



# EVOLUCIÓN DE UNA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

## *El molino de viento*

*Grado en Fundamentos de la Arquitectura  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura*

*Alba Guarinos Ferrer*

*Convocatoria: Octubre 2019*

*Tutoras: Ana Isabel Almerich Chulia  
Jésica Moreno Puchalt*

*2019/2020*



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA

*Evolución de una tipología estructural  
El molino de viento*



Fig 1

## ● RESUMEN

Los molinos forman parte de una arquitectura sencilla que ha ido evolucionando según los conocimientos y necesidades que han ido apareciendo tras los tiempos. Esta arquitectura se caracteriza además de por su función energética o de trabajo, por su durabilidad y estabilidad de los elementos que los componen.

A través de un estudio, se analiza los inicios y la evolución de esta tipología arquitectura, tanto por su estructura como por su funcionalidad.

**Palabras clave:** Molino, eficiencia energética, viento, arquitectura vernácula, aerogenerador.



Fig 2

## ● RESUM

Els molins formen part d'una arquitectura senzilla que ha anat evolucionant segons els coneixements i necessitats que han anat apareixent després dels temps. Aquesta arquitectura es caracteritza a més de per la seua funció energètica o de treball, per la seua durabilitat i estabilitat dels elements que els componen.

A través d'un estudi, s'analitza els inicis i l'evolució d'aquesta tipologia d'arquitectura, tant per la seua estructura com per la seua funcionalitat.

**Palabras clave:** Molí, eficiència energètica, vent, arquitectura vernacle, aerogenerador.



Fig 3

## ● **ABSTRACT**

The mills are part of a simple architecture that has evolved according to the knowledges and needs that have been appearing after the times. This architecture is also characterized by his energetic or work function for its durability and stability of the elements that compose them.

Through a studio, the beginnings and evolution of this architecture typology are analyzed both for its structure and for its functionality.

**Palabras clave:** Mill, energetic efficiency, wind, vernacular architecture, wind turbine.



Fig 4

● OBJETIVOS Y METODOLOGÍA .....	11
● 1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA .....	15
1.1 Eje cronológico .....	16
1.2 Etapas .....	17
- Primera Etapa	
- Segunda Etapa	
- Cuarta Etapa	
2.3 Extensión de los molinos de viento en España .....	27
2.4 Últimos avances. Los aerogeneradores .....	29
- Eje Horizontal	
- Eje Vertical	
● 2. ENERGÍA EÓLICA .....	37
3.1. Recurso Eólico .....	38
- Factores influyentes	
3.2. Aprovechamiento de la energía eólica .....	42
- Aplicación del principio de Bernoulli en los molinos	
- Aplicación del principio de Bernoulli en los aerogeneradores	
● 3. FICHAS DE CARACTERÍSTICAS .....	47
● 4. CONCLUSIONES .....	87
● 5. FUENTES Y BIBLIOGRAFÍA .....	93
5.1. Relación de figuras .....	94
5.2. Bibliografía .....	111



Fig 5

## ● OBJETIVOS Y METODOLOGÍA



Con este trabajo se pretende poner en valor y dar a conocer la evolución de los molinos de viento tanto a nivel estructural como funcional. Los molinos de viento es un tema del cual se cree tener conocimientos ya que todo el skyline de nuestros paisajes europeos está caracterizado por la imagen del molino, sin ser conocedores del impacto que han podido generar en nuestro desarrollo de aprovechamiento de energía eólica.

Se pretende remontar a los inicios de la primera acción donde se llega a utilizar el viento como ayuda funcional y llegar a la actualidad pasando por cada uno de los avances realizados. Y es que, a pesar de ser un elemento clave en nuestra evolución tecnológica, no se tiene un conocimiento claro de de como el uso del viento les ha ido afectando. Todos estos molinos de viento tenían distintas funciones como eran el bombeo de agua, la molienda de grano o caña de azúcar, desecar los polders<sup>1</sup> y el aprovechamiento energético.

Por lo que, primeramente se tratará de diferenciar, en cuatro etapas cronológicamente, los molinos de viento más relevantes de esta evolución según acontecimiento técnicos o históricos.

A fin de comprender esta evolución, se estudiará el recurso que los ayuda a realizar de la mejor manera la función por la que fueron creados.

---

1. Pólder: término neerlandés que describe las superficies terrestres ganadas al Mar del Norte

Para empezar, se realiza una secuencia temporal para resumir la evolución histórica del trabajo y comprender con mayor facilidad sus principales características a lo largo del trabajo.

<b><i>Cronología</i></b>	<b><i>Procedencia</i></b>	<b><i>Función</i></b>	<b><i>Eje transmisión</i></b>
<b>1. Primer uso/Siglo XV.</b>			
• Navegación a vela	Egipto	Barco	Sin eje
• Hidraulis organ	Alejandro	Órgano musical	Vertical
• Máquina de Arquímedes	Babilonia	Bombeo de agua	Vertical
• Panemona	China	Bombeo de agua	Horizontal
• Molino persa	Irán	Molienda de grano	Horizontal
• Molino Mediterráneo	Imperio Musulmán	Bombeo de agua/ molienda de grano	Horizontal
• Molinos Ibéricos	Península Ibérica	Bombeo de agua/ molienda de grano	Horizontal
• Molinos Europeos	Francia y extensión	Bombeo de agua/ molienda de grano	Horizontal
<b>2. Renacimiento/Revolución industrial</b>			
• Molinos trípode	Extensión europea	Molienda azúcar	Horizontal
• Molinos torre	Francia, Inglaterra	Molienda de grano	Horizontal
• Molino auto-orientable	Inglaterra, Holanda	Desecar polders	Horizontal
<b>3. Siglo XIX/Siglo XX</b>			
• Primera bomba eólica	Conética (EEUU)	Bombeo de agua	Horizontal
• Molino multipala americano	Estados Unidos	Bombeo de agua	Horizontal
• Primer aerogenerador	Dinamarca	Bombeo de agua	Horizontal
• Rotor de Savonius	Finlandia	Bombeo de agua	Vertical
• Rotor de Darrieus	Francia	Energía eléctrica	Vertical
• Aerogenerador de 200kW	Dinamarca	Energía eléctrica	Horizontal
<b>4. Año 1973/Actualidad</b>			
• Aerogenerador MOD-0	Estados Unidos	Energía eléctrica	Horizontal
• Aerogenerador MOD-5B	Hawai	Energía eléctrica	Horizontal





Fig 6

## ● 1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA



## ● 1.1 Eje Cronológico

Gracias a la información obtenida de los documentos estudiados, se consigue realizar un eje cronológico partiendo de los inicios del uso de viento hasta la actualidad. [11]

- — **5000 a. C.** Egipto  
Navegación a vela
- — **1700 a. C** Babilonia  
Tornillo de Arquímedes
- — **S.I d. C** Alejandría  
Hydraulis Organ
- — **S.IV d. C** China  
Panémona
- — **S.V d. C** Irán  
Molino Persa
- — **S.XII d. C** Islas del mar Egeo y Creta  
Molino tipo torre
- — **S.1887 d. C** Estados Unidos  
Primera turbina eólica automática
- — **1922 d. C** Finlandia  
Turbina Savonius
- — **1927 d. C** Francia  
Turbina eólica Giromill
- — **1931 d. C** Francia  
Turbina eólica Darrieus, "batidora de huevos"
- — **1941 d. C** Vermont  
Turbina eólica Smith-Putman
- — **Actual**  
Turbina eólica moderna



## ● 1.2 Etapas

Como hemos dicho anteriormente, se puede diferenciar la evolución de los molinos en cuatro etapas según acontecimientos técnicos o históricos[5].

1. La primera etapa: La primera era de la energía eólica.
2. La segunda etapa: Mejoras en el aprovechamiento de los molinos.
3. La tercera etapa: Una nueva concepción de los molinos.
4. La cuarta etapa: Desarrollo a partir de 1973.

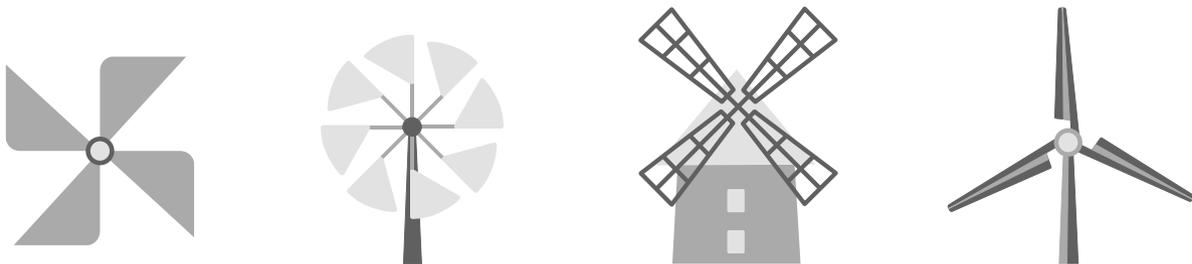


Fig. 7

**La primera etapa** comprende desde las primeras máquinas conocidas hasta el siglo XIV o XV y se caracteriza por una lenta evolución técnica.

Cerca del año 5000 a.C. los egipcios fueron quien le dieron el primer uso al viento, del que se tiene conocimiento, impulsando a vela las embarcaciones que recorrían los ríos de Mesopotamia y Egipto.

Varios siglos después, a partir de la escuela de Alejandría, Herón fue quién le dio una aplicación más específica al viento construyendo una estructura para dotar de aire su órgano musical con un rotor de eje horizontal (hydraulis organ)(figura.8).

Sin embargo, la primera referencia sobre una posible aplicación de la energía eólica fuera de la navegación procede por la máquina de Arquímedes (figura.9), del año 1700 a.C., quien después de modificaciones hizo funcionar los molinos de viento para bombear el agua con la finalidad de regar los jardines colgantes de Babilonia, mediante un mecanismo con una hoja con forma de tornillo dentro de un cilindro. [9]

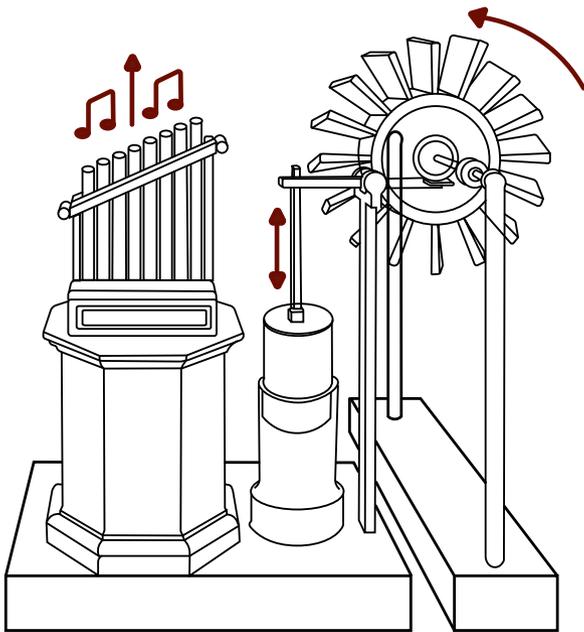


Fig. 8. Hydraulis Organ

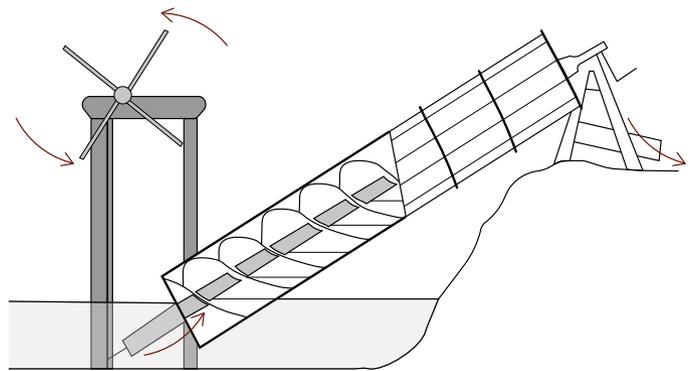


Fig. 9. Máquina de Arquímedes.



