretado por Reti como que «el otro lado» se refería al primer ingenio que había construido Juanelo. Sin embargo, el primer ingenio, terminado en 1569 como vimos, no existía en 1639 cuando se hizo este inventario, pues a principios de siglo ya no funcionaba, por lo que fue desmontado para hacer el ingenio de Fernández del Castillo, del que hablaremos, y las piezas que no se utilizaron para ello fueron vendidas para sufragar los gastos de su construcción. Así pues, el inventario se refiere exclusivamente al segundo ingenio que, efectivamente, como hemos visto, tiene cazos a cada lado del pie derecho que le sirve de armadura. El número total de ellos es por consiguiente el doble de 192, es decir 384, que coincide con el número de «tornos» o ejes en torno del cual oscilaban los cazos, que habían sustituido ya en vida de Juanelo, a los «bilanços» o balancines que tenía y que causaban ciertos problemas. En efecto, el ingenio (no ambos, como supone Reti), «...tiene que tener trescientos y ochenta y quatro tornos de madera con sus cazos de latón y con sus tirantes...»¹⁹.

Con esta disposición de los órdenes de cazos oscilantes, no se alteraría el cuadro de distribución de las etapas del ingenio, multiplicándose únicamente por dos el número de cazos, pero manteniéndose las alturas de elevación de cada una de las etapas y el número de órdenes o torrecillas, que serían unas de 16 cazos y otras de 8, según la topografía y la pendiente del terreno.

La segunda observación que hay que hacer a la reconstrucción propuesta por Reti, se refiere a la forma de transmitirse el movimiento desde las ruedas hidráulicas movidas por el río Tajo, hasta los lunetos oscilantes de los órdenes de cazos. Reti afirma que «Juanelo sólo pudo haber adoptado un sistema de transmisión de energía, el que se empleaba en las minas de Alemania desde mediados del siglo XVI». Este sistema, llamado «stangenkunst», consistía en una serie de bielas con movimientos alternados que los tomaban de las ruedas y los transmitían a las bombas de las minas, venciendo las desigualdades del terreno. Para llevar a cabo esta afirmación, Reti se apoyaba únicamente en que Fernández del Castillo aprovechó la misma transmisión que había utilizado Juanelo para mover sus bombas. Sin embargo, el documento que cita Reti del Archivo de Simancas²⁰ no especifica cómo era esta transmisión. Tampoco en ninguno de los documentos que hemos estudiado en el mismo Archivo se encuen-

18. A.G.S., C. y S.R., leg. 271-1, fols. 10-11 v.

19. Idem, idem, fol. 20.

20. Idem, leg. 303 (sin foliar). Informe de J. B. Monegro de 2 de junio de 1606.

tra nada que pueda indicar el empleo de tan complejo mecanismo alemán. Al contrario, hemos localizado un documento, redactado en abril de 1626 por los oficiales del Alcázar, Oliverio, Luxán y Montoya, que parece especificar algo más simple que el «stangenkunst» para explicar la transmisión del movimiento que utilizó Juanelo en sus ingenios y pretendía utilizar Castillo. En lo que a este asunto se refiere, dice lo siguiente:

«...y en quanto al primer motor del dicho artificio de Juanelo, fuymos a berlo juntamente con el dicho Juan del Castillo y allamos que el primer motor del dicho hartificio es una rueda que está dentro de la canal del río y tambien lo es del artificio de Castillo y tiene un exe en el qual hay otra rueda que hace el segundo movimiento, la cual hace un árbol alrededor, con el qual se hace el movimiento de las demás máquinas, ruedas y cucharas del dicho artificio de Juanelo...»²¹.

