UNIVERSIDAD DE JAÉN
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
GRÁFICA, DISEÑO Y PROYECTOS

TESIS DOCTORAL

ESTUDIOS HISTÓRICO-TECNOLÓGICO DE LOS MOLINOS DE VIENTO DEL CAMPO DE NÍJAR. APLICACIÓN AL ESTUDIO EN DETALLE Y RECONSTRUCCIÓN GRÁFICA DEL MOLINO DEL COLLADO

PRESENTADA POR:
JUAN MANUEL AMEZCUA OGÁYAR

DIRIGIDA POR:
DR. D. JOSÉ IGNACIO ROJAS SOLA

JAÉN, 7 DE NOVIEMBRE DE 2003

ISBN 84-8439-272-4

Nombre y apellidos del autor

Juan Manuel Amezcua Ogáyar

Título de la Tesis Doctoral

Estudio Histórico-Tecnológico de los molinos de viento del campo de Níjar. Aplicación al estudio en detalle y recostrucción gráfica del molino del Collado

I.S.B.N.

84-8439-272-4

Fecha de Lectura

7 de Noviembre de 2003

Centro y Departamento en que fue realizada la lectura

Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Composición del Tribunal/Dirección de la Tesis

Dirección de la Tesis	Dr. D. José Ignacio Rojas Sola
Presidente/a del Tribunal	Dr. D. Francisco Giménez Yanguas
Vocales	Dr. D. Gonzalo Morís Menéndez-Valdés
	Dr. D. Francisco Hernández Abad
	Dr. D. Francisco Montes Tubío
Secretario/a	Dr. D. Antonio Ortega Suca

Calificación Obtenida

Sobresaliente Cum Laude por Unanimidad

Universidad de Jaén

tesis doctoral

Resumen

Los molinos de viento almerienses, que llegaron a existir en número cercano a la cincuentena en toda la provincia, más de la mitad de los cuales se encontraban en el Campo de Níjar, constituyen un conjunto homogéneo con características propias, digno de ser estudiado desde un punto de vista tecnológico.

Desde el punto de vista tecnológico, no existe ningún trabajo realizado sobre los molinos de viento del Campo de Níjar. Después de revisar el *estado del arte*, la dificultad a la hora de encontrar datos sobre estos molinos de viento almerienses es patente: es destacable la ausencia de cualquier tipo de rastro sobre los mismos en las numerosas ponencias presentadas a las cuatro ediciones celebradas de las Jornadas Nacionales de Molinología. Tampoco en la revista *Molinum*, editada por la Asociación para la Conservación y Estudio de los Molinos (A.C.E.M.), aparecen referencias a los molinos de viento almerienses.

El estado de abandono de la gran mayoría de los mismos, los cuales se han perdido inexorablemente en mayor o menor medida, hace especialmente interesante el realizar un estudio pormenorizado de los que fueron, de las distintas tipologías que se presentaban dentro de la misma comarca, así como el estudio de su posible origen.

Cuando al menos existen dos ejemplares en condiciones aceptables para abordar una futura restauración, resulta especialmente tentador el realizar un estudio exhaustivo desde el punto de vista tecnológico, con reconstrucción gráfica posterior y evolución de la misma mediante animación hasta conseguir el movimiento de toda la maquinaria del ingenio.

Existen determinadas particularidades en los molinos de viento almerienses susceptibles de ser estudiadas. Así, el rasgo de modernidad que supone la presencia en muchos de sus ejemplares del alivio automático o regulador centrífugo. Dentro de ellos, existían a su vez diferencias, suponemos en función del periodo de construcción, lo que indica una evolución tecnológica continuada en el diseño y construcción de los mismos.

El resultado inmediato de esta Tesis Doctoral es no sólo un paseo virtual por una máquina del pasado con una gran importancia económica en su comarca, en la que puede observarse su funcionamiento, sino el hecho de poder disponer de un estudio actualizado de las soluciones y prestaciones de dichas máquinas, lo que nos permite

una aproximación al alcance de los conocimientos tecnológicos de las zonas rurales del extremo sureste de nuestra región.

La presente Tesis Doctoral no es de tipo experimental, sino histórico-tecnológica, por lo que no se parte de hipótesis previas, sino que serán posteriores como consecuencia de las conclusiones que se extraigan.

Los objetivos que se pretenden con esta Tesis Doctoral, que abarca la tipología de molino de viento del Campo de Níjar, son:

- Estudio y sistematización de la información bibliográfica existente sobre molinos de viento en general, y particularizando en molinos españoles y andaluces.
- Realización del trabajo de campo, así como la toma de datos necesaria sobre el Molino de Viento del Collado, situado en la localidad de San José (Almería).
- Generación y acotación de planos de despiece del molino de viento considerado.
- Tratamiento por ordenador de dicha información gráfica.
- Realización de un inventario fotográfico de la totalidad de molinos encontrados en el Campo de Níjar, aún cuando su estado sea ruinoso. Localización de los mismos mediante GPS.
- Estudio de los restos hallados al objeto de establecer una tipología de molino de viento almeriense.
- Estudio tecnológico de los parámetros del molino de viento almeriense.
- Consideraciones críticas de las soluciones tecnológicas aportadas por estos molinos, dentro de su entorno coetáneo, cultural y respecto a otras tipologías existentes en España.

En el primer capítulo, titulado **ANTECEDENTES**, se realiza una primera introducción justificativa de la elección del tema tratado en esta Tesis Doctoral, dentro del estudio tecnológico del patrimonio industrial bajo el espíritu de la Arqueología Industrial. También se realiza una aproximación a lo que representa la molinería en general y a los dos pilares en que se sustenta: por un lado su fin u objeto, que no es otro que el proceso de la molienda, y por otro lado los medios empleados para realizarla, que son los molinos en sí mismos. Además se presenta una clasificación general de los molinos en función de la fuente de energía que utilizan.

En el segundo capítulo, **ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS MOLINOS DE VIENTO**, se analizan los molinos de viento en cuanto a sus posibles orígenes y posteriores evoluciones, desde los puntos de vista histórico y tecnológico, a lo largo de su historia. Así, se abordan las diferencias entre el desarrollo y expansión de los molinos mediterráneos

y los europeos, así como su evolución con la incorporación de diversos mecanismos novedosos conforme el avance en los conocimientos técnicos lo hacía posible.

Posteriormente se aborda un tercer capítulo dedicado íntegramente a **LOS MOLINOS DE VIENTO EN ESPAÑA**, donde se recogen las distintas tipologías de molino de viento implantadas en nuestro país, así como el alcance que esta tecnología tuvo en un incipiente desarrollo agroindustrial. También se hace un repaso a todas las contribuciones tecnológicas de origen español, a través del estudio exhaustivo de las patentes y privilegios de invención registrados respecto a los molinos de viento.

El capítulo cuarto, titulado **EL TRABAJO DE CAMPO**, describe la totalidad del proceso de toma de datos y búsqueda de ejemplares de molinos de viento en el Campo de Níjar, así como molineros de la zona a quien poder entrevistar. Se ha escogido como molino objeto de estudio el Molino de Viento del Collado de San José por ser el que mejor estado presenta en la actualidad, tanto en cuanto a su mampostería como a su maquinaria. El trabajo de campo, sustentado fundamentalmente en la toma de croquis y en el reportaje fotográfico, también se ha apoyado en la tecnología GPS para así dar como resultado un completo inventario de los molinos de viento del Campo de Níjar, que se presenta como anexo en esta Tesis Doctoral. En esta sección, se lleva a cabo la descripción exhaustiva del molino y su funcionamiento aprovechando el reportaje fotográfico para su ilustración.

El quinto capítulo recoge **LA RECONSTRUCCIÓN GRÁFICA Y LA ANIMACIÓN POR ORDENADOR**, mediante la cual el Molino del Collado de San José es objeto de un estudio riguroso y de una reconstrucción gráfica, mediante modelado y animación posterior, a base de paquetes informáticos de CAD y tratamiento de imágenes. Todo ello, a partir de los croquis y diapositivas tomados en el trabajo de campo. El resultado es la generación de planos de despiece acotados y perspectivas del molino así como una visita virtual donde puede apreciarse el molino en funcionamiento, con vistas tanto exteriores como interiores.

El sexto capítulo, denominado **ANÁLISIS TECNOLÓGICO**, se apoya en los resultados del capítulo anterior. En dicho apartado se realizan una serie de consideraciones tecnológicas sobre la tipología de molino de viento almeriense, tales como las condiciones del viento en la zona, discusión sobre la utilización de velas latinas en lugar de aspas, cálculos de potencia y par de la máquina, así como el empleo del regulador centrífugo como alivio automático.

El último capítulo se refiere a las **CONCLUSIONES**. Aquí se realizan consideraciones críticas de las soluciones aportadas por esta tipología de molino de viento dentro de su entorno cultural. Se establecen así una serie de conclusiones como consecuencia del desarrollo de los capítulos anteriores para acabar comentando posibles desarrollos futuros.

Finalmente, hay que indicar que se incluyen en la presente Tesis Doctoral como **ANEXOS** los planos generados a partir de la reconstrucción gráfica, así como el inventario de molinos de viento del Campo de Níjar. También se ha incluido el desarrollo de dos patentes españolas referentes a los molinos de viento por la singularidad que representan dentro del contexto de la utilización del molino de viento en España.

Abstract

Windmills in the province of Almeria, more than fifty in the past, most of them at *Campo de Nijar* countryside, are a homogenous set deserving to be studied from a technological point of view.

An study like this hasn't been made until now. After a review of the state of the art, the difficulty of finding data related to this windmills is clear: we must note the lack of any reference to them between the numerous papers presented at the four editions of *Jornadas Nacionales de Molinología*. We were also not able to find references to windmills from Almeria at *Molinum*, Journey issued by *Asociación para la Conservación y Estudio de los Molinos (A.C.E.M.)*.

Nevertheless, the painful state of conservation of most of them, makes more attractive a detailed study of their number, the different types that can be found in this area, as well as their origin.

In case there are at least two mills in acceptable conditions to carry out a future restoration, it is possible to do an exhaustive study from the technological point of view, and a posterior graphic reconstruction showing its evolution through graphic animation, in order to show the function of the machinery.

In the windmills of Almeria, there are certain specific features that make them an interesting object of study. Between these, we can point out the presence of samples of centrifugal regulator, a surprising modern characteristic. In these devices we have discovered some differences, that we suppose derive from the period of construction, and reveal some sort of continuous technological evolution in the design and construction of the mills.

The goal of this doctoral thesis is not only to develop a virtual walk through an ancient machine with a great economic importance in the area, allowing us to see its function, but the possibility of carry out an updated study of the solutions and capabilities of these devices, something that drive us to reach an approximation to the knowledge of the technology in the rural areas of south east Andalusia.

This doctoral thesis is not experimental, but historical and technological, so we do not start from a previous hypothesis. We formulate our hypothesis as conclusion, as a consequence of the study we are carrying out.

The goals we try to reach with this doctoral thesis are:

- Study and analysis of the existing bibliographic information regarding windmills in general, a specifically about Spanish and Andalusian mills.
- Carry out the field job, as well as the collection of data about the windmill named *Molino de Viento del Collado*, located at the town of San José (Almería).
- Plane generation of this windmill.
- Computer processing of this graphic information.
- Designing a photographic inventory of the mills identified at *Campo de Níjar* countryside, independently of its state of conservation. Positioning of them through GPS.
- Study of the remains found in order to establish a typology of the windmills in Almeria.
- Technological study of the windmills in Almeria parameters.
- Criticisms to the technological contributions of this windmills, framed in their contemporary cultural environment, and related with other types of mills existing in Spain.

In the first chapter, titled **ANTECEDENTES**, we make an introduction justifying the choice of the issue of this doctoral thesis, framed in the analysis of the technological study of industrial heritage and imbued with the spirit of Industrial Archeology. We also make an approximation to the importance of mill knowledge in general, and particularly to the two pillars supporting it: on the one hand, its main goal, that is, the process of milling. On the other hand, the resources used to carry out this process, that is, the mills themselves. Besides, a general typology of mills is presented, taking account of the energy source they use.

In the second chapter, **ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS MOLINOS DE VIENTO**, we analyse windmills according to its possible origin, and posterior evolution, from a technological and historical point of view. We show de differences between the develop and expansion of Mediterranean and European windmills, as well as their evolution by the incorporation of many original devices, following the advance of the technological knowledge that made them possible.

The third chapter is dedicated to the study of **LOS MOLINOS DE VIENTO EN ESPAÑA**. Here we analyse the different types of windmills identified in Spain, and the relevance of this technology in the incipient agrarian and industrial development. We also make a revision of the Spanish technological contributions to windmills, with an exhaustive study of patents and invention privileges registered regarding windmills.

The fourth chapter, titled **EL TRABAJO DE CAMPO**, describes the process of data collecting and searching for windmills to discover and millers to interview at

Campo de Níjar area. We chose as object of our study *Molino de Viento del Collado* in San José, because of its good state of conservation regarding the construction and the machinery. The field job, consisting mainly in map tracing and photographic report, is supported also by GPS technology, in order to reach a complete inventory of windmills in *Campo de Níjar*, and is presented as addenda in this doctoral thesis. In this chapter we do an exhaustive description of the mill function, taking advantage of the photographic report to illustrate it.

The fifth chapter, titled **La Reconstrucción Gráfica y la Animación por Ordenador**. Here, the *Molino del Collado de San José* Windmill is object of a rigurous study and of a graphic reconstruction through modelling and posterior animation, using CAD software packages and image processing. We used the maps and pictures taken during the field job. The result is the generation of planes and perspectives of the mill, as well as a virtual visit to the mill, allowing us to appreciate its function from an interior and an exterior perspective.

The sixth chapter, titled **Análisis Tecnológico**, is supported by the results of the previous chapter. Ihe are we made some technological considerations about the types of windmills in Almeria, referring to wind conditions in the area, discussion on the use of latin sheet in the place of wings, power estimations and torque of the machinery, and the use of centrifugal regulator.

The last chapter collects our **Conclusiones**. Here we make some criticisms about the solutions brought up by this type of windmill in its cultural environment. We establish some conclusions, as a consequence of the develop of previous chapters, and finish pointing out some future developments of this work.

Finally, we have to indicate that, included in this work as **addenda**, can be found the planes generated through the graphic reconstruction of the mill, the inventory of windmills located in *Campo de Níjar*, and the contents of two Spanish patents related to windmills, that we consider of interest due to their singularity in the context of the use of windmills in Spain.

UNIVERSIDAD DE JAÉN

ESTUDIO HISTÓRICO-TECNOLÓGICO DE LOS MOLINOS DE VIENTO DEL CAMPO DE NÍJAR. APLICACIÓN AL ESTUDIO EN DETALLE Y RECONSTRUCCIÓN GRÁFICA DEL MOLINO DEL COLLADO

JUAN MANUEL AMEZCUA OGÁYAR

tesis doctoral

"Respetar lo pasado renovando la tradición,
es una de las maneras más hondas de
fraguar porvenir y hacer progreso"

Miguel de Unamuno

Índice General

AGRADECIMIENTOS **7**

1. ANTECEDENTES **10**
1.1. INTRODUCCIÓN 11
1.2. LA ARQUEOLOGÍA INDUSTRIAL 14
1.3. LA MOLINERÍA Y SU OBJETO 15
A.- LOS MOLINOS DE SANGRE 18
B.- LOS MOLINOS DE AGUA 20
C.- LOS MOLINOS DE VIENTO 24
D.- OTROS MOLINOS 26
1.4. EL ARTE DE LA MOLIENDA 27
1.5. RECAPITULACIÓN 29

2. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS MOLINOS DE VIENTO **30**
2.1. EL ORIGEN DE LOS MOLINOS DE VIENTO 31
2.2. ANTECEDENTES GRECO-ROMANOS 32
2.3. LAS CULTURAS ARÁBIGA Y CHINA COMO ORIGEN DE LOS MOLINOS DE VIENTO 33
2.4. EL POSIBLE ORIGEN OCCIDENTAL DE LOS MOLINOS DE VIENTO 39
2.5. LA TIPOLOGÍA DE LOS MOLINOS DE VIENTO 40
2.6. LOS MOLINOS DE VIENTO MEDITERRÁNEOS 41
2.7. LOS MOLINOS DE VIENTO IBÉRICOS 45
2.8. LOS MOLINOS DE VIENTO EUROPEOS 51
2.9. RECAPITULACIÓN 60

3. LOS MOLINOS DE VIENTO EN ESPAÑA **62**
3.1. LA EXPANSIÓN DEL MOLINO DE VIENTO EN ESPAÑA 63
3.2. LOS MOLINOS DE VIENTO EN ANDALUCÍA 67
3.3. LOS MOLINOS DE VIENTO EN LA REGIÓN DE MURCIA 73
3.4. LOS MOLINOS DE VIENTO EN LA MANCHA 77
3.5. LOS MOLINOS DE VIENTO EN LA COMUNIDAD VALENCIANA 79
3.6. LOS MOLINOS DE VIENTO EN CATALUÑA 81
3.7. LOS MOLINOS DE VIENTO EN EL PAÍS VASCO Y NAVARRA 83
3.8. LOS MOLINOS DE VIENTO EN GALICIA 85
3.9. LOS MOLINOS DE VIENTO EN LAS ISLAS BALEARES 86
3.10. LOS MOLINOS DE VIENTO EN LAS ISLAS CANARIAS 89

3.11. Otros Molinos de Viento Españoles 91
3.12. Contribuciones Tecnológicas de Origen Español 92
A.- Privilegios de Invención 93
B.- Patentes de Invención 98
3.13. Recapitulación 111

4. El Trabajo de Campo 112
4.1. Introducción 113
4.2. La elección del molino de viento objeto de estudio 114
4.3. La búsqueda bibliográfica 116
4.4. La Metodología 118
4.5. Desarrollo del Trabajo de Campo 118
A.- Primera Etapa: El molino de viento del Collado 118
B.- Segunda Etapa: Búsqueda e Inventario de los molinos de viento del Campo de Níjar 121
4.6. Resultados Inmediatos del Trabajo de Campo 121
4.7. El entorno del molino de viento del Collado 122
4.8. Descripción del molino de viento y su maquinaria 124
A.- El edificio que alberga al molino: La Torre 124
B.- La Rueda Terrera 132
C.- El Telar 133
D.- El Chapitel 136
E.- El Sistema de Rotación Horizontal 139
F.- El Sistema de Rotación Vertical 149
G.- La Sopuente o Alzapuente 156
H.- El Alivio del molino 158
I.- La Tolva 163
J.- El Sistema de Freno 164
K.- El Palo Guía o Viga 167
L.- El Redondel del molino y sus alrededores 168
4.9. Sobre el posible origen de los molinos de viento almerienses 170
4.10. Recapitulación 172

5. La Reconstrucción Gráfica y la Animación por Ordenador 174
5.1. Introducción 175
5.2. El Modelado 176
5.3. La Animación 177
5.4. Recapitulación 185

6. Análisis Tecnológico 186
6.1. Los molinos de viento como máquinas eólicas 187
6.2. El viento como recurso energético 190
6.3. Prospección y Evaluación Eólica en el Campo de Níjar 193
6.4. La Teoría Global sobre el motor eólico de eje horizontal 197

6.5. CÁLCULOS DE POTENCIA Y PAR EN EL MOLINO DEL COLLADO 209
6.6. CONSIDERACIONES CRÍTICAS A LOS CÁLCULOS DE POTENCIA Y PAR 214
6.7. EL SISTEMA MÓVIL DEL MOLINO 215
6.8. CÁLCULOS PRODUCTIVOS 218
6.9. ANÁLISIS DE LA VELA LATINA Y SUS VENTAJAS 220
6.10. EL EMPLEO DEL REGULADOR CENTRÍFUGO 228
6.11. RECAPITULACIÓN 231

7. CONCLUSIONES 233
7.1. INTRODUCCIÓN 234
7.2. CONCLUSIONES DE CARÁCTER HISTÓRICO 234
7.3. CONCLUSIONES DE CARÁCTER TECNOLÓGICO 236
7.4. DESARROLLOS FUTUROS 240

GLOSARIO 241

BIBLIOGRAFÍA 249

ÍNDICE DE FIGURAS 259

ANEXOS 265
ANEXO 1: CONTRIBUCIONES TECNOLÓGICAS ESPAÑOLAS A LA MOLINERÍA DE VIENTO 266
ANEXO 2: INVENTARIO DE MOLINOS DE VIENTO EN EL CAMPO DE NÍJAR 278
ANEXO 3: PUBLICACIONES RELACIONADAS 291
ANEXO 4: CROQUIS Y FOTOGRAFÍAS 295
ANEXO 5: PLANOS 301
ANEXO 6: ANIMACIONES INFOGRÁFICAS 302

AGRADECIMIENTOS

Por medio de estas líneas, quisiera hacer constar mi agradecimiento a todas aquellas personas que, en distintas facetas, me han alentado y ayudado en la realización de esta Tesis Doctoral.

A mi compañero y amigo Ángel Martínez Villén, por poner a mi disposición su valiosa colección de fondos bibliográficos sobre la evolución de la tecnología, y hacerme llegar cuanta información recibía susceptible de interés.

A Daniel López y a Elisa Rodríguez, conocedores del levante almeriense y que me han acompañado y guiado durante muchas rutas en busca de restos y demás datos para poder realizar el inventario de molinos de viento de la zona.

A Miguel Espejo, Director de Logística de la empresa Santana-Motor S.A., por haberme brindado la posibilidad de utilizar un vehículo todoterreno para poder adentrarme en el entramado de pistas que dan acceso a los molinos de la zona en estudio.

También, y muy especialmente, a Francisco Ortiz y a Ramón Gil, últimos molineros con vida y juicio en el Campo de Níjar, por la amabilidad y paciencia con la que trataron de aclararme todas las dudas y preguntas que les planteaba.

Destacar mi agradecimiento a José Ignacio Rojas, doctor ingeniero industrial y profesor titular del departamento de ingeniería gráfica, diseño y proyectos de la Escuela Politécnica Superior de Jaén, sin cuyos consejos, orientaciones, dedicación afectuosa y rigurosidad, este trabajo no hubiera visto la luz.

Por último, agradecer a mi familia y amigos más cercanos la inestimable ayuda que ha supuesto su apoyo para la realización de este trabajo.

Capítulo 1

ANTECEDENTES

1.1 INTRODUCCIÓN

La presente Tesis Doctoral se enmarca dentro de la línea de trabajo que viene desarrollando el Prof. Dr. Ing. Rojas Sola, en la Universidad de Jaén, bajo el título "*Recuperación ingenieril del patrimonio industrial mediante técnicas infográficas*".

El patrimonio industrial de una comunidad es algo que, curiosamente, ha sido objeto de estudio por parte de etnólogos e historiadores. Sin embargo, estos temas no han sido tradicionalmente tratados desde un punto de vista tecnológico, desde la mentalidad de un ingeniero.

La Etnología, considerada como ciencia que estudia las naciones o pueblos bajo todos sus aspectos, indudablemente puede y debe basarse en el estudio del patrimonio industrial para sacar consecuencias sobre el *modus vivendi* de nuestros antepasados, sus costumbres y, en definitiva, sus formas de sobrevivir con los recursos de que disponían.

También se justifica el estudio del patrimonio industrial por parte de los historiadores, especialmente los dedicados a la investigación en temas de Historia Económica. En efecto, el desarrollo de la técnica a través de la historia, ha tenido como objetivo último crear una serie de artefactos y máquinas que fuesen capaces de transformar del modo más económico y eficiente los recursos energéticos, que ofrecía la Naturaleza, en trabajo mecánico que sustituyera o complementara al trabajo humano. Desde ese punto de vista, todo progreso en el diseño, construcción y funcionamiento de máquinas motrices constituye un beneficio para el género humano y representa lo que los economistas llaman una economía social [REYES, 1998].

El estudio del patrimonio industrial desde el punto de vista del ingeniero es, a nuestro juicio, de lo más apasionante. La tradicional definición del ingeniero como aquel facultativo que entiende en el diseño, construcción y manejo de ingenios y máquinas, le hace tener una

perspectiva muy particular a la hora de analizar las tecnologías de nuestros antepasados. De hecho, todos los vestigios que se puedan encontrar son susceptibles de ser estudiados y catalogados al objeto de intentar conocer cuáles fueron sus códigos de diseño, el porqué de sus tipologías, la forma y los medios con que fueron construidos, etc. En esto se sustenta la necesidad de realizar una reconstrucción gráfica, basada en aplicaciones infográficas, incluyendo planos de detalle, perspectivas de conjunto y animaciones que nos permitan abordar el estudio técnico de dichos ingenios, cómo funcionaban, cuál era la forma de proceder en su explotación, de qué dependían sus rendimientos, cuáles debían ser los conocimientos de los que los utilizaban y construían, por qué se utilizaban en ciertas comarcas y en otras no, y hasta qué punto llegaban a ser máquinas óptimamente diseñadas para su época [ROJAS, 1997].

Hoy día, uno de los patrimonios industriales más interesantes de estudiar son todos aquellos relacionados con la molinería, puesto que constituyen uno de los más abundantes y desconocidos instrumentos técnicos de nuestro patrimonio histórico. La existencia de asociaciones tales como ACEM (Asociación para la conservación y estudio de los molinos) así lo atestigua. Esta asociación es la única sociedad molinológica de ámbito estatal que estudia los molinos de cualquier tipología. Entre sus objetivos se encuentra el fomentar el estudio y conocimiento en particular de los molinos de todo tipo y en general de aquellos edificios, elementos y mecanismos que utilicen para su funcionamiento las distintas energías tradicionales.

Los diversos tipos de molinos que pueden encontrarse en nuestro país, y más concretamente a nivel andaluz, diversificaban su actividad tanto en la molturación de granos, como en el abatanamiento de los paños o en la metalurgia del cobre y del hierro con los martinetes. Presentan, por tanto, rasgos de auténticas explotaciones preindustriales, con una gran complejidad y un alto índice de productividad.

Además, resulta más que interesante la dedicación al estudio de los molinos de viento harineros, por las distintas tipologías que presentan en la región, y lo escasamente estudiados que resultan, sobre todo en su vertiente tecnológica.

La presente Tesis Doctoral se centrará en el estudio del molino de viento almeriense, un grupo tipológico de molino de viento andaluz muy numeroso y, seguramente, el más desconocido, frente a los de Huelva y Cádiz. Ello hizo que nos decantásemos por su estudio, además de la ausencia de vestigios físicos de entidad en nuestro entorno provincial más cercano.

En el ámbito de la provincia de Jaén, existen varios estudios realizados cuyo objeto son los molinos hidráulicos, como los de la sierra de Segura [VIGUERAS, 1995] y los del pago de La Guardia y arroyo de Valparaíso [CÓRDOBA, 1998], entre otros. En cuanto a molinos harineros de viento, si bien no constituyeron un grupo homogéneo ni numeroso, debido sin duda a la abundancia de cauces, sí que hemos encontrado cuatro referencias respecto a la existencia de los mismos en nuestra provincia.

La primera de ellas ha sido el hecho de que Pier María Baldi dibujó en la segunda mitad del siglo XVII el molino de viento de Linares [SÁNCHEZ MOLLEDO, 1995a], que actualmente no existe.

La segunda referencia se localiza en La Carolina. En esta población, existe una vía denominada Paseo del Molino de Viento, suponemos que por la existencia allí de un ingenio de este tipo en tiempos pasados. Esta suposición se tornó realidad cuando encontramos en el Archivo Histórico Municipal de La Carolina el legajo número 218, documento 2500, que data del año 1812. En este documento, se dice textualmente: "*...los juegos de naipes provocaron fricciones entre las familias. El robo a pequeña y gran escala continuó; en algunos casos, cerca de los núcleos, como el perpetrado en la venta de Baeza, entre La Carolina y Navas de Tolosa, o el cometido por un empleado que arrampló trigo, centeno, otras semillas y las cuatro velas del molino de viento de la entrada a La Carolina, que luego dio nombre al paseo...*"Hasta el momento no hemos encontrado evidencia física alguna sobre el mismo.

Una tercera referencia también procede del Archivo Histórico Municipal de La Carolina, en el que existe el "*Testimonio de la Mojonera General del término de las Nuevas Poblaciones de Sierra Morena*". En este documento, se indica literalmente: "*...Y siguiendo la propia vereda, alas 80 varas se encontró a una morrilla por donde ella pasa y allí se amontonaron piedras y se formó el mojón 196 de la general y 46 divisorio de Baños y las Poblaciones que da vista al Cerro del Acebuche, a La Carolina, Molino de Viento y muchas suertes de ella, de Carboneros y de Guarromán y se descubre la corona del cerro de Martín Amigo...*" Según esta referencia debió existir algún otro Molino de Viento entre Baños de la Encina y La Carolina.

Una última referencia, de la que sí hemos encontrado evidencia física (figura 1), es la existencia de un molino de viento restaurado en la localidad de Baños de la Encina. Este molino, denominado "Molino del Santo Cristo", parece datar del siglo XVIII, y es claramente de tipología manchega, sin duda por la cercanía con la provincia de Ciudad Real.



Figura 1: Molino de Viento del Santo Cristo, en Baños de la Encina (Jaén). *Fotografía del autor.*

Antes de entrar de lleno en el estudio del origen y evolución de los molinos de viento, que se abordará en el capítulo segundo, en este capítulo se realizará una primera aproximación a la disciplina conocida como *Arqueología Industrial*, cuya filosofía inspira la realización de esta Tesis Doctoral; posteriormente se llevará a cabo la revisión bibliográfica sobre la molinería, como paso previo al desarrollo de la investigación. Se realizará una aproximación sobre lo que es la molinería y las diferentes tipologías que presenta, así como una descripción de las técnicas de molienda

1.2 LA ARQUEOLOGÍA INDUSTRIAL

La Historia es la ciencia que se ocupa fundamentalmente de los grandes acontecimientos que han marcado el devenir de la humanidad; raramente se contempla desde su punto de vista la evolución de los elementos que contribuyen al desarrollo de los pueblos y naciones.

Es más, los ingenios, grandes o pequeños, que un día transformaron la vida de nuestros antepasados sólo son sacados a la luz de vez en cuando mediante los estudios de etnólogos e historiadores, con el objeto de recuperar y revalorizar el patrimonio cultural en general, e industrial en particular.

El progreso de la técnica junto a la economía y la organización social desemboca en la realidad actual de la sociedad: el pasado ha condicionado la forma del presente, como el presente condicionará nuestro futuro. *Tanto mejor aprehenderemos nuestro presente cuanto más a fondo conozcamos nuestro pasado* [AGUIRRE, 1998]. Y éste último nos ha condicionado tanto más cuanto más próximo a nosotros sea el hecho a analizar. Esta es la filosofía que, desde el punto de vista del patrimonio pre-industrial e industrial, preside la disciplina de *Arqueología Industrial*.

Los primeros impulsos en favor del estudio y conservación de los restos industriales surgieron en Inglaterra, extendiéndose posteriormente al resto de los países europeos en mayor o menor medida [RAMOS ET AL, 1991].

En este contexto de revalorización de los vestigios del pasado industrial como parte integrante de la memoria histórica de una sociedad, aparece la disciplina denominada Arqueología Industrial. Ramos apunta la definición que el arqueólogo Andrea Carandini realiza sobre esta disciplina: "*la ciencia que tiene por objeto el estudio de la cultura material y los aspectos ligados a la producción, distribución y consumo de bienes, en su devenir y en las conexiones con el pasado histórico*".

Para Buchanan, *la arqueología industrial tendría como objeto el descubrimiento, análisis, registro y preservación de los restos industriales del pasado,* para lo que es preciso recurrir al trabajo de campo y, en ocasiones, a la técnicas excavatorias de los arqueólogos [FORNER, 1991].

Para otros autores, *la finalidad de la arqueología industrial es el descubrimiento, la catalogación y el estudio de los restos físicos del pasado industrial, para conocer a través de ellos aspectos significativos de las condiciones de trabajo y de los procesos técnicos y productivos* [HUDSON, 1976].

En España, esta disciplina arraigó a principios de la década de los ochenta, con especial atención en Cataluña y el País Vasco, las que con toda evidencia aparecían como las regiones donde el Patrimonio Industrial obsoleto estaba siendo eliminado con mayor velocidad y donde lógicamente, la sensibilidad hacia el mismo adquirió igualmente un ritmo también más rápido.

En ambas regiones se crearon Museos de la Ciencia y de la Técnica, y una Asociación Española de Patrimonio Industrial y de la Obra Pública, que organizó junto con otras instituciones varios congresos.

1.3 LA MOLINERÍA Y SU OBJETO

Se entiende por *molinería* a la técnica propia de molinos o fábricas de harina. Otra acepción del término puede ser todo lo referente a un conjunto de molinos o a la industria molinera. En este sentido es la industria que tiene por objeto moler o extraer un producto denominado harina que existe en el perispermo amiláceo de los granos de los cereales y de otras semillas.

La harina de los cereales está compuesta fundamentalmente por dos tipos de sustancias: una hidrocarbonada, denominada fécula, y otra

nitrogenada, denominada gluten; además existe en su composición otra serie de materias menos importantes como sacarinas, grasas y minerales.

La extracción de la harina se realiza en el proceso denominado *molienda*, mediante el cual se tritura el trigo o la semilla de que se trate en aparatos denominados *molinos*. El proceso completo de la molienda se lleva a cabo mediante cuatro operaciones básicas, a saber: selección del grano, preparación, molienda y cernido.

El término *molino* procede del latín tardío "*molinum*", que significa muela. Es un sustantivo polisémico puesto que presenta, al menos, una doble acepción. En primer lugar, está la identificación del molino como "*toda máquina que sirve para moler, estrujar, machacar, triturar o desmenuzar cualquier cosa*" [FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 1997]. Incluso hay definiciones que van más allá y consideran al molino como aquel ingenio compuesto por dos muelas superpuestas y giratorias, movidas por el viento, caída de agua, animales o motor, y destinado a moler granos o triturar determinadas sustancias [ALONSO, 1986].

Una segunda acepción del vocablo molino se refiere al edificio donde está instalada la máquina referida en la primera acepción [SAMPEDRO, 1998].

En la figura 2 aparece una clasificación general de los molinos, empleando como criterio principal la fuente de energía empleada en la molienda. En función de la fuente de energía que haga moler la maquinaria del molino, se pueden distinguir:

A. El molino de sangre.
B. El molino de agua o hidráulico.
C. El molino de viento.
D. Otros molinos movidos por motores.

Las primitivas formas de trituración, de accionamiento humano, tales como los morteros y los molinos de vaivén, dieron paso a otras formas en que se aprovechaba mejor la energía empleada, ya fuese del ser humano, del animal, hidráulica o eólica: surgieron así los molinos rotatorios. Para dominar estas nuevas técnicas de molienda resultó preciso el dominio de los caudales de agua, realizar encauzamientos de arroyos o ríos, orientar las aspas al viento dominante, mejorar los elementos de transmisión del movimiento, etc.

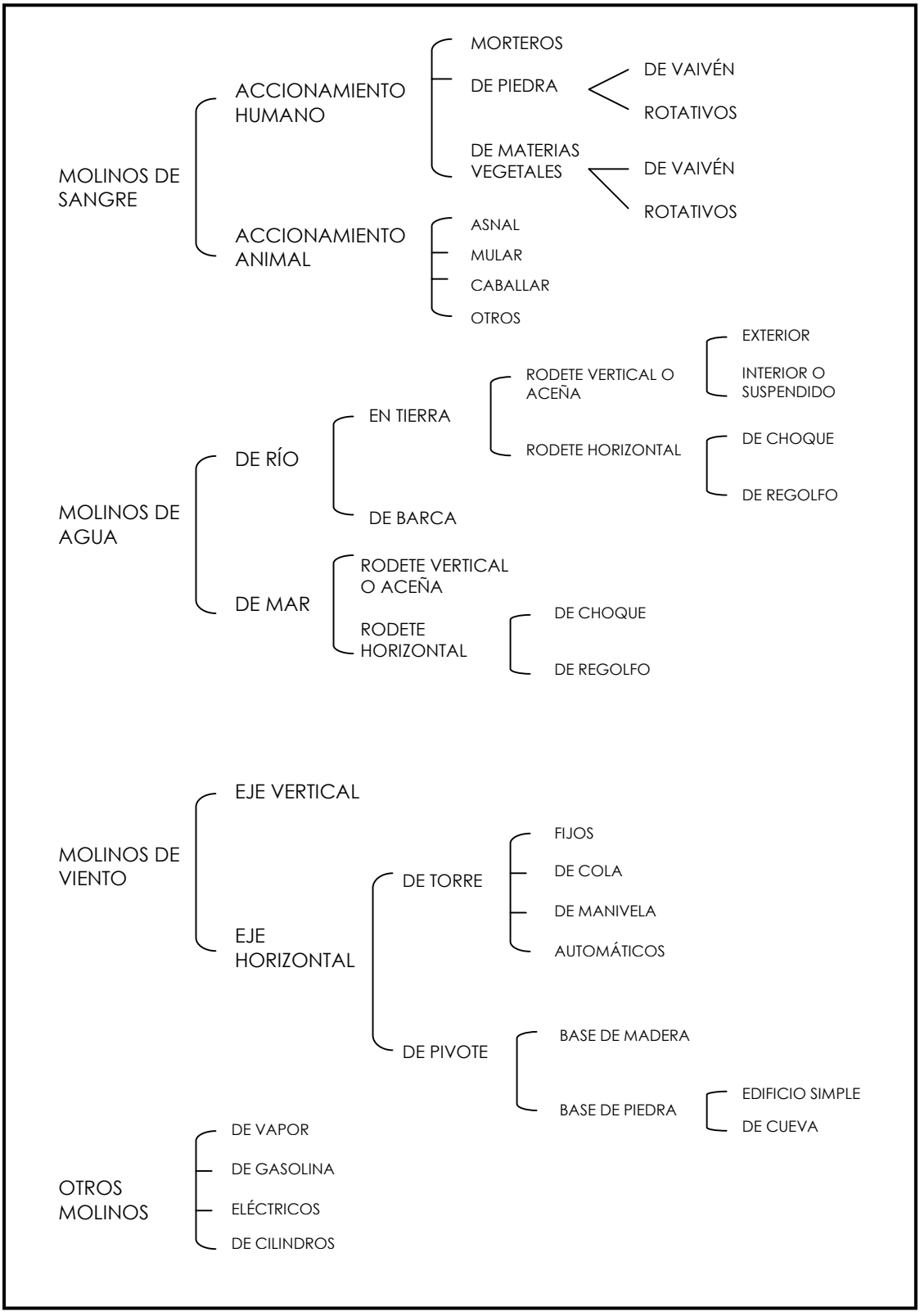


Figura 2: Clasificación General de los Molinos. *[SAMPEDRO, 1998]*.

Todas estas mejoras de orden tecnológico evidencian la relación directa existente entre la evolución cultural y el avance en la cantidad y calidad de la energía utilizada por las sociedades humanas [REYES, 1998].

A continuación se exponen las características más destacables de los cuatro grupos de molinos que se han distinguido en función de las diferentes fuentes de energía que aprovechan.

A.- LOS MOLINOS DE SANGRE

Como indica su nombre, utilizaban como fuerza motriz la tracción de un ser vivo, ya fuese humano o animal. Pueden distinguirse entre los de accionamiento humano y los de accionamiento animal.

A.1.- MOLINOS DE SANGRE DE ACCIONAMIENTO HUMANO

Son los mollinos de mano que el hombre ha usado y usa para moler alimentos de todo tipo. Podemos distinguir tres grupos:

A.1.1.- Morteros

Son los recipientes cóncavos (figura 3), generalmente realizados en madera o piedra, y que se usan para triturar el grano introducido en ellos, con el concurso de una "mano" o palo con el que se golpea.



Figura 3: Molienda con mortero de mano. *Grabado chino.*

A.1.2.- Molinos de piedra

Son los molinos utilizados de forma manual para el triturado de los granos. A su vez se distinguen dos tipos: el de vaivén y el rotativo.

El molino de piedra manual de vaivén, también llamados "barquiformes" o "amigdaloides" [AGUIRRE, 1988], en los que el movimiento se realiza en forma alternativa o de vaivén, moliendo el grano que se introduce entre ambas piedras.

El molino de piedra manual rotativo (figura 4) está formado por una piedra fija, base o solera, y una superior, móvil o volandera, que gira con movimiento de rotación sobre la primera. El grano es introducido entre ambas y sale por los costados ya triturado. La

figura 4 responde a la concepción que Juanelo Turriano[1] tenía de esta tipología, siendo la figura número 212 de su libro onceno.

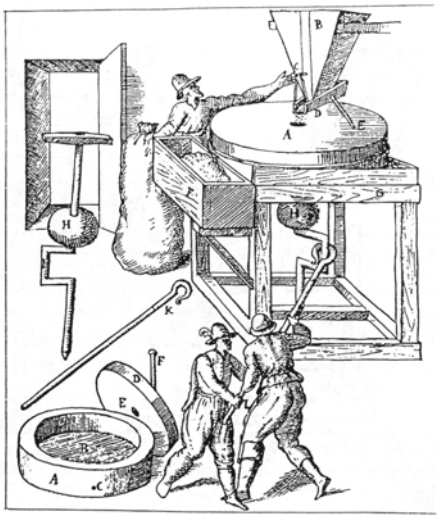


Figura 4: Molino de accionamiento humano. *Juanelo Turriano.*

Es destacable el hecho de que el mundo romano, heredero de las conquistas técnicas acaecidas en el pasado, difundió y mejoró las artes de la molienda incorporando las evoluciones de este tipo de molinos. Así, la abundancia de mano de obra esclava hizo que al principio se siguiera empleando la *mola manuali*; el mortero y el molino de mano fueron ampliamente utilizados para, posteriormente, y cara a satisfacer las necesidades del desarrollo urbano romano, su intendencia militar e incremento de la densidad demográfica, ir incorporando nuevas tecnologías con el fin de aprovechar al máximo los recursos energéticos disponibles, y así obtener un incremento en la productividad, obteniendo más harina en menos tiempo.

A.1.3.- Molinos vegetales

Son molinos de accionamiento manual fabricados con materiales vegetales en su estructura básica. Usan para la molienda la fricción en lugar de la percusión o golpe. Estos molinos son típicos de regiones donde no abunda la piedra y sí en cambio las materias vegetales, tales como maderas u otras fibras como mimbre, caña, etc., suficientemente duros para romper los granos introducidos en ellos. Al igual que en los molinos de piedra, se distingue entre los de molinos de fricción de vaivén y los de fricción rotativa.

A.2.- MOLINOS DE SANGRE DE ACCIONAMIENTO ANIMAL

Los molinos de sangre de accionamiento animal pueden agruparse en función del animal empleado para su accionamiento, a saber: asnos, mulos, caballos, bueyes, etc.

[1] Juanelo Turriano fue el Ingeniero Mayor del rey Felipe II. Escribió "Los veintiún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo Turriano". El libro onceno trata de diversas maneras de molinos y tahonas.

Este tipo de molinos constituye una importante evolución. Como se ha comentado anteriormente, en el mundo romano, a la vez que crecen las necesidades van surgiendo nuevos métodos de molienda. La *molae jumentariae*, o molino de sangre de tracción animal de la figura 5, llegaba a cuatriplicar los rendimientos conseguidos con el concurso del esfuerzo humano [RICHARDSON, 1962].

En la figura 6 se representa un esquema típico de un molino de accionamiento animal, a través de un asno, según Juanelo Turriano. Corresponde a la figura número 211 de su libro onceno.

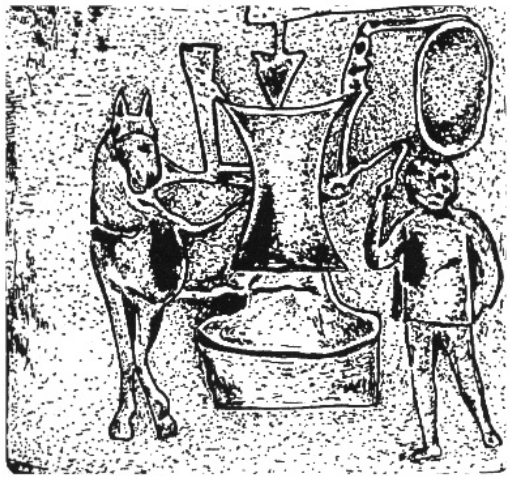


Figura 5: Mola jumentaria. *Museo de Ostia.*

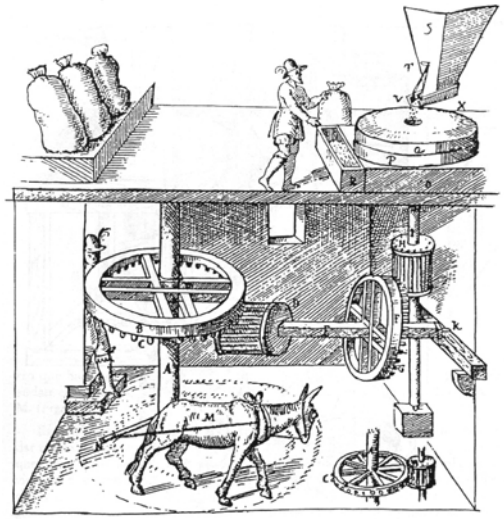


Figura 6: Molino de tracción animal. *Juanelo Turriano*

B.- LOS MOLINOS DE AGUA

Dentro de esta tipología se encuentran todos los molinos que utilizan el agua para su accionamiento; distinguiremos entre los molinos de río y los de mar.

B.1.- LOS MOLINOS DE RÍO

Dentro de estos molinos distinguiremos fundamentalmente entre aquellos que están instalados en tierra, concretamente en los márgenes del río, y aquellos otros situados en barcas.

B.1.1.- Molinos de tierra

Están instalados en las orillas de los ríos y utilizan las aguas de éstos como fuerza motriz. A su vez se agrupan en dos clases: aceñas (o molinos de rodete vertical) y molinos de rodete horizontal.

Las aceñas presentan sus paletas o el rodete unido a un eje horizontal. El agua al pasar mueve el rodete y transmite este movimiento a las muelas. En la figura 7 puede observarse la interpretación que Juanelo Turriano hace del funcionamiento de una aceña genérica. Corresponde a la ilustración número 216 de su libro onceno.

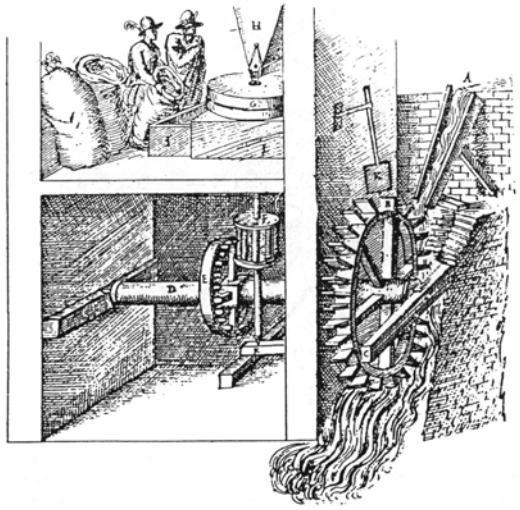


Figura 7: Aceña o molino de río de rueda vertical. *Juanelo Turriano.*

Los romanos conocieron este molino hidráulico de rodete vertical como molino *vitruviano*. Éste consistía básicamente en un molino harinero hidráulico, en que la corriente empujaba una rueda grande compuesta de varias aletas. En el extremo opuesto del eje de dicha rueda había otra que movía una linterna horizontal, que estaba a su vez atravesada por un eje de hierro, el cual movía la muela. Sobre la muela colocaban la tolva por la que caía el grano [CASTAÑEDA, 1761]. En Francia, en la localidad de Barbégal (figura 8), cerca de Arles, se ha descubierto una gran factoría harinera romana, a base de dos filas formadas cada una por ocho molinos vitruvianos puestos en serie. En total dieciséis molinos que constituyen una prueba más del desarrollo tecnológico romano [HODGE, 1991].

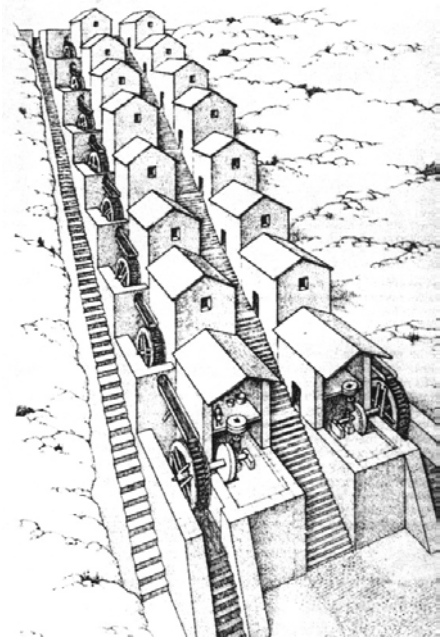


Figura 8: Molinos harineros de Barbégal. *Hodge.*

Los molinos de tierra de rodete horizontal tienen éste unido a un eje vertical. El agua golpea a unas aspas colocadas en una rueda o rodete y mediante el eje vertical se transmite el movimiento a las piedras. En la figura 9, correspondiente a la ilustración número 219 del libro onceno de Juanelo Turriano, puede apreciarse un esquema de un molino de este tipo.

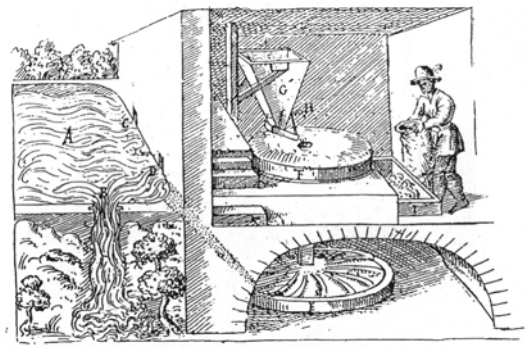


Figura 9: Molino de río de rodete horizontal. *Juanelo Turriano.*

Dentro de los molinos de río, con rodezno horizontal, puede distinguirse entre los molinos de "choque" y los de "regolfo". En los molinos de choque están por un lado los molinos de canal (abierto o cerrado) y los molinos de cubo de presión, como el de las figuras 10 y 11[AGUIRRE, 1988]. Los molinos de regolfo, muy comunes en Galicia, se clasifican en "muíños de tinalla" y "muíños de caldeira".



Figura 10: Molino de cubo de presión en Abla, Almería. *Fotografía del autor.*



Figura 11: Cárcavo del molino de cubo de Abla, Almería. *Fotografía del autor.*

También se tiene constancia de la utilización por parte de los romanos de los molinos hidráulicos de regolfo (figura 12), con rodetes horizontales, alojados en recintos de piedra de forma cilíndrica, conocidos como paraderas o regolfos; allí la corriente se recogía algo descentrada al objeto de que actuase primordialmente sobre un lateral de la rueda, al igual que lo haría sobre una turbina. Tres ejemplos de éstos se han encontrado dispuestos en paralelo en Chemtou, al oeste de Túnez, y se ha estimado que datan del siglo II d.C. [HODGE, 1991].

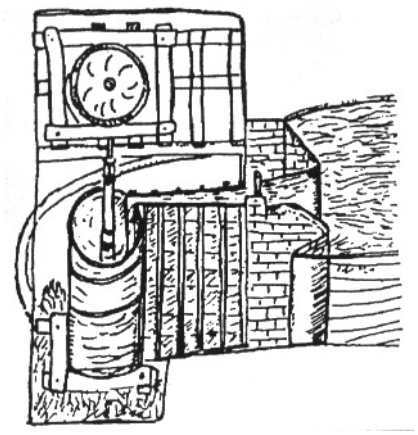


Figura 12: Molino de regolfo. *Fernández Lavandera.*

B.1.2.- Molinos de barca

Este tipo de molinos de río se sitúan en una o varias barcas (figura 13) que se amarran a las orillas, a un puente o se anclan sobre el propio fondo. Utilizan para su funcionamiento la corriente del río.

Los molinos flotantes, conocidos también como molinos de río en barca, provienen asimismo del mundo romano. Existen citas, como la de Procopio de Cesárea en su obra "*De bello gotico*", que data aproximadamente del 555 d.C., en que se afirma que un general romano de nombre Belisario ordenó el emplazamiento de ruedas hidráulicas entre dos barcos anclados en los puentes del Tíber [FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 1997].

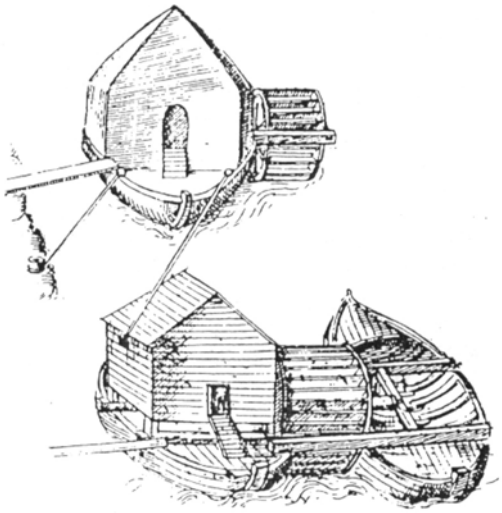


Figura 13: Molino de barca. *Aguirre Sorondo.*

B.2.- LOS MOLINOS DE MAR

Son molinos que se sirven para su accionamiento del flujo y reflujo de las mareas. Al igual que los molinos de río en tierra, se dividen para su estudio en aceñas (rodete vertical), también llamado en algunas regiones "molino de mareas", "acías", "enciena", "encieña" o "molí de mar" [LÓPEZ ÁLVAREZ, 1995]; y molinos de mar de rodete horizontal.

El principio de funcionamiento es el mismo que el de los molinos fluviales, aprovechando los desniveles causados por la mareas para poder almacenar agua en la pleamar, abriendo una serie de compuertas, que se cierran en la bajamar. Estas aguas se canalizan por los saetillos como en cualquier molino fluvial, hasta llegar a los rodeznos.

Por su tipología, es conveniente su ubicación en costas con bastantes entrantes y salientes, para poder construir las represas [MORÍS, 2001].

C.- LOS MOLINOS DE VIENTO

Son aquellos molinos que utilizan la energía eólica para su funcionamiento. Dentro de ellos podemos distinguir:

C.1.- MOLINOS DE VIENTO DE EJE VERTICAL

Son aquellos que poseen un número determinado de aspas o velas unidas a un eje vertical, el cual a su vez está conectado con las piedras, bien directamente o bien a través de mecanismos intermedios, siendo éstas las que producen la molienda.

C.2.- MOLINOS DE VIENTO DE EJE HORIZONTAL

Realmente no tienen el eje totalmente paralelo al suelo, pero se denominan así en contraposición a los anteriores. Son en su mayor parte molinos de viento cuyo eje se presenta más o menos horizontal, al cual se engarzan unas aspas o velas que recogen la energía creada por el impulso del viento y la transmite a las muelas a través de una serie de mecanismos de transmisión.

Dentro de esta tipología de molino de viento de eje horizontal, pueden distinguirse los molinos de torre y de pivote.

C.2.1.- Molinos de viento de torre

Son aquellos que, siendo de eje horizontal, su construcción se basa en un edificio con una parte superior donde van colocadas las aspas sobre un eje prácticamente horizontal (figura 14).

Las aspas o velas de los molinos de viento de eje horizontal han de orientarse enfrentados al sentido en que sopla el viento, por lo que según el mecanismo que utilicen para orientar el mismo, se subdividen en fijos, de cola, de manivela y automáticos.



Figura 14: Molino de viento de torre. *Ayala-Carcedo.*

Los fijos son aquellos que no pueden variar su orientación y corresponden a construcciones pequeñas y muy arcaicas, en lugares donde el viento sopla con bastante frecuencia e intensidad, siempre en la misma dirección.

Los molinos de cola son aquellos en los que existe un mecanismo cuyo fin consiste en girar su techo, aspas o velas y eje para el mejor provecho de la energía. Este mecanismo puede ser accionado mediante la fuerza humana o animal, con ayuda de algún elemento auxiliar, siempre sirviéndose de una pértiga o cola que, partiendo de la techumbre llega hasta el suelo.

Los molinos de manivela, más avanzados, son aquellos que para la orientación de las aspas o velas utilizan un mecanismo interior por el cual, a través de una manivela, se gira la totalidad de la estructura de la techumbre que incorpora el eje y las aspas.

Los molinos automáticos están provistos de un sistema de giro automático en función de la fuerza del viento para orientarse enfrentados al mismo y obtener así la mayor energía posible.

C.2.2.- Molinos de viento de pivote

Son aquellos que, siendo de eje horizontal, su edificio está elevado con respecto a la cota del suelo (figura 15). Según sea el pivote o base que los sustenta, se clasifican en molinos de pivote de madera y pivote de piedra.

Los molinos con pivote de madera son aquellos en los que el edificio del molino está unido al suelo a través de una construcción de madera. Para un óptimo provecho todo el edificio gira en la posición favorable al viento.

Los molinos con pivote de piedra son aquellos en los que el edificio del molino es de madera y soportado por un pivote que, por cuestiones de robustez, es una construcción en piedra. También es todo el edificio el que se mueve en aras de una óptima utilización del viento. Una variante de este último es el molino de cueva, situado estratégicamente encima de un talud para alcanzar mayor altura.

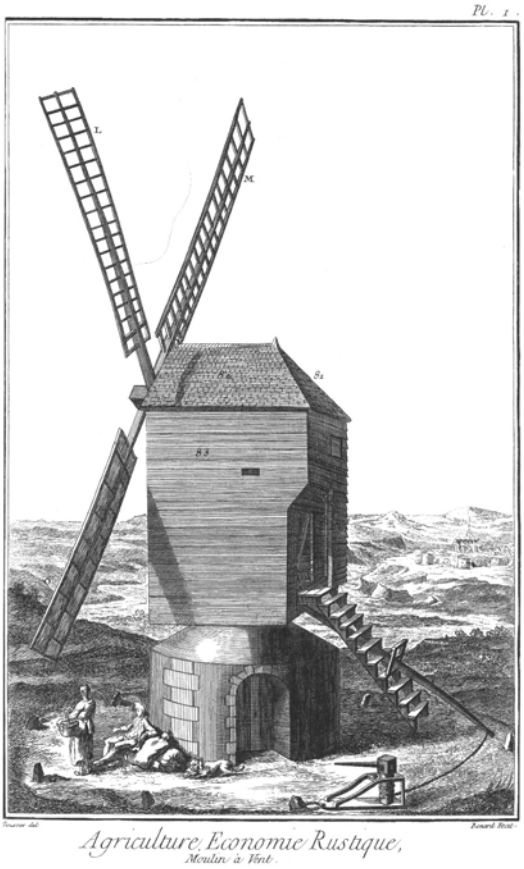


Figura 15: Molino de viento de pivote.
L`Encyclopédie de Diderot.

D.- OTROS MOLINOS

Además de los molinos comentados, más o menos tradicionales, existen o han existido otros muchos tipos en función de los descubrimientos técnicos o energéticos que se han producido a lo largo de la cercana historia.

Dentro de éstos podrían clasificarse los molinos de vapor, los accionados por motores de gasolina, motores eléctricos o los molinos de cilindros.

La aplicación de los sistemas de cilindros a los molinos supuso un gran avance en la evolución del proceso de molienda. Su utilización comienza a principios del siglo XIX y consiste en la trituración del grano mediante varios pares de rodillos estriados en espiral seguidos por otros lisos [REYES, 2001].

1.4 EL ARTE DE LA MOLIENDA

El proceso de molienda, refiriéndonos aquí en exclusiva a la del cereal, es un proceso mezcla de sistematización y de arte. Tradicionalmente existen una serie de operaciones a realizar con el grano antes, durante y después de la molienda propiamente dicha, y que se pueden esquematizar en: selección del grano, preparación del mismo, molienda y posterior cernido.

Independientemente del tipo de molino que se trate, hidráulico o de viento fundamentalmente, había que abordar unas operaciones *previas* a la molienda. Dentro de éstas, una vez seleccionado el cereal, están la *limpieza del grano* y el *templado* del mismo. Después sigue el proceso de *molienda* propiamente dicho. Como operaciones *posteriores*, abordaremos el *cernido* de la harina.

La primera operación a realizar dentro de la preparación era la *limpieza del grano*. El trigo que llegaba a los molinos solía estar mezclado con otros elementos vegetales, como hojas, pajas, etc. En función del tipo de molino, se disponía de más o menos medios para realizar esta separación. Lo normal solía ser el empleo de una criba tolva; en molinos más grandes pasaría posteriormente por una criba rotatoria, hasta la que el cereal llegaba mediante unos sinfines, todo ello movido por la acción del agua a través de unas transmisiones.

Una vez limpio el grano, se procedía a realizar una segunda operación, también previa a la molienda, cuyo nombre varía en función de las regiones. En Andalucía se le conocía con el nombre de *templado*. Esta operación tenía como objetivo ajustar la humedad para facilitar la posterior separación del grano de la cáscara, a la vez que proceder al lavado del mismo. Para ello se introducía el grano bien en una pila con

agua, bien en espuertas mediante trasiego, quedando la china en el fondo del agua mientras que el trigo, que quedaba arriba flotando, se recogía con otra espuerta [GIL, 1992]. Luego este trigo pasaba a la era de secado donde permanecía hasta conseguir el grado de humedad adecuado.

Tras estas operaciones se procedía a la *molienda*. Consiste la molienda en la trituración del grano, que se efectúa en el molino. Por tanto, los elementos principales en esta operación eran las ruedas de moler. Éstas eran dos piedras, con diámetro variable entre 1,20 y 1,50 m en función del tipo de molino, y una altura entre 40 y 50 cm cuando eran nuevas. Una de ellas permanece fija (normalmente conocida como solera) y la otra gira sobre la anterior (normalmente conocida como volandera). La superficie de contacto de ambas piedras era áspera, y ese carácter se acentuaba con la realización de una serie de hendiduras en las mismas, cuya tipología y forma de realizarlas serán objeto de análisis en posteriores capítulos.

Ambas ruedas se cubrían con una carcasa de madera o esparto, al objeto de que el cereal molido no se saliera por doquier sino que fuera conducido mediante una canal al harinal, desde donde se pasaba directamente a ensacar o bien al cedazo. Hay que indicar que para conseguir la calidad de la harina en esta operación, el molinero disponía del alivio. Mediante este artilugio, movido a través de un sistema de poleas, el molinero podía, tirando más o menos, calibrar el espesor de la molienda, ya que el alivio regula la distancia entre las piedras solera y volandera.

Una operación *posterior* a la molienda era el *cernido*, que consistía en separar la harina del salvado. Según la tipología y tamaño del molino, esta operación se podía realizar de distintas formas. Así, en un molino de viento, la harina pasaba directamente del harinal a un cedazo pequeño, de movimiento manual. En molinos hidráulicos es habitual ver la utilización de un cedazo con movimiento accionado a través de una serie de transmisiones por correas y ruedas dentadas. Los primeros cedazos consistían en unos simples bastidores que incorporaban una tela de seda, y a los que se les aplicaba un movimiento de vaivén mediante excéntricas. Posteriormente, se incorporaron otros cedazos en forma de bombo o bastidor cilíndrico, cubierto con una tela de seda, que mediante un movimiento rotatorio iba separando la harina del salvado.

1.5 RECAPITULACIÓN

En el presente capítulo se ha realizado una primera introducción justificativa de la elección del tema de esta Tesis Doctoral, dentro del estudio tecnológico del patrimonio industrial bajo el espíritu de la Arqueología Industrial.

También representa una aproximación a lo que es la molinería en general y a los dos pilares en que se sustenta: por un lado su fin u objeto, que no es otro que el proceso de la molienda, y por otro lado los medios empleados para realizarla, que son los molinos en sí mismos.

Además se ha realizado una clasificación general de los molinos bajo el criterio de la fuente de energía utilizada.

Capítulo 2

ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS MOLINOS DE VIENTO

2.1.- EL ORIGEN DE LOS MOLINOS DE VIENTO

El origen de los molinos de viento es, hoy por hoy, un tema controvertido y que no ha sido claramente definido. Existen varias tesis en cuanto a los orígenes de los molinos de viento, y todas ellas cuentan con algún argumento de peso.

En cualquier caso, lo que sí es claro es que las referencias históricas a los molinos de viento son muy posteriores a las existentes sobre los molinos hidráulicos, y su origen es aún más incierto que los de estos últimos [REYES, 2001].

El estudio riguroso y paradigmático de Julio Caro Baroja[2] confirma que las tesis más importantes en cuanto al origen de los molinos de viento son tres [CARO, 1996] :

I. Las que opinan que el mundo greco-romano ya conocía los fundamentos mecánicos y los principios que regían el movimiento de la rueda expuesta al aire; no obstante, como se verá más tarde, no hay evidencia de su utilización en el ámbito de la molinería.

II. Las que sostienen que los molinos de viento son de invención oriental, fruto de la cultura arábiga y de la cultura china, y fueron llevados al mediterráneo por la cultura islámica y a Europa en la Edad Media por los cruzados.

III. Otras defienden que los molinos de viento fueron inventados en torno al siglo XII por alguien en la Europa occidental, surgiendo así

[2] Julio Caro Baroja escribió en el año 1952 un estudio titulado "Disertación sobre los molinos de viento", que fue publicado en la *Revista de Dialectología y Tradiciones Populares*, Vol. III, cuadernos 2, Madrid. Un resumen de dicho estudio se incluye en la referencia bibliográfica aportada.

espontáneamente en este continente; ejemplos serían los típicos molinos de Holanda, Bélgica, etc.

A continuación se analizan los argumentos que parecen avalar cada una de las tesis expuestas.

2.2.- ANTECEDENTES GRECO-ROMANOS

La cultura griega, y más concretamente la mitología, consideraba las fuerzas de la naturaleza (fuego, agua, viento) como de uso y dominio exclusivo de los dioses, y que éstos no aceptaban de buen grado la intromisión en sus dominios. Esta concepción mitológica de la naturaleza no ayudaba, desde luego, al desarrollo de la técnica.

Pese al importante desarrollo científico de la cultura griega, el hecho de que su economía estuviera basada en una agricultura de subsistencia, con pocos intercambios de índole comercial, con una estructura social donde la mano de obra esclava era muy abundante, no ayudaba al desarrollo de la tecnología, ya que no había condiciones imperativas para el desarrollo de maquinaria que favoreciese una mejora en los métodos de producción.

En cualquier caso, Caro Baroja nos indica que H.P. Vowles estudió los fundamentos para defender la tesis del conocimiento del molino de viento por parte de los griegos. Así, como prueba, argumenta la referencia en un texto de carácter técnico, atribuido a Herón de Alejandría (siglo II d.C.), a una máquina neumática conocida como *Aneuriom*, que giraba impulsada por el viento y cuyo fin era proporcionar el aire para el funcionamiento de un órgano. Dicho artefacto aparecía descrito en un libro sobre sistemas de medidas de Herón, del que tan sólo se conserva una copia en muy mal estado que fue realizada por un geógrafo de origen árabe en el siglo XVI [CÁDIZ Y RAMOS, 1984].

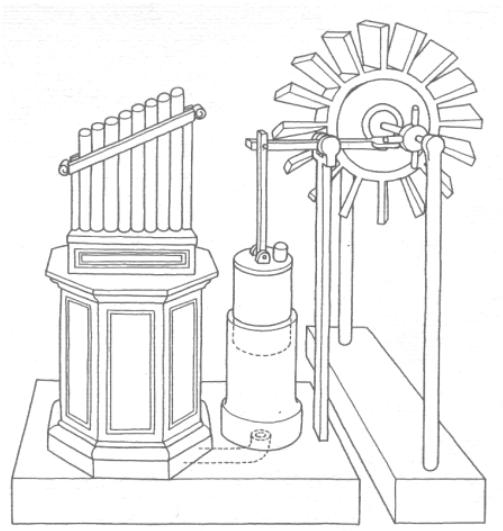


Figura 16: Aneuriom de Herón de Alejandría. *Schmidt.*

Así, en la descripción de tal artefacto, el viento movería el rotor de eje horizontal, solidario con una rueda

de paletas. Esta rueda de paletas accionaba una barra horizontal, conectada en extremo a un barrón vertical que accionaba un pistón, que a su vez enviaba el aire a las flautas del órgano. En la figura 16 aparece el esquema de este *Aneuriom*, según la reconstrucción de Schmidt [CARO, 1996].

Ahora bien, la descripción del *Aneuriom* no viene acompañada de ningún otro vestigio que haga suponer la utilización del viento directamente aplicado a la molinería. Es cierto que el rotor del artefacto está situado en un eje horizontal, transmitiendo el movimiento a través de otra rueda más pequeña que sirve de engranaje, por lo que podría suponerse que este tipo de mecanismo del que habla Herón ya era conocido. Esta tipología se parece mucho al concepto que se tiene del molino de viento, pero en principio no se puede decir mucho más.

Además, tampoco se conocen antecedentes de la utilización de los molinos de viento por parte de los romanos. El hecho comentado en el capítulo primero, y caracterizado por el general Belisario en el año 537 durante el asedio de Roma, consistente en la construcción de dos molinos hidráulicos fluviales sobre barcazas para bombear agua, parece confirmar el hecho del desconocimiento o poco desarrollo de la tecnología eólica, ya que hubiese resultado mucho más sencillo y eficaz un sistema basado en molinos de viento [CÁDIZ, 1992].

2.3.- LAS CULTURAS ARÁBIGA Y CHINA COMO ORIGEN DE LOS MOLINOS DE VIENTO

Como se ha indicado con anterioridad, el origen de los molinos de viento resulta muy incierto. Existen algunos historiadores que ven el precedente más inmediato en los denominados "molinos de oración" tibetanos, también conocidos como "ruedas de oraciones", datados entre los siglos VI y IX [WHITE, 1973].

Parece ser que estas máquinas eólicas fueron de uso corriente en la zona del Tibet y la Mongolia. Incluso algunos autores aseguran que su uso era anterior al siglo II (a. C.) [CÁDIZ Y RAMOS, 1984]. Lo que sí es cierto es que no se conoce con precisión la función que estas máquinas desempeñaban en los ritos religiosos (figura 17).

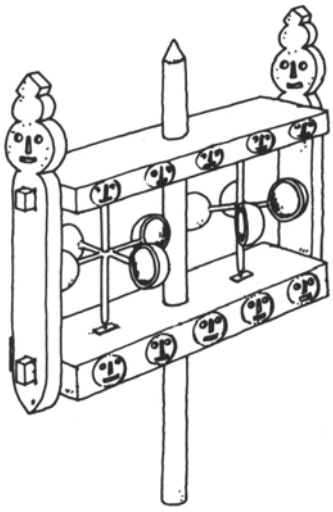


Figura 17: Molino de oración. *Ramos Cabrero.*

Aún en el supuesto de que este fuese el origen de los molinos de viento, no está claro el proceso de difusión, si es que realmente existió.

El primer molino de viento de aplicaciones utilitarias que se conoce con cierto detalle es el molino persa de eje vertical. Hasta el siglo IX no es posible encontrar un documento histórico irrefutable en el que se mencionen los usos del molino de viento como algo habitual. Según Cádiz Deleito y Caro Baroja, los molinos de viento son mencionados, con aplicación directa en la molinería, en el *Libro de ingenios mecánicos* de los hermanos Banu Musa sobre el año 850 de nuestra era, así como por los geógrafos árabes Al-Tabari (fallecido en el año 923) y Al-Masudi (nacido en Bagdad en 912 y fallecido en El Cairo en el 957).

Así, todos ellos hacen mención a la muy difundida utilización de los molinos de viento en las llanuras del Sijistán, en Persia, región ésta donde soplaban vientos muy fuertes, y con bastante periodicidad. Al-Masudi, en su obra *Las praderas de oro* indica que en esta región, que ocupa el oriente iraní y el occidente afgano, soplan vientos que sobrepasan frecuentemente los 100 Km/h; comenta que se conoce a esta región como "el país de los 120 días de viento", así como que este lugar constituyó el germen de la utilización de la energía eólica y su posterior aplicación a la extracción de agua y a la molienda de cereales [FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 1997].

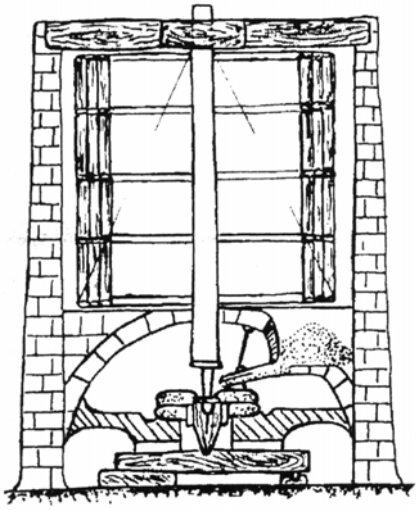


Figura 18: Molino de viento de Sijistán. *Fernández Lavandera.*

En cuanto a la tipología de los molinos de viento descritos por los autores anteriormente citados, cabe decir que son molinos de eje vertical, de diseño muy sencillo y elemental así como de fabricación muy tosca. Existe una descripción exhaustiva de los mismos realizada por el cosmógrafo sirio Al-Dimashqi, en el siglo XIII. La figura 18 responde a dicha descripción.

Según Al-Dismashqi, el ingenio estaba formado por una estructura o torre de mampostería, provista de una pared frontal que actuaba como deflector al objeto de dirigir el viento sobre las paletas y regulando su intensidad con un sistema de compuertas realizadas en madera y, que operadas de forma manual, permitían una mayor o menor entrada de aire. El rotor disponía de seis u ocho paletas de madera o caña, solidarias a un eje central vertical que se acoplaba a las muelas; la separación de éstas se podía variar mediante el uso de cuñas.

Puede observarse la inexistencia de cualquier tipo de engranaje en el ingenio; sin duda, la dificultad técnica que supondría la realización de los mismos en aquella época condicionaría el diseño y construcción de los primeros molinos de viento.

A principios del siglo XX aún existían restos de estos molinos del Sijistán; fueron descubiertos por el explorador sueco Sven Hedin en Niyazarab, región de Bakharz meridional, y pueden observarse en la figura 19, dibujo realizado por Caro Baroja en 1952 a partir de una fotografía.

Parece ser que existe una leyenda, atribuida a Al-Tabari y transcrita por Washington Irving, sobre un molino de este tipo mandado construir por el califa de Bagdad, Omar II, hacia el siglo VIII, basándose en descripciones orales traídas desde el Oriente por un esclavo [CÁDIZ Y RAMOS, 1984].

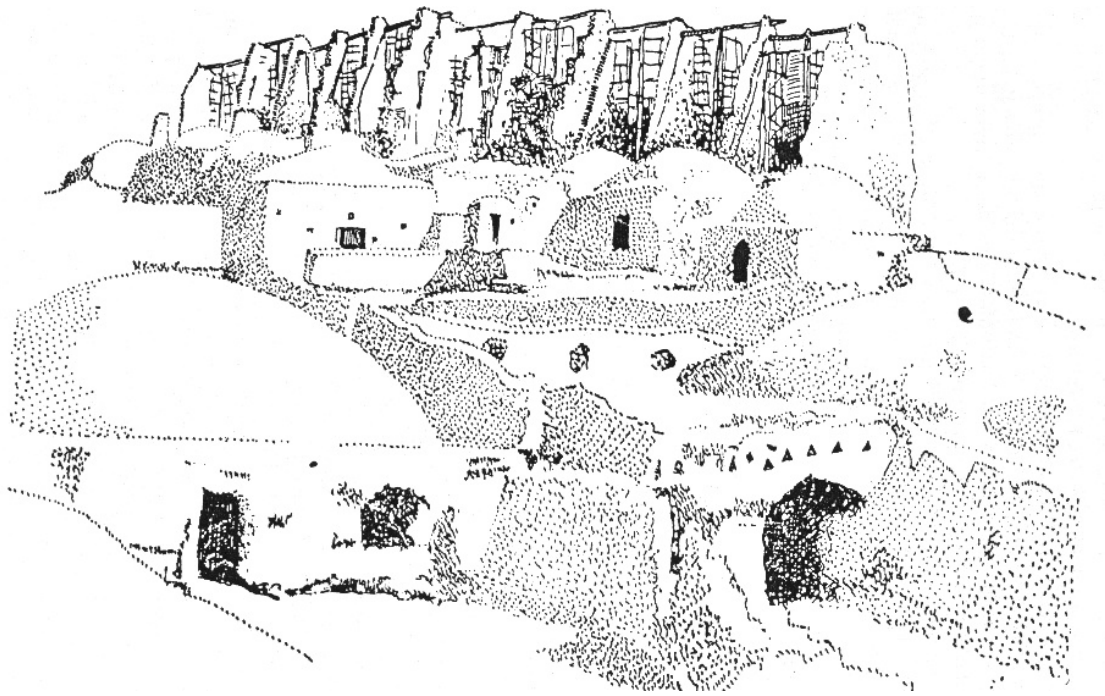


Figura 19: Molinos de viento de eje vertical en Niyazabad. *Caro Baroja.*

Por otro lado, en el Extremo Oriente, los chinos utilizaban desde tiempo inmemorial unos molinos llamados "panémonas", que se utilizaban fundamentalmente para el bombeo de agua y posterior riego.

Las panémonas chinas (figura 20) eran, al igual que los molinos persas anteriormente descritos, de eje vertical. Sus palas o velas estaban formadas por paneles de tela sujetos a largueros de madera o bambú. La

posición de las palas podía variarse para regular la acción del viento sobre el molino.

Algunos historiadores sostienen que estas panémonas existían con anterioridad al año 400 (d.C.) [FORBES, 1964]. Esta es la razón por la que muchos historiadores consideran a las panémonas chinas como las precursoras de los molinos persas de eje vertical.