Por lo que respecta a las primeras aplicaciones de los molinos de viento, podemos decir que son de tipo de eje vertical y se difunden en los primeros siglos del Islam, aunque puede que fuesen conocidos con anterioridad.

Es posible que los chinos utilizarán los molinos de viento de eje vertical, con anterioridad al Islam, llamados panémonas y se usaban para bombear el agua de las salinas. Estos eran de eje vertical y sus palas estaban formadas por telas sujetas a largueros de madera, pudiendo variar la posición de estas para regular la acción del viento. Se sostiene que estos molinos ya existían con anterioridad al año 400 d.C. [4]

A pesar de que hay documentos que hablen de las panémonas con anterioridad, los primeros molinos de viento que se tiene referencia, proceden de Persia a mediados del siglo VII en las llanuras donde sopla el viento de los cien días.[16] Se fabricaron para moler granos y producir harina, así como para bombear agua en pozos y ríos. Estos fueron molinos de eje vertical con vientos horizontales, formados de seis a doce velas rectangulares cubiertas de esteras de cañas o telas. [7]

Por otra parte, supone que los primeros molinos de eje horizontal surgieron en la antigua Persia con anterioridad a la antigua época islámica. Este fue creado por la necesidad de adaptar los molinos de eje vertical al bombeo de agua. Esta disposición del rotor en esta nueva disposición de eje era más adecuada para mover la noria sin variar la dirección de la fuerza motora, suponiendo una gran complicación técnica para la época. [9]

La evolución de los molinos de viento se desarrolla a partir del siglo XII por dos caminos:

- Por una parte podemos hablar del tipo de molino que se crea dentro de la civilización islámica ocupando todo el mediterráneo meridional y llegando hasta la Península Ibérica.

- Por otra parte, aparecen unos molinos por la zona de Inglaterra, Francia y Países Bajos de construcción más europea. Creyendo que las influencias de estos llegaban a través de los cruzados que volvían de Palestina.[10]

### Molino Mediterráneo

Este se utilizó para la molienda de grano y el bombeo de agua en toda la extensión del imperio musulmán. Las aspas de estos molinos se realizaban atando telas a los palos del rotor, al igual que los molinos de eje horizontal persas del cual proceden. [18] El rotor se apoyaba sobre un trípode de madera haciendo mover la noria o rueda con cangilones permitiendo sacar agua (figura 10). La velocidad de giro se regulaba soltando y recogiendo las velas.

Los primeros molinos de grano eran de rotor fijo, sin posibilidad de orientarse en la dirección del viento.

Estos molinos se fueron modificando y mejorando hasta convertirse en los molinos tipo torre (figura 11, figura 12). Era un molino construido en mampostería coronado por una cúpula orientable donde se aloja el eje, los engranajes. Las operaciones de orientación se realizaban por medio de una palanca. [15]

### Los Molinos Ibéricos

Los molinos del sur de la Península Ibérica conservan la esencia del molino mediterráneo, en lo que se refiere al sistema de aspas y a la torre. [13] Sin embargo en lo que respecta a los detalles arquitectónicos, aparecen grandes diferencias entre los modelos mediterráneos y entre los modelos ibéricos situados en regiones próximas.

En los reinos cristianos, los molinos aparecieron con posterioridad a los del reino musulmán, donde el molino manchego y mallorquín se construyen como nexo de unión entre las dos culturas.

- En la parte baja de Andalucía, se utiliza un molino con rotor de ocho velas, sobre un eje de dos etapas.

- En Murcia y Cartagena, se utilizan unos molinos similares a los andaluces pero modificados para el bombeo de agua. El movimiento del eje desciende por la torre mediante engranajes impulsando la noria y elevando el agua mediante cangilones (figura 13).

- El molino mallorquín iba situado normalmente sobre la casa del molinero. El rotor llevaba palas semejantes a los europeos, con palas de entramado de madera y recubiertas de tela (figura 14).

- El molino manchego, esta formado por una torre de mampostería, siendo menos esbelta que la torre del molino mallorquín. En el interior de la techumbre cónica se alojan los ejes y engranajes. Formado por un rotor de palas de entramado de madera (figura 15).





Fig 10. Molino de vela sobre trípode



Foto 13. Molino de vela de Cartagena



Fig 11. Molino mediterráneo



Foto 14. Molino mallorquín



Fig 12. Molino mediterráneo



Foto 15. Molino Manchego



### Molinos Europeos (figura 16)

El molino de viento aparece a mediados del S.XII. Se tiene pruebas que el primer molino construido fue en Francia en 1180, experimentando a partir de esta fecha una rápida extensión. [18]

No se conoce ciertamente el origen de estos molinos, ya que hay dos teorías.[9] O bien por las cruzadas o de forma espontánea a partir de mejoras de molinos hidráulicos. En principio, los molinos del norte de Europa tenían un rotor de aspas hechas con entramado de madera recubierto de telas o tablas. Las palas estaban unidas en el eje principal transmitiendo el empuje del viento, a través de engranajes. El eje principal y engranajes estaban colocados en un recinto apoyado sobre un pivote, donde en poco tiempo este sistema evolucionó a trípode proporcionando al molino mayor facilidad para su orientación. [7] A pesar que se utilizaran molinos por toda Europa, fue muy lenta su evolución tecnológica. Hubo que esperar hasta el S.XV para una mejora de los molinos llegando a convertirse en una de las fuentes energéticas más importantes.



Foto 16. Molino europeo de Brill,  
Buckinghamshire, Inglaterra.



Siguiendo con la evolución de los molinos de viento, **la segunda etapa** comienza en el Renacimiento y termina en plena Revolución industrial, habiendo un gran interés por las maquinarias eólicas. Por esa razón, se produce una evolución técnica rápida y esto permite realizar mejoras en los molinos, desarrollando sistemas de orientación, así como estudiar el diseño de las palas entre otros. [7]

A partir del S.XV se extienden por Europa dos tipos de molinos diferenciados estructuralmente y se que desarrollan hasta mediados del S.XIX, siendo estos los molinos trípode (figura 17) y los torre. Los molinos de trípode, sustituyen a los de pivote consiguiendo una sustancial mejora en el apoyo, permitiendo construir máquinas de mayor tamaño. Con el tiempo, estos molinos se recubren para poder utilizarlos como almacén o vivienda del molinero.

A partir de esta mejora, los primeros molinos torre aparecen en Francia extendiéndose rápidamente por Inglaterra y Países Bajos. Las torres se construyen con ladrillo o piedra teniendo una sección octogonal. [15]

Como novedad, en el S. XVIII aparecen por primera vez los sistemas mecánicos de orientación y regulación, y se empiezan a sustituir las piezas de madera por metálicas, teniendo actuaciones más eficaces.

Se empezaron a realizar publicaciones sobre los molinos y en unos de los trabajos de Smeaton , demostró que con un número menos elevado de palas se proporcionaba mayor potencia.

Tas este estudio, aparece el primer sistema de auto-orientación que consistía en un rotor auxiliar perpendicular al rotor principal.



Fig 17. Molino trípode. Bélgica



Tras estos avances, **la tercera etapa** comprende desde la mitad del S.XIX hasta mediados del S.XX. Durante este tiempo, se desarrolla la teoría de la aerodinámica efectuándose otros descubrimientos de carácter técnico y empieza a aparecer una nueva generación de turbina eólica con estética diferente. [2] Debido a esto, el diseño de los molinos sufre una transformación completa, pasando a ser máquinas más sencillas. Con estas transformaciones, aparecen distintos diseñadores que ayudan a esta gran mejora.

Primeramente, Daniel Halladay diseña las primeras bombas de agua eólicas, siendo unos rotores de múltiples álabes acoplados a una bomba de pistón (figura 18).

Por otra parte, Stewart Perry fabricó otro modelo con álabes metálicos conocido como multipala americano. Era más ligero a sus antecesores y se convirtió en el molino más extinguido (figura 19).

Sin embargo, los primeros pasos en los aerogeneradores modernos los dio Poul la Cour (figura 20). Era una máquina de cuatro palas de 25 metros de diámetro y capaz de desarrollar entre 5 y 25 kW. Empiezan a aparecer los aerogeneradores, para utilizar la energía eólica como energía renovable.

Tras estas creaciones, en Inglaterra y Alemania se desarrolla el sistema de regulación variable para permitir un mejor control de la potencia de las turbinas.

Aparece, Johannes Savonius, en 1924, quien inventó un rotor de eje vertical capaz de trabajar a una velocidad de viento baja (figura 21). Su rotor está formado por dos semicilindros alrededor de un eje vertical.

Unos años más tarde, en 1927, A. J. Dekker construyó el primer rotor de palas con sección aerodinámica consiguiendo velocidades en punta de pala cuatro o cinco veces superiores a la velocidad del viento incidente.

Jean Marie Darrieus (Francia) (figura 22), desarrolló una turbina de eje vertical con un rotor provisto de unas palas con curvatura y fabricadas mediante la yuxtaposición de dos alas. Estas turbinas se convierten en opción de gran interés dentro del campo de aerogeneradores modernos. [10]

A finales de la II Guerra Mundial, el petróleo adquiere un bajo coste por lo que el interés de los países por el desarrollo de la tecnología eólica desaparece.

En 1952 en Dinamarca, se instaló un aerogenerador de 200 kW, con hélice tripala de 24 m de diámetro. Esto hace que en la actualidad, Dinamarca sea líder mundial en tecnología eólica (figura 23).

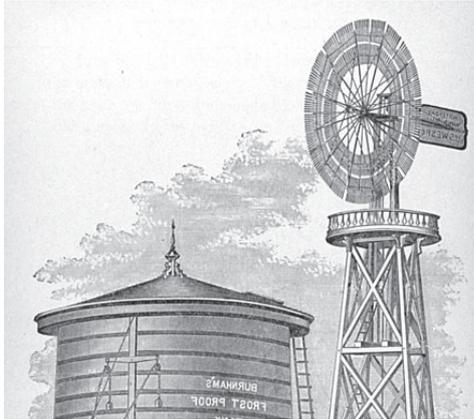


Fig 18. Primera bomba eólica



Fig 21. Rotor Savonius



Fig 19. Molino multipala americano.