Lo cual, traduciendo el para nosotros prolijo lenguaje del siglo XVI a términos técnicos actuales, resulta el mecanismo conocido como biela-manivela. Es decir, que las ruedas hidráulicas motrices, transmitían su movimiento giratorio por medio de unas ruedas unidas por un árbol, quien convertía este movimiento en oscilante por el sistema que hemos representado en la figura 5. Este sistema era usual en el siglo XVI para mover las bombas y así se utilizó en las bombas de Londres fabricadas por Peter Morris y en el «ingenio» de Zubiaurre en Valladolid, que fue, quizá por ésto, confundido con el de Juanelo. Además, en el inventario de piezas de madera del ingenio, conservado en el Archivo de Simancas, se consignan largas piezas de madera o «forzantes» de varios metros de longitud (en algún caso hasta veinte metros) que parecen corresponder a las bielas transmisoras del movimiento.

Pero los lunetos superiores deben tener un movimiento más complejo que el oscilante, ya que al mover los cazos, según Ambrosio de Morales «...juntándose por el lado ambos, están quedos todo el tiempo que es menester para que el lleno derrame en el vacío». Estas detenciones fueron resueltas, según la hipótesis de Reti, con un mecanismo actualmente conocido como el «yugó escocés».

Sin embargo, las paradas producidas así varían con la velocidad de la máquina y se requiere un tiempo de detención constante para el llenado de los cazos que es independiente de la mayor o menor velocidad de los períodos de oscilación de los cazos. Hay constancia documental de que Juanelo podía variar a voluntad la velocidad del movimiento del artificio,

21. Idem, leg. 332, fol. 428.

cambiando unos «carretes de ruedas dentadas». En efecto, en las pruebas que se hicieron al segundo ingenio en 1585 informa Francisco de Carvajal:

«...dice Juanelo que está en su mano que aya más agua de la que subía. Dos carretes que abia a los dos cabos de un árbol que el uno tenía doze rodeznos que peynava una rueda y el otro nueve que peynava otra, las trocó que el de nueve puso a la rrueda que peynava el doce y el de doce a la que peynava el de nueve...»²².

Lo que es el fundamento de los actuales cambios de marcha.

¿Cómo pudo hacer Juanelo la detención en un tiempo justo para llenar los cazos? Evidentemente con un simple mecanismo de relojería, lo que para él, autor de complicados y precisos relojes planetarios no representaría ningún problema. En efecto, en otro documento del Archivo de Simancas, se habla de los mecanismos que era necesario engrasar con manteca que son «los exes, *muelles* y otras cosas en movimiento»²³. Subrayo los muelles porque confirma que el ingenio contenía el elemento esencial de lo que es un mecanismo de relojería, que con unas ruedas dentadas (que pueden cambiarse para la variación de velocidad), unos ejes y unos muelles, produce el movimiento justo que precisan los cazos: oscilaciones con detenciones cronometradas. No podemos precisar exactamente el sistema por falta de datos, pero en esquema obedecería al de la figura 5, donde hemos situado el conjunto de los elementos que realizaban los movimientos alternantes.

Las arcas de las distintas torrecillas de cazos se comunicaban entre sí por medio de canales de latón, cuando había un tramo llano entre ellas. De esta forma, por etapas sucesivas, se llegaba a la última torrecilla adosada al Alcázar donde se encontraba el depósito final de distribución de agua.

El sistema motriz para los dos ingenios constaba de cuatro ruedas hidráulicas, instaladas en sus respectivos canales y tenían potencia más que suficiente, como ha mostrado Reti, para hacer funcionar a toda la maquinaria, incluso contando las innumerables pérdidas de energía que tendría. El molino del Barranchuelo, que se aprovechó para estos ingenios, tenía cinco ruedas; luego se desmontó una de ellas.

Una cuestión suscitada por el historiador Jack Gibbs es la de si estas ruedas podían acomodarse a las crecidas del Tajo, basándose en la afirmación de Zuccaro de que los ingenios estaban preparados para esta eventualidad. Gibbs supone que las ruedas estaban provistas de una plataforma que flotaba con el río y que la tensión de la cadena de cangilones se man-

22. *Idem*, leg. 271, fol. 244.

23. *Idem*, *idem*, fol. 190.

tendría empleando algún tipo de contrabalanza, como una palanca móvil con una polea y un contrapeso²⁴.