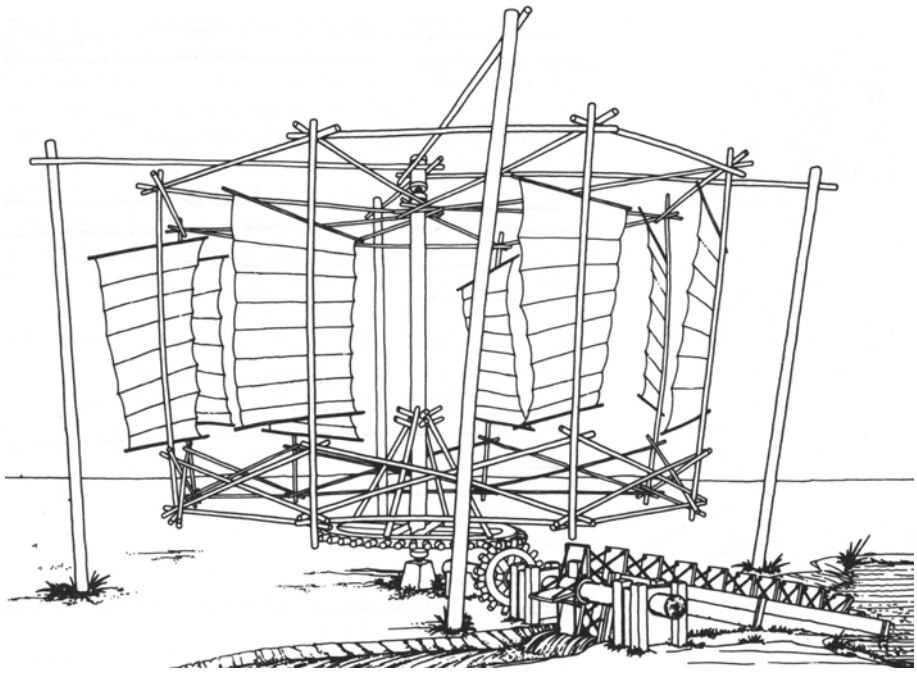


Figura 20: Panémona china o molino de eje vertical y palas de tela. *Ramos Cabrero.*

Estos molinos chinos de eje vertical y palas de tela se han venido utilizando hasta la actualidad en las comarcas chinas de Kiangsu y Hsin-Hwa sin ningún aditamento técnico aparente. A continuación, y como material que corrobora lo anterior, se transcribe resumido el artículo titulado *Los molinos de viento en China*, publicado en 1902 en la revista "Hojas Selectas"[3]:

"En las comarcas de Kiangsu y Ksin-Hwa, en China, es muy frecuente hallarse en las cercanías de todo río o canal con unos pesados armatostes, de los que da exacta idea nuestro grabado, que dan vueltas con mayor o menor rapidez según la impetuosidad del viento reinante. Tales armatostes no son otra cosa que verdaderos molinos de viento, que utilizan los chinos con gran resultado para el elevar el agua que ha de

[3] "Hojas Selectas" era una publicación anual de la editorial Salvat. El artículo aquí resumido y transcrito fue editado en el año 1902, págs. 1055 y 1056.

fertilizar sus campos. El arroz es el principal cultivo de aquéllas regiones, y como quiera que este cereal requiere agua en abundancia, el molino suple a las lluvias, que tan raras son en las regiones calurosas... El aparato está formado por ocho grandes palas de madera provistas de velas, fijas aquéllas perpendicularmente en un marco también de madera. Estas velas, movidas por el viento, imprimen al marco un movimiento rotatorio que transmite a una bomba, la que aspira el agua del río, impeliéndola hacia una cañería que la distribuye por la abrasada llanura... El molino del grabado parece constar sólo de cuatro velas, pero ello es debido a que las de la parte anterior ocultan las posteriores..."

En la figura 21 aparece el grabado de la panémona china que acompaña el artículo anteriormente referido.

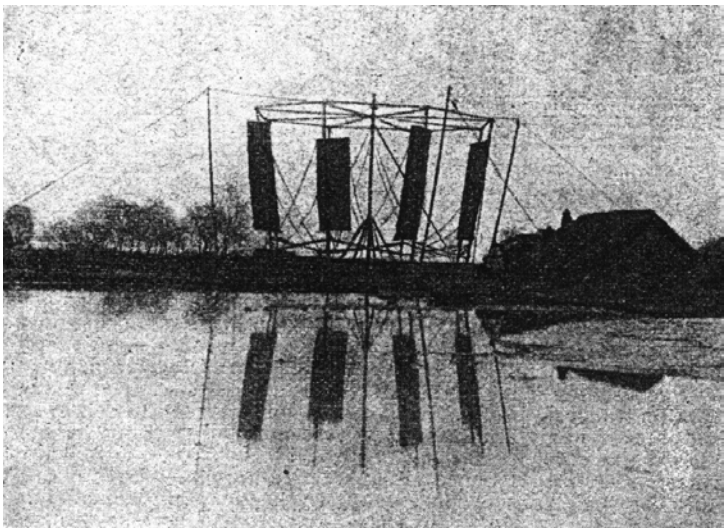


Figura 21: Panémona de la región china de Kiangsu.
Fotografía tomada de "Hojas Selectas" (1902).

Los molinos de eje horizontal también debieron surgir por primera vez en al área de la antigua Persia, probablemente con anterioridad a la época islámica [CÁDIZ, 1992]. Sin duda resulta mucho más sencillo tecnológicamente aprovechar la energía del viento con una rueda horizontal, pero su invención debió responder a la necesidad de adaptar las máquinas eólicas de eje vertical al bombeo de agua. La disposición del rotor, en los sistemas de eje horizontal, es más adecuada para mover una noria sin tener que variar la dirección de la fuerza motora mediante un engranaje, que sin duda suponía una complicación técnica para la época.

El rotor de estos molinos estaba formado por unas velas similares a las que se empleaban en navegación (figura 22). El eje, sobre el que se unían seis u ocho arboladuras que aguantaban las velas, movía una rueda

a la que se acoplaba la noria o rueda de cangilones (figura 23). Todo el conjunto se apoyaba en un trípode de madera situado sobre la boca del pozo.

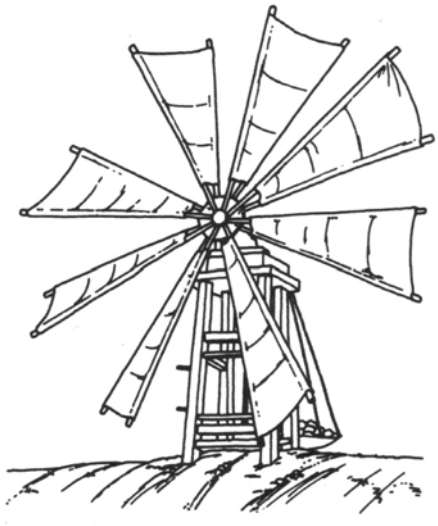


Figura 22: Molino persa de eje horizontal. *Ramos Cabrero.*

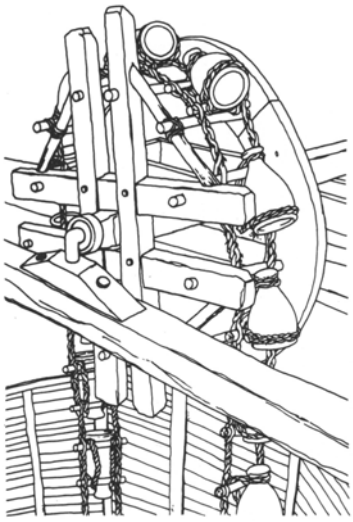


Figura 23: Rueda de cangilones acoplada a un molino de eje horizontal. *Ramos Cabrero.*

La difusión del molino de viento como máquina capaz de producir energía mecánica sigue dos canales aparentemente independientes a partir de los siglos XI y XII [CÁDIZ, 1992].

El primero de ellos se extiende a toda la zona de influencia del Mediterráneo, difundido por la civilización islámica, llegando hasta la mitad sur de la Península Ibérica, dando lugar a una tipología claramente distinguible de molino de viento mediterráneo, tal y como se tratará posteriormente.

El segundo toma como centro de partida el triángulo formado por Bretaña, Inglaterra y los Países Bajos, donde existe la tesis de que pudieran haber sido llevados por los cruzados al volver de Palestina y siguiendo las rutas comerciales del sur de Rusia y el mar Báltico.

Según Caro Baroja, España a través del Califato de Córdoba, fue la vía de difusión del molino mediterráneo hacia Europa, mientras otros autores como Vowles y Klaus Ferdinand sugieren otra ruta a través de la Rusia meridional y los países bálticos. Esta suposición aporta como prueba el hecho de haberse encontrado en Crimea y otros lugares de Europa, como Dinamarca, molinos de eje vertical que guardan similitudes con los persas [CÁDIZ, 1992].

Una tercera posibilidad, ya indicada como tercera tesis al inicio del presente capítulo, es que los molinos de viento implantados en el triángulo referenciado surgieran en Europa de forma espontánea, asignando por tanto un origen occidental a los mismos.

2.4.- EL POSIBLE ORIGEN OCCIDENTAL DE LOS MOLINOS DE VIENTO

Como se ha indicado, existe una tercera tesis que aboga por el hecho de que el origen de los molinos de viento, al menos los de eje horizontal, como son los europeos, es occidental. Pese al descubrimiento de la rueda de viento en eje horizontal del *Aneuriom* de Herón de Alejandría, así como a la utilización de transmisión indirecta, a través de engranajes, conocida y aplicada por Vitruvio en sus molinos hidráulicos, el hecho es que no hay indicios para creer que dichos conocimientos fuesen aplicados a la molinería mediante la aplicación al diseño y construcción de un molino de eje horizontal.

En cuanto a los molinos europeos, las primeras referencias de la existencia de molinos de viento, de eje horizontal, son del siglo XII. Hay referencias de ese siglo tanto en Francia (zona de Bretaña) como en Inglaterra. En los Países Bajos, las primeras referencias son del siglo XIII.

La aparición de los molinos de viento en Europa puede estar relacionada, como se ha indicado antes, con las cruzadas, si bien la coincidencia cronológica puede ser el principal argumento en que se apoya esta tesis. La primera cruzada tuvo lugar al final del siglo XI, la segunda a mediados del siglo XII y la tercera al final del mismo siglo. No obstante, esta coincidencia puede responder al hecho de que tanto las cruzadas como el progreso tecnológico que tuvo lugar en Europa durante esa época, fueron consecuencia de un proceso renovador, que se manifestó en todo tipo de actividades, tanto científico-técnicas como económico-sociales.

Parece claro que Europa tenía por esta época la suficiente capacidad técnica para haber desarrollado un molino de viento a partir de las mejoras realizadas en los molinos hidráulicos.

En este sentido, Rivals indica que hay relatos que sostienen el hecho de que el molino de viento de eje horizontal era ya conocido en Occidente antes de las cruzadas; el testimonio del trovador Ambrosio, historiador de la tercera cruzada (1190-92) y normando de nacimiento,

dice lo siguiente a cerca de lo que ocurrió en el sitio de Acre: "*los cruzados habían hecho construir el primer molino de viento que jamás se hiciese en Siria...*" [FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 1997].

Sin embargo, otros autores sostienen que los cruzados habían visto en Oriente esta tipología de molino de viento y los trajeron a Europa [USHER, 1941]. El mismo Caro Baroja indica que las referencias a los molinos de viento son constantes en las órdenes de caballería, templarios, hospitalarios, etc., que desde Antioquía se repliegan hacia Occidente a través de Chipre, Rodas, Creta y Malta [CARO, 1996].

2.5.- LAS TIPOLOGÍAS DE LOS MOLINOS DE VIENTO

En el capítulo primero, al tratar sobre la clasificación general de la molinería, se analizaron de forma genérica las tipologías de molinos de viento. En este epígrafe se realizará un repaso a las mismas tratando de encuadrarlas en función de su dispersión y localización geográfica.

Según Caro Baroja, las representaciones de molinos de viento de eje horizontal más antiguas que se conocen, revelan la existencia en los últimos siglos de la Edad Media de dos tipos en el noroeste y centro de Europa, y otro tipo más relacionado con los países del Sur. Éstos son:

- El primer tipo, nórdico, es el llamado "molino de poste", conocido también como molino "de pivote" (figura 24).

- El segundo tipo representa una variante del anterior, el molino "de trípode" o sobre machones.

- El tercer tipo, más meridional, es el molino de caperuza movible o "molino de torre".

Los dos primeros tipos, se caracterizan por estar construidos de madera casi en su totalidad (aunque otros tienen la base de piedra), mientras que el tercero está construido con pared de mampostería. Los molinos de pivote y de trípode tienen generalmente el recinto dentro del cual se halla la maquinaria (la tolva, muelas, ejes, ruedas de puntería, etc.), de planta cuadrangular, presentando por tanto cuatro fachadas. El de torre suele ser de planta circular. Los de pivote y trípode, giran sobre un eje inferior. El de torre sólo tiene el techo giratorio (figura 25).

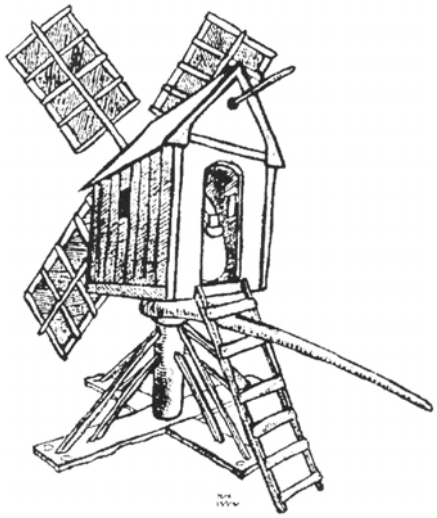


Figura 24: Molino de pivote francés del siglo XIII. *Fernández Lavandera.*

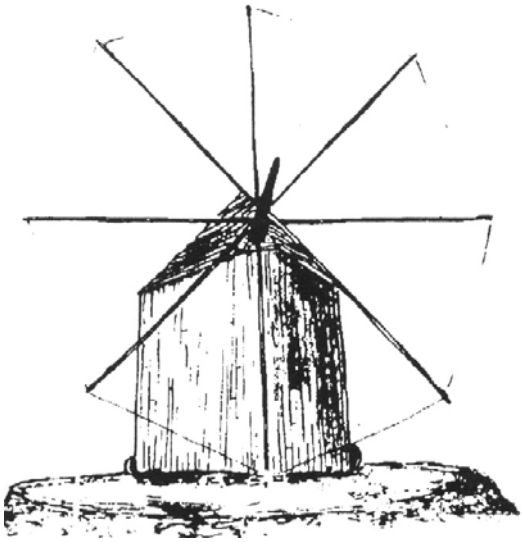


Figura 25: Molino de torre portugués del siglo XIX. *Fernández Lavandera.*

En cualquier caso, y debido a la abundancia de su tipología en el área mediterránea, Caro denomina "molino mediterráneo" al molino de torre de techumbre giratoria.

Respecto a las distintas tipologías que presentaban los molinos, cabe destacar que Krüger, en su obra "*Geographie des traditions populairs en France*", editada en 1950, realiza una detallada clasificación de los molinos de viento, bien sean de pivote o nórdico, tipo holandés o pivote y del que comúnmente se denomina tipo mediterráneo. En 1936 tenía elaborada una subclasificación de esta última tipología, escogiendo como criterio la forma de las aspas [FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 1997].

2.6.- LOS MOLINOS DE VIENTO MEDITERRÁNEOS

Según Krüger, se pueden distinguir hasta tres tipos de molinos de viento mediterráneos (figura 26):

A. Molino de velas triangulares, denominados panémoros [FERNÁNDEZ-LAYOS, 1988], con eje atravesado por cuatro o más pares de varas. Responden a esta tipología los molinos encontrados en Portugal, Madeira, Azores, algunos de Canarias, Andalucía, Campo de Cartagena, algunos de las Islas Baleares y Grecia.

B. Con un eje que sostiene cuatro aspas rectangulares compuestas cada una por una vara central, dos vergas laterales, paralelas a aquélla, y poseen ocho o incluso más travesaños. Según Krüger es propio de Canarias y del Sur de Francia.

C. También con un eje que sostiene cuatro aspas rectangulares, pero con cuatro o seis vergas laterales y quince o más travesaños (Baleares, La Mancha y Sicilia). Los molinos manchegos sí presentan las cuatro aspas que señala Krüger, pero en las Baleares es común hallar este tipo de molino con seis velas, con un mayor número de travesaños y un sobresaliente eje al que se sujetan mediante cables, tal como sucede en el tipo A, la parte extrema de las varas que arman las velas [KRÜGER, 1931].



Figura 26: Tipologías de molino de viento mediterráneo. *Krüger.*

La secuencia cronológica de la expansión del molino de viento por la cuenca inferior del Mediterráneo no es demasiado conocida. Se tiene constancia de que en la isla de Creta era ya de uso corriente antes de la dominación veneciana (siglos XIII al XVII), y en la Península Ibérica existe una gran cantidad de documentos de la época del Califato de Córdoba, en el siglo X, en los que se hace patente el uso generalizado de molinos de viento para bombear agua. No obstante no está demasiado precisado si las máquinas que se utilizaban por esta época en el sur de la Península eran de eje vertical u horizontal.

La cultura árabe, en su pleno apogeo, no sólo se limitó a servir de vehículo a la expansión del molino de viento, sino que lo desarrolló y adaptó técnicamente al mejor uso en función de cada área de utilización. Es conocido un libro del siglo X, escrito por Ibn Musa, en el que trata de máquinas eólicas y describe una de dieciséis palas [CARO, 1996].

Según Krüger, el molino de viento de velas triangulares es más primitivo que el molino de aspas rectangulares, siendo ambos mediterráneos y de techumbre giratoria. Ello llevaría a pensar que es más temprana la introducción y difusión del mismo por la cuenca sur del Mediterráneo, y que resultan anteriores a los que están más al norte, normalmente dotados de aspas rectangulares.

El molino mediterráneo de la cuenca sur, con su característico rotor a vela, se utilizó para moler grano y para bombear agua en toda la extensión del imperio musulmán, aunque con las diferencias propias de cada región en lo que se refiere a métodos y detalles constructivos.

Las aspas o velas de estos molinos se fabricaban amarrando telas a las arboladuras o palos del rotor, de forma similar a los molinos persas de eje horizontal, de los que sin duda proceden. La velocidad de giro podía regularse por el procedimiento de soltar o recoger vela, y ésta es, posiblemente, una de las principales ventajas de este tipo de rotor. Tanto las velas como los tirantes de sujeción tenían cierta elasticidad para deformarse, variando el comportamiento aerodinámico del rotor, proporcionándole ciertas cualidades de autorregulación. Una desventaja era que, frente a tormentas imprevistas, las velas no eran muy resistentes y se rompían con facilidad.

El modelo más sencillo era el que se utilizaba para sacar agua de los pozos, y que ya ha sido descrito en un epígrafe anterior (véase figura 22). El rotor, de seis u ocho velas, se apoyaba sobre un rudimentario trípode de madera, desde donde se movía la noria o una rueda con cangilones. Este molino se utilizó bastante en Creta y otras islas del Egeo, y aún se sigue utilizando, aunque acoplado a una bomba de pistón. Se calcula que sólo en las llanuras de Lasithi (Creta) pudo haber en su momento más de diez mil molinos de trípode, de los cuales la mitad podrían estar funcionamiento en la actualidad [CÁDIZ Y RAMOS, 1984].

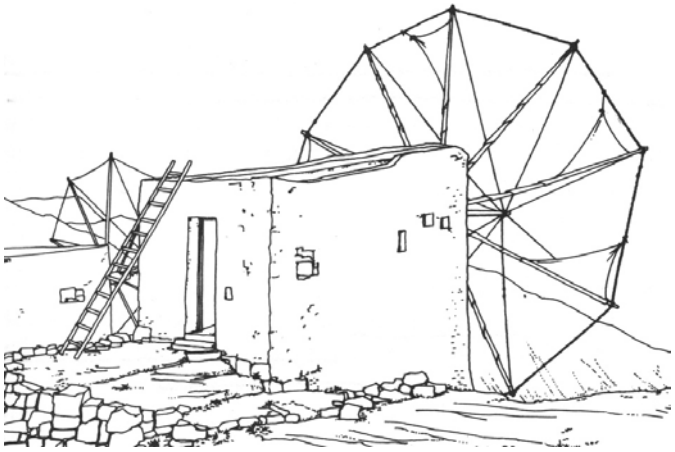


Figura 27: Molino de rotor fijo. *Ramos Cabrero.*

No obstante, desde los inicios, no todos los molinos de viento respondían al típico molino de torre y cabezal giratorio, propio de las tipologías mediterráneas de Krüger.

Los primeros molinos de grano de eje horizontal eran unos ingenios ciertamente

rudimentarias que contaban con un rotor fijo (figura 27), sin posibilidad alguna de cambio de orientación en la dirección del viento; ello obedecía, sin duda, a que los posibles mecanismos de regulación de la orientación resultaban complicados para la época.

Con el tiempo, estos molinos se fueron perfeccionando hasta llegar a convertirse en los clásicos de tipo torre y vela latina, tipología A de Krüger. La torre, construida en mampostería, estaba cubierta por una cúpula o techumbre que giraba sobre la torre, donde se alojaban el eje, los engranajes y demás elementos de soporte y mecanismos que transmitían el movimiento a las muelas, situadas en el piso superior del edificio (figura 28).



Figura 28: Molino mediterráneo, tipología A de Krüger. Cartagena. *Fotografía del autor.*

El molino de viento mediterráneo de vela alcanzó, durante los siglos XII y XIII, bajo dominación almohade, una gran difusión en toda la cuenca sur del Mediterráneo. Como se ha comentado, en los molinos de esta zona aparecen como factor común las características esenciales del mismo: su tipología de tipo torre y el sistema de velamen. Sin embargo, como se verá, existe una gran variedad en cuanto al número y disposición de las velas así como en las características arquitectónicas de la torre.

Así, los molinos de viento mediterráneos de la zona oriental de este mar, muy abundantes sobre todo en las islas de Creta, Jónicas y del Egeo, como Mykonos (figura 29), en las que hay escasez de aguas superficiales y escorrentías y abundancia de vientos, presentan una torre cilíndrica de mampostería revocada y una cubierta realizada en chamiza; además su arboladura consta de diez o doce palos con sus correspondientes velas triangulares, al estilo latino. También se conoce la existencia de molinos de viento de este tipo cretense en Sicilia y Rumanía.

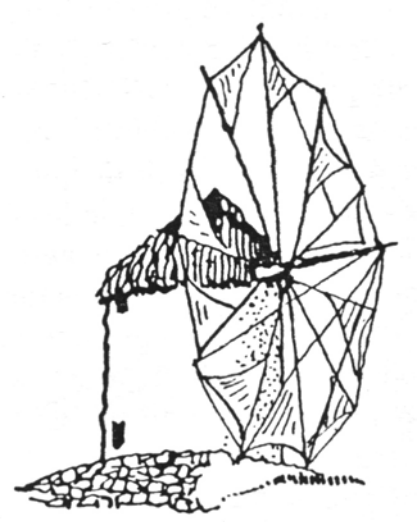


Figura 29: Molino de viento de Mykonos. *Caro Baroja.*

Estos molinos llegaron también a la

Península Ibérica, conservando en la parte sur de la misma las características esenciales del cretense en cuanto al esquema general de la torre y su sistema de rotor. No obstante, en cuanto al número y disposición de las aspas o velas y otros detalles de configuración de la torre, como la techumbre o chapitel, sí que existen diferencias notables incluso entre regiones próximas. A continuación nos adentraremos en las características esenciales de los molinos ibéricos, para pasar posteriormente al análisis de los molinos europeos.

2.7.- LOS MOLINOS DE VIENTO IBÉRICOS

En la Península Ibérica, y comenzando por Portugal, el propio Caro Baroja reconoce que en el país luso coexistieron molinos de tipo nórdico, con otros de eje vertical al estilo persa, y por supuesto, el más extendido molino de torre mediterráneo.

En Portugal, la primera referencia de molino de viento de la que se tiene constancia fue realizada por Ibn Mucane, que vivió en Alcabideche, cerca de Lisboa, sobre el año 1000 d.C. Así, en un poema indica que "...*los molinos movidos por la nubes sin necesidad de manantial*...". Eso ocurre en plena dominación árabe, y se desconoce si se trataba de molinos de eje horizontal o vertical.

Los molinos de eje vertical encontrados en nuestro país vecino luego fueron introducidos en el ámbito antillano para su empleo en la industria del azúcar, con el nombre de "molino portugués" (figura 30).

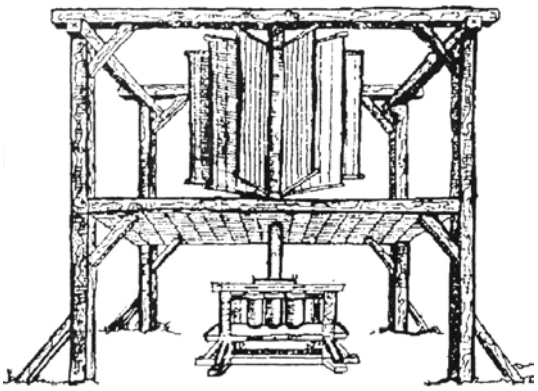


Figura 30: Molino antillano, tipo "portugués". *Fernández Lavandera.*

En cualquier caso, en Portugal el molino de viento más típico, sobre todo en el centro y sur del país, es el mediterráneo de torre y cuatro velas

triangulares (figura 31), a diferencia del cretense. La torre más extendida es de mampostería de piedra, cilíndrica o ligeramente troncocónica, y la cubierta es cónica rotatoria, a base de tablazón de madera. El eje está sostenido por el armazón de la cubierta y generalmente lo hace girar un mecanismo dentado o engranaje interno. La torre, al poseer en la mayoría de los casos sólo la planta baja y la planta de molienda, es bastante baja.

Estos molinos de viento cuentan con un ingenioso dispositivo acústico para avisar al molinero de los cambios de viento que pudieran acaecer durante la molienda. Este sistema consistía en unas vasijas cerámicas que, atadas en los tirantes del rotor, producían distintos sonidos en función de la incidencia del viento en las embocaduras de las mismas (figura 32).



Figura 31: Molino de viento de Quintinha, en Santiago do Cacém. *Proyecto Euromills.*



Figura 32: Vasijas sonoras de un molino portugués. *Proyecto Euromills.*

No obstante, y según información recogida por Krüger en territorio portugués, los molinos de torre existentes pueden adoptar tipologías distintas; así, los hay con la torre de planta circular, cilindro-cónica en su alzado, hecha de maderas colocadas verticalmente, con el extremo de una superpuesta al de las otras (figura 33); otro tipo tiene igualmente la torre de madera, pero la planta es menos circular, casi ovalada, y la altura bastante menor; un tercer tipo tiene la torre de mampostería, cilíndrica, no

muy alta, blanqueada con cal (figura 34); y por último, la torre de mampostería, cilíndrica, pero algo más alta que las anteriores [KRÜGER, 1931].

Pese a la variedad, todos responden a la tipología denominada "molino mediterráneo", que engloba al molino de viento de torre, con caperuza giratoria para buscar los vientos.

En Portugal existieron los molinos de viento en gran número. Así, en las cercanías de Amadora, en un diámetro de veinticinco kilómetros hay en torno a cien molinos de viento. En las zonas rurales han estado en funcionamiento hasta mediados del siglo XX, cubriendo las necesidades de la economía rural.

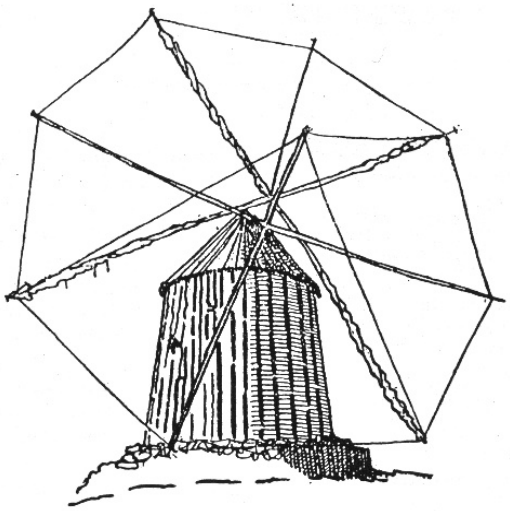


Figura 33: Molino portugués, en CabeÇo de Louco. *Caro Baroja.*

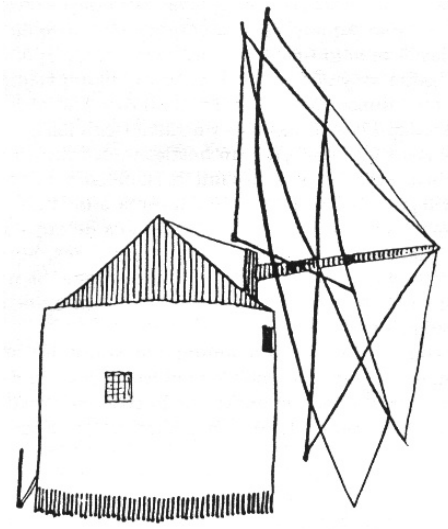


Figura 34: Molino de torre, en Cela. *Caro Baroja.*

En las islas Azores, sin duda por su situación estratégica en el Atlántico que ha supuesto un lugar de encuentro de gentes de orígenes muy diversos, es posible encontrar todas las tipologías descritas anteriormente: desde molinos nórdicos o de pivote hasta mediterráneos y de eje vertical.

En la isla de San Jorge, zona de Velas, es posible encontrar ejemplares tan raros como el de la figura 35, en el que un molino de torre aparece con aspas de madera, a la manera de perfiles aerodinámicos de los modernos aerogeneradores.

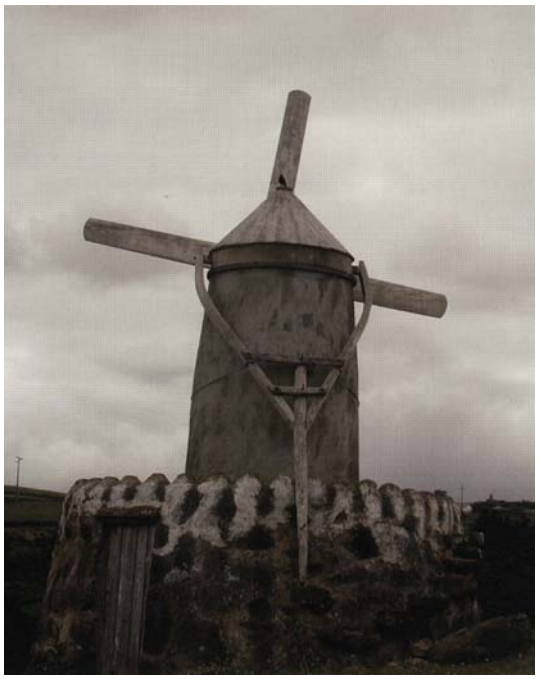


Figura 35: Molino portugués en Velas, Azores.
Proyecto Euromills.

En España, los molinos de viento debieron ser más numerosos aún, e incluso anteriores que los de Portugal. Cuenta Caro Baroja una curiosidad y es que en agosto de 1490 un grupo de españoles se presentaron ante el rey Juan II de Portugal, indicándole que eran conocedores de cómo hacer ingenios y artilugios con los que se podía elevar aguas de pozos y lagunas, etc., sin bestias ni otra fuerza viva, y el rey, reconociendo que el "invento" que presentaban los españoles era útil, les concedió una verdadera patente, consistente en un privilegio para que durante al menos cuarenta años nadie pudiera hacerles la competencia en la construcción, acerca de cuyo desenvolvimiento se establecían una serie de cláusulas. Por tanto, los españoles en el siglo XV ya estaban introduciendo en Portugal un tipo de molino de viento para elevar agua, probablemente como los del Campo de Cartagena [CARO, 1996].

Aunque dedicamos el tercer capítulo de esta Tesis Doctoral a las distintas tipologías de molinos de viento en España, destacaremos a continuación algunas características definitorias del molino de torre mediterráneo español, frente al cretense y portugués mencionados con anterioridad.

En España, los molinos de viento mediterráneos más primitivos, los de velas, aparecen inicialmente en los reinos musulmanes. Así, en los molinos

andaluces, la torre es mayoritariamente cilíndrica, con unos muros de mampostería muy gruesos, casi siempre revocados y encalados. Estos muros, construidos generalmente con piedra y arcilla, pueden llegar a proporcionar a la torre una altura de hasta ocho metros. El rotor, a base de vela latina, suele tener seis u ocho velas dispuestas sobre tres o cuatro pares de árboles o palos. En la figura 36 aparece un dibujo sobre el típico molino andaluz, concretamente de la Baja Andalucía, muy abundante en las provincias de Huelva y Cádiz, resultado además los más conocidos de la región.

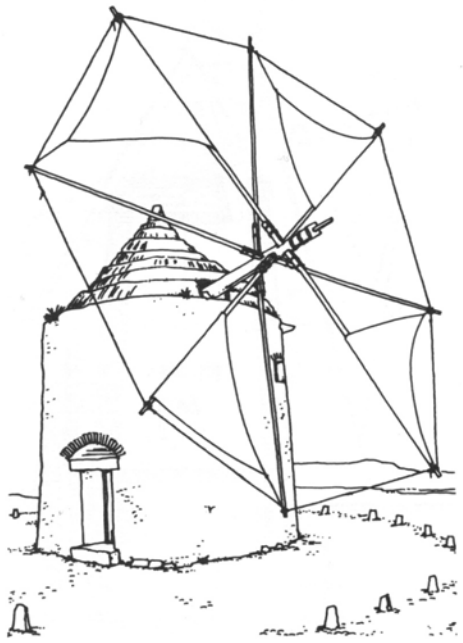


Figura 36: Molino andaluz, provincia de Huelva. *Ramos Cabrero.*

En el Campo de Cartagena se utilizaron unos molinos bastante parecidos a los andaluces (figura 37), pero adaptados no sólo a la molienda de cereales, sino también para el bombeo de agua, entre otros usos.

Estos últimos molinos presentaban dos conjuntos de engranajes, puesto que el movimiento del eje descendía a lo largo de la torre mediante un eje vertical para acabar moviendo, en un eje horizontal, una noria o rueda de cangilones (figura 38). Solían emplear ocho velas latinas para los molinos empleados en la molienda y diez velas para los dedicados a bombeo de agua.

El molino de viento manchego y mallorquín pueden considerarse evoluciones o variantes del molino mediterráneo de vela, especialmente por la construcción de la torre, pero la forma y construcción de las aspas,

que no velas, podría ser más bien de influencia europea, entrando dentro de la tipología C de Krüger. No obstante en las Baleares sí existe algún ejemplar de molino de viento con velas, al más puro estilo mediterráneo según la tipología A. Así lo constata el recorte de un artículo[4] de la revista "Hojas Selectas" de 1902, ya referida en este trabajo, referente a la estadística de fuerzas naturales y en el que aparece una ilustración de los molinos de viento de Menorca en que se aprecia la coexistencia de los molinos de viento de velas, a la izquierda de la ilustración, y los de aspas a la derecha (figura 39)

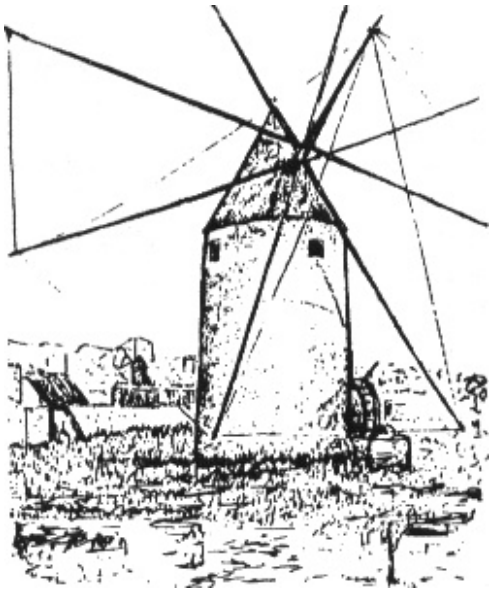


Figura 37: Molino cartagenero para riego. *Fernández Lavandera.*

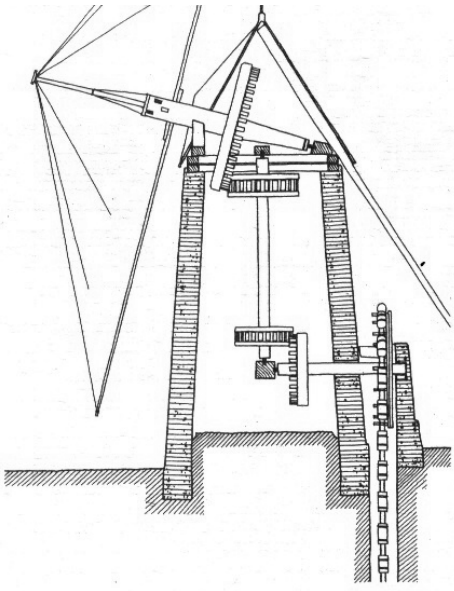


Figura 38: Esquema de molino cartagenero para riego. *Ramos Cabrero.*

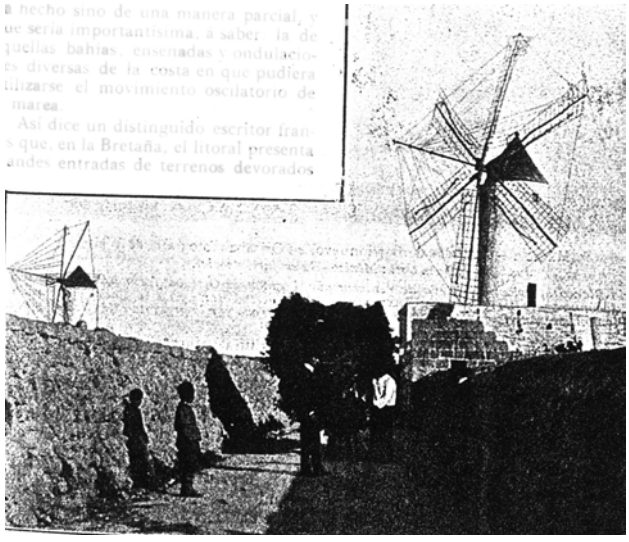


Figura 39: Molino balear de velas (al fondo junto a otro de aspas en primer término). Menorca. *Hojas Selectas.*

[4] *Estadística de fuerzas*, en"Hojas Selectas", año 1902, págs. 406 y 407.

Así, en el texto que acompaña al pie de la foto, se indica literalmente: "*...la segunda de las cinco hermanas baleares posee, como la primogénita, un gran número de molinos de viento en cuya construcción predomina la madera, eliminando al hierro. Las aspas están constituidas esencialmente por lienzos de lona que, como las velas de un buque, recogen el impulso de la masa aérea. Ciudadela es el punto de Menorca donde se ven mayor número de molinos...*".

El resto de molinos de viento españoles se alejan de la tipología A, mediterráneo de vela y, aún cuando muchos de ellos, como manchegos, levantinos, resto de baleares e incluso catalanes puedan resultar una evolución de éstos, se estudiará su posible origen y sus características en el capítulo tercero.

2.8.- LOS MOLINOS DE VIENTO EUROPEOS

Los molinos de viento aparecen en Europa, como ya se ha indicado en este trabajo, a mediados del siglo XII. Con esa fecha ya aparecen referencias y documentos relacionados con los molinos en Inglaterra, Francia y Países Bajos fundamentalmente.

Independientemente de la tesis que consideremos que mejor refleje el origen de los molinos de viento en Europa, bien como consecuencia de las cruzadas, bien como resultado espontáneo de la capacidad técnica del continente, el hecho es que los primeros molinos europeos se caracterizaban por llevar un rotor de aspas, en número de dos a cuatro fundamentalmente, y estaban fabricadas con unos lienzos que recubrían un armazón de madera. El eje al que se acoplaban las aspas era prácticamente horizontal y transmitía el empuje del viento a las muelas a través de un engranaje fabricado en madera.

Al no ser un molino de tipo torre, sino tipo pivote, todos los mecanismos de transmisión del movimiento, así como las muelas, debían alojarse en el recinto móvil del molino (figura 40). Este recinto, que pivotaba sobre un poste de madera o piedra, o bien sobre un pivote de mampostería de piedra, se orientaba hacia la dirección del viento con una palanca movida por tracción animal la mayoría de las veces; esta operación no resultaba nada sencilla debido fundamentalmente al elevado esfuerzo que debía realizarse como consecuencia del peso del mecanismo y consecuente rozamiento.

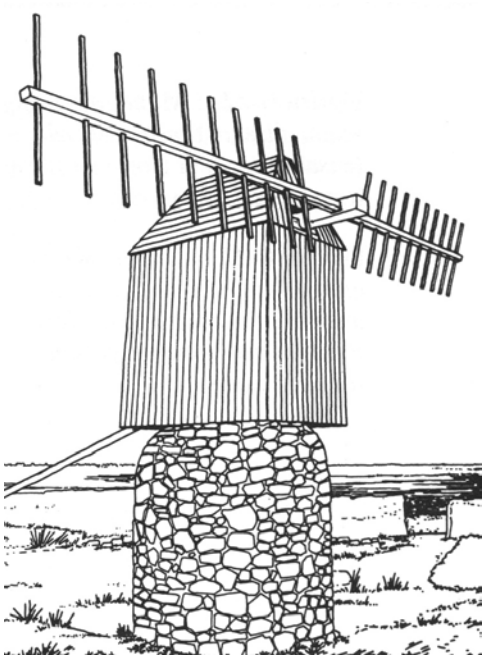


Figura 40: Molino de pivote. *Ramos Cabrero.*

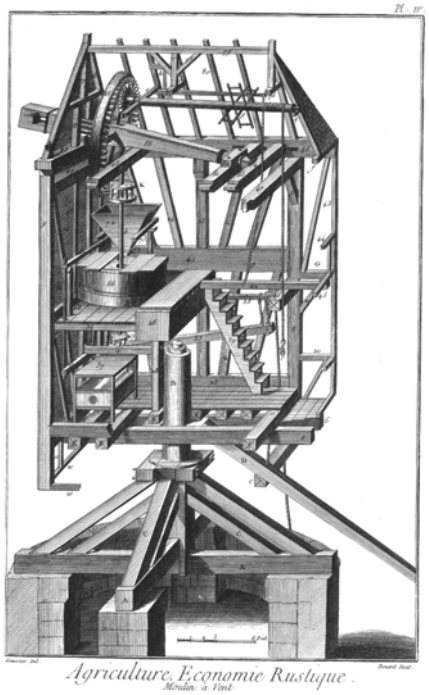


Figura 41: Molino de trípode. *L`Encyclopédie de Diderot.*

La evolución del molino de pivote fue hacia el molino de trípode. El trípode suponía una base más estable y a su vez resultaba más sencilla su construcción. Al tener una mayor base de apoyo, también se facilitaba la operación de orientación al viento (figuras 41 y 42).



Figura 42: Molino de trípode, en la localidad holandesa de Mierlose. *Fotografía del autor.*

Un buen número de los molinos de entre los siglos XIII a XIV construidos en el norte de Europa (Inglaterra, países nórdicos, Alemania e incluso Francia) fueron de este tipo. Sin embargo, en el sudeste europeo se hace notar la influencia del molino mediterráneo de vela, si no en su configuración de torre y techumbre movible, sí al menos en la utilización de la vela latina en la arboladura de los ejes de unos molinos que podrían catalogarse de pivote. Así, en Bulgaria han existido molinos híbridos entre el europeo y el de vela mediterráneo (figura 43).

Continuando con la evolución del molino de viento europeo, el siguiente hito, tras un estancamiento desde el punto de vista tecnológico, surge a partir del siglo XV en el que aparecen con fuerza en el panorama europeo los molinos de poste hueco, basados en los de trípode, y los molinos de viento de torre. Estos

dos tipos de molinos se van a desarrollar en toda Europa hasta bien entrado el siglo XIX.

Los molinos de poste hueco se basan en una evolución de los molinos de trípode que, a su vez, habían sustituido a los molinos de pivote. El paso del pivote al trípode supuso una evidente mejora en el sistema de apoyo de todo el conjunto, por lo que los molinos de trípode crecieron en tamaño. La aparición del poste hueco surge como consecuencia de la adaptación que del trípode hacen los holandeses hacia mitad del siglo XV, al objeto de poder mover las norias para desecar los llamados "polders".

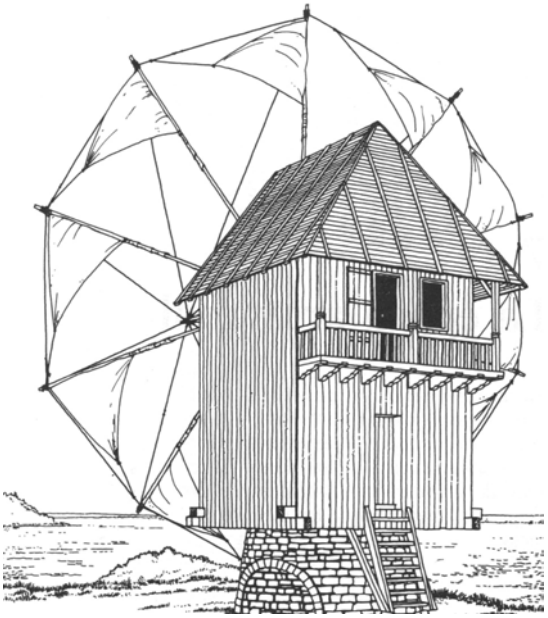


Figura 43: Molino búlgaro, híbrido entre europeo y mediterráneo. *Ramos Cabrero.*

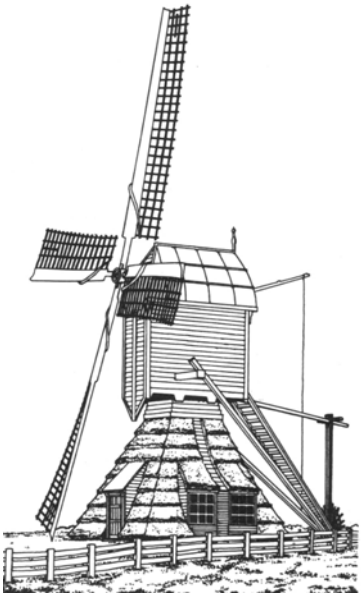


Figura 44: Molino holandés de poste hueco sobre trípode y vivienda. *Ramos Cabrero.*

El eje motor descendía de forma vertical a través de un poste hueco, de ahí su nombre, hasta la base del molino donde se acoplaba al mecanismo de bombeo. Esta misma filosofía la aplicaron en los molinos de cereal, lo que les permitió situar las muelas en un recinto inferior, a pie de trípode, fijo a la base; ni que decir tiene que la disminución de peso del conjunto giratorio así lograda facilitaba enormemente la orientación del molino. Si además se cerraba el recinto inferior conseguían un almacén o bien la casa del molinero, práctica que se extendió de forma generalizada (figura 44).

Los molinos de torre europeos surgen por primera vez en el norte del continente hacia principios del siglo XV y, aparentemente, no tienen relación alguna con el molino de torre de influencia mediterránea

extendido en la cuenca meridional de dicho mar. Los primeros ejemplares surgieron en la Bretaña francesa (figura 45), pero pronto se extendieron por Inglaterra y los Países Bajos. Habitualmente, las torres son de ladrillo o piedra y es común tanto la sección circular como la octogonal (figuras 46 y 47).



Figura 45: Molino de viento de torre. Bretaña francesa. *Fotografía del autor.*



Figura 46: Molino holandés de torre, sección circular. *Fotografía del autor.*



Figura 47: Molino holandés de torre, sección octogonal. *Fotografía del autor.*

Es de destacar que durante los, siglos XVI y XVII, los molinos de viento se utilizaron para múltiples aplicaciones: desde salinas hasta molinos de aceite y de pasta de papel. También se aprovechaba la energía eólica para transformarla en energía mecánica y aplicarla directamente a una incipiente industria, como serrerías y, por supuesto, el bombeo de agua [CÁDIZ, 1992].

Los holandeses fueron los que, por excelencia, aplicaron la molinería de viento al bombeo de agua, al objeto de desecar los "polders", si bien en Inglaterra también fueron muy utilizados. A la hora de bombear, dos eran los sistemas que se empleaban fundamentalmente: la noria o rueda hidráulica y el tornillo de Arquímedes (figura 48).

Por esta época, la abundante presencia de molinos de viento en Europa, aplicados a distintos usos, propició la aparición de una industria artesanal especializada, donde gremios como los albañiles, carpinteros y herreros crecieron al amparo del desarrollo de la molinería de viento [OUWENEEL, 2002].

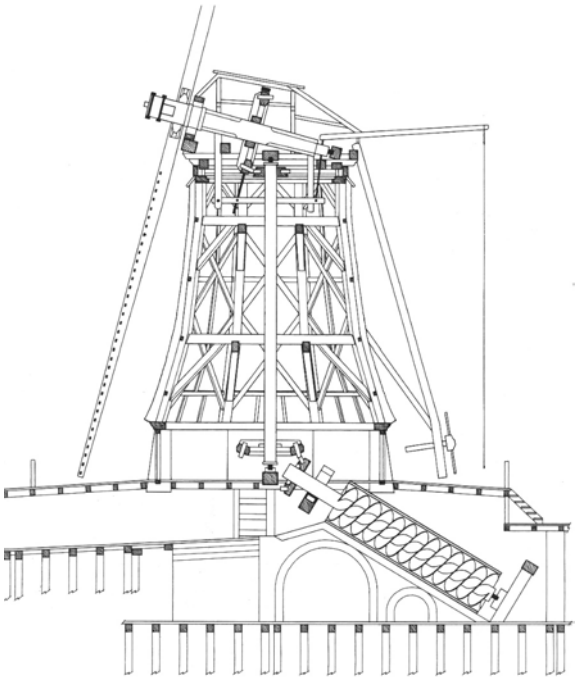


Figura 48: Molino de viento de torre para bombeo de agua mediante el tornillo de Arquímedes. *Ramos Cabrero.*

Así, durante estos siglos, el molino de viento de torre se va imponiendo en toda Europa. Pese a la gran difusión y a la variedad de aplicaciones, no existen grandes modificaciones dignas de resaltarse. No será hasta el siglo XVIII cuando se produzcan una serie de mejoras

tecnológicas aplicadas a los molinos de viento. Estas mejoras se centran en dos aspectos fundamentalmente: los sistemas de orientación de tipo mecánico y los sistemas de regulación.

No obstante, la lógica evolución en la construcción de los molinos de viento provocaba por sí misma mejoras, tales como la paulatina sustitución de piezas de madera por elementos de metal que permitió la obtención de ingenios cada vez más eficaces.

Además, durante el siglo XVIII comienzan a aparecer los primeros tratados teóricos sobre molinos de viento, donde se estudiaban con la profundidad de la época los diferentes tipos de soluciones para los mismos, tanto en cuanto a formas más o menos aerodinámicas de las aspas que constituían los rotores como a los modernos sistemas mecánicos de regulación y orientación. Algunos de los autores más importantes fueron Jacobs, Linperch, Belidor, Coulomb, Coriolis y Smeaton [CARO, 1996].

Así, los tratados del inglés Smeaton, titulados *"On the construction and effects of the windmills sails"* y *"An experimental enquiry concerning the natural powers of wind and water"*, constituyen las obras teóricas más importantes de la época [CÁDIZ Y RAMOS, 1984].

Tradicionalmente, la orientación del rotor había sido uno de los problemas de mayor calado en los grandes molinos de viento de eje horizontal, ya fueran de torre o trípode. La solución más sencilla la presentaban los molinos mediterráneos, que empleaban una simple cuerda atada al eje horizontal, o bien el palo guía incrustado en la techumbre, que era girado con la ayuda de una polea de accionamiento manual.

El primer sistema de orientación mecánico lo inventó y desarrollo el inglés Lee a mediados del siglo XVIII. El ingenioso sistema (figura 49), aplicado inicialmente a los molinos de trípode, consistía en la colocación de un pequeño rotor cuyo eje era perpendicular al eje principal del molino. Este rotor y su eje eran solidarios a la escalerilla de acceso al conjunto del molino, sobre el trípode, y contaba con una pequeña rueda que, apoyada en el suelo, permitía su desplazamiento. Cuando el ingenio estaba mal orientado al viento,

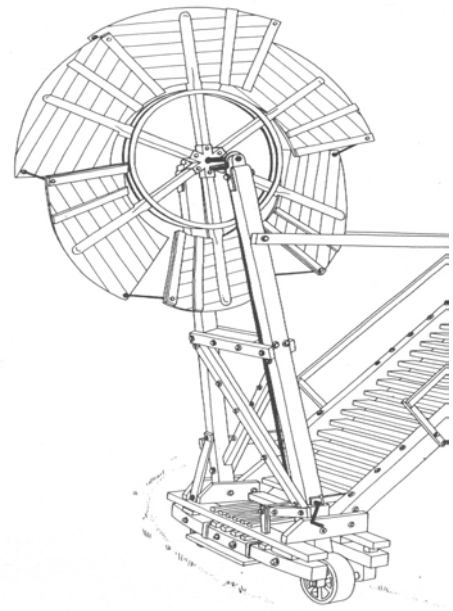


Figura 49: Sistema de orientación automática de Lee. *Ramos Cabrero.*

éste incidía en el rotor auxiliar que, conectado a la rueda, desplazaba el conjunto hasta conseguir la óptima orientación, momento en que el rotor auxiliar dejaba, obviamente, de girar.

Este sistema de orientación y otros similares fueron introduciéndose inicialmente en Inglaterra, para posteriormente extenderse por los Países Bajos y norte de Europa.

En cuanto a los sistemas de regulación, los primeros pasos se dieron con el estudio aerodinámico de las palas en pleno siglo XVIII; las palas o aspas habían evolucionado puesto que hasta el siglo XVI estaban formadas por un lienzo desplegado sobre un simple entramado de varillas a ambos lados de un mástil principal. Con posterioridad, en el siglo XVII, se adoptó la mejora consistente en hacer coincidir el borde de ataque del aspa con el mástil principal, aportándole más robustez frente a los fuertes vientos y proporcionándole la posibilidad de torsión. No fue hasta el siglo siguiente cuando se incorporaron sistemas de regulación aerodinámica (figura 50).

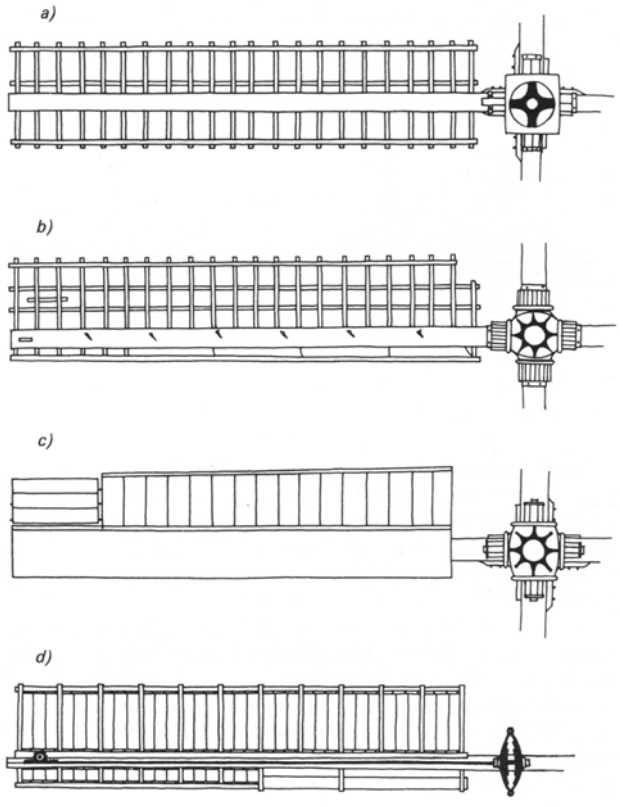


Figura 50: Evolución en la tipología de las aspas: a) anteriores al siglo XVI; b) borde de ataque junto al mástil, con torsión; c) y d) aspas dotadas de flaps a modo de freno aerodinámico, actuando como sistema de regulación. *Ramos Cabrero.*

La pala con freno aerodinámico incorporado fue inventada por Meikle en 1772 [CÁDIZ Y RAMOS, 1984]. Las palas llevaban un flap en el extremo que actuaba mediante un resorte cuando el viento era demasiado fuerte. Este mecanismo fue dotado de un control remoto desde el interior del molino por Hooper en 1789, si bien no se alcanzó la automatización en el sistema de regulación hasta que Cubitt, en 1807, incorporó unas masas de acción centrífuga en el extremo del mecanismo (figura 51).



Figura 51: Molino de viento de torre provisto de sistema de regulación en las aspas. Bretaña francesa. *Fotografía del autor.*

Finalmente, hacia la segunda mitad del siglo XVIII y durante un siglo más, hasta bien mediado el siglo XIX, los molinos de viento europeos clásicos alcanzan el nivel más alto de perfeccionamiento tecnológico del que han gozado. Los anteriores sistemas expuestos de orientación y regulación van generalizándose y se van completando con otros que facilitarán las operaciones de la molienda. Así, en 1787, el inglés Mead introdujo la aplicación de un regulador centrífugo cuya misión no era otra que regular la distancia de las piedras de moler en función de la

velocidad del viento, al objeto de poder controlar la finura de la molienda sin tener que estar actuando de forma constante y manual con el mecanismo de alivio.

De este modo, los molinos de viento se constituyeron en auténticas fábricas completamente automatizadas, disponiendo de sistemas de orientación, regulación de velocidad y alivio automáticos (figura 52).

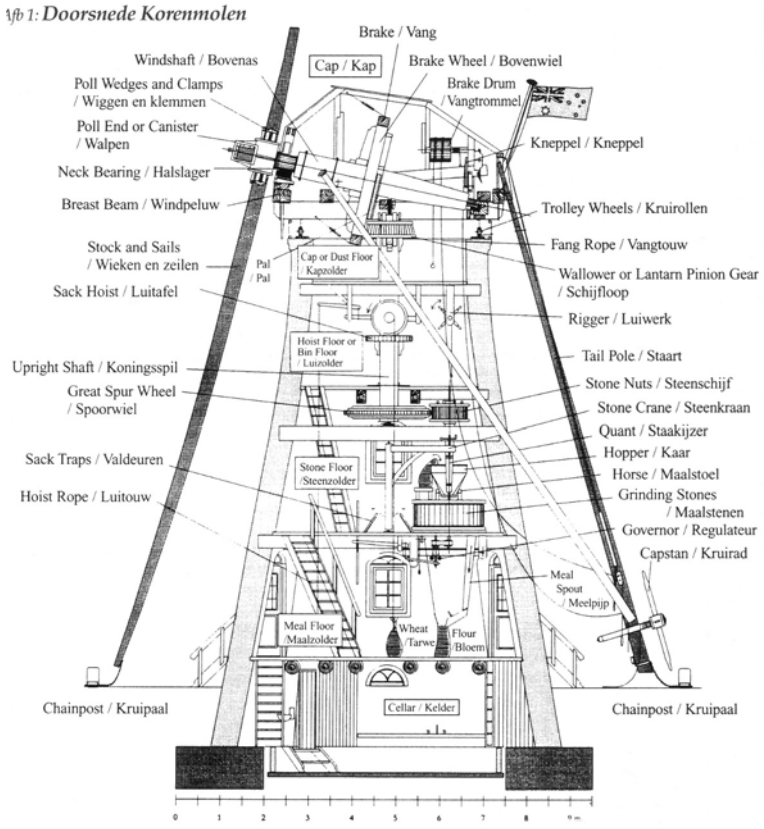


Figura 52: Esquema de un molino de viento harinero holandés con regulador centrífugo para el alivio. *Ouweneel.*

La evolución del molino de viento como tal se detiene en estas fechas. A partir de la segunda mitad del siglo XIX, los avances irán ya hacia la concepción de las turbinas eólicas y rotores multipala, utilizados hoy día [MORETTI Y DIVONE, 1986]. En la reseña que, en el año 1890, realiza Camps Armet[5] sobre el molino de viento, ya ilustra sus explicaciones con un grabado de una molineta multipala fabricada y comercializada por un industrial barcelonés, Agustín Trinxe (figura 53), adaptada en este caso para la extracción de agua de un pozo.

[5] Camps Armet publicó en el año 1890 su obra "*Diccionario Industrial*", donde reseña la importancia de los molinos de viento (págs. 214 a 216).

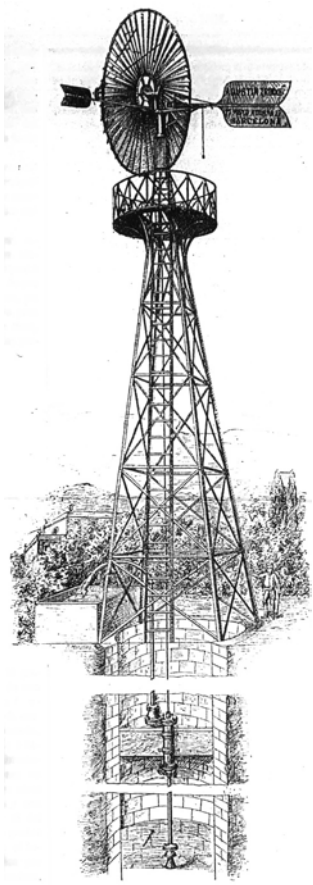


Figura 53: Molineta de viento multipala (1890). *Camps Armet.*

A partir del siglo XX, apoyados en estudios de Prandtl y Betz, surgen innovaciones en el desarrollo de los perfiles aerodinámicos de las palas y aparecen nuevas aplicaciones de la energía eólica: los aerogeneradores, tan comunes hoy día.

Muchos de los antiguos molinos de viento destinados al bombeo y la molienda, dejan de tener interés y son convertidos en generadores eléctricos. Países como Dinamarca iniciaron programas de desarrollo eólico al objeto de transformar los viejos molinos para que produjesen electricidad. El declive del molino de viento clásico ha comenzado.

2.9.- RECAPITULACIÓN

En el presente capítulo se han analizado los molinos de viento en cuanto a sus posibles orígenes y posteriores evoluciones, desde los puntos de vista histórico y tecnológico, a lo largo de su historia.

Se abordan las fases de desarrollo y expansión de los molinos mediterráneos y los europeos, dos tipologías que podrían tener orígenes muy distintos, así como su evolución con la incorporación de diversos mecanismos novedosos conforme el grado de desarrollo de los conocimientos tecnológicos lo iba permitiendo.

Los molinos de viento fueron evolucionando hasta mediados del siglo XIX, fecha en la que podemos decir que inician su declive debido al desarrollo de teorías de aerodinámica que abren nuevos horizontes a la utilización de la energía eólica, hasta culminar en los modernos aerogeneradores.

Capítulo 3

LOS MOLINOS DE VIENTO EN ESPAÑA

3.1.- LA EXPANSIÓN DEL MOLINO DE VIENTO EN ESPAÑA

Ya ha sido comentado en el capítulo anterior el hecho de que España, y más concretamente en la época del califato cordobés, jugó un papel fundamental en la difusión y expansión del molino de torre a velas mediterráneo, extendiéndolo a la vecina Portugal.

Las más antiguas referencias a molinos de viento relacionadas con países de la ribera mediterránea se encuentran en textos que se refieren a España [CARO, 1996]. En tiempos de la España califal, en pleno siglo X, ya eran conocidos los molinos de viento, si bien los hidráulicos estaban más difundidos [PROVENÇAL, 1932].

Una curiosidad, sin duda, resulta el desconocimiento que un ingeniero, al servicio de un rey de España como era Juanelo Turriano, tenía acerca de los mismos, y más aún cuando los molinos de viento en España se conocen fehacientemente desde el siglo X ó XI. Juanelo Turriano, afirma y justifica en su obra "*Los veintiún libros de ingenios y máquinas*", todo un compendio de la ingeniería en el momento, que ni en España ni en Italia

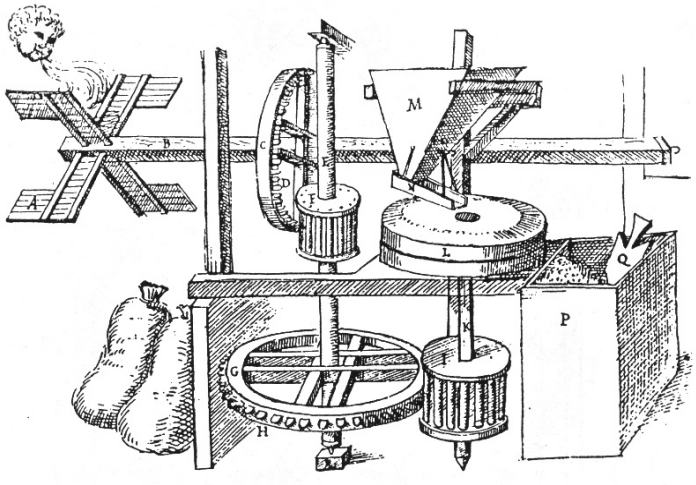


Figura 54: Fundamento de un molino de viento. *Juanelo Turriano.*

hubiera molinos de viento y ello "*a causa de la irregularidad y fuerza de los vientos*" [TURRIANO, S. XVI]. Por su época (siglo XVI) ya estaban en pie una gran cantidad de molinos en el sur de la Península y en La Mancha. No obstante realiza un grabado (figura 54) con los fundamentos de funcionamiento de este tipo de molinos, aunque se trata de un mecanismo tecnológicamente superado ya en el siglo XVI. Describe el mecanismo de un molino de viento con aspas paralelas a la fábrica, eje completamente horizontal y con estructura de planta rectangular, lo que no permite la construcción de una caperuza giratoria.

El primer molino de viento del que se tiene constancia en España es el de Tarragona, de finales del siglo X o principios del siglo XI, si bien se desconoce con exactitud si era de eje horizontal o vertical [PROVENÇAL, 1932].

En el año 1200, Pedro II de Aragón concede a Pedro de Vilanova la exclusiva para la construcción de molinos de viento en cualquier parte de sus territorios, con la obligación de entregar al soberano la décima parte de sus ingresos [LACARRA, 1977].

Hacia el año 1330, Juan Ruiz, Arcipreste de Hita, conocía la existencia de algunos molinos de viento en Castilla la Nueva según indica en un par de versos que repite en su obra *El libro del Buen Amor*. En ellos se refiere con el nombre de "atahonas", que era el término utilizado para referirse a los molinos de tracción animal en su época [CARO, 1996].

En el *Libre de consellers* del Archivo Municipal de Castellón (1389) se encuentran referencias a los molinos de viento. Seijó Alonso estudia los ejemplares de La Marina Alta en la provincia de Alicante, y sitúa los ejemplares más antiguos, por su arquitectura, en torno a comienzos del siglo XV [SEIJO, 1970].

En la *Crónica del halconero de Juan II*, editada por Carriazo, se indica que el 15 de junio de 1441 hubo una escaramuza "...*en los molinos de viento, camino de Tordesillas*..." [CARO, 1996]. Pedro Azlor, en 1478, y Jerónimo de Ayanz, en 1606, originaron patentes de invención de molinos de viento [AYALA-CARCEDO ET AL, 2001].

Existen dos fuentes iconográficas fundamentales para el conocimiento de la localización de molinos de viento y el análisis de su tipología en Europa y, particularmente en España, durante la segunda mitad del siglo XVI: por un lado, la colección de vistas de ciudades españolas de Anton Van der Wyngaerde, pintor flamenco a quien Felipe II le encarga recorrer la península, lo que hace durante el periodo 1562-

1571. Por otro lado el viaje que realizan Brawn y Hoefnagel a España en el periodo 1563-1567, realizando numerosas vistas de ciudades que publican en varios volúmenes en Colonia, en 1572 bajo el título de *Civitates Orbis Terrarum* [SÁNCHEZ MOLLEDO, 1995a].

De la primera de las fuentes, se observan, entre otros, un molino de viento de trípode en Málaga y otro en Cádiz. Un molino de trípode junto a otro de torre aparece en Chinchilla de Montearagón, y otro molino de torre en el Puerto de Santa María.

De la segunda de las fuentes, se observan dibujos de molinos de viento de trípode en Cádiz, Málaga, Sevilla, Marchena y Lebrija.

Respecto a la distribución geográfica de los molinos de viento en España, Julio Caro Baroja, en *Disertación sobre los molinos de viento*, de 1952, propone el mapa de distribución de este tipo de molinos en España y Portugal (figura 55).

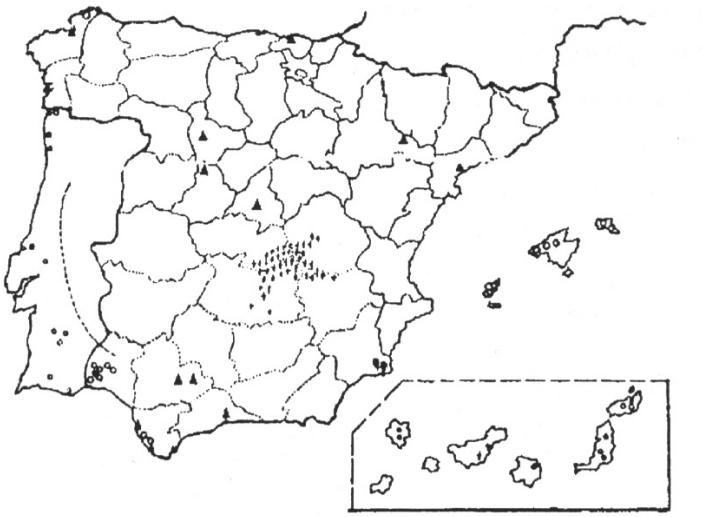


Figura 55: Mapa de los molinos de viento en España y Portugal (1952).
Caro Baroja.

En 1984, Sánchez Molledo propone un nuevo mapa de distribución geográfico, limitado a España, en el que corrige y aumenta la dispersión de los mismos por todo el territorio (figura 56).

Aunque la identificación del molino de viento con el paisaje español corresponde universalmente al paisaje manchego, otros lugares del país han contado con la silueta de estos ingenios eólicos. Así, han formado parte del paisaje vasco y gallego, Andalucía atlántica y mediterránea, de

las islas, de Levante, Cataluña y hasta de Aragón [FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 1997].



Figura 56: Mapa de los molinos de viento en España (1984).
Sánchez Molledo.

Fernández y Fernández elaboraron en 1996 un mapa actualizado de los molinos de viento en España, si bien la mayoría de las nuevas aportaciones resultan de referencias históricas. Así, indican la presencia de un molino de viento en Madrid, basándose en el plano que de Madrid realizara Pedro de Texeira en 1656, en el cual se aprecia un molino de viento de cuatro aspas, similar a los manchegos. Igual ocurre con la referencia a Málaga y Tarragona. En la figura 57 aparece dicho mapa.

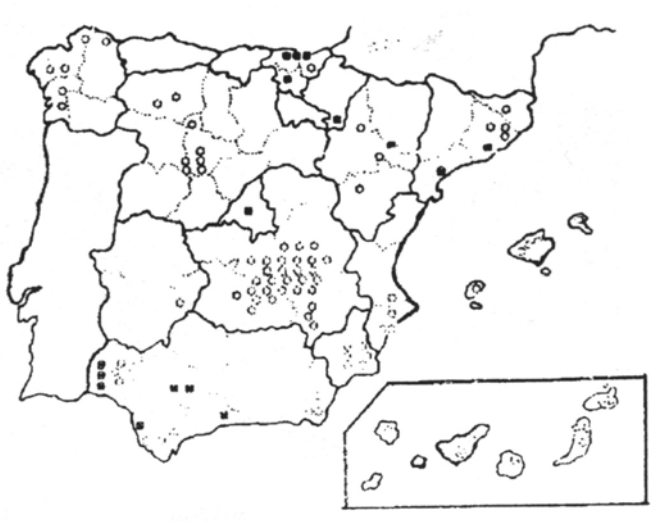


Figura 57: Mapa de los molinos de viento en España (1996).
Fernández y Fernández.

En este capítulo se abordará el estudio de la implantación y tipología de los molinos de viento en las distintas regiones españolas para, posteriormente, estudiar las contribuciones de nuestro país a la molinería de viento en general.

3.2.- LOS MOLINOS DE VIENTO EN ANDALUCÍA

El molino de viento *andaluz* responde mayoritariamente a la tipología A de molino mediterráneo de Krüger. Genéricamente, la torre del molino andaluz es cilíndrica, aunque hay algunas ligeramente tronco-cónicas. Sus muros son muy gruesos, construidos en mampostería de piedra o arcilla, de hasta siete u ocho metros de altura y alguno menos de diámetro. El rotor suele tener cuatro u ocho velas latinas (triangulares, de lienzo), dispuestas sobre dos planos ligeramente desplazados.

Caro Baroja, en su trabajo *Disertación sobre los molinos de viento*, de 1952, indica las siguientes referencias respecto a los molinos de viento existentes en territorio andaluz:

- Da por bastante conocidos los molinos de los pueblos de Conil y Vejer de la Frontera, en la provincia de Cádiz (figuras 58 y 59).

- Destaca otros dos antiguos molinos en Sevilla y uno en Málaga.

- De las citas de Madoz, considera los molinos de la comarca onubense del Andévalo: ocho en El Alosno, tres en Cabezas Rubias, uno en El Cerro, tres en Santa Bárbara, doce en Valverde del Camino, así como los numerosos existentes en la Puebla de Guzmán.

Como queda patente, desconoce la existencia de los molinos de viento almerienses y concede gran importancia al conjunto de molinos situado en la Puebla de Guzmán, provincia de Huelva, así como a los gaditanos. En 1949, realiza una exhaustiva descripción de la maquinaria y tipología de un molino de la Puebla de Guzmán (figura 60) a través de su propia experiencia en uno de sus viajes.

También en el *Atlas lingüístico y etnográfico de* Andalucía, realizado en el año 1961 por Manuel Alvar y otros colaboradores, aparecen una serie de láminas que representan al menos dos tipos de torre (figuras 61 y 62) en los molinos de viento existentes en Vejer de la Frontera [ALVAR ET AL., 1961].



Figura 58: Molino de viento de Conil de la Frontera. *Fotografía del autor.*

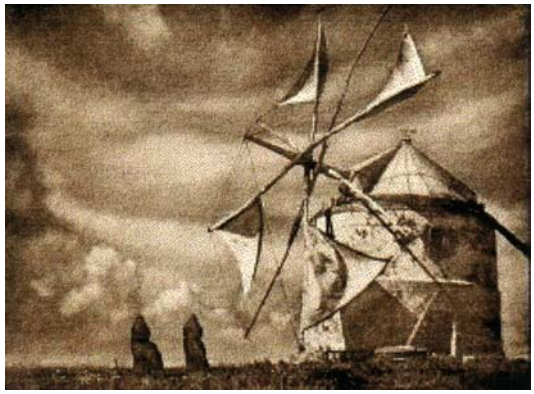


Figura 59: Molino de viento de Vejer de la Frontera (1926). *Fundación Ruiz Echagüe.*

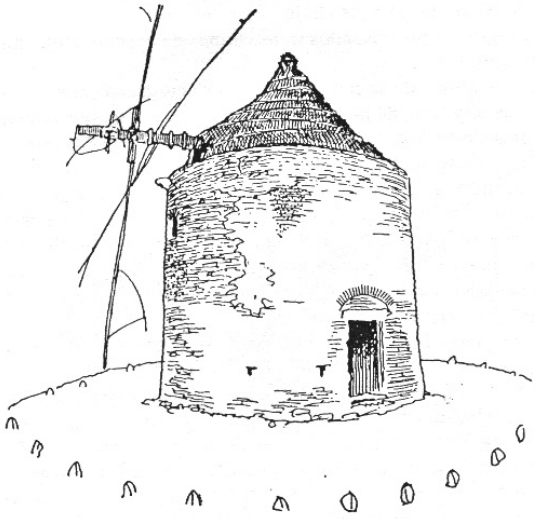


Figura 60: Molino del Santo. Puebla de Guzmán. *Caro Baroja.*

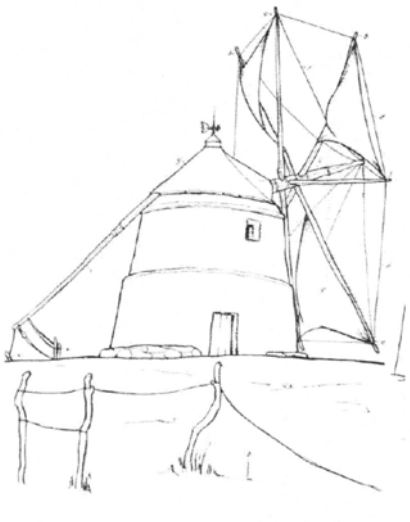


Figura 61: Molino de viento de Vejer de la Frontera con torre truncada. *Lámina 246.1 de Alvar et al.*

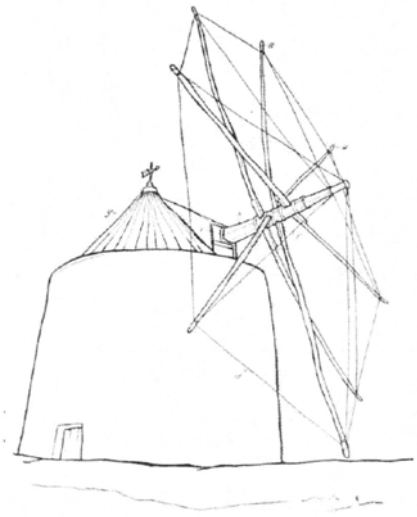


Figura 62: Molino de viento de Vejer de la Frontera con torre troncocónica. *Lámina 246.2 de Alvar et al.*

En el anterior epígrafe de este capítulo se ha indicado que Sánchez Molledo realiza en 1984 una revisión del mapa de los molinos de viento en España. Así, en Andalucía reconoce la existencia de los siguientes:

- En la provincia de Jaén, indica indicios de un molino en Linares, sobre la segunda mitad del siglo XVII, a través de un dibujo de P.M.Baldi.