Fig 22. Rotor Darrieus



Fig 20. Primeros pasos de aerogeneradores modernos.



Fig 23. Aerogenerador de 200kW, Dinamarca

Finalmente, en **La cuarta etapa** y última, se empieza con la crisis energética de 1973 (por el incremento en el precio del petróleo) llegando hasta la actualidad. Se puede apreciar que no se generan cambios en el diseño pero si se produce una evolución tecnológica en la que se elaboran métodos de cálculo más rigurosos.

En 1975, en Estados Unidos, se instala el aerogenerador MOD-0, que era un bipala de metal de 28 metros de diámetro y una potencia de 100 kW (figura 24). [6]

A partir de este, se genera por la compañía Boeing en 1979 e instalado en Hawai, el aerogenerador de 3,2 MW y 100 metros de diámetro llamado MOD-5B. [22]

Por otro lado, en España en 1979, el Ministerio de Industria y energía puso en marcha un programa de investigación y desarrollo para el aprovechamiento de la energía eólica y su conversión a electricidad. En primer lugar, se realizó el diseño y fabricación de una máquina experimental de 100 kW y así luego proyectar grandes aerogeneradores con potencia del orden del Megavatio (figura 25).

En 2008 se fabricó en el Baix Ebre, la mayor turbina eólica Española fabricada por Enotecnia.

En 2009, la energía eólica española alcanzó un máximo de producción de energía eólica diaria con 234.059 MWh. [15]



Fig 24. Aerogenerador MOD-5B



Fig 25. Aerogenerador Eco 100



### ● 1.3. Extensión de los molinos de viento en España

A partir de la expansión de los molinos, existen varias catalogaciones de molinos de viento en España. Caro Baroja en 1952 [15] propone la distribución geográfica de los molinos de viento en España y Portugal (figura 26).

Por otra parte, en 1991 Sánchez Molledo presenta un catálogo bastante completo para la comunidad de Castilla-La Mancha pero no es tan completo para el resto de España (figura 27).

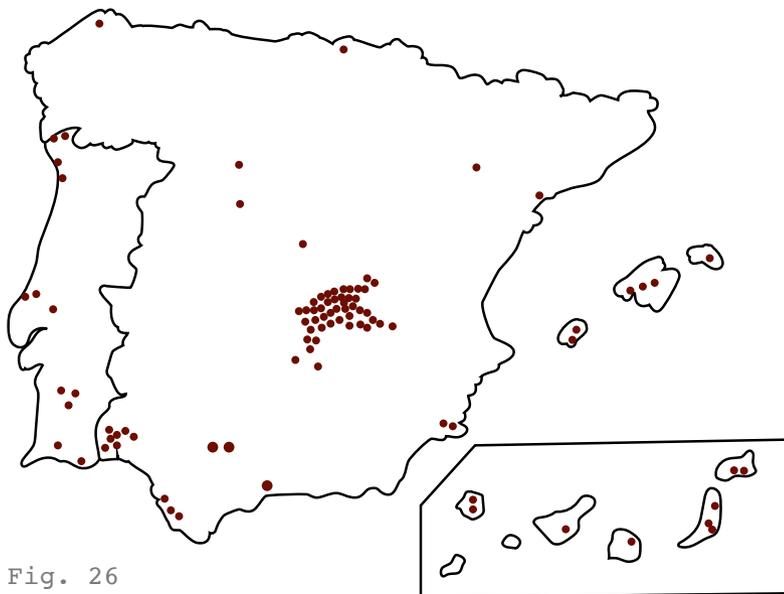


Fig. 26

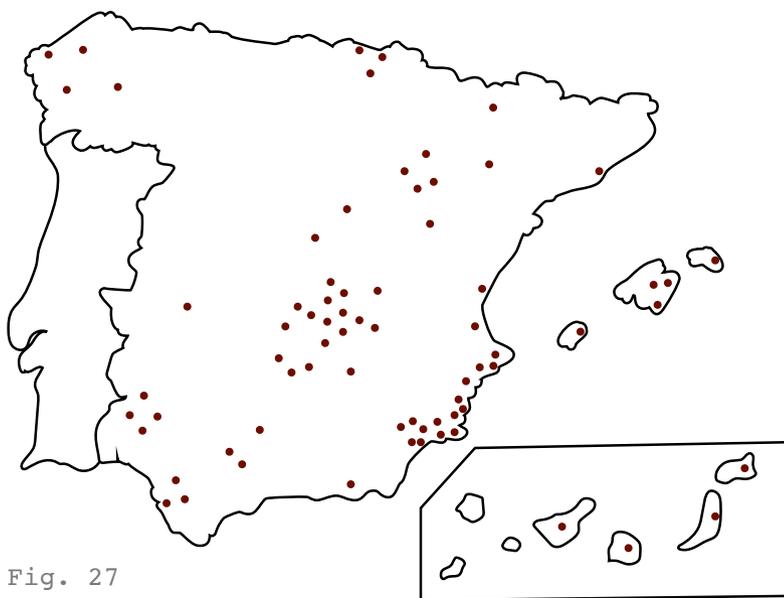


Fig. 27



García Mercadal (1930), menciona que en Campo de Criptana sólo quedan en pie cinco molinos de viento, y que de ellos únicamente uno, el llamado Ojo Azul, está en condiciones de desafiar la constancia destructora de los elementos y funciona a temporadas, tiene seguro el cuidado de su dueño. Describía el molino de viento de la siguiente manera: *“una alta construcción cilíndrica, de fábrica de mampostería, muy desigualmente trabada, que iba a rematar por una cubierta cónica, muy peraltada, forrada de tablas; en sus muros ábrese tan sólo una pequeña puerta abajo y unos jequecillos arriba”* [15]

Además, Caro Baroja (1983) afirma que “el molino de viento es un elemento cultural que ha tenido vigencia corta, si se considera la Historia de la Humanidad en toda su extensión y profundidad”. Su uso ha estado condicionado por razones climáticas y sociales. La muralla, el castillo, la ciudadela le han servido de asiento tanto o más que las llanuras desprovistas de aguas suficientes (como La Mancha), o al revés, con demasiadas aguas que había que encauzar (como Holanda). [15]

Más tarde, en 1997 Fernández Lavandera recopila información sobre los molinos de viento en España (figura 28). 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. [15]

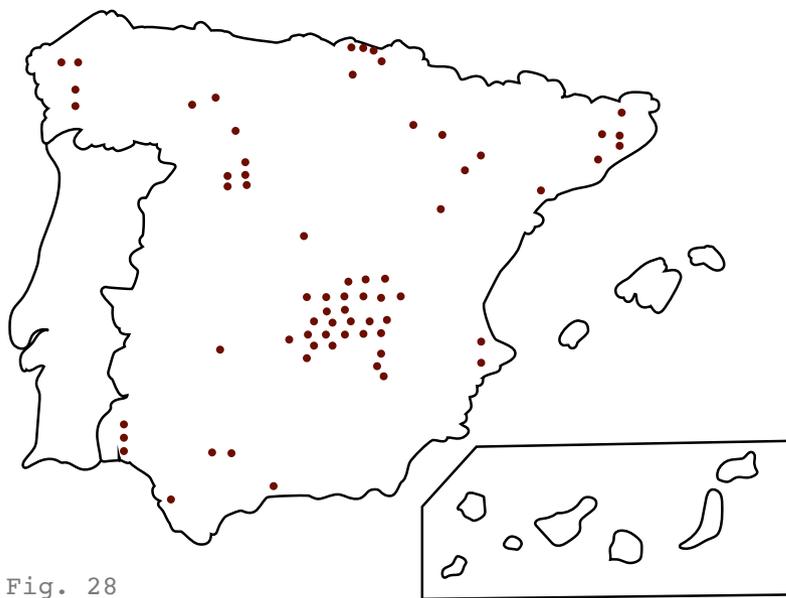


Fig. 28



## ● 1.4. Aerogenerador

Por lo tanto, el **aerogenerador** es el resultado de la evolución del conocido molino de viento, adaptándose a las necesidades del momento. Es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica. El aire en movimiento proporciona energía mecánica a un rotor hélice el cual hace girar el rotor de un generador (normalmente un alternador trifásico) para convertir la energía. Las palas de un aerogenerador giran entre 13 y 20 revoluciones por minuto, a una velocidad constante o variable, donde la velocidad del rotor varía en función de la velocidad del viento para alcanzar una mayor eficiencia. [2]

En consecuencia de esta evolución, existen ciertos tipos de aerogeneradores, que se distinguen por sus dimensiones, disposición del eje y características entre otros. Estos pueden trabajar:

- De forma aislada.

- Agrupados. En parques eólicos o plantas de generación eólica, distanciados entre si, en función del impacto ambiental y de las vibraciones generadas por el movimiento de las aspas.

Los aerogeneradores se pueden distinguir por dos grandes ramas, los de eje horizontal y los de eje vertical. [22]

- Por una parte, tenemos los aerogeneradores de **Eje horizontal**. Estos tienen el eje de rotación paralelo al suelo permitiendo un mayor rendimiento. La gran mayoría son de gran tamaño y para su funcionamiento tienen que estar orientados en la dirección del viento. [26] Por tanto, dentro de este tipo de máquinas, se puede hacer una clasificación según la velocidad de rotación del rotor. [7] Pueden ser de hasta 4 palas o multipalas (hasta 24 palas). Sobre la torre podemos encontrar una aeroturbina, un góndola que contiene al generador eléctrico que va unido con el sistema de acoplamiento, un sistema de control y orientación.

[8]

Se dice que, los aerogeneradores multipala son máquinas lentas para el bombeo de agua. Debido a su geometría, la principal fuerza por la que funcionan es el arrastre (mucho mayor que la sustentación). [6]

En cuanto a, las aplicaciones en las que se ha implementado el bombeo de agua, estas van desde la simple extracción de agua (figura 29), la alimentación del líquido a uno o varios hogares (figura 30), hasta la generación de electricidad de forma secundaria por embalses y turbinas (figura 31).