Para solucionar el problema de los cambios de nivel, García-Diego pensó que el ingenio de Juanelo tendría un mecanismo en sus ruedas motrices a base de unos husillos que permitía elevarlas. Esto se describe en *Los ventiún libros...* que todavía se atribuía a Juanelo Turriano²⁵.

Aunque según el inventario de 1639 que hemos citado, había un pequeño husillo junto al río, no parece que éste corresponda a el mecanismo de elevación de las ruedas del que no consta ninguna noticia documental. Por otra parte, *Los ventiún libros...* son de Pedro Juan de Lastanosa, quien nada tuvo que ver con el ingenio de Toledo, y el mecanismo de elevar las ruedas era italiano y no solía utilizarse en los molinos españoles. Como ejemplo de ello, diremos que cuando se estropearon los molinos de Alhóndiga en Aranjuez en el año 1565 (las mismas fechas de iniciación del ingenio de Juanelo) se pensó hacerles «que se puedan subir y abaxar conforme a las crecientes o poca agua, como se haze en Italia y que se espera que se hallarán maestros que lo hagan así»²⁶. Pero finalmente se desistió de ello.

Sin embargo, la razón principal de nuestra afirmación de que no existían tales mecanismos de elevación de las ruedas para acomodarse a las crecientes del Tajo, se basa en un documento inédito del Archivo de Simancas, que está sin fecha pero que puede datarse en 1585. Trata sobre las averías que tenían los ingenios de Juanelo; entre las causas por las que había que pararle figura unas veces «por la poca agua del río y otras por llevar mucha»²⁷. Pero en el mismo documento se indica también lo que se hacía cuando el río tenía poca agua:

«Cuando el río va bajo, es necesario cerrar algunas de las canales de los molinos de la una y otra parte de la presa y entonces ha de tocar cerrarse alguno de los ingenios... y otros inconvenientes que suceden en canales de diferentes dueños, especialmente estando juntos, y molinos por debajo de los ingenios...»²⁸.

Está claro que los ingenios debían pararse en los estiajes excesivos y con las crecientes, pudiéndose regular exclusivamente con el cierre y la apertura de los canales de una y otra parte del azud, lo que sería suficiente para las variaciones de caudal del río no excesivas. Posiblemente a

24. GIBBS, J.: *Federico Zuccaro y el artificio de Juanelo en 1585*, "Anales Toledanos", VIII, Toledo, 1973, págs. 49-51.

25. GARCÍA-DIEGO, J. A.: *Una muerte y un artificio*, Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos, Toledo, 1974, págs. 289-304.

26. A.G.S., C. y S.R., leg. 251, fol. 22.

27. Idem, leg. 321, fol. 59. Relación de Juan de Ibarra (s. fecha).

28. Idem, idem.

esto último se refería Zuccaro al decir que los ingenios podían funcionar con las crecientes. Lo que desde luego parece que no había era el mecanismo de elevación de las ruedas.

Con estas notas complementarias a los estudios que Reti y otros han hecho del ingenio de Juanelo, pensamos haber aportado nuevos elementos que permitan hacernos una idea aún más exacta de lo que fue el famoso artefacto, obra admirable de precisión más propia de un relojero, como fue Juanelo, que de un ingeniero hidráulico, y desde luego una solución original y diferente a un problema de elevación de aguas. Por ello no nos sorprende lo que en 1625 dijo de los ingenios un corregidor de Toledo:

«El ingenio de Juanelo es obra tan singular que no hay otra como ella en todo el mundo, razón suficiente para ser considerada y puesta en un Alcázar Real de Su Magestad a donde convide a los naturales y estrangeros destes reynos a yr a ver el Alcázar y este yngenio y llevándose los nombres del Rey que le tiene y [el del] que le mandó haçer»²⁹.