- Reconoce dieciocho molinos en la Puebla de Guzmán, once en el Almendro, dos en Ayamonte y dos en Sanlúcar de Guadiana a través de los escritos de Tomás López. También según Madoz, existen ocho molinos en El Alosno, tres en Cabezas Rubias, uno en El Cerro del Andévalo, tres en Santa Bárbara y doce en Valverde del Camino (al igual que Caro Baroja).

- Tiene indicios de la existencia de molinos en Santaella (Córdoba),.

- Tiene indicios de que existió un molino en Berja y otro en Pozo de los Frailes (Almería), que aún perdura en ruinas (figura 63).

- Indica la existencia de molinos en Vejer de la Frontera, a través de dibujos de Gregorio Prieto, y asume que se conservan ejemplares en Cádiz, Málaga, Marchena y Sevilla.

A través de los datos etnográfico-lingüísticos recogidos en la obra de Torres Montes, se aporta una llamada de atención acerca de la existencia de molinos de viento almerienses, corroborado por Gil Albarracín [TORRES, 1993], [GIL, 1992]. Sólo en la comarca del Campo de Níjar, existieron en número superior a la treintena [AMEZCUA Y ROJAS, 2002].



Figura 63: Ruinas del molino de viento de Pozo de los Frailes, Almería. *Fotografía del autor.*

En la obra etnográfica de Alvar, citada anteriormente, también existe alguna lámina sobre molinos de viento de la localidad almeriense de Carboneras, cuya tipología es similar a la de Pozo de los Frailes, salvo en la forma de la torre (figura 64).



Figura 64: Molino de viento de Carboneras.
Lámina 245 de Alvar et al.

Asimismo, en la provincia de Granada, hay indicios acerca de que existieron dos molinos de viento en la localidad granadina de Torre Cardela [REYES, 1998], y otro en el sitio de Matián, término municipal de Cúllar, cerca de Baza [DOMENE Y ROJAS, 2001]. En cualquier caso, no existen restos de ninguno de ellos, ni referencia alguna en artículos referentes a la molinería de viento.

En cuanto a la provincia de Jaén, ya se indicó en el capítulo primero de esta Tesis Doctoral los hallazgos realizados en cuanto a pruebas documentales que aseguraban que en la localidad de La Carolina, capital de las Nuevas Poblaciones de Sierra Morena, existió al menos un molino de viento, cuya tipología desconocemos al no existir vestigios del mismo.

También nos hicimos eco de la presencia en la localidad giennense de Baños de la Encina de un molino de viento, llamado del Santo Cristo, que se encuentra restaurado en la actualidad. A diferencia de todos los anteriormente referidos este molino no queda encuadrado en la tipología A de Krüger, sino más bien en la tipología C. Ello obedece sin duda a la situación geográfica de la localidad, en la raya de división de las comunidades andaluza y castellano-manchega.

Pese a que todos los molinos referidos, salvo la excepción comentada, quedan encuadrados en el tipo A de Krüger, lo cierto es que

hay algunas diferencias entre ellos. Obviamente sus principios de funcionamiento son similares y los describiremos en capítulos posteriores tomando como referencia los mecanismos del Molino del Collado de San José, en Níjar (Almería), y a partir de los datos de campo y reportaje fotográfico del mismo.

No obstante, un primer detalle que llama la atención es el distinto sentido de giro de las velas en función de la parte de Andalucía donde esté localizado el molino. En efecto, los molinos de Andalucía occidental, principalmente onubenses y gaditanos, giran sus velas en sentido dextrógiro, es decir, según las agujas del reloj. Sin embargo, los almerienses nos consta que giraban en sentido levógiro, al contrario que las agujas del reloj.

En este sentido, esta característica condiciona la situación relativa de los engranajes que transmiten el movimiento del eje horizontal de giro al eje vertical solidario con las muelas.

El eje horizontal, también llamado eje de viento, es solidario a una rueda de puntería, denominada a veces rueda catalina, que constituye el engranaje primario. La rueda de puntería está acoplada a un engranaje secundario, llamado linterna, solidario al eje vertical que mueve las muelas.

Pues bien, los molinos occidentales, onubenses y gaditanos, poseen la linterna delante de la rueda de puntería, es decir, en el lado del viento, mientras que los almerienses la tienen situada detrás de la rueda de puntería. Así, y pese a los distintos sentidos de giro de las velas, el sentido del giro de las muelas es similar, sin duda al ser rayadas del mismo modo. Estos detalles pueden apreciarse en las figuras 65 y 66, tomadas del atlas etnográfico de Alvar.

En la figura 65, correspondiente a un molino onubense, de la Puebla de Guzmán, la linterna está por delante de la rueda de puntería, pues el dibujo está realizado desde la zona del cojinete delantero. Este molino gira sus velas en sentido dextrógiro.

Sin embargo, en la figura 66, que corresponde a un molino almeriense, la linterna está por detrás de la rueda de puntería, ya que la figura está realizada desde el cojinete trasero. Este molino gira sus velas en sentido levógiro.

Otra diferencia apreciable es la ausencia de harinal en los molinos occidentales. En los molinos almerienses, la harina caía desde el piso

superior hasta el inferior a través de un canal embutido en la mampostería y recubierto de madera, denominado harinal, de tal suerte que el ensacado se realizaba en el piso inferior. En los molinos occidentales esta característica no está presente.

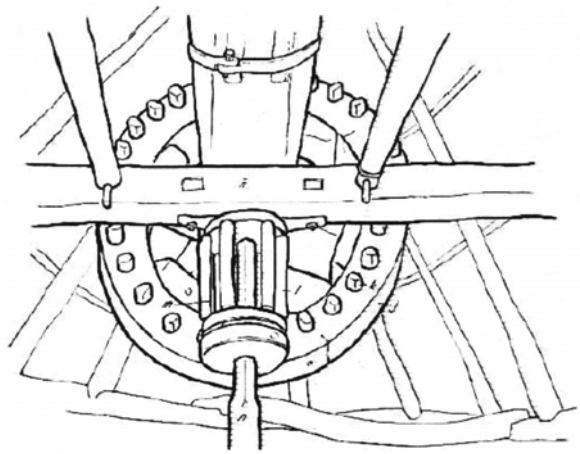


Figura 65: Linterna en un molino onubense.
Lámina 247.2 del Atlas de Alvar et al.

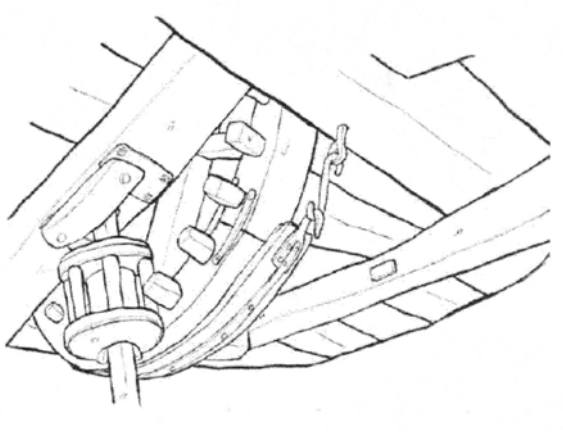


Figura 66: Linterna en un molino almeriense.
Lámina 248.2 del Atlas de Alvar et al.

Una tercera diferencia apreciable es que, mientras los molinos occidentales tan sólo disponen de dos pisos, el bajo y el superior, donde se realiza la molienda, en los almerienses existen con dos pisos y con dos pisos y camareta. En cuanto a la utilidad de la misma y su tipología, se describirá más adelante junto con el resto de mecanismos del molino de viento almeriense. También los occidentales disponen de una sola puerta, frente a dos opuestas de los almerienses.

El estado de conservación de los molinos andaluces es bastante ruinoso en general. Es cierto que hemos vistos acertadas reconstrucciones, como la de la localidad onubense del Almendro, o la giennense de Baños de la Encina, pero en general el interés sobre estos ingenios es escaso.

Aún existen ejemplares en estado tal que permitirían ser adecuadamente restaurados para el conocimiento y difusión de este patrimonio preindustrial, considerándolos como verdaderos museos poseedores de una tecnología digna de estudio.

En las figuras 67 y 68 aparecen dos molinos andaluces fotografiados en los últimos dos años, cuyo estado permite albergar esperanzas de recuperación al objeto de que las futuras generaciones, y la nuestra, conozcan de primera mano cómo se ganaba la vida el hombre siglos atrás y hasta hace no tanto.



Figura 67: Molino de viento de Vejer de la Frontera (2003). *Fotografía del autor.*



Figura 68: Molino de viento de Arriba, en Aguamarga, Níjar (2002). *Fotografía del autor.*

3.3.- LOS MOLINOS DE VIENTO EN LA REGIÓN DE MURCIA

El molino de viento en la región de Murcia, es conocido como molino *cartagenero*, pues su difusión y amplia utilización se extendió por el Campo de Cartagena, comarca natural situada al sureste de la región murciana y con un clima típicamente mediterráneo. Por sus características topográficas y climáticas y sus suelos de buena calidad, esta comarca se

ha sustentado, tradicionalmente, en una economía basada en la agricultura de secano o cerealista [MONTOYA, 2001].

Posee esta comarca características propias identificativas que han provocado la difusión del molino de viento cartagenero para multitud de usos, a partir de su función primitiva de molturar cereales, siendo ésta su característica más singular [ARANDA, 2000].

Por lo demás, se trata de un molino mediterráneo en la tipología A de Krüger, muy similares a los andaluces. Los molinos de viento cartageneros se clasifican en función de su uso en:

1. Molinos de viento de cereales o harineros.

2. Molino de viento de extraer agua del subsuelo o molinos de arcaduces.

3. Molinos de viento salineros.

4. Molinos de viento esparteros.

Los molinos de viento de cereales o harineros (figura 69) se introdujeron en el siglo XVI y estuvieron funcionando regularmente hasta bien entrado el siglo XX [ROMERO, 1995b]. Dentro de éstos, al igual que ocurre con los andaluces orientales, pueden distinguirse los de dos cámaras, que son los más usuales, y los de una sola cámara, más modernos, pues datan de finales del siglo XIX [ARANDA, 2000].

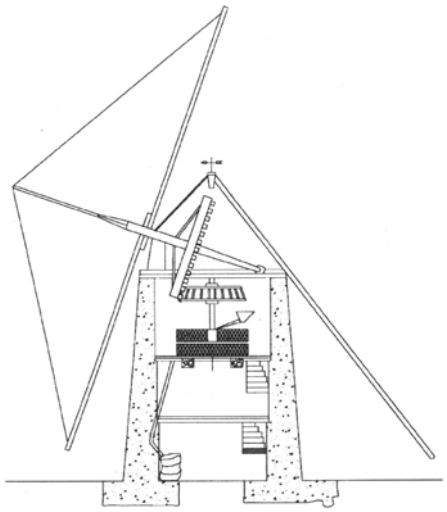


Figura 69: Molino harinero cartagenero. *Montoya.*

Los molinos cartageneros empleados para la extracción de agua, también presentan variadas configuraciones. Así, existen molinos en los que la torre de mampostería no existe, y el ingenio está armado sobre una estructura de madera. Lo más común es que la torre sea de obra (figura 70); dentro de éstos, también se pueden distinguir los molinos de ocho palos y diez palos, es decir, molinos con ocho velas latinas triangulares y molinos con diez velas [ROMERO, 1995a].

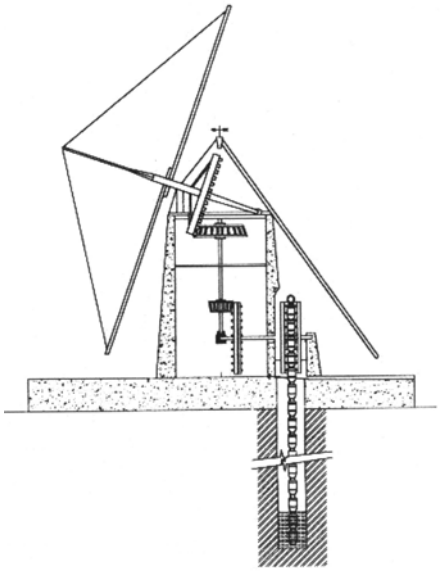


Figura 70: Molino de arcaduces cartagenero. *Montoya.*

Los molinos de viento salineros, empleados en las salinas del Mar Menor, fundamentalmente podían tener dos usos; el primero de ellos, destinado a triturar la sal obtenida, como un molino harinero; el segundo uso, la elevación de agua del mar a las propias salinas. Dentro de estos últimos, al igual que los molinos para la extracción de agua, pueden distinguirse en los que no tienen torre de mampostería, basados en una estructura de madera y un solo tímpano que distribuye el agua a las acequias, y los que sí tienen torre de obra, que a su vez pueden presentar uno (figura 71) o dos tímpanos (figura 72) [ROMERO, 1998].

Los molinos salineros son perfectamente asimilables a los dedicados a extracción de agua, pero sustituyen la rueda de arcaduces por las palas de los tímpanos, encargadas de distribuir el agua a las acequias de las salinas [ARANDA, 2000].

Por último, los molinos de viento esparteros se empleaban para picar esparto dedicado a diferente tipo de manufacturas agrícolas. Su tipología era similar a los harineros pero con un mecanismo de martillos de piedra que permitiera el abatanamiento.

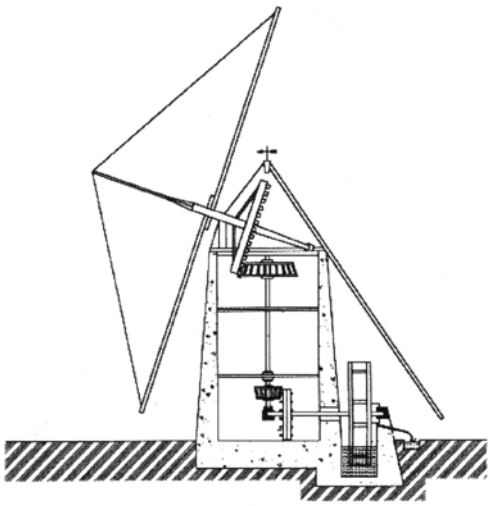


Figura 71: Molino salinero de un tímpano. *Montoya.*

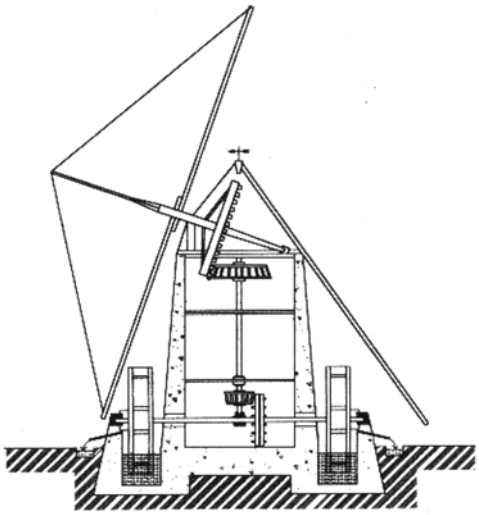


Figura 72: Molino salinero de dos tímpanos. *Montoya.*

El doctor Carlos Romero Galiana, enamorado de estos ingenios cartageneros, realizó en 1982 un inventario de los molinos existentes en ese momento en el Campo de Cartagena. Así, en el término municipal de Cartagena existían 176 ingenios, siendo los más numerosos los dedicados al bombeo de agua (135 unidades), seguidos de los harineros (39 unidades). Sólo catalogó un molino espartero y un salinero [ROMERO, 1995a].

En la región de Murcia se está realizando una labor encomiable de restauración de los molinos de viento cartageneros. Prueba de ello es la rehabilitación del molino de viento en la Diputación Rural de Santa Ana, llevada a cabo por el Ayuntamiento de Cartagena con ayudas del Programa Europeo de Desarrollo y Diversificación Económica de Zonas Rurales (PRODER). Mediante estas actuaciones se está consiguiendo que estos molinos surjan de nuevo en todo su esplendor en sus campos y se pongan en valor, incluso como reclamo turístico [AGÜERA, 2001].



Figura 73: El molino de viento de Torre Pacheco en restauración. *Montoya.*

Otros ejemplos lo constituyen los molinos de Torre Pacheco (figura 73) y el molino harinero de Zabala, además del molino de arcaduces de Las Casicas. En el municipio de Torre Pacheco se

propone a los turistas y entusiastas de la molinería la llamada "ruta de los molinos", en los que a través de un itinerario prefijado se repasan dos de las tipologías de los molinos de este enclave, los harineros y los de arcaduces [AGÜERA, 1998].

3.4.- LOS MOLINOS DE VIENTO EN LA MANCHA

Los molinos de viento *manchegos*, sin duda los más ampliamente conocidos y estudiados, responden al tipo de molino mediterráneo C de Krüger. El molino manchego está formado, al igual que los de origen andaluz, por una torre de mampostería de piedras y adobe. Sobre la torre, rigurosamente cilíndrica [SÁNCHEZ MOLLEDO, 1995b], se sitúa una techumbre cónica, en cuyo interior se aloja toda la maquinaria, ejes y engranajes de transmisión. Sin embargo el rotor se compone de cuatro palas fabricadas con un entramado de madera, recubierto de lienzo (figura 74).

Los molinos de La Mancha se introducen hacia mediados del siglo XV, y se difunden ampliamente en los siglos XVI y XVII. Su decadencia comienza a finales del siglo XIX, si bien estuvieron en servicio hasta mediados del siglo XX (figura 75) [SÁNCHEZ RUIZ, 1995]. Aunque de neta influencia mediterránea, su desarrollo, según algunos autores, está relacionado con los europeos, según se desprende de su semejanza con otros franceses [FERNÁNDEZ-LAYOS, 1988].

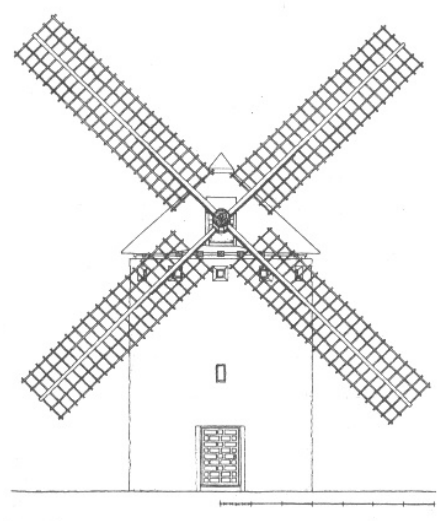


Figura 74: Típico molino manchego. *Ramos Cabrero.*

Los molinos manchegos se extendieron por toda Castilla la Nueva; así, existen ejemplares en Madridejos, Quintanar de la Orden, Consuegra y Puebla de Almonacid, en la provincia de Toledo; Alcázar de San Juan, Campo de Criptana y Argamasilla, en la provincia de Ciudad Real; Belmonte y Mota del Cuervo, en la provincia de Cuenca; y Villarrobledo, en la provincia de Albacete.

También se encuentran, de forma más esporádica, en otras poblaciones manchegas e incluso en la frontera con Andalucía, como el ya comentado de la localidad giennense de Baños de la Encina.



Figura 75: Fotografía de un molino manchego (1924). *Fernández Lavandera.*

Existe una tipología de molino de viento manchego, común a todas las zonas, si bien en determinadas áreas aparecen detalles técnicos o constructivos que los hacen parcialmente diferentes.

La torre del molino, cilíndrica, puede alcanzar alturas de hasta ocho metros. La caperuza troncocónica posee una altura media de 3 metros. La torre está realizada en mampostería con las juntas de unión a base de mortero de cal y arena. El interior se enlucía con yeso. El diámetro total de un molino manchego está en torno a los seis metros.

La torre de un molino manchego alberga tres estancias (figura 76). La primera estancia, llamada silo [SÁNCHEZ MOLLEDO, 1995b], es el recinto donde se produce el ensacado de la harina, y allí se encuentran el canalón y el alivio del molino, además de un pequeño pesebre para la bestia del molinero. Se accede a la misma por una única puerta, orientada casi siempre al sur.

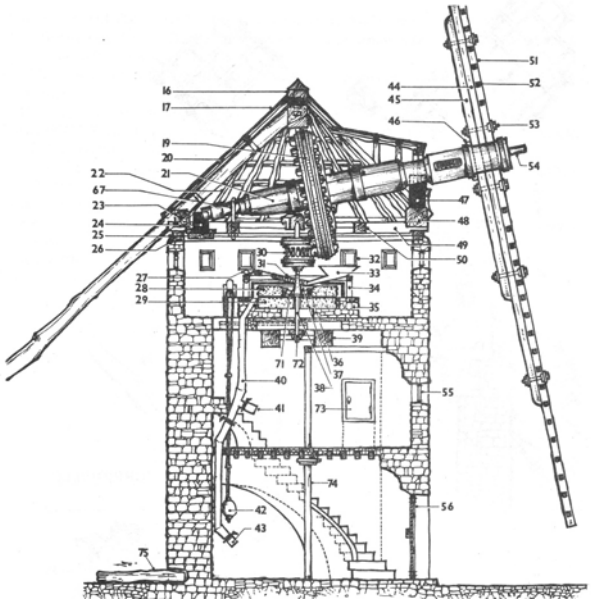


Figura 76: Sección de un molino manchego. *Mazuecos.*

La segunda estancia se denomina camareta, y en ella se encuentran los marranos, que son dos vigas de madera que sustentan el

moledero de la última planta. En esta estancia es común ver una pequeña alacena empotrada en el muro, utilizada para guardar las herramientas y los distintos aperos del molino. También existía una pequeña ventana, justo encima de la puerta de la planta baja. Los marranos sustentan el suelo de la tercera estancia, formado por un tablazón de madera, a diferencia de las otras dos.

Esta tercera estancia, denominada moledero o habitación de las piedras, es la más ancha, contando con casi cinco metros de diámetro. A un metro de altura sobre el suelo de esta estancia se abren un total de ocho ventanillos empotrados en el muro; éstos tienen unas dimensiones aproximadas de 22 cm de alto y 24 cm de ancho, y servían como fiel testigo de los diferentes vientos que penetraban en el molino (ábrego, ábrego hondo, cierzo, solano, matacabras, villacañero y toledano) [FERNÁNDEZ-LAYOS, 1988].

En la zona de la Mancha se conservan bastantes ejemplares en buen estado, algunos de los cuales se han reconstruido recientemente. Son los más famosos los del Campo de Criptana, Mota del Cuervo y Consuegra.

3.5.- LOS MOLINOS DE VIENTO EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

Los molinos de viento constituyeron referencias del paisaje valenciano durante siglos; su aparición parece ser más tardía, no anterior al siglo XVI, y su etapa de mayor difusión y esplendor fue el primer tercio del siglo XIX [SEIJÓ, 1970].

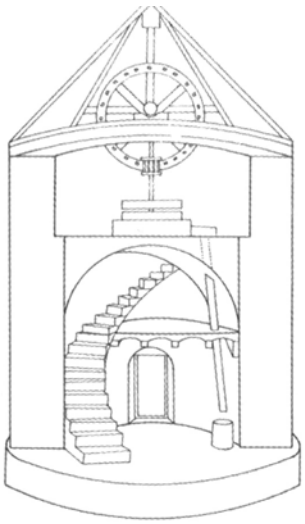


Figura 77: Molino de viento harinero alicantino. *Seijó.*

En cualquier caso han sido una tipología poco estudiada hasta el momento. Las comarcas objeto de mayor atención han sido la de Marina Alta y el Bajo Segura, a través de la obra de Seijó. Éstas fueron las comarcas en las que la molinería de viento presentaba mayor difusión, con usos diferenciados entre la molienda de cereal (figura 77) y la extracción de agua.

Los molinos valencianos se enmarcan dentro del tipo de molino mediterráneo, tipología C de Krüger, con planta circular y torre ligeramente troncocónica con cuatro aspas. Los molinos harineros eran de dos plantas, con

camareta intermedia, donde se guardaban aperos y herramientas del molino.

Se conoce documentalmente la existencia de unos setenta molinos en toda la comunidad, si bien han perdurado los restos de escasamente una treintena [BOLUFER, 1998]. La figura 78, tomada de los trabajos de Bolufer, representa un mapa de la comunidad valenciana con la distribución de los molinos de viento que perduran en la actualidad (representados por círculos) y de los que existen restos (representados por triángulos).

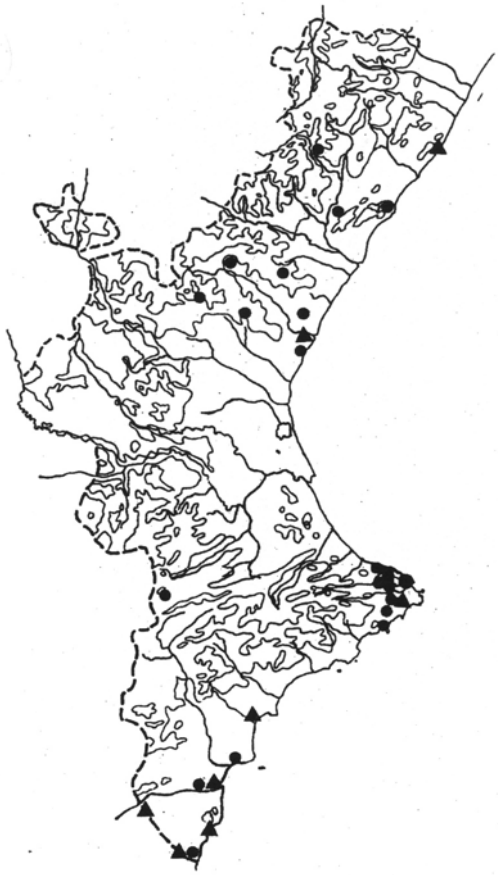


Figura 78: Distribución de molinos de viento en la comunidad valenciana. *Bolufer.*

En cualquier caso, ninguno de los molinos aún existentes conserva de manera íntegra ni los mecanismos ni la cubierta tradicional. Obviamente sí se conservan las torres, fabricadas en obra a base de mampostería de piedra, con gruesos muros que llegan a tener más de 150 cm de anchura en su parte baja. Cabe indicar que las torres presentan dos puertas de acceso, al igual que los almerienses y cartageneros.

Los molinos mejor conservados son los alicantinos, en el extremo meridional de la región. En la figura 79 aparece el molino de viento de la localidad alicantina de Rojales, cuyo aspecto exterior es soberbio, si bien la maquinaria está incompleta.



Figura 79: Molino de viento de Rojales. *Fotografía del autor.*

3.6.- LOS MOLINOS DE VIENTO EN CATALUÑA

Como se ha comentado en un epígrafe anterior de este capítulo, el primer molino de viento del que se tiene constancia en España es el de Tarragona, de finales del siglo X o principios del siglo XI, aunque probablemente fuese un molino árabe de eje vertical.

La existencia de molinos de viento en Cataluña se extiende tanto a las comarcas del interior como en la zona de la costa. Pueden distinguirse dos zonas bien diferenciadas: por un lado la franja costera desde el Cabo de Creus hasta el Delta del Ebro, y por otro lado la zona central correspondiendo a las comarcas del Alt Urgell, Bagés, Osona, Solsonés, Anoia, Baix Llobregat, Segarra, Urgell, Conca de Barberá, Garrigues, Segrià y Terra Alta [GONZÁLEZ ET AL, 1998].

Según estudios recientes, el inventario de molinos de viento harineros en Cataluña contempla cerca de sesenta unidades, de las cuales unas veinticinco pertenecen a las comarcas interiores y el resto a la costa.

La mayoría de los molinos son construidos en el siglo XVI [GONZÁLEZ ET AL, 1995], comienzan a entrar en desuso en el siglo XVII y prácticamente la mayoría se abandonan definitivamente en el siglo XVIII, perdiéndose en la actualidad hasta su modo de funcionar. Tras el arruinamiento de los molinos, algunos se emplearon como vivienda. En cualquier caso eran construcciones aisladas, no dándose el caso de agrupaciones de molinos como en otras regiones españolas.

En general la forma de la torre de los molinos catalanes es troncocónica, con una única puerta orientada al este. La obra de la misma es a base de mampostería enlucida con los vanos enmarcados con sillares; normalmente poseen una planta baja y dos pisos, con escalera helicoidal.

Debido a la ausencia de la techumbre en todos los ejemplares, es difícil catalogar los mismos (figura 80). Está claro que se trata de molinos mediterráneos de torre, y nos aventuramos a que se acercaran a la tipología C de Krüger.



Figura 80: Torre del molino de viento de La Morana. *González et al.*

Según testimonios gráficos [GONZÁLEZ ET AL, 1995], la caperuza de la techumbre sería cónica y de madera o lajas de piedra, y estarían dotados de cuatro aspas. Aún se conservan restos de las lajas de la techumbre en los alrededores de molinos como el de La Morana, en Torreflor (Lleida).

En cuanto a su uso, la gran mayoría eran harineros, si bien también los había dedicados al bombeo de agua. Los últimos estudios realizados sobre la existencia de los molinos de viento en Cataluña vienen a llenar un vacío sobre su conocimiento. Los molinos de viento han sido también habituales en las comarcas catalanas, aunque en proporciones inferiores a los ingenios hidráulicos, algo general en el resto de la Península Ibérica.

3.7.- LOS MOLINOS DE VIENTO EN EL PAÍS VASCO Y NAVARRA

El trabajo más relevante sobre los molinos de viento en el País Vasco y Navarra ha sido realizado por Aguirre Sorondo, en su obra *Tratado de molinología*. En dicha obra describe los molinos de viento de la zona y realiza una interesante contribución gráfica sobre los mismos.

Los molinos de viento de Navarra, de los que Aguirre tiene catalogados documentalmente tres, parece ser que tuvieron origen en los siglos XIV y XV. En cualquier caso no hay vestigios de ninguno de ellos, por lo que su tipología es desconocida.

En cuanto a los molinos de viento de Vizcaya son los más numerosos, pues al menos hay catalogados siete ejemplares, de los que existen vestigios de seis de ellos. En la figura 81 se aprecia un mapa de Vizcaya con la localización de los seis molinos de los que hay restos.



Figura 81: Distribución de los molinos de viento en Vizcaya. *Aguirre*.

La tipología de estos molinos era de tipo torre, con caperuza giratoria y cuatro aspas, al estilo de la clasificación C de Krüger.

La torre tenía ocho o nueve metros de altura, y estaba realizada con mampostería (figuras 82 y 83). Poseen dos puertas, situadas curiosamente a noventa grados; también suelen tener algunas ventanas pequeñas [AGUIRRE, 1988].



Figura 82: Fotografía del molino vizcaíno de Azpazar, en Abadiano. *Aguirre*.

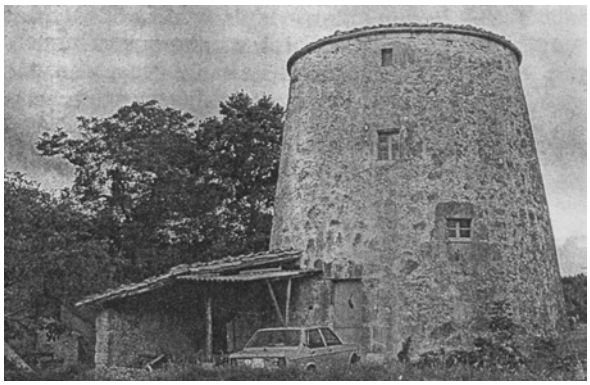


Figura 83: Fotografía del molino vizcaíno de Aixeder, en Isparter. *Aguirre*.

En Guipúzcoa solamente existe constancia documental de la existencia de un molino de viento en San Sebastián, de tipología desconocida. Éste existió frente al mar en el barrio de Aiete y podría datar del siglo XIV.

En Álava, parece ser que existieron unos pequeños molinos, construidos en su totalidad en madera, que aprovechaban la energía del viento para moler bellotas para el ganado, pero lo cierto es que no hay vestigios de los mismos.

En cualquier caso, parece ser que los molinos del País Vasco, al menos los vizcaínos, fueron muy posteriores a los navarros. Así, los molinos vizcaínos surgen en el siglo XVIII, probablemente como solución a la gran sequía que se padecía en esas fechas [AGUIRRE, 1988].

En la actualidad, muchos de los molinos vizcaínos han sido reconvertidos en viviendas de recreo, por su privilegiada situación. Sólo se ha abordado la restauración del molino de Axerrota, en Getxo, con resultado algo desafortunado [AGUIRRE, 1988].

3.8.- LOS MOLINOS DE VIENTO EN GALICIA

Galicia es tierra de molinos de viento. Existen inventariados unos 125 molinos de viento, de los cuales la mayor parte han desaparecido.

Éstos se localizaban casi mayoritariamente en la costa. Las razones para ello son varias. Por un lado en la costa gallega existen numerosas áreas de vientos constantes y prácticamente uniformes. Por otro lado la elevada densidad de población de la costa respecto a las zonas interiores, provocaba más necesidades de abastecimiento [BAS, 1995].

Dentro de los molinos de viento gallegos, aún siendo todos muy sencillos, pueden distinguirse varias tipologías:

1. Molinos de viento de torre, los más numerosos.

2. Molinos tipo nórdico, de torre giratoria.

3. Molinos de armazón, muy poco significativos, se conocen tres ejemplares.

Los más comunes son los molinos de viento de torre, entre los que hay inventariados unos sesenta ejemplares. A su vez, dentro de éstos, pueden distinguirse dos tipos: con cubierta giratoria, al estilo de los molinos mediterráneos, y con cubierta fija.

En los molinos de torre de cubierta giratoria, ésta goza de un sistema de giro a través de ruedas sobre una canaleta practicada en la coronación de la torre. Estos molinos poseen velas triangulares de lienzo, y la mayoría tienen un único moledero [BAS, 1995]. Su tipología sería asimilable al tipo A de Krüger.

Los molinos de torre de cubierta fija, registrados en el área de Catoira, son un ejemplo único en Europa. Son molinos bidireccionales, es decir, con doble sistema de aspas opuestas, de manera que recogen las dos direcciones de los vientos dominantes, del suroeste y del noreste (figura 84). Sus aspas son de madera y su tecnología bastante rudimentaria. El ejemplo más representativo es el molino de Abalo [FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 1997].

Los molinos de torre giratoria, tipo pivote, concentrados todos ellos en la coste Norte gallega, no han llegado en pie a nuestros días, si bien no hay catalogados más de diez ejemplares. La torre era cilíndrica con base de piedra y la parte superior, que incluía los mecanismos y el moledero,

era giratoria de madera (figura 85). Poseían un sistema de giro a través de ruedas.



Figura 84: Molino gallego con dos rotores opuestos. *Ramos Cabrero.*

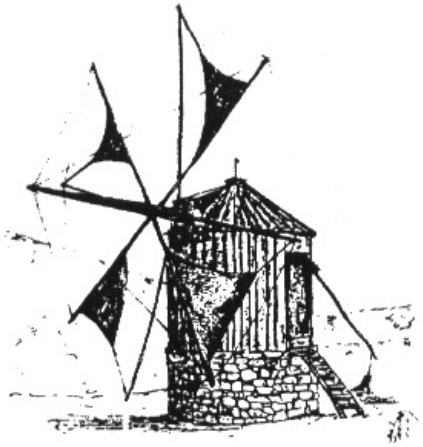


Figura 85: Molino gallego de torre giratoria. *Fernández y Fernández.*

Por último, los molinos de armazón, poco representativos, se caracterizaban por no presentar torre, sino el armazón que servía de soporte para los mecanismos del molino. Son más modernos, puesto que el material de toda la maquinaria es hierro o cinc [BAS, 1995].

3.9.- LOS MOLINOS DE VIENTO EN LAS ISLAS BALEARES

Las islas baleares suponen la mayor concentración de molinos de viento harineros de España. Recientes estudios han concluido que hay inventariados en las islas cerca de 900 molinos de viento, y todos ellos harineros. Sólo en Mallorca hay más de ochocientos. También los hay para extraer agua, cuyo número parece ser que supera los dos millares en la mayor de las islas [RABASSA, 1995].

El molino *balear*, al igual que el manchego, encaja en la tipología C de Krüger, aunque presenta seis aspas (o antenas, que así las llaman en las islas) en lugar de cuatro. Tiene normalmente una torre más esbelta que el molino manchego, y puede presentar dos particularidades: la *base* y el *cintell*.

La torre de los molinos baleares, normalmente de ocho a diez metros de altura, no suele tener más de tres o cuatro metros de diámetro (figura 86), y sus muros de mampostería tienen espesores de 60 cm a un metro. El acceso a la torre del molino balear es a través de una o dos puertas;

dentro pueden presentarse dos o tres estancias o pisos. La mampostería suele ser a base de piedras irregulares ligadas con mortero de cal y arena. Su exterior suele presentarse enfoscado mediante una capa de mortero, aunque hay otras de piedra vista.

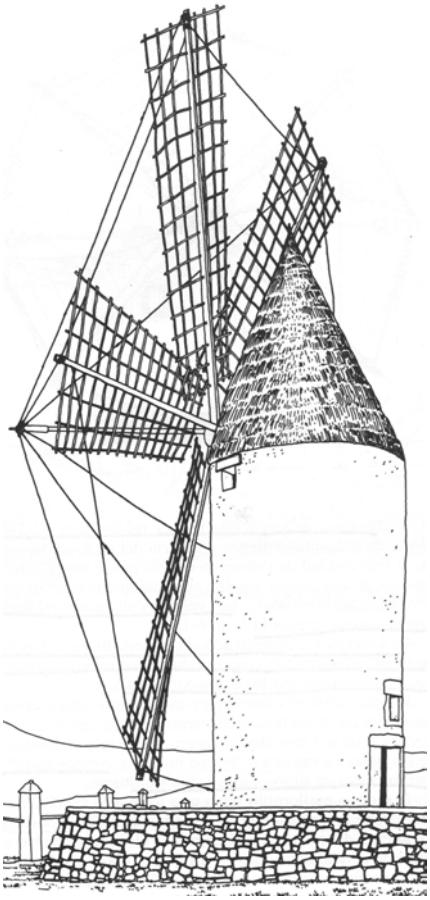


Figura 86: Molino de viento balear, con cintell.
Ramos Cabrero.

Es bastante habitual verlo situado sobre la llamada base, normalmente de planta cuadrangular o circular y que se empleaba como vivienda del molinero. La base, como se ha comentado, es una construcción de mampostería que se utiliza como vivienda y almacén, de planta rectangular o circular de una o dos plantas con alturas hasta unos cinco metros y de diez a quince metros de lado [RABASSA, 1995].

Otro elemento interesante del molino balear es el llamado cintell, o plataforma maciza de poca altura (dos metros como máximo) construida alrededor de la torre, sobre la cual se sitúa el molinero para aparejar o envelar el molino.

Una vez caracterizado el molino balear, debe indicarse que existen tres tipologías propias dentro de la isla, a saber:

1. Molino de viento con base.

2. Molino de viento con cintell.

3. Molino de viento sin base ni cintell.

Como se indicó a la hora de hablar de las tipologías de modelo mediterráneo, la particularidad del molino balear radica en la presencia de seis aspas o palas, con un original sistema de atirantado para darle forma y rigidez al rotor, similar al de los molinos de velas (figura 87). No obstante, y también se ha indicado en anteriores epígrafes, en Baleares coexistieron las tipologías A y C de molino mediterráneo.

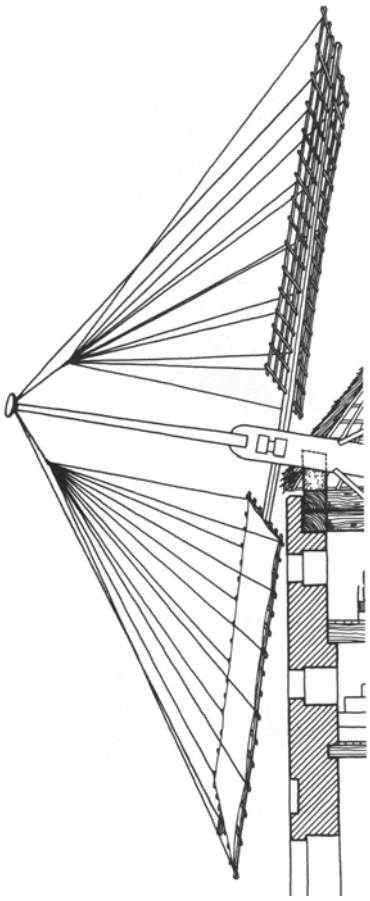


Figura 87: Sistema de tirantes de las aspas de un molino de viento balear. *Ramos Cabrero.*

En los molinos de viento baleares, la orientación de la caperuza no se realiza como en los demás, a base de torno de arrastre, palo guía e

hitos, sino mediante una palanca que se introducía en una serie de agujeros practicados en la mampostería de la torre, al objeto de apalancar el anillo de apoyo de la caperuza sobre el anillo base de la torre, consiguiendo así el giro de uno sobre otro, buscando así el viento dominante.

Es común observar en las Islas Baleares como, en los lugares en los que había corrientes dominantes, se formaban agrupaciones de varios molinos, conocidas con el nombre de *molinar* (figura 88) [RABASSA, 2001].

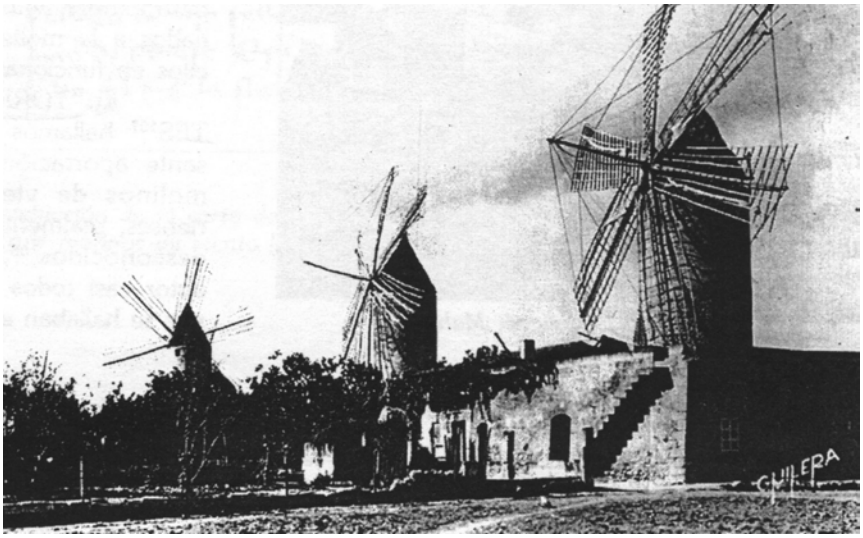


Figura 88: Molinar de tres molinos en Manacor. Molinos de viento con base.
Postal de principios siglo XX.

En las Islas Baleares, existe una asociación muy activa, que cuenta con más de veinte años de antigüedad, y cuyo objeto es fomentar la reconstrucción y recuperación de los molinos de todo tipo. Esta es la razón por la que cada vez más molinos están siendo objeto de restauraciones y, poco a poco, van poniéndose en valor y entran dentro de los itinerarios turísticos de las islas.

3.10.- LOS MOLINOS DE VIENTO EN LAS ISLAS CANARIAS

El molino de viento *canario* responde al tipo B de Krüger (figura 89), cuatro aspas y sólo dos vergas cada una de ellas, quien los estudió en las islas de Lanzarote y Fuerteventura, aunque también existían en Tenerife [CÁDIZ, 1992].

Al desarrollo de los molinos de viento en las Islas Canarias contribuyó, sin duda, la escasez de cauces fluviales, junto al gran potencial eólico de

islas como Fuerteventura, Lanzarote e incluso Tenerife; ello debió hacer que el uso de los molinos de viento se extendiese, en las primeras etapas de la colonización, con el fin de moler la harina y el gofio. Los primeros ejemplares documentados datan de 1505. Además de los tres lugares reseñados, también hay molinos de viento en La Palma [SÁNCHEZ MOLLEDO, 1995a].

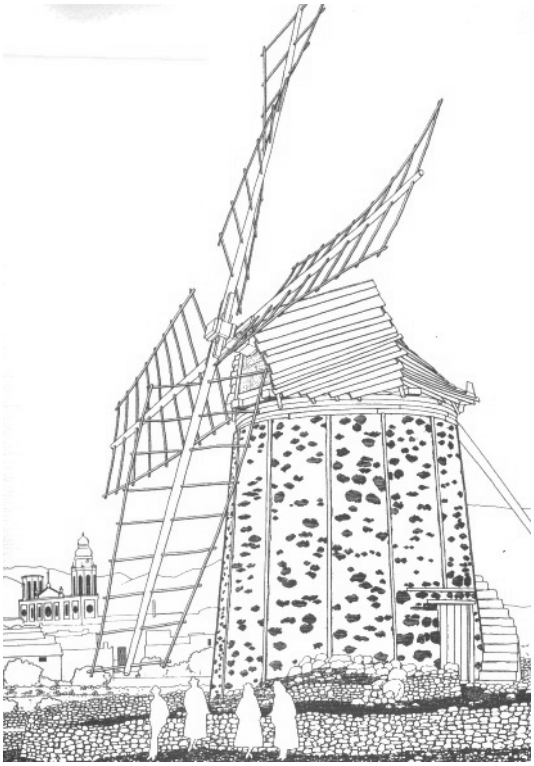


Figura 89: Molino de viento canario. *Ramos Cabrero.*

El molino de viento canario más abundante tiene una torre cilíndrica o troncocónica, algo elevada sobre una plataforma, en la que hay dos estancias que se comunican por el exterior.

En cuanto al tipo y número de aspas existe una mayor variedad, pues junto al típico de cuatro aspas de la figura anterior, existen otros cuyo rotor tiene seis o más aspas rectangulares o trapezoidales, unidas por cuerdas a la prolongación del mástil [CÁDIZ, 1992].

También eran comunes, sobre todo en La Palma, los molinos sin torre, es decir, simplemente con un armazón, normalmente de madera, donde se instalaba el ingenio (figura 90). Bien es cierto que su utilidad se ceñía más al bombeo que a la molienda de cereal o gofio, y había variantes con ocho velas y con seis u ocho aspas trapezoidales [CARO, 1996].

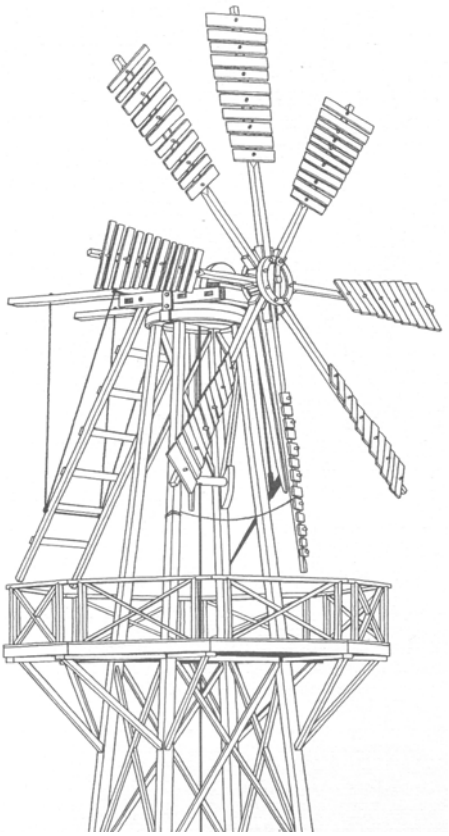


Figura 90: Molino de viento canario, sin torre, empleado para bombeo. *Ramos Cabrero.*

3.11.- OTROS MOLINOS DE VIENTO ESPAÑOLES

Hasta aquí se han recogido las tipologías de molino de viento más generalizadas en las regiones de España donde más abundan. No obstante, existen molinos de viento en otras regiones, si bien debido al bajo número de unidades y conocimiento de los mismos, hace difícil la consideración de los mismos como una tipología propia.

Sabemos de la existencia de algún ejemplar en la Tierra de Campos, en las provincias de Valladolid y Zamora [FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 1997]. Al parecer su estado es ruinoso, si bien podría haber unos veinte ejemplares en la zona. Tienen la particularidad de realización de las torres con tapial, muy abundante en la zona, frente a la mampostería de piedra.

También en León parece ser que había catalogados dos molinos para la extracción de agua (en Puente Castro y La Bañeza) y otros dos

para la molienda de grano (Laguna de Somaza y Villameca) [ALONSO, 1993].

En Aragón nos consta la presencia de molinos de viento en la provincia de Zaragoza, concretamente en las localidades de Malanquilla, Tabuenca, Torralba de Ribota y Sestrica; estos molinos entrarían dentro de la tipología C de Krüger [SEBASTIÁN, 1990].

No hemos encontrado fuentes que nos arrojen luz sobre la existencia de molinos de viento en Extremadura, Asturias, Cantabria y La Rioja.

3.12.- CONTRIBUCIONES TECNOLÓGICAS DE ORIGEN ESPAÑOL

Como se ha venido comentando tanto en el capítulo segundo como en este, los molinos de viento tuvieron su apogeo entre la mitad del siglo XVIII y la mitad del siglo XIX, fecha a partir de la cual comenzaron a decaer para dar paso a máquinas movidas por vapor y más tarde por electricidad. Los nuevos conocimientos sobre aspectos tales como la aerodinámica supusieron la búsqueda de nuevas soluciones como los rotores multipala y sistemas de regulación al objeto de optimizar el aprovechamiento de la energía eólica.

A finales del siglo XIX y primeros años del siglo XX ya aparecen por todo el país, sobre todo en la isla de Fuerteventura, las aerobombas importadas de los Estados Unidos, con mejoras tecnológicas introducidas por fabricantes españolas [AYALA-CARCEDO ET AL, 2001], algunas de las cuales se reflejan en las patentes que presentaremos.

En este contexto hemos abordado la investigación sobre las diferentes contribuciones de inventores de origen español relacionadas con la molinería de viento. Así, se han encontrado veinte privilegios de invención y cuarenta y nueve patentes, todas ellas de inventores españoles, pertenecientes a fechas comprendidas entre el primer cuarto del siglo XIX hasta los albores del siglo XX.

En España, y bajo custodia de la Oficina Española de Patentes y Marcas, existe un archivo de todos los *Privilegios de Invención* y de todas las *Patentes*; ambas son monopolios exclusivos, normalmente de duración limitada, que se concedían al que inventaba o introducía invenciones en el país.

La distinción entre privilegio de invención y patente es tan sólo nominal, y radica en la fecha en que se registraron. El nombre de privilegio es defendido por Fernando VII, en 1826, como respuesta a otros vocablos tales como patente o certificado, más afrancesados. Así, los privilegios de invención se extienden desde el 27 de marzo de 1826 hasta el 30 de julio de 1878, ambas fechas inclusive. A partir del 31 de julio de 1878, con la nueva ley de patentes, surgen las mismas hasta nuestros días.

Los privilegios de invención están numerados desde el 1 hasta el 5909, en función de su registro cronológico. El sistema de numeración se reanuda con la primera patente, la número 1, que hubiera sido el privilegio número 5910. Toda la documentación administrativa y las memorias descriptivas de ambos tipos de documentos pasan a formar un único expediente caracterizado por su número, el conjunto de los cuáles se almacena en legajos.

A continuación detallamos la relación de privilegios de invención y patentes relacionados con la molinería de viento encontrados en el archivo.

A.- PRIVILEGIOS DE INVENCIÓN

1

Expediente núm.	2
Título	MOLINO DE VIENTO (HARINERO)
Tipo	Privilegio de invención
Duración	10 años
Fecha de solicitud	21 de abril de 1826
Solicitante	PARODÍ, ANTONIO
Clasificación internacional	B02C Trituración ...; molienda de granos
Documentos	Expediente con descripción y plano

2

Expediente núm.	186
Título	MÁQUINA PARA EMPLEAR POR NUEVOS MEDIOS LA FUERZA MOTRIZ DEL VIENTO EN MOLER, ELEVAR AGUAS Y OTROS OBJETOS
Tipo	Privilegio de invención
Duración	15 años
Fecha de solicitud	3 de mayo de 1842
Solicitante	OLIVER, RAFAEL
Clasificación internacional	F03D Motores de viento
Documentos	Expediente sin memoria descriptiva

3

Expediente núm.	357
Título	MÁQUINA MOTOR, HIDRÁULICA O AÉREA APLICABLE A REMOLCAR BARCOS, AL RIEGO, A LOS MOLINOS DE VIENTO, ETC.
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	4 de mayo de 1847
Solicitante	MAINGOT, HILARIO & MONIER, FRANCISCO
Clasificación internacional	F03 Motores de líquidos, viento, resortes, pesos u otros; energía reacción
Documentos	Expediente con descripción y plano

4

Expediente núm.	417
Título	MÁQUINA PARA MOLINOS DE VIENTO HARINEROS
Tipo	Privilegio de introducción
Duración	5 años
Fecha de solicitud	26 de febrero de 1848
Solicitante	SOBREVILA, JOSÉ
Clasificación internacional	B02C Trituración... molienda de granos
Documentos	Expediente sin memoria descriptiva

5

Expediente núm.	529
Título	MÁQUINA QUE FUNCIONA BAJO EL PRINCIPIO DE GRAVEDAD ANIMADA SUSTITUYENDO VAPOR, BRAZOS, AGUA O VIENTO
Tipo	Privilegio de invención
Duración	15 años
Fecha de solicitud	29 de noviembre de 1850
Solicitante	PÉREZ DE TUDELA, ANTONIO
Clasificación internacional	F03G Motores de resortes, pesos, viento; fuente energía no prevista en otro lugar
Documentos	Expediente sin memoria descriptiva

6

Expediente núm.	552
Título	APARATO-CRIBA PARA LIMPIAR Y AVENTAR TODA CLASE DE GRANOS SIN NECESIDAD DEL VIENTO
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	26 de mayo de 1851
Solicitante	SAAVEDRA & DE RIBEROLLES
Clasificación internacional	B02B Preparación de granos para la molienda
Documentos	Expediente sin memoria descriptiva

7

Expediente núm.	1125
Título	MÁQUINAS HIDRÁULICAS IMPULSADAS POR EL VIENTO PARA EXTRAER AGUAS DE CUALQUIER PROFUNDIDAD
Tipo	Privilegio de invención
Duración	10 años
Fecha de solicitud	9 de enero de 1854
Solicitante	BOULLOSA Y AMADOR, FERNANDO
Clasificación internacional	F04 Máquinas de líquidos desplazamiento positivo; bombas...
Documentos	Expediente con descripción y plano

8

Expediente núm.	1981
Título	APARATO MOTOR, MOVIDO POR EL VIENTO, APLICABLE A TODA MÁQUINA
Tipo	Privilegio de invención
Duración	15 años
Fecha de solicitud	20 de noviembre de 1859
Solicitante	DELFABRO, BARTOLOMÉ
Clasificación internacional	F03D Motores de viento
Documentos	Expediente con descripción y plano

9

Expediente núm.	2467
Título	MECANISMO PARA LOS MOLINOS DE VIENTO
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	28 de abril de 1862
Solicitante	MASONI, JOSÉ
Clasificación internacional	B02C Trituración... molienda de granos
Documentos	Expediente sin memoria descriptiva

10

Expediente núm.	2777
Título	MÁQUINAS PARA ELEVAR AGUA Y OTRAS APLICACIONES, SIN MÁS MOTOR QUE EL VIENTO CUALQUIERA QUE SE SU DIRECCIÓN
Tipo	Privilegio de invención
Duración	15 años
Fecha de solicitud	16 de noviembre de 1863
Solicitante	REGUERO, FACUNDO
Clasificación internacional	F04 Máquinas de líquidos desplazamiento positivo; bombas...
Documentos	Expediente con descripción y plano

11

Expediente núm.	4070
Título	MOLINO DE VIENTO PARA MOVER LAS BOMBAS YNORIAS PARA SACAR EL AGUA DE LOS POZOS
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	5 de septiembre de 1865
Solicitante	VIDAL Y RAMONELL, JOSÉ
Clasificación internacional	F03D Motores de viento
Documentos	Expediente sin memoria descriptiva

12

Expediente núm.	4154
Título	MOLINO DE VIENTO PARA TRANSMITIR EL MOVIMIENTO A LOS PISTONES DE LAS BOMBAS Y LAS NORIAS PARA SACAR AGUA
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	19 de marzo de 1866
Solicitante	VIDAL Y RAMONELL, JOSÉ
Clasificación internacional	F03D Motores de viento
Documentos	Expediente sin memoria descriptiva

13

Expediente núm.	4212
Título	MOLINOS DE VIENTO PARA APROVECHAR LA MÁS MÍNIMA RÁFAGA DE AIRE Y APLICARLA COMO FUERZA A TODA CLASE DE INDUSTRIAS
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	30 de agosto de 1866
Solicitante	TINTURE Y SOLER, FRANCISCO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento
Documentos	Expediente sin memoria descriptiva

14

Expediente núm.	4213
Título	MÁQUINAS "TURBINA DE VIENTO" PARA ELEVAR EL AGUA DE CUALQUIER PROFUNDIDAD Y APLICARLA EN CAUDAL COMO FUERZA MOTRIZ
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	31 de agosto de 1866
Solicitante	VALLDEPERAS Y ROCA, JOSÉ
Clasificación internacional	F03D Motores de viento
Documentos	Expediente con descripción y plano

15

Expediente núm.	4289
Título	MOLINOS DE VIENTO PARA APROVECHAR LA MÁS LIGERA RÁFAGA DE VIENTO Y APLICARLA COMO FUERZA A TODA CLASE DE INDUSTRIA
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	17 de enero de 1867
Solicitante	TINTURE Y SOLER, FRANCISCO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento
Documentos	Expediente sin memoria descriptiva

16

Expediente núm.	5169
Título	APARATO MECÁNICO APLICABLE A LOS MOLINOS DE VIENTO
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	19 de marzo de 1874
Solicitante	FERRER Y MARTÍNEZ, CAYETANO
Clasificación internacional	B02C Trituración... molienda de granos
Documentos	Sin expediente y sin memoria descriptiva

17

Expediente núm.	5454 BIS
Título	NUEVO MOTOR DE VIENTO DE ORIENTACIÓN PERMANENTE, TRABAJO UNIFORME Y REGULADOR AUTOMÁTICO
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	10 de mayo de 1876
Solicitante	SIVILLA PRATS, FÉLIX
Clasificación internacional	F03D Motores de viento
Documentos	Expediente con descripción y plano

18

Expediente núm.	5681
Título	MÁQUINA DE HIERRO LLAMADA "MOLINO DE VIENTO" PARA EXTRAER LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y ELEVARLAS A VARIAS ALTURAS
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	31 de mayo de 1877
Solicitante	PLANAS Y MUNDET, ANTONIO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento
Documentos	Expediente con descripción y plano

19

Expediente núm.	5779
Título	TURBINA DE VIENTO
Tipo	Privilegio de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	8 de enero de 1878
Solicitante	MARTÍ Y ESPARRAGUERA, PEDRO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento
Documentos	Expediente sin memoria descriptiva

20

Expediente núm.	5856
Título	MOLINO DE VIENTO LLAMADO "GIRALDA MOTRIZ"
Tipo	Privilegio de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	18 de mayo de 1878
Solicitante	CASO, JOSÉ INDALECIO
Clasificación internacional	B02C Trituración..., molienda de granos
Documentos	Expediente con descripción y plano

B.- PATENTES DE INVENCIÓN

En cuanto al número de documentos encontrados en el archivo de patentes relacionados con la energía eólica y la molinería de viento, asciende a cuarenta y nueve.

De ellos, cuarenta y tres son patentes de invención y seis son certificados de adición, es decir, documentación complementaria presentada para ampliar o detallas las características del invento patentado. A continuación se enumeran sus características.

1

Expediente núm.	212
Título	RODETE ASPAVIENTO HORIZONTAL
Tipo	Patente de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	15 de enero de 1879
Solicitante	RICART CARBÓ, BARTOLOMÉ
Clasificación internacional	F04B Máquinas líquidos desplazamiento positivo; bombas...

2

Expediente núm.	349
Título	NUEVO MOTOR DE VIENTO DE PANTALLAS GIRATORIAS, SIMPLES O REGULADORAS AUTOMÁTICAS, LLAMADO MOLINO VELETA DIFERENCIAL SISTEMA BOFILL
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	28 de abril de 1879
Solicitante	BOFILL SOLER, PEDRO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

3

Expediente núm.	644
Título	UN MOLINO DE VIENTO, SISTEMA SIMÓN Y SOLER
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	8 de noviembre de 1879
Solicitante	SIMÓN SURIÑACH, JOSÉ & SOLER CAMP, ENRIQUE
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

4

Expediente núm.	794
Título	MOTOR DE VIENTO, DE MOVIMIENTO HORIZONTAL CON APLICACIÓN A MOLINOS, NORIAS Y OTRAS INDUSTRIAS Y ARTEFACTOS ANÁLOGOS
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	16 de febrero de 1880
Solicitante	BAUZÁ MARQUEDAL, PEDRO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

5

Expediente núm.	964
Título	UN APARATO AUTOMÁTICO APLICABLE A LA MOLIENDA DEL TRIGO EN LOS MOLINOS ORDINARIOS MOVIDOS CON MOTOR DE SANGRE, DE VIENTO, O DE VAPOR, DESTINADO A MEJORAR LA CALIDAD DE LA MOLTURA
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	29 de mayo de 1880
Solicitante	BOFILL SOLER, PEDRO & FERRER MARTÍNEZ, CAYETANO
Clasificación internacional	B02C Trituración... molienda de granos

6

Expediente núm.	990
Título	UN FRENO ESPECIAL PARA MOLINOS DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	5 de junio de 1880
Solicitante	FAURÁ CARBONELL, GABRIEL
Clasificación internacional	F03B Motores de viento

7

Expediente núm.	1855
Título	UN MOLINO DE VIENTO CON REGULADOR AUTOMÁTICO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	31 de agosto de 1881
Solicitante	SANTANDREU, PABLO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

8

Expediente núm.	2039
Título	CONSTRUCCIÓN DE UNA DISPOSICIÓN ESPECIAL PARA MOLINOS DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	2 de diciembre de 1881
Solicitante	FRADERA, NARCISO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

9

Expediente núm.	2429
Título	UN MOLINO DE VIENTO
Tipo	Certificación de adición
Duración	
Fecha de solicitud	26 de mayo de 1882
Solicitante	SIMÓN SURIÑACH, JOSÉ & SOLER CAMP, ENRIQUE
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

10

Expediente núm.	2520
Título	UN APARATO LLAMADO MOLINO DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	19 de junio de 1882
Solicitante	FAURÁ MUNDET, JOSÉ
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

11

Expediente núm.	2972
Título	UN NUEVO MOTOR PARA UTILIZAR LA FUERZA DE IMPULSIÓN DEL VIENTO Y DE LAS OLAS
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	9 de enero 1883
Solicitante	CASANOVAS CAPDEVILA, JOSÉ
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

12

Expediente núm.	3440
Título	UN APARATO REGULADOR O MODERADOR DE VELOCIDAD AUTOMÁTICO APLICADO A TODA CLASE DE MOLINOS DE VIENTO MOVIDA POR MEDIO DE ASPAS PLANAS Y DE SUPERFICIE CURVA
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	18 de junio de 1883
Solicitante	MASDEU CASANOVA, JUAN
Clasificación internacional	G05D Sistemas de control o de regulación de variables no eléctricas

13

Expediente núm.	4130
Título	UN APARATO REGULADOR O MODERADOR DE VELOCIDAD AUTOMÁTICO APLICADO A TODA CLASE DE MOLINOS DE VIENTO MOVIDO POR MEDIO DE ASPAS PLANAS Y DE SUPERFICIE CURVA
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	1 de abril de 1884
Solicitante	MASDEU CASANOVA, JUAN
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

14

Expediente núm.	4684
Título	UN NUEVO SISTEMA DE MOLINO DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	6 de diciembre de 1884
Solicitante	TIVOLE, JOSEPH
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

15

Expediente núm.	4855
Título	UN APARATO REGULADOR O MODERADOR DE VELOCIDAD AUTOMÁTICO APLICADO A TODA CLASE DE MOLINOS DE VIENTO MOVIDO POR MEDIO DE ASPAS PLANAS Y DE SUPERFICIE CURVA
Tipo	Certificado de adición
Duración	
Fecha de solicitud	19 de febrero de 1885
Solicitante	MASDEU CASANOVA, JUAN
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

16

Expediente núm.	5099
Título	UN MOLINO DE VIENTO, SISTEMA "ESCÚTRICO"
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	25 de mayo de 1885
Solicitante	SOLER CAMPDELACREU, ENRIQUE
Clasificación internacional	B02C Trituración... molienda de granos

17

Expediente núm.	5155
Título	APARATO O BOMBA ROTATORIA PROPIA PARA LA ELEVACIÓN Y LA COMPRESIÓN DE LOS FLUIDOS, PARA LA ACUMULACIÓN DE LA FUERZA DEL VIENTO Y DE LAS MAREAS, Y EN GENERAL PARA COMUNICAR EL MOVIMIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	12 de junio de 1885
Solicitante	SCHERGEN, EUGÈNE
Clasificación internacional	F04B Máquinas líquidos desplazamiento positivo; bombas

18

Expediente núm.	5681
Título	TURBINA DE VIENTO SISTEMA OLLER
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	3 de marzo de 1886
Solicitante	OLLER CAMÓN, JOSÉ RAFAEL
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

19

Expediente núm.	5803
Título	UN MOTOR DE VIENTO DE ORIENTACIÓN INSTANTÁNEA Y REGULADOR AUTOMÁTICO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	30 de marzo de 1886
Solicitante	HURÉ, D.
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

20

Expediente núm.	6021
Título	UNA MÁQUINA O MOLINO DE VIENTO PORTÁTIL PARA VERIFICAR TRABAJOS AGRÍCOLAS
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	14 de junio de 1886
Solicitante	GIMÉNEZ LORENTE, PEDRO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

21

Expediente núm.	6036
Título	UN MOTOR HORIZONTAL DE VIENTO Y AGUA
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	17 de junio de 1886
Solicitante	SCHULZE, TEODORO & GORNICKI, SILVESTRE
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

22

Expediente núm.	6183
Título	UN AÉREO-MOTOR O APARATO DESTINADO AL APROVECHAMIENTO DEL VIENTO PARA FUERZA MOTRIZ
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	12 de agosto de 1886
Solicitante	BARRUFET VECIANA, JOSÉ
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

23

Expediente núm.	6257
Título	UN APARATO DENOMINADO TURBINA DE VIENTO SISTEMA OLLER
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	1 de septiembre de 1886
Solicitante	OLLER CAMÓN, JOSÉ RAFAEL
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

24

Expediente núm.	6873
Título	UN MOLINO DE VIENTO PORTÁTIL PARA VERIFICAR TRABAJOS AGRÍCOLAS
Tipo	Certificado de adición
Duración	
Fecha de solicitud	5 de abril de 1887
Solicitante	GIMÉNEZ LORENTE, PEDRO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

25

Expediente núm.	7204
Título	UN MOLINO DE VIENTO PORTÁTIL PARA VERIFICAR TRABAJOS AGRÍCOLAS
Tipo	Certificado de adición
Duración	
Fecha de solicitud	11 de julio de 1887
Solicitante	GIMÉNEZ LORENTE, PEDRO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

26

Expediente núm.	7536
Título	UNA MÁQUINA O MOTOR PARA APROVECHAR LA FUERZA DE LAS OLAS DEL MAR Y DE UNA CORRIENTE DE AGUA APROVECHABLE TAMBIÉN A LA FUERZA DEL VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	4 de noviembre de 1887
Solicitante	CAICEDO, MARQUÉS DE
Clasificación internacional	F03B Máquinas y motores de líquidos

27

Expediente núm.	8414
Título	PERFECCIONAMIENTOS INTRODUCIDOS EN LOS MOLINOS DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	25 de junio de 1888
Solicitante	FAURÁ CARBONELL, GABRIEL
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

28

Expediente núm.	9234
Título	UN MOTOR DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	23 de febrero de 1889
Solicitante	DAZA GÓMEZ, MANUEL
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

29

Expediente núm.	9595
Título	UN MOTOR DE VIENTO CON APLICACIÓN A LA ELABORACIÓN DE AGUAS Y OTROS USOS
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	22 de mayo de 1889
Solicitante	MORA PARRA, JOSÉ
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

30

Expediente núm.	9841
Título	UNA RUEDA DE VIENTO E HIDRÁULICA DE MOVIMIENTO HORIZONTAL EN ASPAS GIRATORIAS
Tipo	Patente de invención
Duración	10 años
Fecha de solicitud	23 de julio de 1889
Solicitante	SUTER, JACOB
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

31

Expediente núm.	11300
Título	TURBINA DE VIENTO, "SISTEMA OLLER"
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	10 de octubre de 1890
Solicitante	OLLER CAMÓN, JOSÉ RAFAEL
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

32

Expediente núm.	11706
Título	MEJORAS EN LAS MÁQUINAS MOVIDAS A IMPULSO DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	21 de enero de 1891
Solicitante	MOORE, ROSS FRANKLIN
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

33

Expediente núm.	13768
Título	UN MOTOR DE AGUA Y DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	12 de septiembre de 1892
Solicitante	KVASSAY, STEFAN VAN
Clasificación internacional	F03B Máquinas o motores de líquidos

34

Expediente núm.	15071
Título	UN PROCEDIMIENTO PARA ALMACENAR LA FUERZA IMPULSORA DEL VIENTO EN UNO O MÁS MUELLES REALES CON APLICACIÓN A LOS RELOJES DE PARED, TORRE, ESTACIONES, ETC., Y A LA ELEVACIÓN DE AGUAS, DINAMOS ELÉCTRICAS Y A CUANTOS APARATOS HAN DE OBRAR A INTERVALOS APETECIDOS Y DETERMINADOS
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	20 de octubre de 1893
Solicitante	CERVERA CAÑIZARES, DOMINGO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

35

Expediente núm.	15849
Título	MOTOR DE VIENTO "EL UNIVERSAL"
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	18 de mayo de 1894
Solicitante	ÁLVAREZ BERMUJO, VICENTE & VÁZQUEZ RODRÍGUEZ, LEOPOLDO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

36

Expediente núm.	15908
Título	LA CONSTRUCCIÓN DE MOLINOS DE VIENTO ORIENTADOS POR MOLINETES LATERALES EN VEZ DE TIMÓN
Tipo	Patente de invención
Duración	5 años
Fecha de solicitud	2 de junio de 1894
Solicitante	GARRIGA, JAIME
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

37

Expediente núm.	17112
Título	UN APARATO MOTOR DE VIENTO PERFECCIONADO Y PROVISTO DE ASPAS O ALAS QUE GIRAN EN UN PLANO HORIZONTAL
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	6 de marzo de 1895
Solicitante	FRIEDERICI, CARL
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

38

Expediente núm.	18335
Título	UN MOTOR DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	29 de noviembre de 1895
Solicitante	PASCUAL BROSETA, LEOCADIO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

39

Expediente núm.	18489
Título	UNMOTOR DE VIENTO DENOMINADO "GALICIA"
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	4 de enero de 1896
Solicitante	MÉNDEZ RODRÍGUEZ, SILVERIO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

40

Expediente núm.	19008
Título	UN MOTOR DE VIENTO
Tipo	Certificado de adición
Duración	
Fecha de solicitud	5 de mayo de 1896
Solicitante	PASCUAL BROSETA, LEOCADIO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

41

Expediente núm.	20270
Título	UN MOTOR DE VIENTO
Tipo	Certificado de adición
Duración	
Fecha de solicitud	20 de enero de 1897
Solicitante	PASCUAL BROSETA, LEOCADIO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

42

Expediente núm.	21773
Título	UN SISTEMA DE MOLINO DE VIENTO PARA APLICARLO COMO MOTOR EN LA EXTRACCIÓN DE AGUA DE POZOS O NORIAS Y OTRAS INDUSTRIAS
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	24 de noviembre de 1897
Solicitante	FRONTERA COMAS, JAIME
Clasificación internacional	F03B Máquinas o motores de líquidos

43

Expediente núm.	22904
Título	UN MOTOR DE AGUA Y DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	26 de julio de 1898
Solicitante	ZUKOWSKI, JEAN CONSTANTIN
Clasificación internacional	F03C Motores de desplazamiento positivo accionados por líquidos

44

Expediente núm.	22929
Título	UN MOTOR AERÍFERO HORIZONTAL QUE ADQUIERE LA FUERZA POR MEDIO DEL VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	4 de agosto de 1898
Solicitante	GARCÍAS RAMIS, ANTONIO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

45

Expediente núm.	23021
Título	UN NUEVO SISTEMA DE MOLINO DE VIENTO TITULADO "MOTOR DE AIRE CON ARMAZÓN GIRATORIO MOVIÉNDOSE SOBRE UNA VÍA INDEPENDIENTE"
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	29 de agosto de 1898
Solicitante	PALACIO ELISSAGNE, MARTÍN ALBERTO DE
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

46

Expediente núm.	23219
Título	UN NUEVO MOTOR DE VIENTO DENOMINADO "TURBINA AÉREA"
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	15 de octubre de 1898
Solicitante	MÉNDEZ RODRÍGUEZ, SILVERIO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

47

Expediente núm.	24422
Título	UN APARATO PARA LA PRODUCCIÓN PERIÓDICA DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA POR LA FUERZA DEL VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	26 de junio de 1899
Solicitante	GEHRE, MAX
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

48

Expediente núm.	25104
Título	UN MOTOR DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	25 de noviembre de 1899
Solicitante	PERZINA, RUDOLF
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

49

Expediente núm.	25972
Título	UN NUEVO MOTOR DE VIENTO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	8 de mayo de 1900
Solicitante	REINLEIN SEQUERA, GUILLERMO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento

3.13.- RECAPITULACIÓN

En este capítulo se ha realizado una recopilación de las distintas tipologías de molino de viento que surgieron en España, detallando región por región la difusión que alcanzaron, así como los usos y formas en los que se aprovechaba la energía eólica.

También se presenta la relación de contribuciones tecnológicas españolas a la molinería de viento, a través de los privilegios de invención y patentes registradas. La mayoría de las mismas suponen evoluciones y mejoras sobre tecnologías ya conocidas y difundidas en el panorama agroindustrial del país por aquél entonces.

En el Anexo número 1 de esta Tesis Doctoral, denominado "Contribuciones tecnológicas españolas a la molinería de viento", se reproducen dos invenciones de particular interés.

De un lado, la primera contribución española registrada, es decir, el primer privilegio de invención relacionado con el viento, que data del primer tercio del siglo XIX. Dicho privilegio, solicitado por D. Antonio Parodí, el 21 de abril de 1826, y cuyo número de expediente es el 2,lleva por título "Molino de viento (harinero)", y presenta la peculiaridad del original sistema de orientación automática de la techumbre giratoria que propone.

La segunda invención que se reproduce es ya del último tercio del siglo XIX. Se trata de la patente de invención solicitada por D. Pablo Santandreu, el 31 de agosto de 1881, y que lleva por título "Un molino de viento con regulador automático". Se ha escogido esta patente pues representa el esfuerzo de los inventores españoles por dotar de elementos tecnológicos de regulación a los modernos rotores multipala o molinetas americanas que se extendían por los campos del país en aquellas fechas.

Capítulo 4

EL TRABAJO DE CAMPO

4.1.- INTRODUCCIÓN

La presente Tesis Doctoral se sustenta, como indica su título, en la realización de una aproximación, tanto histórica como tecnológica, a una tipología de molino de viento característica de la provincia de Almería, concretamente en la comarca del Campo de Níjar.

La aproximación histórica se realiza partiendo de la búsqueda de datos que se ha llevado a efecto, tanto de carácter bibliográfico, como evidencias físicas y entrevistas a molineros de la zona, para así dar como resultado un completo inventario de los molinos de viento del Campo de Níjar, que se presenta como anexo en esta Tesis Doctoral.

La aproximación tecnológica se realiza mediante técnicas infográficas, llegando al final del trabajo a conseguir una visita virtual al molino objeto de estudio, y aportando una serie de planos del mismo, así como la descripción exhaustiva de la tipología de molino, de sus elementos, de su forma de operar y el análisis tecnológico del mismo.

En el presente capítulo se abordará la descripción del proceso de elección del molino de viento objeto de esta Tesis Doctoral, la búsqueda bibliográfica, el proceso de toma de datos y búsqueda de ejemplares de molinos de viento en el Campo de Níjar, y molineros de la zona a quien poder entrevistar; así como la metodología empleada en la realización del trabajo.

Las razones que llevaron a escoger los molinos de viento como objeto de esta Tesis fueron varias. Dentro de la línea de investigación en la que se adscribe, resultaba de nuestro interés dedicarlo al ámbito de la molinería. En ese momento comenzó un proceso de búsqueda de información que nos diera luz sobre algún vestigio próximo, que se encontrara en un estado tal que nos permitiera la reconstrucción infográfica del mismo y que, en sí mismo, su estudio resultara interesante. Además resultaba fundamental que dicho ingenio no estuviese aislado, sino que formara parte de un conjunto tipológico de entidad.

Durante esta etapa de búsqueda de restos arqueológicos preindustriales en nuestro entorno cercano, quedó claro rápidamente que en la provincia de Jaén, pese a haber encontrado evidencias de la existencia de molinos de viento, éstos no constituyeron un grupo relevante, más aún debido al gran auge de la molinería hidráulica en los alrededores debido a la presencia de abundantes cauces [VIGUERAS, 1995].