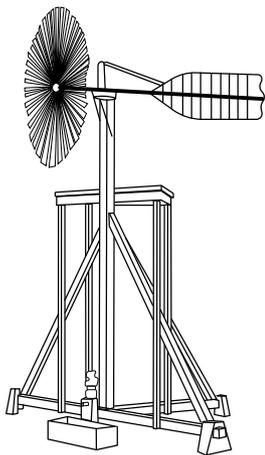


Fig. 29

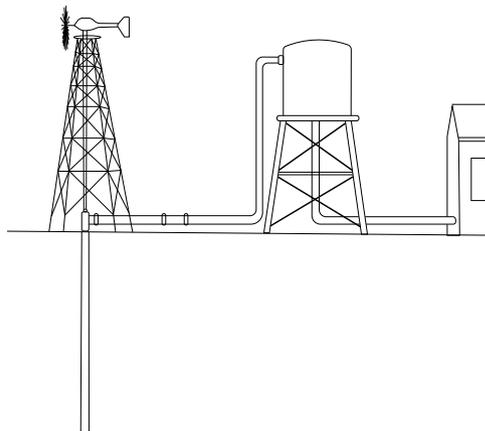


Fig. 30

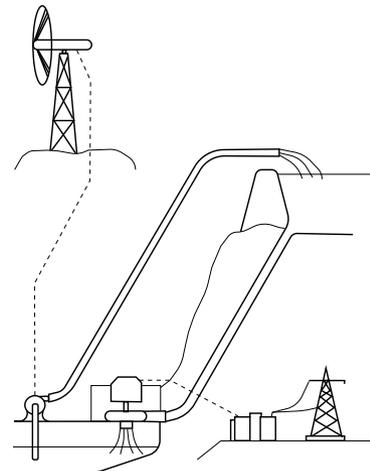


Fig. 31



Los aerogeneradores rápidos están solamente destinados a la generación de electricidad y por tanto, están directamente conectados a las líneas de red. Así que, los estudios demuestran que los aerogeneradores tripala muestra mejores características que el resto [3].

Se pueden observar distinciones entre los aerogeneradores según:

- La posición del rotor:

Barlovento

- Aguas arriba.
- Necesario un sistema de orientación.
- Mínimo efecto de sombra de la torre.
- Menor emisión de ruido.

Sotovento

- Aguas abajo.
- Se elimina el sistema de orientación.

- El número de palas:

Monopalas:

- Menor coste.
- Alta inestabilidad.

Bipalas:

- Menor coste.
- Más inestable.
- Utilizado inicialmente en USA.

Multipalas:

- Menos oscilaciones.
- Mejor equilibrio.
- Más utilizado en Europa.

- Los métodos de regulación de potencia:

Paso variable:

- Control de pala.
- Control en punta de pala.
- Control por alerones.

Paso fijo

- La pala no es regulable
- Diseño aerodinámico..
- Necesidad de frenos aerodinámicos.



- Los sistemas de orientación:

Auto orientables

Rotores de cola.

Veleta de cola.

Rotor a sotavento.

Asistidas

Sensor para detectar la dirección del viento.

Motor para mover el engranaje.

- Los tipos de torres

Arriostradas

Para aerogeneradores pequeños.

De celosías

Más baratas.

Fácil transporte.

Mayor impacto visual.

Tubulares

Las más usadas.

Más estéticas.

Acceso por el interior.

Más caras.



- Por otra parte, tenemos los aerogeneradores de **Eje vertical**

Donde estos tienen el eje de rotación perpendicular al suelo, como los primeros molinos de viento. Con algunas remodelaciones, estos presentan ventajas provechosas. No necesitan un sistema de orientación, por lo que los hace más sencillos que los molinos de eje horizontal. Existen diversos diseños o en algunos casos combinaciones de ellos.

Por tanto, el eje vertical sale del suelo y se extiende al centro de dos palas curvadas que salen de la parte inferior del eje hasta su parte superior final. [26] La forma ovalada de las palas es la que permite que gire y produzca energía.

El inconveniente, de estas turbinas, es que el eje no alcanza mucha altura y al llegar al suelo las velocidades del viento disminuyen por efecto de la rugosidad del mismo. Cuanto más altura, mayor es la velocidad del viento [3].

Debido a este eje, los rotores más conocidos son:

- Rotores Savonius. Fue inventado en 1924 por el finlandés S.J. Savonius. Este diseño está compuesto por dos semicilindros de ejes paralelos acoplados al eje de giro y separados por cierta distancia. [7] Al incidir el viento sobre la máquina existe una desigualdad de fuerzas por la parte cóncava y convexa, lo que provoca que empiece a girar. Su bajo rendimiento y su reducida velocidad de giro hacen que sus aplicaciones se limiten a bombeo de pistón. [22]

- Rotores Darrieus. Su nombre se debe al ingeniero francés Georges Darrieus en 1931. Se caracteriza por hojas perfiladas en forma de C que giran alrededor de un eje vertical y normalmente se construye con dos o tres palas. Tiene un buen rendimiento y alta velocidad de rotación, pero no dispone de un par de arranque, lo que hace necesario motorizar la turbina para que comience a girar. Existen diversas variables de este diseño y principalmente son de uso doméstico. [17]

- Giromill. Este tipo de generadores fue patentado también por Darrieus. Consisten en alerones verticales unidos al eje por brazos horizontales, que pueden salir por los extremos del aspa e incluso desde su parte central.

- Aerogeneradores Lenz. Es un prototipo experimental que muestra eficiencias cercanas de eje horizontal [10]. Este diseño implementa conceptos de otros aerogeneradores de eje vertical como los Savonius y Darrieus. [22]



Finalmente, para poder ver los rendimientos de estos, se representa con el coeficiente de rendimiento en función de la velocidad específica de las diferentes turbinas tanto de eje vertical como horizontal. (figura 32)

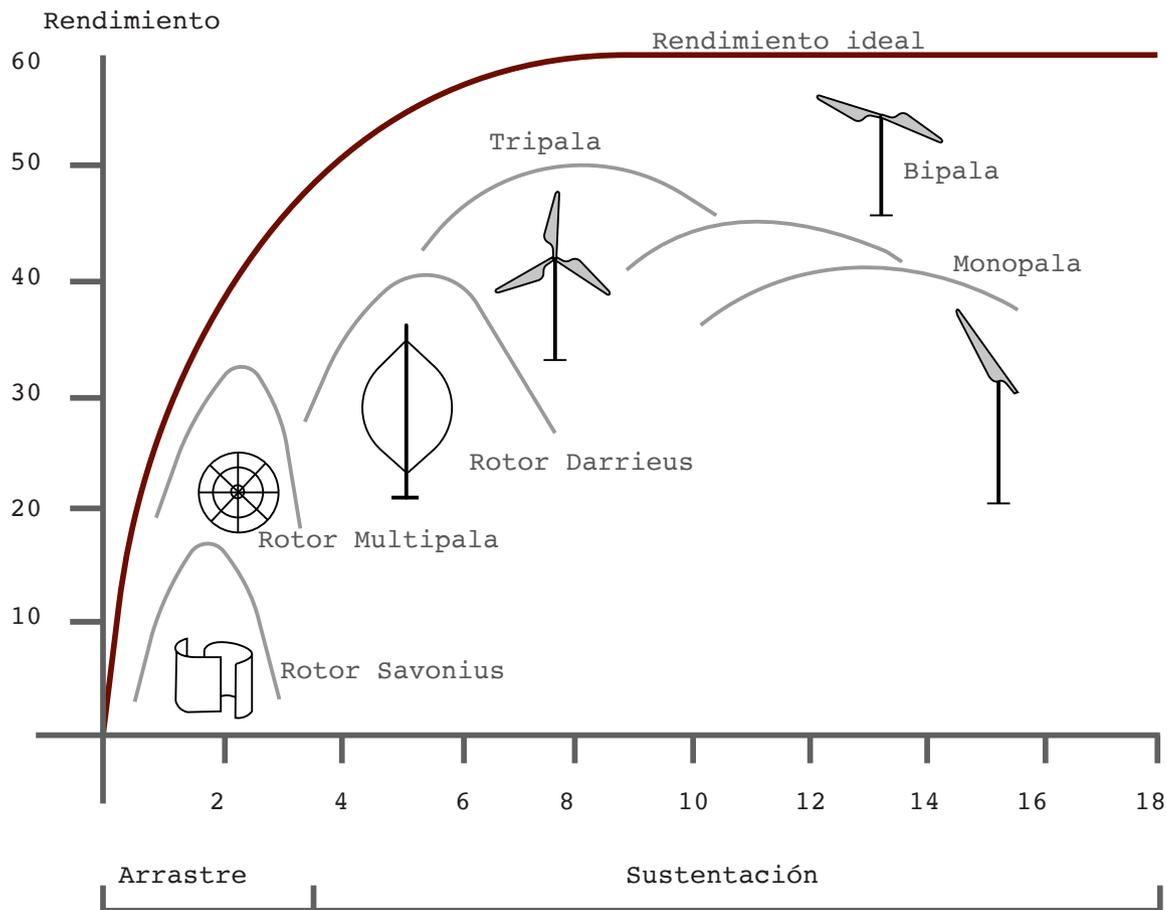


Fig. 32







Fig. 33

## ● 2. ENERGÍA EÓLICA



## ● 2.1 Recurso eléctrico

El viento se define como un flujo de aire a gran escala, una corriente de aire que se mueve y que es producida por ciertas condiciones atmosféricas. Este se genera por consecuencia del calentamiento desigual de la superficie terrestre (Fig. 34).

Debido a que los vientos se originan por la diferencia de presión atmosférica producidas por las distintas temperaturas en el aire, el aire caliente tiende a desplazarse hacia arriba, mientras que el aire frío se desplaza hacia abajo (Fig. 35).[11] Esto provoca desplazamientos de masas de aire superficial en la zona de la atmósfera (troposfera). [9]

Las grandes ventajas que encontramos con la energía eólica es que es gratuita, inagotable y que no tiene gran impacto negativo en el medio ambiente.

Sin embargo, tiene la desventaja de ser dispersa y aleatoria. Este se desplaza de un lugar a otro a diferentes velocidades y esto es consecuencia de la presión de la gravedad.[10]

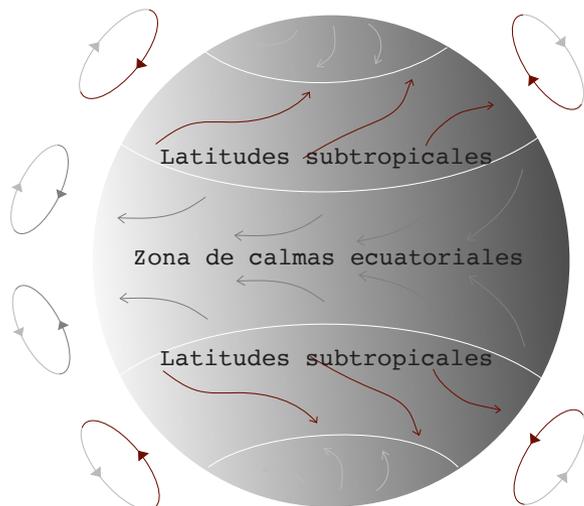


Fig. 34

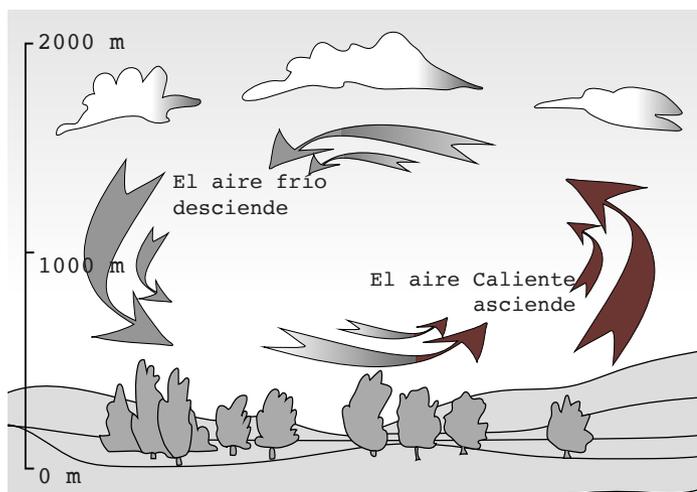


Fig. 35

- ⎵ Vientos del Este
- ⎵ Vientos del Oeste
- ⎵ Alisios



**Factores influyentes:**

- El calentamiento de la superficie es una de las principales causas de la circulación de aire en el sistema atmosférico, originando anticiclones (centros de alta presión) y ciclones (centro de baja presión). [6]

- En zonas costeras por ejemplo, influyen otros factores, como los ciclos de las mareas y las brisas marinas alteran los vientos locales.