A partir de la desaparición de los artificios, su fama se trocó en leyenda, como lo fue el mito del «hombre de palo» que la tradición popular atribuyó a Juanelo. El historiador toledano Julio Porres, en su documentado libro sobre las calles de Toledo, ha dejado bien sentado que el nombre de la calle «El Hombre de Palo» tenía su origen en una escultura de madera representando un muñeco para pedir que existía en dicho lugar. Queda así desmontado parte del mito; pero resta aún el misterio del porqué se atribuyó a Juanelo la construcción de un autómatas de madera que iba hasta el Palacio Arzobispal a por comida, la recogía con una reverencia y volvía a entregarla a la casa de Juanelo, supuestamente situada en dicha calle. Todo ello inconcebible de una forma racional, pero que, como toda leyenda popular, partiría de una realidad a través de la cual, con añadidos sucesivos, se fue convirtiendo en mítica. Después de haber hecho un análisis científico y documentado sobre los ingenios de Juanelo, nos permitiremos algo que no es tan científico, pero no por ello menos apasionante y es el tratar de explicar el origen de la leyenda del hombre de palo, a través de la existencia del ingenio de Juanelo.

Si nos fijamos bien en la figura 4 que esquematiza nuestra reconstrucción del ingenio de Juanelo, podemos observar el carácter antropomorfo de esta máquina: está dotada con dos grandes brazos (los que depositan el agua en las arcas), dos largas patas (que sirven para tomarla) y una cabeza (el luneto del que penden las cadenas). Su cuerpo está articulado por numerosas costillas que son los tirantes de los cazos. Casi todo ello

29. Idem, leg. 332, sin foliar (31 de octubre de 1625).

es de madera y su movimiento es humano: mueve alternativamente los pies, los brazos y ladea sincrónicamente su cabeza, con movimientos alternados y con las pausas necesarias para depositar el agua, lo que le convierte en un autómeta con movimientos precisos, regulados por un sistema de relojería. Al inglés Digby le parecía una persona que estaba pisando alternativamente las uvas con sus dos pies. Por consiguiente, un autómeta de madera, el único realmente documentado que haya hecho Juanelo Turriano. En el lenguaje del siglo XVII: «un hombre de palo». Tengamos en cuenta la tendencia en el XVII era deformar la realidad y ver hombres en máquinas: recordemos a don Quijote y los molinos que le parecían gigantes. Este ingenio de Juanelo era visitado por muchas personas, y los extranjeros, como hemos dicho, lo primero por lo que preguntaban era por el ingenio de Juanelo. Desde la Catedral, una vez visitado el Sagrario —como Avedaño, el personaje de la novela de Cervantes— irían a ver el «artificio de Juanelo» y la primera calle que debían de tomar desde allí para llegar hasta él era la que entonces se llamó «Al Hombre de Palo» como queriendo indicar una dirección. Es sugestivo pensar que este fue el origen de una bella leyenda popular, la de un autómeta de madera, que si no llevó la comida, al menos llevó el agua en unos cazos que recordaban los utilizados en la cocina. La imaginación se encargaría del resto.

Entre tanto nos queda la verdad comprobada de una máquina que fue en su tiempo, si no la más eficaz, sí la más admirable del mundo.