4.2.- LA ELECCIÓN DEL MOLINO DE VIENTO OBJETO DE ESTUDIO

El proceso de búsqueda de datos en cualquier trabajo de investigación resulta fundamental. Los resultados que se obtengan en el análisis tecnológico dependerán en este caso de la fidelidad de la reproducción infográfica así como de los planos de detalle del molino, que a su vez dependerán de la tipología del ingenio elegido en este proceso.

Como se ha indicado, el primer paso consistió en la búsqueda de documentación bibliográfica que nos arrojara luz sobre la existencia de un molino de viento cercano. Resultó fácil encontrar bibliografía sobre molinos tan estudiados como los manchegos, cercanos a nuestra provincia, pero la abundancia de artículos y trabajos sobre los mismos nos hizo desecharlos, pues el trabajo perdería el carácter de originalidad requerido.

Continuando con la búsqueda bibliográfica, nos planteamos escoger un molino situado en la provincia de Huelva, concretamente en la Puebla de Guzmán. En el capítulo tercero se ha comentado el gran interés que muestra Caro Baroja por dichos molinos, que forman un conjunto relativamente numeroso y del que existen ejemplares en aceptable estado de conservación. Además, Caro Baroja habla de los mismos como de auténtico exponente de lo que él considera *el molino de viento andaluz* [CARO, 1996].

En el caso de no escoger la localidad anterior, se nos presentaban pocas alternativas; teníamos conocimiento de la existencia de algunos molinos de viento en las costas de Cádiz, pero desconocíamos totalmente su estado de conservación y ubicación exacta. Para ello, recurrimos al *Atlas lingüístico y etnográfico de Andalucía,* obra ya referenciada en esta Tesis, cuyo coordinador fue Manuel Alvar. En esta obra encontramos algún dibujo de los molinos de Conil y Vejer de la Frontera, junto a otros dos,

bastante parecidos, tomados en la provincia de Almería, mucho más próxima a nuestro entorno.

A partir de aquí se inicia el proceso de búsqueda de restos de molinos de viento almerienses, comenzando el rastreo en el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar. Así, pudimos descubrir la existencia, en la localidad de San José, de un molino de viento en aceptable estado; eso sí, de aspecto algo diferente a los que podemos ver en La Mancha, auténtica imagen que todos tenemos del molino de viento por ser la referencia más cercana.

El molino de viento, denominado Molino del Collado de San José (figura 91), está señalizado en una ruta de senderismo que lleva por una pista de tierra hasta la Playa de los Genoveses. Se encuentra abierto, sin puertas. La lógica curiosidad nos hizo adentrarnos en el mismo y contemplar con admiración el razonable estado de su maquinaria. Aprovechamos la ocasión para hacer unas cuantas fotografías al objeto de proceder a intentar catalogarlo y compararlo con algún otro ejemplar parecido que pudiésemos encontrar. A partir de este momento, y constatada la existencia de un molino de viento en aquellos parajes, nuestra preocupación se traslada a la búsqueda de datos sobre otros posibles molinos de viento en tierras almerienses.



Figura 91: El Molino de Viento del Collado, en San José. *Fotografía del autor.*

Como se indicó en el capítulo tercero, ni siquiera Caro Baroja hace alusión a los mismos en su *Disertación sobre los molinos de viento*, y, por supuesto, en el mapa de molinos de viento de España y Portugal que elabora en el año 1952 (véase figura 55), ignora la presencia de molinos de viento en Almería [CARO, 1996].

Insistiendo en la búsqueda de algún artículo que pudiera referirse a algún molino de viento en Almería, tan sólo encontramos uno, denominado "Evolución de los molinos de viento en la Península Ibérica", escrito por José María Sánchez Molledo, y que, en relación a los molinos de viento andaluces, indica que "*... hemos visto el Molino de Pozo de los Frailes, junto al Cabo de Gata en Almería, que conserva la maquinaria*" [SÁNCHEZ MOLLEDO, 1995a].

Esta primera referencia ya nos hace sospechar sobre la presencia, aunque poco constatada en referencias bibliográficas, de molinos de viento en esa zona de la provincia de Almería.

Incluso en un primer momento, creímos que el molino al que se refería Sánchez Molledo era el mismo que nosotros habíamos avistado, debido a la cercanía entre la localidad de Pozo de los Frailes y San José. Llegados a estas alturas, decidimos abordar el estudio en profundidad del molino en cuestión.

4.3.- LA BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

La búsqueda bibliográfica, inicialmente, se concentró en el ámbito del estudio de la molinería en general. Posteriormente nos dedicamos exclusivamente a todos los artículos que nos pudieran facilitar información acerca de los molinos de viento, y de los almerienses en particular.

A la hora de realizar la búsqueda, se ha recurrido a la A.C.E.M. (Asociación para la Conservación y Estudio de los Molinos), con sede en Madrid. Esta asociación ha organizado varios congresos y jornadas de molinología, y abarca todos los ámbitos de la misma.

Así, nos hicimos con las actas de las *I Jornadas Nacionales sobre Molinología*, celebradas en Santiago de Compostela durante el mes de noviembre de 1995 y organizadas por la Fundación Juanelo Turriano; en dichas actas aparecen sesenta y seis artículos y ponencias dedicadas a todos los tipos de molinos. Desafortunadamente, nada se habla de los molinos de viento almerienses.

También, desde A.C.E.M. nos facilitaron las actas de las *II Jornadas de Molinología*, celebradas en Tarrasa en octubre de 1998, organizadas por la Fundación Juanelo Turriano y el Institut D'Estudis Ilerdencs. En estas segundas jornadas, los distintos artículos y ponencias ya fueron clasificadas

en función del ámbito al que se refieren: inventarios, legislación, molinos de aceite, molinos hidráulicos, molinos de viento y de mar. En total, cincuenta y dos trabajos; ninguno aborda la molinería de viento almeriense.

La A.C.E.M. edita una revista de periodicidad trimestral, denominada "Molinum", en la que se abordan temáticas de molinería en todas sus facetas. Tampoco hasta la fecha han aparecido referencias a los molinos de viento de Almería.

Hay que hacer constar que la mayoría de los estudios realizados sobre molinos lo hacen bajo una perspectiva etnológica e histórica. Pocos abordan la cuestión de un punto de vista tecnológico.

Además de la gran ayuda que supuso la A.C.E.M. a la hora de encontrar bibliografía, el resto de la búsqueda la realizamos vía Internet, pues hoy día constituye el mayor foco de información. Por la vía del préstamo interbibliotecario, hemos consultado ejemplares de casi todas las universidades andaluzas, así como de las de Castilla La Mancha, Politécnica de Madrid, Politécnica de Cartagena, Deusto y Oviedo, entre otras. Independientemente de algunos títulos sobre tecnología popular, algunos más conocidos que otros, se realizó una búsqueda desde el punto de vista etnográfico e incluso lingüístico, pues reitero, los estudios realizados hasta el momento se enfocan desde esos puntos de vista, sin duda interesantes también.

Desde el punto de vista tecnológico, no existe ningún trabajo realizado sobre los molinos de viento del Campo de Níjar. Sólo encontramos dos obras en las que, desde otros puntos de vista distintos al tecnológico, sin entrar en demasiadas concreciones, se habla de lo que fueron los molinos de viento en Almería. Estas obras, que se citan a continuación, abordan el tema desde el punto de vista lingüístico (del léxico molinero) y etnográfico.

Las obras referidas son:

GIL ALBARRACÍN, A. (1992): *Arquitectura y tecnología popular en Almería.* Griselda Bonet Girabet (GBG). Almería.

TORRES MONTES, F. (1993): *La artesanía, las industrias domésticas y los oficios en el campo de Níjar. Estudio lingüístico y etnográfico.* Colección Humanidades. Instituto de Estudios Almerienses. Almería.

4.4.- LA METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta investigación, se articula en dos apartados fundamentales, a saber: el *trabajo de campo* y la *reconstrucción gráfica*.

En el apartado de trabajo de campo, que desarrollamos en este capítulo, hay que destacar la búsqueda de vestigios de molinos de viento a lo largo y ancho de la comarca del Campo de Níjar, a la vez que la localización de personas ligadas a los mismos, antiguos molineros de la zona, que nos ayudasen a comprender los detalles y formas de operar de los ingenios.

El trabajo de campo también se sustenta en el *reportaje fotográfico* y la *toma de croquis* tanto del edificio como de la maquinaria del molino objeto de análisis.

En ambas tareas nos apoyaremos para realizar la posterior *reconstrucción gráfica y animación por ordenador*, que presentaremos en el capítulo quinto, la cual nos ayudará a comprender el funcionamiento de este molino y la tipología en que se encuadra, y nos permitirá realizar el análisis tecnológico del ingenio.

4.5.- DESARROLLO DEL TRABAJO DE CAMPO

En el trabajo de campo realizado en esta investigación hay que distinguir claramente dos etapas. La primera de ellas, dedicada al estudio específico del molino de viento del Collado de San José. La segunda etapa, se dedicó a la búsqueda y posterior confección del inventario de molinos de viento del Campo de Níjar, así como a la localización de molineros de la zona.

A.- PRIMERA ETAPA: EL MOLINO DE VIENTO DEL COLLADO

Esta primera etapa del trabajo de campo se extendió durante tres fines de semana, debido a la necesidad de viajar hasta Almería. Concretamente, las fechas fueron 27 y 28 de enero, 24 y 25 de febrero, así como 17 y 18 de marzo del año 2001.

El molino de viento elegido para el estudio de la tipología almeriense, se encuentra situado a un kilómetro de la localidad de San

José, pedanía de Níjar, y se accede a través de la pista de tierra que comunica San José con la playa de los Genoveses, dirección a Cabo de Gata

Este trabajo de campo consistió básicamente en dos actuaciones; por un lado, la elaboración de un exhaustivo *reportaje fotográfico*, como base para una posterior descripción del molino y del proceso de funcionamiento del mismo, así como referencia inigualable a la hora de captar pequeños detalles, como las texturas, para trasladarlas luego a la infografía; por otro lado, la toma de datos y *dibujo de croquis acotados*, al objeto de poder realizar todos los planos de conjunto y detalle que se obtienen como resultado del trabajo, y que servirán de base al modelado y reconstrucción gráfica posterior.

Para la realización del reportaje fotográfico, se eligió una película para diapositivas de sensibilidad ISO 100; la razón que nos llevó a ello se centró en que, si bien se precisa un mayor tiempo de exposición para unas determinadas condiciones de luz, proporciona un grano mucho más fino, con la consiguiente repercusión en la nitidez de la imagen.

El estudio fotográfico, de importancia capital para estudiar y razonar el modo de funcionamiento así como las soluciones que se aportaban a las distintas tareas dentro de la molienda, es también vital para poder realizar posteriormente el modelo en sus más pequeños detalles.

Hemos pretendido que nuestro estudio fotográfico sirva como acompañamiento ameno a la descripción del proceso de funcionamiento del molino, que se realizará en el epígrafe siguiente como uno de los resultados inmediatos del trabajo de campo; se tratará de exponer dicho estudio ordenadamente según nos estemos refiriendo a la descripción de una parte u otra de la maquinaria o del edificio del ingenio.

Tras la realización de más de sesenta diapositivas con la ayuda de un trípode, sobre todo en el interior del molino y debido a las condiciones de luz que presentaba, fue necesaria la digitalización de las mismas mediante un escáner de película de 35 mm.

Una vez en formato digital, se han podido retocar y ha permitido el tratamiento de las mismas en el ordenador con un fin claro: extraer las texturas para componer la animación que se presenta en esta Tesis Doctoral, un "paseo virtual" por el molino.

El tratamiento digital de las imágenes se ha realizado principalmente con los programas *Adobe Photoshop 5.0* y *Ulead Photo Express 2.0 SE*.

La toma de croquis acotados supone la segunda actuación dentro del trabajo de campo a realizar en el molino. En ellos nos basaremos para obtener el modelo en AutoCAD, así como para la generación de los correspondientes planos de despiece. A su vez éstos nos servirán para la realización de cálculos mecánicos en el análisis tecnológico.

Para la toma de datos sobre croquis, se procedió primeramente a la medición del edificio del molino; ello requirió los habituales elementos auxiliares (flexómetro de cinco metros, cinta métrica, brújula, plomada, etc.), escalera incluida. Posteriormente se pasó a la toma de medidas de la maquinaria y zonas interiores del molino.

Como se ha comentado, se inició el trabajo realizando el trazado del edificio en sí, exterior e interiormente. Al tratarse de una arquitectura popular, presenta algunas irregularidades que obligan a la toma de numerosas cotas de referencia.

Posteriormente se realizaron los croquis de la maquinaria del molino. Se comenzó por la parte de madera visible desde el piso inferior, tomando cotas de marranetes, puente del alivio, tacilla y sopuente. Posteriormente se abordó la toma de datos del piso superior, no sin antes utilizar una escalera portátil, debido a la ausencia de la misma en nuestro molino.

En el piso superior se comenzó de abajo a arriba; es decir, comenzamos tomando cotas de las piedras solera y volandera, bancada, cama del molino, ventano, caña, linterna, eje y rueda de puntería.

Dejamos para el final lo que algunos en la zona denominan *ruedo* del molino (aunque otros denominan así al octógono que forman los cables que unen las puntas de los botalones entre sí), es decir, todo el telar, madres, manzanos, costillares del chapitel, piedras fuélliga y rabote, vírgenes, palo guía y fraile.

La toma de datos exterior se realizó mediante una cinta métrica textil de 30 m de longitud. La toma de datos interior, mediante un flexómetro de 5 m. Se empleó también una brújula, para determinar la orientación de las puertas, así como una plomada y un nivel de burbuja, que nos ayudasen a identificar determinadas inclinaciones de la maquinaria.

B.- SEGUNDA ETAPA: BÚSQUEDA E INVENTARIO DE LOS MOLINOS DE VIENTO DEL CAMPO DE NÍJAR

Esta segunda etapa en el trabajo de campo se centró en la búsqueda y localización de los molinos de viento existentes, o que hayan existido, en el Campo de Níjar, así como en sentar las bases sobre un posible estudio acerca de su origen.

En esta etapa de la investigación, que se ha extendido desde octubre de 2001 hasta abril de 2003, ha resultado determinante la localización de los dos últimos molineros de la zona, Francisco Ortiz y Ramón Gil, que nos arrojaron luz sobre las posibles localizaciones de molinos de viento en la zona así como nos resolvieron dudas sobre los mecanismos y formas de operar de los molinos.

A la hora de realizar el inventario de molinos, hemos contado con ayuda de la tecnología GPS, que nos permite situar los mismos con sus correspondientes coordenadas UTM, así como obtener estimaciones sobre la altura topográfica de sus bases. Además, en cada molino encontrado se ha realizado un pequeño reportaje fotográfico acerca de su estado, y se ha rellenado la correspondiente ficha donde se anotan características acerca de su tipología.

4.6.- RESULTADOS INMEDIATOS DEL TRABAJO DE CAMPO

Si bien los datos y la recopilación de información obtenida durante las dos etapas del trabajo de campo son los pasos previos de la investigación que culminan en la realización de la infografía y planos del molino, así como posterior análisis tecnológico, existen dos resultados que son inmediatos, y que son los que vamos a comentar en este epígrafe y en lo que resta de este capítulo.

Tras la etapa de toma de datos del molino del Collado, el resultado fue el conocimiento de los mecanismos del mismo así como de su forma de funcionar, apoyados por los comentarios de los maestros molineros; dichos mecanismos eran comunes a todos los molinos de la zona, por lo que los comentarios sobre los mismos son extrapolables a la tipología almeriense. Así, a continuación, tras una breve introducción acerca de la comarca y el entorno en que se encuentra el molino del Collado, pasaremos a detallar la tipología y mecanismos de los molinos de viento almerienses.

La segunda etapa del trabajo de campo ha dado como resultado inmediato la elaboración del inventario de molinos de viento del Campo de Níjar, que se presenta como Anexo 2 de la presente Tesis Doctoral.

4.7.- EL ENTORNO DEL MOLINO DE VIENTO DEL COLLADO

La localidad de San José, es una pedanía que se encuentra en el término municipal de Níjar (cuyo término municipal es el cuarto mayor de España, con 599,81 Km^2), en pleno Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (figura 92). Dista unos 39 Km de Almería capital, 27 Km de Níjar y tan sólo 3 Km del Pozo de los Frailes.

Primitivamente, San José era una aldea de pescadores. Actualmente se erige en centro de turismo de playa, con las peculiaridades que le concede estar en pleno Parque Natural.



Figura 92: Ubicación del molino de viento del Collado en el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar. *Elaboración propia.*

El Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, creado como tal en 1987, está situado al sureste de la provincia de Almería, y posee una extensión de 20000 hectáreas, además de otras 12000 hectáreas correspondientes a la zona marítima protegida.

El Parque se caracteriza por una gran diversidad paisajística: salinas, dunas, la Sierra de Cabo de Gata, la llanura minera de Rodalquilar, las playas, los fondos marinos o los pueblos de origen marinero. Estas latitudes se conocieron en el pasado como la "costa de los piratas", y por ello fueron objeto de atención por parte de ingenieros militares a la hora de diseñar las fortificaciones para su defensa [GIL, 1996]. Precisamente, la abundancia de atalayas por estos lugares es la causa de la confusión generalizada, que atribuye la utilidad de fortificación a la mayoría de las torres ruinosas de los molinos de viento de la zona, lo que redunda en un desconocimiento profundo de éstos.

La climatología que presenta el Parque, y por extensión la comarca del Campo de Níjar, la hace una de las zonas más cálidas de la Península Ibérica, contando con más de trescientos días de sol al año y muy pocas lluvias. Las precipitaciones anuales resultan mínimas, y se sitúan en torno a los 240 mm; suelen concentrarse durante los meses de octubre y noviembre, en dos o tres episodios torrenciales.

El Parque carece de recursos hídricos superficiales permanentes, y sobresale en él, por su significado ecológico, la lámina de aguas salobres que constituyen las Salinas de Cabo de Gata.

Los recursos tradicionales en este territorio han sido la minería, la explotación salinera, la pesca artesanal, la agricultura (de regadío allá donde se podía lograr el agua que lo permitiese, y en los secanos la cerealista extensiva) y la molinería asociada, la recolección del cogollo de palmito, de frutos como el chumbo, así como del esparto y el tomillo, y desde mediados del siglo XX de fibras como las de ágave y el sisal.

Más recientemente, la afluencia de visitantes ha permitido el desarrollo de una oferta turística, que se pretende sea cada vez de mayor variedad y calidad.

La zona geográfica de estudio en esta Tesis Doctoral se extiende a toda la comarca del Campo de Níjar, es decir, a su extenso término municipal. Las características climatológicas y de recursos apuntadas para el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar son perfectamente extrapolables a la totalidad del término municipal.

Históricamente, en la comarca del Campo de Níjar, proliferaron los oficios, artesanías e industrias derivadas de la agricultura. Así, eran comunes la alfarería, la molinería, tanto de agua como de viento, la herrería, las almazaras, los telares, la industria artesanal del esparto, la panadería, la albañilería y la carpintería [TORRES, 1993].

4.8.- DESCRIPCIÓN DEL MOLINO DE VIENTO Y SU MAQUINARIA

En este epígrafe abordaremos la descripción del molino de viento del Collado, su funcionamiento y su maquinaria, que extrapolaremos a la totalidad de molinos de viento del Campo de Níjar. Se describirá tanto la obra de fábrica como sus mecanismos, nombrándolos y explicando su función dentro del conjunto del molino. Esta descripción se realizará intentando que cada pieza nos lleve a la siguiente en el mismo orden que se transmite el movimiento y la energía a través de los mecanismos del molino.

La descripción se acompañará del resultado del estudio fotográfico realizado en el molino del Collado así como de algún esquema realizado por el autor basado en los croquis tomados in situ.

No obstante, antes de comenzar, es necesario realizar una reflexión previa. En capítulos anteriores de este trabajo, se ha comentado que la mayoría de los estudios que se realizan en la molinería en general, se enfocan desde el punto de vista etnológico e histórico. Hemos encontrado varios documentos bibliográficos que tratan de describir los artilugios y mecanismos que componían los molinos de viento en las distintas regiones, haciendo alusión precisamente al léxico molinero que se empleaba en cada lugar. Pues bien, para realizar la descripción que se propone a continuación, emplearemos a veces varias denominaciones distintas para un mismo elemento. La razón no es otra que la variedad de nomenclatura existente en estos temas.

De todas formas, siempre comenzaremos con las voces recogidas en los dos únicos libros donde hemos podido obtener información sobre el léxico molinero almeriense, ya comentados con anterioridad en el tercer epígrafe de este capítulo, así como en las afirmaciones de los dos molineros entrevistados.

A.- EL EDIFICIO QUE ALBERGA AL MOLINO: LA TORRE

El molino de viento cuyo estudio se pretende, pertenece claramente a la tipología A de molinos mediterráneos de Krüger. Como se ha indicado ya, los molinos de viento almerienses son unos grandes desconocidos dentro de los molinos de viento de la Península Ibérica. En la época en que Caro Baroja realizó su mapa de distribución de los molinos de viento en la península (1952), aún había molinos de viento en funcionamiento en la provincia de Almería [GIL, 1992].

Ha supuesto para nosotros un auténtico hallazgo el hecho de conocer que el molino de viento del Collado que estudiamos, no es una *rara avis*, sino que forma parte de un conjunto de ejemplares esparcidos por la geografía almeriense, principalmente en el término municipal de Níjar.

Es conocido el hecho de que los molinos recibían el nombre de sus dueños o del lugar donde estuvieran enclavados [GIL, 1992]. El molino objeto de nuestro estudio se denomina Molino del Collado, de San José (figura 93), porque está junto al llamado Cortijo del Collado. Junto al molino, aparecen las ruinas de la casa del molinero.



Figura 93: Alzado lateral del Molino de viento del Collado. En primer término, ruinas de la casa del molinero. *Fotografía del autor.*

El Molino del Collado se encuentra en un otero destacado, por donde circulan libremente los vientos, aproximadamente a un kilómetro de la población de San José, junto a la pista de tierra que llega a la playa de los Genoveses, dirección a Cabo de Gata, en el lateral izquierdo de la pista (figura 94).

La *torre* del molino es troncocónica, pero dividida en tres tramos que se aprecian a simple vista; uno llega hasta muy poca altura del suelo, el segundo llega hasta la altura del segundo piso del molino, y tercer tramo llega hasta la altura donde comienza el *chapitel* o caperuza. De entre todos los molinos localizados en la zona, es el único en que la torre aparece dividida exteriormente a la altura del segundo piso o cámara[6].

[6] Lo normal es que la torre, siendo troncocónica, sea continua, no presente truncamientos. En algunos casos, como en el molino de Pozo de los Frailes, la torre es cilíndrica [AMEZCUA Y ROJAS, 2001].



Figura 94: Alzado frontal del Molino del Collado. *Fotografía del autor.*

La torre, de planta circular, es de mampostería de piedra, ligada con mortero a base de cal y arena, y está enfoscada exteriormente con cal y yeso. Esta mezcla, que puede parecer frágil, se ha revelado como altamente resistente, como demuestra el hecho de la permanencia de las viejas torres abandonadas y que el paso del tiempo no ha sido capaz de derribar. La mezcla de cal y arena tiene otra virtud añadida, que es la elasticidad. Las vibraciones que un molino arbolado con ocho velas, moliendo con vientos de veinte o más nudos, transmite a la torre, precisan de una gran elasticidad en los materiales de su construcción, so pena de sufrir agrietamientos en su estructura.

La altura de la torre es de unos cinco metros. Hay que destacar que este molino tan sólo dispone de dos pisos, es decir, la planta baja y la planta superior, en la que se encuentra instalada la maquinaria (figura 95). En Almería existían también molinos de viento con *camareta*, es decir, molinos con tres plantas, si bien la planta intermedia, de menor altura que las otras dos, se destinaba a las herramientas del molino y a los aperos del molinero. En éstos últimos, la altura de la torre suele estar sobre los seis o siete metros (figura 96).

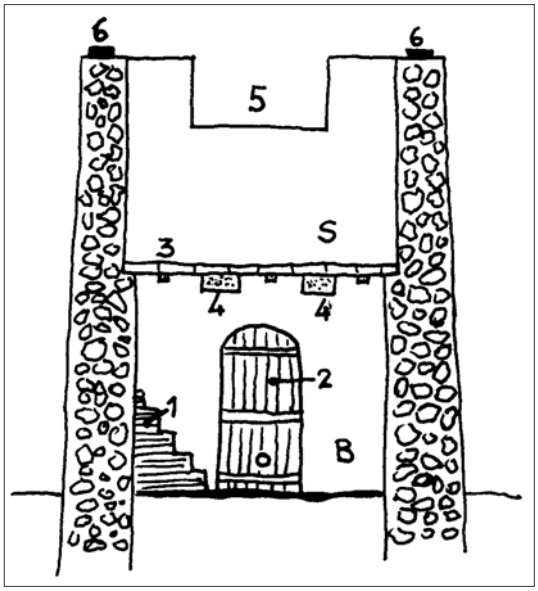


Figura 95: Esquema de torre correspondiente a molino almeriense de dos plantas. *Dibujo del autor.*

B.- Planta baja;
S.- Planta superior o sopuente;
1.- Escalera;
2.- Puerta;
3.- Tablazón;
4.- Marranetes;
5.- Cama del molino;
6.- Rueda terrera.

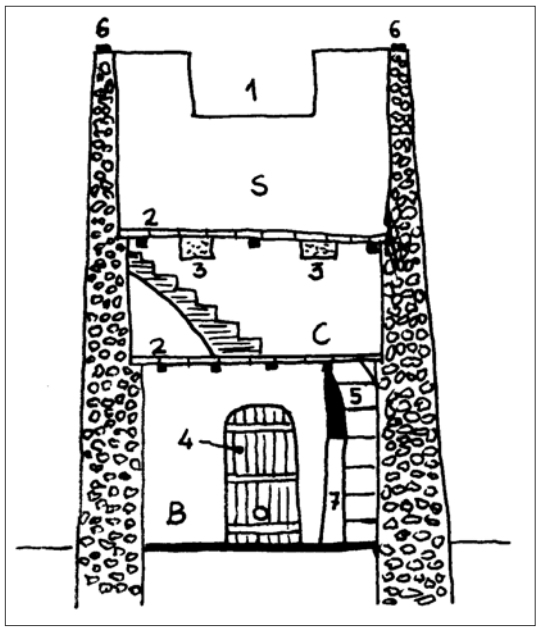


Figura 96: Esquema de torre correspondiente a molino almeriense de dos plantas y camareta. *Dibujo del autor.*

B.- Planta baja;
C.- Camareta;
S.- Planta superior o sopuente;
1.- Cama del molino;
2.- Tablazón;
3.- Marranetes;
4.- Puerta;
5.- Escalera;
6.- Rueda terrera.

El ancho del muro en la base se sitúa sobre los 1,50 metros. A medida que asciende en su construcción, va perdiendo grosor, siendo raro que sobrepase los 60 cm en la parte más alta de la torre. Esta pérdida de grosor del muro se va haciendo de forma paulatina y escalonada por el interior de la torre, aprovechando los espacios donde se sitúan los pisos o tablazones de la cámara y camareta, con lo que se consigue que dispongan de más espacio útil.



Figura 97: Detalle de una puerta del molino, con la otra enfrente. El piso del molino se encontraba elevado respecto al exterior. *Fotoarafía del autor.*

El molino tiene dos *puertas* de acceso a la planta baja, situadas a 180º una de la otra (figura 97); el objeto de tener dos hay que buscarlo en el hecho de poder entrar al molino sin el riesgo de ser atropellado por los palos de las velas, en el caso de que estuvieran girando sobre una de las puertas. Así, siempre hay una puerta abierta, permaneciendo cerrada la otra. Las puertas del molino del Collado están situadas ligeramente a Noroeste y Sureste, coincidiendo con los vientos dominantes en esa zona. Otros ejemplares presentan la orientación Norte y Sur en las puertas. En el caso del molino del Collado, no existen actualmente dichas puertas. No obstante,

hemos podido ver otras en otros molinos de la zona (figura 98), y hemos comprobado que son de una sola hoja y formadas con entramado de tablas y traveseras. En la parte inferior se aprecia un orificio llamado *gatera*, cuya misión era permitir la entrada y salida de los gatos al molino, a fin de que mantuviesen el interior del mismo libre de roedores.

El suelo de la planta de acceso o planta baja normalmente se encontraba empedrado. En nuestro molino se encuentra destrozado. El empedrado se solía realizar con una piedra de las de moler que se encontrara usada, es decir, que tuviera un espesor menor de 20 cm, medida a partir de la cual las piedras de moler se desechaban; se solía colocar la piedra de moler centrada y el resto de ripio.

En esta planta baja se descargaba el grano y, si resultaba necesario, se limpiaba de impurezas sobre una amplia estera de esparto cribándolo con el *garbillo*. También en ella se llenaban los sacos de harina, la cual bajaba por el *harinal*, que era una cavidad en el muro del molino donde caía la harina molida desde el segundo piso a través de un canal de madera de sección triangular que partía de la orilla de las piedras de moler. También era usual que estuviera allí la romana y la *ventana* o alacena para guardar las cosas.



Figura 98: Detalle de puerta de acceso con gatera. *Fotografía del autor.*

Otro artilugio que se encontraba en el piso inferior era el *alivio*, que servía para regular la finura de la molienda, o lo que es lo mismo, "regular el temple de las piedras" [TORRES, 1993]. Sobre su funcionamiento hablaremos más adelante.

Por último, también solía aparecer en este planta baja, lo que los molineros almerienses llamaban *el maquinillo del molino* (figura 99). Éste no era más que un regulador centrífugo del tipo Mead, fabricado por los herreros del lugar, que consistía en un eje con dos bolas que giraban y, en combinación con el *alivio*, regulaba la molienda en función de la velocidad del viento. Si ésta era muy alta, la inercia provocada por la fuerza centrífuga afectaba a las bolas, de forma que éstas iban subiendo, hasta llegar a un tope en que accionaban el *alivio*; era algo así como un

regulador o un alivio automático. Sin duda representa un aire de modernidad que no tienen otros molinos de viento españoles.

El molino que estudiamos presenta indicios de su instalación, si bien, debido al peso del mecanismo, algún desaprensivo muy probablemente lo llevara al chatarrero en su momento. En el modelo que realizamos incluimos este mecanismo.



Figura 99: Detalle del mecanismo centrífugo de regulación. Molino de Arriba, Aguamarga. *Fotografía del autor.*

De nuestras visitas a Almería hemos podido observar las ruinas de otros molinos y todos estos detalles hemos llegado a tiempo de verlos aún en algunos ejemplares.

Desde la planta baja se accedía a la camareta (si existía) y a la planta superior, a través de una escalera semicircular adosada a la pared. Esta escalera era (se encuentra derruida en nuestro molino) de un solo tramo y sin barandilla. Bajo el hueco de la escalera, existía lo que se denominaba *tinanco* o *troje*, cuyo fin era almacenar harina o grano.

En las figuras 100 y 101 se pueden observar algunos de los elementos considerados hasta ahora, situados en la planta baja.

Puede observarse en la figura 100 la particularidad que presenta este ejemplar de molino del Collado, y que es la utilización de piedra basáltica, muy abundante en su entorno, pero de un color muy oscuro, que contrasta con la mezcla de cal y yeso utilizada como mortero.



Figura 100: En el centro detalle de harinal. A la derecha, ventana para dejar los trastos. A la izquierda hueco destinado al regulador o alivio automático. *Fotografía del autor.*



Figura 101: A la derecha se observa la traza de la escalera, derruida. Debajo, troje o tinanco. *Fotografía del autor.*

La camareta, caso de existir[7], era una simple cámara de almacenaje, dotada de un suelo de *tablazón* montado sobre cuatro o seis vigas de madera. Esta dependencia no está iluminada de forma natural en los molinos observados en el Campo de Níjar.



Figura 102: Cama del molino del Collado. Al fondo, el ventano. *Fotografía del autor.*

El piso superior, o segunda cámara, llamado *sopuente* en los molinos almerienses, está iluminado por un pequeño *ventano* situado encima de una de las puertas, normalmente la orientada al Sur o Sureste. Este ventano era realmente un tragaluz que se practicaba una vez que se tabicaba el enorme ventanal practicado en la torre y que tenía suficiente amplitud para permitir el paso de las grandes piedras de moler, puesto que se subían y bajaban por ella cuando había necesidad de cambiarlas. Este enorme ventanal generaba un vano en la torre, al que en tierras almerienses se denominaba *cama del molino* (figura 102), que no era más que la base del hueco abierto en la torre para facilitar las operaciones de cambio de las piedras. Este vano suponía además la única protección del molinero para refugiarse en caso de rotura inesperada de los mecanismos durante el funcionamiento del molino.

[7] El molino de viento del Collado no presenta *camareta*, si bien la mayoría de los molinos de viento almerienses inventariados la presentan.

El suelo del piso superior es de las mismas características de la camareta con la diferencia de que, dado que alberga toda la maquinaria del molino, además de las pequeñas vigas que soportan el tablazón, éste se va a apoyar sobre dos grandes vigas de haya, profundamente encastradas en la obra de la torre, y que reciben el nombre de *marranetes* (figura 103). Su procedencia, debido a la escasez de madera en la zona, podría ser la madera recuperada de naufragios, razón que explicaría la existencia de algunas inscripciones en la misma.



Figura 103: Detalle de los dos enormes marranetes que sostienen el piso superior o sopuente. *Fotografía del autor.*

En otros molinos del Campo de Níjar, los *marranetes* o vigas de madera no existen; la estructura que soporta el peso de la maquinaria del último piso son dos sólidos arcos de medio punto (figura 104), como en el molino del Pozo de los Frailes.

La parte superior de la torre, en todo su perímetro, soportaba la llamada *rueda terrera*.



Figura 104: Arcos de medio punto para soportar el moledero. Molino de Pozo de los Frailes. *Fotografía del autor.*

B.- LA RUEDA TERRERA

La rueda terrera ocupa la parte superior de la torre y su único parecido con una rueda es su forma anular, ya que carece de radios. Se denomina terrera por estar en contacto con la tierra, en este caso con la coronación de la torre, y para diferenciarlas de otras ruedas "auténticas" que, como veremos, sí forman parte de la maquinaria del molino.

La misión de la rueda terrera no es otra que permitir el giro de la parte superior del molino o *chapitel*, junto con el *eje* y la *arboladura*, para que éste se pueda encarar al viento y realizar así la molienda (figura 105).

La anchura aproximada de la rueda terrera es de unos 20 cm, y su altura oscila entre 15 y 20 cm, dependiendo del molino y del desgaste sufrido. Está formada por varias piezas de madera, ensambladas entre sí por medio de *lañas* de hierro. Las lañas son piezas de hierro, de forma similar a una grapa, mediante las que los antiguos maestros carpinteros y *aperadores* ejecutaban las uniones entre diferentes piezas de madera cuando éstas eran de una cierta entidad.

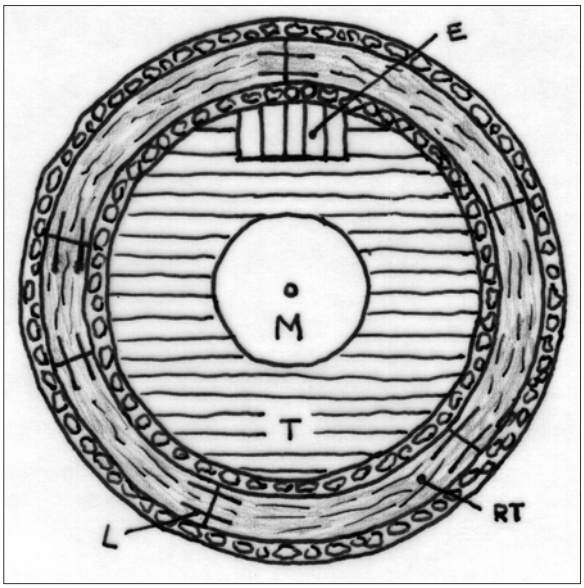


Figura 105: Esquema de la situación de la rueda terrena sobre la coronación de la torre. *Dibujo del autor.*

E.- Escalera;
L.- Lañas;
M.- Moledero;
RT.- Rueda terrera;
T.- Tablazón.

La rueda terrera, en los molinos almerienses, suele ser de tablones madera de olivo, unidos como se ha mencionado; se construía una circunferencia cuya radio era inferior en unos veinte centímetros a la circunferencia superior de la torre, y sobre cuya superficie descansa. Normalmente, para salvar el vano de la cama del molino, se dotaba de un dintel de madera sobre el que se apoyaba la rueda. Se encastraba en la propia obra de la torre, al objeto de impedir desplazamientos de la misma; sobre ella, y convenientemente ensebada, giraba todo el *chapitel*

y el *telar,* (figura 106) al objeto de orientar las velas en la dirección de los vientos dominantes. A esta operación se le denominaba *cambiar el arte al molino*.



Figura 106: El telar, formado por madres y manzanos, se apoya en la rueda terrera. A la derecha, y circundando el molino, el apoyo de los pares. *Fotografía del autor.*

C.- EL TELAR

El telar (figura 107)está formado por una serie de gruesos maderos entrecruzados y cuya misión es hacer girar la parte móvil superior del molino, es decir, chapitel, eje y arboladura, sobre la parte fija (torre) a fin de encararla al viento y permitir la molienda, lo que se consigue deslizando este conjunto de maderos, denominado telar, sobre la rueda terrera.

La base del telar son cuatro gruesas vigas de madera, denominadas *madres* (figura 108), entrecruzadas y unidas entre sí por medio de escotaduras labradas en forma de medias vigas, lo que permite un perfecto ensamble entre ellas.

Las madres apoyan sobre la rueda terrera en sus extremos, en unas zonas escotadas que impiden su deslizamiento (figura 109). En su tercio medio sirven de asiento a los *manzanos, malsanos o cabezuelos* (figura 110), de su mismo grosor pero más cortos, que en número de ocho apoyan y se deslizan asimismo sobre la rueda terrera, reforzando la estructura del telar y repartiendo el peso de la parte giratoria del molino.

El telar se refuerza en los dos puntos en que soporta mayor peso, es decir, los correspondientes a los asientos de las piedras que permitirán la rotación del eje y el apoyo del *palo guía*. Estos refuerzos se denominan

camones, y son unas gruesas piezas de madera, de forma curva o bien recta, que se encastran en los manzanos y, a veces, en las madres, tanto delanteros como traseros. En estas zonas, los manzanos se refuerzan con unas piezas de madera llamadas *rulos* o *rollizos*. El camón delantero se denomina *camón del eje*, mientras que el trasero se denomina *camón de la guía o de la rabota.*

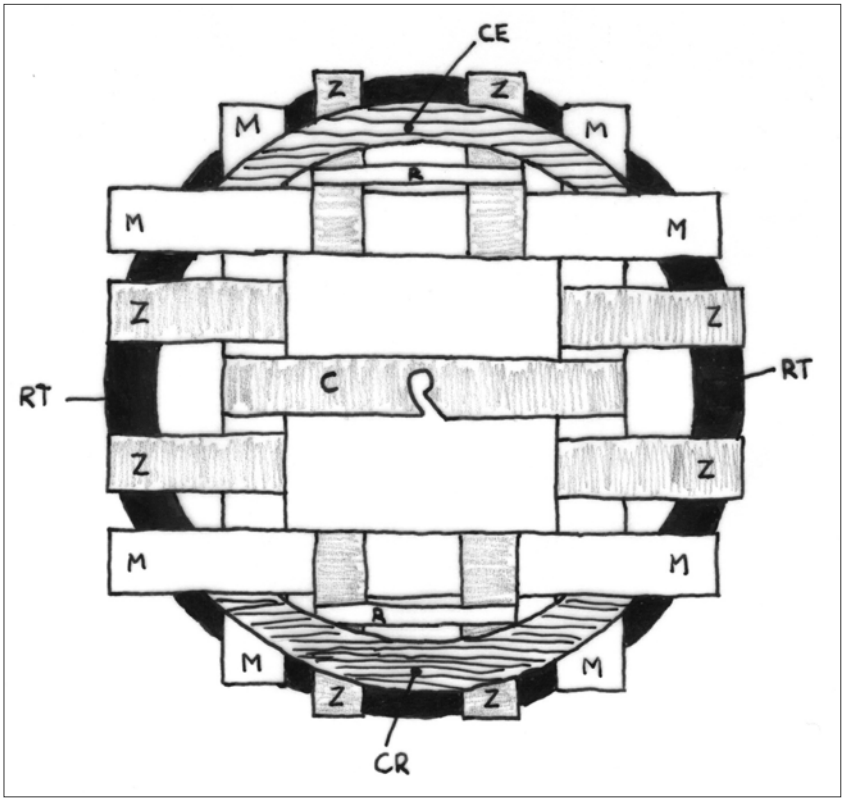


Figura 107: Esquema del telar. *Dibujo del autor.*

C.- Madre de la cuella;
CE.- Camón del eje;
CR.- Camón de la rabota;
M.- Madres;
R.- Rollizos;
RT.- Rueda terrera;
Z.- Manzanos.



Figura 108: Detalle de las madres del telar. Al fondo, el rollizo que refuerza los manzanos, donde apoya la piedra rabota. *Fotografía del autor.*

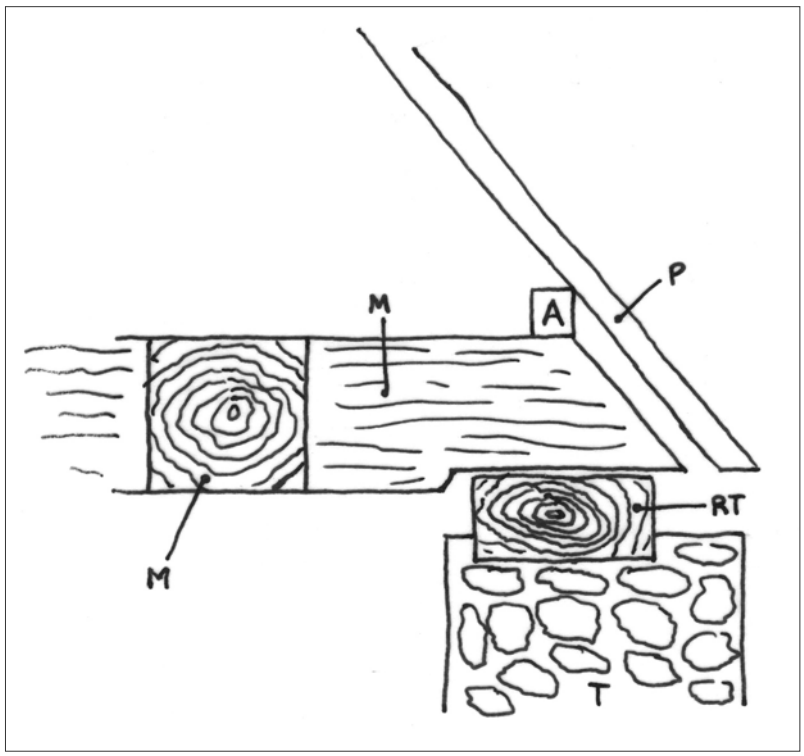


Figura 109: Esquema del apoyo de las madres sobre la rueda terrera. *Dibujo del autor.*

A.- Apoyo del par del chapitel;
M.- Madres;
P.- Par del chapitel;
RT.- Rueda terrera.



Figura 110: Detalle de un manzano. Apréciese la escotadura por la que desliza sobre la rueda terrera. Sobre él, el camón de la guía. En primer término, a la izquierda, rollizo.
Fotoarafía del autor.

Las madres laterales, en su tercio medio se unen entre sí por un grueso madero llamado *madre de la cuella* o simplemente *cuella*, que tiene una escotadura en la parte central (figura 111), del mismo nombre (*cuella de la linterna*), cuya misión es recibir el extremo superior del eje de la linterna. Para evitar vibraciones durante la molienda, la madre de la

cuella se apuntala contra la madre posterior mediante un madero móvil denominado *puntal del telar*.



Figura 111: Detalle de la madre de la cuella. El palahierro está trabado con una chaveta. *Fotografía del autor.*

Todo el conjunto del telar, como se ha comentado, desliza sobre la rueda terrera sin necesidad de rodamientos, rozando madera con madera. Para facilitar el deslizamiento y reducir la fricción, se embadurnaban ambas superficies de fricción con sebo, producto del fundido mediante calor de grasas animales con aceites y que, una vez enfriados, solidificados y amasados en forma de bolas, se frotaban contra las maderas por el molinero para facilitar el movimiento de una sobre otra.

D.- EL CHAPITEL

El chapitel es el tejado, techumbre o cubierta del molino. Se forma a partir de una pieza central, denominada *fraile*, que es un grueso tronco de madera en el que va a confluir todo el armazón del chapitel y el llamado *palo guía*, auténtico timón del molino que va a permitir girar toda la parte móvil del mismo para encararlo al viento (figura 112).

El fraile presenta una serie de escotaduras, correspondiendo la mayor de ellas al encastre del palo guía, voluminoso tronco que llega hasta el suelo, apoyándose al final de su primer tercio en el camón posterior que, por este motivo y por sostener la piedra posterior (*rabota*), recibe el nombre de camón de guía o de la rabota (figura 113). El resto de escotaduras están destinadas a albergar los llamados *pares* o *costillares*, vigas de madera no muy gruesas, que por su parte inferior apoyan en una pieza de madera circular fijada a las madres y manzanos laterales, y que por ello recibe el nombre de *apoyo de los pares*. Los pares se refuerzan por

medio de otras piezas de madera, que los van uniendo de dos en dos, denominadas *correas* (figura 114).

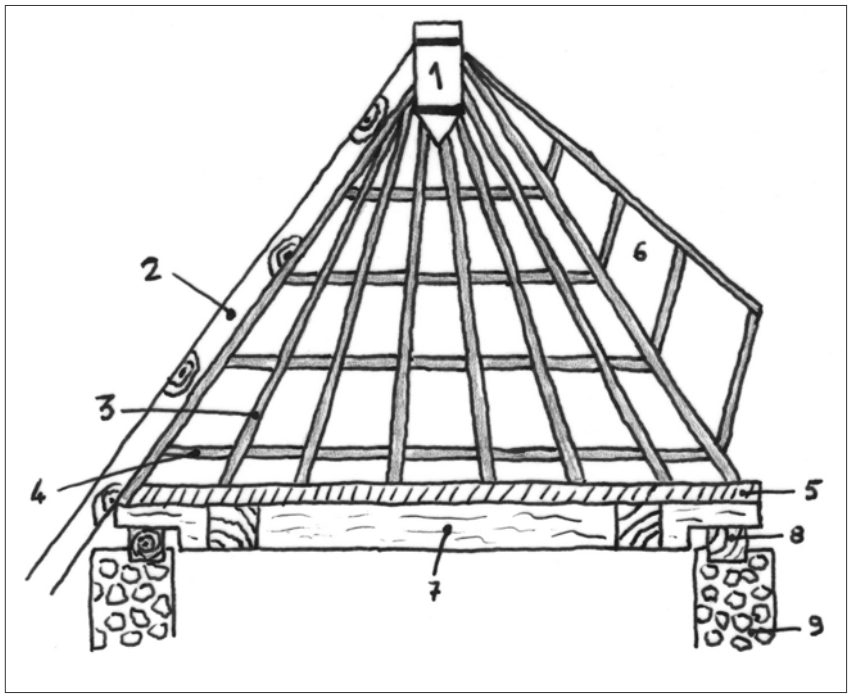


Figura 112: Esquema del chapitel. *Dibujo del autor.*

1.- Fraile;
2.- Palo guía;
3.- Par o costillar;
4.- Correa;
5.- Apoyo de los pares;
6.- Estructura de pechera;
7.- Madre;
8.- Rueda terrera;
9.- Muro de la torre.

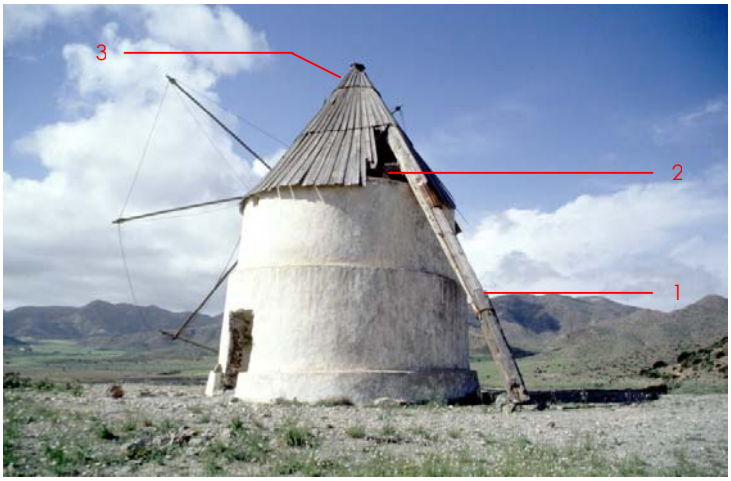


Figura 113: Detalle del palo guía (1) que, apoyado en el camón (2) de la rabota, asciende hasta el fraile (3). *Fotografía del autor.*

Para evitar que el fraile se resquebrajase al encastrar en él un número tan elevado de piezas, se reforzaba con un par de zunchos circulares de hierro en los extremos.

Por la parte delantera del chapitel, los pares se elevan para formar la llamada *pechera* del molino, lugar por donde se introducirá el eje y que, al tener mayor altura que el resto del chapitel, permitirá pequeñas

reparaciones en la zona sin necesidad de desmontar parte del mismo. En el molino del Collado, se ha perdido la pechera, si bien hemos podido apreciarla en el molino de Arriba, en Aguamarga. Toda la sujeción de la pechera se hace por medio de tirantes que se anclan en el fraile, pieza maestra de la estructura del chapitel.



Figura 114: Detalle, al fondo, de los pares y correas del chapitel. En primer término, eje y madre de la cuella. *Fotografía del autor.*

Todo el armazón descrito está cubierto por medio de las *tablas del chapitel*, finas tablillas que se adosan lateralmente unas a otras para, antes de confluir en el fraile, ser cubiertas por otro tejadillo, más pequeño, formado asimismo por tablas en la misma disposición que el precedente (figura 115).



Figura 115: Detalle del doble tejadillo en el chapitel, coronado por el fraile. *Fotografía del autor.*

El acabado del chapitel se solía hacer calafateando las tablas del mismo con brea, proporcionándoles un característico color oscuro, casi

negro. Así, se conseguía una buena impermeabilización, fundamental para proteger toda la maquinaria de madera.

E.- EL SISTEMA DE ROTACIÓN HORIZONTAL

Se entiende por sistema de rotación horizontal del molino aquellos elementos que giran, o permiten el giro, según un eje horizontal. Así, dentro de éste englobamos el *eje*, los *palos*, la *rueda de puntería*, la *piedra fólliga* o *fuélliga*, la *piedra rabota* o *rabote* y, cómo no, las *velas*.

El eje, es un grueso tronco cuya longitud está en torno a los nueve metros y su diámetro se mueve entre cuarenta y cincuenta centímetros; su disposición no es completamente horizontal, sino que posee una inclinación de unos 10º. Su misión es transmitir el movimiento generado por los palos y velas a las piedras de moler. Parte de él queda fuera de la torre del molino, precisamente para recibir a los palos que, en número de ocho y de dos en dos, se encastrarán en él, a través de los *hojalambres*. Además, en el extremo exterior del eje, se reciben los *vientos* que, provinientes de los extremos de los palos, servirán para tensarlos y obligarlos a rotar todos en el mismo plano.

Junto a los hojalambres, o agujeros de encastre de los palos, existen refuerzos con aros de hierro que impiden que el eje se desgaje literalmente debido al esfuerzo del giro y al peso de toda la arboladura (figura 116).



Figura 116: Las aspas, palos o botalones atraviesan el eje a través de los hojalambres. Detalle de los aros de hierro. *Fotografía del autor.*

El eje se encuentra apoyado, en su parte anterior, sobre una piedra con forma semicircular en uno de sus lados; esta piedra se denomina *fuélliga* o *fólliga* (figura 117), y para evitar que se mueva lateralmente, se



Figura 117: La piedra fólliga o fuélliga, donde descansa la parte delantera del eje. Pueden apreciarse las vírgenes laterales y los refuerzos de hierro en el eje. *Fotografía del autor.*

refuerza con unas maderas denominadas *vírgenes*. La parte posterior del eje, que llega hasta la pared opuesta del molino, descansa sobre otra piedra, denominada *rabote* o *rabota* (figura 118); esta piedra tiene forma de dedal con una hendidura o *canalillo* que permite el vertido de sebo fundido para facilitar la lubricación y con ello el giro del eje.

Para evitar que el giro continuado del eje sobre las piedras lo desgaste de forma prematura, se protege en las zonas de roce mediante pletinas y zunchos de hierro. En el tercio posterior del eje, la madera del mismo aparece horadada en forma de cruz para permitir el alojamiento de los radios de la rueda de puntería.

El extremo posterior del eje adopta la forma de cono, con punta roma, para posibilitar así su introducción en el orificio de la piedra rabota. Esta zona de giro se protege del desgaste mediante dos pletinas de hierro fijadas en su extremo en forma de cruz y un pequeño zuncho, también de hierro.



Figura 118: La piedra rabote o rabota, donde descansa la parte trasera del eje, se apoya sobre el rollizo entre dos manzanos. Se aprecia el canal superior para vertido de aceite. *Fotografía del autor.*

El eje, además de ser un elemento fundamental como mecanismo rotor del molino, tenía otras aplicaciones, ya que era utilizado como cabrestante por parte del molinero y sus ayudantes para levantar las muelas cuando había que cambiarlas o bien repicarlas.

Los palos, en el molino de viento almeriense, también se denominan *aspas* o *botalones.* Si hay algo que caracteriza a un molino de viento de la tipología A de Krüger es la presencia de velas latinas, triangulares, en lugar de los lienzos rectangulares sobre bastidores, conocidos por todos como aspas.

Las velas triangulares estaban unidas a un palo por uno de sus lados, y el vértice opuesto a éste, se unía a otro palo por medio de una cuerda, llamada *escota* o *cota*. Estos palos eran ocho en total. Existía un cable que unía todos los palos (aún existe parte en nuestro molino, figura 119) formando un octógono regular llamado *ruedo*; asimismo existían otros cables, llamados *vientos*, mencionados anteriormente al hablar del eje, que iban desde el extremo de cada palo hasta la punta del eje de giro y cuya misión era sostener el empuje del viento y mantener intacta la arboladura.

La longitud de los palos varía en función de la altura del molino, y solían ser de madera de pino; en el molino del Collado tienen seis metros de longitud. Los extremos suelen ser redondeados, limitándose a cepillar las aristas en el resto del palo, aristas que permanecen íntegras en los hojalambres, a fin de permitir un perfecto encastre y acoplamiento entre los dos palos que, como ya queda dicho, se realiza de dos en dos. A veces, la unión se reforzaba con cuñas de madera. Los palos tienen nombre en función de su posición relativa respecto al eje. Así, empezando desde el extremo exterior del eje, el primer par se denominan *machos*; el segundo, *traviesas*; el tercero, *respaldares*; y el cuarto y último, *poyacas*.



Figura 119: En los restos de la arboladura se aprecian los palos, con los vientos y parte del ruedo. *Fotografía del autor.*

La rueda de puntería, también se denomina en el léxico molinero almeriense *rueda de viento* o *rueda catalina*. Esta rueda, cuyo diámetro

está en torno a los dos metros y sesenta centímetros, dispone de cuatro radios por los que se une al eje, y otros tantos travesaños (figura 120). Además dispone de cuatro tablas de madera que salen de su circunferencia hasta el eje, denominadas *riostras*.

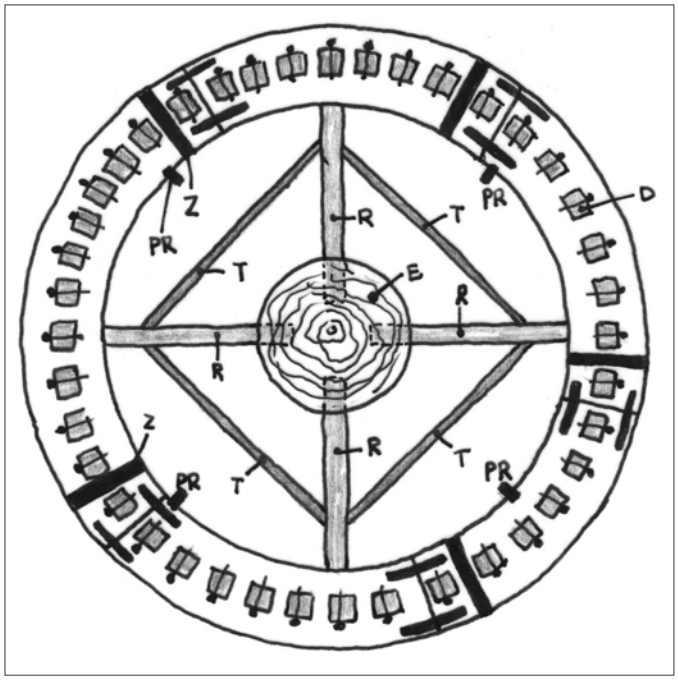


Figura 120: Esquema de la rueda de puntería. *Dibujo del autor.*

D.- Diente o punto;
E.- Eje;
PR.- Lugar de apoyo de las riostras;
R.- Radio;
T.- Travesaño;
Z.- Zunchos de unión.

Está situada en el tercio medio-posterior del eje y con la misma inclinación de éste, encarada al viento que se filtra a través de la pechera; esta gran rueda de madera será fundamental en la transformación del movimiento de rotación del eje semi-horizontal en movimiento de rotación alrededor de un eje vertical, que permitirá, finalmente, el giro de una piedra de moler sobre otra de forma que se pueda triturar el grano y obtener harina.

En realidad no se trata de una rueda, sino de dos superpuestas y unidas entre sí por medio de zunchos de hierro que refuerzan la unión. La dificultad para encontrar en la zona maderas del grosor apropiado hace que la superposición de maderas, hasta encontrar el grosor deseado, sea algo común en la carpintería de los molinos de viento.

En huecos labrados y que atraviesan las dos piezas de madera que forman la rueda, se introducen cuarenta piezas de madera, denominadas *dientes* o *puntos*, cuyo conjunto forma la *puntería*; de ahí el nombre de la rueda (figura 121). Estos puntos sobresalen más por la cara posterior de la rueda, a fin de que puedan engranar a la perfección con la *linterna*. Los puntos se aseguran por la parte sobresaliente en la cara anterior de la rueda de puntería, por medio de un pasador de hierro que los atraviesa,

impidiendo el desplazamiento que podría originarse por el roce repetido de los mismos con los husillos de la linterna. También se aseguraban en el hueco labrado con trozos de lienzo de velas viejas, que rellenaban el espacio no ocupado por el punto o diente.



Figura 121: La rueda de puntería. Se aprecian los radios, travesaños y riostras con el eje. *Fotografía del autor.*

Como se ha indicado, la rueda se une al eje por medio de los radios, cuatro robustas piezas de madera en forma de prisma rectangular que se introducen en el eje. En el lado en el que se unen a la rueda, forman una garganta que sobresale unos diez centímetros de la cara anterior de la misma. La unión de los radios con la rueda de puntería se realiza por medio de un pasador (figura 122) que atraviesa la rueda de puntería, después atraviesa el radio por la parte que sobresale en la cara anterior de la rueda, y se atornilla en la cara anterior de la misma, entre la parte de atrás de dos puntos o dientes.



Figura 122: Detalle de la unión de los radios a la rueda de puntería, a través de un pasador. *Fotografía del autor.*

La estructura de la rueda de puntería se refuerza por medio de travesaños, cuatro piezas de madera, cada una de las cuales se colocan entre dos radios, formando un cuadrado e impidiendo el más mínimo desplazamiento de los mismos. La unión entre radios y travesaños se asegura en los vértices por medio de puntas o pletinas de hierro atornilladas a los mismos.

Hacia delante, al objeto de disminuir vibraciones y minimizar desajustes de la rueda de puntería, ésta se asegura por medio de cuatro riostras; éstas van desde la cara anterior de la rueda de viento, punto medio entre dos radios, hasta el eje, donde encajan en orificios practicados en el mismo a tal objeto, o bien se apuntan con unos topes de madera (figura 123).

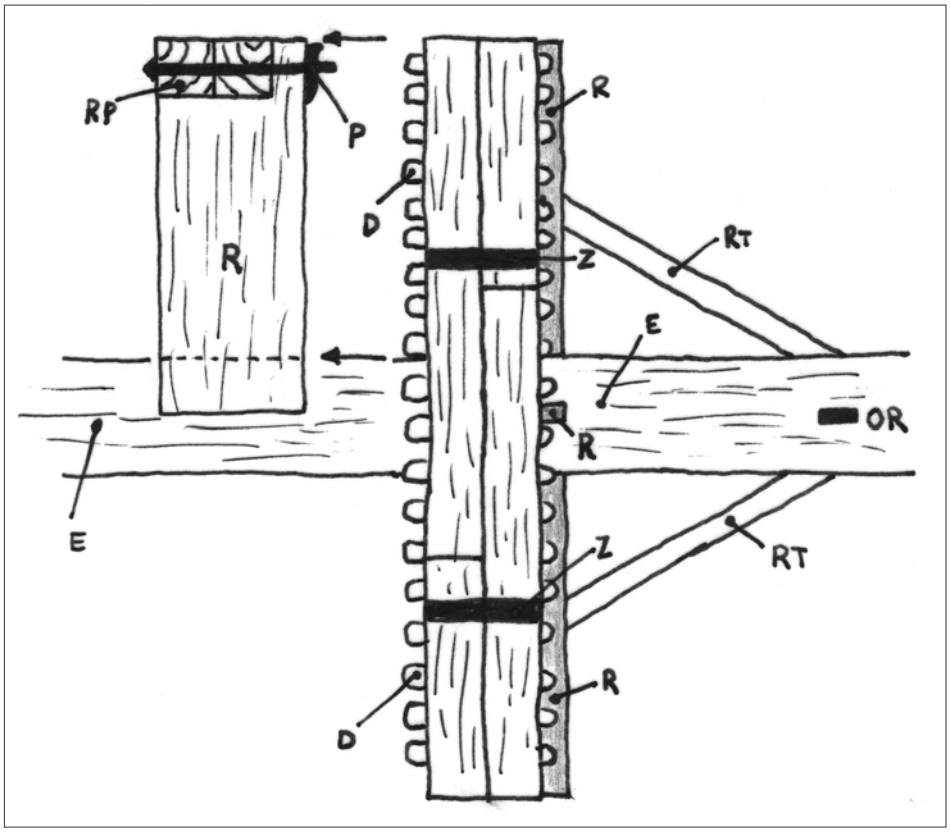


Figura 123: Esquema lateral de la rueda de puntería (se ha desplazado un radio para observar la unión con la rueda de puntería). *Dibujo del autor.*

D.- Diente o punto;
E.- Eje;
OR.- Orificio en el eje para las riostras;
P.- Pasador;
R.- Radio;
RP.- Rueda de puntería;
RT.- Riostra;
Z.- Zunchos de unión.

La piedra fólliga o fuélliga, que de ambas formas se acepta en el léxico molinero almeriense, se trata de la primera de las dos piedras que permiten que el eje gire. Tiene forma cúbica, con su cara superior en un plano de inclinación sobre los 10º y labrada en forma semicircular a fin de permitir que el eje se asiente perfectamente sobre ella (figura 124).



Figura 124: Una piedra fuélliga. Molino del Cambronero. Ruescas. *Fotografía del autor.*



Figura 125: La piedra fuélliga descansa sobre el camón del eje y sujeta por las vírgenes. Detalle del tirante hasta el fraile. *Fotografía del autor.*

La piedra fuélliga se asienta sobre el camón del eje, quedando asegurada por un sistema de maderos unidos entre sí, llamados vírgenes, a modo de jaula, que impiden que se pueda desplazar con los movimientos del eje (figura 125). Para asegurarla más se une mediante tirantes al fraile y palo guía.

La piedra rabota o rabote, según la llaman los molineros almerienses, es la segunda piedra que permitirá el giro del eje. Está cortada también de forma más o menos cúbica pero, a diferencia de la anterior, no presenta ninguna de sus caras en forma de plano inclinado sino que una de ellas está horadada y labrada en forma semiovoidal, de tal manera que admita dentro de la cavidad el extremo zunchado en cruz del eje. Esta cavidad recibe el nombre de *mortero*.



Figura 126: La piedra rabota descansa sobre el camón y, en primer término, sobre el rollizo. *Fotografía del autor.*

Asienta la rabota (figura 126) sobre el camón de la guía, en el extremo diametralmente opuesto a la piedra fuélliga, apoyándose su extremo posterior prácticamente con el palo guía o *viga*. A fin de mantener la misma inclinación que el eje, se solía calzar bajo el borde anterior de la cara inferior con cuñas de madera hasta lograr la inclinación deseada.

Para facilitar la rotación del eje, tanto la fuélliga como la rabota se engrasaban con sebo. En el caso de la rabota, al tratarse de una cavidad cerrada totalmente por el eje, se practicaba un *canalillo* o ranura a la piedra a través de la que se podía engrasar con sebo fundido.

Según nos indica el molinero Ramón Gil, la inclinación de ambas piedras, entre los 10º y 15º, es fundamental para facilitar la estabilidad del eje durante el funcionamiento y lograr así que el centro de gravedad no se desplace hacia la parte de la arboladura; ello ocasionaba la salida del eje de sus asientos durante la molienda con las graves consecuencias y perjuicios que ello ocasionaba.

Por su parte, Francisco Ortiz, del molino de Arriba, en Agumarga, nos comenta que en la comarca del Campo de Níjar, era común que, una vez se sustituían por desgaste las piedras fuélligas, éstas se aprovechaban para piedras rabotas, simplemente tallándoles el mortero. En la figura 127 puede apreciarse este detalle de una piedra rabota, con su canalillo, que previamente fue piedra fuélliga.



Figura 127: Detalle de piedra rabota, con un uso anterior como fuélliga. Molino de Las Negras. *Fotografía del autor.*

Las velas, características de la tipología A de Krüger, eran de lona, tenían forma triangular y estaban presentes en número de ocho; tenían cosidas sogas de esparto en parte de su perímetro para darles mayor consistencia.

La descripción que realizamos de las mismas está basada en los comentarios de los dos molineros entrevistados, puesto que ninguno de los molinos de viento del Campo de Níjar conserva las velas.

Las velas estaban formadas por diferentes piezas de lona de algodón, cuyo número dependía del ancho del tejido disponible. Era normal que tuviesen hasta seis piezas. Éstas arrancan dando forma al lado más largo del triángulo, denominado *palo* por ser el lado que se unirá al mismo, a la vez que confluyen montando unas sobre otras y adoptando forma triangular hacia el vértice opuesto donde se recosen y refuerzan formando el *puño de escota*. Las piezas, una vez unidas por costuras, se denominan *fajas* (figura 128)

El *palo* o lado más largo llevaba cosida una trenza o soga de esparto que terminaba formando dos asas en sus extremos y cuya utilidad radica en la forma de montar la vela sobre el palo. Su longitud máxima estaba en torno a los cuatro quintos de la longitud del palo o aspa.

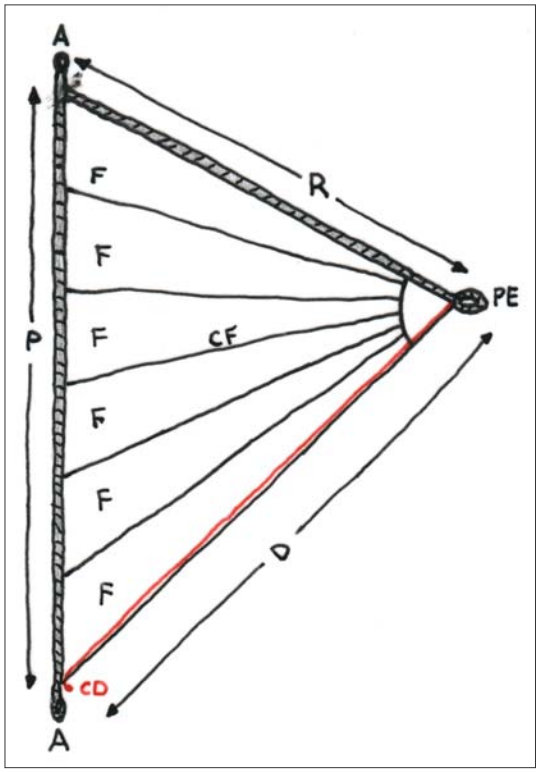


Figura 128: Esquema de la vela. *Dibujo del autor.*

A.- Asa del palo;
D.- Derrame;
CD.- Cordón de derrame;
CF.- Costura de la faja;
F.- Faja;
P.- Palo;
PE.- Puño de escota;
R.- Relinga.

Le sigue en longitud, por poco, el lado del triángulo denominado *derrame*; su longitud es prácticamente un 90% de la longitud del *palo*. El borde del derrame se solapa sobre la vela formando un canutillo por el que se enfundaba un cordón que termina en el puño de escota y que sobresale por la parte más próxima al palo formando un asa. La misión del *cordón de derrame* es tensar el mismo al objeto de disminuir en lo posible, si no eliminar, el flameo de la vela.

El lado menor del triángulo escaleno se denomina *relinga*. Su longitud extendida solía ser unos cinco sextos del *palo*. Todo el borde de este lado lleva incorporado un cabo cosido a él y que se une por un extremo a la trenza de esparto del palo, mientras que por el otro forma, doblándose sobre sí mismo, el asa del puño de escota.

El montaje de las velas sobre los palos se realizaba directamente mediante clavos; para ello se aprovechaba la trenza de esparto que refuerza el *palo* y que termina en dos asas. Con el palo o aspa apuntando al suelo y aprovechando un clavo fijo en el mismo, pero no en su borde anterior, sino en el lateral de forma que la vela cubra totalmente al palo por el borde donde recibirá el aire, a una determinada longitud coincidente con la longitud de la vela, se introducía la cabeza del clavo en el asa correspondiente al lado del *derrame*. A continuación y una vez

tensado éste lado por medio de un ayudante, se introducía otro clavo que sujetaba el asa opuesta, quedando así fijada la vela al palo. La operación se remataba introduciendo una serie de clavos a lo largo de la trenza de esparto (figura 129).

La operación del montaje de velas finalizaba tensando las *cotas* o *escotas* y atándolas al palo siguiente. Las escotas de las velas montadas en los primeros palos o machos se ataban en los penúltimos palos o respaldares; los de éstos a los segundos o traviesas y los de los últimos palos o poyacas, a los machos.

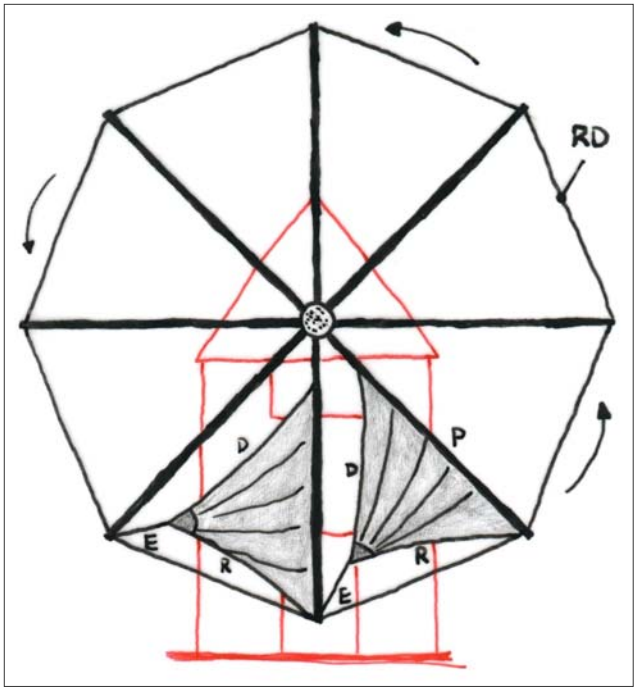


Figura 129: Esquema de la situación de las velas del molino. *Dibujo del autor.*

D.- Derrame;
E.- Escota o cota;
P.- Palo;
R.- Relinga;
RD.- Ruedo.

F.- EL SISTEMA DE ROTACIÓN VERTICAL

El sistema de rotación vertical del molino, es decir, todos aquellos mecanismos que giran según un eje vertical, está formado por la *linterna*, la *lavija*, y las *piedras* de moler.

La linterna, es una pieza intermedia, con forma de tambor, que engrana en su parte superior con la rueda de puntería y es solidaria a la lavija. Está formada por tres piezas, dos de ellas de hierro y una de madera. La pieza de madera se denomina *maza*, y está perforada en su parte central para permitir el paso del eje de la linterna o *palahierro*. La maza está rodeada por una estructura metálica denominada *jaula*, formada por dos aros de hierro, una arriba y otro abajo, que aprisionan

entre sí ocho *husillos* (figura 130); ello supone que por cada vuelta que daba la rueda de puntería (que presenta cuarenta puntos o dientes), la linterna daba cinco (figura 131).



Figura 130: Engrane de la rueda de puntería con la linterna. *Fotografía del autor.*

Existían una serie de marcas tanto en la maza de la linterna como en la rueda de puntería, al objeto de volver a colocarlas de la misma forma caso de tener que desmontarlas para acceder a las piedras. El núcleo de la linterna lo constituye el eje vertical de hierro, denominado *palahierro*; su parte superior es cilíndrica o ligeramente troncocónica, y se aloja en la cuella. Dicho eje, que a partir de la maza adopta una sección cuadrada (figura 132), se ensancha en la parte inferior formando la *caña*, un ensanchamiento formando dos dientes (figura 133), donde encajará la *lavija*, que queda acoplada a una encamadura realizada en la parte inferior de la piedra *volandera*, *corredera* o móvil.



Figura 131: Detalle de la linterna. Se observa la falta de un husillo así como la marca existente para un posterior montaje. *Fotoarafía del autor.*

El hecho de que el palahierro comience siendo de sección cilíndrica y continúe a partir de la maza con sección cuadrangular, es debido a la necesidad de permitir el giro en la zona de la cuella. La sección cuadrada dentro de

la maza asegura el palahierro dentro del orificio con las aristas del cuadrado impidiendo el giro de la maza sobre éste a poco que la madera de la misma se desgaste, hecho que se trataba de evitar acuñando el palahierro y atascando la cavidad de la maza con cordeles y restos de sacos viejos para impedir el deslizamiento de todo el eje. Además, permite que la canaleta de la tolva que contiene el grano, golpee cuatro veces por vuelta contra el palahierro haciendo que éste caiga desde la tolva hasta el orificio de la piedra volandera a través del que se introducirá entre las muelas. Este rudimentario automatismo liberaba al molinero de estar moviendo de vez en cuando la tolva para alimentar las piedras.



Figura 132: Detalle del palahierro antes de formar la caña. *Fotografía del autor.*



Figura 133: Detalle de linterna montada sobre el palahierro. Detalle de los dientes de la caña. *Fotografía del autor.*

La lavija, es una pesada pieza de hierro en forma de T cuya misión es permitir el giro de la piedra superior del molino o *piedra corredera*, o *volandera*, sobre la inferior o *piedra solera*, transmitiendo a aquélla el movimiento giratorio del palahierro o eje de la linterna.

Para ello, la rama horizontal de la lavija recibe y encaja en la caña labrada en el extremo inferior del palahierro o eje de la linterna, adoptando la asimetría necesaria para alojar los dientes de la misma como se indica en el esquema de la figura 134. Sobre esta rama horizontal

descansa todo el peso de la gran piedra corredera, superior a una tonelada en una piedra nueva.

La rama vertical de la T es el eje de la lavija (figura 135). De forma troncocónica, con la base en la cara inferior de la rama horizontal, la punta redondeada, o *guijo*, descansa tras pasar a través de un orificio practicado en el centro de la piedra solera, en la *tacilla*. A veces incorpora una polea en los molinos dotados de regulador centrífugo; desde esta polea, y a través de una correa, se transmitía el movimiento al regulador.

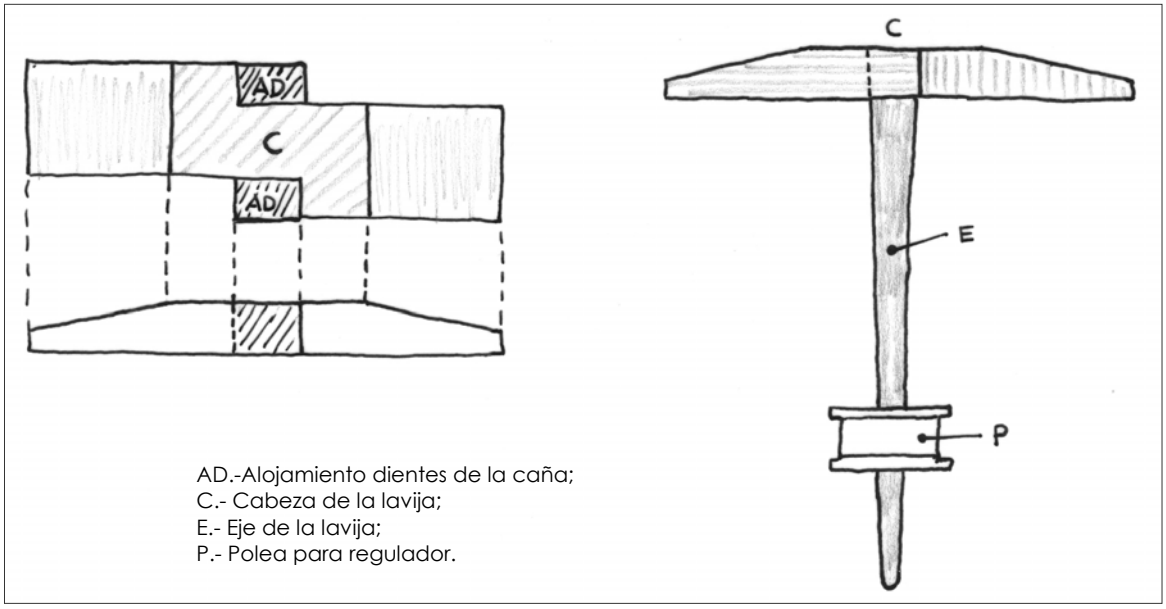


Figura 134: Esquema de la lavija. *Dibujo del autor.*



Figura 135: Detalle de la lavija, con polea para regulador en el eje. *Fotografía del autor.*

La tacilla es una pieza cóncava de hierro que, perfectamente engrasada, recibe el extremo del eje de la lavija que, al girar sobre ella, permite el desplazamiento o giro de la piedra volandera. La tacilla se apoya en el *sopuente* o *alzapuente*, que recibe consiguientemente todo el peso de la piedra móvil.