- En zonas montañosas o con relieve variado, las brisas del valle influyen en los vientos.

- Efecto Coriolis (Fig. 36). Fue descubierto por el francés Gaspard-Gustave de Coriolis, y es un fenómeno donde la rotación del planeta hace que el aire se mueva.

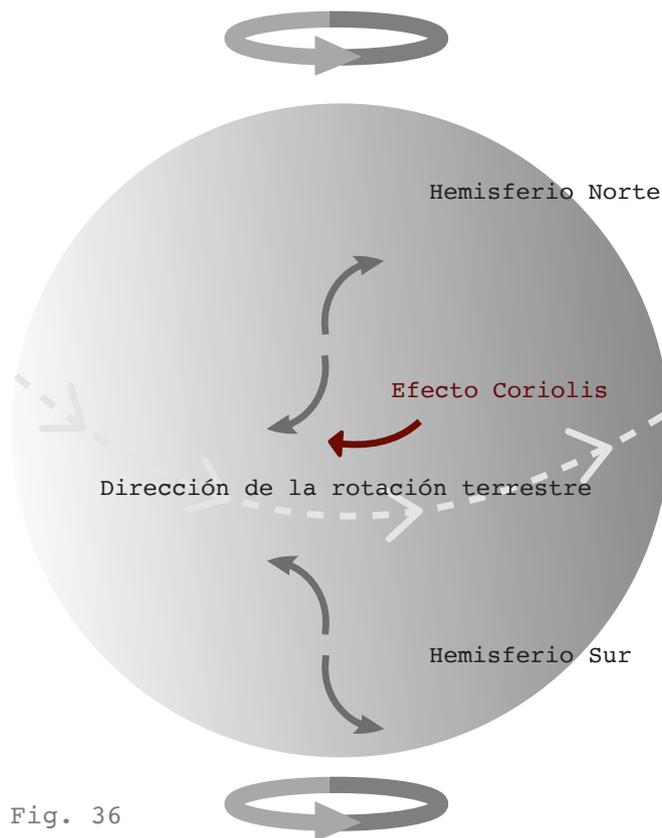


Fig. 36

Cambio aparte de la dirección del viento por efecto de la rotación de la Tierra. La fuerza de Coriolis causa una desviación del viento a la derecha en el hemisferio Norte y a la izquierda en el hemisferio Sur. Es una de las principales fuerzas que determinan la dirección final del viento.



● Factores influyentes

Para poder estudiar la velocidad del viento que afecta a los molinos, se tiene que tener en cuenta varios factores:

- Variación de la velocidad del viento según la altura de actuación.
- Las mediciones de los anemómetros se realizan a una altura de 10 m.
- La rugosidad del terreno.

Por tanto, para corregir la velocidad del viento en función a estos factores, se utiliza la **Ley Exponencial de Hellmann**: [2]

$$V_h = V_{10} \left( \frac{h}{10} \right)^\alpha$$

Donde:

- $V_h$  : Velocidad del viento en una altura.
- $V_{10}$  : Velocidad del viento a una altura de 10 metros.
- $\alpha$  : Exponente de Hellmann que varía según la rugosidad del terreno.
- $h$  : Altura a la que se desea hacer el cálculo.

Por esa razón, las características concretas del viento en una zona determinada vienen influidas por su situación geográfica, el clima local, la topografía de la zona, irregularidades del terreno y altura sobre el nivel del suelo; siendo el estudio de estos factores lo decisivo a la hora de validar la viabilidad de una instalación eólica. [7] (Fig. 37)

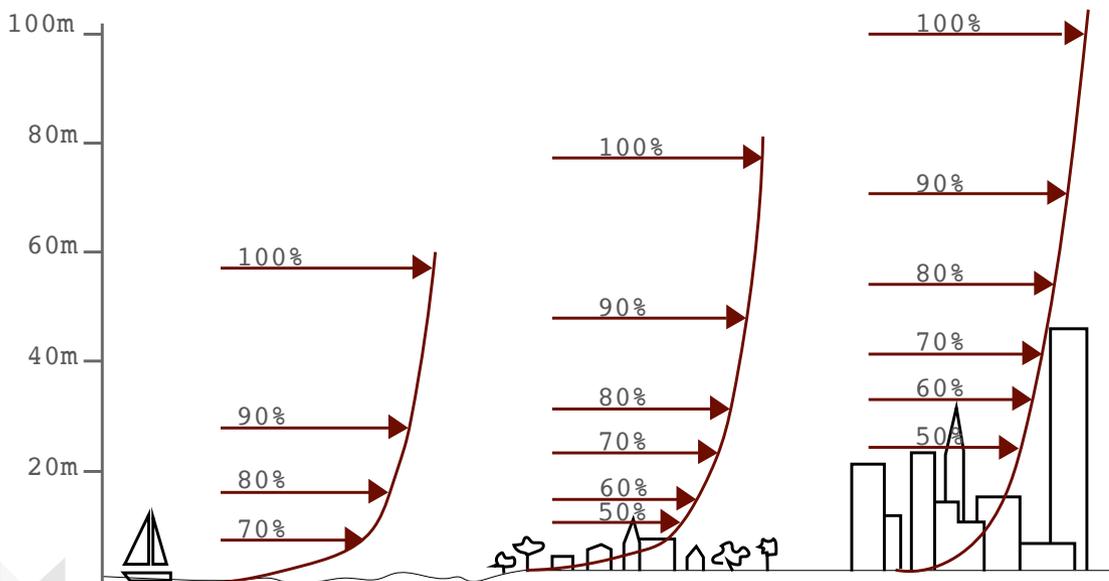


Fig. 37

Los efectos de los obstáculos influyen fuertemente en la velocidad del viento, en algunos casos el viento aumenta hasta un 100%. Esto se debe a que el viento sufre el efecto Venturi (al reducir la sección de paso, aumenta la velocidad de fluido (Fig. 38).

Con esto, podemos deducir que algunos emplazamientos buenos pueden ser pasos entre montañas, llanuras elevadas, cimas de colinas o páramos y lugares costeros. [8]

- Perfil de Velocidad de viento
- Perfil de Velocidad de viento modificado por el relieve
- Zona de turbulencia

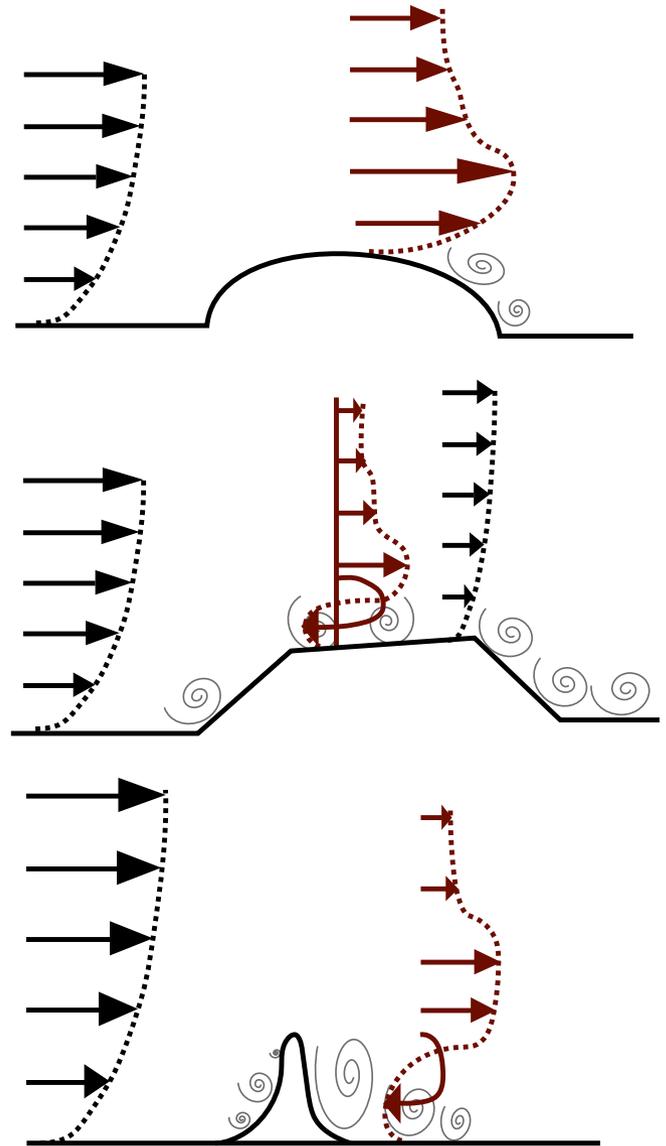


Fig. 38



- **2.2 Aprovechamiento de la energía eólica**

El funcionamiento de las máquinas eólicas es debido a la energía suministrada por el viento, haciéndolas girar a una cierta velocidad angular y produciendo un par motor (torque).[14]



Se puede realizar una **aplicación del principio de Bernoulli en los molinos** (Fig. 39), donde el eje del molino se sitúa frente al viento y las aspas montadas en un plano con cierto ángulo al eje. Cada aspa está montada en un plano oblicuo al viento para hacer eficaz la acción. El borde de las aspas son golpeadas por el viento creando una diferencia de presión y generando una fuerza de sustentación que hace que la vela gire. [25]

La fuerza de sustentación (perpendicular al aspa), se descompone en dos fuerzas:

- Longitudinal. Es la fuerza que se encuentra en la dirección del eje del molino y que se anula por la resistencia propia de éste ya que le impide que se desplace hacia atrás.
- Transversal. Es la fuerza útil que hace girar el aspa, contrariamente a lo que pasaba con la navegación a vela.