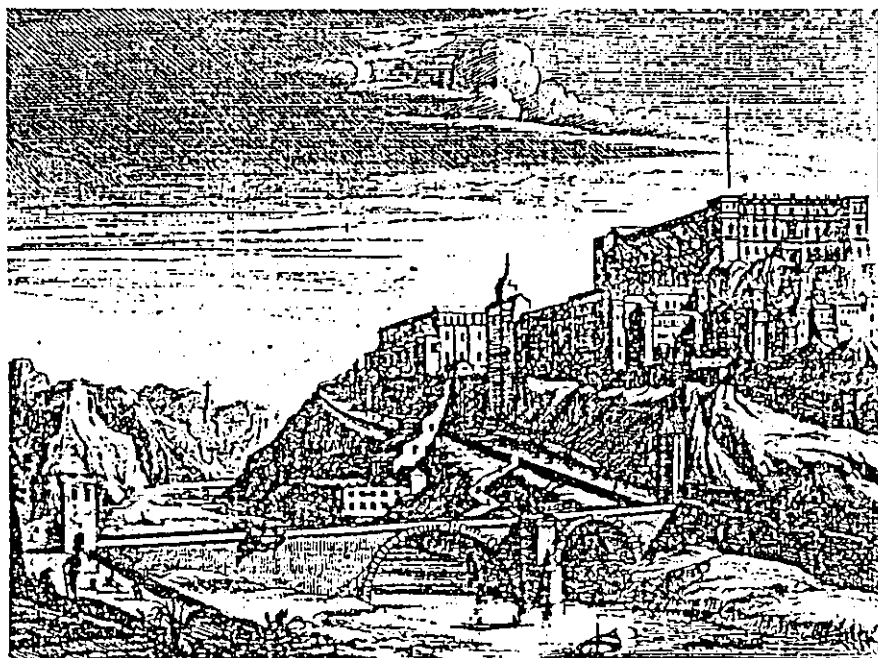


FIG. 1. Edificios de los ingenios de Toledo, de un grabado del siglo XVII

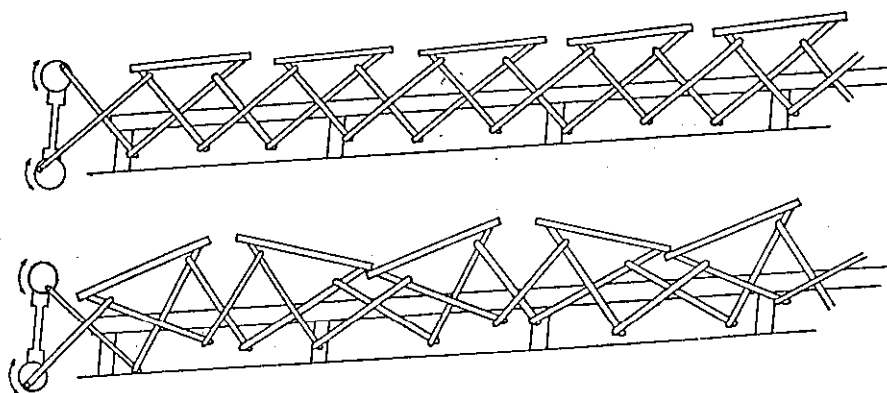


FIG. 2. Esquema del funcionamiento del ingenio de Juanelo, según la reconstrucción propuesta por Escosura y por Beck.