Las piedras de moler constituyen la parte fundamental del molino pues, como su nombre indica, el resultado final de la molienda se encomienda a las mismas.

La piedra inferior, conocida con el nombre de *solera*, está incrustada en una plataforma llamada *bancala*, *bancada*, apoyo o *banqueta*. A su vez, la bancada descansa sobre los marranetes. Como ha quedado dicho, en otros ejemplares de molinos de viento del Campo de Níjar, los marranetes no existen, sino que se encomienda la labor portante a un par de robustos arcos de medio punto.

La piedra superior *volandera* o *corredera* (figura 136) es la que se mueve solidaria a la *caña*, a través de la *lavija*. Ésta descansa sobre una *tacilla* situada en la *sopuente*, a través del *guijo* (figura 137). Originariamente, la piedra solera estaba protegida por yeso en la bancada, y ambas piedras rodeadas por una faja de pleita de esparto,



Figura 136: Detalle de la piedra volandera sobre la solera, incrustada ésta en la bancada. *Fotografía del autor.*



Figura 137: Detalle interior de la bancada, con el conjunto alzapuente-lengüeta-tacilla donde entra el eje de la lavija, que posee una polea para conectar al regulador. *Fotografía del autor.*

llamada *estera*, en la que quedaba la *harija*, como se denominaba a la harina que quedaba entre las piedras y la estera.

Las piedras del molino de viento del Collado tienen un diámetro en torno a los 1,50 m y, aunque el espesor de la volandera actualmente está en torno a los 26 cm, cuando eran nuevas llegaban a tener entre 40 cm y medio metro, teniendo el doble o más de grosor que la piedra solera.

La piedra corredera posee un gran orificio circular en su centro que permite, por una parte, el paso a su través de la caña, y por otra parte, la caída del grano desde la canaleta de la tolva hasta la piedra solera, quedando así aprisionado entre ambas, siendo molturado. En la cara inferior de la corredera, este orificio central se amplía lateralmente para permitir el alojamiento de la cabeza de la lavija, formando lo que se llama *lavijera*.

A partir de este centro y de forma progresiva, de menor a mayor, se va a producir el tallado de la piedra, verdadero artífice de la buena molienda, pues de lo contrario, sin tallado, ésta quedaría reducida a un simple aplastamiento del grano. El tallado se produce en forma de espiral logarítmica que tiene la propiedad de que su tangente forma siempre el mismo ángulo con el radio. Las crestas del tallado, las partes más elevadas del mismo, reciben el nombre de cordones; los valles o partes más bajas del tallado, se denominan regatas (figura 138).



Figura 138: Piedra volandera. Detalle del tallado y lavijero. Molino de Las Negras. *Fotografía del autor.*

Para tallar la piedra, trabajo que se realizaba por los molineros, como era necesario que el tallado se realizara de menor a mayor profundidad partiendo desde el centro hasta la periferia de la piedra, se dividía virtualmente la misma en tres círculos concéntricos; el situado más al centro apenas si se tallaría, siendo la molienda prácticamente nula en esta zona. La misión de esta zona es recibir el grano y distribuirlo por el resto de la piedra, con un prensado previo.

El segundo tercio de la muela, con un mayor tallado, tiene como misión el prensado y trituración del grano, aunque de forma más grosera. En esta zona se descascarilla el cereal, se parte el grano y

se deja preparado para la verdadera molienda.

Ésta se realiza en el tercio exterior de las piedras. El cereal prensado, descascarillado y triturado pasa a la zona de las piedras donde el tallado presenta mayor altura, estando el grano sometido a gran presión y fricción contra ambas, lo que produce la transformación en harina que sale despedida por el borde las mismas, recogiéndose en el guardapolvo o *estera*, banda de esparto que rodea ambas muelas. La harina, salía por un agujero o *bujero* que existía en la *estera* y, a través de una canaleta de madera de sección triangular, caía al *harinal* practicado en la mampostería del molino, a nivel del piso inferior.

La piedra solera también tiene practicado un orificio en su centro, pero de menor diámetro que la piedra corredera. Solamente permite el paso del eje de la lavija, y así se evita la pérdida que supondría el grano que cayese sobre el mismo. El tallado de la piedra solera es similar al de la corredera.

Ambas piedras se encuentran rodeadas de un zuncho metálico para impedir que se resquebrajasen con los esfuerzos a los que se las sometía durante la molienda.

Cuando las piedras se iban desgastando e iban perdiendo su tallado, era necesario proceder a su repicado para restablecer la altura de los cordones desgastados.



Figura 139: Detalle de acanaladuras para los rodillos, practicados en los manzanos. *Fotografía del autor.*

Para ello, en primer lugar había que proceder a desmontar la linterna, sacándola de la cuella; tras ello se comenzaba levantando la piedra corredera o volandera mediante palancas y acuñándola hasta conseguir colocarla sobre rodillos de madera, desplazándola hacia la cama del molino. Llegada la piedra al borde de dicha cama del molino, se le pasaba por el orificio central un cable que posteriormente rodeaba e eje e iba al lado opuesto de la cama del molino, pasando sobre un rodillo giratorio colocado entre los dos manzanos de ese lado, que tenían practicados unas acanaladuras para ello (figura 139). Se hacía girar mediante un ayudante el eje del molino

empujando los palos y se conseguía así levantar la piedra por la tracción ejercida al enroscarse el cable, en el eje, a modo de cabrestante.

Una vez levantada la piedra, se pasaba por el orificio central un grueso madero llamado *mayal* mediante el que se manipulaba hasta conseguir dejar caer la piedra muy lentamente sobre un conjunto de troncos gruesos situados bajo la cama del molino y que refuerzan el tablazón en esa zona. Una vez apoyada la piedra de canto en el conjunto de troncos anteriormente citado y sobre la cama del molino, se procedía al repicado de la misma. Cuando la tarea terminaba, se realizaba la operación inversa para restaurar la piedra a su posición.

El repicado de la piedra solera resultaba más sencillo, en tanto que se realizaba sin necesidad de moverla, una vez retirada la piedra volandera.

G.- LA SOPUENTE O ALZAPUENTE

La sopuente o alzapuente, y la *lengüeta*, son dos mecanismos que forman un conjunto responsable del equilibrio del molino (véase figura 137). Se sitúan ambos elementos sobre los dos marranetes, asentándose en un rebaje efectuado en la madera de los mismos en la zona donde está el hueco de la bancada.

Ambas piezas pueden ser de madera, ocupando la lengüeta la porción central y el alzapuente la periférica. En el molino del Collado la lengüeta, así como la tacilla que está sobre ella, están realizadas en hierro. El alzapuente es de una sola pieza, pudiendo aparecer en otros molinos de la zona otros más complicados que no lo son, sino el resultado de la unión de cuatro maderos que forman una especie de marco dentro del cual se encuentra la lengüeta.

El alzapuente se puede desplazar en su totalidad de arriba abajo y de derecha a izquierda, arrastrando en su desplazamiento a la lengüeta y a la tacilla que está situada en una cavidad labrada en la parte central de la misma. Quiere decir esto que cualquier movimiento del conjunto citado repercutirá en la lavija que descansa en la tacilla y en consecuencia, sobre la piedra volandera que se pretende equilibrar (figura 140).

Los dos elementos, alzapuente y lengüeta se encuentran unidos por el extremo contrario a donde se encuentra la tacilla por un grueso pasador que permite el desplazamiento de la lengüeta en sentido

ascendente y descendente así como con unos centímetros en sentido longitudinal merced a una ranura por la que se desliza del pasador de unión de ambas piezas (figura 141).

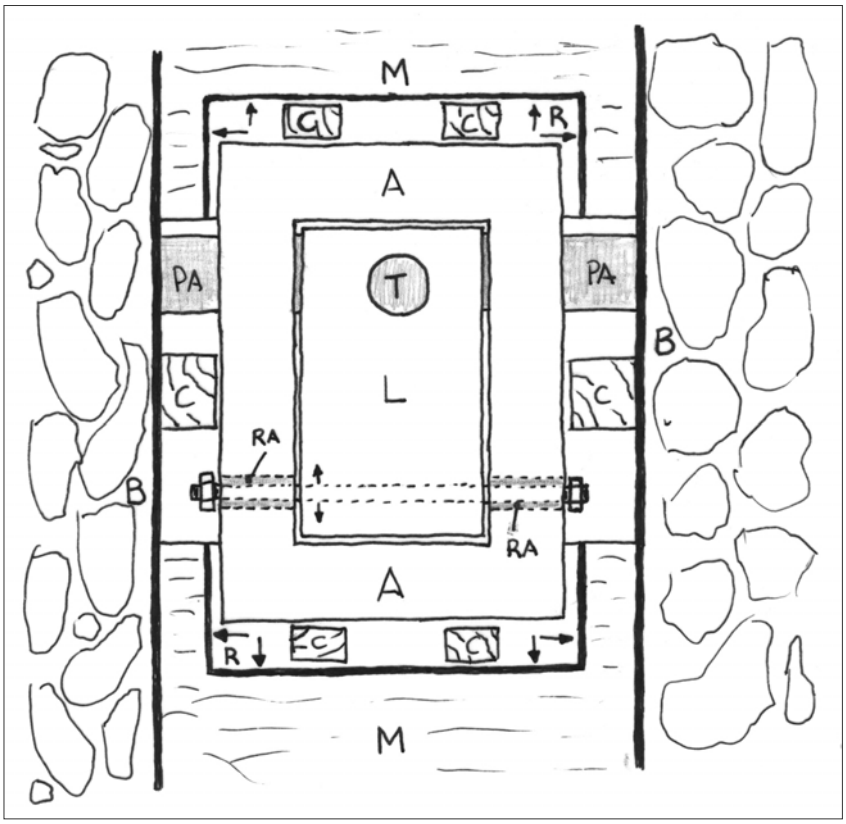


Figura 140: Esquema del alzapuente y la lengüeta. *Dibujo del autor.*

A.- Alzapuente;
B.- Bancada;
C.- Cuñas de inmovilización;
L.- Lengüeta;
M.- Marranetes;
PA.-Palanca del alivio;
R.- Rebaje de la madera de los marranetes
RA.-Ranura de desplazamiento;
T.- Tacilla.



Figura 141: Detalle de la lengüeta y alzapuente, entre los dos marranetes. *Fotografía del autor.*

Para equilibrar el molino se movía mediante suaves golpes el marco del alzapuente desplazándolo en la dirección que precisase la piedra. Si se lograba el equilibrado, sin más dilación, se procedía a acuñar el marco

del alzapuente contra los muretes del asiento para inmovilizarlo; pero si después de mover el alzapuente no se había logrado equilibrar totalmente, se podía desplazar con pequeños golpes la lengüeta hasta lograrlo, debido a la ranura de desplazamiento. De la lengüeta depende el ajuste fino del equilibrado del molino, es decir, el perfecto asiento de la piedra volandera.

Bajo la lengüeta se encuentra la llamada *palanca del alivio* (figura 142).



Figura 142: Detalle de la palanca del alivio, entre los dos marranetes y bajo el alzapuente. *Fotografía del autor.*

H.- EL ALIVIO DEL MOLINO

El *alivio* es un mecanismo cuyo fin último es la graduación de la distancia entre las piedras solera y volandera, al objeto de que la harina resulte más o menos fina en la molienda.

En este tipo de molinos, al no soplar el viento siempre con la misma fuerza e intensidad, el momento aplicado al eje no es constante o regular. Ello afecta a la cantidad de grano a moler y, por tanto, hay que regular la distancia entre las piedras, lo que se logra con el mecanismo del alivio.

No obstante, en el argot molinero, la palabra *alivio* define la acción de separar las piedras durante la molienda, es decir, la acción de aliviar. Asimismo, para definir la acción contraria, es decir juntar las piedras, se utiliza el vocablo *apergo* (acción de apergar).

El apergo o acción de juntar las piedras de moler se realizaba generalmente cuando se quería obtener una molienda sumamente fina de harina panificable, o bien cuando el viento era muy fuerte. Por el contrario, el alivio se usaba en la molienda de cereales destinados a pienso de animales en que no era necesaria una textura fina de la harina resultante y, obligatoriamente, en caso de estar moliendo con poco viento. Nos cuenta Ramón Gil que con poco viento, un excesivo apergo de las piedras de moler unido al grano acumulado entre las mismas, podía hacer que el molino se parase entorpeciendo las labores del molinero, por lo que con la antelación suficiente el buen oficio le hacía dar alivio a las piedras para no sobrecargar el molino y evitar así problemas.

El mecanismo para separar una piedra de peso cercano a la tonelada se basa en el principio de la palanca, y se conoce con el nombre de *la palanca del alivio* (figura 143).



Figura 143: Detalle del pivote de la palanca del alivio. *Fotografía del autor.*



Figura 144: Detalle de brazo corto de la palanca del alivio. *Fotografía del autor.*

La palanca del alivio se encuentra situada entre los dos marranetes, estando unida por su extremo posterior a uno de ellos o bien a un refuerzo del tablazón mediante un pivote, merced al cual puede desplazarse en sentido ascendente o descendente. En este último sentido el movimiento se encuentra limitado por un tope, de forma que nunca puede descender por debajo de lo que permita la horizontal de la lengüeta, que descansa apoyada por su extremo libre, en ella. Por tanto, la palanca del alivio bajada a tope significa que la lengüeta está en posición horizontal (una vez equilibrado el molino) y la piedra volandera descansa sobre la piedra solera: la posición de descanso del molino o posición de máximo apergo.

Por su extremo libre la palanca del alivio se une, atravesando el tablazón del piso superior, mediante un espárrago metálico al extremo de otra palanca, prolongación del mismo brazo y que bascula sobre un punto de apoyo, llamada brazo corto de la palanca de alivio (figura 144). El otro extremo de este segundo brazo de la palanca está perforado en su extremo superior atravesando todo el madero, permitiendo el paso de otra varilla metálica cuyo extremo superior a su vez está dotado de un tornillo que permite al apretarlo o aflojarlo hacer que suba o baje el brazo inferior de la palanca del alivio apergando o aliviando las piedras.

Para evitar que el molinero, mientras estaba ocupado ensacando la harina, tuviese que estar subiendo y bajando las escaleras del molino para regular la molienda, el extremo inferior de la varilla del tornillo se prolongaba, atravesando de nuevo el tablazón del piso superior y de la camareta (si existía) hasta la denominada *barra del alivio*, a la que se unía a través de una abrazadera deslizable, como la pesa de una romana, al objeto de acortar o alargar el brazo de palanca en función de las condiciones del viento. La barra del alivio se encontraba fijada en uno de sus extremos a la mampostería de la torre, y en ese punto podía bascular hacia arriba o hacia abajo. En el extremo opuesto de la barra del alivio se ataban un par de cordones de cáñamo que pasaban a través de dos poleas (o bien una sola, de doble garganta) y mediante las cuales, y desde la planta baja del molino, sin necesidad de subir y traccionando de uno u otro cordón (uno para subir la barra, otro para bajarla), el molinero podía regular la textura de la molienda.

A veces el mecanismo descrito del alivio era modificado y automatizado con un regulador, denominado *maquinillo del molino* en la zona del Campo de Níjar, que ya ha sido descrito con anterioridad y que actualmente no está en el molino del Collado, aunque hay indicios de que lo montó.

No obstante, la forma de incorporarlo al mecanismo de alivio era relativamente sencilla. Se incorporaba a la porción final del eje de la lavija una polea, a la vez que situaban otra, en el mismo plano de giro, unidas por una correa, en la pared de la torre y próxima al tablazón de la planta superior. Gira dicha polea sobre un eje que, atravesando el tablazón, pasa a través de una abrazadera situada en el extremo libre de la barra del alivio y se fija sobre un madero encastrado en el muro de la torre de la planta baja. Sobre este eje macizo se sitúa el eje hueco del mecanismo de regulación centrífuga con sus dos bolas o masas inerciales (maquinillo del molino).

Con fuerte viento, aumentaban las revoluciones del eje de la lavija que se transmitían por medio de la correa a la segunda polea fijada a la pared. El giro del eje macizo de ésta hacia girar el eje sobrepuesto del regulador que mantenía asentada sobre su madero, fijo en la torre, a la barra del alivio. Si aumentaba la fuerza del viento aumentaba, en consecuencia, la velocidad de todos los engranajes descritos con anterioridad, produciéndose un aumento de velocidad en el regulador, cuyas masas comenzaban a ascender por el eje macizo y liberando consecuentemente el extremo de la barra del alivio con lo que ésta ascendía empujando a la palanca del alivio en su primer tramo de la planta superior. Al bascular la misma hacia abajo, empujaba hacia abajo al brazo largo de la palanca del alivio situada bajo la lengüeta que, al descender, arrastraba en su descenso a la misma y a la tacilla haciendo que descendiese la volandera, produciéndose el lógico apergo.

Al disminuir la fuerza del viento las masas inerciales descendían volviendo a sujetar el extremo libre de la barra del alivio lo que, por el mecanismo contrario al descrito, separaba las muelas impidiendo la sobrecarga del molino y su posterior parada, produciendo el llamado alivio.

Todo el mecanismo del alivio se esquematiza en la figura 145, donde se numera la secuencia de funcionamiento del regulador automático, tal y como se explica a continuación.

Al aumentar la velocidad del molino, aumenta la velocidad de rotación del eje de la lavija, aumento que se transmite por medio de las poleas P y PF a eje del regulador centrífugo RC cuyas masas inerciales ascienden liberando de su peso al extremo libre de la barra del alivio (1). Al ascender, levanta el brazo corto de la palanca del alivio (2) que bascula sobre el punto de apoyo (3) en el sentido de la flecha, haciendo que descienda el brazo largo de la palanca del alivio (4) que pivota sobre el punto fijo del lado opuesto, según indican las flechas. Al descender en

(4), desciende el conjunto el conjunto formado por la tacilla, lengüeta y alzapuente (5), apoyado sobre la palanca del alivio, haciendo que las piedras se aproximen o aperguen (6). En caso de disminuir el viento, se produce el efecto contrario, es decir, las piedras se separarían.

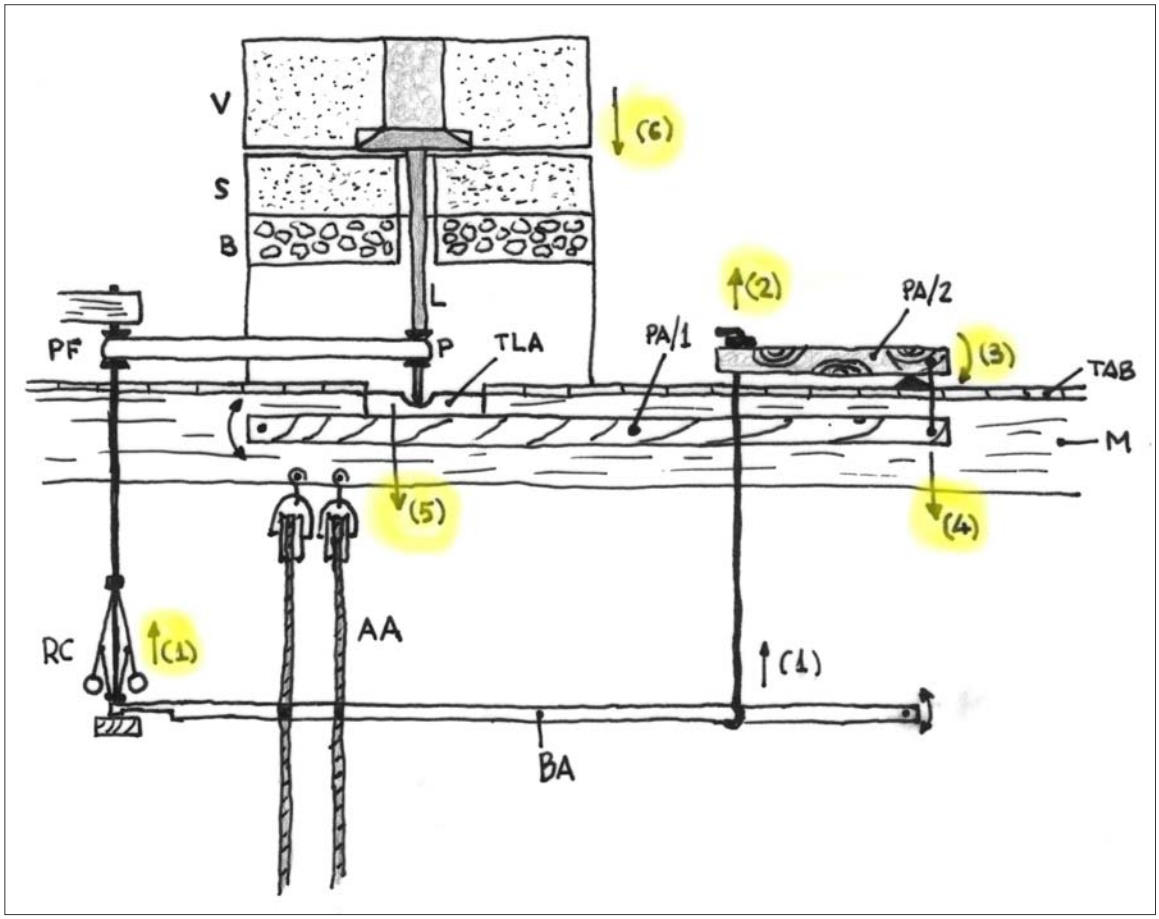


Figura 145: Esquema del mecanismo del alivio. *Dibujo del autor.*

AA.- Sistema de alivio/apergo manual con poleas;
B.- Bancada;
BA. Barra del alivio;
L.- Linterna;
M.- Marranete;
P.- Polea del eje de la lavija;
PA/1.- Primer brazo de la palanca del alivio;
PA/2.- Segundo brazo de la palanca del alivio;
PF.- Polea fija a la torre;
RC.- Regulador centrífugo;
S.- Piedra solera;
TAB.- Tablazón;
TLA.- Conjunto tacilla-lengüeta-alzapuente;
V.- Piedra volandera.

I.- LA TOLVA

La tolva, o *torva* según el léxico molinero almeriense, en realidad es el nombre genérico con que se conoce al conjunto formado por tolva y *canaleta* (figura 146)

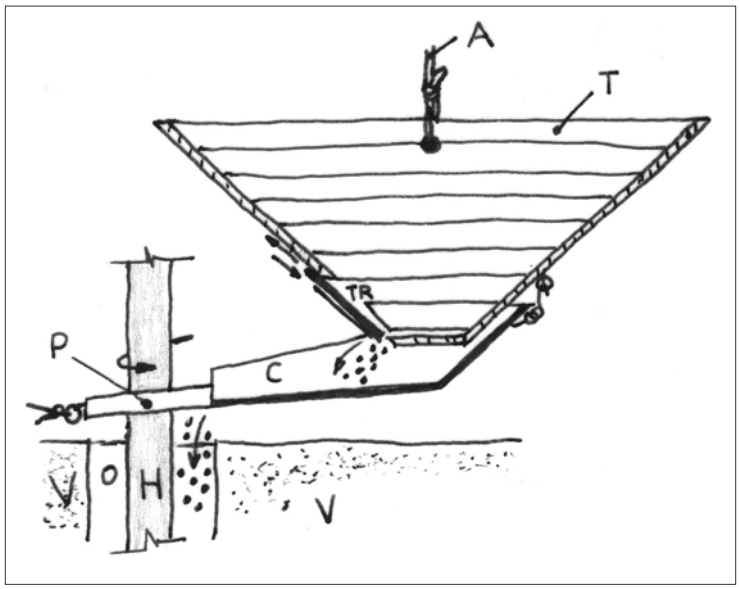


Figura 146: Esquema del conjunto de la tolva. *Dibujo del autor.*

A.- Atadura de la tolva;
C.- Canaleta;
H.- Palahierro;
O.- Ojo u orificio de la volandera;
P.- Palo;
T.- Tolva;
TR.- Trampilla de grano;
V.- Piedra volandera.

La tolva como tal, es un receptáculo de madera con forma de pirámide cuadrangular truncada invertida cuya misión es almacenar el grano e ir distribuyéndolo a través de la canaleta para que sea triturado. Para ello está dotada lateralmente y en la parte más baja, de una trampilla que desliza a través de una ranura y que se puede regular a voluntad mediante acuñadura, a través de la que sale el grano en mayor o menor cantidad. Interiormente, según nos cuentan los molineros de la zona, se solía forrar con lienzo blanco ya que ello facilitaba el deslizamiento de los granos. La capacidad estimada era de unos 30 Kg de grano (figura 147).

La canaleta es un paralelepípedo irregular con la cara superior descubierta, es decir, es abierta. Uno de los lados se ajusta a la tolva por medio de ataduras, mientras el otro, libre, permite que el grano procedente de la tolva caiga en el orificio u *ojo* de la piedra corredera. Para facilitar esta labor, el extremo libre se prolonga mediante un palo que es golpeado rítmicamente, cuatro veces por vuelta, por las cuatro aristas del palahierro, favoreciendo así la caída del grano. Según los molineros, este palo tenía una anilla con un cordel que permitía atarlo para acercarlo más o menos al ojo de la volandera, así como para regular su altura, incluso hasta cerrar la caída de grano.



Figura 147: Detalle del interior de una tolva. Molino de Arriba. Aguamarga. *Fotografía del autor.*

Todo el conjunto tolva-canaleta queda suspendido en el aire por medio de cuerdas pasadas por los laterales de la tolva y aseguradas en las madres del telar; se procuraba que quedara situada en el lado completamente opuesto a la rueda de puntería y la linterna a fin de evitar cualquier atrapamiento accidental del molinero durante la operación de carga de la tolva.

En el molino del collado no existe la tolva, si bien hemos podido apreciar sus características en otros molinos del Campo de Níjar. No obstante, ha resultado fundamental la narración de los dos molineros entrevistados.

J.- EL SISTEMA DE FRENO

Como mecanismo de frenado, y para evitar el movimiento de la rueda de puntería en los periodos de inactividad e incluso en los momentos dedicados al movimiento del chapitel, la rueda de viento o de puntería tiene una llanta, cuyo bastidor es de madera y está forrada interiormente de tejido de goma, que la circunda casi por completo.

Este mecanismo se afloja o se acciona a voluntad. También se accionaba el freno cuando se levantaban vendavales que pudieran hacer temer por la integridad del artefacto.

El freno se compone de los siguientes elementos: la *faja* de goma con la que está forrada la llanta de madera (figura 148); la *llanta* del freno, uno de cuyos extremos está fijo a una de las madres del telar (figura 149), y el otro está sujeto a un palo horizontal, *vara del freno* (figura 150), dotado de balancín (figura 151), y enlazado bien con otro pequeño palo vertical hasta el piso primero, desde donde se acciona, o bien con una soga hasta el mismo.

El molinero, cuando quería accionar el freno, tan sólo tenía que tirar del palo vertical o de la soga y amarrar posteriormente al propio telar. Así

quedaba bloqueada la rueda de puntería y, consecuentemente, el mecanismo del molino. Para desbloquearla, la vara del freno poseía un argolla a la que se le ataba un cabo que, tras pasar por una polea simple instalada en el palo guía, soportaba un contrapeso que hacía que el freno no actuara.



Figura 148: Detalle de la llanta del freno. *Fotografía del autor.*



Figura 149: Detalle del amarre de la llanta del freno a las madres del telar. *Fotografía del autor.*



Figura 150: Detalle de la vara del freno. *Fotografía del autor.*



Figura 151: Detalle del balancín de la vara del freno. *Fotografía del autor.*

En la figura 152 se esquematiza el funcionamiento del freno en el molino y se numera la secuencia de funcionamiento del freno, tal y como se indica a continuación: al traccionar CF, es decir la cuerda o soga del freno (también puede ser un palo)(1), la vara del freno, que bascula en el balancín (2), también baja (3), con lo que la llanta del freno se aplica sobre la rueda de puntería (4). Para dejar de frenar, basta con dejar que el contrapeso C vuelva a colocar en su posición de reposo a la vara del freno, con lo que la llanta volverá a desprenderse de la rueda de puntería.

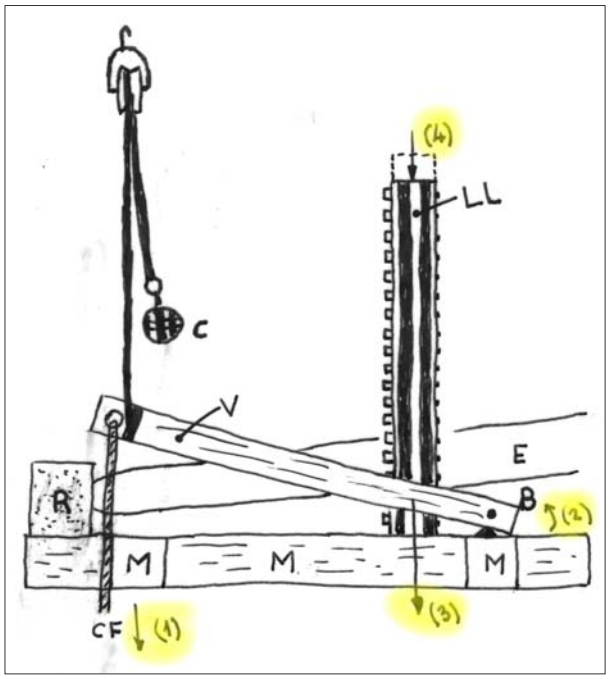


Figura 152: Esquema del sistema de freno del molino. *Dibujo del autor.*

B.- Balancín;
C.- Contrapeso;
CF.- Cuerda del freno;
E.- Eje del molino;
LL.- Llanta del freno;
M.- Madres;
R.- Piedra rabota;
V.- Vara del freno.

K.- EL PALO GUÍA O VIGA



Figura 153: Detalle de un hito en primer término. Amarre del palo guía sobre un hito. *Fotografía del autor.*

El palo guía, también llamado viga o simplemente guía en el argot molinero almeriense, es la pieza que sirve para orientar hacia el viento todo el chapitel a fin de que las velas, una vez henchidas de aire, hagan girar la maquinaria del molino.

Está formada por un grueso tronco que, encastrado en la parte superior del chapitel, en el fraile, mediante un rebaje practicado a la madera, se apoya en el camón de la rabota o de la guía, y llega hasta el suelo. La dificultad para encontrar troncos de longitud entre once y trece metros, hizo que los empalmes entre diferentes palos fuese algo habitual en el Campo de Níjar (figura 153).

Empujando desde el extremo inferior del palo, el molinero encaraba el molino al viento y comenzaba la molienda. Esta operación debía repetirse cada vez que se producía algún cambio en la dirección del viento a fin de que las velas no flameasen y bajase así el rendimiento del molino. Para conseguirlo, se ayudaba de un *torno* o *carretón*, mediante el que movía el molino con cierta facilidad (figura 154).

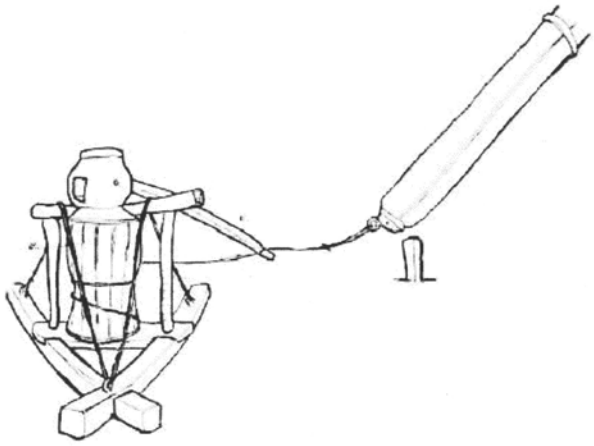


Figura 154: Detalle del torno o carretón. *Lámina 248.3 de Alvar et al.*

El torno estaba formado básicamente por dos maderos cruzados en X, situándose sobre la zona de cruce un eje sobre el que giraba la maza, una pequeña pieza cilíndrica de madera con un orificio en la parte superior por el que se introducía la barra mediante la que se le hacía girar y recoger así el cable o soga que llevaba unido.

Siguiendo la circunferencia descrita por la punta del palo guía cercana al suelo, se hundían profundamente en tierra unas estacas

denominadas *hitos* o *puntos*. Éstos son tacos de madera, que en número de ocho a doce (en el molino del Collado hemos detectado once) circundan el exterior del molino, formando el llamado *redondel* o *rodeo*, y a los que se sujetaba con una soga o cable la *viga* o *guía,* una vez se había elegido el viento con el que se iba a realizar la molienda.

La forma de girar el chapitel era la siguiente: se afianzaba el torno, por la zona más próxima a la maza, contra un hito, y se ataba el cable o soga del carretón a la punta del palo guía. Se giraba la maza con la barra y se iba recogiendo el cable a la vez que la tracción del mismo iba haciendo girar el chapitel hasta el hito deseado; una vez conseguido, se amarraba el palo guía al mismo (figura 155).

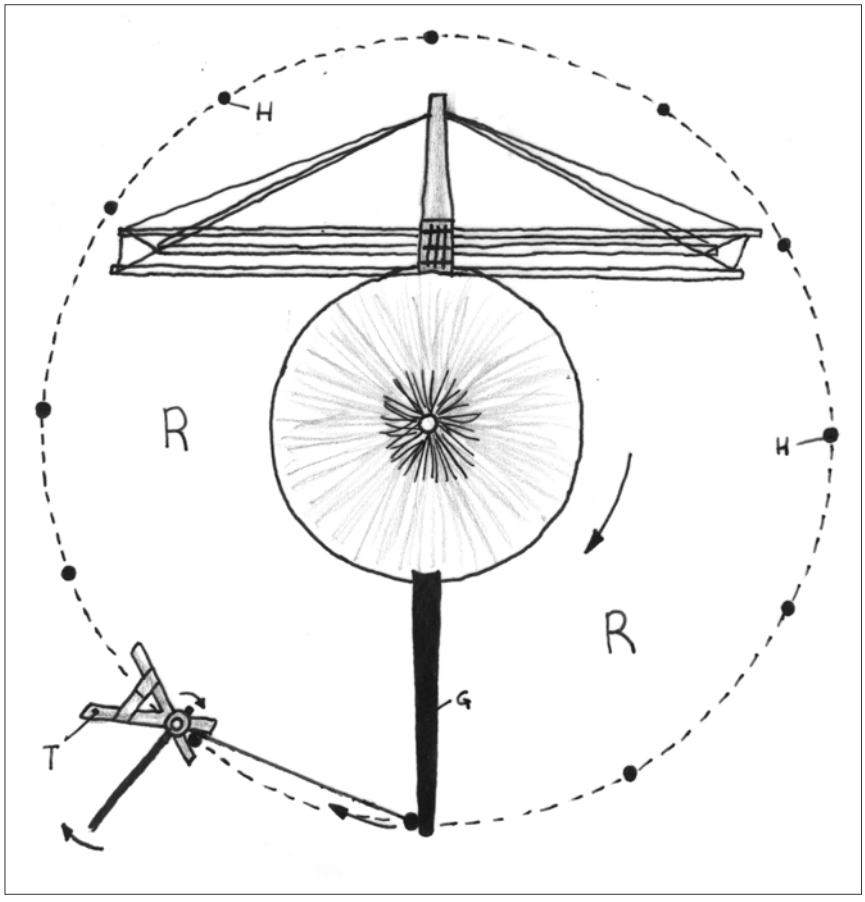


Figura 155: Esquema del giro del chapitel. *Dibujo del autor.*

H.- Hito o punto;
G.- Palo guía;
R.- Redondel o ruedo;
T.- Torno o carretón.

L.- EL REDONDEL DEL MOLINO Y SUS ALREDEDORES

En el argot molinero almeriense, el redondel o ruedo del molino es el espacio comprendido entre la torre y la circunferencia imaginaria dibujada por la punta del palo guía, sobre la que se sitúan los hitos o puntos.

Este espacio era el utilizado por el molinero para andar y ejercer las labores de orientación al viento del molino, así como por los clientes que acudían al mismo para cargar y descargar el grano de los carros y bestias de carga. Hemos visto en algún molino almeriense, unas argollas en la cara exterior de la mampostería del molino, al objeto de que los clientes y el molinero pudiesen atar a las bestias (figura 156).



Figura 156: Detalle de la argolla para las bestias. *Fotografía del autor.*



Figura 157: Detalle de la era del Molino del Cortijo del Paraíso. Los Escullos. *Fotografía del autor.*

Junto al redondel del molino, a escasos metros del mismo, solía estar la *era* del molino, de forma circular, y casi siempre construida a base de ripio (figura 157). La función de la misma era la de dejar secar el grano antes de la molienda; muchos clientes no aportaban el grano en condiciones de ser molido, y encargaban al molinero las labores de preparación del mismo, una de las cuales consistía en lavar el grano y posteriormente secarlo en la era. En el Campo de Níjar hemos visto eras de distintos diámetros, entre los seis y los veinte metros.

También es común en el Campo de Níjar observar a escasos metros del molino los restos de la casa del molinero. Normalmente, los molinos se ubicaban en promontorios propicios a los vientos, lo que provocaba que, aunque estuviesen dentro de cortijadas, contasen con una vivienda próxima para el molinero. Es común ver los hornos morunos junto a los restos de la vivienda (figura 158).



Figura 158: Restos del horno doméstico junto a la casa del molinero. Molino del Collado. *Fotografía del autor.*

4.9.- SOBRE EL POSIBLE ORIGEN DE LOS MOLINOS DE VIENTO ALMERIENSES

Como se desprende de la descripción de la maquinaria del molino de viento del Collado, realizada en el epígrafe anterior, y extensible a la tipología de molino de viento almeriense, así como del inventario de molinos de viento del Campo de Níjar que se presenta en el Anexo 2 de esta Tesis Doctoral, en esta zona del levante almeriense han existido numerosos molinos de viento, pero no sabemos bien desde cuando.

La primera referencia que existe de la existencia de un molino de viento por estos pagos procede del Catastro de la Ensenada, de 1753, en que sólo consta la existencia de un molino de viento en el pago del Toyo, a la distancia de un tiro de bala de la ciudad de Vera, compuesto por "un cuerpo baxo y dos altos", con una circunferencia de ocho varas, rentándole a su propietario 52 fanegas de trigo anuales, importaban 936 reales de vellón; en el arrendamiento al molinero Juan Ruiz se incluía una casa cortijo contigua, siendo el propietario de dicha instalación don Francisco de Bictoria, "vecino de la ciudad de Cartagena y hacendado de esta Vera" [GIL, 1992].

Según se desprende de dicha referencia, el origen de los molinos de viento almerienses podría ser cartagenero, si bien existen algunas diferencias entre ambas tipologías. En cualquier caso, el molino referenciado por Gil en Vera no existe, y parece ser que fue derribado en la segunda mitad del siglo XVIII por orden del propio ayuntamiento veratense [GIL, 1992]. Vera es una población del levante almeriense

situada muy al norte del mismo, cercana a la región murciana. Es por esto que la evidencia anterior, con ser interesante, podría no ser concluyente.

Para obtener otros datos sobre molinos de viento almerienses hay que avanzar hasta mediados del siglo XIX. Así, en el censo de 1860 ya existían molinos de viento en el Campo de Níjar, tales como el molino de la viuda, el molino de Castro, molino de Saura y otros cuyos nombres hoy apenas se recuerdan [GIL, 1992].

También existían por esta época un molino de viento en Roquetas, dos molinos de viento en Almería y otro en La Cañada [TORRES, 1993].

Parece ser, por tanto, que los molinos de viento son de introducción relativamente tardía en el Campo de Níjar, generalizándose en torno a mediados del siglo XIX. Ello también explicaría que gran parte de los ejemplares encontrados presentan indicios de la incorporación del mecanismo de alivio automático o regulador centrífugo, cuya instalación debía de ser de finales del siglo XIX e incluso en otros de principios del siglo XX.

Tuvimos que recurrir a las entrevistas a nuestros molineros para preguntarles acerca del origen de los molinos de viento por esta zona; y tuvimos una respuesta positiva, y que encaja, de nuestro molinero Ramón Gil de Fernán Pérez.

Según Ramón Gil, la primera estirpe de molineros del Campo de Níjar fue la familia Saura, que poseían un molino en la zona de Fernán Pérez a mediados del siglo XIX, que se corresponde con el actual molino de Manuel Gil. Parece ser que esta familia tuvo algún tipo de problema en el Campo de Cartagena y acabaron abandonando dicha zona para establecerse en estos campos. Esta argumentación explicaría las similitudes entre ambos tipos de molinos y está en la tesis de que el origen de los molinos de viento almerienses pudiera ser cartagenero, aunque adaptados a las características del viento almeriense.

Las diferencias del molino de viento almeriense con respecto al cartagenero estriban fundamentalmente en la altura de las torres, más pequeñas las almerienses, así como en la altura del segundo piso o camareta, que en los molinos de viento almerienses apenas llegaba al metro o metro y medio. También existen diferencias en el eje, ya que en los cartageneros los cables denominados vientos van amarrados a una prolongación del mismo, llamada en aquellos lares botalón, mientras que en los almerienses el propio eje alberga dichos cables.

Los molinos de viento del Campo de Níjar utilizaban fundamentalmente los vientos de poniente y de levante, así como el *solano* (sur), aunque variaba según los molinos y según las zonas. Nunca utilizaban el viento del norte o *torral*, por ser muy traicionero según los molineros, debido a los grandes remolinos que formaba. Otros vientos eran el *trasmontano* (del nordeste), el *granaíno* (del noroeste) y el *lebeche* (del sudoeste).

Se molturaba cualquier tipo de grano, como trigo, cebada, avena, algarroba, lenteja, garbanzo, guija, pimiento, etc. El régimen de funcionamiento estaba basado en la maquila, que en el Campo de Níjar se fijaba en una cantidad de harina equivalente al 7% en peso del grano a moler, ya que había unas perdidas por *esporvoreo*, es decir, harina que se perdía por corrientes de aire, etc., de un 3% en la molienda. Así, el cliente recibía el 90% en peso de harina.

La producción de un molino podía ascender en un buen día de viento hasta las veinte o veinticinco fanegas, lo que en trigo supone entre los 900 y 1125 kilogramos. En día normal se molía sobre las doce fanegas, algo más de quinientos kilogramos.

Las épocas de mayor trabajo de molienda solían ser el verano, cuando se producía la cosecha, y antes de la Navidad, para la repostería casera. No obstante, el resto del año siempre se seguía moliendo, tanto trigo como otros granos destinados a la alimentación del ganado.

4.10.- RECAPITULACIÓN

En este capítulo se ha descrito la totalidad del proceso de toma de datos y búsqueda de ejemplares de molinos de viento en el Campo de Níjar, así como molineros de la zona a quien poder entrevistar.

Se expone el trabajo de campo realizado, que se ha sustentado fundamentalmente en la toma de croquis y en el reportaje fotográfico, si bien también se ha apoyado en la tecnología GPS para así dar como resultado un completo inventario de los molinos de viento del Campo de Níjar, que se presenta como Anexo 2 en esta Tesis Doctoral.

También se aborda la descripción exhaustiva del molino y su funcionamiento, como exponente de la tipología de molino de viento almeriense, aprovechando el reportaje fotográfico para su ilustración. Por

último se indaga sobre el origen de los molinos de viento del Campo de Níjar.

Capítulo 5

La Reconstrucción Gráfica y la Animación por Ordenador

5.1.- INTRODUCCIÓN

La *reconstrucción gráfica* constituye, al igual que *el trabajo de campo*, uno de los dos pilares en los que se sustenta la *metodología* empleada en la presente Tesis Doctoral. En este capítulo se pretende describir el *modus operandi*, así como los medios auxiliares necesarios utilizados para la reconstrucción gráfica del molino de viento objeto de estudio. El primer fruto de la reconstrucción gráfica será la construcción de un modelo, que será un paso previo para realizar la animación, la que dará lugar a un paseo virtual por el molino, tal y como era, incluso en su verdadero entorno.

Para la realización de la reconstrucción gráfica resultan fundamentales los resultados del trabajo de campo que, como indicamos en el capítulo anterior, tuvo una doble vertiente: por un lado, la elaboración de un exhaustivo *reportaje fotográfico*, y por otro lado la toma de *cotas sobre croquis*, tanto del edificio en sí como de toda la maquinaria.

El reportaje fotográfico es una herramienta imprescindible a la hora de realizar un modelado por ordenador lo más fiel posible a la realidad. Es por ello que, a la hora de plantearnos la realización de la reconstrucción gráfica del molino, el primer paso en que apoyarnos consistía en la elaboración de un reportaje fotográfico que nos ayudara a la perfecta caracterización del molino en su estado actual, no sólo en la morfología del mismo, sino con otros fines, tales como la extracción de texturas, estudio de detalles, etc. Parte de este reportaje fotográfico acompaña a la literatura del capítulo cuatro del presente trabajo, en que realizamos una descripción completa del molino, tanto en sus aspectos constructivos como de maquinaria.

Otras fotografías interesantes del molino del Collado, no mostradas hasta ahora, así como algunos de los croquis tomados in situ, se exponen al final de esta Tesis Doctoral como Anexo 4.

5.2.- EL MODELADO

Una de las fases más importante y complicada en la reconstrucción gráfica del molino de viento es el modelado. El modelo debe ser una representación lo más fiel posible de la realidad que se pretende modelar.

El modelado constituye una primera fase en el trabajo de la reconstrucción gráfica, necesario para poder acometer después la realización de un paseo virtual por las instalaciones del molino.

Desde el punto de vista de la ingeniería, el modelado es una potente herramienta que permitirá a posteriori el estudio preciso de cada mecanismo de la maquinaria así como nos dará una idea global de cómo se integraban armoniosamente unos sistemas mecánicos con otros.

El trabajo de modelado se ha realizado en el espacio de tiempo entre y después de las visitas al molino. Tras las primeras visitas se realizó un avance del modelado en el que las dudas que surgieron en el proceso referentes a algunas cotas y detalles se solventaron en posteriores visitas.

Para el modelado en 2D y 3D se ha utilizado el programa de diseño asistido por ordenador (C.A.D.) *AutoCAD 2000*, de la firma AutoDesk, de uso generalizado en la actualidad.

En la fase de modelado, gran parte de los mecanismos del molino se han realizado directamente con sólidos. Se parte de formas simples, tales como cubos o esferas. AutoCAD posee herramientas para soldar, cortar y editar este tipo de elementos hasta conseguir la pieza final. Algunos elementos se han realizado por extrusión de formas planas y los elementos geométricos, normalmente, por revolución de un perfil 2D alrededor de un eje.

Las normas de dibujo utilizadas, han sido la de escalas, formatos y cuadro de rotulación, que son las normas UNE-EN ISO 5455, UNE 1-026-83 (1) y (2) ISO 5457 y UNE 1-035-95; la que se refiere a principios generales de representación aplicables a dibujos técnicos, UNE 1-032-82 ISO 128, así como la que establece los principios fundamentales para la acotación, UNE 1-039-94 ISO 129 y la de referencia a elementos UNE-EN ISO 6433.

Hay que hacer constar que, en cuanto a las escalas utilizadas en los planos, a veces no son las recomendadas por las mencionadas normas aunque, a nuestro criterio, resultaban las más adecuadas para la buena interpretación de los dibujos. En el Anexo 5 de esta Tesis Doctoral se incluyen los planos de detalle generados durante el trabajo.

5.3.- LA ANIMACIÓN

Los molinos de viento almerienses, además de poco o casi nada estudiados, y menos aún desde un punto de vista técnico, presentan un total estado de abandono.

Durante la realización de este trabajo nos fuimos informando de los molinos de este tipo que existen o existían en Almería, sobre todo en la comarca natural del Campo de Níjar, para conocer el estado que presentan; éste es tan ruinoso que, del inventario de molinos presentado, tan sólo el estudiado molino del Collado y otro más conservan el chapitel. En un molino de viento, la desaparición del chapitel provoca la inminente "muerte" del molino, con el consiguiente deterioro de toda su maquinaria.

Es por esto la importancia que presenta la realización de animaciones sobre elementos de nuestro patrimonio industrial, en este caso los molinos de viento. La animación por ordenador, hoy día, permite recrear escenarios, bien reales o bien imaginarios, sin ningún tipo de limitación. Precisamente éste es uno de los objetivos del presente trabajo: poder recrearnos en una visita virtual al molino, con toda su maquinaria instalada, funcionando y observándolo en su entorno natural; algo que hoy por hoy no se puede realizar, por la falta de muchos de sus elementos.

La técnica de animación exige conocer a fondo lo que se desea animar. Es por ello que los trabajos de animación han de dejarse para el final del trabajo de investigación; con anterioridad es preciso el estudio y comprensión de todos los mecanismos involucrados en el ingenio.

Una animación consta de un conjunto de fotogramas, cuadros o "frames" que, lanzados en forma continua, crean la ilusión óptica de la animación. Para conseguir este efecto realista es necesario visionar unos 25 frames o imágenes por segundo; para conseguir una animación de unos tres minutos, necesitamos preparar 4500 frames para crear un efecto realista en la animación.

Una vez obtenidas las piezas en 3D como consecuencia de la etapa de modelado, se exportan al programa de animación, en nuestro caso 3D Studio Max, para pasar a la fase de texturado e iluminación.

Un punto fundamental en la realización de una animación es la aplicación de las texturas, así como la iluminación. La mayoría de las texturas que se presentan en la animación proceden de las obtenidas a través del reportaje fotográfico. Para conseguir que un sólido 3D simule un material real (como la madera, piedra, etc.) se aplican en sus caras "bitmaps" o mapas de bits, así como cualquier otro tipo de gráfico (colores planos, etc.) dándole además ciertas características ópticas como opacidad, reflexión, refracción, etc., e incluso cierto relieve. La mejor forma de conseguir un material con efecto de realidad es tomarlo directamente del reportaje fotográfico realizado.

La iluminación, aspecto fundamental, requiere de un análisis previo de forma que el resultado final parezca real. Así, para conseguir el efecto de iluminación solar se coloca un foco "direccional" en el exterior del molino. En el interior, se emplean tanto luces "omni", a modo de luces de relleno y lámparas o candiles colgados, como focos tipo "spot" en los huecos al exterior, al objeto de emular la luz reflejada del mismo.

Una vez iluminado el conjunto, el siguiente paso es la colocación de las cámaras de forma que se consigan los planos necesarios. Para lograr la animación podemos mover cualquier objeto, incluso las cámaras, a lo largo de las distintas imágenes que asignemos a la animación.

Para la realización de la animación del paseo virtual por el Molino del Collado de San José, se ha utilizado el siguiente software:

- Para el modelado en 2D y 3D, AutoCAD 2000.
- Para la animación, 3D Studio Max 5.1.
- Para la composición de texturas, el Adobe Photoshop 5.0 y Ulead Photo Express 2.0 SE.
- Para la edición de secuencias y video, el Adobe Premiere 5.1.

El hardware utilizado ha estado basado en un ordenador de sobremesa con procesador AMD Athlon XP 1800+ y 512 Mb de memoria RAM; también ha resultado fundamental el empleo de un escáner de diapositivas marca Nikon, modelo LS-1000.

Se incluye adjunto en esta Tesis Doctoral un disco compacto que incluye dos clips de video con extensión ".mpg" donde se recoge el paseo

virtual logrado con el molino en funcionamiento. La razón que nos ha llevado a escoger este formato es la facilidad para su visionado a través del reproductor multimedia contenido en el sistema operativo Windows en la mayoría de ordenadores. El formato de video escogido presenta una calidad de imagen similar a un video VHS doméstico.

El estándar de video utilizado a la hora de realizar el paseo virtual ha sido MPEG-1, con una resolución de 352x288 puntos. Para la realización del clip de video, una vez "renderizados" los "frames" sueltos con 3D Studio, se graban con un formato tipo ".tga" al objeto de que no exista pérdida de calidad. Posteriormente, con la utilización de un programa de edición de video (Adobe Premiere 5.1), se enlazan las secuencias, se realizan fundidos, etc. Por último, exportamos la película en el formato MPEG-1.

En las cuatro figuras que aparecen a continuación, pueden visualizarse algunas imágenes o vistas del modelado sólido.

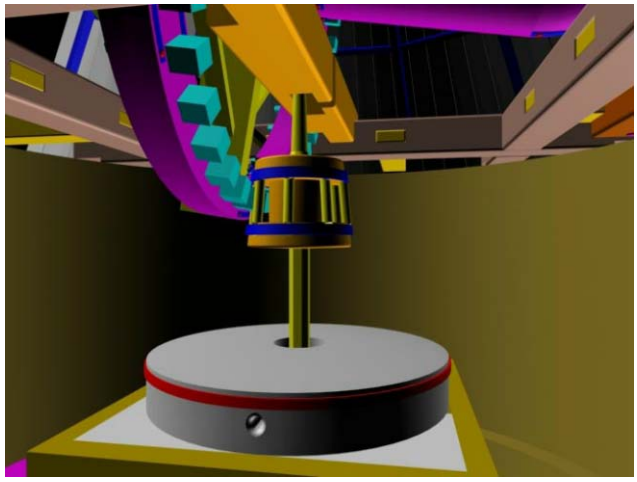


Figura 159: Modelo sólido del moledero y engrane linterna-puntería. *Elaboración propia.*

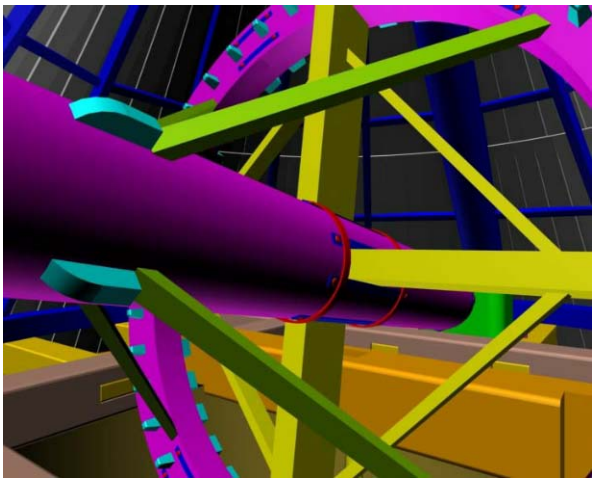


Figura 160: Modelo sólido del conjunto de la rueda de puntería, radios, travesaños y riostras. *Elaboración propia.*

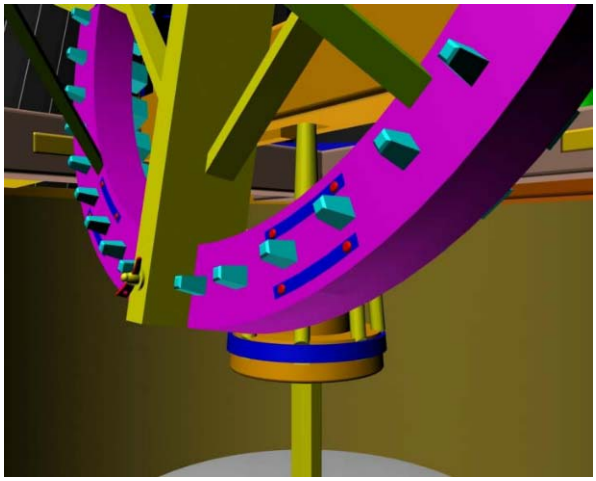


Figura 161: Modelo sólido de la parte delantera de la rueda de puntería. Detalle de la unión con el radio. *Elaboración propia.*

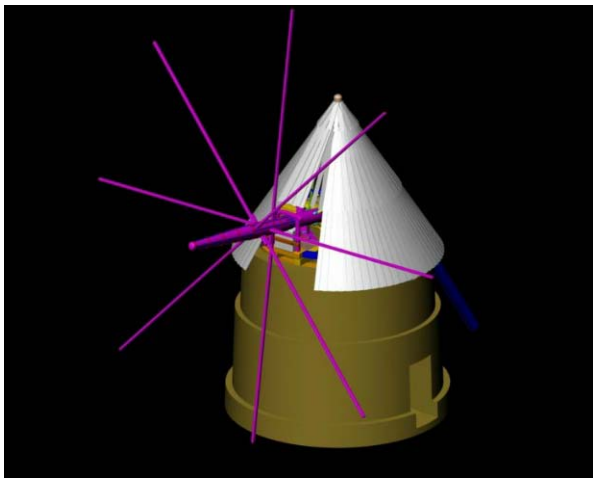


Figura 162: Modelo sólido de una vista del molino del Collado. *Elaboración propia.*

Para obtener una imagen final de síntesis, son necesarias cuatro etapas que, de forma secuencial, coinciden con el desarrollo del trabajo de modelado y animación, a saber: el modelo en alambres, el modelo sólido, aplicación de texturas y, por último la iluminación, que nos generará las sombras.

A continuación, en las figuras 163 a 170 se presentan las secuencias desarrolladas para la generación de dos imágenes finales de síntesis.

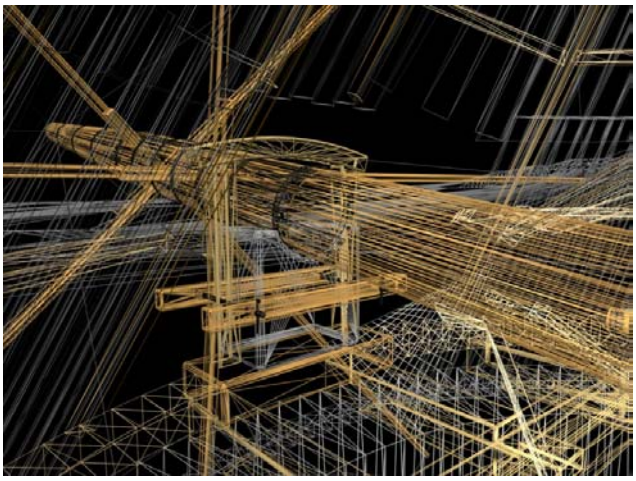


Figura 163: Modelado 3D en alambres de una vista de la piedra fuélliga, camón del eje, vírgenes y parte delantera del eje. *Elaboración propia.*

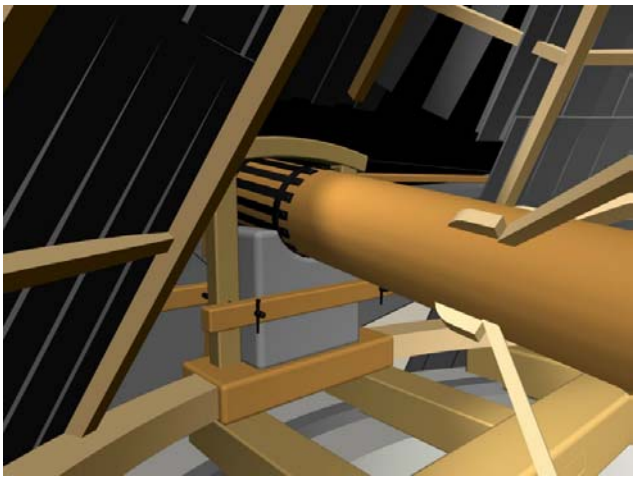


Figura 164: Modelo sólido de la vista de la figura anterior. *Elaboración propia.*



Figura 165: Aplicación de texturas al modelo sólido presentado en la figura anterior. *Elaboración propia.*



Figura 166: Imagen de síntesis final, tras la iluminación y consiguiente sombreado.
Elaboración propia.

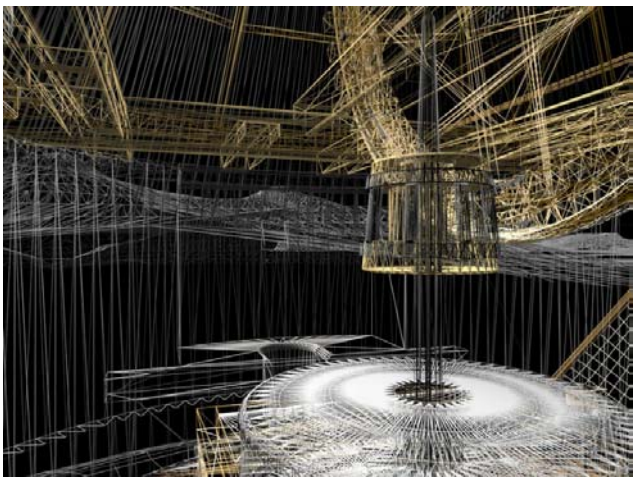


Figura 167: Modelo 3D en alambres de la parte trasera de la rueda de puntería. Detalle del engrane con la linterna. Al fondo, la cama del molino. *Elaboración propia.*

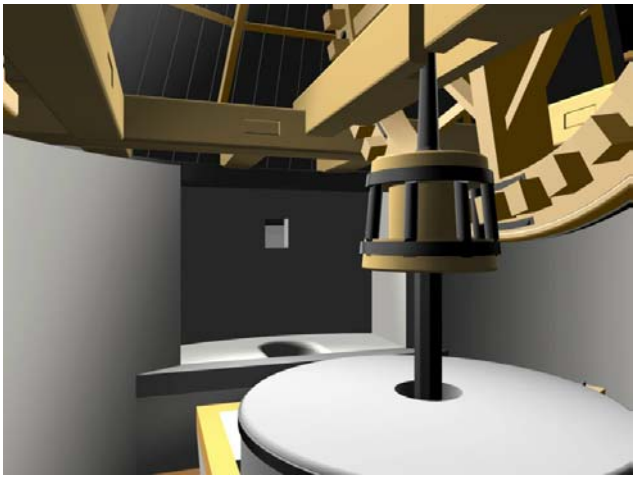


Figura 168: Modelo sólido de la figura anterior. *Elaboración propia.*



Figura 169: Aplicación de texturas al modelo sólido. *Elaboración propia.*

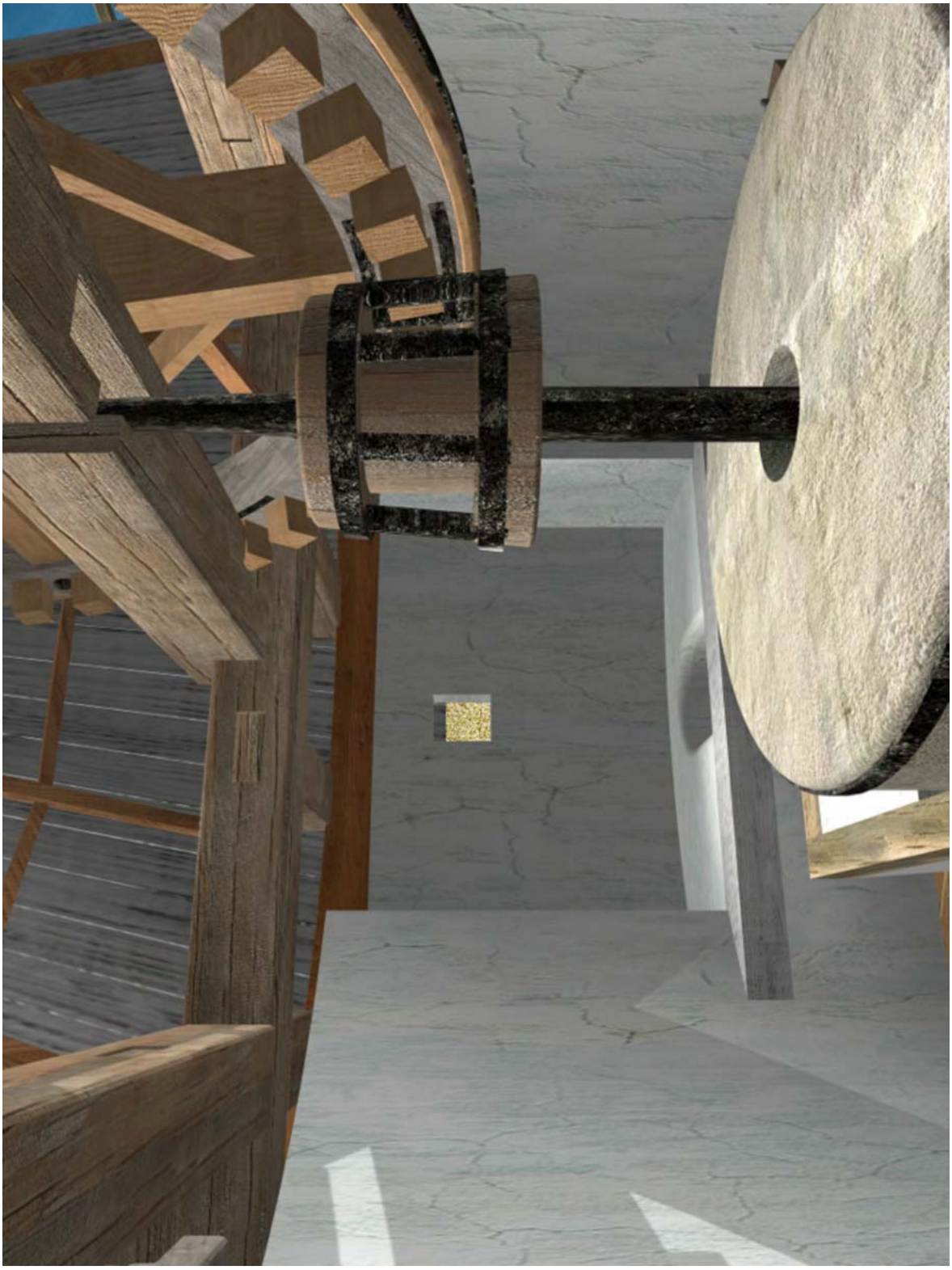


Figura 170: Imagen final de síntesis, tras aplicar las luces y sombras. *Elaboración propia.*

5.4.- RECAPITULACIÓN

En el capítulo que damos por concluido, se han tratado aspectos de la metodología de la reconstrucción gráfica y la posterior animación, a base de paquetes informáticos de CAD y tratamiento de imágenes. Todo ello, a partir de los croquis, esquemas y diapositivas tomados en el trabajo de campo. El resultado es la generación de planos de despiece acotados y perspectivas del molino, que se incluyen en el Anexo 5 de esta Tesis Doctoral, así como dos visitas virtuales, donde puede apreciarse por un lado el molino en su estado actual, y por otra parte el molino en funcionamiento, con vistas tanto exteriores como interiores.

El resultado de este trabajo será la base para efectuar el análisis tecnológico que se aborda en el siguiente capítulo.

Capítulo 6

ANÁLISIS TECNOLÓGICO

6.1.- LOS MOLINOS DE VIENTO COMO MÁQUINAS EÓLICAS

Las máquinas eólicas, máquinas de conversión eólica o generadores eólicos, presentan todos una característica común, y es que están ligados a la naturaleza del viento.

La energía que se puede extraer es la energía cinética de un fluido en movimiento, de muy baja densidad, en torno a los 1,201 Kg/m³. A diferencia de lo que ocurre con los molinos hidráulicos, que aprovechan la energía cinética del agua, aquí la corriente de aire no se puede concentrar a base de canalizarla, no se puede mantener almacenada de ninguna forma y ni siquiera puede verse; extraer energía del viento es algo similar a intentar tapar las corrientes existentes en el mar. Debido a que la fuente de energía es complicada, las máquinas eólicas que se han desarrollado a lo largo de la historia, lo han sido en una innumerable variedad de formas.

No obstante, dicha variedad de los generadores eólicos puede clasificarse en dos grupos cuyas características de funcionamiento son totalmente diferentes.

El primer grupo, denominado *eólicas lentas*, es aquel que se basa en que la superficie del rotor gira fundamentalmente por el simple hecho de que el viento la empuja. Este principio tan simple, lleva a la aparición de unos generadores con una característica fundamental y es que la velocidad del extremo del aspa más alejado del eje, gira a una velocidad del orden de la velocidad que tenga el viento. Es evidente que si el viento empuja un objeto, éste no puede ir más deprisa que el viento. Este hecho físico lleva aparejado el que la velocidad de giro de la máquina eólica sea reducida; eso sí, poseen la contrapartida de que la superficie que tienen expuesta al viento hace que empiecen a girar en cuanto éste adquiere una mínima velocidad y además tienen un par elevado.

Ello significa que estos generadores eólicos a muy baja velocidad del viento son capaces de vencer una apreciable resistencia y por tanto

realizar un trabajo. Esta característica los hace especialmente útiles en diseños que lo que requieren es realizar un trabajo mecánico como puede ser la molienda o el bombeo de agua de un pozo.

Como es lógico, dentro de los generadores eólicos descritos en este primer grupo, se encuentran los primeros molinos de viento persas y chinos, de eje vertical, los molinos europeos de eje horizontal y los molinos mediterráneos de velas o aspas, como los de la tipología de molino de viento almeriense. Existen diseños más modernos que los tradicionales molinos de viento que también pertenecen a esta tipología, como los generadores multipala o molinetas de extracción de agua y el llamado rotor Savonius (figura 171).

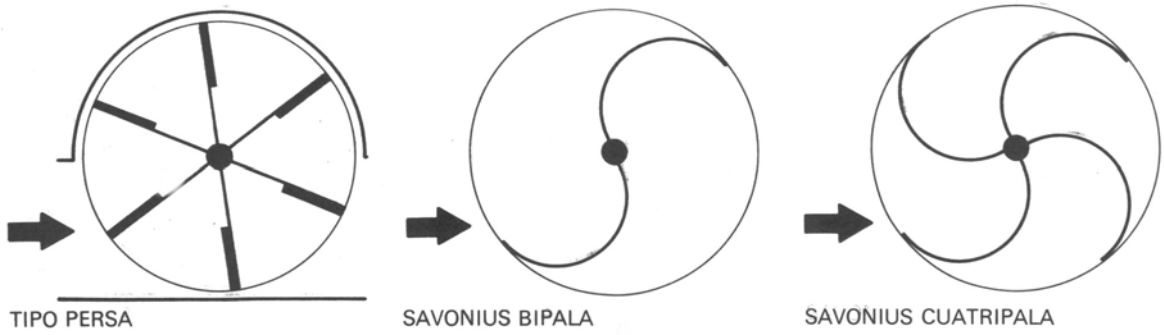


Figura 171: Evolución desde un rotor de un molino persa de eje vertical hasta un rotor Savonius cuatripala, todos ellos correspondientes a eólicas lentas. *Ramos Cabrero.*

Un segundo grupo de máquinas eólicas, denominado *eólicas rápidas*, se basa en un principio físico totalmente diferente del anterior, y por tanto, sus características son drásticamente diferentes. El principio por el cual este tipo de generador eólico gira, no es el de que el viento empuja las aspas, sino el de que las palas tienen una sección similar a la sección que presentan las alas de los aviones, perfiles aerodinámicos, que hace que el aire al pasar por la parte superior y por la inferior de la pala, adquiera velocidades diferentes que a su vez crean una diferencia de presiones en ambas caras del ala.

Así, en el caso de un avión, hay que decir que el aire que pasa por la parte superior del ala lo hace más deprisa que el que lo hace por la parte inferior y ello trae consigo una depresión en la parte superior que provoca una succión que es la que mantiene al avión en vuelo.

Es esta succión o coeficiente de sustentación, la responsable de que giren las palas del generador eólico alrededor del eje.

Puesto que el coeficiente de sustentación aumenta al aumentar la velocidad del aire, la pala de un generador eólico puede girar a mucha mayor velocidad que la velocidad del viento, y de esta forma conseguir que el eje del rotor gire a un elevado número de vueltas.

La contrapartida de estas eólicas rápidas es que para que el coeficiente de sustentación sea de tal magnitud que pueda poner el generador en marcha cuando éste está conectado a una carga, la velocidad del viento ha de alcanzar un valor determinado, valor por debajo del cual la eólica no gira por la simple razón de que el par que crea el coeficiente de sustentación de las palas es bastante inferior a la resistencia que opone la carga.

Dentro de este segundo grupo de máquinas eólicas, podemos citar el bipala o tripala de eje horizontal y el Darrieus (figura 172).

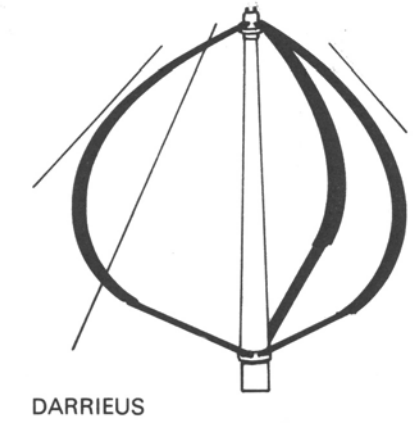


Figura 172: Esquema de un rotor Darrieus, representante de las eólicas rápidas. *Ramos Cabrero.*

Por tanto, podemos recapitular comentando que el encuadre de nuestra tipología de molino de viento almeriense, dotado de velas latinas, corresponde a la familia de las *eólicas lentas*, es decir, máquinas que aunque disponen de poca potencia para su diámetro de rotor, pues su rendimiento es muy bajo comparado con las eólicas rápidas, disponen de un gran par motor a bajas velocidades del viento, lo que les permite arrancar por sí solos con facilidad.

Sin duda esta catalogación como eólica lenta ya nos da una idea de los resultados a obtener en este capítulo.

6.2.- EL VIENTO COMO RECURSO ENERGÉTICO

Los molinos de viento objeto de nuestro estudio, son eólicas lentas que aprovechan la energía cinética del viento para transformarla en energía mecánica. Es por esto fundamental conocer la naturaleza de los vientos e intentar cuantificar el potencial eólico de la zona de estudio.

La cantidad de radiación solar que recibe la Tierra es tan grande, que sólo un 2% de ella es necesaria para desencadenar los mecanismos que crean el viento, las olas y las corrientes oceánicas de nuestro planeta [CÁDIZ Y RAMOS, 1984].

Un efecto de los que se producen en lo que cabría definir como gran motor de calor que percibimos como el clima, es la constante creación de zonas de altas y bajas presiones sobre la superficie del globo. El mecanismo por el que estas altas y bajas presiones interaccionan es complejo, pero resulta clarificador que la atmósfera está en constante emigración desde zonas de altas presiones a aquellas de baja presión buscando el equilibrio en un proceso interminable, y que origina los llamados vientos terrestres.

Los vientos terrestres, denominados también locales, son aquellos que están muy influenciados por la superficie del globo hasta alturas de hasta 100 metros. Hay que diferenciarlos de los vientos geostróficos o globales, generados por diferencias de temperatura y presión, sin apenas influencia de la superficie terrestre, y que se encuentran a una altura superior a los 1000 metros sobre la superficie del planeta.

Los vientos terrestres, que son los que interesan en nuestro estudio, se clasifican en brisas marinas, brisas terrestres y vientos de montaña.

Las brisas marinas se generan puesto que durante el día la superficie terrestre se calienta más rápido que el mar; esto ocasiona que el aire que se encuentra en tal superficie se caliente y pierda densidad provocando que se eleve, dejando una diferencia de presión en la superficie. Tras alcanzar cierta altura, el aire desciende al mar y, a causa de la diferencia de presión causada es atraído el aire frío del mar.

Las brisas terrestres, las cuales aparecen al anochecer, se generan según el mismo proceso que las brisas marinas sólo que se invierte el sentido de flujo del aire; esto significa que el viento viaja de la superficie terrestre hacia el mar, ya que la tierra pierde calor más rápidamente que el agua, disminuyendo, consiguientemente, la temperatura. Las velocidades de estos vientos son menores a los producidos en las brisas

marinas, ya que en la noche existe un gradiente de temperaturas menor que durante el día.

Los vientos de montaña, un ejemplo de los cuales son los de valle que surgen en las laderas, se originan debido a que durante el día, el aire caliente que se encuentra en las laderas pierde densidad elevándose hacia la cima y recorriendo toda la superficie de la ladera. De noche, se invierte el flujo de aire, es decir, va desde la cima hacia abajo, recorriendo la superficie de la ladera. Si el fondo del valle tiene cierta inclinación, puede ascender y descender por el mismo, efecto conocido como "viento de cañón".

El viento, por tanto, es nuestra atmósfera en movimiento. El aire que la constituye tiene una masa, que aunque pequeña, es perfectamente cuantificable y que por tanto cuando está en movimiento posee la energía de todo cuerpo que se mueve y que se conoce como energía cinética.

Como se verá más adelante, en la exposición de la Teoría de la cantidad de movimiento, auténtico cuerpo teórico sobre los elementos captadores de energía, como los molinos de viento, la potencia capaz de suministrar el viento dependerá de varios factores, entre otros del cubo de la velocidad del mismo. Sin embargo, llegar a conocer qué cantidad de energía podemos disponer del viento plantea problemas similares a los de la cuantificación de la energía solar, agravados aún más por el hecho de que la topografía del terreno tiene bastante influencia. El perfil del terreno, el arbolado, localización de los accidentes geográficos, etc., hacen que el valor señalado par un punto del mapa, pueda ser muy superior o muy inferior para dos lugares que geográficamente se encuentren dentro de las coordenadas señaladas por ese punto.

Si bien el valor de radiación solar incidente, puede aceptarse para toda una zona como pudiera ser la provincia de Almería, el valor de viento tomado en un punto como el aeropuerto no puede ser considerado como un valor de diseño, más que para una zona costera cuya delimitación requeriría un cuidadoso estudio [SEVILLA,1986].