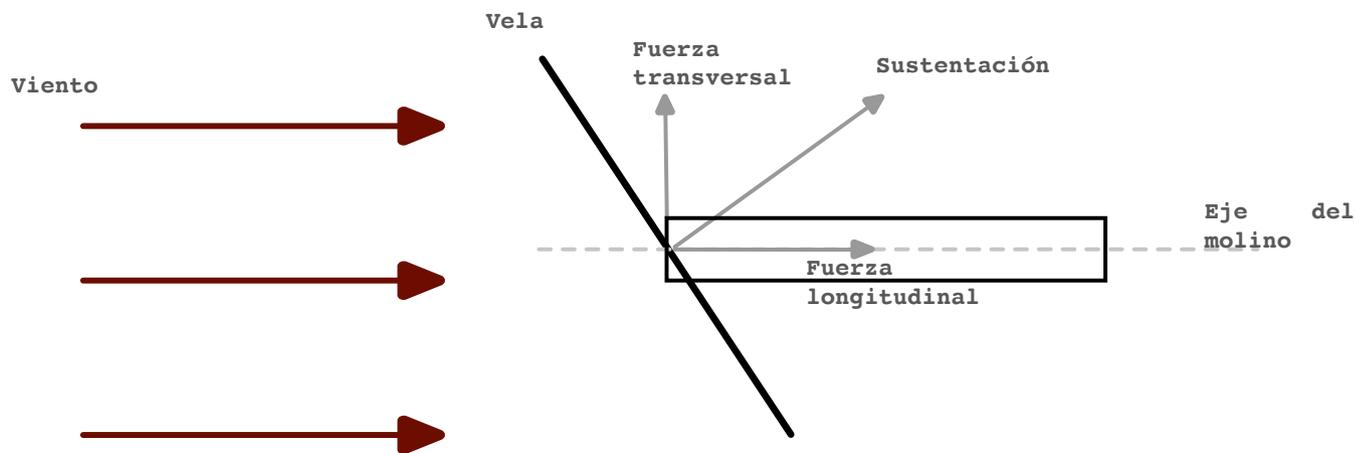


Fig. 39



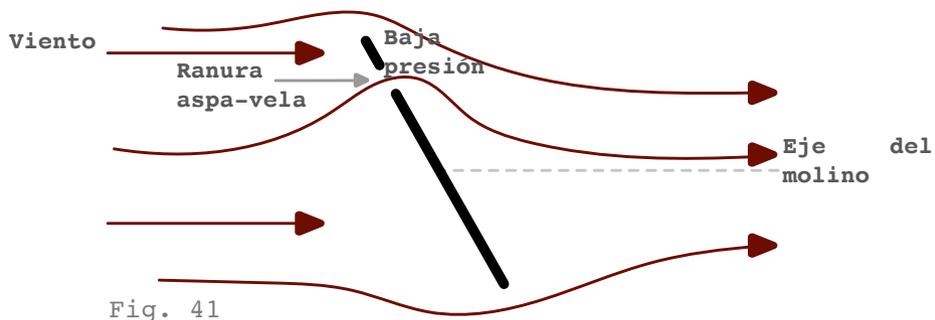
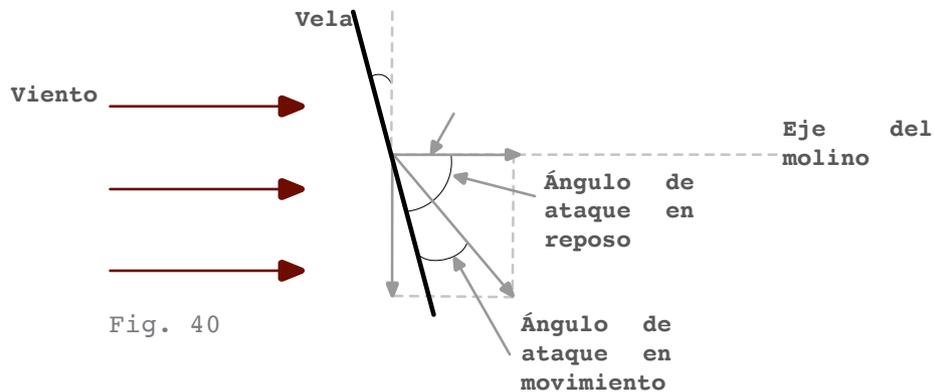
Si el aspa girase en un ángulo perpendicular al eje del molino, la fuerza transversal sería nula y por tanto la vela no giraría. [8]

Por lo tanto, según el ángulo va siendo menor a  $90^\circ$ , la diferencia de presión que se crea entre las dos caras del aspa va siendo menor. Así que (según el creador de ingeniería civil, John Smeaton), el mejor ángulo de ataque del aspa es de  $75^\circ$  respecto al viento o  $15^\circ$  a la perpendicular. [1]

En consecuencia, si este ángulo es demasiado grande, se provocarían vibraciones en la parte trasera del aspa perjudicando la diferencia de presión entre sus caras. Hay dos factores que disminuyen estos riesgos:

- El ángulo con que se capta la velocidad del viento desde el aspa, es de  $15^\circ$  solo cuando el aspa se encuentra en reposo, pero cuando empieza a girar el ángulo disminuye para evitar las vibraciones y facilitar el funcionamiento del molino. Para saber este ángulo, basta hallar la velocidad relativa del viento respecto al aspa cuando está en movimiento, diferencia entre la velocidad del viento en reposo y la lineal (Fig. 40).

- Para que solucionar el difícil arranque del aspa al girar, se ideó hacer que las velas no recubriesen todo el ancho de las aspas, haciendo que el viento que va por detrás de la vela no procediera solo del choque de este con el borde del aspa, sino que pasase por el espacio entre el borde del aspa y el de la vela (Fig. 41). [25]



Además, también se puede realizar una **aplicación del principio de Bernoulli en los aerogeneradores**. [26] Mediante los aerogeneradores se extrae energía cinética del viento y se necesita que el viento se ralentice, aunque sólo se verá afectada la masa que atraviesa el rotor eólico [4]. Las hélices del aerogenerador actúan como un dispositivo de arrastre que frena la velocidad del viento (Fig. 42). Se asume que la masa de aire afectada se separa del aire que no atraviesa el rotor, se puede dibujar una superficie límite que se extiende aguas arriba y aguas abajo formando un tubo de corriente de sección transversal circular. Como el aire confinado del tubo no se comprime pero se ralentiza, esta sección debe expandirse para adaptarse a la corriente con menor velocidad (Fig. 43). [9]

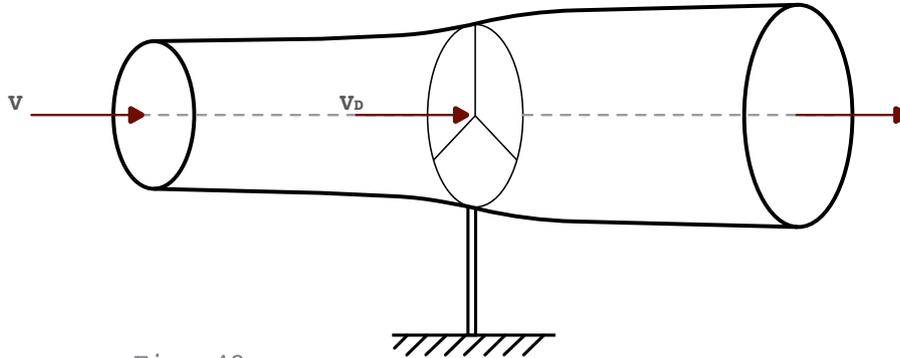
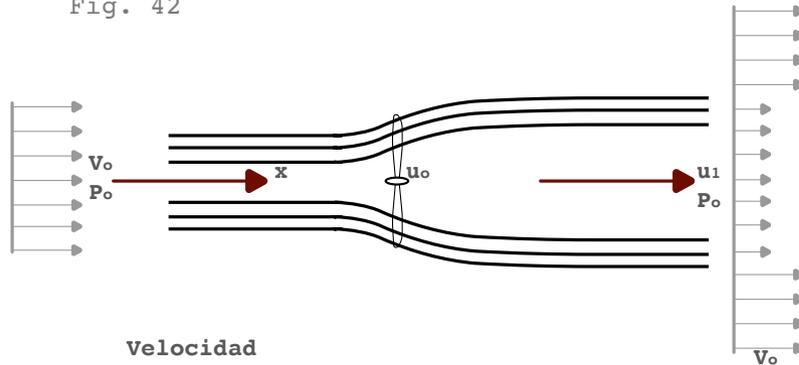


Fig. 42



[9]

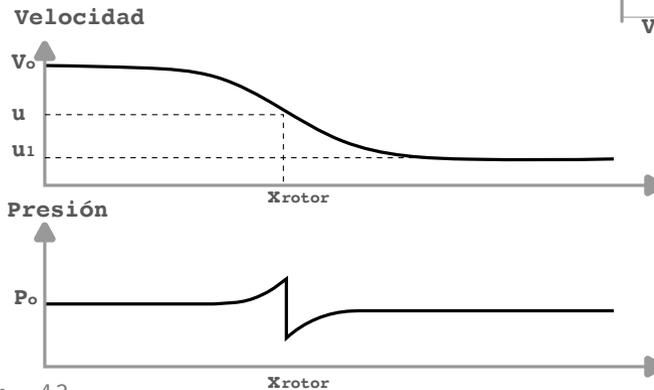


Fig. 43





Fig. 44

### ● 3. FICHAS

A continuación se presenta la realización de unas fichas con las características de los distintos molinos de viento y aerogeneradores estudiados en los apartados anteriores siguiendo el orden cronológico que se ha expuesto en el primer apartado.



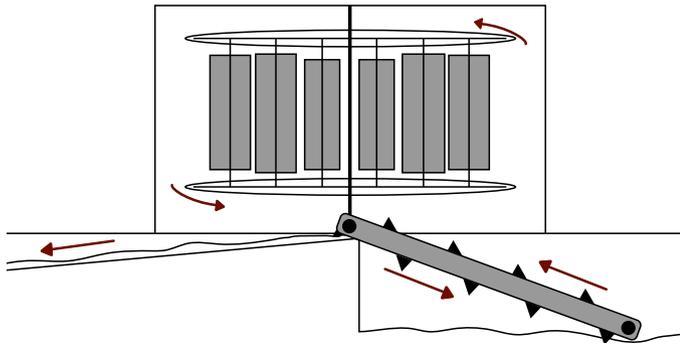


Fig. 45

- Construcción ligera:
  - Madera o Bambú
  - Tela
- Características:
  - Entre 6/12 palas de tela sobre un armazón de madera o bambú.
  - Se puede modificar la inclinación de las palas para un mayor rendimiento ya que el rotor no está encerrado en una estructura auxiliar.

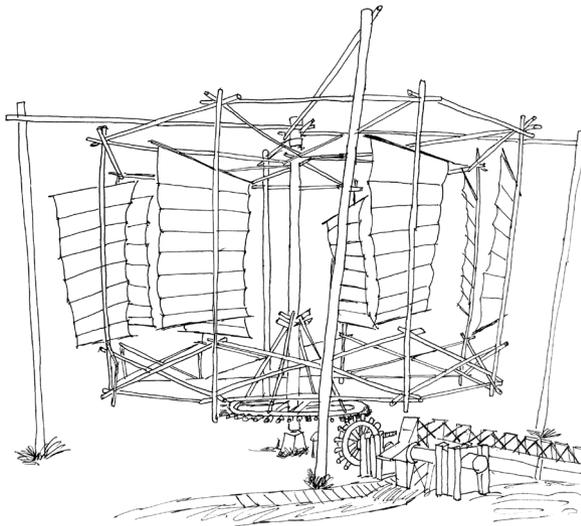


Fig. 46

- La posición de las palas podía variarse para regular la acción del viento sobre el molino.
- Eje: de rotor vertical y los paneles de giro horizontales.
- Desventaja: Tiene un rendimiento muy pequeño con un rotor muy lento.
- Primeros usos: bombeo de agua a grandes profundidades y posterior riego.
- Se cree que fueron construidos con anterioridad al año 400 d.C (Forbes, 1964).