INGENIO DE JUANELO EN TOLEDO

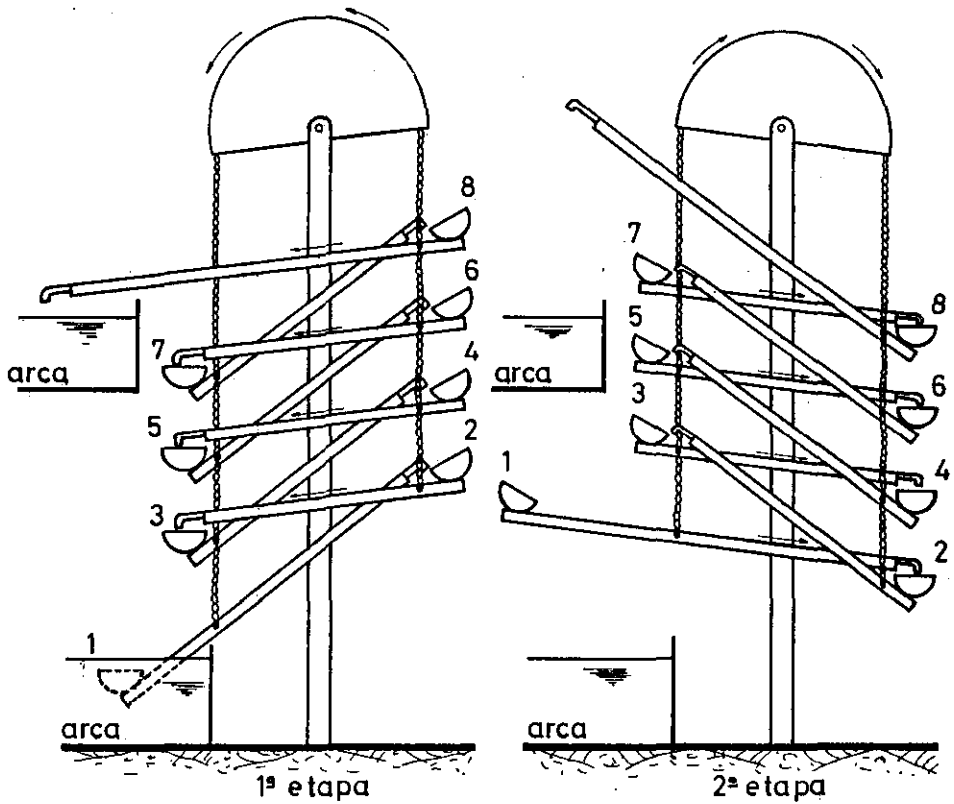


FIG. 3. Esquema de funcionamiento del ingenio de Juanelo en Toledo, con arreglo a la reconstrucción propuesta por L. Reti.