El aire, como todo fluido en movimiento, se rige de acuerdo a unas normas de entre las que mencionaremos la teoría de la capa límite.

Cuando un fluido en contacto con algún recipiente se mueve, lo hace de forma que las moléculas pegadas a la superficie están quietas y conforme nos alejamos de ella, las diferentes capas del fluido van aumentando su velocidad hasta llegar la velocidad que lleve el mismo.

Dependiendo del fluido y de las condiciones de la superficie, la velocidad límite, que es en definitiva la que asignamos a ese fluido, se consigue a más o menos distancia de la superficie.

Así, la velocidad del fluido va creciendo conforme nos alejamos de la superficie sobre la que circula; ello puede darnos una idea de cómo se comporta el viento ante determinados obstáculos orográficos (figura 173).

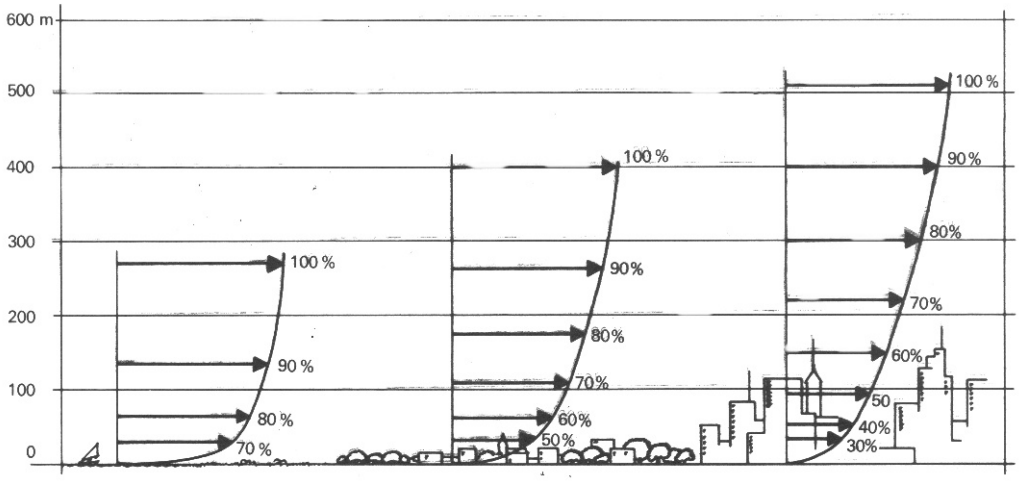


Figura 173: Perfiles de velocidades del viento, en función de las características orográficas. *Ramos Cabrero.*

Una superficie llena de obstáculos tenderá de forma natural a reducir la velocidad del viento en las zonas cercanas al terreno, de forma que la velocidad límite haya que encontrarla en los puntos cada vez más altos.

Por otro lado, ciertos accidentes topográficos pueden aumentar la velocidad del viento en una determinada zona. Como norma general, la velocidad aumenta cuando el viento corre canalizado por entre un valle. Por otro lado también aumenta ligeramente en zonas próximas al suelo de colinas de suave pendiente cuando el aire sopla hacia ellas, pero decrece y forma remolinos en la zona posterior o sombra. Ello explica el porqué muchos de los molinos de viento de la zona del Campo de Níjar están ubicado sobre collados y en puntos altos (figura 174).

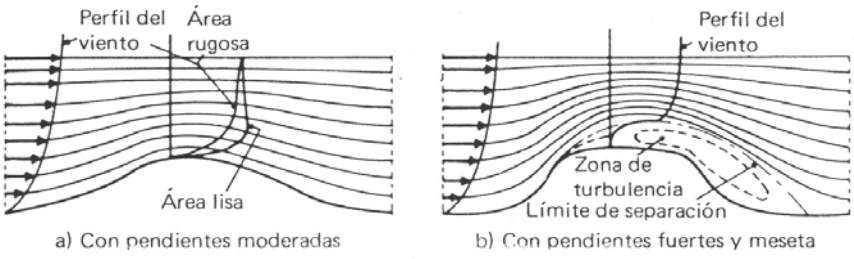


Figura 174: Esquemas del efecto de la aceleración del viento sobre las colinas. *Les Gouriérès.*

6.3.- PROSPECCIÓN Y EVALUACIÓN EÓLICA EN EL CAMPO DE NÍJAR

En este capítulo dedicado al análisis tecnológico de la tipología de molino de viento almeriense, es necesario evaluar el potencial eólico del Campo de Níjar, con la dificultad que ello entraña debido a los condicionantes referidos en los epígrafes anteriores.

Hoy día, para realizar una prospección se escoge un punto y se calcula su potencial energético. La forma de llevarlo a cabo es a través de complejos anemómetros cuya salida es una señal eléctrica que se conecta a un equipo de proceso de datos.

Ante la carencia de ese sofisticado equipo, hemos recurrido a las publicaciones del Servicio de Meteorología Medioambiental. Existen publicaciones sobre los resúmenes energéticos por comunidades autónomas bajo el marco de la realización del *Mapa Eólico Nacional* [BERMEJO, 1994].

Para la realización de dicho mapa, se han instalado 80 estaciones automáticas a lo largo y ancho de la península e islas; dichas estaciones registran, cada 10 minutos, una serie de datos: velocidad del viento, velocidad máxima, varianza de la velocidad, dirección media del viento así como la desviación típica de las fluctuaciones de la dirección del mismo.

En la provincia de Almería hay emplazados dos observatorios, uno sinóptico en el aeropuerto y otro automático en el faro de Mesa Roldán, en la localidad de Carboneras. Éste último es el que hemos escogido para su análisis, pues está muy cercano a la localidad de Aguamarga, donde existen dos molinos de viento, y resulta mucho más representativo de la comarca natural del Campo de Níjar que el situado en la instalación aeroportuaria. Además el equipo instalado es automático, por lo que la fiabilidad de los datos es mayor.

La estación está situada en una colina sin obstáculos próximos. Al Norte se encuentra la localidad de Carboneras. Al Sur, el faro de Mesa Roldán. Al Este, el mar Mediterráneo y al Oeste la carretera que va desde Carboneras hasta la Venta del Pobre, en pleno Campo de Níjar. El emplazamiento se halla en terrenos pertenecientes a la Central Térmica "Litoral de Almería", a unos dos kilómetros de Carboneras.

Los resultados obtenidos, referidos al año 1993, y los acumulados corregidos con mediciones históricas anteriores según una distribución de

Weibull, se reflejan en la tabla extraída del Mapa Eólico Nacional [BERMEJO, 1994] de la figura 175.

ESTACIÓN: **00Z67 CARBONERAS / FARO DE MESA ROLDÁN**
PROVINCIA: ALMERÍA
AUTONOMÍA: ANDALUCÍA

ACUMULADO	%HORAS	VEL.MEDIA (NUDOS)	FAC.POTEN.	POT.MEDIA (W/m²)	WEIBULL <A>·10⁴	<C>	<AA> (NUDOS)	<V> (NUDOS)	<P> (W/m²)
Enero	47,2	8,9	2,48	147	240,5048	1,62	10	8,9	145
Febrero									
Marzo	8,3	6,8	3,27	87	662,6904	1,35	7	6,8	86
Abril	32,9	12,4	2,17	341	124,4722	1,67	14	12,4	367
Mayo	90,4	11,0	2,59	289	216,3381	1,53	12	11,0	295
Junio	94,4	11,2	2,21	258	138,9875	1,69	13	11,2	270
Julio	99,0	8,5	2,22	114	242,9134	1,65	10	8,5	122
Agosto	43,4	11,0	1,76	194	48,0274	2,12	12	11,0	199
Septiembre	35,1	9,5	2,02	143	116,4688	1,88	11	9,5	144
Octubre	98,9	9,2	2,28	147	180,5144	1,72	10	9,2	146
Noviembre	58,4	8,8	3,11	177	448,6075	1,37	10	8,8	179
Diciembre	94,9	9,6	2,62	191	243,6263	1,57	11	9,6	186
Primavera	44,0	11,1	2,55	289	214,7201	1,53	12	11,1	299
Verano	69,9	10,2	2,13	187	144,4037	1,74	11	10,2	195
Otoño	64,5	9,1	2,45	155	232,2589	1,62	10	9,1	155
Invierno	71,1	9,4	2,58	176	246,1331	1,58	10	9,4	172
TOTAL	**63,7**	**9,7**	**2,44**	**185**	**215,9477**	**1,61**	**11**	**9,7**	**187**

Figura 175: Resultados de la medición de la estación automática de Mesa Roldán. *Mapa Eólico Nacional.*

La columna "% HORAS" representa el porcentaje total mensual de horas de funcionamiento de la estación. Su valor da una estimación de la fiabilidad o representatividad de los resultados.

La columna "VEL. MEDIA" muestra la velocidad media mensual, en nudos.

La columna "FAC. POTEN.", factor de potencia, K, es la relación entre la potencia media del viento, calculada con el promedio mensual de los cubos de las velocidades medias horarias, y la potencia media del viento calculada con el cubo de la velocidad media mensual. Así, si la potencia eólica del viento, susceptible de aprovecharse, P, viene dada por la expresión

$$P = 0{,}5 \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$$

siendo

- $\rho =$ densidad del aire (1,201 Kg/m³)
- $S =$ superficie presentada al viento por la eólica (m²)
- $v =$ velocidad del viento (m/s)
- $P =$ potencia del viento aprovechable (W)

La potencia media será:

$$\langle P \rangle = 0{,}5 \cdot \rho \cdot S \cdot \langle v^3 \rangle$$

siendo $\langle v^3 \rangle$ el promedio mensual de los cubos de las velocidades medias horarias.

Si sólo se dispone de la velocidad media mensual $\overline{v}$, la potencia media aprovechable será:

$$\overline{P} = 0{,}5 \cdot \rho \cdot S \cdot \overline{v}^3$$

La relación entre ellas es el factor de potencia K:

$$\frac{\langle P \rangle}{\overline{P}} = K = \frac{\langle v^3 \rangle}{\overline{v}^3}$$

Por lo tanto, la potencia eólica aprovechable en un lugar en el que sólo se conoce la velocidad media mensual $\overline{v}$, como es nuestro caso, obtenido de la tabla de la figura 175, será:

$$P = K \cdot 0{,}5 \cdot \rho \cdot S \cdot \overline{v}^3$$

siendo K el factor de potencia correspondiente a la zona.

La columna "POT. MEDIA" indica la potencia media por unidad de superficie (W/m²), y está calculada según la expresión

$$P = 0{,}5 \cdot K \cdot \rho \cdot \overline{v}^3$$

siendo

$K =$ factor de potencia
$\rho =$ densidad del aire (1,201 Kg/m³)
$\overline{v} =$ velocidad media mensual del viento (m/s)
$P =$ potencia media por superficie (W/m²)

A partir de esta formulación y de los datos obtenidos de la tabla de la figura 175 a partir del mapa eólico nacional, podremos calcular la potencia eólica del viento, susceptible de ser aprovechada, en la zona de Carboneras, que extrapolaremos a todo el Campo de Níjar. Así:

$$P = K \cdot 0{,}5 \cdot \rho \cdot S \cdot \overline{v}^3 = 2{,}44 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}201 \cdot S \cdot (9{,}7 \cdot 0{,}514)^3 = 181{,}60 \cdot S \quad \text{(W)}$$

es la potencia del viento, en watios, en la comarca del Campo de Níjar. Pero más adelante veremos que dicha potencia no es totalmente aprovechable por el molino de viento ni por ninguna otra eólica.

En cualquier caso, y si no se dispone de un observatorio en las cercanías de la comarca de estudio, o se duda sobre la conveniencia de generalizar los datos a una extensa comarca, siempre se deben tener en cuenta algunas evidencias naturales de la presencia del viento. En la figura 176, aparece una tabla en la que se indica una aproximación de la velocidad del viento con el efecto que produce y que en ausencia de cualquier otro método de medida debe servir para darnos información [SEVILLA,1986]. Además dicha tabla describe los fenómenos observables según la intensidad de los vientos en grados Beaufort, que es, por excelencia, la escala de los marinos: el viento alcanza la fuerza 4 cuando la mar se "riza".

Escala de Beaufort	Designación	nudos	m por segundo	Km por hora	Millas por hora	Especificaciones para estimar la velocidad
0	Calma	< 1	0-0,2	< 1	< 1	El humo sube verticalmente
1	Ventolina	1-3	0,3-1,5	1-5	1-3	Se aprecia la dirección del viento por el humo pero no por veletas.
2	Flojito, Brisa débil	4-6	1,6-3,3	6-11	4-7	El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles. Ordinariamente se mueven las veletas.
3	Flojo, Brisa débil	7-10	3,4-5,4	12-19	8-12	Se agitan constantemente las hojas. Se extienden las banderolas.
4	Bonancible (moderado) Brisa moderada	11-16	5,5-7,9	20-28	13-18	Se levanta polvo y los papeles pequeños. Se mueven las ramas pequeñas de los árboles.
5	Fresquito (algo fte.) Brisa fresca	17-21	8,0-10,7	29-38	19-24	Se mueven los árboles pequeños. Se forman en los estanques pequeñas olas.
6	Fresco (fuerte) Brisa fuerte	22-27	10,8-13,8	39-49	25-31	Se mueven las ramas grandes de los árboles. Silban los hilos del telégrafo. Se utilizan con dificultad los paraguas.
7	Frescachón Viento fuerte	28-33	13,9-17,1	50-61	32-38	Todos los árboles están en movimiento. Es difícil andar contra el viento.
8	Duro	34-40	17,2-20,7	62-74	39-46	Se rompen las ramas delgadas de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento.
9	Muy duro	41-47	20,8-24,4	75-88	47-54	Ocurren desperfectos en las partes salientes de los edificios derribando chimeneas y levantando tejas.
10	Temporal	48-55	24,5-18,4	89-102	55-63	Se observa rara vez en tierra. Arranca árboles y ocasiona daños de consideración en los edificios.
11	Borrasca	56-63	28,5-32,6	103-117	64-72	No hay verdadera experiencia en tierra. Ocasiona destrozos en todas partes.
12	Huracán	64-71	32,7-36,9	118-133	73-82	No hay experiencia (*)
13	»	72-80	37,0-41,4	134-149	83-92	»
14	»	81-89	41,5-46,1	150-166	93-103	»
15	»	90-99	46,2-50,9	167-183	104-114	»
16	»	100-108	51,0-56,0	184-201	115-225	»
17	»	109-118	56,1-61,2	202-220	126-136	»

Figura 176: Medición del viento; equivalente de la velocidad del viento. *Tomado de Sevilla Portillo.*

La realización de una prospección y evaluación eólica en cualquier localización, ha de dar lugar a conclusiones acerca de la idoneidad o no de la misma para la ubicación de eólicas y para el aprovechamiento de la energía del viento. En ese sentido, para traducir los datos obtenidos, se

proponen unas normas de clasificación que aparecen en la figura 177. Según las mismas, y respecto a la prospección y evaluación eólica obtenida en el Campo de Níjar a través de los resultados del mapa eólico nacional, hay que decir que la ubicación de la comarca tendría la calificación de "buena", ya que la velocidad media anual de 9,7 nudos equivale a unos 5 m/s, y la potencia media por superficie es de 185 W/m².

	Excelente	*Bueno*	*Pobre*
Velocidad media anual (m/s)	6,0 o más	3,5 a 6,0	Menos de 3,50
Potencia media (W/m²)	400 o más	150 a 350	Menos de 150

Figura 177: Normas de clasificación de las localizaciones en función del resultado de la prospección eólica. *Elaboración propia.*

6.4.- LA TEORÍA GLOBAL SOBRE EL MOTOR EÓLICO DE EJE HORIZONTAL

La teoría global del motor eólico de eje horizontal, como es el caso de nuestro molino de viento, fue establecida por Betz [LE GOURIÉRÈS, 1983], basándose en la teoría de cantidad de movimiento.

En la historia de la aerodinámica referente a las turbinas de viento, la teoría de cantidad de movimiento representa el primer paso con éxito para tratar de comprender y explicar las actuaciones del rotor de una máquina eólica inmerso en el seno de una corriente uniforme de aire.

Esta teoría, sencilla en su exposición pero muy ingeniosa en sus conceptos, permite obtener en función de unos pocos parámetros muy simples unos resultados globales muy generales y unos órdenes de magnitud de ciertas variables que resultan muy útiles para entender las ideas físicas del fenómeno [ARIAS, 1999].

Como colofón de la teoría de cantidad de movimiento, el llamado límite de Betz nos indica cual es la máxima energía que es posible extraer de una corriente de aire con un motor eólico ideal.

Desde el punto de vista histórico, fueron Rankine y Froude los que establecieron la primera teoría de cantidad de movimiento para un elemento propulsor, es decir, aquel capaz de comunicar energía a un fluido, y más en concreto, la aplicación a las hélices de barco. Sin embargo, como se indicó al inicio de este epígrafe, la teoría de cantidad de movimiento para un elemento captador, como un molino de viento o un aeromotor, que extrae energía de un fluido, fue desarrollada por Betz,

del instituto de Göttingen, en base a las hipótesis de los trabajos anteriores de Rankine y Froude, pero con las modificaciones propias aplicadas al rotor de un aeromotor.

La teoría de cantidad de movimiento se establece de acuerdo a seis hipótesis, denominadas "hipótesis de Rankine y Froude", a saber [ARIAS, 1999]:

1. Supone el aire como un fluido ideal sin viscosidad, en todo el campo fluido, salvo en las proximidades muy inmediatas al plano del rotor.

2. El movimiento en todo el campo fluido es subsónico y a muy bajos números de Mach, con lo cual se puede considerar el aire en este caso como prácticamente incompresible y, en consecuencia, su densidad es constante en todo el campo fluido. El problema fluido-térmico está desacoplado del problema fluido-mecánico. No estudia la variable temperatura.

3. El movimiento del fluido es estacionario, es decir, no depende del tiempo. En consecuencia, todas las variables dependen sólo del punto del espacio donde se calculen.

4. No tiene en cuenta la velocidad de rotación del rotor ni tampoco la de su estela.

5. Considera al rotor como un ente especial, más concretamente como un disco "poroso" o disco límite, al cual se llegaría colocando en él infinitas palas a su vez infinitamente delgadas.

6. Las magnitudes empleadas para representar las variables fluidas en una sección recta determinada del tubo de corriente considerado, son magnitudes equivalentes de su perfil de distribución a lo ancho de dicha sección considerada

Según la teoría de Betz, resulta muy sencillo deducir la potencia que posee una corriente de viento uniforme, para una determinada área A. Así, sea un tubo de corriente de sección recta A, perteneciente al campo fluido del viento uniforme de velocidad V_1, como se aprecia en la figura 178.

La sección A está fija en el espacio y el fluido pasa a través de ella. Consideremos una sección móvil A' que se desplaza con el fluido a la velocidad V_1 y que tiene el mismo área que la sección A fija en el espacio. En un determinado instante, la sección A' está en la posición indicada en

la figura anterior. Sea ΔT el tiempo que tarda en llegar dicha sección A' a coincidir con la sección A. La longitud L que ha recorrido en ese intervalo de tiempo la sección A' vale

$$L = V_1 \cdot \Delta T$$

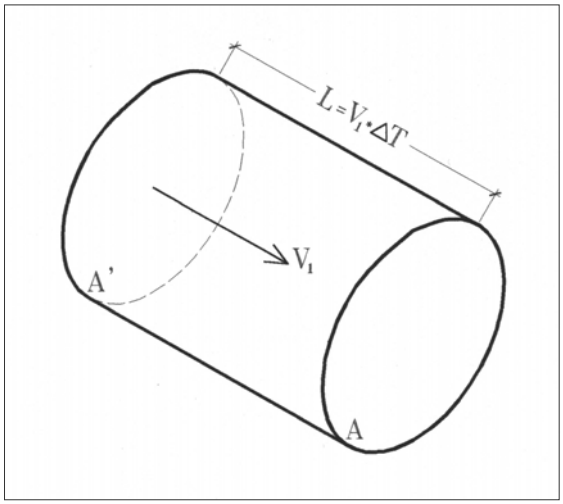


Figura 178: Tubo de corriente de sección A.
Elaboración propia.

Por tanto, en ese intervalo de tiempo T, la cantidad de masa que atraviesa a la sección A es la masa contenida en el cilindro de bases A y A', y de longitud L, es decir

$$M = \rho \cdot A \cdot v_1 \cdot \Delta T$$

Como esa masa M de aire se mueve a velocidad V_1, su energía cinética vale

$$E = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1 \cdot \Delta T \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \cdot \Delta T$$

Dividiendo toda esta energía de la masa M que pasó a través de la sección A por el tiempo T que empleó en atravesarla, obtenemos la potencia W del viento para dicha sección de área A

$$\boxed{W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3} \qquad (1)$$

Por tanto, se observa que *la potencia del viento es proporcional a la densidad del aire* ρ*, al área* A *de la sección considerada y al cubo de la velocidad* v_1 *del viento incidente.*

A continuación, tras introducir el modelo físico utilizado por esta teoría, es decir, cómo es el tubo de corriente y cómo se distribuyen las variables físicas, plantearemos las ecuaciones correspondientes.

El disco del rotor se considera colocado frontalmente, es decir, perpendicularmente a la dirección del viento incidente en el infinito aguas arriba. En la figura 179 se aprecia un esquema del tubo de corriente que contiene al rotor, el cual se ve de perfil representado por la línea R-R. El aire que se desplaza por el interior de este tubo de corriente es el que atraviesa al rotor, y al cual cede parte de su energía.

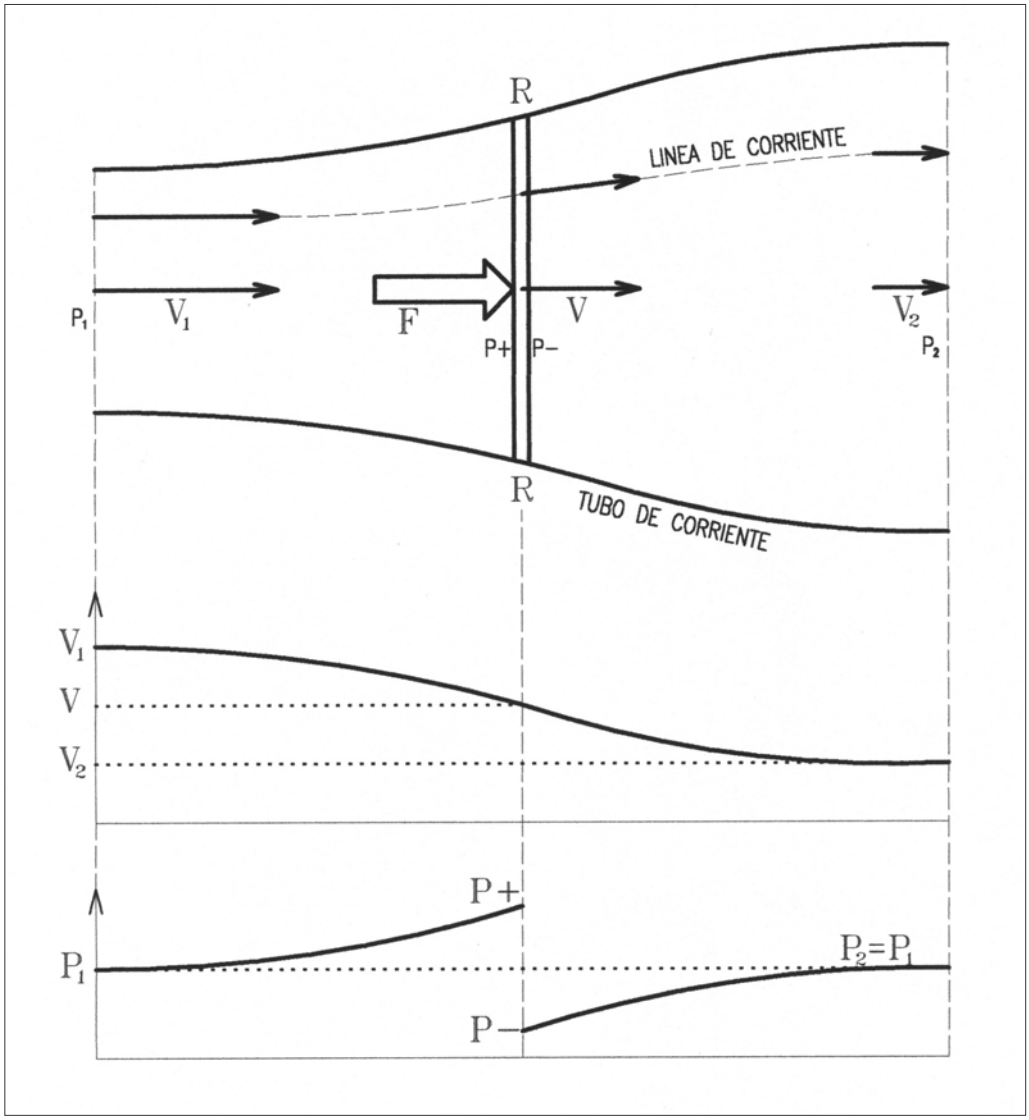


Figura 179: Esquema del tubo de corriente que contiene al rotor R. *Elaboración propia.*

En dicha figura se observa que, debido a que el movimiento es subsónico, el disco perturba aguas arriba al campo fluido. Las secciones del tubo de corriente aguas arriba del rotor, tal como por ejemplo la A_1, son de menor área que la del disco del rotor A y aguas abajo las secciones del tubo de corriente, por ejemplo la A_2, son mayores que el área del propio disco. En el disco del rotor, la sección del tubo de corriente y la del rotor coinciden y valen A. Por tanto, en este esquema el tubo de corriente siempre se va ensanchando desde el infinito aguas arriba (A_1), hasta el infinito aguas abajo (A_2).

En la figura anterior también se observa que la velocidad que vale V_1 en la sección A_1 aguas arriba, que es el llamado "viento incidente", diminuye progresivamente su valor asta la sección A donde está el rotor, siendo V su valor en la misma, y después sigue también disminuyendo progresivamente su velocidad hasta llegar finalmente a valer V_2 en la sección A_2. Es decir,

$$v_1 > v > v_2$$

La presión estática equivalente en cada sección, como se aprecia en la figura anterior, varía también de valor a lo largo del tubo de corriente, de tal forma que en la sección A_1 su valor es el de la presión ambiente P_1. A medida que nos vamos acercando al rotor, la presión estática sube hasta la inmediata proximidad a la cara anterior del disco en la que vale P^+.

A través del disco hay un salto descendente de la presión estática hasta un valor P^- menor que P_1, y a partir de aquí comienza otra vez a crecer hasta llegar a la sección A_2 en la que vuelve a valer P_1. Es decir,

$$P^+ > P_1 \qquad P^- < P_1 \qquad P_2 = P_1$$

Una vez entendido el modelo físico que asume esta teoría de cantidad de movimiento, hemos de plantear las ecuaciones. Así, la *ecuación de continuidad* es

$$A_1 \cdot v_1 = A \cdot v = A_2 \cdot v_2 \tag{2}$$

que indica que el caudal es constante.

Planteemos la *ecuación de cantidad de movimiento;* teniendo en cuenta que el gasto másico es

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$$

la fuerza resultante del fluido sobre el disco vale, según el teorema de Euler,

$$F = \left|\overline{F}\right| = \dot{m} \cdot \Delta v = \rho \cdot A \cdot v \cdot \left(v_1 - v_2\right) \tag{3}$$

También puede calcularse esta fuerza como

$$F = \left(P^+ - P^-\right) \cdot A \tag{4}$$

A continuación planteamos las ecuaciones de Bernouilli entre la sección A_1 y la cara anterior del disco,

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = P^+ + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

A través del disco hay una extracción de energía y no se puede aplicar Bernouilli. Pero si se puede aplicar entre la sección posterior al disco y la sección A_2,

$$P^- + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 = P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

ya que $P_1=P_2$. Restando ambas ecuaciones queda la diferencia de presión en el disco rotor:

$$P^+ - P^- = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(v_1^2 - v_2^2\right) \tag{5}$$

y sustituyendo este resultado (5) en (4) queda

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(v_1^2 - v_2^2\right) \cdot A \tag{4'}$$

Si ahora igualamos este resultado (4') con el obtenido (3) nos queda que

$$\rho \cdot a \cdot v \cdot \left(v_1 - v_2 \right) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(v_1^2 - v_2^2\right) \cdot A$$

y despejando el valor de V se deduce el primer resultado interesante de esta teoría

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \tag{6}$$

que se interpreta como que en esta teoría *el valor de la velocidad del viento* v *en el plano del rotor es la semisuma de la velocidad incidente en el infinito aguas arriba* v_1 *con la velocidad final aguas abajo en el infinito* v_2.

La potencia absorbida por el rotor es el producto de la fuerza F ejercida sobre el disco del rotor, por la velocidad del fluido V en el mismo;

$$W = F \cdot v \tag{7}$$

sustituyendo en (7) los resultados obtenidos en (4') y (6) queda:

$$W = \rho \cdot A \cdot \frac{v_1 + v_2}{2} \cdot \left(\frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) \tag{7'}$$

esta expresión da la potencia que se extrae del viento con un aeromotor ideal cuyo rotor tiene un área A en función de la velocidad incidente V_1 y de la velocidad final de la estela V_2. En esta expresión, el término

$$\rho \cdot A \cdot \frac{v_1 + v_2}{2}$$

es el gasto másico a través del rotor, y

$$\left(\frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right)$$

es la pérdida de energía cinética por unidad de masa que experimenta el aire entre las dos secciones A_1 y A_2.

Esta expresión (7') es muy importante porque nos dice que la potencia que se obtiene del viento es, por una parte, proporcional al gasto másico que pasa a través del disco del rotor y, por otra, proporcional también a la diferencia de energía cinética de la corriente entre las secciones A_1 y A_2.

En consecuencia, aumentando el gasto a través del rotor o bien aumentando la diferencia de energías entre la sección A_1 y A_2, aumenta la potencia y, consecuentemente, la energía capturada por el motor eólico.

Fijándonos en la anterior expresión que se acaba de obtener (7') se observa que, para una velocidad de viento incidente V_1 dada y fija, si V_2 decrece su valor, sucede por una parte que la diferencia de energías cinéticas crece en valor pero, por otra parte y al mismo tiempo, el gasto

másico baja. Viceversa, si V_2 crece en su valor, el gasto másico a través del disco también crece, pero la diferencia de energías cinéticas sin embargo decrece en su valor. Siendo pues la potencia capturada proporcional al producto de ambos términos, gasto y diferencia de energías cinéticas, Betz se planteó la siguiente pregunta:

Para un valor prefijado e invariable de la velocidad V_1, ¿habrá algún valor de V_2 que haga máximo el producto del gasto a través del disco por la pérdida de energía cinética a lo largo de la estela?

Para responder dicha pregunta, Betz puso la expresión (7') en función de V_1 y del cociente

$$K = v_2 / v_1$$

con lo que dicha expresión queda de la forma:

$$W = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \cdot (1+K) \cdot (1-K^2) \qquad (7'')$$

para unos ρ, A y v_1 dados W es función del parámetro adimensional K. Para sacar la condición de máxima potencia W, hacemos:

$$\frac{dW}{dK} = 0$$

la cual queda $3K^2 + 2K - 1 = 0$; como K debe ser positiva, tomamos la solución positiva de esta ecuación de segundo grado, que es:

$$K = \frac{1}{3} \qquad (8)$$

sustituyendo este resultado en (7'') queda que la potencia máxima vale:

$$\boxed{W_{\max} = \frac{8}{27} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3} \qquad (9)$$

Esta expresión, conocida como **Fórmula de Betz**, nos indica la máxima potencia que se puede extraer del viento con un aeromotor ideal cuyo área de rotor es A, la densidad del aire es ρ, y para la velocidad de viento incidente v_1.

La potencia que posee el viento incidente sin perturbar y de velocidad V_1 viene dada, como ya se ha indicado, por la expresión (1). Sin

embargo, un motor eólico no es nunca capaz de llegar a capturar el 100% de esta potencia que posee tal viento incidente, de tal forma que la potencia capturada por el rotor de la máquina es significativamente menor, tal y como nos indica la expresión (9).

El *coeficiente de potencia* de un aeromotor es el rendimiento con el cual funciona el mismo, y expresa qué cantidad de la potencia total que posee el viento incidente es realmente capturada por el rotor de dicho motor eólico. Se define como:

$$C_p = \frac{W}{\frac{1}{2}\cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3} \qquad (10)$$

donde W es la potencia realmente capturada por el rotor y la expresión del denominador, que como vemos es la expresión (1), indica la potencia del viento incidente.

Este coeficiente de potencia es adimensional; además, como se verá más adelante, el coeficiente de potencia de un motor eólico no es constante, pues varía en función de las condiciones de funcionamiento de la máquina, es decir, en función de ciertos parámetros adimensionales de la misma.

Entrando en (10) y sustituyendo W por su expresión en función de K, dada por (7'') nos queda que, en esta teoría de la cantidad de movimiento, el C_p es función del parámetro adimensional K, como sigue:

$$C_p = \frac{1}{2}\cdot\left(1+K\right)\cdot\left(1-K^2\right) \qquad (11)$$

que se representa en la figura 180.

Pues bien, se denomina **Límite de Betz**, al máximo coeficiente de potencia con que puede funcionar un aeromotor ideal. Si en la anterior expresión del coeficiente de potencia (10) introducimos como potencia W del aeromotor la potencia máxima que obtuvimos en la Fórmula de Betz (9), nos queda:

$$C_{p\max} = \frac{\frac{8}{27}\cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3}{\frac{1}{2}\cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3} = \frac{16}{27} = 0{,}5925 \qquad (12)$$

expresión que, transformada en porcentaje y traducido al lenguaje de la potencia, nos indica que *la máxima potencia que se puede obtener en teoría, de una corriente de aire, con un aeromotor ideal, nunca podrá superar el 59,25% de la potencia del viento incidente.*

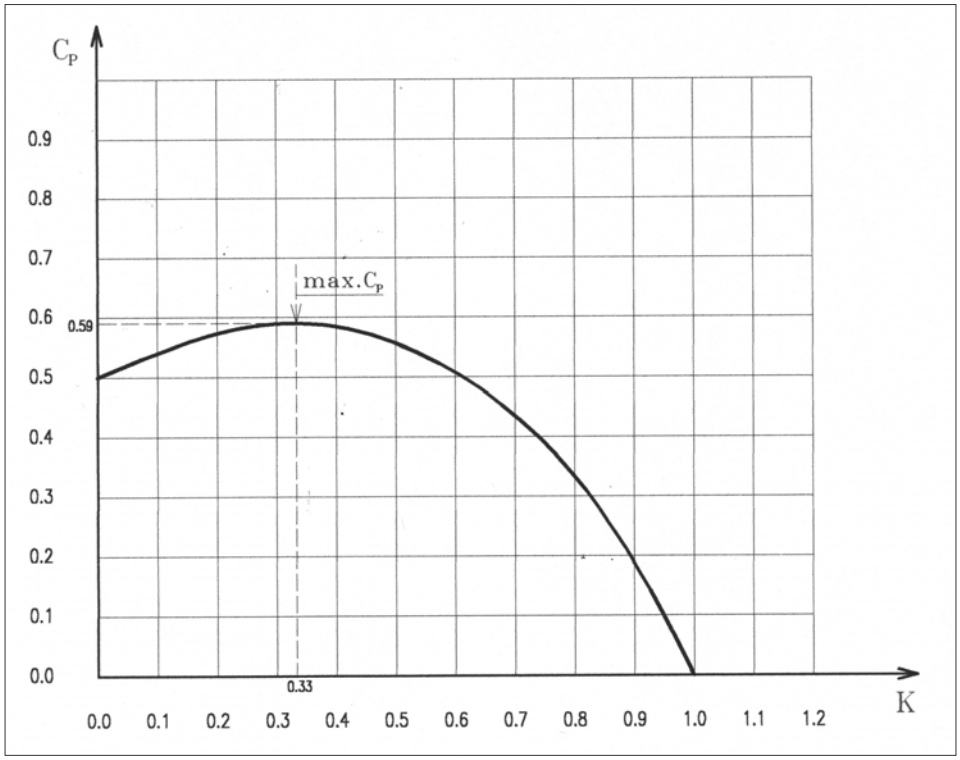


Figura 180: Representación del coeficiente de potencia en función del parámetro adimensional K. *Elaboración propia.*

También se puede obtener el $C_{p\ máx}$ (límite de Betz) calculando el máximo del C_p en función de K, en la expresión (11), es decir, haciendo en dicha expresión:

$$\frac{\partial C_p}{\partial K} = 0$$

y se comprueba fácilmente que se llega al mismo resultado del límite de Betz.

Además, en la figura 179 observamos como la velocidad en todo el tubo de corriente va disminuyendo de valor desde la sección A_1 en el infinito aguas arriba hasta la sección final A_2 en el infinito aguas abajo. En concreto, puede suponerse que la velocidad V en el plano del rotor, es la suma de la velocidad V_1 y de una velocidad negativa n, que se denomina velocidad inducida en el plano del rotor. En la figura 181 puede observarse el esquema, de forma que:

$$v = v_1 + n \qquad (12)$$

Si igualamos esta expresión (13) con la ya obtenida anteriormente (6), en que V es la semisuma de V_1 y V_2, nos queda:

$$\frac{v_1 + v_2}{2} = v_1 + n$$

operando queda:

$$v_2 = v_1 - 2n$$

Es decir, *la velocidad inducida en la sección A_2 de la estela vale 2n, por tanto es el doble de la velocidad inducida en el plano del rotor.*

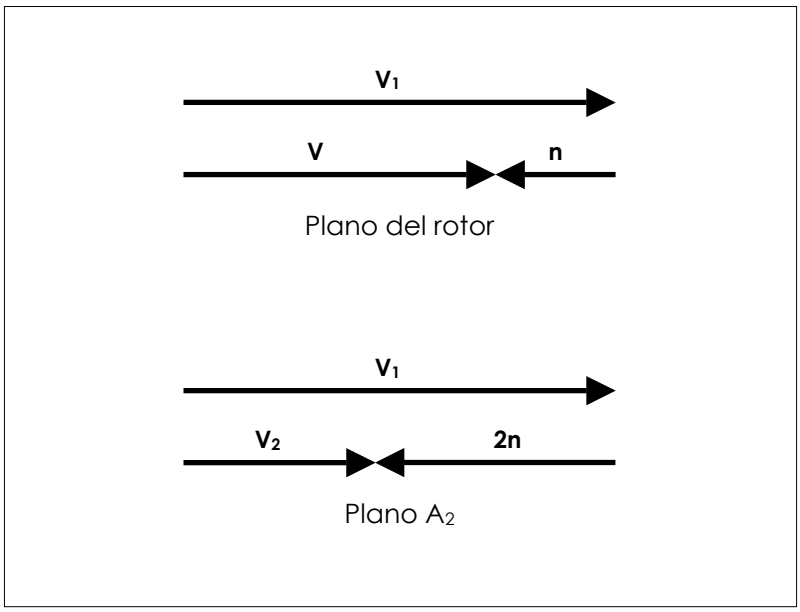


Figura 181: Velocidades inducidas en la estela. *Elaboración propia.*

Se ha indicado anteriormente que, según el Límite de Betz, la máxima potencia que se puede obtener en teoría, de una corriente de aire, con un aeromotor ideal, nunca podrá superar el 59,25% de la potencia del viento incidente. Pero en la realidad, la potencia de un motor de viento, ni siquiera los más perfeccionados, no supera el 60 ó 70% de la potencia máxima calculada por el Límite de Betz.

Para el estudio particular de cada tipo de máquina eólica, es imprescindible recurrir a estudios experimentales. Para ello, se construyen modelos reducidos o maquetas que se prueban en el túnel aerodinámico. Estas maquetas son semejantes geométricamente al prototipo que se pretende estudiar.

En la práctica, se representan las curvas de variación de las cantidades (en ordenadas):

$$C_F = \frac{2 \cdot F}{\rho \cdot S \cdot V^2} \qquad C_M = \frac{2 \cdot M}{\rho \cdot S \cdot V^2 \cdot R} \qquad C_p = \frac{2 \cdot W}{\rho \cdot S \cdot V^3}$$

en función de la velocidad específica

$$\lambda_0 = U_0 \diagup V$$

que se representa en abscisas, siendo:

V, la velocidad del viento a una distancia equivalente a cuatro o cinco diámetros antes de la eólica;
S, la superficie barrida por la eólica;
U_0, la velocidad periférica de las alas ($2\pi RN$);
R, el radio de la eólica;
N, la velocidad angular de la eólica;
M, el momento o par;

C_M, C_F y C_p son, respectivamente, el coeficiente de momento (o par), coeficiente de empuje axial y coeficiente de potencia.

La utilidad de estas tres gráficas es evidente: las curvas características trazadas para la maqueta son válidas para el prototipo y para cualquier máquina geométricamente semejante.

De las expresiones de los coeficientes, se deducen estas otras expresiones:

$$F = \frac{\rho \cdot C_F \cdot S \cdot V^2}{2} \qquad M = \frac{\rho \cdot C_M \cdot R \cdot S \cdot V^2}{2} \qquad W = \frac{\rho \cdot C_p \cdot S \cdot V^3}{2} \qquad N = \frac{\lambda_0 \cdot V}{2 \cdot \Pi \cdot R}$$

Para una máquina de características geométricas determinadas y para una velocidad de viento también fijada, a cada valor de λ_0 corresponde un valor de C_F, C_M y C_p, y por tanto un valor de F, M, W y N. Por tanto, se pueden representar las características mecánicas de empuje axial, par y potencia para los distintos valores de V, en función de la velocidad N de rotación.

6.5.- CÁLCULOS DE POTENCIA Y PAR EN EL MOLINO DEL COLLADO

Una de las conclusiones obtenidas en el primer epígrafe del presente capítulo era la catalogación de los molinos de viento de tipología almeriense, dotados de rotores a vela, como *eólicas lentas*, lo que a priori nos daba pistas acerca de que son máquinas con relativamente poca potencia, pero capaces de desarrollar un gran par motor que facilita su arranque con bajas velocidades del viento.

A la hora de abordar el cálculo de la potencia y par motor del Molino de Viento del Collado de San José, hemos contado con los inestimables comentarios y testimonios de los dos molineros de la zona, Francisco Ortiz y Ramón Gil. Son ellos los que nos han facilitado datos acerca de los vientos de la zona y sobre las velocidades estimadas de giro de la piedra volandera y del rotor de velas. En los datos revelados por ellos nos basaremos de aquí en adelante, debido a la imposibilidad de realizar una experimentación con ningún molino de la zona.

En el anterior epígrafe ha quedado patente la utilidad del análisis dimensional, ya que a través del estudio de prototipos o maquetas geométricamente semejantes al tipo de máquina que se desea estudiar, pueden sacarse conclusiones extrapolables a la realidad, y permiten la realización de gráficas de la evolución de los coeficientes de potencia, de par y de empuje axial, en función del parámetro λ_0 adimensional.

Las pruebas realizadas en el laboratorio Eiffel sobre modelos reducidos de eólicas lentas [LE GOURIÉRÈS, 1983], han demostrado que el funcionamiento de las mismas era óptimo, desde el punto de vista de máximo desarrollo de la potencia, para velocidades específicas λ_0 de valores próximos a la unidad (figura 182); estas condiciones corresponden a una velocidad de rotación óptima cuyo valor en revoluciones por minuto es igual a

$$N = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot R} = 9{,}5 \cdot \frac{v}{R}$$

y a un valor de C_p cercano a 0,3; es decir, a una captación efectiva de energía aproximadamente igual al 50% del Límite de Betz.

La potencia máxima capaz de obtenerse en una eólica lenta, como nuestra tipología de molino de viento, se puede calcular en función del radio R del rotor, con la siguiente fórmula

$$W = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 = 0{,}567 \cdot R^2 \cdot v^3 \qquad (13)$$

donde la potencia W está expresada en watios y el radio y la velocidad del viento en metros y metros por segundo respectivamente. Se ha tomado un valor de la densidad del aire de 1,201 Kg/m³ y el valor máximo de C_p=0,3 obtenido de la gráfica de la figura 182.

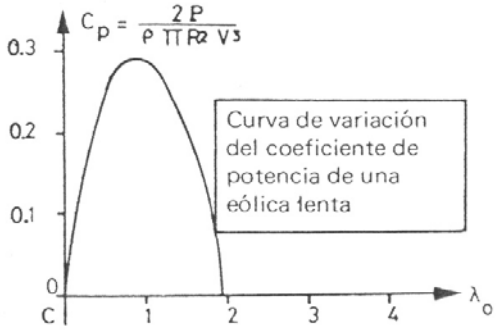


Figura 182: Gráfica de evolución del coeficiente de potencia en una eólica lenta, en función del parámetro λ_0. *Les Gouriérès.*

Ahora bien, lo anterior es para una eólica lenta de máximo rendimiento, en que la velocidad específica, λ_0, parámetro adimensional, sea igual a la unidad. Y debemos preguntarnos, ¿el parámetro adimensional λ_0 de nuestro molino de viento está en torno a la unidad?

Aquí es donde entran en juego los datos aportados por nuestros molineros colaboradores. Según ellos, la velocidad de régimen de un molino de viento almeriense era tal que la piedra volandera adquiría una velocidad de rotación de unas 50 revoluciones por minuto. Ello, en un régimen de viento de brisa moderada, con vientos entre 13 y 14 nudos, lo que significa vientos en torno a los 7 m/s.

Con estos datos podemos abordar el cálculo de la potencia y el par del ingenio a ese régimen de vientos. Así, y debido a la relación 1:5 en el engrane de la linterna (por cada vuelta del rotor, la piedra volandera da cinco vueltas), la velocidad de régimen del rotor sería de 10 vueltas por minuto. En ese caso, la velocidad característica del molino del collado vendría dada por:

$$\lambda_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot N}{60 \cdot V} = \frac{376{,}99}{420} = 0{,}8976$$

donde el valor de R es de 6 metros en el molino del Collado y N es 10 revoluciones por minuto, siendo V la velocidad del viento incidente, en

este caso 7 m/s (en el denominador aparece el término 60 al objeto de pasar las revoluciones por minuto a revoluciones por segundo).

Evidentemente, al obtener una velocidad característica inferior a la unidad, que resulta ser la óptima en el sentido de que arroja la mejor cifra para el coeficiente de potencia en el caso de eólicas lentas, nuestro molino de viento va a tener un menor rendimiento y no vamos a poder calcular la potencia por la expresión (13) obtenida anteriormente.

A ese régimen de viento de 7 m/s, aproximadamente 13,5 nudos, ya podemos calcular la potencia desarrollada por el molino de viento del Collado. Así, de la figura 182, leemos directamente el coeficiente de potencia para una velocidad característica de 0,8976:

$$\lambda_0 = 0{,}8976 \quad \Rightarrow \quad C_p = 0{,}27$$

Sustituyendo este valor de Cp en la expresión de la potencia, se obtiene:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 = 6289{,}60\ W$$

donde W es la potencia en watios (W)
C_p es el coeficiente de potencia del molino (0,27)
ρ es la densidad del aire (1,201 Kg/m³)
R es el radio del rotor del molino (6 m)
V es la velocidad de régimen del viento (7 m/s)

Realizando la conversión a CV, dividiendo por 736 W/CV, obtenemos una potencia utilizable de **8,55 CV**.

En la figura 183, aparece la gráfica de la evolución del coeficiente de par, C_M, en función del valor del parámetro de la velocidad característica, para eólicas lentas.

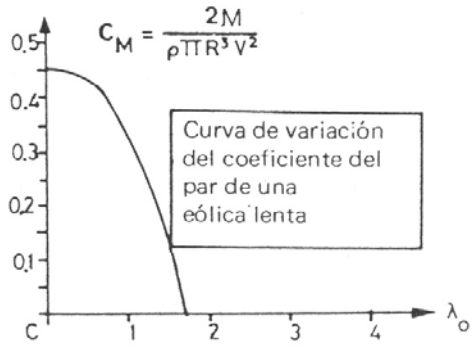


Figura 183: Gráfica de evolución del coeficiente de par para una eólica lenta.
Les Gouriérès.

Así, para el molino de viento del Collado, con una velocidad característica de 0,8976 podemos leer directamente el coeficiente de momento o par:

$$\lambda_0 = 0{,}8976 \quad \Rightarrow \quad C_M = 0{,}36$$

Por tanto podemos calcular el par motor generado por el rotor y aplicado en el eje principal del molino del Collado, para una velocidad de régimen de 7 m/s:

$$M = \frac{\rho \cdot C_M \cdot R \cdot S \cdot V^2}{2} = \frac{\rho \cdot C_M \cdot \pi \cdot R^3 \cdot V^2}{2} = \frac{14376{,}24}{2} = 7188{,}12\,Nm$$

donde M es el par motor generado por el rotor (Nm)
C_M es el coeficiente de par del molino (0,36)
ρ es la densidad del aire (1,201 Kg/m³)
R es el radio del rotor del molino (6 m)
V es la velocidad de régimen del viento (7 m/s)

Los valores de potencia y par calculados para nuestro molino, lo han sido para un viento constante de 7 m/s que, según los molineros, venía a garantizar una velocidad de regimen de 50 rpm en la piedra volandera.

No obstante, según Ramón Gil, las velocidades mínima y máxima entre los que se movían los molinos almerienses, siempre refiriéndose a la velocidad de la piedra volandera, estaba entre las 40 rpm y las 60 rpm. A partir de esa velocidad había que recoger velas.

A continuación, como conocemos el parámetro de velocidad característica del molino, vamos a proceder a calcular el régimen de vientos correspondientes a tal intervalo de funcionamiento, así como las cifras de potencia y par en ambos casos.

Cuando la piedra volandera giraba a 40 rpm, el rotor lo hacía a 8 rpm, y dado que λ_0 tiene el valor 0.8976, podemos calcular la velocidad del viento incidente:

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot N}{60 \cdot \lambda_0} = \frac{301{,}59}{53{,}86} = 5{,}60\,m/s$$

que corresponde a un viento de casi 11 nudos, dentro de lo que es una brisa moderada. Como los coeficientes de potencia y par no han variado, al no variar la velocidad característica, podemos calcular la potencia y el par para un régimen constante de viento de 5,60 m/s:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 = 3220,28\ W$$

donde W es la potencia en watios (W)
C_p es el coeficiente de potencia del molino (0,27)
ρ es la densidad del aire (1,201 Kg/m³)
R es el radio del rotor del molino (6 m)
V es la velocidad del viento (5,60 m/s)

Realizando la conversión a CV, dividiendo por 736 W/CV, obtenemos una potencia utilizable de **4,38 CV**. Para calcular el par, recurrimos a la expresión:

$$M = \frac{\rho \cdot C_M \cdot R \cdot S \cdot V^2}{2} = \frac{\rho \cdot C_M \cdot \pi \cdot R^3 \cdot V^2}{2} = \frac{9200,79}{2} = 4600,40 Nm$$

donde M es el par motor generado por el rotor (Nm)
C_M es el coeficiente de par del molino (0,36)
ρ es la densidad del aire (1,201 Kg/m³)
R es el radio del rotor del molino (6 m)
V es la velocidad del viento (5,60 m/s)

Cuando la piedra volandera giraba a 60 rpm, el rotor lo hacía a 12 rpm, y dado que λ_0 tiene el valor 0.8976, podemos calcular la velocidad del viento incidente:

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot N}{60 \cdot \lambda_0} = \frac{452,39}{53,86} = 8,40 m/s$$

que corresponde a un viento de más de 17 nudos, dentro ya de lo que es una brisa fresca, algo fuerte. Como los coeficientes de potencia y par no han variado, al no variar la velocidad característica, podemos calcular la potencia y el par para un régimen constante de viento de 8,40 m/s.

Así, la potencia aprovechada es:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 = 10868,43\ W$$

donde W es la potencia en watios (W)
C_p es el coeficiente de potencia del molino (0,27)
ρ es la densidad del aire (1,201 Kg/m³)

R es el radio del rotor del molino (6 m)
V es la velocidad del viento (8,40 m/s)

Realizando la conversión a CV, dividiendo por 736 W/CV, obtenemos una potencia utilizable de **14,77 CV**. Para calcular el par, recurrimos a la expresión:

$$M = \frac{\rho \cdot C_M \cdot R \cdot S \cdot V^2}{2} = \frac{\rho \cdot C_M \cdot \pi \cdot R^3 \cdot V^2}{2} = \frac{20701,78}{2} = 10350,89 Nm$$

donde M es el par motor generado por el rotor (Nm)
C_M es el coeficiente de par del molino (0,36)
ρ es la densidad del aire (1,201 Kg/m³)
R es el radio del rotor del molino (6 m)
V es la velocidad del viento (8,40 m/s)

A continuación, en la figura 184, se resumen los resultados de potencia y par obtenidos para el molino del Collado en el margen de utilización indicado por nuestros colaboradores molineros.

Velocidad del viento (m/s)	Velocidad del viento (nudos)	Velocidad del rotor (rpm)	Velocidad de la volandera (rpm)	Potencia (CV)	Par motor (Nm)
5,60	11	8	40	4,38	4600,40
7,00	13,6	10	50	8,55	7188,12
8,40	17	12	60	14,77	10350,89

Figura 184: Resultados de potencia y par obtenidos para el Molino de Viento del Collado. *Elaboración propia.*

6.6.- CONSIDERACIONES CRÍTICAS A LOS CÁLCULOS DE POTENCIA Y PAR

Los cálculos de potencia y par realizados han sido basados en la teoría de la cantidad de movimiento de Betz.

La teoría de cantidad de movimiento aplicada por Betz a elementos captadores de energía eólica, es una teoría ingeniosa pero sencilla, y tiene por tanto una serie de limitaciones a efectos prácticos [ARIAS, 1999]. A continuación se comentan algunos:

- No considera los efectos viscosos del fluido, ni la influencia de la temperatura sobre densidad y viscosidad del fluido.

- Las magnitudes son magnitudes equivalentes en cada sección recta del tubo de corriente. No permite cálculos locales en zonas

determinadas del rotor, ni tiene en cuenta cambios de la velocidad incidente con la altura.

- No tiene en cuenta el número de palas del motor eólico, en este caso del molino de viento, ni la superficie de velas expuesta; tan sólo la superficie barrida por el rotor.

- No considera fenómenos no estacionarios, acordes a la realidad, como ráfagas o variación de la velocidad del aire con el tiempo o variación en la velocidad de giro del rotor, etc.

En cualquier caso, sí proporciona una buena aproximación al comportamiento del rotor de un motor eólico en presencia de una corriente de aire. Además, a la hora de realizar los cálculos, nos hemos basado en la experimentación en túnel de viento sobre eólicas lentas, asimilables en su funcionamiento al molino de viento de velas, debido al orden de magnitud de su velocidad característica.

La evolución de los órdenes de magnitud de los cálculos obtenidos de potencia y par motor son perfectamente válidos para hacernos una idea del comportamiento del ingenio, obteniéndose elevadas cifras de par, mucho más llamativas que las de potencia. Sin duda, los molinos de viento del Campo de Níjar estaban diseñados para poder arrancar y funcionar con brisas moderadas y débiles, vientos del orden de 8 a 16 nudos, datos que se corroboran con la prospección eólica del cercano término de Carboneras.

Evidentemente, con vientos mayores también podía molerse, a base de la regulación que suponer retirar o plegar velas, consideración que no se abarca en la teoría de cantidad de movimiento.

6.7.- EL SISTEMA MÓVIL DEL MOLINO

En el capítulo 4 de esta Tesis Doctoral, se ha comentado y descrito el funcionamiento de la tipología de molino de viento almeriense basándonos en los datos tomados en el molino de viento del Collado. En tal descripción se aludía al sistema de rotación horizontal y vertical del molino de viento, entendiendo por sistema de rotación horizontal todo aquél mecanismo que intervenía en el giro según un eje horizontal, y lo mismo para el sistema de rotación vertical. Ambos sistemas constituyen el sistema móvil del molino.

A la hora de poner en funcionamiento el molino de viento, el molinero liberaba de toda carga al molino, es decir, se hacía con el máximo alivio de las piedras, simplemente dejada caer la volandera sobre la solera. Ello era así puesto que hasta que el molino no adquiriera su velocidad de régimen en función del viento disponible, no se procedía a iniciar la molienda, es decir, cargar al molino. Ello implicaba que todo el sistema de rotación vertical descansaba sobre la tacilla.

En esas circunstancias, al intentar poner en marcha el molino, los elementos de que consta todo el sistema móvil del mismo se van a oponer al giro debido a su momento de inercia, amén de la pérdidas por rozamiento en los cojinetes pétreos (fuélliga y rabota), en la piedra volandera, en el engrane de la linterna y en la tacilla, sobre la que gira el eje de la lavija.

Así pues, el momento de inercia total I_t del sistema móvil del molino, sería la suma del momento de inercia de las piezas significativas que lo componen. Ocurre que no todas están sometidas a la misma aceleración, debido a la relación 1:5 en el engrane de la linterna. Por ello, calcularemos el momento de inercia del sistema de giro horizontal y el momento de inercia del sistema de giro vertical.

Comenzando por el sistema de giro vertical, para la piedra volandera, es conocido el radio exterior R_v, el radio interior r_v, el espesor e y la densidad del material ρ_v, equiparable generalmente al de la piedra caliza. El momento de inercia, por tanto, es:

$$I_v = \frac{1}{2} \cdot \left(\pi \cdot R_v^2 \cdot e \cdot \rho_v \right) \cdot R_v^2 - \frac{1}{2} \cdot \left(\pi \cdot r_v^2 \cdot e \cdot \rho_v \right) \cdot r_v^2$$

El conjunto eje de la lavija-palahierro no se va a considerar, ya que, aunque de densidad mucho mayor, el radio del mismo es muy pequeño y nos va a dar lugar a un valor del momento de inercia despreciable frente a los demás.

La linterna puede ser considerada, al estar formada por dos piezas, una de madera maciza, y otra un conjunto de hierro formado por dos zunchos y ocho husillos con una cámara hueca en medio de ambas, como un cilindro de radio conocido R_l (su radio exterior), espesor su altura h_l, y densidad la de la madera de haya ρ_l, como si toda la pieza fuese maciza. Así, su momento de inercia sería:

$$I_l = \frac{1}{2} \cdot \left(\pi \cdot R_l^2 \cdot h_l \cdot \rho_l \right) \cdot R_l^2$$

Por tanto, el momento de inercia total del sistema de giro vertical, I_{vt}, vendrá dado por:

$$I_{vt} = I_v + I_l$$

En el sistema de rotación horizontal, la rueda de puntería también puede considerarse como un disco, del que se conoce su radio exterior R_p, su radio interior r_p, su densidad ρ_p equivalente a la de la madera de olivo, y su espesor e_p. Por tanto su momento de inercia sería:

$$I_p = \frac{1}{2}\cdot\left(\pi\cdot R_p^2\cdot e_p\cdot\rho_p\right)\cdot R_p^2 - \frac{1}{2}\cdot\left(\pi\cdot r_p^2\cdot e_p\cdot\rho_p\right)\cdot r_p^2$$

Por último, el eje del molino, de madera de haya, del que conocemos su radio R_e, su longitud l_e y su densidad ρ_e. Su momento de inercia es:

$$I_e = \frac{1}{2}\cdot\left(\pi\cdot R_e^2\cdot l_e\cdot\rho_e\right)\cdot R_e^2$$

Así pues, el momento de inercia total del sistema de rotación horizontal será:

$$I_{hz} = I_p + I_e$$

Para que en el instante del arranque, el molino comience a girar, el momento o par, ya calculado, que produce el rotor ha de ser mayor a la suma del momento de rozamiento en los cojinetes pétreos y en la tacilla, así como en el engrane de la linterna, englobados todos ellos bajo M_{roz}, más los momentos de inercia de los sistemas móviles del molino, horizontal y vertical, I_{hz} e I_{vt}, multiplicados por sus aceleraciones angulares. Si llamamos $\dot{\omega}$ a la aceleración angular de sistema de rotación horizontal, debido a la relación de transmisión del engranaje, la aceleración angular del sistema de rotación vertical será $5\dot{\omega}$. Se tendrá por tanto:

$$M_{rotor} - M_{roz} = I_{hz}\cdot\dot{\omega} + 5I_{vt}\cdot\dot{\omega}$$

Si conociésemos, para una velocidad del viento dada, la aceleración angular del rotor, podría calcularse M_{roz}.

Una vez que el sistema ha alcanzado su velocidad de régimen en vacío, empieza a caer el grano entre ambas piedras; se produce así un elevado rozamiento que hace aparecer un momento que tiende a frenar

a la piedra; denominamos a este momento M_m, momento de la molienda. Ahora la piedra volandera, la linterna, la rueda de puntería y el eje del molino van a funcionar como un volante de inercia que impide que se produzca una deceleración acusada, ayudando así al mantenimiento de la velocidad de régimen, algo menor, durante la molienda.

Además de la molienda del grano, el momento del rotor se va a invertir en los rozamientos expuestos anteriormente, en la disipación de energía producida por el calor, etc. El resto de pérdidas estaría englobado en el término M_- de la siguiente ecuación que proponemos a continuación:

$$M_{rotor} = M_m + M_-$$

Obviamente, para poder calcular el momento M_{roz} y el momento de la molienda M_m sería necesario disponer de datos tales como la velocidad angular en función de la velocidad del viento incidente, así como la realización de un ensayo al freno calculando las diferencias entre el molino en plena faena y en vacío. Ambos datos no son posibles de obtener al no existir ningún molino de viento en el Campo de Níjar con la arboladura completa.

6.8.- CÁLCULOS PRODUCTIVOS

Entre las preocupaciones habituales de los molineros se encontraba la rentabilidad del molino. Algunos eran los propietarios del ingenio que explotaban, si bien era común que el molino estuviese arrendado en régimen de explotación. Ha quedado dicho en el capítulo 4 de esta Tesis Doctoral que el régimen de explotación del molino se sostenía en la maquila, consistiendo ésta en el Campo de Níjar, según los molineros consultados, en un 7% en peso del trigo molido; si a este porcentaje le sumamos aproximadamente un 3% que suponía el *esporvoreo* o *gorriná*, que era la porción de harina que se perdía por el viento, entre la estera, etc., el cliente tenía un rendimiento del 90% en la molienda.

No había nada mejor para aumentar la rentabilidad del molino que gozar de unos buenos días de viento parejo, continuo y sin grandes ráfagas, para evitar el inconveniente de la operatividad intermitente de estos ingenios. Según Ramón Gil, en los molinos de viento del Campo de Níjar, en un buen día de viento de levante parejo, que permitiera unas 50 revoluciones por minuto (rpm) en la volandera, podían molerse, entre el

día y la noche, de veinte a veinticinco fanegas de trigo. La fanega de trigo equivale a 45 kilogramos.

Asimismo indica que lo normal era moler en torno a la mitad, unas doce fanegas en días de brisa algo más moderada, con velocidades de la volandera entre cuarenta y cuarenta y cinco rpm.

Es algo evidente que, dentro de los límites que permitían estos ingenios, cuanto más viento y más fuerte soplara mejor: ello supondría más horas de trabajo y mayor tasa de producción en la molienda.

Intentemos cuantificar, si es posible, el trabajo necesario para moler un kilogramo de trigo. Así, tal y como ha quedado dicho, supongamos que en un buen día con viento parejo, podían molerse en torno a 1000Kg de cereal, algo más de veintidós fanegas. Tal y como hemos calculado en epígrafes anteriores, la potencia desarrollada por el molino con vientos de 7 m/s, más de trece nudos, ascendía a unos 6300 watios aproximadamente; la faena se lograba en las veinticuatro horas del día, por lo que:

$$\frac{6{,}3\ KW \cdot 24\ horas}{1000 Kg} \cong 0{,}15\ KWh / Kg$$

es la ratio de trabajo invertido por cada kilogramo de cereal molido, con una tasa de producción horaria de 41,7 Kg/h.

Comprobemos cómo evoluciona dicha ratio para un día normal de molienda, unas doce fanegas de trigo, en torno a los quinientos kilogramos diarios. La potencia desarrollada por el molino, con vientos de unos once nudos, una brisa más floja en torno a los 5,60 m/s, hemos calculada que ascendía a unos 3220 watios aproximadamente, por lo que:

$$\frac{3{,}22\ KW \cdot 24\ horas}{515 Kg} \cong 0{,}15\ KWh / Kg$$

Observamos que se mantiene la ratio de trabajo invertido por kilogramo molido, con una tasa de producción horaria de 21,45 Kg/h.

Ello implica lo fundamental que resultaba contar con vientos duraderos y de mayor intensidad, lo que propiciaba una mayor tasa de producción; al desarrollar el ingenio más potencia, más cantidad de grano podía moler en el mismo tiempo. Así, para el caso que estamos analizando, se tiene que la tasa de producción horaria con un viento de unos 13,60 nudos es de 41,7 Kg/h, lo que arroja una ratio de:

$$\frac{41{,}70\ Kg/h}{13{,}60\ nudos} = 3{,}07\ Kg/h\ y\ nudo$$

Y para un viento de unos 11 nudos, la tasa de producción horaria es de 21,45 Kg/h, por lo que el ratio es de:

$$\frac{21{,}45\ Kg/h}{11\ nudos} = 1{,}95\ Kg/h\ y\ nudo$$

lo que evidencia que el incremento en la tasa de producción horaria no es lineal con la velocidad del viento, al no serlo tampoco la potencia desarrollada por el ingenio; podríamos decir que es más que lineal, exponencial.

6.9.- ANÁLISIS DE LA VELA LATINA Y SUS VENTAJAS

Ya ha sido comentado que una de las particularidades del molino de viento almeriense, al igual que otros como el cartagenero o el andaluz, es la utilización de velas triangulares en lugar de aspas.

Sin duda, y como corrobora su difusión a través de las islas griegas y sur de Portugal, así como la isla de Sicilia y algunos ejemplares baleares, la utilización de la vela triangular o vela latina tiene una cierta componente de tradición marinera, pues, como veremos, su comportamiento es comparable al de una vela latina en una embarcación, y requiere de un profundo conocimiento de los vientos para su manejo.

En este epígrafe trataremos de aproximarnos al concepto de vela latina y su funcionamiento aerodinámico, para después ver las similitudes con las velas del molino de viento y poder extraer así conclusiones sobre la bondad de su utilización.

Según el Diccionario de la Real Academia Española, una vela se define como "*conjunto o unión de paños o piezas de lona o lienzo fuerte que, cortados de diversos modos y cosidos, se amarran a las vergas para recibir el viento que impele a la nave*". Esta definición, bastante gráfica, no está muy en la línea de generalización con la que hace sobre la vela latina: "*la triangular, envergada en entena, que suelen usar las embarcaciones de poco porte*". Está claro que se contempla la última época de la utilización de la vela latina, relacionada con las pequeñas naves de cabotaje o pesca costera, y no las naves de la antigüedad

clásica, las grandes embarcaciones dedicadas al transporte de tropas y caballos como el *uxer* o las *galeras*(figura 185) [MÁS, 1991].

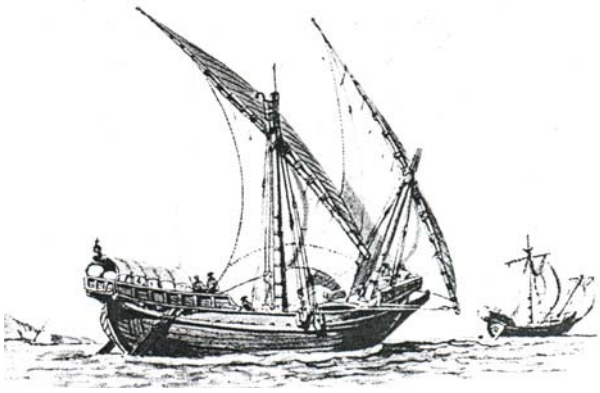


Figura 185: Dibujo de un uxer, el gran mercante latino. *Más.*

La vela latina es esencialmente un triángulo escaleno de lona portado por un palo que se iza en un mástil, aprovechando la fuerza del viento recogido en ella para hacer avanzar una embarcación. El triángulo está formado por varias piezas de lona cosidas entre sí (figura 186). El lado mayor o *grátil* (GR), va unido al palo portante de la vela, llamado *entena* o *percha* (P), por medio de una ligada que recibe el nombre de *matafiones* (Ma), formando en la parte superior de la percha un ángulo de caída hacia la popa de la embarcación que recibe el nombre de *puño de driza* (1) o de pena. La caída de la vela hacia popa recibe el nombre de *baluma* (BA) y es el segundo lado del triángulo en cuanto a longitud, terminando en un nuevo ángulo que forma el llamado *puño de escota* (2). En la parte inferior de la percha, la vela forma un nuevo ángulo o *puño de amura* (3) para configurar el lado inferior del triángulo o *pujamen* (PU) al unirse con el puño de escota, siendo este lado el de menor longitud [ARANDA, 2000].

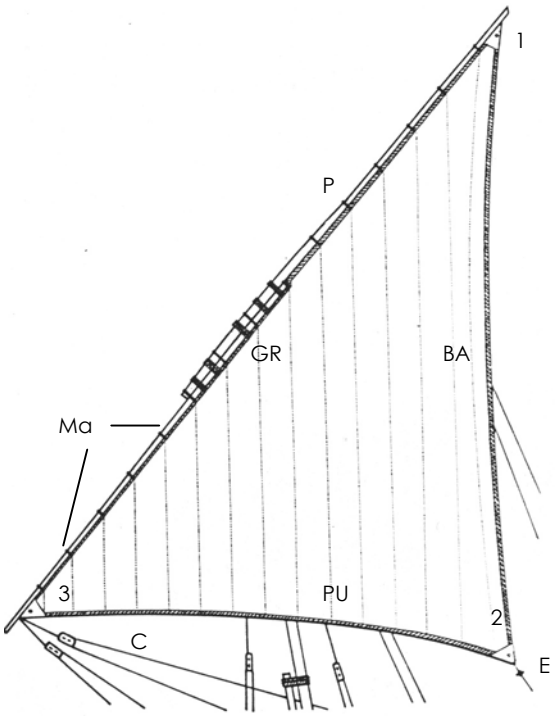


Figura 186: Esquema de una vela latina. *Elaboración propia.*

Al puño de amura se sujeta un cabo que sirve para controlar la parte baja de la percha y que recibe el nombre de *car* (C), mientras que del puño del lado inferior parte otro cabo

o *escota* (E) que le da nombre al puño y que sirve para cazar la vela haciendo que embolse más o menos aire.

A continuación vamos a formular una breve exposición teórica del comportamiento del velamen durante la navegación con el buque sin escora, referida a las *velas de superficie plana*. En tales circunstancias el buque está sometido a dos fuerzas de direcciones diferentes: una que trata de impedir el movimiento del casco por fricción o resistencia del agua, y otra que le impulsa a moverse por el empuje o acción del viento sobre el velamen. De la interacción de estas dos fuerzas se produce otra lateral que provoca el traslado del buque, de forma que lo desplaza paralelamente a sí mismo (figura 187).

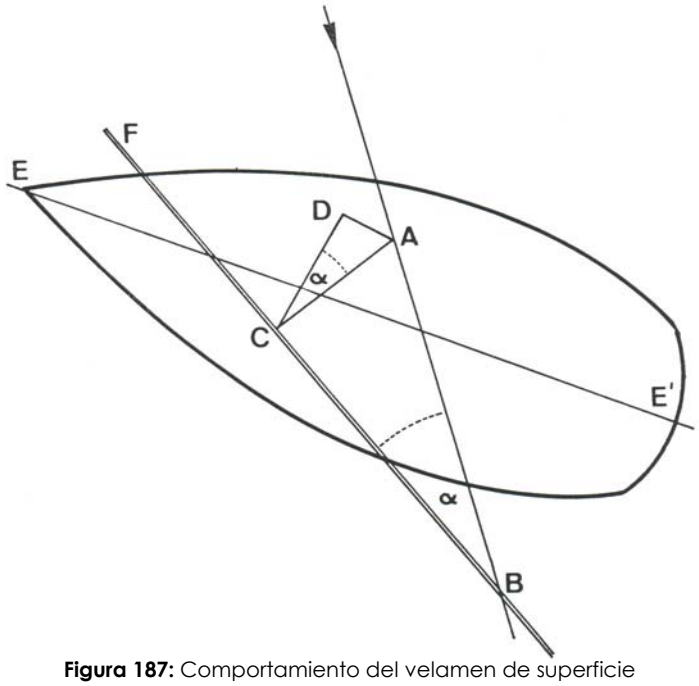


Figura 187: Comportamiento del velamen de superficie plana durante la navegación de un buque sin escora. *Más.*

El viento que actúa sobre la vela se concentra imaginariamente sobre su centro de figura o *centro vélico* (C). En un buque de varias velas existe asimismo un *centro vélico único*, resultante del promedio de todas ellas.

La dirección con que un barco recibe el viento determina su forma de navegar. Si éste forma un ángulo con el eje de simetría longitudinal o crujía de menos de 90º (como el buque de la figura 187), navegará ciñendo o de bolina. Si este ángulo es de mayor abertura navegará entonces a un largo o en popa. Se dirá que navega *de través* al recibirse el viento a 90º, y si éste es menor de 45º no navegará el buque.

El vector AB del gráfico de la figura 187 representa la acción del viento sobre la vela, que se descompone en los vectores AC y CB. Este último tiene la particularidad de resbalar sobre la vela sin ejercer presión sobre ella, y la normal AC se descompone a su vez en AD y CD, siendo la primera la que hace avanzar al buque y la segunda la que lo abate transversalmente. Se contrarresta bien este efecto en las embarcaciones con profunda quilla, pero en las de fondo plano, especialmente las deportivas, hay que recurrir a una orza o plano adicional que soporte este

esfuerzo lateral y evite la traslación. C es el centro vélico, E es el eje longitudinal o crujía, FB es la entena y α es el ángulo entre el viento y la entena.

A diferencia de otros tipos de velas, la latina no porta botavara, pieza de madera que asegurada al mástil y extendiéndose hacia popa sirve para cazar la vela, lo que origina que estén al aire las costuras bajas y sean velas con gran bolso de aire. Está demostrado que una vela plana, cuyo comportamiento se ha indicado a través de la figura 187, desarrolla la mitad de la presión que una curva, por lo que es fácil deducir que la botavara ejerce una influencia desfavorable al aplanar la parte inferior o pujamen reduciendo el desarrollo de presión en esa área [MÁS, 1991].

Experimentos realizados con plumas (figura 188) demuestran que las corrientes de aire en una vela no plana se mueven sobre la cara de barlovento, cara enfrentada al viento, en dirección hacia la amura y

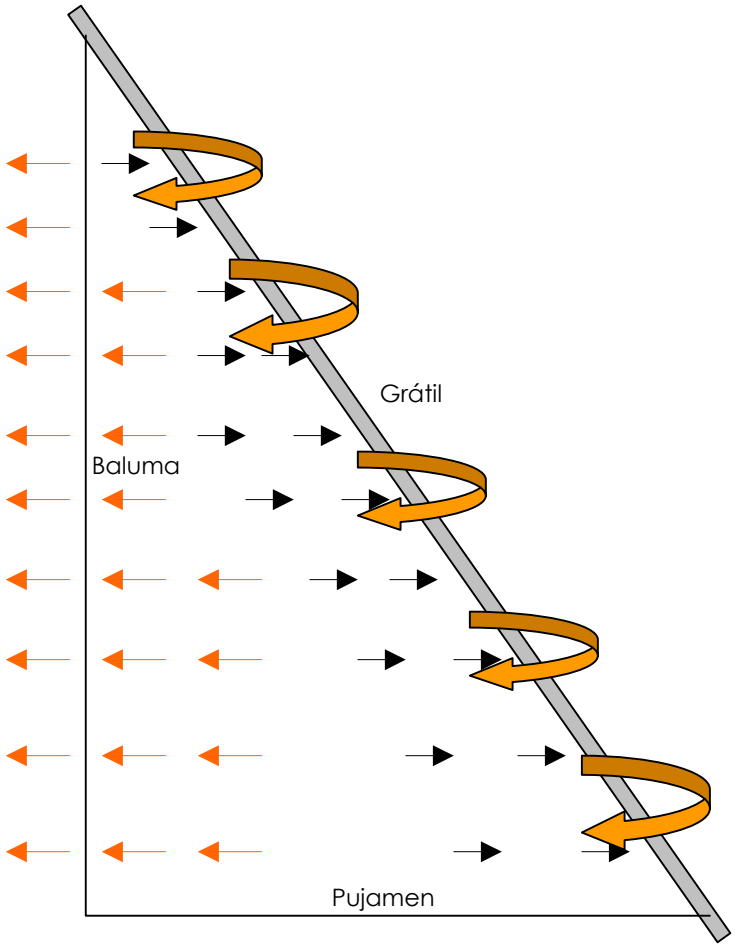


Figura 188: Esquema de las corrientes de aire en la cara de barlovento de una vela latina. *Elaboración propia.*

rodeando el palo en la parte más cercana al mismo, pasando a desplazarse hacia la baluma más claramente según nos dirigimos hacia la popa. Es decir, el aire derrama de la vela por la parte de popa (baluma) de forma mayoritaria [ARANDA, 2000].

También se han estudiado las presiones generadas por las velas no planas. La experimentación ha evidenciado el efecto de succión provocado en la cara de sotavento (parte opuesta al aire) de la vela. La succión generada en esta cara llega a tener un módulo cuyo valor es el triple o cuádruple del valor de la presión registrada en la cara de barlovento, lo que viene a demostrar que los barcos navegan no sólo por medio de la fuerza resultante que surge del choque del viento en la vela, sino también por efecto de la succión que actúa en la cara de sotavento. Ciñendo, es decir con viento de proa, la presión principal se encuentra en el tercio proel de la vela, disminuyendo al acercarnos al palo. Decrece hacia la baluma, desapareciendo en su límite y llegando a ser negativa más allá, es decir, opuesta a su dirección previa. Éste efecto hace que se produzca el molesto flameo de la baluma y que se puede corregir mediante el empleo de sables de madera flexible que se introducen en las velas a fin de conferirles cierta rigidez.