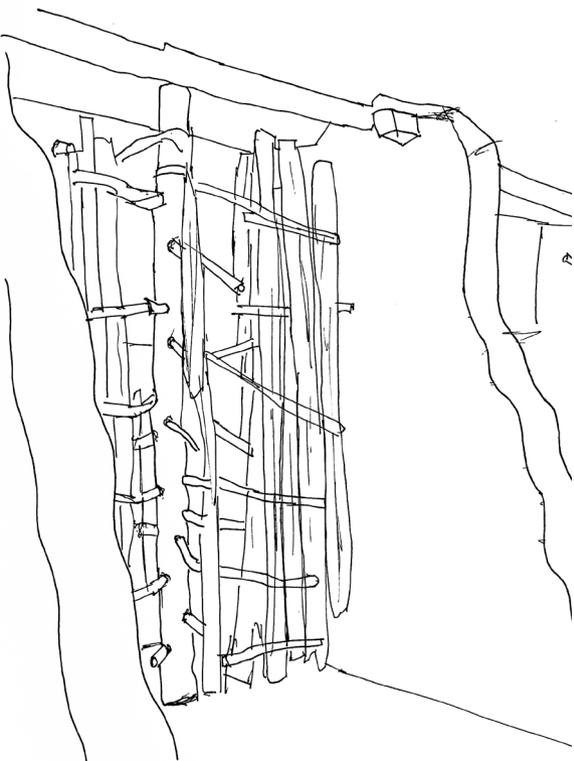


Fig. 47



Fig 48



Fig 49



Fig 50



**Molino Persa**  
**Siglo V**  
**Irán**

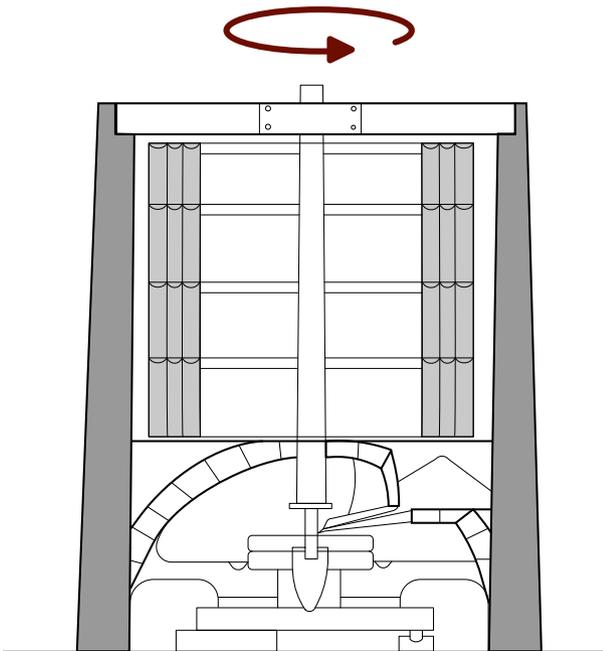


Fig. 51

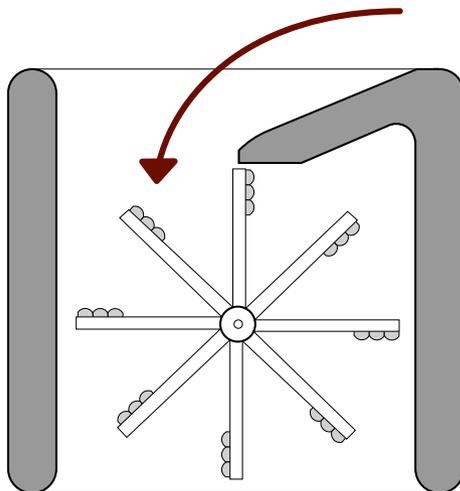


Fig. 52

- Torre cuadrangular de:
  - Barro
  - Mampostería
  - Paja
  - Madera
- Características:
  - Entre 15/20 metros de altura.
  - Entre 6/12 aspas de madera .
- Habitación hecha de arcilla: dentro de esta se encuentra una piedra que gira por la rotación de las aspas moliendo la harina
- Eje: de transmisión vertical y los paneles de giro horizontales.
- Desventaja: solo absorben la energía eólica de un lado, mientras que la otra mitad del dispositivo tiene que ir esencialmente en contra del viento y, por lo tanto, gasta más energía con el fin de hacerlo. Como resultado, las palas no pueden girar más rápido que la velocidad del viento.
- Primeros usos: hogares, así como en las industrias de molienda de caña de azúcar.
- Se cree que fueron construidos durante la dinastía Safavid.



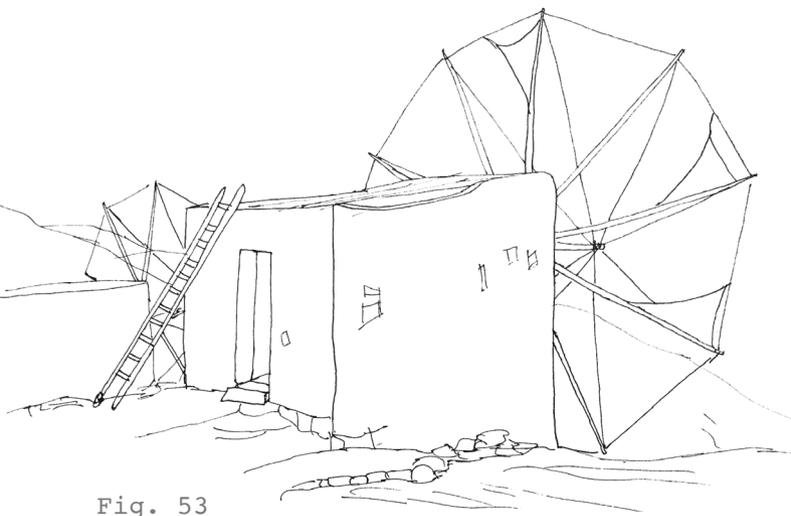


Fig. 53



Fig 54



Fig 55



Fig 56



**Molino mediterráneo**  
**Siglo XI**  
**Imperio Musulmán**

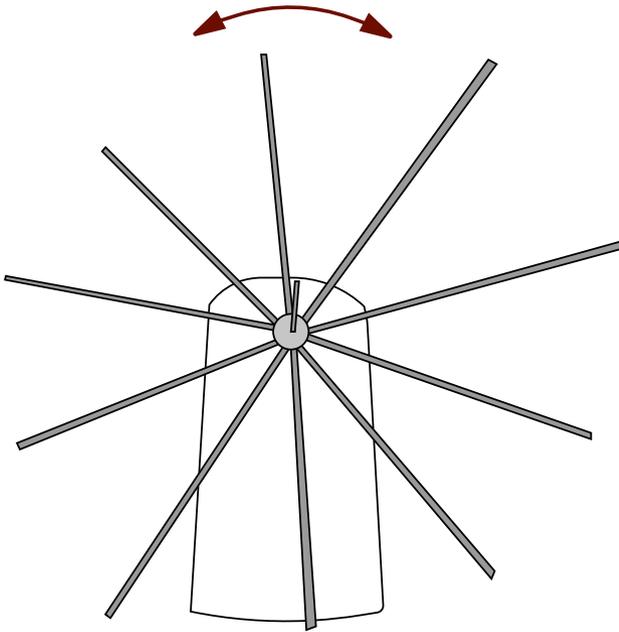


Fig. 57

- Torre:
  - Ladrillo
- Características:
  - 4 aspas de madera.
  - Rotor auxiliar.
- El rotor se apoya sobre un trípode de madera, desde donde se movía la noria o una rueda con cangilones que permitía sacar agua.
- Las aspas de estos molinos se fabricaban atando telas a los palos del rotor, de forma similar a los molinos persas de eje horizontal.
- Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro vertical.
- Primeros usos: para el bombeo de agua y para la molienda de grano.
- La velocidad podía regularse por el procedimiento de soltar o recoger las velas.