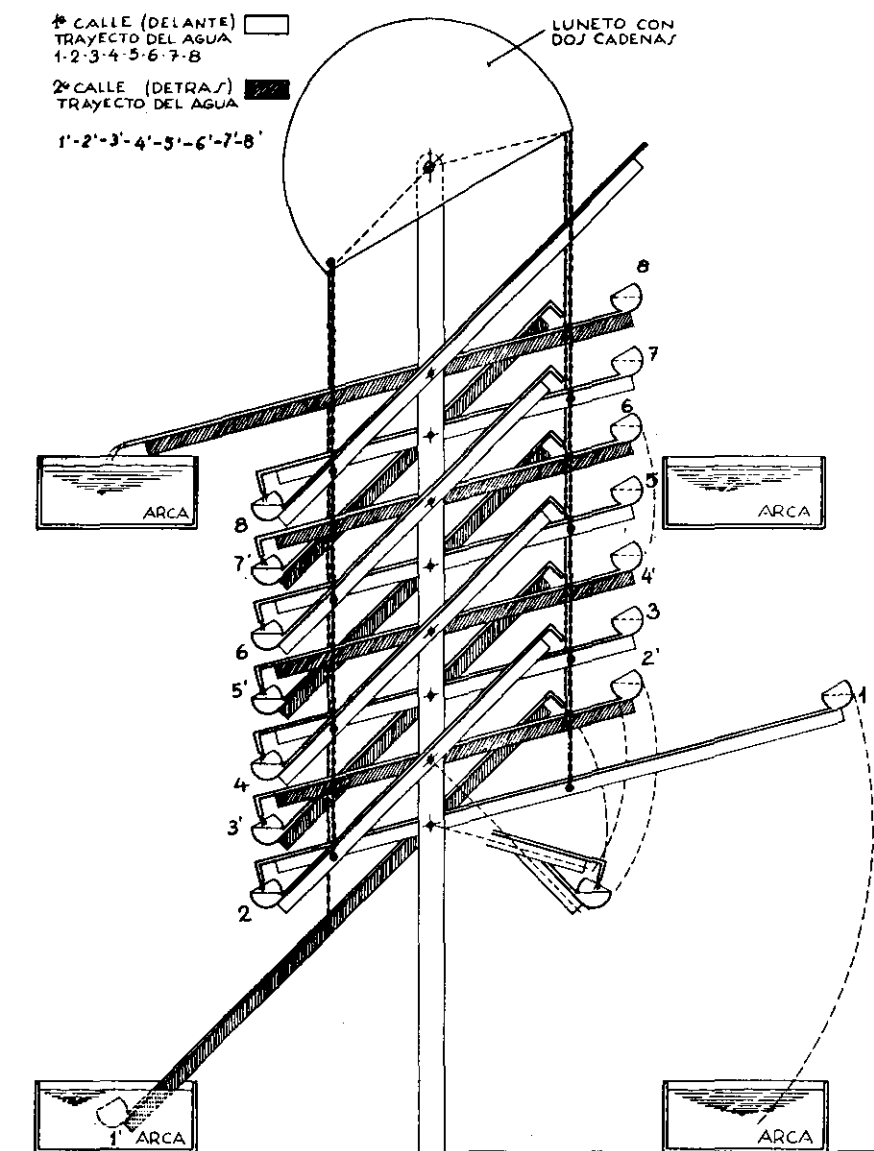


FIG. 4. Esquema de funcionamiento de una torre de elevadores del ingenio de Juanelo en Toledo. (Reconstrucción de Nicolás García Tapia. Dibujo de Juan Ramos).

Ingenio de
Juanelo en
Toledo.
Torres elevadoras.

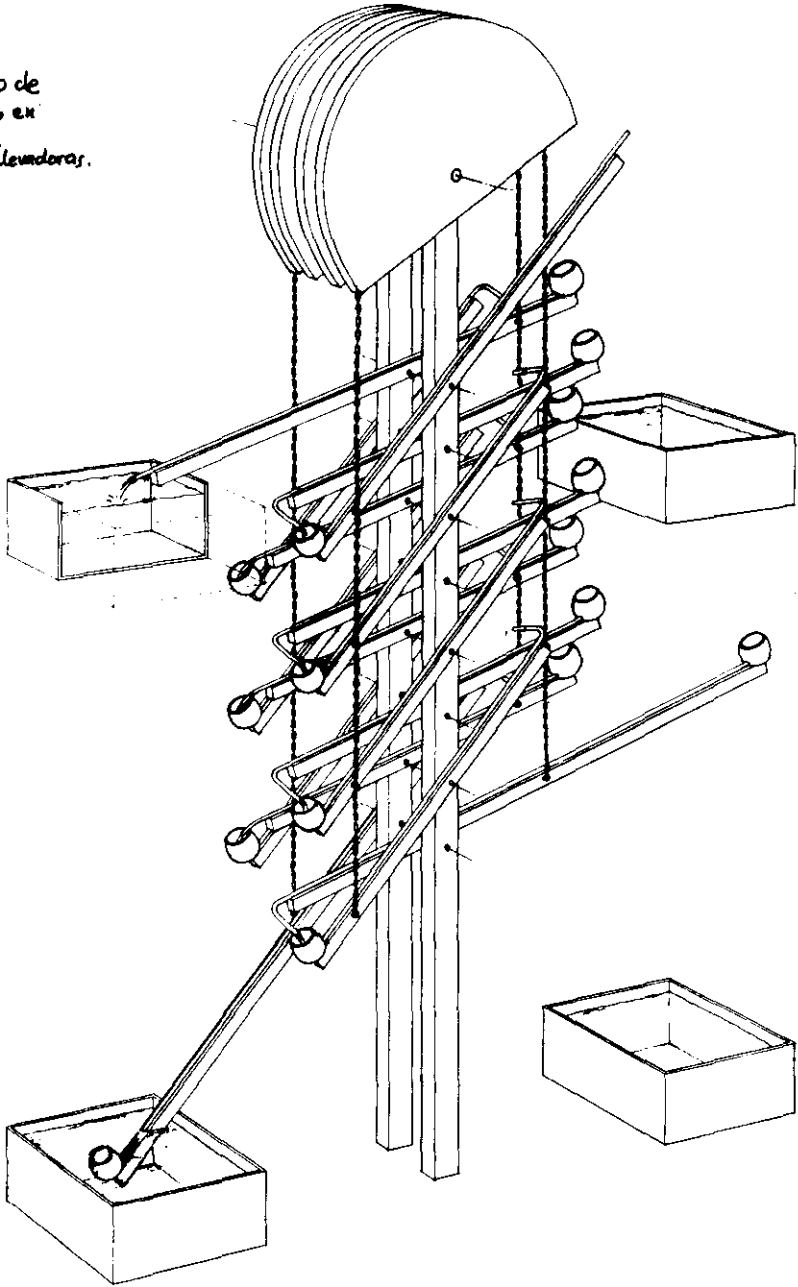


FIG. 4 bis. *Perspectiva de la figura anterior de la torre de elevadores del ingenio de Juanelo en Toledo. (Reconstrucción: N. G. Tapia. Dibujo: J. Ramos).*