Todo barco en movimiento genera una determinada cantidad de viento, mientras que sobre la vela incide el viento real, el viento atmosférico. La resultante del paralelogramo de fuerzas causado por estos dos vientos, el real y el generado por el movimiento del barco, recibe el nombre de viento aparente. La dirección del viento aparente será la que determine la posición de la vela incidiendo sobre ella en ángulo agudo y con mayor fuerza que el viento real.

Es interesante resaltar que el viento, al incidir sobre una superficie curva, genera una fuerza que tiende a dirigirse hacia arriba y contra el viento (figura 189). La ventaja del arqueado de una vela latina llega a ser más notoria cuando el viento incide sobre el plano desde abajo o cuando el plano es movido contra el viento en una posición algo inclinada. En esta posición la superficie arqueada desarrolla más del doble de fuerza que la superficie plana [CURRY, 1979].

De la misma manera, se puede afirmar que una corriente de aire rompe sus líneas fluidas al pasar por una superficie plana dispuesta de forma horizontal formando remolinos. Un remolino tiene energía cinética que se desarrolla a costa de otra fuente de energía, lo que supone una pérdida de la misma para el movimiento del plano. Por el contrario, si la superficie curva no rompe las líneas de corriente sino que las desvía suavemente según su curvatura con ausencia de formación de remolinos,

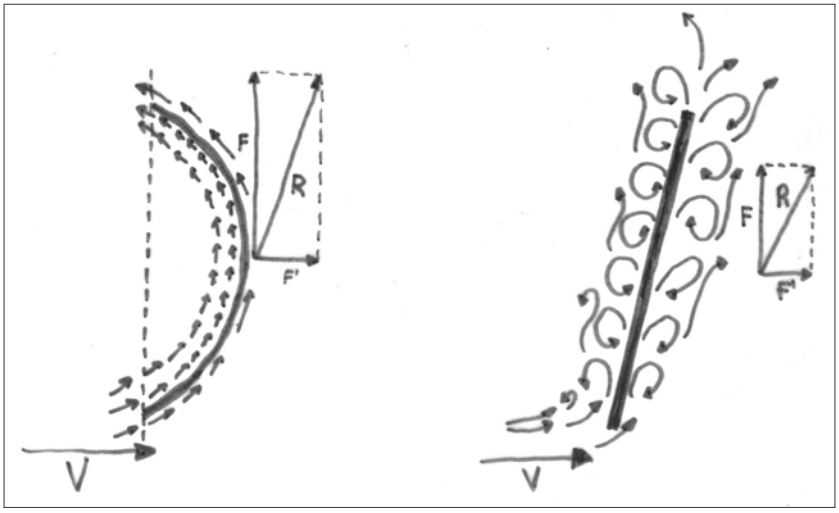


Figura 189: Esquema de los efectos del viento al incidir sobre una superficie curva y plana. *Elaboración propia basada en Curry.*

ello equivale a efectos prácticos a ganar energía tendiendo la superficie a ser levantada hacia arriba. En el caso de una superficie plana la tendencia a levantarse es paralizada por la formación de vorticidades o remolinos.

Los elementos y forma de las velas de los molinos de viento del Campo de Níjar fueron descritos en el capítulo 4 de esta Tesis Doctoral (véase figura 128). Dejando de lado detalles de poca importancia, como pueda ser la disposición de las costuras de los distintos lienzos que las configuran, puede observarse que nos encontramos ante dos velas, la del molino y la típica vela latina para la navegación, prácticamente iguales.

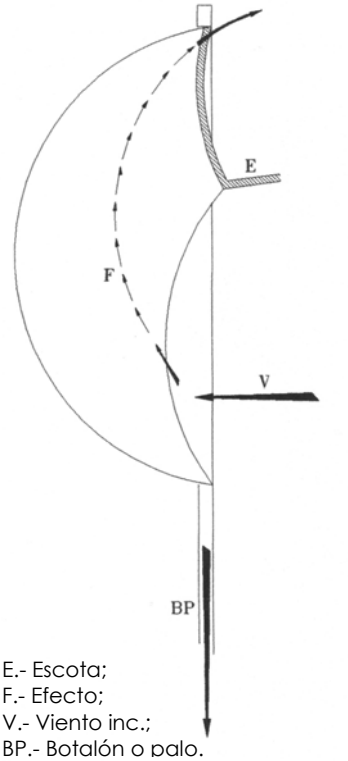
Para observar mejor las coincidencias, puede tomarse como referencia una vela de molino de viento colocada en su palo y con el extremo libre del mismo, donde se unen los vientos y el ruedo, apuntando hacia el suelo. El palo de la vela del molino se corresponde con el grátil o lado de la vela latina que va unida a la percha por los matafiones. La baluma, que ya hemos visto es el siguiente lado en cuanto a longitud, y por el que tienden a escapar las corrientes de aire, se homologa con el lado conocido en la vela del molino como derrame, probablemente debido a que desde antiguo el molinero conocía que el viento escapaba de la vela, derramaba, por ese lado. Por último el pujamen de la vela marinera es el lado homólogo de la relinga. El ángulo que la vela del molino forma en el extremo libre del palo sería el equivalente al puño de amura, mientras que el formado en la parte del palo más próxima al eje del molino sería el equivalente al puño de driza. Las semejanzas llegan al extremo de denominar con los mismos términos al puño de escota y al cabo que sale de él y que sirve, tanto en la navegación como en el

molino, para "cazar" más o menos la vela dependiendo de la intensidad del viento.

En cuanto al montaje, ambas velas coinciden en ir unidas directamente a un madero. La percha en la embarcación por medio de los matafiones y el palo en el molino por medio de clavos.

Hasta aquí, una vez descritas la vela latina y la vela triangular de lona de los molinos de viento del Campo de Níjar y sus similitudes, procederemos a intentar sacar conclusiones sobre las ventajas que suponía este tipo de arboladura en los molinos de esta zona, frente a otras zonas en los que los molinos de viento son arbolados con aspas rectangulares de distintas facturas.

La primera conclusión puede sacarse del hecho ya comentado acerca del viento, que al actuar sobre una superficie curva genera una fuerza que tiende a dirigirse hacia arriba y contra el viento. La ventaja del arqueado llega a ser más notoria cuando el viento incide sobre la superficie desde abajo o cuando el plano es movido contra el viento en una posición inclinada. En esta posición, la superficie curva desarrolla el doble de fuerza que una plana. Igualmente se puede afirmar que una corriente de aire rompe sus líneas fluidas al pasar por una superficie plana originando vorticidades y perdiendo, de esa forma, energía cinética. Por el contrario, la superficie curva no rompe las líneas fluidas sino que las desvía, sin originar vorticidades y ganando así energía cinética, tendiendo la superficie a ser levantada hacia arriba [CURRY, 1979].



E.- Escota;
F.- Efecto;
V.- Viento inc.;
BP.- Botalón o palo.

Figura 190: Efecto del viento sobre una vela del molino. *Elaboración propia.*

La vela del molino de viento del Campo de Níjar es una superficie curva con todas las ventajas a las que hace referencia el postulado anterior (figura 190). Además el viento incide sobre la vela del molino desde abajo, estando la misma inclinada entre 10º y 15º, pues lo está el eje, y encarada directamente al viento. Obsérvense las ventajas que supone la vela frente a un rotor de aspas; el aspa es una superficie plana, aunque se dotaba a las mismas de cierta inclinación respecto al plano de giro.

Una segunda conclusión puede extraerse del hecho, también comentado en este epígrafe, de que un barco en movimiento genera una determinada cantidad de viento, que junto al atmosférico, supone un viento resultante denominado viento aparente, cuya dirección es tal que incide sobre la vela en ángulo agudo y con mayor fuerza que el viento real. Ello nos hace pensar en las ventajas de una vela en el rotor, capaz de embolsar aire, frente a un aspa que, si bien genera viento al moverse, al tratarse de una superficie rígida no puede embolsarlo y, por ende, aprovechar el viento generado por el rotor. Los palos del molino, al girar, se comportan como una embarcación en movimiento generando vientos (figura 191).

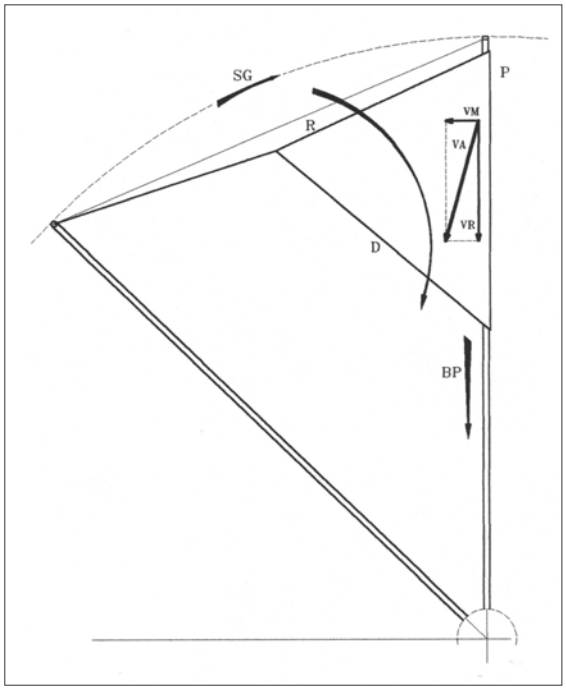


Figura 191: Esquema del viento aparente en la vela del molino de viento. *Elaboración propia.*

VM.- Viento generado por el movimiento;
VR.- Viento real;
VA.- Viento aparente;
P.- Palo (vela);
R.- Relinga;
D.- Derrame;
SG.- Sentido de giro;
BP.- Botalón o palo.

Pero las ventajas del rotor de velas frente al rotor de aspas no se sustentan solamente en principios de aerodinámica. Ante fuertes vientos, calificados como duros, en torno a los dieciocho nudos en adelante, el molino de velas puede moler debido a su facilidad para regular la arboladura, desplegando más o menos velas, en número y en superficie, así como actuando sobre las escotas para cazar más o menos viento, todo ello en función de la velocidad del viento incidente, pudiendo llegar incluso a suprimir las velas, y todo ello sin necesidad de recurrir a escaleras y tener que trepar por el aspa, con los riesgos de accidente que ello podía conllevar.

La facilidad para la colocación y retirada de las velas otorgan al molino de viento con rotor de velas la posibilidad de moler adaptándose tanto a brisas como a vientos duros.

6.10.- EL EMPLEO DEL REGULADOR CENTRÍFUGO

En el capítulo 4 se comentó la incorporación de un regulador centrífugo, denominado *maquinillo del molino* en el argot molinero almeriense, cuya función principal era la de alivio automático, es decir, liberar al molinero de la constante regulación manual del mecanismo del alivio ante cambios inesperados en la velocidad del viento.

El regulador centrífugo (figura 192)consiste en un paralelogramo deformable que, al girar según una de sus diagonales, sus masas inerciales o esferas colocadas en los extremos de los brazos o prolongaciones de los lados, se elevan por la acción de la fuerza centrífuga desplazando el vértice inferior en sentido vertical por el mismo eje de giro en función de la velocidad o número de revoluciones del paralelogramo.

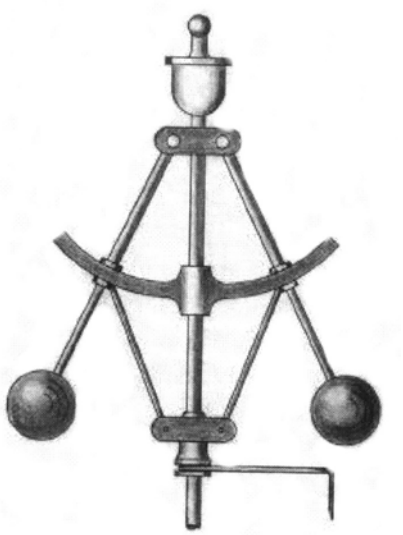


Figura 192: Regulador centrífugo. *Pagola.*

Este tipo de regulador centrífugo es similar al conocido regulador de Watt que, a finales del siglo XVIII fue aplicado por este ingeniero escocés a las máquinas de vapor. Sin embargo, la aplicación del regulador centrífugo a las máquinas de vapor por parte de Watt (sobre el año 1788) estuvo inspirada en la aplicación del regulador centrífugo a los molinos de viento [PAGOLA, 1975].

La aplicación del regulador centrífugo a los molinos de viento fue una invención de Thomas Mead en el año 1787. Mead intentó atajar la problemática que presentaban los molinos de viento harineros ingleses, que consistía en que cuando el grano de trigo es molido, la calidad de la harina producida era muy variable, y dependía fuertemente de dos factores a controlar: por un lado, de la distancia entre las dos piedras del moledero, la volandera y la solera, y por otro lado de la velocidad de rotación de la volandera.

En las últimas décadas del siglo XVIII se dedicaron muchos esfuerzos investigadores a desarrollar dispositivos que consiguiesen controlar estos dos factores, hasta que Mead patenta un diseño que combinaba la solución de los dos problemas. El invento, como se ha indicado, se basaba en un regulador que aseguraba que la presión ejercida entre las piedras del molino fuera proporcional a la velocidad de rotación. Este se

complementaba con otro ingenio que variaba el ataque de las aspas del molino, de forma que se controlaba la velocidad de rotación del eje.

El invento de Mead es particularmente interesante desde el punto de vista de la regulación automática, puesto que el regulador utilizado tiene como sensor de velocidad un péndulo rotativo, auténtico precursor de los reguladores centrífugos.

El también escocés Meikle se dedicaría a instalar reguladores centrífugos en los molinos de piedra, basándose en los diseños de Mead. Tan es así, que la invención de los reguladores centrífugos se le ha atribuido desde siempre a Meikle, el cual era líder en la implantación y diseños de molinos por toda Inglaterra, pero basaba sus diseños en el ingenio patentado por Mead en 1787.

En este contexto, a finales de 1788, Boulton, un industrial de Birmingham que estaba asociado con Watt para la fabricación a gran escala de máquinas de vapor, informó a este último acerca del funcionamiento de los reguladores centrífugos en los molinos. A partir de este momento, Watt sugiere la posibilidad de aplicar el mismo principio para controlar la velocidad de las máquinas de vapor [ASTHON, 1979].

Tras este bosquejo histórico, con la pretensión única de atribuir la invención del regulador centrífugo para su aplicación a los molinos a su verdadero inventor, Mead, pasemos a describir las características que presenta la instalación de estos reguladores en el Campo de Níjar.

De los treinta y tres molinos de viento inventariados (véase Anexo 2), nos consta la presencia del regulador centrífugo en, al menos, dieciséis de ellos. Bien es cierto que casi todos ellos (figura 193) presentaban un hueco en la mampostería para permitir el giro del regulador, realizado de forma tosca y claramente posterior a la construcción del molino. Es por esto que, teniendo en cuenta que la introducción de los molinos de viento en el Campo de Níjar puede datar de mediados del siglo XIX, podemos

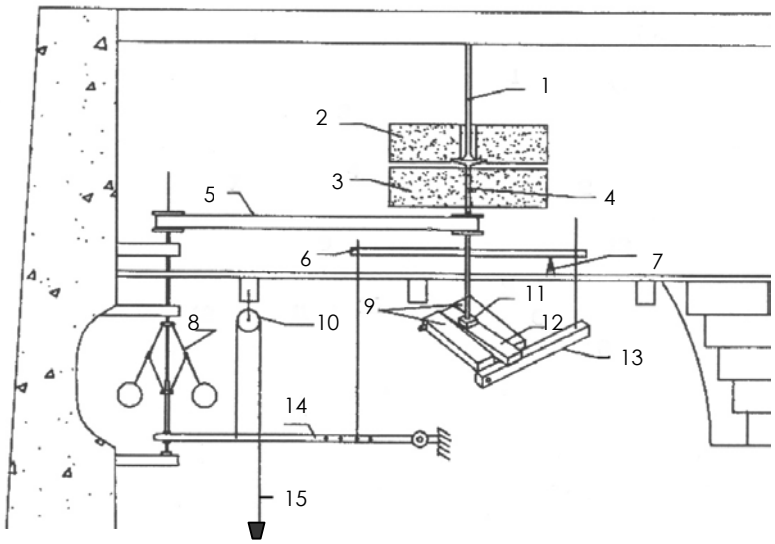


Figura 193: Hueco abierto en la mampostería para el regulador centrífugo. *Fotografía del autor.*

considerar la incorporación de estos artilugios de regulación en torno a principios del siglo XX.

Según algunos autores, los molinos de viento harineros del Campo de Cartagena son los únicos molinos de viento españoles que incorporaban regulador centrífugo [MONTOYA, 2001] [ARANDA, 2000]. Nosotros ya sabemos que no fue así; sin duda la influencia de la molinería de viento cartagenera llegó a los campos almerienses, debido a su proximidad geográfica.

En el capítulo 4, al hablar de los mecanismos del molino de viento almeriense, se ha realizado un examen detallado del principio de funcionamiento del regulador centrífugo, cuyo esquema de montaje en el molino de viento del Campo de Níjar se refleja en la figura 194.



1.- Palahierro;
2.- Piedra volandera;
3.- Piedra solera;
4.- Lavija;
5.- Correa de transmisión;
6.- Segunda palanca del alivio;
7.- Apoyo de la palanca del alivio;
8.- Regulador centrífugo;
9.- Alzapuente o sopuente;
10.- Polea del alivio;
11.-Tacilla;
12.- Lengüeta;
13.- Primera palanca del alivio;
14.- Barra del alivio;
15.- Contrapeso.

Figura 194: Esquema del montaje del regulador centrífugo en un molino de viento del Campo de Níjar. *Elaboración propia.*

La forma de calibrar el regulador automático, en función del régimen de funcionamiento del molino, se realizaba estando éste parado. En esas condiciones, el regulador se encuentra en reposo, y la barra del alivio (14) se encuentra en posición tal que la piedra volandera está *aliviada*, es decir, elevada para proceder al arranque del molino. Esto se consigue actuando sobre el husillo que comunica la barra del alivio con la segunda palanca del alivio (6).

Cuando el molino arranca, obviamente el regulador también se pone en marcha y a medida que el viento va aumentando de velocidad

se inicia la elevación de las masas inerciales de forma progresiva por el efecto de la fuerza centrífuga; ello implica que ascienda la barra del alivio (14) lo que provoca el apergo de las piedras.

Cuando la velocidad del molino se estabiliza, el molinero ajusta la separación de las piedras en función del grano a moler y de la finura de la harina deseada. Para ello actúa de nuevo sobre el husillo que une la barra de alivio con la segunda palanca del mismo, haciéndolo girar a derecha o izquierda hasta conseguir la separación adecuada.

Es evidente que, una vez ajustadas las condiciones de la molienda, la ocupación del molinero podría estar reducida a mantener la tolva con grano hasta acabar con el último saco o hasta la finalización de la jornada, siempre y cuando se mantuvieran aproximadamente constantes la velocidad y dirección del viento.

Normalmente, las condiciones del viento son variables a lo largo del día y obligaban al molinero, cuando los molinos carecían de cualquier elemento de regulación automática, a mantenerse vigilante durante la molienda. Estas irregularidades no se podían eliminar con el regulador centrífugo, pero sin duda se atenuaban.

Sin duda la presencia de estos mecanismos de regulación automática supone un rasgo de modernidad en los molinos de viento del Campo de Níjar.

6.11.- RECAPITULACIÓN

En este capítulo se han realizado una serie de consideraciones tecnológicas sobre la tipología de molino de viento almeriense.

Así, se han estudiado las condiciones del viento en la zona según los datos aportados por el mapa eólico nacional en un observatorio que se encuentra dentro de la comarca en estudio. También se ha procedido a la exposición y discusión de la teoría de la cantidad de movimiento aplicada por Betz a las máquinas eólicas captadoras de energía y a su aplicación a los molinos de viento almerienses, lo que ha permitido realizar los cálculos de potencia y par para las condiciones de viento más propicias en la zona y según los comentarios de los molineros sobre las velocidades de régimen y las producciones obtenidas.

Por último, se han abordado las particularidades que confiere la utilización de velas latinas en lugar de aspas, así como el empleo del regulador centrífugo como alivio automático, herencia tecnológica de la revolución industrial, de implantación tardía.

Capítulo 7

CONCLUSIONES

7.1.- INTRODUCCIÓN

En este capítulo se pretende realizar consideraciones críticas de las soluciones aportadas por esta tipología de molino de viento dentro de su entorno cultural.

Fruto del desarrollo de los capítulos anteriores se obtienen como consecuencias una serie de conclusiones, tanto desde el punto de vista histórico como tecnológico. Finalmente se comentarán los posibles desarrollos futuros.

7.2.- CONCLUSIONES DE CARÁCTER HISTÓRICO

Al ser esta Tesis Doctoral un estudio histórico-tecnológico, fruto del trabajo de campo y de la documentación que hemos podido examinar, podemos establecer las siguientes conclusiones en el plano histórico:

1. A nuestro juicio la tipología de molino de viento del Campo de Níjar, o almeriense, puede considerarse como tal, con entidad propia. Independientemente de las características técnicas que así lo avalan, y que dejaremos para el apartado de conclusiones de carácter tecnológico, los molinos de viento del Campo de Níjar surgen de la necesidad generada con la masiva roturación de los campos de esta comarca durante el final del siglo XVIII y sobre todo durante el siglo XIX. Ello supuso un incremento demográfico en núcleos cercanos pero muy dispersos, con lo que el aumento de la demanda de molienda animó a emprendedores, foráneos o locales, a la instalación de estos ingenios de viento adaptados a esta comarca natural en la que los potenciales emplazamientos hidráulicos no existían o ya se estaban explotando.

2. El origen de la tipología almeriense, tal y como se expuso en el capítulo 4 de esta Tesis Doctoral, parece ser cartagenero, según se

deriva de la tradición oral que nos han hecho llegar los molineros de la comarca así como de los estudios de etnólogos conocedores de la zona. No obstante, la tipología cartagenera evolucionó, o mejor dicho, se adaptó, a las condiciones particulares de esta comarca almeriense, lo que provoca la existencia de diferencias entre ambas.

3. La difusión de la molinería de viento en el Campo de Níjar tuvo lugar hacia la segunda mitad del siglo XIX. No existe constancia documental de la existencia de molinos de viento en esta zona con anterioridad a 1860.

4. Además de la constancia documental, otra de las razones que avalan la aparición tardía de este tipo de molinería en el Campo de Níjar estriba en la adopción de sistemas de regulación automática, lo que supone un rasgo evidente de modernidad y de utilización cotidiana hasta hace no muchos años. Utilizamos los términos implantación tardía, puesto que así fue, comparada con la difusión de la molinería de viento en otras regiones españolas. Sin ir más lejos, la aparición de la molinería de viento en los campos de Cartagena se remonta al siglo XVI y se extiende hasta el siglo XIX.

5. Existen bastantes similitudes entre los léxicos molineros del Campo de Níjar y del Campo de Cartagena. Ello avala, además de la proximidad geográfica, que el germen de la molinería almeriense fuese la cartagenera porque, además, las coincidencias con el léxico andaluz occidental (fundamentalmente en las provincias de Cádiz y Huelva) disminuyen drásticamente.

6. Los molinos de viento del Campo de Níjar, estuvieron en funcionamiento hasta mediados del siglo XX. El último que funcionó fue el molino de Carlos en Las Hortichuelas, que desplegó sus velas al lebeche por última vez en el año 1970. El resto en esa fecha ya habían caído en desuso o habían sido convenientemente transformados para la utilización de otra fuente de energía, como el molino de Pura Vargas en Los Albaricoques.

7. Al establecer la tipología de molino de viento, lo hacemos con el calificativo de almeriense y no del Campo de Níjar exclusivamente, puesto que existieron molinos de viento similares a los de esta comarca tanto en Almería capital como en algunas localidades del levante almeriense, principalmente Roquetas. En todo caso, el mayor núcleo de molinos de viento corresponde a la comarca del Campo de Níjar. Etnólogos conocedores de la zona estiman que en la provincia de Almería pudo haber en torno a la cincuentena; en

esta Tesis Doctoral se han inventariado treinta y tres en la comarca del Campo de Níjar.

7.3.- CONCLUSIONES DE CARÁCTER TECNOLÓGICO

En el epígrafe anterior, dentro de las conclusiones históricas, hemos tratado de avalar la entidad propia y diferencial de la tipología de viento almeriense en función de su difusión histórica y de su adaptación a las circunstancias históricas que la propiciaron. En este epígrafe sustentaremos la tipología almeriense a través de sus características tecnológicas, asimilando las similitudes y diferencias con las tipologías de molino de viento más cercanas: la manchega, la andaluza y la cartagenera.

1. El rotor de velas de los molinos de viento almerienses gira en sentido levógiro, exactamente igual que el molino cartagenero o las aspas del molino manchego, a diferencia de los molinos de viento andaluces (entendiendo por tales los de Andalucía occidental) cuyo sentido de giro es dextrógiro. Ello condiciona la situación de la linterna respecto a la rueda de puntería: así, en los molinos almerienses, la linterna está situada detrás (comenzando desde el extremo exterior del eje) de la rueda de puntería, al igual que en los manchegos y cartageneros, mientras que en los andaluces está situada delante de la puntería. Esta característica los diferencia claramente de estos últimos.

2. El molino de viento almeriense carecía de ruedas para mover el chapitel; éste, a través del telar, deslizaba sobre la rueda terrera, al igual que en los molinos de viento cartageneros. Sin embargo, en los molinos andaluces existen unas ruedecillas que facilitan el desplazamiento, y en los manchegos el chapitel se desliza sobre anillos de hierro.

3. En el molino de viento almeriense, la harina caía desde el agujero practicado en la estera o guardapolvo hasta la planta baja a través de un canal efectuado en la mampostería, de sección triangular y forrado de madera, denominado harinal. Ello ocurría así en los molinos cartageneros y manchegos, pero no en los andaluces, en los que había que trasegar con los sacos de harina.

4. Los cojinetes sobre los que descansa el eje del molino, fuélliga y rabota en el léxico molinero almeriense, son de piedra, al igual que

en la tipología cartagenera y manchega; en el molino de viento andaluz se apoyaban sobre cojinetes de madera.

5. El velamen del molino de viento almeriense, en cuanto a su número y disposición de velas, es similar al andaluz y al cartagenero, y muy diferente del manchego, que se caracteriza por sus aspas. No obstante, el dimensionado de la arboladura en el molino cartagenero es mayor, con longitudes de palos entre ocho y diez metros.

6. El tamaño de la torre de los molinos de viento almerienses está entre cinco y siete metros; en cualquier caso, bastante inferior al tamaño de la torre del molino cartagenero, que oscila entre los siete y ocho metros, y por supuesto inferior a la del molino manchego, que oscila sobre los ocho metros. También inferior a la altura de la torre del molino andaluz, que llega hasta los ocho metros.

7. Una particularidad exclusiva del molino almeriense es la presencia de la camareta, un espacio destinado a guardar los aperos y herramientas del molino. Dicho espacio se ubicaba entre la planta baja y la planta superior, y tenía una altura de un metro aproximadamente. El molino andaluz sólo tenía dos pisos, el manchego tres y, el cartagenero, puede presentar dos o tres, pero todos transitables por una persona.

8. Los molinos de viento almerienses aquí estudiados se utilizan para la molienda de cereal. Existieron en la comarca del Campo de Níjar las llamadas *molinas*, que eran norias de viento, con una tecnología similar a los molinos, algo más pequeñas, pero sin moledero. La particularidad que presentan las molinas almerienses radica en que el pozo estaba en su interior, a diferencia de los molinos cartageneros destinados a la extracción de agua. El uso de los molinos de viento andaluces y manchegos era eminentemente harinero.

9. En los molinos de viento andaluz, manchego y cartagenero, todo el moledero, es decir, el conjunto formado por las piedras y la bancada, situado en el último piso, se apoyaba en dos marranos de haya, dos grandes vigas de madera encastradas en la mampostería de la torre. En los molinos de viento almerienses se alterna la existencia de marranetes con la de arcos de medio punto realizados en cantería como elementos portantes.

10. Los molinos de viento manchegos disponían de una sola puerta de entrada al molino, al igual que los andaluces. Sin embargo, cartageneros y almerienses disponen de dos puertas enfrentadas, normalmente orientadas hacia los vientos dominantes.

11. Los molinos de viento almerienses, al igual que los andaluces, sujetan sus velas con vientos a la parte delantera del eje del molino. En los molinos cartageneros también ocurre esto, salvo que para disminuir la inercia del eje, unen a su extremo libre otro madero más delgado y de gran resistencia, al que amarran los vientos de las velas. Ese madero se denomina botalón en el argot molinero cartagenero.

12. Los molinos de viento almerienses y andaluces no presentan mas comunicación al exterior, además de las puertas, que el ventano situado sobre la cama del molino. En el molino cartagenero y manchego es común la presencia de alguna pequeña ventana encima de la puerta y en el extremo contrario a la cama del molino, correspondiente al piso intermedio.

13. La adaptación del molino de viento almeriense, y más concretamente en el Campo de Níjar, al régimen de viento imperante en la zona era perfecta. En el análisis tecnológico se ha demostrado como, con su arboladura a base de velas latinas, se comporta como una eólica lenta, presentando un elevado par motor que permite el arranque del molino con brisas flojas, en torno a la media de velocidad obtenida en la prospección eólica de la zona. Las velocidades de régimen más usuales se alcanzaban con las brisas moderadas de la zona a pleno velamen, es decir, con las ocho velas desplegadas al viento.

14. Pese a que los cálculos de potencia y par han sido realizados a través de la aplicación de la teoría de cantidad de movimiento de Betz, que no tiene en cuenta el número de aspas o velas ni la superficie de las mismas (sólo el área de barrido), a efectos prácticos, la potencia desarrollada depende la superficie efectiva desplegada al viento. En esas condiciones, la facilidad de regulación que presenta el molino de viento almeriense frente a los distintos grados de viento se consigue con el sencillo método de desplegar más o menos velas, siempre en número par, o bien disminuir la superficie de las mismas a base de enrollar vela en los palos. Esta capacidad de regulación frente a vientos fuertes resultaba mucho más difícil en un molino dotado de aspas, por la menor superficie de velas que presentaba y por la dificultad que suponía variar la superficie presentada al viento. Teniendo en

cuenta que la potencia desarrollada por el molino es proporcional al cuadrado de la superficie efectiva desplegada al viento, eliminar cuatro velas y dejar el rotor con otras cuatro totalmente desplegadas, supone, para una misma velocidad incidente, disminuir la potencia al veinticinco por ciento.

15. La utilización de un regulador centrífugo como mecanismo de alivio automático es algo que sólo caracteriza a los molinos cartageneros y a los almerienses, dentro del ámbito español.

16. La utilización de la vela latina supone otra evidente ventaja en el molino de viento almeriense, consistente en el aprovechamiento del viento aparente, resultante del viento incidente y del generado por el propio movimiento del rotor. Las velas no planas, como las de los molinos de viento almerienses, gozan de propiedades de autorregulación a la variación de los vientos como consecuencia de su elasticidad.

17. Pese a que la expresión de la potencia aprovechada por el molino de viento es proporcional al cubo de la velocidad del viento incidente, la captación de energía por parte del mismo estaba limitada por construcción. Rara vez se dejaba girar la piedra volandera por encima de 60 rpm, lo que se conseguía, según los cálculos desarrollados para todo el velamen desplegado, vientos de unos 17 nudos. Cuando el temporal de viento provocaba ráfagas de mayor velocidad se tenía que recurrir, como se ha indicado anteriormente, a la disminución de la superficie de velamen.

18. Se ha obtenido una ratio de 0,15 KWh/Kg de cereal molido, lo que implica una *capacidad máxima* de molienda en torno a las cuarenta fanegas diarias utilizando el molino las veinticuatro horas del día, considerando la limitación anterior de 60 rpm en la piedra volandera:

$$\frac{10{,}35\ KW \cdot 24\ horas/día}{0{,}15\ KWh/Kg\ molido} = 1656\ Kg\ molido/día \cong 37\ fanegas/día$$

no obstante, existen testimonios de molineros que, anecdóticamente, aseguran dicha producción e incluso más en alguna ocasión aislada con temporal de viento, con el peligro evidente de rotura de alguno de los mecanismos del molino, cosa que a veces ocurría. Lo más usual era que se *traspuntara* el molino, es decir, que perdiera uno o más dientes de la puntería, o el

desplazamiento del conjunto eje-chapitel, debido sin duda a los excesivos esfuerzos axiales sobre el rotor.

7.4.- DESARROLLOS FUTUROS

Esta Tesis Doctoral acerca de la tipología de los molinos de viento del Campo de Níjar pretende ser el primero de los trabajos dedicados a las tipologías de molinos de viento andaluces, priorizando el estudio de aquellas zonas menos exploradas. Así, la existencia de vestigios en la provincia de Jaén, hace que nos planteemos el estudio a fondo de la tipología de la zona fronteriza con la región castellano-manchega.

También hemos visitado la localidad de El Almendro (Huelva) y Vejer de la Frontera (Cádiz) en busca de ejemplares susceptibles de ser estudiados y de testimonios de molineros que puedan arrojarnos luz sobre la forma de hacer en aquellos ingenios. Sin duda, de la extracción de los datos de campo se podrá llegar a conclusiones sobre el dimensionado de los elementos en las distintas zonas, así como de posibles soluciones mecánicas diferentes que, sin un exhaustivo estudio, pueden pasar desapercibidas y perderse inexorablemente tarde o temprano.

Con esta Tesis Doctoral y los posteriores desarrollos futuros, más o menos inminentes, pretendemos dar a conocer este patrimonio industrial y concienciar, utilizando la difusión que puede proporcionar la tecnología multimedia, a propietarios y gobernantes de la importancia que tuvieron estos ingenios en una comarca dada, en un contexto dado, y la importancia que podría llegar a tener la restauración de los ejemplares mejor conservados, para poder así dejar a las generaciones venideras el testimonio palpable de lo que supone el desarrollo tecnológico de una comarca.

GLOSARIO

ALIVIO: Mecanismo del molino de viento que, a través de la lengüeta y alzapuente, permite controlar la distancia de las piedras para conseguir mayor o menor finura en la molienda. La acción de aliviar consiste en separar las piedras solera y volandera.

ALZAPUENTE: pieza móvil de madera, en cuyo interior se aloja la lengüeta, y cuya finalidad es obtener el perfecto equilibrio de la piedra corredera sobre la solera.

APERADORES: aquellos oficios encargados de restituir y mantener los aperos del molino; entre ellos estaban los carpinteros y los herreros fundamentalmente.

APERGO: con este vocablo se alude a la acción de apergar, es decir, de juntar las piedras solera y volandera.

APOYO DE LOS PARES: anillo de madera, de sección rectangular, situado sobre el telar y en el que se apoyan los pares o costillares del chapitel, que sostienen las tablillas del mismo.

ARBOLADURA: conjunto de palos, velas, vientos, ruedo y escotas.

BALUMA: se denomina así al segundo lado más largo de una vela latina, asimilable al derrame de una vela del molino de viento.

BANCADA: También llamada bancala, es el conjunto de la piedra solera y la obra de yeso y piedra que la sustentaba sobre los marranetes.

BOTALÓN: Cada uno de los palos o aspas del molino de viento.

BUJERO: Agujero practicado en la estera o guardapolvo, por donde salía la harina hacia el harinal.

CAMA DEL MOLINO: hueco realizado en la torre del molino, a la altura del piso superior, de anchura tal que la piedra volandera pudiera caber a la hora de una eventual sustitución o repicado de la misma; éste se realizaba sobre dicho hueco.

CAMARETA: Piso intermedio del molino de viento donde se sitúan los marranetes y se guardan las herramientas y aperos del molino.

CAMÓN: se denomina así a las vigas de madera que refuerzan el telar, tanto en la parte de la fuélliga como en el extremo opuesto, al objeto de sostener el eje (camón del eje) y el palo guía (camón de la guía).

CANALETA: Conducto por el que cae el grano desde la tolva al ojo de la piedra volandera.

CANALILLO: Acanaladura practicada en la piedra rabota al objeto de poder verter por la misma sebo derretido o aceite para la lubricación del extremo posterior del eje.

CAÑA: Ensanchamiento de la parte baja del eje de la linterna, que se acopla a la lavija.

CAR: cabo que sirve para controlar la parte baja de la percha en una vela latina.

CORREAS: viguetas transversales de madera que arriostran los pares o costillares del chapitel

CUELLA: También llamada madre de la cuella. Pieza de madera en la que se sujeta el eje de la linterna por su extremo superior, mediante un trabón.

CHAPITEL: Cubierta cónica y móvil del molino de viento, formada por un entablillado normalmente alquitranado.

DERRAME: se denomina así al segundo lado, en cuanto a longitud, de la vela del molino.

ESCOTAS: Cables utilizados para atar las velas, a través del puño de escota, a los palos, aspas o botalones.

ESTERA: También llamada guardapolvo; pieza de esparto que rodeaba el conjunto volandera-solera para retener la harina.

FAJAS: cada una de las piezas de lienzo o lona que formaban las velas del molino. También la pieza de goma que forra interiormente la llanta del freno.

FÓLLIGA: Cojinete pétreo situado sobre los manzanos y camón de la fólliga en la que apoya la parte delantera del eje del molino de viento.

FRAILE: Pieza cilíndrica de madera que, actuando de clave, corona el chapitel.

GARBILLO: Cedazo con el que se cribaba el grano y se eliminaban las impurezas antes de la molienda.

GATERA: Orificio practicado en las puertas de acceso al molino al objeto de permitir la entrada de gatos que mantuvieran el recinto libre de roedores.

GRÁTIL: lado mayor de la vela latina, anclado a la percha con matafiones; asimilable al palo de una vela de molino de viento.

GUIJO: Extremo redondeado en el que termina el eje de la lavija, que descansa sobre la tacilla.

HARIJA: harina que queda en la estera o guardapolvos que rodea la piedra volandera.

HARINAL: tubo de salida de la harina de la molienda, practicado en la mampostería de la torre y que permite el llenado de los sacos en el piso inferior.

HITOS: También llamados litos o puntos; cada una de las estacas de madera en los que se apoyaba el torno o carretón para hacer girar el chapitel del molino.

HUSILLO: cada uno de los elementos verticales metálicos de la linterna.

JAULA: conjunto formado por la maza, zunchos y husillos que configuran la linterna.

LAÑAS: Grapas de hierro con las que los carpinteros unían trozos de madera de gran espesor.

LAVIJA: soporte situado bajo la caña en la que se encaja la piedra superior o volandera.

LENGÜETA: pieza móvil, de madera o metálica, situada dentro del alzapuente o sopuente, cuyo fin es equilibrar la piedra corredera actuando sobre el soporte del eje de la lavija, la tacilla, que forma parte de la misma.

LINTERNA: pieza que engrana con la rueda de puntería y, a través de su eje, mueve la lavija, o soporte de la piedra volandera.

LLANTA: pieza del mecanismo del freno que abraza la rueda de puntería y que está forrada de goma.

MACHOS: viendo el molino frontalmente, los machos eran el primer par de palos o aspas del molino.

MADRES: cuatro grandes vigas de madera que, entrecruzadas, constituyen el bastidor del telar.

MANZANOS: ocho vigas de madera que configuran, junto a las madres, el entramado del telar.

MAQUINILLO: forma con la que se conocía en el Campo de Níjar el regulador centrífugo con que se lograba el mecanismo de alivio automático.

MARRANETES: cada uno de los dos troncos gruesos, o vigas de madera, que sostienen el peso de las piedras de moler y de todo el conjunto del piso superior del molino de viento.

MATAFIONES: ligadas con las que el lado grátil de la vela latina está anclado a la entena o percha.

MAYAL: fuerte palo que, colocado en el ojo de la piedra volandera, se hace servir de palanca contra la cama del molino.

MAZA: cilindro macizo de madera que constituye el cuerpo de la linterna.

MOLEDERO: conjunto formado por la bancada, piedras solera y volandera, así como el conjunto de guardapolvos y zunchos de las piedras.

MORTERO: con este término se designaba la concavidad realizada en la piedra rabota para alojar el extremo final del eje del molino.

PALAHIERRO: es el eje de la linterna, que la atraviesa con sección circular, y que debajo de la misma adquiere sección cuadrangular; termina en un ensanchamiento denominado caña, que engarza con la lavija.

PALO: con este término se denomina cada uno de los soportes de las velas, también llamados botalones o aspas; también se emplea este término para denominar el mayor de los lados de la vela triangular, precisamente el que se clavaba en los palos, aspas o botalones.

PALO GUÍA: el palo guía o viga, es un gran tronco de madera que desde el fraile, en el que está encastrado, y descansando sobre el camón de la guía, desciende hasta el redondel del molino; moviendo el palo guía se mueve todo el conjunto del chapitel.

PARES: pequeñas vigas de madera que se extienden longitudinalmente desde el fraile hasta el apoyo de los pares, y cuya misión es sostener las tablillas del chapitel.

PECHERA: se denomina así la parte delantera del chapitel, que aloja el eje del molino y la piedra fuélliga.

PERCHA: también llamada entena en el argot marinero, es el palo al cual se ajusta el grátil de la vela latina.

POYACAS: viendo el molino frontalmente, las poyacas son el último par de palos o aspas del molino.

PUJAMEN: el menor de los lados de una vela latina, asimilable a la relinga de la vela del molino de viento.

PUNTAL DEL TELAR: puntal de madera, móvil, que se situaba entre la madre de la cuella y la madre trasera del telar para reforzar el mismo durante la molienda.

PUNTOS: se denomina así a los dientes de la rueda del aire, o rueda de puntería.

PUÑO DE AMURA: confluencia de los lados grátil y pujamen en una vela latina.

PUÑO DE DRIZA: confluencia de los lados grátil y baluma en una vela latina.

PUÑO DE ESCOTA: confluencia de los lados baluma y pujamen en una vela latina.

RABOTA: cojinete pétreo trasero, o piedra trasera en la que descansa el eje del molino.

RADIOS: cuatro tablones de madera que servían de unión entre la rueda de puntería y el eje del molino, debidamente embutidos en este último.

REDONDEL: se denomina así al espacio existente entre la torre del molino y la circunferencia imaginaria que constituyen los hitos o litos.

RELINGA: lado más pequeño de la vela del molino.

RESPALDARES: viendo el molino de frente, los respaldares son el tercer par de palos o aspas.

RIOSTRAS: piezas de madera que arriostraban la rueda de puntería al eje del molino, desde el punto medio entre dos radios.

ROLLIZOS: también llamados rulos; pieza de madera que sostiene a las piedras fuélliga y rabota entre dos manzanos.

RUEDA DE PUNTERÍA: también llamada rueda de viento o del aire, así como rueda catalina; es una rueda dentada dotada de cuarenta puntos o dientes, encargada de transmitir el movimiento a la linterna, a través del engrane puntería-linterna.

RUEDA TERRERA: anillo de madera, de sección rectangular, embutido en la parte superior de la torre del molino; sobre este anillo desliza el conjunto del telar, que a su vez soporta el chapitel.

RUEDO: se denomina ruedo del molino al octógono formado por cables que unen los extremos de los ocho palos o botalones del molino, al objeto de dar rigidez a la arboladura.

SOLERA: denominación que recibe la piedra o muela fija.

SOPUENTE: denominación que, en el Campo de Níjar, se aplica indistintamente al alzapuente y al piso superior.

TABLAZÓN: suelo de la camareta y del piso superior.

TACILLA: pequeño cojinete metálico, que soporta el guijo o extremo del eje de la lavija; se sitúa en la lengüeta.

TELAR: Estructura portante construida a base de vigas de madera denominadas madres y manzanos, malsanos o cabezuelos, y que soportan el peso del sistema de giro horizontal del molino así como el chapitel.

TINANCO: también denominado troje; espacio dedicado al almacenamiento de cereal y sacos vacíos situado bajo el hueco de la escalera en el molino de viento.

TORNO: también denominado carretón; artilugio dotado de una maza y una palanca, utilizado como cabrestante para mover el palo guía del molino a través del redondel, y consecuentemente poder orientar el molino al viento dominante.

TORRE: construcción cilíndrica o troncocónica de mampostería que constituye la parte fija del molino de viento, y que alberga en su interior las distintas estancias así como la escalera de acceso al piso superior.

TORVA: así se denomina a la tolva en el léxico molinero almeriense; es un recipiente de madera, de forma piramidal, truncada, cuadrangular e invertida, y cuya función es la de almacenamiento del grano para verterlo posteriormente, a través de la canaleta, al ojo de la piedra volandera.

TRAVESAÑOS: son los tablones de madera colocados entre dos radios de la rueda de puntería, al objeto de reforzar los mismos y garantizar el perfecto centrado de la puntería respecto al eje del molino.

TRAVIESAS: viendo el molino frontalmente, las traviesas son el segundo par de palos o aspas del molino.

VARA DEL FRENO: palo de madera, situado horizontalmente, que basculando en el balancín acciona el freno del molino.

VENTANA: se denomina así a la/s alacena/s situada/s en el piso inferior del molino, y que se utilizaban para guardar cosas; también en el piso superior existían en número de dos, fundamentalmente para guardar el candil.

VENTANO: pequeña ventana situada en la cama del molino, una vez que su hueco estaba tabicado.

VIENTOS: cada uno de los cables que unían los extremos de los palos o botalones con el extremo anterior del eje del molino.

VOLANDERA: se denomina así a la piedra o muela móvil, también denominada piedra corredera.

BIBLIOGRAFÍA

AGÜERA PAREDES, C. (1998): "Los molinos de viento en la villa de Torre Pacheco (Campo de Cartagena, Murcia)". *Actas de las II Jornadas de Molinología.* Museu de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya, Fundación Juanelo Turriano y Fundació Pública Institut d'Estudis Ilerdencs de la Diputació de Lleida. Tarrasa (Barcelona).

AGÜERA PAREDES, C. (2001): "Rehabilitación del molino de viento en la Diputación Rural de Santa Ana". *Actas de las III Jornadas Nacionales de Molinología.* Consejería de Educación y Cultura de la Región de Murcia. Dirección General de Cultura. Servicio de Patrimonio Histórico. Cartagena (Murcia).

AGUIRRE SORONDO, A. (1988): *Tratado de molinología (Los molinos de Guipúzcoa).* Ed. Eusko Ikaskuntza, Fundación José Miguel Barandiarán. San Sebastián.

ALBERCA MUÑOZ, D. (1998): "Evolución del molino de viento en la historia y su restauración". *Actas de las II Jornadas de Molinología.* Museu de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya, Fundación Juanelo Turriano y Fundació Pública Institut d'Estudis Ilerdencs de la Diputació de Lleida. Tarrasa (Barcelona).

ALONSO ESTRAVÍS, I. (1986): *Diccionario da Lingua Galega.* Athena Edicions, 3 vols. Madrid.

ALONSO GONZÁLEZ, J.M. (1993): *Los molinos tradicionales de la provincia de León.* Ediciones Leonesas. León.

ALVAR, M.; LLORENTE, A.; SALVADOR, G. (1961): *Atlas Lingüístico y Etnográfico de Andalucía.* Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.

ALVAREZ ARECES, M.A. (COORDINADOR) Y OTROS (2001): *Arqueología industrial, patrimonio y turismo cultural.* INCUNA, Asociación de Arqueología Industrial. Gijón (Asturias).

AMEZCUA OGÁYAR, J.M.; ROJAS SOLA, J.I. (2001): "El molino del Pozo de los Frailes en Almería: una propuesta para su recuperación mediante técnicas infográficas". *Actas de las III Jornadas Nacionales de Molinología.* Consejería de Educación y Cultura de la Región de Murcia. Dirección General de Cultura. Servicio de Patrimonio Histórico. Cartagena (Murcia).

AMEZCUA OGÁYAR, J.M.; ROJAS SOLA, J.I. (2002): "Recuperación gráfica e ingenieril del Molino de Viento del Collado en el Campo de Níjar de Almería". *Actas del XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.* INGEGRAF, Dpto. de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica y Universidad de Cantabria. Santander.

ARANDA MERCADER, J.D. (2000): *El dominio del viento.* Caja de Ahorros del Mediterráneo. Cartagena (Murcia).

ARIAS VEGA, F. (1999): "Teoría de cantidad de movimiento. Límite de Betz" en *Principios de conversión de la energía eólica.* CIEMAT, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Madrid.

ASTHON, T.S. (1979): *La revolución industrial.* Fondo de cultura y economía de España. Madrid.

AYALA-CARCEDO, F.J. (COORDINADOR) Y OTROS (2001): *Historia de la Tecnología en España.* Editorial Valatenea, 2 vols. Barcelona.

BAS LÓPEZ, B. (1995): "Recursos y técnicas en los molinos de Galicia. Una síntesis de las tipologías.". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.* Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

BASALLA, G. (1991): *La evolución de la tecnología.* Editorial Crítica. Madrid.

BERMEJO BARÓ. M. (1994): *Mapa eólico nacional: resúmenes energéticos por comunidades autónomas.* Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente. Dirección General de Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.

BOLUFER MARQUÈS, J. (1998): "Els molins de vent del país valencià: Una aproximació". *Actas de las II Jornadas de Molinología.* Museu de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya, Fundación Juanelo Turriano y

Fundació Pública Institut d'Estudis Ilerdencs de la Diputació de Lleida. Tarrasa (Barcelona).

CÁDIZ DELEITO, J.C.; RAMOS CABRERO, J. (1984): *La energía eólica: tecnología e historia.* Hermann Blume. Madrid.

CÁDIZ DELEITO, J.C. (1992): *Historia de las máquinas eólicas.* Tabapress. Madrid.

CAMPS ARMET, C. (1870): *Diccionario industrial (artes y oficios de Europa y América).* 6 volúmenes. Elías y Cía. Barcelona.

CASTAÑEDA, J. (1761): *Compendio de los diez libros de arquitectura de Vitruvio.* Imprenta de don Gabriel Ramírez. Madrid.

CARO BAROJA, J. (1996): *Tecnología popular española. Edición corregida.* Galaxia Gutenberg – Círculo de Lectores. Madrid.

CÓRDOBA DE LA LLAVE, R. (1998): "El instrumental de los molinos hidráulicos andaluces a principios del siglo XVI (provincias de Córdoba y Jaén)". *Actas de las II Jornadas de Molinología.* Museu de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya, Fundación Juanelo Turriano y Fundació Pública Institut d'Estudis Ilerdencs de la Diputació de Lleida. Tarrasa (Barcelona).

CURRY, M. (1979): *Regatas de yates y aerodinámica de la vela.* Editorial Juventud. Barcelona.

DÍAZ DELGADO, M.; ROJAS SOLA, J.I. (2002): "Análisis tipológico y recuperación gráfica de castilletes en la comarca minera de Linares (Jaén)". *Actas del XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.* INGEGRAF, Dpto. de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica y Universidad de Cantabria. Santander.

DOMENE GARCÍA, J; ROJAS SOLA, J.I. (2001): "Estudio histórico de los molinos harineros en el altiplano de Baza". *Actas de las III Jornadas Nacionales de Molinología.* Consejería de Educación y Cultura de la Región de Murcia. Dirección General de Cultura. Servicio de Patrimonio Histórico. Cartagena (Murcia).

DOMENE GARCÍA, J.; ROJAS SOLA, J.I. (2002): "Recuperación gráfica e ingenieril del Molino del Baíco en Baza (Granada)". *Actas del XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.* INGEGRAF, Dpto. de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica y Universidad de Cantabria. Santander.

ESCUTIA, D. (COORDINADOR) Y OTROS (2002): *Euromills: the exhibition*. European Community. Culture 2000 Programme. Rieti (Italia).

FEDUCHI, L. (1997): *Itinerarios de arquitectura popular española (3 volúmenes)*. Blume. Barcelona.

FERNÁNDEZ LAVANDERA, E.; FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, C. (1997): *Los molinos: patrimonio industrial y cultural.* Grupo Editorial Universitario. Granada.

FERNÁNDEZ-LAYOS MIER, J.C. (1988): *Los molinos de La Mancha*. Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos. Temas Toledanos. Diputación Provincial. Toledo.

FORBES, R.J. (1964): *Studies in ancient technology.* Udopfriemer. Leiden.

FORNER, S. (1991): "Arqueología industrial. Concepto, Teoría y Métodos". *Arqueología Industrial (notas para un debate)*. Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga. Málaga.

GIL ALBARRACÍN, A. (1992): *Arquitectura y tecnología popular en Almería.* Griselda Bonet Girabet (GBG). Almería.

GIL ALBARRACÍN, A. (1996): *Atalayas y fortalezas en el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (arquitectura e historia)*. Griselda Bonet Girabet (GBG). Barcelona- Almería.

GONZÁLEZ, J.R.; RUBIO, D.; RODRÍGUEZ, J.I.; MARKALAIN, J. (1995): "Molinos de viento en el occidente catalán". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.* Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

GONZÁLEZ, J.R.; RODRÍGUEZ, J.I.; RUBIO, D. (1998): "Los morinos harineros de viento en Cataluña". *Actas de las II Jornadas de Molinología.* Museu de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya, Fundación Juanelo Turriano y Fundació Pública Institut d'Estudis Ilerdencs de la Diputació de Lleida. Tarrasa (Barcelona).

HERNÁNDEZ ABAD, F.; VILLAR RIBERA, R. (2001): "Recuperación del patrimonio industrial". *Actas del XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.* Dpto. de Expresión Gráfica. Universidad de Extremadura. Badajoz.

HODGE, T. (1991): "Una fábrica romana". *Investigación y Ciencia, nº172, Enero 91.* Prensa Científica. Barcelona.

HUDSON, K. (1976): *The Archeology of industry.* Thames Ed. London.

KRÜGER, F. (1931): "Notas etnográfico-lingüísticas da Póvoa de Varzim". *Boletim de Filología IV*. Lisboa.

LACARRA, J.M. (1977): *Aragón en el pasado.* Espasa. Madrid.

LE GOURIÉRÈS, D. (1983): *Energía eólica: teoría, concepción y cálculo práctico de las instalaciones.* Masson. Barcelona.

LEIVA PALMA, J. (2001): "Principios tecnológicos del molino harinero de cubo". *Revista "Técnica Industrial", núm. 240, marzo 01.* Madrid.

LÓPEZ ÁLVAREZ, J. (1995): "Molinos de mar en Asturias". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.* Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

LÓPEZ GÓMEZ, J.F.; CIFUENTES VÉLEZ, E. (2001): "Molinos, aljibes y norias: la cultura del paisaje en el Cabo de Gata". *Boletín núm. 37 del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico.* Consejería de Cultura. Junta de Andalucía. Sevilla.

MAS, J. (1991): *La Vela Latina, un símbolo de la cultura mediterránea.* Ediciones Mediterráneo. Murcia.

MAZUECOS, R. (1971): "Aclaraciones". *Hombres, lugares y cosas de la Mancha, XXXIV, diciembre 71.* Toledo.

MONTES TUBIO, F.; BURGOS, E.; CARRANZA, M.P. (1998): "Consideraciones geométricas sobre molederos de aceitunas clásicos". *Actas del X Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.* Dpto. de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos. Universidad de Málaga. Málaga.

MONTOYA INGLÉS, J. (2001): *Un maestro "aperaor": Salvador Montoya Garcerán.* Edición propia del autor. Murcia.

MORETTI, P.; DIVONE, L.V. (1986): "Los modernos molinos de viento". *Investigación y Ciencia, núm. 119, agosto 86.* Prensa Científica. Barcelona.

MORÍS MENÉNDEZ-VALDÉS, G. (2001): *Ingenios hidráulicos históricos: molinos, batanes y ferrerías.* Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Asturias y León y Escuela Superior de Ingenieros de Gijón. Oviedo.

ORTIZ SOLER, D. (1995): "La problemática de los molinos hidráulicos. Propuestas de revitalización: un caso concreto en la ribera de los molinos de Huebro. Níjar (Almería)". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.* Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

OUWENEEL, H. (2002): *Op Molenpad in Midden-Brabant*. Hanova Media Productions. Noordhoek (The Netherlands).

PAGOLA, L. (1975): *Regulación automática.* Ediciones ICAI. Madrid.

PROVENÇAL, L. (1932): *L'Espagne musulmane au X^e siecle*. París.

RABASSA OLIVER, B. (1995): "Inventario de los molinos harineros de viento en las Islas Baleares". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.* Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

RABASSA OLIVER, B. (2001): "Los molinos del Jonquet de Palma de Mallorca: su historia y restauración". *Actas de las III Jornadas Nacionales de Molinología.* Consejería de Educación y Cultura de la Región de Murcia. Dirección General de Cultura. Servicio de Patrimonio Histórico. Cartagena (Murcia).

RAMOS, M.D.; CAMPOS, C.; MARTÍN, M.A. (1991): "Introducción al Seminario de Arqueología industrial". *Arqueología Industrial (notas para un debate).* Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga. Málaga.

REYES MESA, J.M. (1998): "Fuerzas motrices aplicadas a los molinos harineros de la provincia de Granada". *Actas de las II Jornadas de Molinología.* Museu de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya, Fundación Juanelo Turriano y Fundació Pública Institut d'Estudis Ilerdencs de la Diputació de Lleida. Tarrasa (Barcelona).

REYES MESA, J.M. (2001): *Evolución y tipos de molinos harineros: del molino a la fábrica.* Edición propia del autor. Granada.

RICHARDSON, A. (1962): *Tratado de molinería.* Editorial Sintes. Barcelona.

ROJAS SOLA, J.I. (1997): *Estudio histórico-tecnológico de molinos y prensas para la fabricación de aceite de oliva. Aplicación al estudio en detalle y reconstrucción gráfica de una prensa de viga y quintal.* Instituto de Estudios Giennenses, Colección Investigación. Jaén.

ROJAS SOLA, J.I.; MONTALVO GIL, J.M. (1999): "Recuperación gráfica de una prensa de viga y quintal del Museo Andaluz del Aceite. Estudios técnicos y conclusiones". *Actas del XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.* INGEGRAF. Universidad de La Rioja y Universidad Pública de Navarra. Logroño-Pamplona.

ROJAS SOLA, J.I.; LÓPEZ CAMPOS, D; ESPINOSA ESCUDERO, M.M. (2001): "Recuperación gráfica e ingenieril de un molino de trigo de accionamiento hidráulico en Valdepeñas de Jaén". *Actas del XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.* Dpto. de Expresión Gráfica. Universidad de Extremadura. Badajoz.

ROMERO GALIANA, C. (1995a): "Los molinos de viento cartageneros, retazos de su historia, funcionamiento, tipología, estado actual y consideraciones ante su problemática restauración". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.* Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

ROMERO GALIANA, C. (1995b): "Cómo muere un molino cartagenero y otras curiosidades molineras de mi tierra". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.* Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

ROMERO GALIANA, C. (1998): "Los molinos de viento en las salinas del Mar Menor". *Actas de las II Jornadas de Molinología.* Museu de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya, Fundación Juanelo Turriano y Fundació Pública Institut d'Estudis Ilerdencs de la Diputació de Lleida. Tarrasa (Barcelona).

SAMPEDRO FERNÁNDEZ, A. (1995): "Campo semántico de molino". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.* Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

SAMPEDRO FERNÁNDEZ, A. (1998): "Léxico molinológico". *Revista Molinum, nº2, Diciembre 98.* Asociación para la Conservación y Estudio de los Molinos (A.C.E.M.). Madrid.

SÁNCHEZ DE LAS HERAS, C. Y OTROS (2001): *El patrimonio industrial en Andalucía.* Junta de Andalucía. Consejería de Cultura. Empresa Pública de Gestión de Programas Culturales. Sevilla.

SÁNCHEZ MOLLEDO, J.M. (1995a): "Evolución de los molinos de viento en la Península Ibérica". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.*

Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

SÁNCHEZ MOLLEDO, J.M. (1995b): "Tecnología del molino de viento". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.* Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

SÁNCHEZ RUIZ, J.F. (1995): "Los molinos del corazón de La Mancha. Alcázar de San Juan". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.* Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

SCHMIDT, C. (1996): *Diderot: L`encyclopédie*. Éditions L`Aventurine. Paris.

SEBASTIÁN MAESTRE, J.A. (1990): "Molinos harineros en Malanquilla, Tabuenca, Torralba de Ribota y Sestrica". *Narria 51-52.* Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.

SEIJÓ ALONSO, F. (1970): *Molinos de viento en tierras de Alicante*. Monografías regionales. Edita el autor. Alicante.

SEVILLA PORTILLO, A. (1986): *Energía eólica: medida y aprovechamiento en Almería.* Colección Investigación. Instituto de Estudios Almerienses. Almería.

TORRES MONTES, F. (1993): *La artesanía, las industrias domésticas y los oficios en el campo de Níjar. Estudio lingüístico y etnográfico.* Colección Humanidades. Instituto de Estudios Almerienses. Almería.

TURRIANO, JUANELO (S. XVI): *Los veintiún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo Turriano. Volumen II.* Editado por la Fundación Juanelo Turriano y Doce Calles en 1996. Madrid.

USHER ABBOT, P. (1941): *Historia de las invenciones mecánicas.* México.

VIGUERAS GONZÁLEZ, M. (1995): "Los molinos de rodezno de Siles, Sierra de Segura (Jaén)". *Actas de las I Jornadas nacionales sobre Molinología.* Fundación Juanelo Turriano, Seminario de Sargadelos y Museo do Pobo Galego. A Coruña.

VILLAR RIBERA, R.; HERNÁNDEZ ABAD, F. (2002): "Estudio y reconstrucción del telégrafo óptico de Agustín de Betancourt". *Actas del XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.* INGEGRAF, Dpto. de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica y Universidad de Cantabria. Santander.

WHITE, L. (1973): *Tecnología medieval y cambio social.* Editorial Paidós. Buenos Aires.

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Molino de viento del Santo Cristo, en Baños de la Encina. 14
2. Clasificación general de los molinos. 17
3. Molienda con mortero de mano. 18
4. Molino de accionamiento humano. 19
5. Mola jumentaria. 20
6. Molino de tracción animal. 20
7. Aceña o molino de río de rueda vertical. 21
8. Molinos harineros de Barbégal. 21
9. Molino de río de rodete horizontal. 22
10. Molino de cubo de presión en Abla, Almería. 22
11. Cárcavo del molino de cubo de Abla, Almería. 22
12. Molino de regolfo. 23
13. Molino de barca. 23
14. Molino de viento de torre. 25
15. Molino de viento de pivote. 26
16. Aneuriom de Herón de Alejandría. 32
17. Molino de oración. 33
18. Molino de viento de Sijistán. 34
19. Molinos de viento de eje vertical en Niyazabad. 35
20. Panémona china o molino de eje vertical y palas de tela. 36
21. Panémona de la región china de Kiangsu.(1902) 37
22. Molino persa de eje horizontal. 38
23. Rueda de cangilones acoplada a un molino de eje horiz.. 38
24. Molino de pivote francés del siglo XIII. 41
25. Molino de torre portugués del siglo XIX. 41
26. Tipologías de molino de viento mediterráneo. 42
27. Molino de rotor fijo. 43
28. Molino mediterráneo, tipología A de Krüger. Cartagena. 44
29. Molino de viento de Mykonos. 44
30. Molino antillano, tipo «portugués». 45
31. Molino de viento de Quintinha, en Santiago do Cacém. 46
32. Vasijas sonoras de un molino portugués. 46
33. Molino portugués, en CabeÇo de Louco. 47
34. Molino de torre, en Cela. 47
35. Molino portugués en Velas, Azores. 48

36. Molino andaluz, provincia de Huelva. 49
37. Molino cartagenero para riego. 50
38. Esquema de molino cartagenero para riego. 50
39. Molino balear de velas. Menorca. 50
40. Molino de pivote. 52
41. Molino de trípode. 52
42. Molino de trípode, en la localidad holandesa de Mierlose. 52
43. Molino búlgaro, híbrido entre europeo y mediterráneo. 53
44. Molino holandés de poste hueco sobre trípode y vivienda 53
45. Molino de viento de torre. Bretaña francesa. 54
46. Molino holandés de torre, sección circular. 54
47. Molino holandés de torre, sección octogonal. 54
48. Molino de torre para bombeo por tornillo de Arquímedes. 55
49. Sistema de orientación automática de Lee. 56
50. Evolución en la tipología de las aspas. 57
51. Molino de viento con sistema de regulación en aspas. 58
52. Esquema de molino de viento holandés con regulador. 59
53. Molineta de viento multipala.(1890) 60
54. Fundamento de un molino de viento. 63
55. Mapa de los molinos de viento en España y Portugal.(1952) 65
56. Mapa de los molinos de viento en España.(1984) 66
57. Mapa de los molinos de viento en España.(1996) 66
58. Molino de viento de Conil de la Frontera. 68
59. Molino de viento de Vejer de la Frontera. 68
60. Molino del Santo. Puebla de Guzmán. 68
61. Molino de viento de Vejer de la Frontera, torre truncada. 68
62. Molino viento de Vejer de la Frontera, torre troncocónica. 68
63. Ruinas del molino de viento Pozo de los Frailes, Almería. 69
64. Molino de viento de Carboneras. 70
65. Linterna en un molino onubense. 72
66. Linterna en un molino almeriense. 72
67. Molino de viento de Vejer de la Frontera.(2003) 73
68. Molino de viento de Arriba, en Aguamarga, Níjar.(2002) 73
69. Molino harinero cartagenero. 74
70. Molino de arcabuces cartagenero. 75
71. Molino salinero de un tímpano. 76
72. Molino salinero de dos tímpanos. 76
73. El molino de viento de Torre Pacheco en restauración. 76
74. Típico molino manchego. 77
75. Fotografía de un molino manchego.(1924) 78
76. Sección de un molino manchego. 78
77. Molino de viento harinero alicantino. 79
78. Distribución de molinos de viento en Valencia. 80
79. Molino de viento de Rojales. 81

80. Torre del molino de viento de La Morana. 82
81. Distribución de los molinos de viento en Vizcaya. 83
82. Fotografía del molino vizcaíno de Azpazar, en Abadiano. 84
83. Fotografía del molino vizcaíno de Aixeder, en Isparter. 84
84. Molino gallego con dos rotores opuestos. 86
85. Molino gallego de torre giratoria. 86
86. Molino de viento balear, con cintell. 87
87. Sistema de tirantes de las aspas de un molino balear. 88
88. Molinar de tres molinos con base en Manacor. 89
89. Molino de viento canario. 90
90. Molino de viento canario sin torre, para bombeo. 91
91. El molino de viento del Collado, en San José. 115
92. Ubicación del molino en el P.N. de Cabo de Gata-Níjar. 122
93. Alzado lateral del molino de viento del Collado. 125
94. Alzado frontal del molino de viento del Collado. 126
95. Esquema de torre de molino almeriense de dos plantas. 126
96. Esq. de torre de molino alm. de dos plantas y camareta 127
97. Detalle de una puerta del molino. 128
98. Detalle de puerta de acceso con gatera. 128
99. Detalle del mecanismo centrífugo de regulación. 129
100. Detalle del harinal. 130
101. Traza de la escalera. Troje o tinanco. 130
102. Cama del molino del Collado. 130
103. Detalle de los marranetes. 131
104. Arcos de medio punto para soportar el moledero. 131
105. Esquema de la situación de la rueda terrera. 132
106. El telar, formado por madres y manzanos. 133
107. Esquema del telar. 134
108. Detalle de las madres del telar. 134
109. Esquema del apoyo de las madres sobre la r. terrera. 135
110. Detalle de un manzano. 135
111. Detalle de la madre de la cuella. 136
112. Esquema del chapitel. 137
113. Detalle del palo guía. 137
114. Detalle de los pares y correas del chapitel. 138
115. Detalle del doble tejadillo en el chapitel y el fraile. 138
116. Las aspas, palos o botalones. 139
117. La piedra fólliga o fuélliga. 140
118. La piedra rabota o rabote. 140
119. Los palos, vientos y parte del ruedo. 141
120. Esquema de la rueda de puntería. 142
121. La rueda de puntería. 143
122. Unión de los radios a la rueda de puntería. 143
123. Esquema lateral de la rueda de puntería. 144

124. Piedra fuélliga del molino del Cambronero. 145
125. Piedra fuélliga sobre el camón del eje. 145
126. La piedra rabota descansa sobre el camón y el rollizo. 146
127. Piedra rabota con uso anterior como fuélliga. 147
128. Esquema de la vela. 148
129. Esquema de la situación de las velas en el molino. 149
130. Engrane de la rueda de puntería con la linterna. 150
131. Detalle de la linterna. 150
132. Detalle del palahierro. 151
133. Detalle de linterna montada sobre el palahierro. 151
134. Esquema de la lavija. 152
135. Detalle de la lavija, con polea para regulador en el eje. 152
136. Detalle de la piedra volandera sobre la solera. 153
137. La bancada y conjunto tacilla-alzapuente-lengüeta 153
138. Piedra volandera. Detalle del picado y del lavijero. 154
139. Detalle de acanaladuras para los rodillos. 155
140. Esquema del alzapuente y la lengüeta. 157
141. Detalle de la lengüeta y alzapuente. 157
142. Detalle de la palanca del alivio. 158
143. Detalle del pivote de la palanca del alivio. 159
144. Detalle del brazo corto de la palanca del alivio. 159
145. Esquema del mecanismo de alivio. 162
146. Esquema del conjunto de la tolva. 163
147. Detalle del interior de una tolva. 164
148. Detalle de la llanta del freno. 165
149. Detalle del amarre de la llanta a las madres del telar. 165
150. Detalle de la vara del freno. 165
151. Detalle del balancín de la vara del freno. 166
152. Esquema del sistema de freno del molino. 166
153. Detalle de un hito. 167
154. Detalle del torno o carretón. 167
155. Esquema del giro del chapitel. 168
156. Detalle de la argolla para las bestias. 169
157. Detalle de la era del molino del Cortijo del Paraíso. 169
158. Restos de horno doméstico. Molino del Collado. 170
159. Modelo sólido del moledero y engrane de la linterna. 179
160. Modelo sólido del conjunto de la rueda de puntería. 179
161. Modelo sólido de la parte delantera de la puntería. 180
162. Modelo sólido de una vista del molino del Collado. 180
163. Modelado 3D en alambres de la piedra fuélliga. 181
164. Modelo sólido de la figura anterior. 181
165. Aplicación de texturas al modelo sólido anterior. 181
166. Imagen de síntesis final, iluminación y sombreado. 182
167. Modelo 3D en alambres de parte posterior de puntería. 183

168. Modelo sólido de la figura anterior. 183
169. Aplicación de texturas. 183
170. Imagen final de síntesis de una vista interior del molino. 184
171. Evolución del rotor persa hasta el Savonius cuatripala. 188
172. Esquema de un rotor Darrieus. 189
173. Perfiles de velocidades del viento según la orografía. 192
174. Efecto de la aceleración del viento sobre las colinas. 192
175. Resultados de la estación automática de Mesa Roldán. 194
176. Medición del viento, equivalente de la velocidad. 196
177. Normas de clasificación de las localizaciones. 197
178. Tubo de corriente de sección A. 199
179. Esquema del tubo de corriente que contiene al rotor R. 200
180. Representación del coeficiente de potencia C_p. 206
181. Velocidades inducidas en la estela. 207
182. Gráfica de evolución del coeficiente de potencia C_p. 210
183. Gráfica de evolución del coeficiente de par C_M. 211
184. Resultados de potencia y par del Molino del Collado. 214
185. Dibujo de un uxer. 221
186. Esquema de una vela latina. 221
187. Comportamiento del velamen de superficie plana. 222
188. Corrientes de aire en la cara de barlovento. 223
189. Esquema de los efectos del viento según el perfil. 225
190. Efecto del viento sobre una vela del molino. 226
191. Esquema del viento aparente en la vela del molino. 227
192. Regulador centrífugo. 228
193. Hueco en la mampostería del molino para el regulador. 229
194. Esquema del montaje del regulador centrífugo. 230

ANEXOS

ANEXO 1

CONTRIBUCIONES TECNOLÓGICAS ESPAÑOLAS A LA MOLINERÍA DE VIENTO

En este anexo, tal y como se recoge en la recapitulación realizada en el capítulo 3, se reproducen dos invenciones de particular interés.

Primeramente aportamos la reproducción de la primera contribución española en el Registro de Privilegios de Invención, es decir, el primer privilegio de invención relacionado con el viento, que data del primer tercio del siglo XIX. Su beneficiario fue D. Antonio Parodí, un vecino de la localidad de Medina Sidonia que, el 21 de abril de 1826 obtuvo la cédula de privilegio por un periodo de diez años. Su expediente es el número 2 en el orden de los de privilegios de invención, y lleva por título "Molino de viento (harinero)". La originalidad que hemos encontrado en la invención de Parodí, radica en el peculiar sistema de orientación que propone.

Realmente se tratan de dos molinos en uno, algo así como un molino con torre giratoria. El molino inferior es de mampostería y dispone de su propio eje motor. El molino superior, de madera, pivota en su conjunto sobre el inferior, y está movido a través de un rotor horizontal formado por velas latinas, curiosamente dibujadas como barcas en el plano que adjuntaba al expediente.

Así, el molino propuesto dispone de dos molederos, independientes para cada molino. La finalidad, según explica Parodí en la memoria que acompaña, no es otra que la orientación automática del molino inferior a través del movimiento de las velas superiores, de forma que el molino inferior o de mampostería quede siempre bien orientado al viento

La segunda invención que se reproduce es ya del último tercio del siglo XIX. Se trata de la patente de invención solicitada por D. Pablo Santandreu, el 31 de agosto de 1881, y que lleva por título "Un molino de viento con regulador automático". Se ha escogido esta patente pues representa el esfuerzo de los inventores españoles por dotar de elementos

tecnológicos de regulación a los modernos rotores multipala o molinetas americanas que se extendían por los campos del país en aquellas fechas.

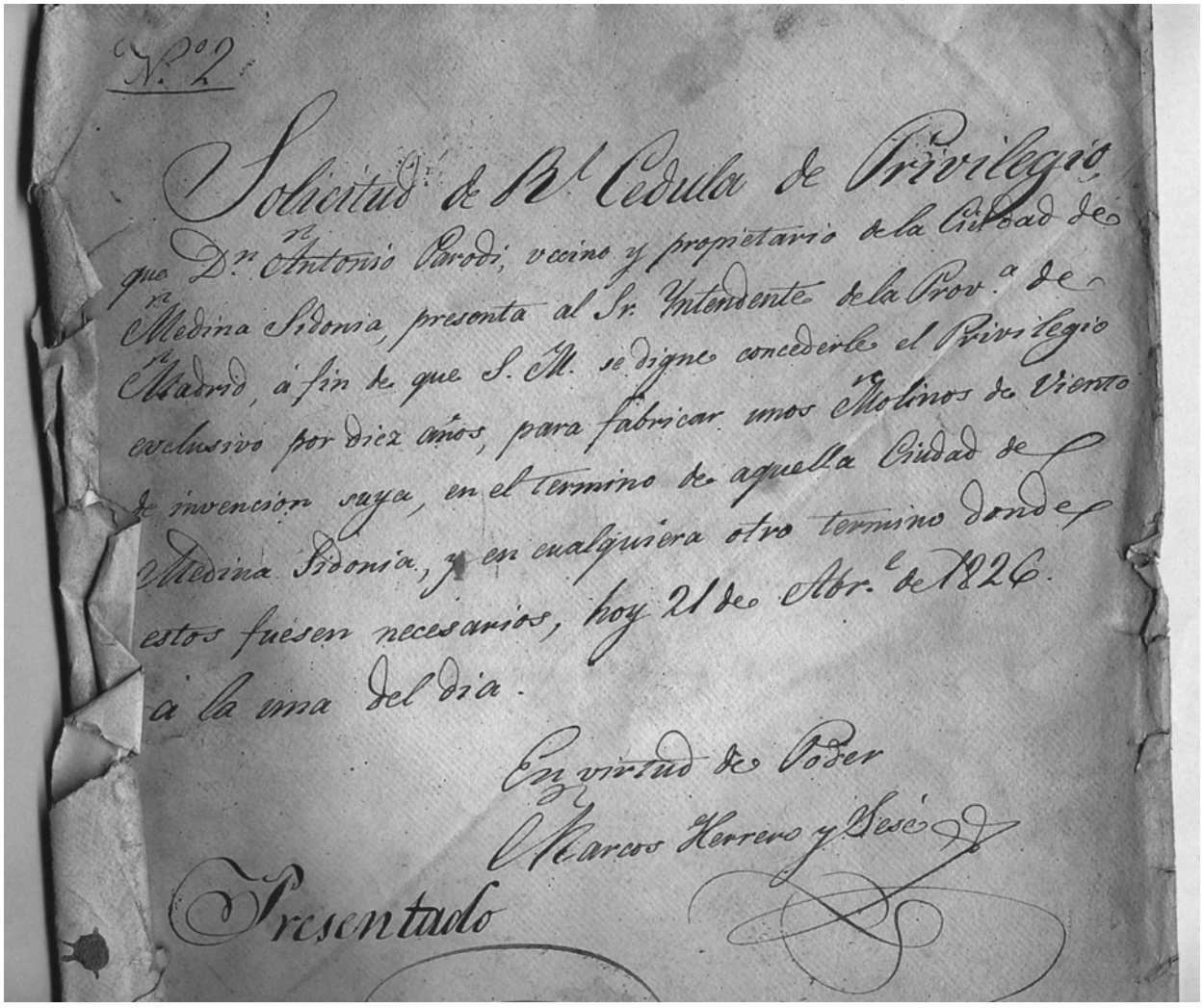
Es conocido que, a finales del siglo XVIII, Meikle introdujo el freno aerodinámico en las aspas de los molinos, como mecanismo regulador de la velocidad ante aumentos bruscos en la velocidad del viento. A partir de esta aplicación surgieron muchas aplicaciones en molinos de hierro, muy utilizados en el ámbito agrícola, para transformar la energía del viento en un movimiento alternativo horizontal para accionamiento de bombas, etc. Pues bien, según Santandreu, un sistema basado en muelles y resortes para lograr lo anterior tienen el inconveniente de la pérdida de elasticidad de los mismos, lo que redunda en una pérdida de eficacia del sistema.