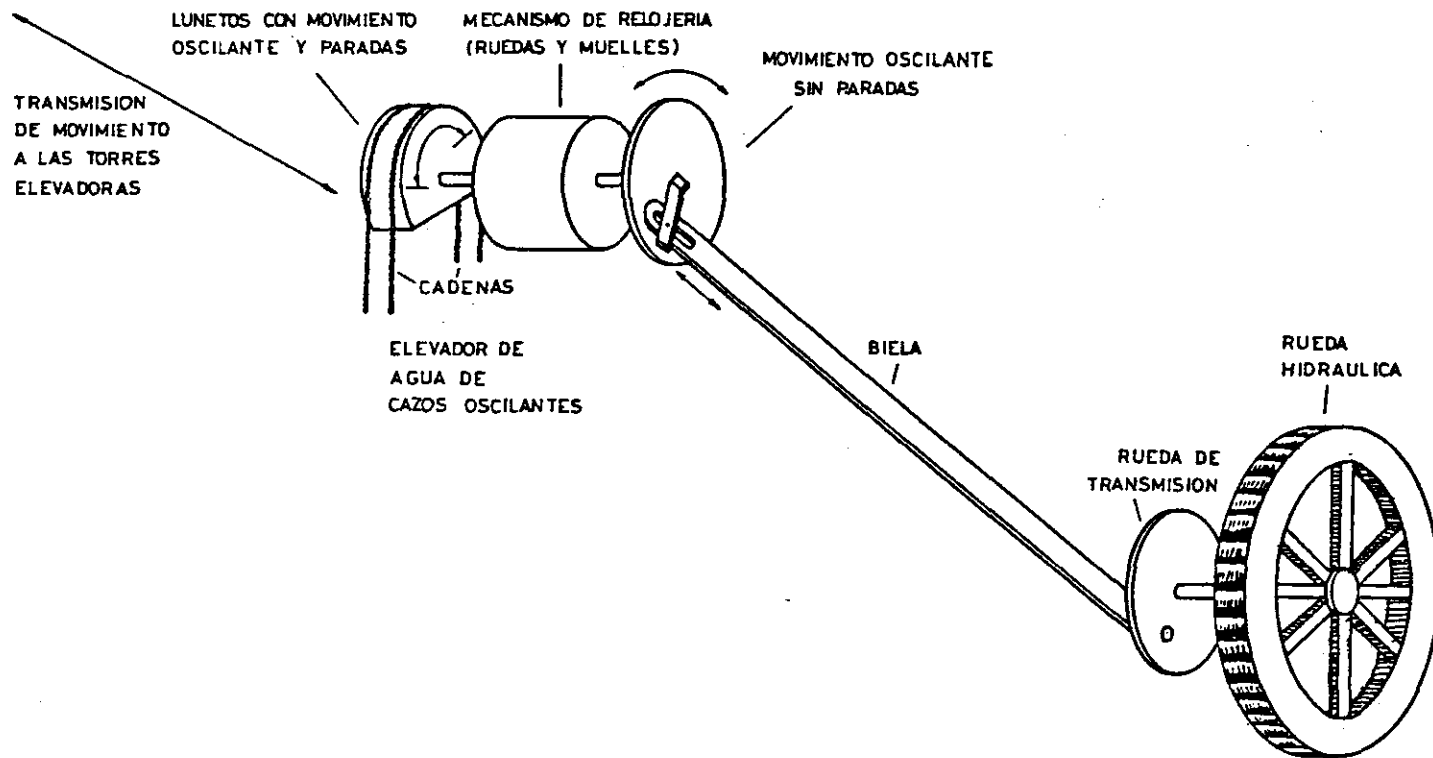


FIG. 5. *Primer motor y transmisión del movimiento del ingenio de Juanelo*