Santandreu propone introducir una masa, cuyo peso es invariable en el tiempo, para soslayar así el inconveniente de pérdida de elasticidad de los flejes o resortes.

A continuación se reproducen las dos invenciones. Como curiosidad, aportamos la carátula del expediente de ambos, así como copia de la memoria descriptiva y del plano que acompaña a la misma.

PRIVILEGIO DE INVENCIÓN CONCEDIDO A D. ANTONIO PARODÍ

Expediente núm.	2
Título	MOLINO DE VIENTO (HARINERO)
Tipo	Privilegio de invención
Duración	10 años
Fecha de solicitud	21 de abril de 1826
Solicitante	PARODÍ, ANTONIO
Clasificación internacional	B02C Trituración ...; molienda de granos
Documentos	Expediente con descripción y plano



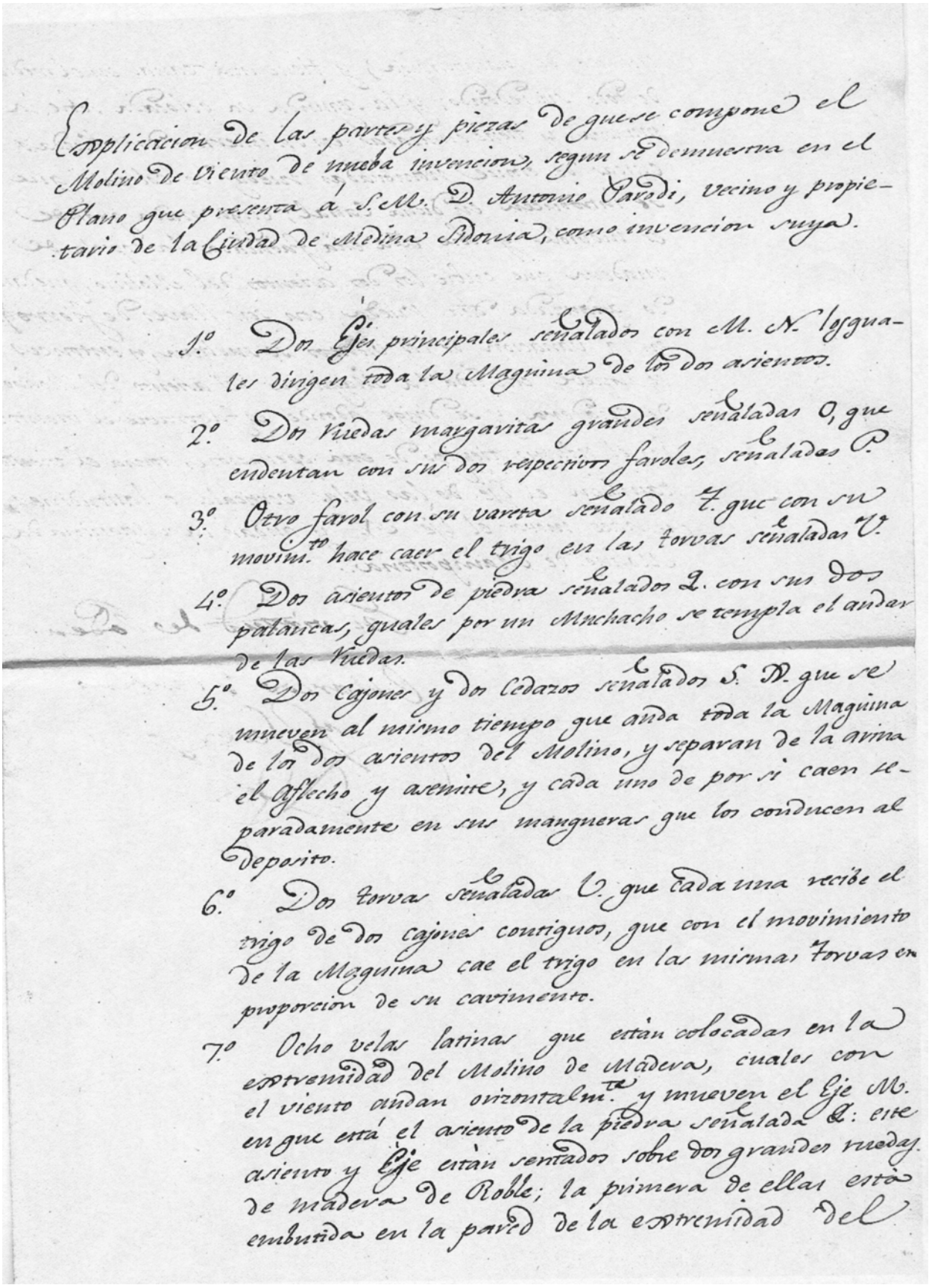
N.º 2.

Solicitud de R.l Cedula de Privilegio

que D.n Antonio Parodi, vecino y propietario de la Ciudad de
Medina Sidonia, presenta al Sr. Intendente de la Prov.a de
Madrid, á fin de que S. M. se digne concederle el Privilegio
exclusivo por diez años, para fabricar unos Molinos de Viento
de invencion suya, en el termino de aquella Ciudad de
Medina Sidonia, y en cualquiera otro termino donde
estos fuesen necesarios, hoy 21 de Abr.l de 1826.
á la una del dia.

En virtud de Poder
Marcos Herrero y Vesio

Presentado



Explicacion de las partes y piezas de que se compone el Molino de viento de nueva invencion, segun se demuestra en el Plano que presenta á S. M. D. Antonio Parodi, vecino y propietario de la Ciudad de Medina Sidonia, como invencion suya.

1.º Dos Ejes principales señalados con M. N. los guales dirigen toda la Maquina de los dos asientos.

2.º Dos Ruedas mayores grandes señaladas O, que engranan con sus dos respectivos faroles, señalados P.

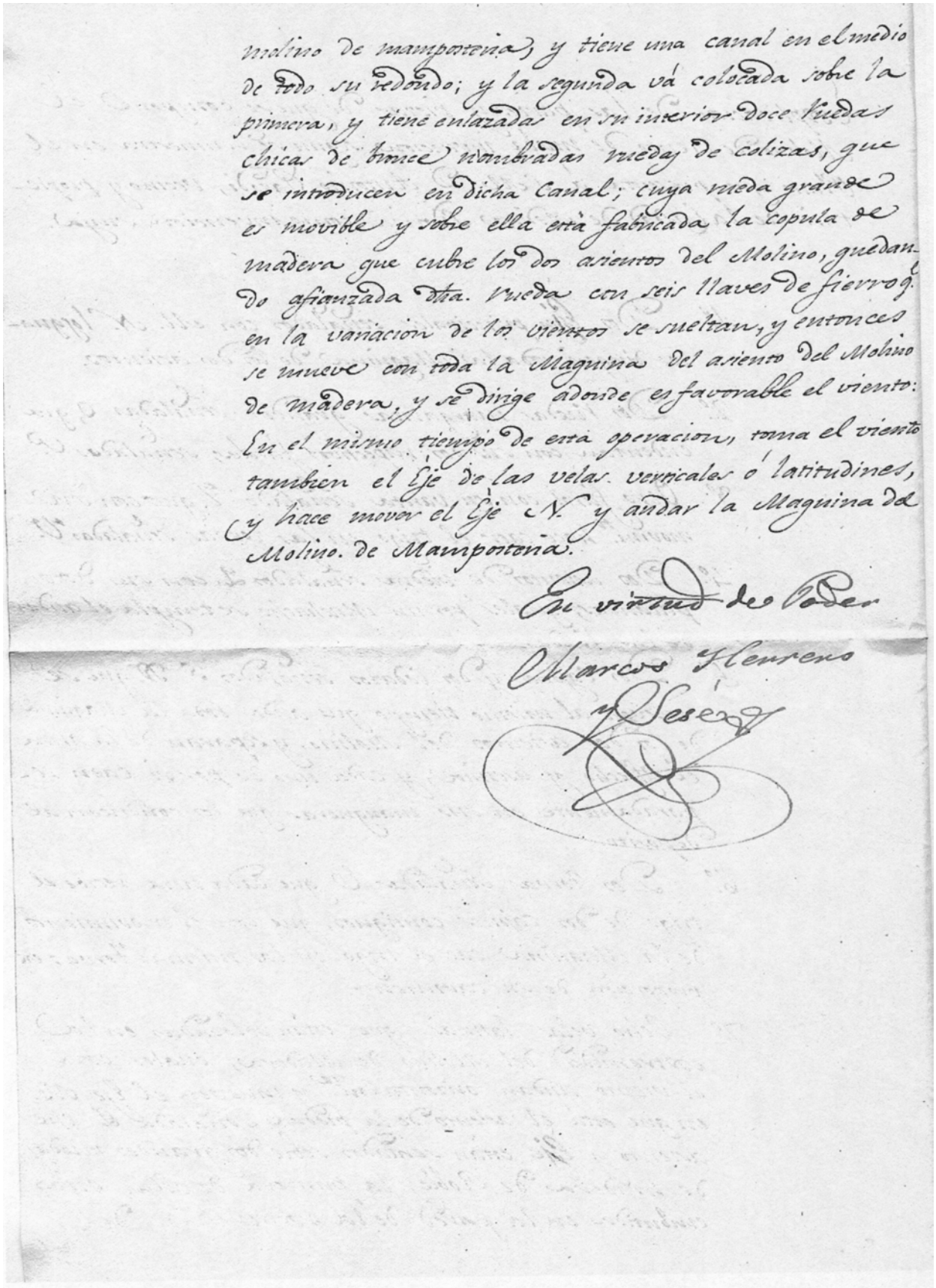
3.º Otro farol con su varra señalado T. que con su movim.to hace caer el trigo en las tolvas señaladas U.

4.º Dos asientos de piedra señalados Q. con sus dos palancas, guales por un Muchacho se templa el andar de las Ruedas.

5.º Dos Cajones y dos Cedazos señalados S. R. que se mueven al mismo tiempo que anda toda la Maquina de los dos asientos del Molino, y separan de la arina el afrecho y asemite, y cada uno de por si caen separadamente en sus mangueras que los conducen al deposito.

6.º Dos tolvas señaladas U. que cada una recibe el trigo de dos cajones contiguos, que con el movimiento de la Maquina cae el trigo en las mismas tolvas en proporcion de su cavimento.

7.º Ocho velas latinas que estan colocadas en la estremidad del Molino de Madera, cuales con el viento andan orizontalm.te y mueven el Eje M. en que está el asiento de la piedra señalada Q: este asiento y Eje estan sentados sobre dos grandes ruedas de madera de Roble; la primera de ellas está embutida en la pared de la estremidad del

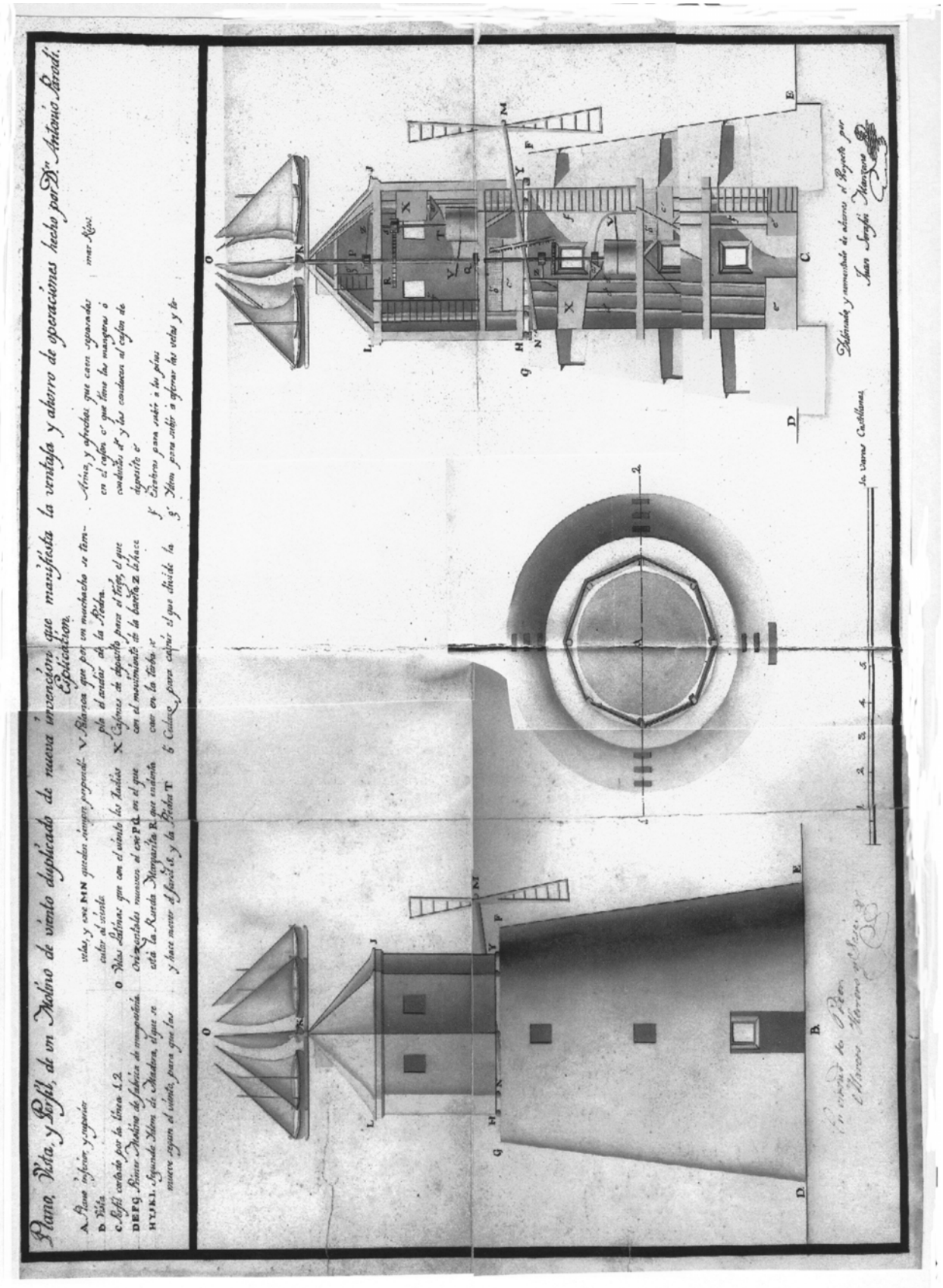


molino de mampostería, y tiene una canal en el medio de todo su redondo; y la segunda vá colocada sobre la primera, y tiene enlazadas en su interior doce ruedas chicas de bronce nombradas rueday de colizas, que se introducen en dicha Canal; cuya rueda grande es movible y sobre ella está fabricada la cupula de madera que cubre los dos asientos del Molino, quedando afianzada dha. rueda con seis llaves de fierro q. en la variacion de los vientos se sueltan, y entonces se mueve con toda la Maquina del asiento del Molino de madera, y se dirige adonde es favorable el viento: En el mismo tiempo de esta operacion, toma el viento tambien el Eje de las velas verticales ó latitudines, y hace mover el Eje N. y andar la Maquina del Molino. de Mampostería.

En virtud de Poder

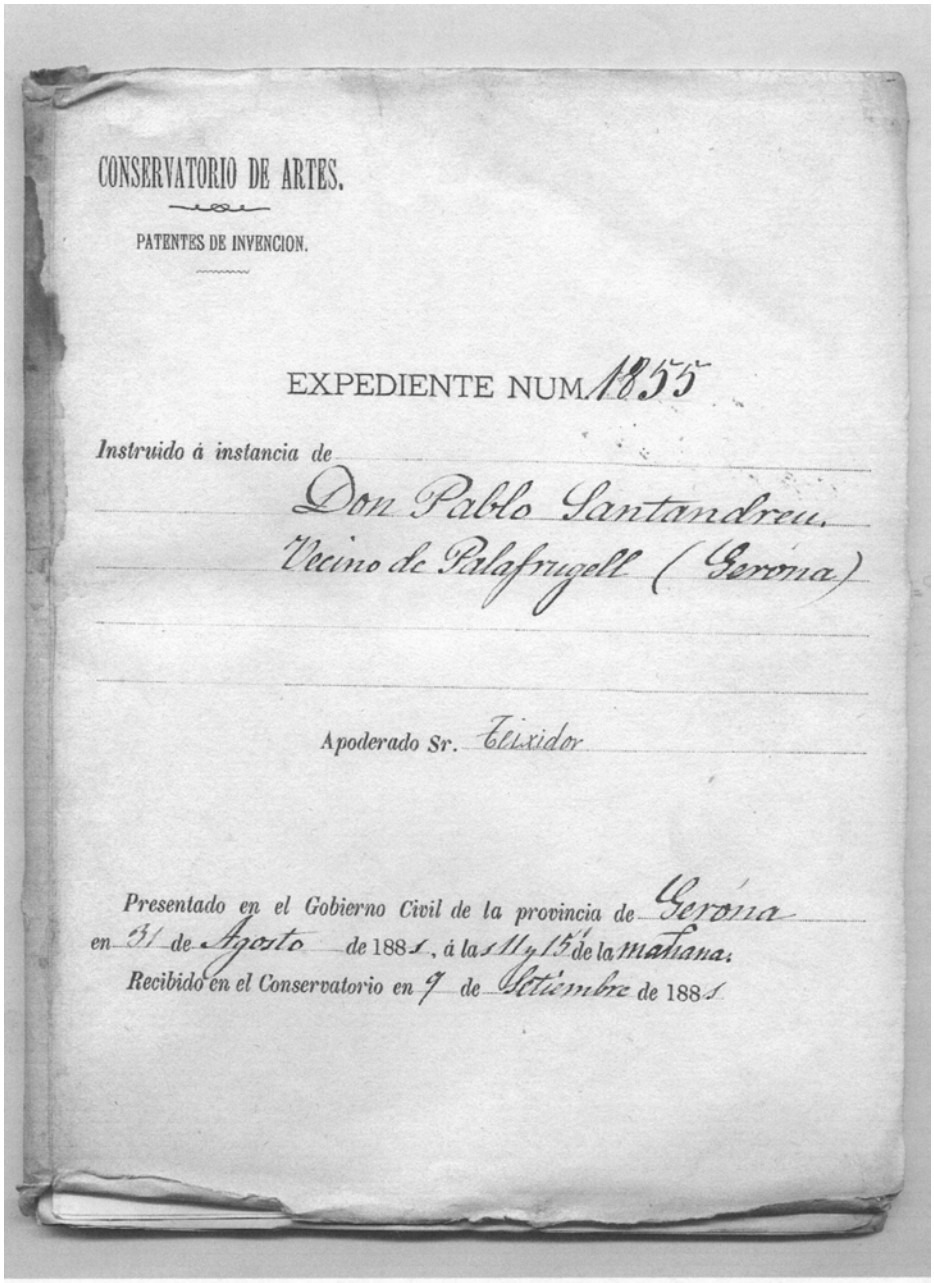
Marcos Herrero

y Sesé


Plano, Vista, y Perfil, de un Molino de viento duplicado de nueva invencion que manifiesta la ventaja y ahorro de operaciones hecho por Dn Antonio Lavedi.
Explicacion.
A. Plano inferior, y superior
B. Vista
C. Perfil cortado por la linea 1.2.
DEFg. Piezas Molino de fabrica de mampostia.
HIJKL. Segunda Molino de Madera, dque se mueve sigun el viento, para que las
velas, y que MN guarden siempre proporcion entre si viento
O Velas Latinas que con el viento las Antias
Circunferencia nuevas de que EFPL en el que está la Rueda Mayquina R que andando y hace mover el farol S y la Rueda T
V. Piezas que por un machacho se fijan al aviar de la Rueda.
X. Cabezas de apuntio para el Topo, el que con el movimiento de la Rueda Z hace
b. Cabeza para coger el que divide la
Aviva, y afrechas que caen separadas en el cajon c° que lleva las maquinas ó conducion a° y las conduces al cajon de deposito c°
Escobens para subir a los pisos
Hilos para subir a ofrecer las velas y de-
mas Aperos
Delineado y numerado de orden de Superior por Juan Sevilla Manzano
Varas Castellanas

PATENTE DE INVENCIÓN DE D. PABLO SANTANDREU

Expediente núm.	1855
Título	UN MOLINO DE VIENTO CON REGULADOR AUTOMÁTICO
Tipo	Patente de invención
Duración	20 años
Fecha de solicitud	31 de agosto de 1881
Solicitante	SANTANDREU, PABLO
Clasificación internacional	F03D Motores de viento



CONSERVATORIO DE ARTES.

PATENTES DE INVENCION.

EXPEDIENTE NUM 1855

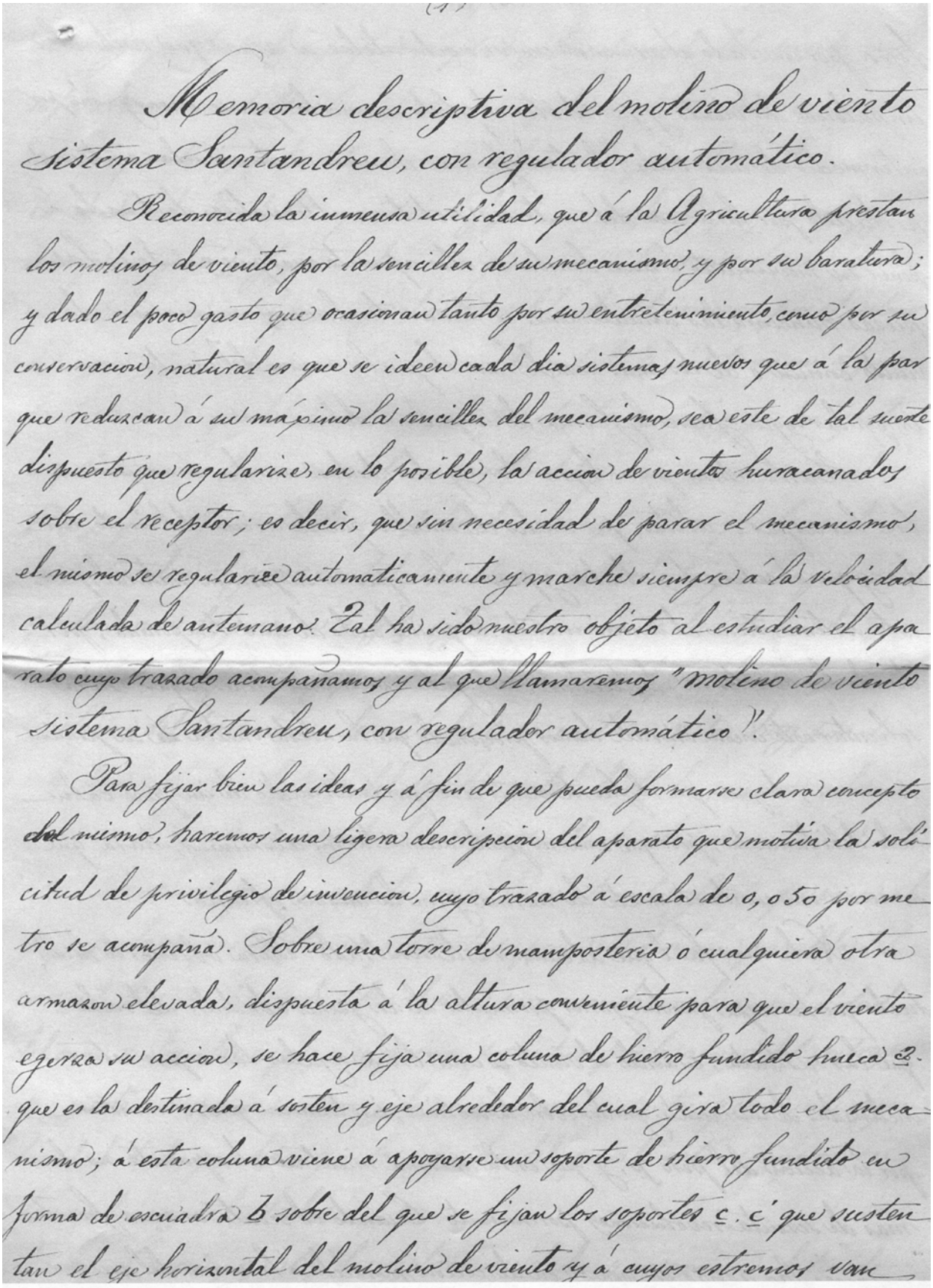
Instruido á instancia de

Don Pablo Santandreu.

Vecino de Palafrugell (Gerona)

Apoderado Sr. Elixidor

Presentado en el Gobierno Civil de la provincia de Gerona
en 31 *de* Agosto *de* 188 1 *, á las* 11 y 15 *de la* mañana.
Recibido en el Conservatorio en 9 *de* Setiembre *de* 188 1



Memoria descriptiva del molino de viento sistema Santandreu, con regulador automático.

Reconocida la inmensa utilidad, que á la Agricultura prestan los molinos de viento, por la sencillez de su mecanismo, y por su baratura; y dado el poco gasto que ocasionan tanto por su entretenimiento, como por su conservacion, natural es que se ideen cada dia sistemas nuevos que á la par que reduzcan á su mínimo la sencillez del mecanismo, sea este de tal suerte dispuesto que regularice, en lo posible, la accion de viento huracanado, sobre el receptor; es decir, que sin necesidad de parar el mecanismo, el mismo se regularice automaticamente y marche siempre á la velocidad calculada de antemano. Tal ha sido nuestro objeto al estudiar el aparato cuyo trazado acompañamos y al que llamaremos "molino de viento sistema Santandreu, con regulador automático".

Para fijar bien las ideas y á fin de que pueda formarse clara concepto del mismo, haremos una ligera descripcion del aparato que motiva la solicitud de privilegio de invencion, cuyo trazado á escala de 0,050 por metro se acompaña. Sobre una torre de mamposteria ó cualquiera otra armazon elevada, dispuesta á la altura conveniente para que el viento egerza su accion, se hace fija una columna de hierro fundido hueca a. que es la destinada á sosten y eje alrededor del cual gira todo el mecanismo; á esta columna viene á apoyarse un soporte de hierro fundido en forma de escuadra b sobre del que se fijan los soportes c. c' que sustentan el eje horizontal del molino de viento y á cuyos estremos van

fijos, por un lado el armazon con sus ocho aletas ú aspas que reciben la impulsion del viento y por el otro el plato manivela que se encargará, por intermedio de una biela, de transformar el movimiento circular continuo producido por la accion del viento, en rectilineo alternativo, destinado á poner en movimiento á una bomba ú otro aparato cualquiera. Si á las piezas mencionadas añadieramos el timon, tendriamos un molino de viento comun ó de los mas usados, en el que la accion del viento seria irregular segun fuese la fuerza de impulsion del mismo.

Hasta ahora para lograr la regularidad se acudia á accionar sobre las aspas ó aletas, por medio de muelles que la accion del viento tendia y que al ceder este, obraban y ponian las aspas en su posicion natural; pero, este sistema tiene el inconveniente de que al cabo de una temporada, perdiendo los resortes su elasticidad, la regularizacion no tiene lugar. Para solventar este inconveniente hemos procurado que la aleta vuelva á su posicion primera, despues que el fuerte viento cese, por intermedio de un peso calculado debidamente, peso que como no puede aumentar ni disminuir, hará que su accion sea constantemente la misma y con la misma eficacia

Nada mas facil que al canzar este resultado. Para obtenerlo hemos hecho que las aspas puedan girar por medio de dos goznes alrededor del radio r que las sustenta; cuando el viento es una brisa regular las aspas estan inclinadas de unos veinte grados sobre la vertical, inclinacion que se mantiene por la accion del peso p, y que es la misma mientras el aparato no dé mas de sesenta revoluciones por minuto. Cuando el viento es mas fuerte, entonces las aspas se ponen en direccion paralela á la accion del mismo

disminuye por tanto la superficie receptora y la velocidad del aparato no sufre alteracion notable. Cuando cesa la impetuosidad del viento, es cuando nuestro aparato regulador debe obrar ó sea plegar las aspas. Para ello en el punto d de cada una de las aspas, viene á fijarse una cadenita que pasando por unas poleas guias f, fijan en el armazon que sustenta las aspas, hacen que las ocho cadenas vengan á pasar por el interior del cubo del armazon, por el interior del soporte c' y se fijen á un travesaño en dos mitades 2; á este vienen á parar dos tirantes t, que debidamente guiados por otro travesaño 2' y por los soportes c y c'' se convierten en uno solo en 2', sobre del que egerze su accion el peso p por intermedio de una polea de canal p'. Para que las cadenas no se enreden al girar con todo el sistema, se ha hecho que las piezas que les sirven de guia en c' y 2, sigan el movimiento de rotacion del eje horizontal del aparato, y para que cuando acciona el peso el movimiento de traslacion del travesaño en dos mitades 2 sea en linea recta, hay practicada una ranura á lo largo del eje horizontal, dentro la que corre el manguito guia de las cadenas, por medio de su correspondiente clavija.

De suerte que, cuando la accion del viento es tan fuerte que vence al peso p, las aspas se abren y por tanto se ponen en direccion paralela á la corriente de aire, haciendo subir al peso; pero, cuando cesa la impetuosidad del aire, vuelven las aspas á su posicion primitiva por la accion del contrapeso p; y esto se verifica siempre y de una manera constante; y con una regularidad tal, que hace que la marcha del aparato esté siempre en las condiciones calculadas.

Creemos que con las esplicaciones dadas y un examen detenido

del dibujo. bastará para formarse idea clara del aparato y concepto de aquellos pequeños detalles que hayamos omitido.

El aparato cuyo dibujo acompañamos es el de mayores dimensiones de los tres tipos que pensamos construir tan luego obtengamos el privilegio; dimensiones que sin afectar en nada al sistema, variaran segun la fuerza que quiera obtenerse y segun tambien el emplazamiento de que se disponga: de todos modos, su coste no será éscesivo y calculamos que, á lo sumo, el de mayores dimensiones importará unas mil pesetas.

Palafrugell 20 de Agosto de 1881.

Pablo Santandreu

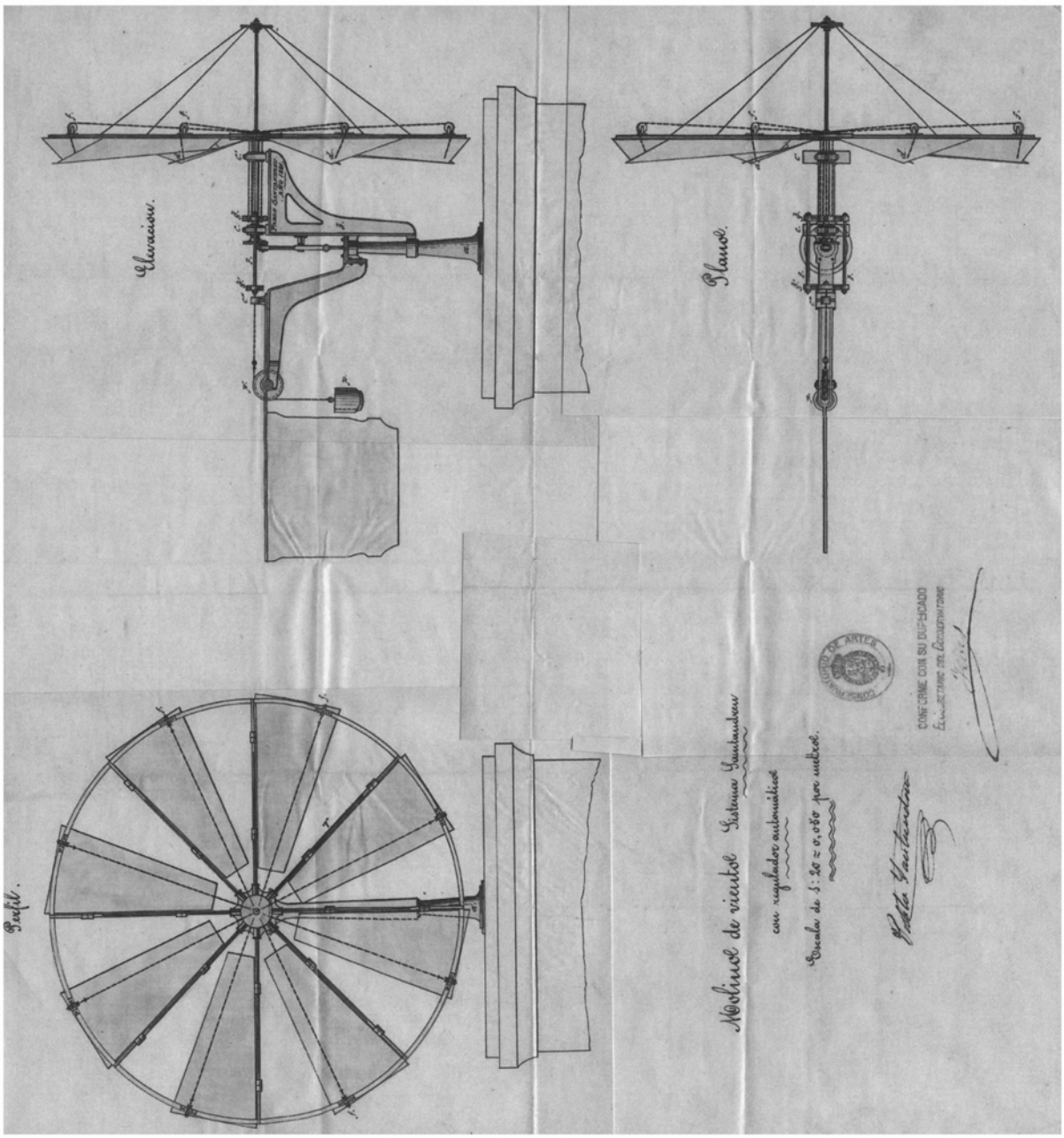
Nota_ Se pide patente de invencion para un molino de viento sistema Santandreu, con regulador automático.

P.P. Franco Felipe

CONSERVATORIO DE ARTES

DILIGENCIA. CONFRONTADA ESTA MEMORIA CON SU DUPLICADO RESULTAN CONFORMES ENTRE SÍ MADRID 12 DE Mayo DE 1881

EL SECRETARIO DEL CONSERVATORIO


Perfil.
Elevacion.
Planta.
Molinos de viento Sistema Zambrano
con regulador automático
Escala de 1:20 = 0,050 por metro.
CONFORME CON SU DISPUESTO

ANEXO 2

INVENTARIO DE MOLINOS DE VIENTO EN EL CAMPO DE NÍJAR

En este anexo, tal y como se recoge en la recapitulación realizada en el capítulo 4, se detalla el inventario de molinos de viento existente en el Campo de Níjar. Todos los molinos de viento que aparecen en el mismo, están dentro del extenso término municipal de Níjar, salvo el molino de Carboneras y el molino de la Fragüilla. En cualquier caso los hemos incluido por pertenecer a la tipología y distar menos de cinco kilómetros de los límites del término municipal.

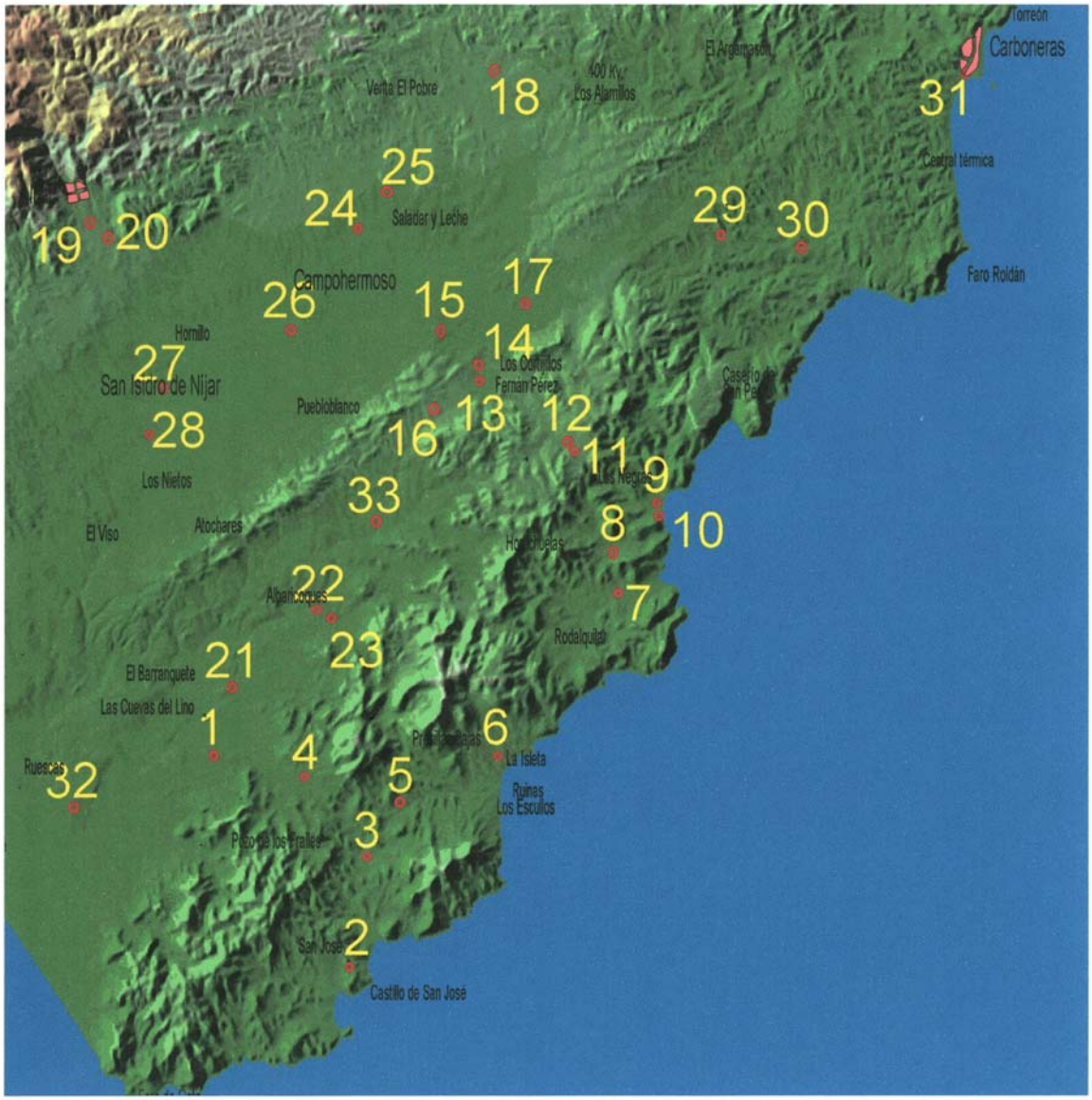
Este inventario es fruto de continuas visitas a la zona y de la orientación que los dos molineros colaboradores, Francisco Ortiz y Ramón Gil, han ido dándonos sobre posibles localizaciones y accesos a los mismos, muchos de ellos a través de pistas de tierra. En cuanto a la nomenclatura del molino, deriva de la conocida por los lugareños, y suele hacer alusión a su antiguo dueño, a veces al nombre de la cortijada en que se ubica, e incluso al nombre del lugar geográfico.

Hemos localizado treinta y tres molinos de viento. El estado es ruinoso en casi todos ellos, salvo el molino del Collado, objeto del estudio en esta Tesis Doctoral, y el molino de Arriba, en Aguamarga, cuyo estado de la maquinaria nos ha permitido resolver dudas acerca del funcionamiento de estos ingenios.

Dado el elevado número de molinos, los expondremos a continuación mediante una pequeña ficha numerada, en que se recoge la localidad o pedanía de Níjar donde se encuentra enclavado, el nombre popular del molino, las coordenadas UTM recogidas mediante tecnología GPS, la altura a nivel de la puerta del molino situada más al sur, así como un apartado de observaciones donde se recogen las particularidades que presenta cada ejemplar. Dada la escasez de espacio, sólo se ha considerado mostrar una fotografía por ejemplar, que proporciona una idea del estado actual de los mismos.

La numeración señalada en cada una de las fichas es la que aparece en el mapa que se presenta a continuación. En este mapa, a escala 1:200000, hemos situado todos y cada uno de los treinta y tres molinos existentes en el Campo de Níjar, a través de sus coordenadas UTM, mediante un punto en color rojo. Junto a cada punto aparece en amarillo el número de inventario o número de identificación del molino que coincide con el número de la ficha que lo describe.

El equipo empleado para la obtención de las coordenadas ha sido un aparato portátil marca MAGELLAN, modelo GPS-315, utilizando como referencia de coordenadas UTM WGS84 Huso 30.



Mapa de la distribución de los molinos de viento inventariados en la comarca natural del Campo de Níjar. Escala 1:200000. *Elaboración propia.*

1	Lugar: **RUESCAS**		
Denominación:	**MOLINO DEL CAMBRONERO**		
X: 574812	**Y:** 4074669	**Alt.:** 86m	
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Regulador centrífugo. Marranetes.			

2	Lugar: **SAN JOSÉ**		
Denominación:	**MOLINO DEL COLLADO**		
X: 579042	**Y:** 4068327	**Alt.:** 58m	
Observaciones: Molino de viento de dos pisos. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Regulador centrífugo. Marranetes.			

3	Lugar: **POZO DE LOS FRAILES**		
Denominación:	**MOLINO DEL POZO DE LOS FRAILES**		
X: 579567	**Y:** 4071565	**Alt.:** 58m	
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Arcos de medio punto en lugar de marranetes.			

4	Lugar: **BOCA DE LOS FRAILES**	
Denominación: **MOLINO DE LA BOCA DE LOS FRAILES**		
X: 577580	**Y:** 4073933	**Alt.:** 115m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Corral anexo. Marranetes. Era circular de 20 m diámetro.		

5	Lugar: **LOS ESCULLOS**	
Denominación: **MOLINO DE LOS CORTIJOS GRANDES**		
X: 580680	**Y:** 4073201	**Alt.:** 69m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Regulador centrífugo. Marranetes. Readaptado como vivienda.		

6	Lugar: **ISLETA DEL MORO**	
Denominación: **MOLINO DEL CORTIJO DEL PARAÍSO**		
X: 583715	**Y:** 4074610	**Alt.:** 28m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa de molinero. Horno doméstico. Regulador centrífugo. Marranetes. Era circular de 6 m diámetro.		

7	Lugar: **RODALQUILAR**		
Denominación: **MOLINO DE LA ERMITA O DE LA UNIÓN**			
X: 587466	**Y:** 4079458	**Alt.:** 59m	
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Regulador centrífugo. Marranetes.			

8	Lugar: **LAS HORTICHUELAS**		
Denominación: **MOLINO DE CARLOS**			
X: 587306	**Y:** 4080731	**Alt.:** 100m	
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Marranetes. Readaptado como vivienda.			

9	Lugar: **LAS NEGRAS**		
Denominación: **MOLINO DE LA TORRE**			
X: 588643	**Y:** 4082161	**Alt.:** 0m	
Observaciones: Molino de viento que nunca tuvo maquinaria y por tanto nunca llegó a funcionar.			

10	Lugar: **LAS NEGRAS**	
Denominación: **MOLINO VIEJO O DE LOS MÉNDEZ**		
X: 588654	**Y:** 4081904	**Alt.:** 37m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Regulador centrífugo. Marranetes.		



11	Lugar: **LAS HORTICHUELAS**	
Denominación: **MOLINO DE CORTIJADA DE BORNOS I**		
X: 586080	**Y:** 4083743	**Alt.:** 266m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Marranetes. Era circular de 15 m diámetro. Readaptado como vivienda.		



12	Lugar: **LAS HORTICHUELAS**	
Denominación: **MOLINO DE CORTIJADA DE BORNOS II**		
X: 586076	**Y:** 4083771	**Alt.:** 263m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Marranetes. Readaptado como almacén. Junto al anterior nº 11.		



13	Lugar: **FERNÁN PÉREZ**	
Denominación: **MOLINO DE MANUEL GIL**		
X: 583008	**Y:** 4085873	**Alt.:** 213m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Regulador centrífugo. Marranetes.		



14	Lugar: **FERNÁN PÉREZ**	
Denominación: **MOLINO VIEJO O DEL TÍO FRASCO MOTA**		
X: 583060	**Y:** 4086253	**Alt.:** 200m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Regulador centrífugo. Marranetes.		



15	Lugar: **FERNÁN PÉREZ**	
Denominación: **MOLINO DEL CORTIJO DE GARILLOS**		
X: 581866	**Y:** 4087385	**Alt.:** 202m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Regulador centrífugo. Marranetes.		



16	Lugar: **FERNÁN PÉREZ**		
Denominación: **MOLINO DEL CORTIJO DE LA TÓRTOLA**			
X: 581625	**Y:** 4084997	**Alt.:** 235m	
Observaciones: Molino de viento de configuración desconocida. Junto a cortijada. Readaptada a vivienda.			



17	Lugar: **BALSA BLANCA**		
Denominación: **MOLINO DE BALSA BLANCA O GARCÍA**			
X: 584544	**Y:** 4088197	**Alt.:** 188m	
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Marranetes.			



18	Lugar: **VENTA DEL POBRE**		
Denominación: **MOLINO DE LA FRAGÜILLA**			
X: 583574	**Y:** 4095181	**Alt.:** 238m	
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Regulador centrífugo. Marranetes.			



19	Lugar: **NÍJAR**	
Denominación:	**MOLINO DE VAQUERO**	
X: 570893	**Y:** 4090644	**Alt.:** 302m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Marranetes.		



20	Lugar: **NÍJAR**	
Denominación:	**MOLINO DEL ¿HUALÍS?**	
X: 571402	**Y:** 4090199	**Alt.:** 280m
Observaciones: Molino de viento de configuración desconocida. Readaptado a una antigua discoteca de verano.		



21	Lugar: **LOS NIETOS**	
Denominación:	**MOLINO DE LOS MATÍAS**	
X: 575331	**Y:** 4076685	**Alt.:** 89m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Regulador centrífugo. Marranetes.		



22	Lugar: **LOS ALBARICOQUES**	
Denominación: **MOLINO DE ARRIBA O DE LOS JURADO**		
X: 578094	**Y:** 4078989	**Alt.:** 127m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Regulador centrífugo. Marranetes.		



23	Lugar: **LOS ALBARICOQUES**	
Denominación: **MOLINO DE ABAJO O DE PURA VARGAS**		
X: 578227	**Y:** 4078901	**Alt.:** 125m
Observaciones: Molino de viento de configuración inicial desconocida, transformado mediante electrificación del mismo. Acceso imposible.		



24	Lugar: **SALADAR Y LECHE**	
Denominación: **MOLINO DEL BERMEJO**		
X: 579269	**Y:** 4090384	**Alt.:** 167m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Regulador centrífugo. Marranetes.		



25	Lugar: **SALADAR Y LECHE**		
Denominación:	**MOLINO DE LAS PALAS**		
X: 580083	**Y:** 4091511	**Alt.:** 164m	
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Marranetes. Readaptado a sala de bombas de una balsa.			



26	Lugar: **SAN ISIDRO**		
Denominación:	**MOLINO DE LOS MOLEROS**		
X: 577167	**Y:** 4087376	**Alt.:** 155m	
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Marranetes. Readaptado como vivienda.			



27	Lugar: **SAN ISIDRO**		
Denominación:	**MOLINO DE LOS PIPACES**		
X: 573219	**Y:** 4085624	**Alt.:** 127m	
Observaciones: Molino de viento de configuración inicial desconocida que ha sido incorporado a una vivienda como dependencia de la misma.			



28	Lugar: **BALSA SECA**	
Denominación: **MOLINO DEL CRUCE O DE BALSA SECA**		
X: 572828	**Y:** 4084264	**Alt.:** 104m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Regulador centrífugo. Marranetes.		



29	Lugar: **AGUAMARGA**	
Denominación: **MOLINO DE ARRIBA O DE ORTIZ**		
X: 590602	**Y:** 4090205	**Alt.:** 127m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Regulador centrífugo. Marranetes. Buen estado de chapitel.		



30	Lugar: **AGUAMARGA**	
Denominación: **MOLINO DE ABAJO O DE TORRECILLAS**		
X: 593183	**Y:** 4089783	**Alt.:** 80m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Horno doméstico. Marranetes.		



31	Lugar: **CARBONERAS**	
Denominación:	**MOLINO DE VIENTO**	
X: 598253	**Y:** 4095058	**Alt.:** 26m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a casa del molinero. Regulador centrífugo. Marranetes. En pleno casco urbano.		



32	Lugar: **PUJAIRE**	
Denominación:	**MOLINO DE LA LOMA**	
X: 570497	**Y:** 4073080	**Alt.:** 34m
Observaciones: Molino de viento inaccesible al estar en plena pista de pruebas de Michelin, en Pujaire.		



33	Lugar: **LOS MARTÍNEZ**	
Denominación:	**MOLINO DE LOS MARTÍNEZ**	
X: 579839	**Y:** 4081685	**Alt.:** 158m
Observaciones: Molino de viento de dos pisos y camareta. Junto a cortijada. Horno doméstico. Arcos de medio punto en lugar de marranetes.		



ANEXO 3

PUBLICACIONES RELACIONADAS

En este anexo se recogen las aportaciones a congresos de carácter nacional e internacional, basadas en los trabajos preliminares de esta Tesis Doctoral. Para ello se adjuntan las primeras páginas de dichas contribuciones en las actas de los congresos correspondientes.

La aportación a un congreso nacional se realizó durante la celebración de las III Jornadas Nacionales de Molinología, del 10 al 13 de octubre de 2001, en la localidad de Cartagena. La ponencia llevaba por título *"El molino del Pozo de los Frailes en Almería: una propuesta para su recuperación mediante técnicas infográficas"*.

Las aportaciones a congresos internacionales han sido dos. La primera de ellas, durante la celebración del XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, del 5 al 7 de junio de 2002, en Santander. La ponencia se titulaba *"Recuperación gráfica e ingenieril del molino de viento del Collado en el Campo de Níjar (Almería)"*.

La segunda aportación, durante la celebración del XIII ADM – XV INGEGRAF Congreso Internacional sobre Herramientas y Métodos en Diseño de Ingeniería, del 3 al 5 de junio de 2003, en las localidades italianas de Casino, Napoli y Salerno. La ponencia llevaba como título *"Recuperación infográfica del molino de viento de Arriba, en Aguamarga, Comarca de Níjar, Almería (España)"*.

III Jornadas de Molinología

EL MOLINO DEL "POZO DE LOS FRAILES" EN ALMERÍA: UNA PROPUESTA PARA SU RECUPERACIÓN MEDIANTE TÉCNICAS INFOGRÁFICAS.

EL MOLINO DEL "POZO DE LOS FRAILES" EN ALMERÍA: UNA PROPUESTA PARA SU RECUPERACIÓN MEDIANTE TÉCNICAS INFOGRÁFICAS.

Autores

JUAN MANUEL AMEZCUA OGÁYAR
Ingeniero Industrial
Profesor Ayudante de la Universidad de Jaén

JOSÉ IGNACIO ROJAS SOLA
Dr. Ingeniero Industrial
Profesor Titular de la Universidad de Jaén

Amezcua Ogáyar, Juan Manuel.
Rojas Sola, José Ignacio.

Universidad de Jaén.
Grupo de Investigación: INGENIERÍA GRÁFICA Y SOFTWARE EDUCATIVO.
http://www.ujaen.es/investiga/igyse/index.html

Escuela Politécnica Superior. Avenida de Madrid, 35. 23071 – Jaén.
E-mail: jirojas@ujaen.es; Tfno: 953. 002. 452; Fax: 953. 002. 420

Palabras clave: molino de viento, infografía, arqueología industrial, patrimonio industrial.

INGEGRAF

XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica

Santander, España – 5-7 junio de 2002

RECUPERACIÓN GRÁFICA E INGENIERIL DEL MOLINO DE VIENTO DEL COLLADO EN EL CAMPO DE NÍJAR (ALMERÍA)

Juan Manuel Amezcua Ogáyar (1), José Ignacio Rojas Sola (2)

(1)Universidad de JAÉN, España
Escuela Politécnica Superior, Departamento de Administración de Empresas, Contabilidad y Sociología
Correo electrónico: jamezcua@ujaen.es

(2)Universidad de JAÉN, España
Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos
Correo electrónico: jirojas@ujaen.es

RESUMEN

Las técnicas infográficas han supuesto un avance revolucionario en la recuperación del patrimonio industrial, con o sin fines museísticos. Con el modelado de las máquinas que intervienen en el proceso de producción es posible analizar los parámetros de funcionamiento de las mismas y obtener conclusiones a cerca de sus códigos de diseño y posible optimizaciones. Se trata de un trabajo de arqueología industrial. El Molino de viento objeto que aquí se presenta se encuentra abandonado, y se está realizando una labor que permitirá "rehabilitarlo" virtualmente. La infografía realizada permitirá al visitante recorrer las dependencias previamente a la visita real. De esta forma, comprenderá el proceso de fabricación de la harina, lo que le permitirá en la visita posterior sobre el terreno apreciar mejor todo el complejo.
La metodología seguida, ha sido el diseño y modelado de todo el complejo, es decir, de todos sus componentes así como del edificio, para dotarles de animación posteriormente. Se trata de un trabajo original de investigación fruto de una Tesis doctoral en curso en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Palabras clave: Molino de Viento, Arqueología Industrial, Modelado, Animación, Recuperación de Patrimonio Industrial.

ABSTRACT

The computer has supposed a revolutionary advance in the recovery of the industrial patrimony. With the modeling of the machines that they intervene in the production process it is possible to analyze the parameters of operation of the same ones and to obtain conclusions to near their design codes and possible optimizations. It is a work of industrial archaeology. The Mill of wind object that here is presented it is abandoned, and he/she is being carried out a work that will allow to rehabilitate it virtually. The carried out work will allow the visitor to travel the dependences previously to the real visit. This way he will understand the process of production of the flour, what will allow him in the later visit on the land to appreciate the whole complex better.
The followed methodology, it has been the design and modeling of the whole complex, that is to say, of all their components as well as of the building, to endow them later on of animation. It is an original work of investigation fruit of a Doctoral Thesis in course in the Superior Polytechnic School of Jaén.

Key words: Mill of Wind, Industrial Archaeology, Modeling, Animation, Recovery of Industrial Heritage.

XIII ADM - XV INGEGRAF
Congreso International sobre

HERRAMIENTAS Y METODOS EN DISEÑO DE INGENIERÍA

Cassino, 3 de Junio del 2003
Napoli, 4 y 6 de junio del 2003
Salerno, 5 de junio del 2003

Recuperación infográfica del molino de viento de Arriba, en Aguamarga, Comarca de Níjar, Almería (España)

Amezcua Ogáyar, J.M.[(1)], Rojas Sola, J. I. [(2)]

[(1)] Universidad de Jaén, España
Escuela Politécnica Superior. Área de Organización de Empresas
e-mail:jamezcua@ujaen.es

[(2)] Universidad de Jaén, España
Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos
e-mail:jirojas@ujaen.es

SUMARIO

Hoy día, las técnicas de infografía suponen una herramienta esencial para la recuperación y difusión del patrimonio industrial, dentro de los trabajos de arqueología industrial. Mediante el modelado de la maquinaria que interviene en los distintos procesos de producción es posible el análisis de los parámetros de funcionamiento de la misma y así obtener conclusiones acerca de sus códigos de diseño y fabricación.
El molino de viento que se presenta, denominado popularmente "Molino de Arriba", se encuentra en la localidad almeriense de Aguamarga; su estado actual es de semiabandono, presentando un aspecto exterior magnífico, si bien el interior se encuentra muy deteriorado. Mediante la recuperación infográfica, se pretende "rehabilitarlo" de forma virtual: el visitante virtual podrá recorrer sus camaretas y observar la maquinaria en funcionamiento, por lo que podrá hacerse una idea de la molienda en este tipo de molinos.
La metodología seguida consiste en el diseño y modelado de todo el conjunto del molino de viento, es decir, de todos sus componentes y maquinaria así como del edificio que lo alberga, para dotarles posteriormente de animación. Se trata de un trabajo original de investigación fruto de una Tesis Doctoral en curso en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Palabras clave: Molinos de Viento, Arqueología Industrial, Modelado, Animación, Recuperación del patrimonio industrial.

ABSTRACT

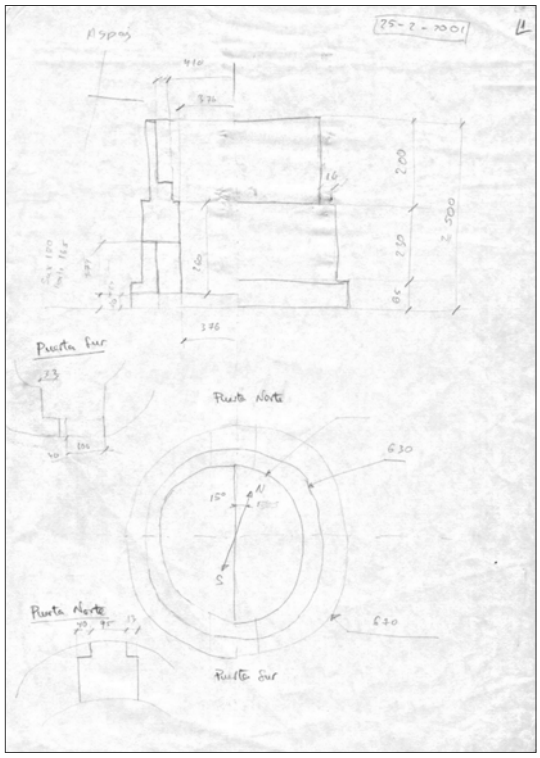
Nowadays, the infographic techniques suppose an essential tool for the recovery and diffusion of the industrial heritage, inside the works of industrial archaeology. By means of the modeling of the machinery that intervenes in the different production processes it is possible the analysis of the parameters of operation of the same one and this way to obtain conclusions about their design codes and production.
The wind mill that is presented, denominated 'molino de arriba', since in the town in that it is (Aguamarga) it existed other more below and near to the sea, it is at the moment in disuse and abandoned, presenting a magnificent external aspect, although the interior is very deteriorated. By means of infographic techniques, it seeks to become rehabilitated it in a virtual way: the virtual visitor will be able to travel its dependences and to observe the machinery in operation, for what will be been able to make an idea of this type of mills.

ANEXO 4

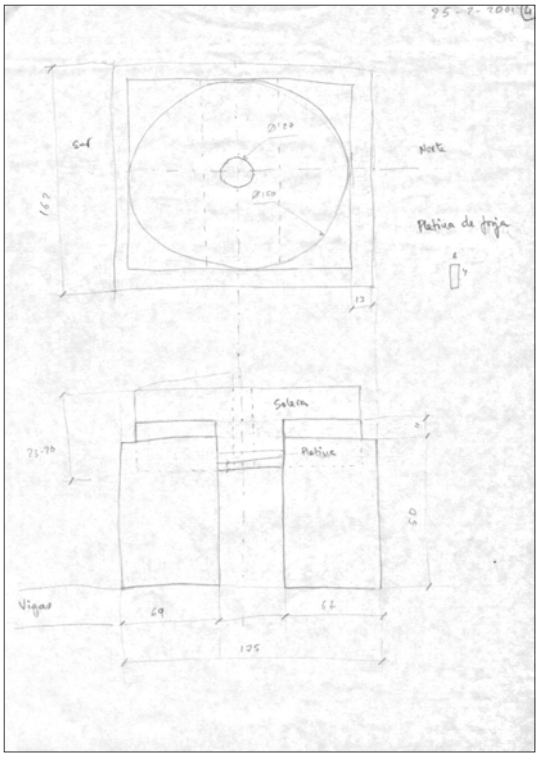
CROQUIS Y FOTOGRAFÍAS

En este anexo se recogen algunos croquis de los más de veinticinco tomados in situ en el molino del Collado durante la ejecución del trabajo de Campo. En ellos nos hemos basado para la realización de posteriores esquemas de funcionamiento de la tipología de molino de viento almeriense y para la reconstrucción gráfica, cuyo resultado se plasma en los planos generados y que se adjuntan en el Anexo 5 de esta Tesis.

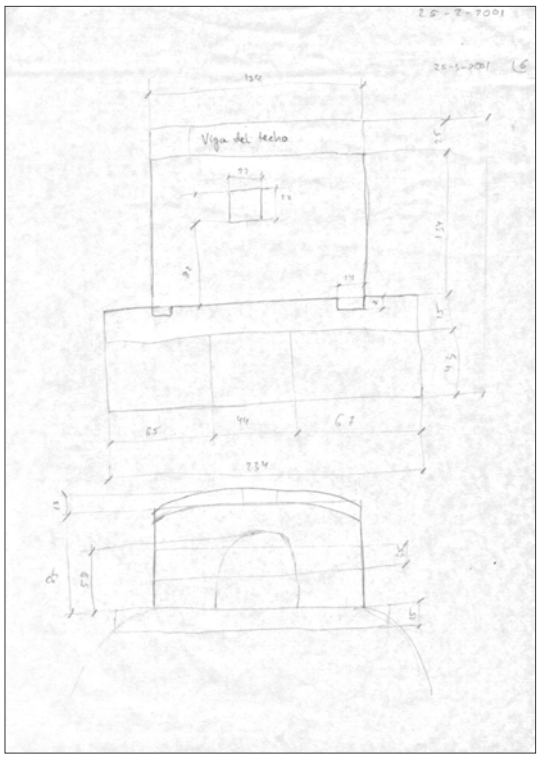
También se incluyen una serie de fotografías que forman parte del reportaje realizado en el molino del Collado, y que no han sido utilizadas en la descripción del molino realizada en el capítulo 4.



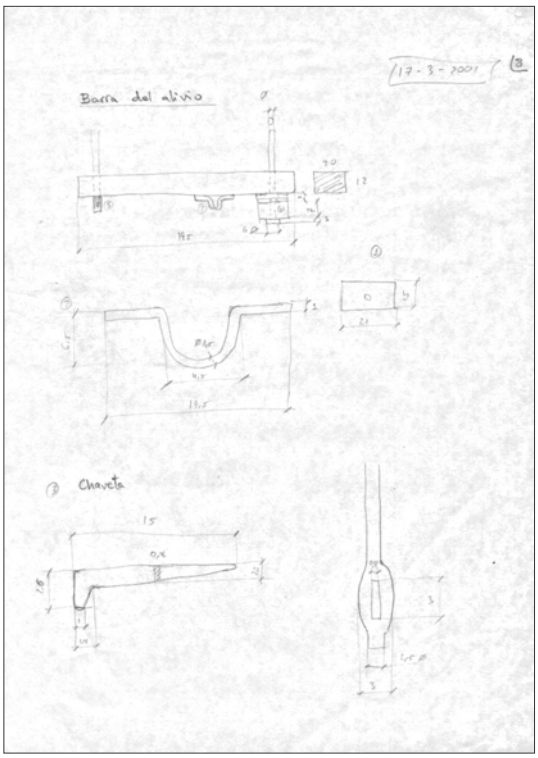
Croquis nº1: Planta, alzado y puertas del edificio del molino (25/02/01).



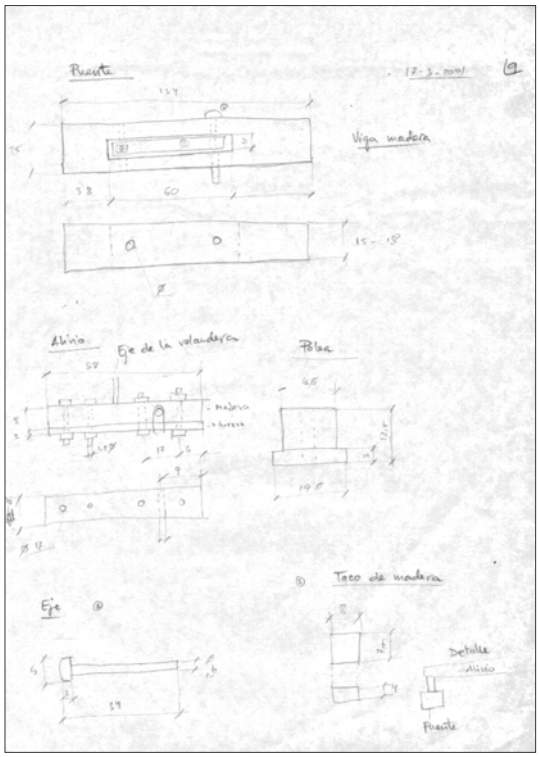
Croquis nº4: Moledero (25/02/01).



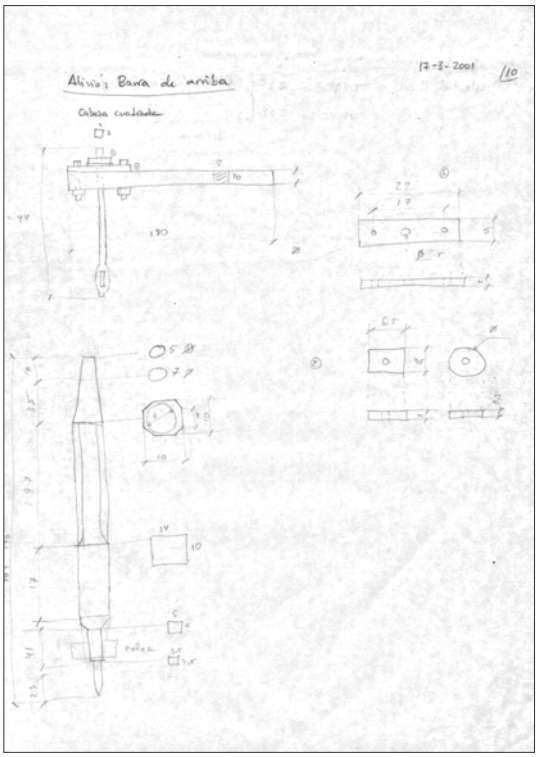
Croquis nº6: Cama del molino y ventano (25/02/01).



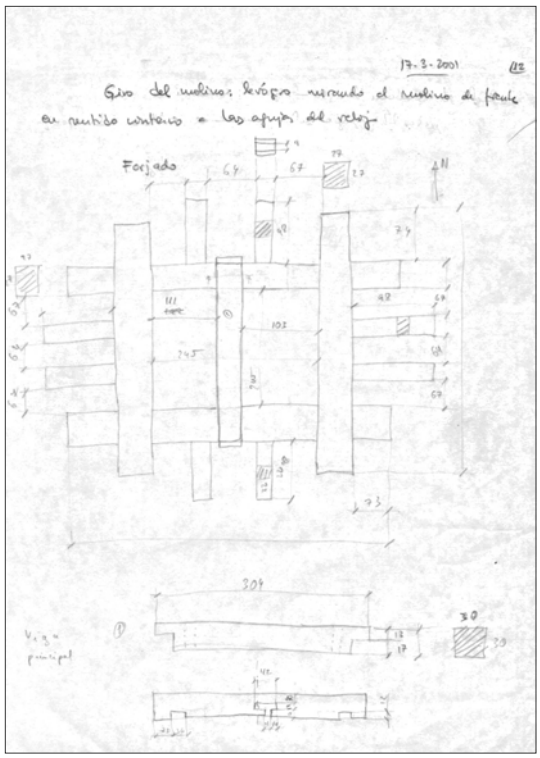
Croquis nº8: Palanca del alivio y detalles chaveta y pasador (17/03/01).



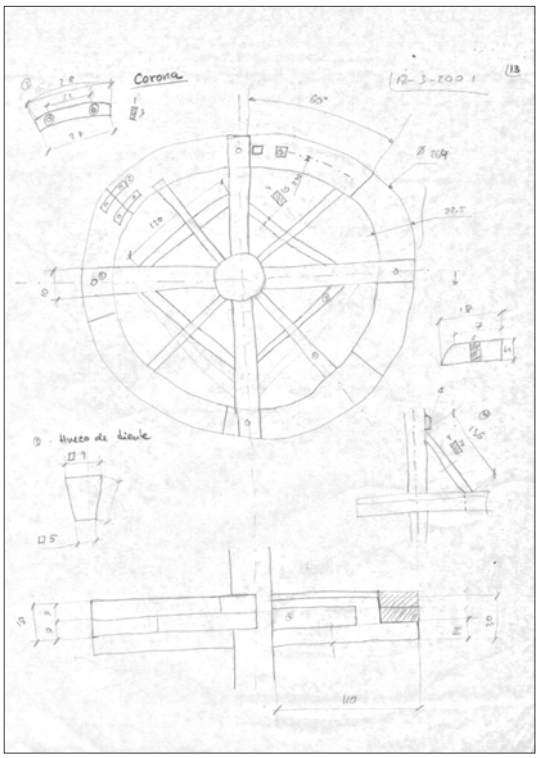
Croquis nº9: Alzapuente, lengüeta y mecanismo alivio (17/03/01).



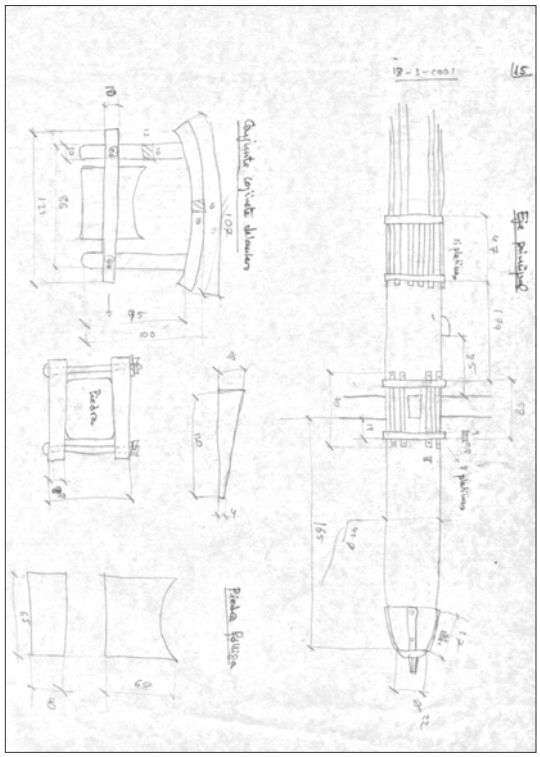
Croquis nº10: Palanca del alivio y detalles palahierro (17/03/01).



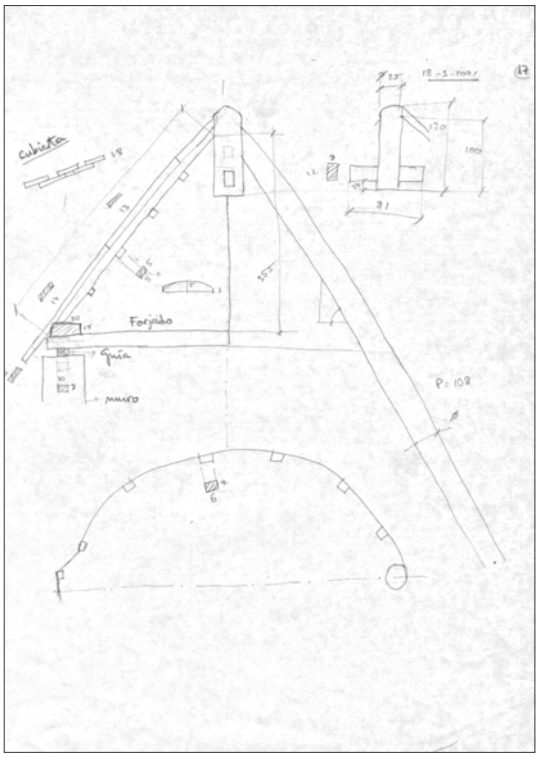
Croquis nº12: Telar, madres y manzanos; madre de la cuella (17/03/01).



Croquis nº13: Rueda de puntería, radios, riostras y travesaños (18/03/01).



Croquis nº15: Eje principal y fuélliga (18/03/01).



Croquis nº17: Chapitel, fraile y palo guía (18/03/01).



Detalle del ventano del tabique de la cama del molino, bajo el chapitel.



Enfoscado del exterior del molino a base de mortero y cal.



El molino junto a los restos de la casa del molinero. En primer término, el horno.



Puerta noreste del molino. El marco y la puerta han sido expoliados.



El doble entablillado del chapitel. El palo guía forma parte de su estructura hasta el fraile.



Esquema del regulador centrífugo dibujado sobre una de las paredes del molino.



Del botalón cuelga un cable del ruedo y un viento.



Imagen de la rueda de puntería. Se aprecian los radios y los travesaños.



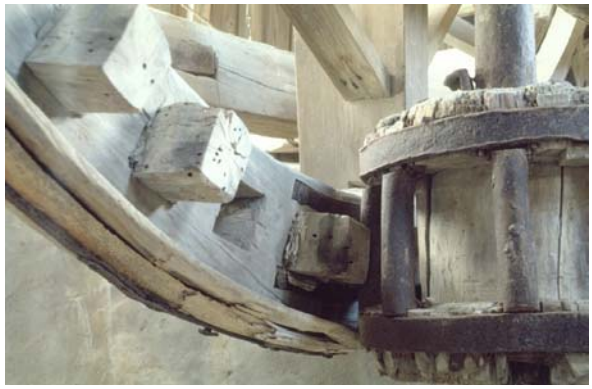
La rueda de puntería desde el piso inferior. Se aprecian las riostras hasta el eje.



Vista del engrane entre la rueda de puntería y la linterna Al fondo, hueco para el candil.



Detalle del buen estado general de la puntería.



El eje gira en sentido levógiro desde el frontal del molino, que corresponde al sentido dextrógiro de la rueda catalina desde la linterna.



Detalle de la linterna y su sujeción, mediante cuñas metálicas, al palahierro.



Detalle de las piedras y bancada desde el telar. La escalera original está demolida.



El eje, reforzado con zunchos y pletinas de acero a la altura de los radios.



Detalle de la escalera y tinanco o troje. Molino de Manuel Gil. Fernán Pérez.



Silueta del Molino del Collado, de San José, al atardecer.

ANEXO 5

PLANOS

Nº PLANO	DENOMINACIÓN	ESCALA
1	Vistas exteriores del molino del Collado de San José	1:120
2	Secciones del edificio del molino del Collado de San José	1:75
3	Perspectivas isométricas de las secciones del edificio del molino del Collado de San José	1:75
4	Perspectivas isométricas del exterior del molino del Collado de San José	1:100
5	Perspectiva isométrica estallada del sistema de rotación de eje horizontal	1:50
6	Perspectiva isométrica estallada del sistema de rotación de eje vertical	1:25
7	Plano de despiece 1/4	1:25
8	Plano de despiece 2/4	1:12
9	Plano de despiece 3/4	1:12
10	Plano de despiece 4/4	1:25
11	Perspectivas isométricas de los conjuntos de mecanismos	1:50

Para visionar los planos haga doble clic sobre el icono de los mismos y vaya avanzando página a página en el visor de windows:



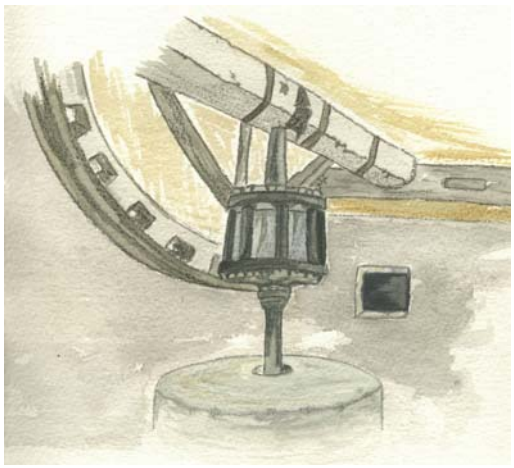
Planos_tesis.tif

ANEXO 6

ANIMACIONES INFOGRÁFICAS

Portada del CD conteniendo las infografías

ESTUDIO HISTÓRICO-TECNOLÓGICO DE LOS MOLINOS DE VIENTO DEL CAMPO DE NÍJAR. APLICACIÓN AL ESTUDIO EN DETALLE Y RECONSTRUCCIÓN GRÁFICA DEL MOLINO DEL COLLADO.



JUAN MANUEL AMEZCUA OGÁYAR
SEPTIEMBRE, 2003

Este CD-Rom contiene dos clips de video en formato MPEG-1.

El primero de ellos, titulado "Paseo virtual estático", presenta una visita virtual de unos tres minutos al molino del Collado tal y como estaba en el verano de 2001, a excepción de las velas, que en número de cuatro se introdujeron en el modelo para lograr un mayor realismo.

El segundo clip, titulado "El Molino del Collado en movimiento", representa una evolución del anterior, con todos los aditamentos en cuanto a

mecanismos y maquinaria, y dotado de movimiento con una velocidad típica del régimen permanente de molienda, de 10 rpm en el rotor. Se aprecia la evolución en el diseño de las velas, según recopilábamos información acerca de su forma y tamaño, así como el hecho de que el molino ya está dotado de todos aquellos elementos (tolva, barra del alivio, velas, etc.) que contenía aunque realmente le falten en la actualidad.

Para el visionado de ambos clips a través del reproductor multimedia de Windows, basta con realizar un doble clic en el icono correspondiente.


"Paseo virtual estático.mpg"


"El Molino del Collad en movimiento.mpg"