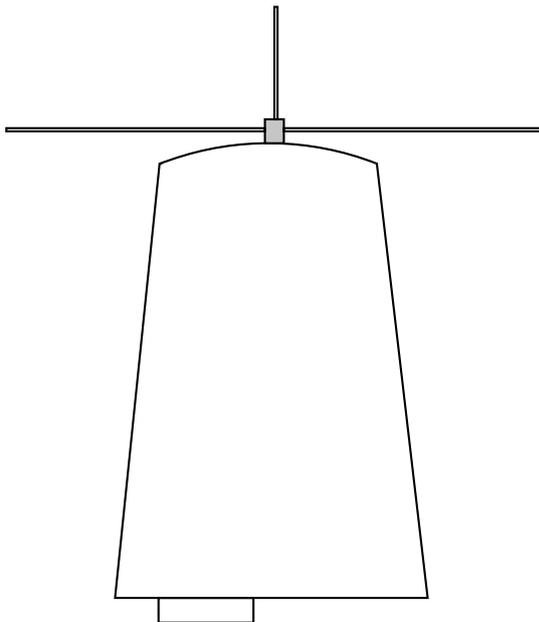


Fig. 58



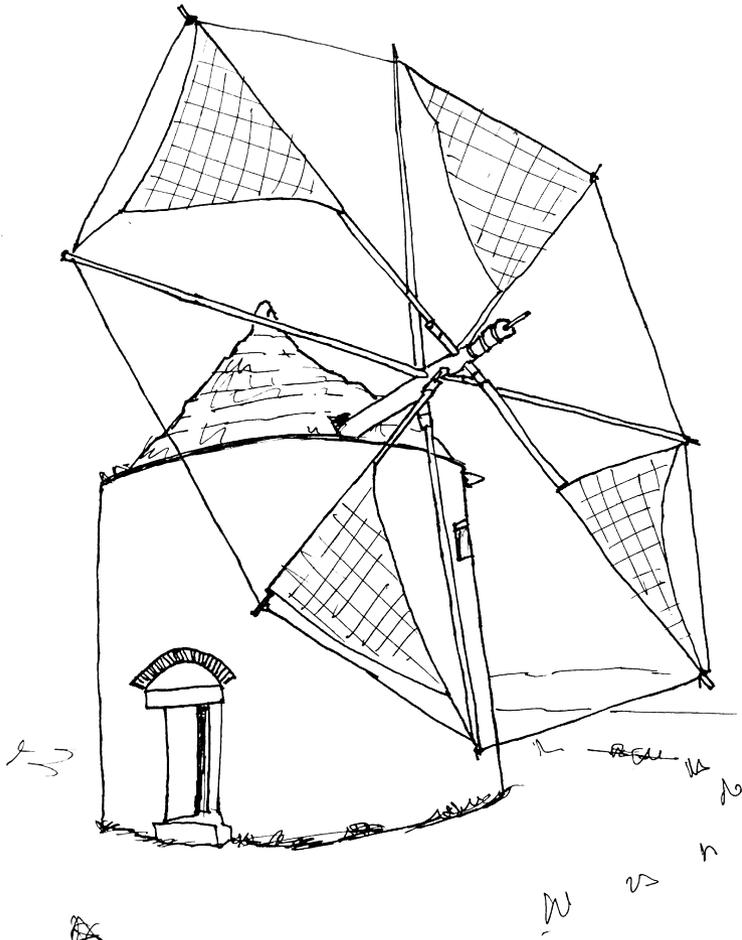


Fig. 59



Fig 60



Fig 61



Fig 62



**Molino tipo torre**  
**Siglo XI**  
**Mediterráneo**

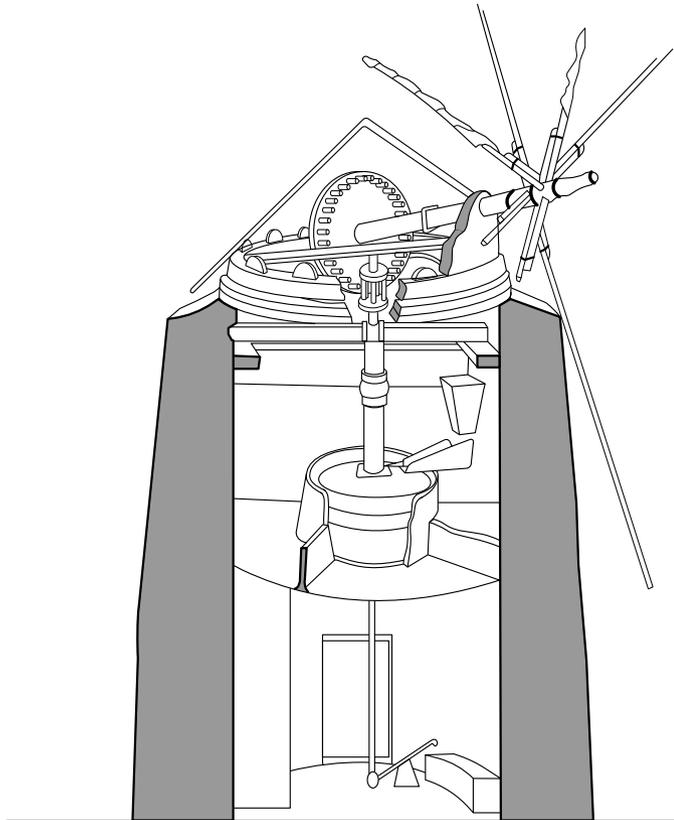


Fig. 63

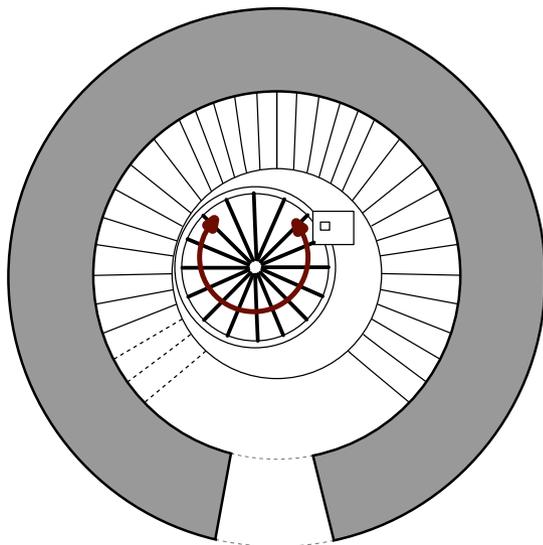


Fig. 64

- Torre:
  - Madera
  - Tela
  - Piedra
  - Arcilla
  - Mampostería
- Características:
  - Entre 8/16 varas de madera con triángulos de tela.
  - Entre 7/8 metros de altura.
  - Entre 2/3 pisos.
- Cúpula orientable y giratoria para una mejor rotación de las aspas.
- En su interior alberga dos grande piedras de moler (tercer piso) y una complicada maquinaria.
- Se usaba un ingenioso sistema de palancas para regular la separación de las mulas y así variar la finura de grano molido.
- Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro verticales.
- Desventaja: las velas pueden ser dañadas con mayor facilidad.
- Primeros usos: molienda de grano.
- Se pueden apreciar diferencias entre molinos del mismo tipo dependiendo de la zona donde se encuentren.



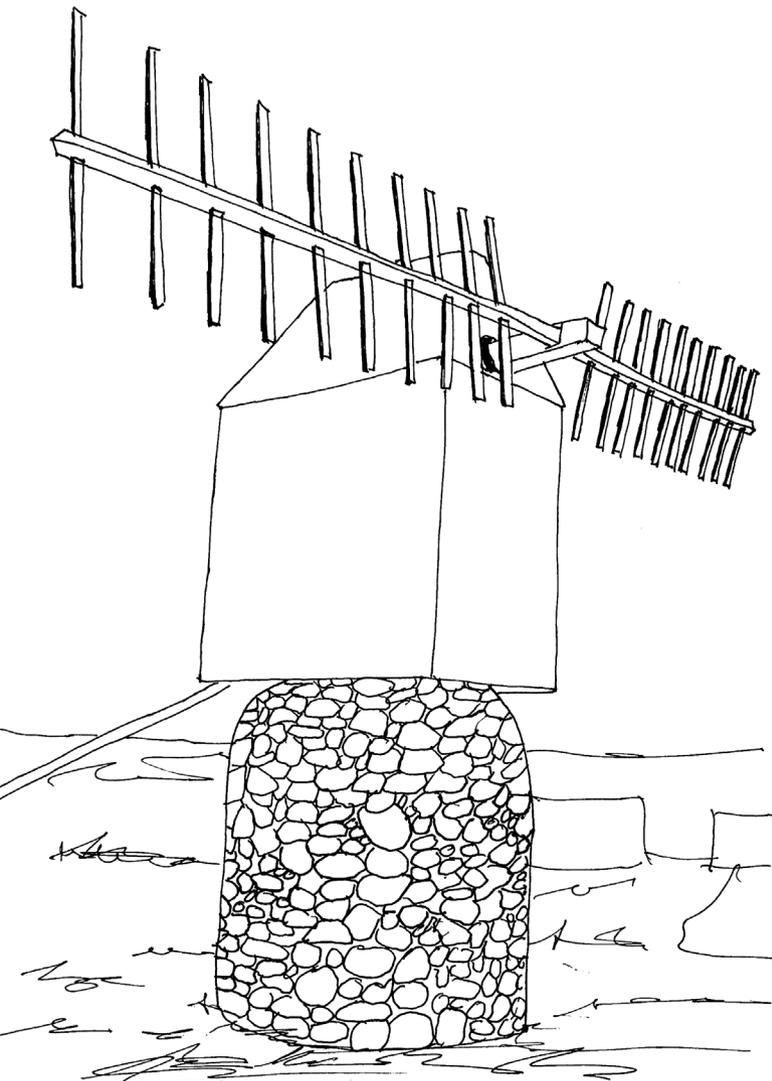


Fig. 65



Fig 66



Fig 67



Fig 68



**Molino sobre pivote**  
**Siglo XI**  
**Francia**

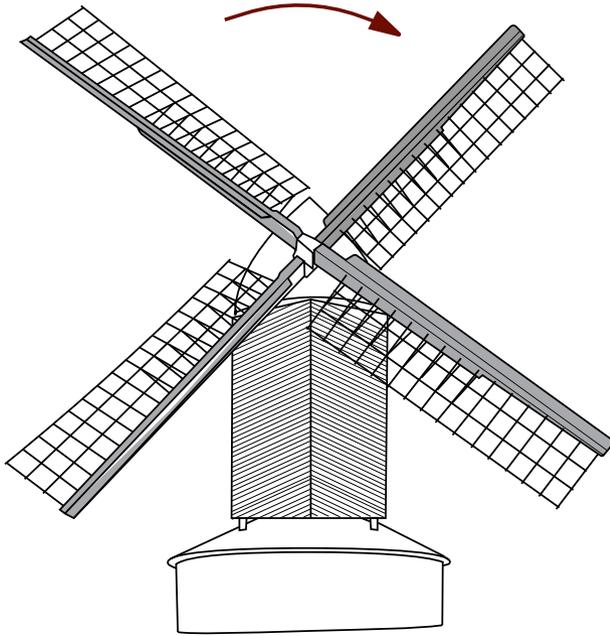


Fig. 69

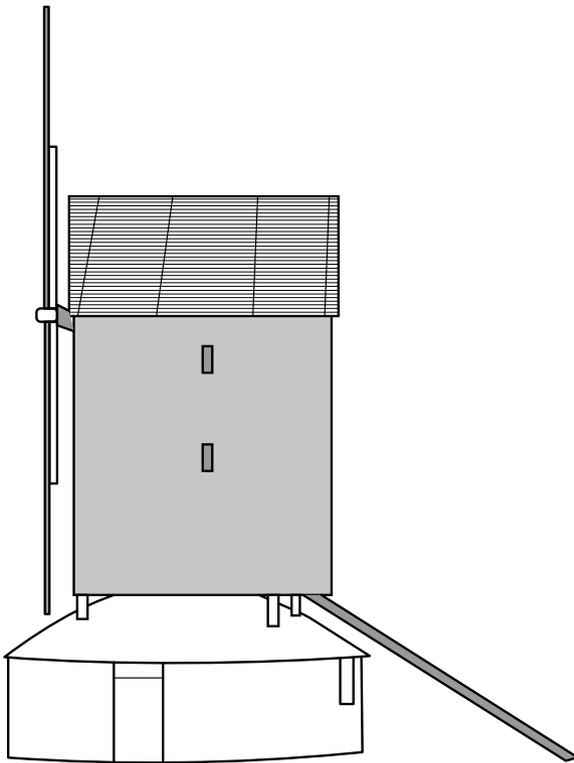


Fig. 70

- Torre:
  - Mampostería
  - Madera
- Características:
  - Entre 2/4 aspas de madera.
  - Dos torres.
- Poste de:
  - Madera.
  - Piedra
  - Mampostería
- Las palas se unían en el eje principal, totalmente horizontal, que transmitía el empuje del viento a las muelas a través de un engranaje que cambiaba la dirección del árbol motor.
- Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro vertical.
- Primeros usos: molienda de grano.
- Las muelas y los mecanismos se alojaban en el recinto móvil del molino.
- El recinto móvil pivotante se orientaba hacia la dirección del viento.
- Se dejó de construir hacia el siglo XV
- El recinto pivotante se hincaba en tierra o se hundía dentro de un apilamiento de piedras o maderos.



Fig 72

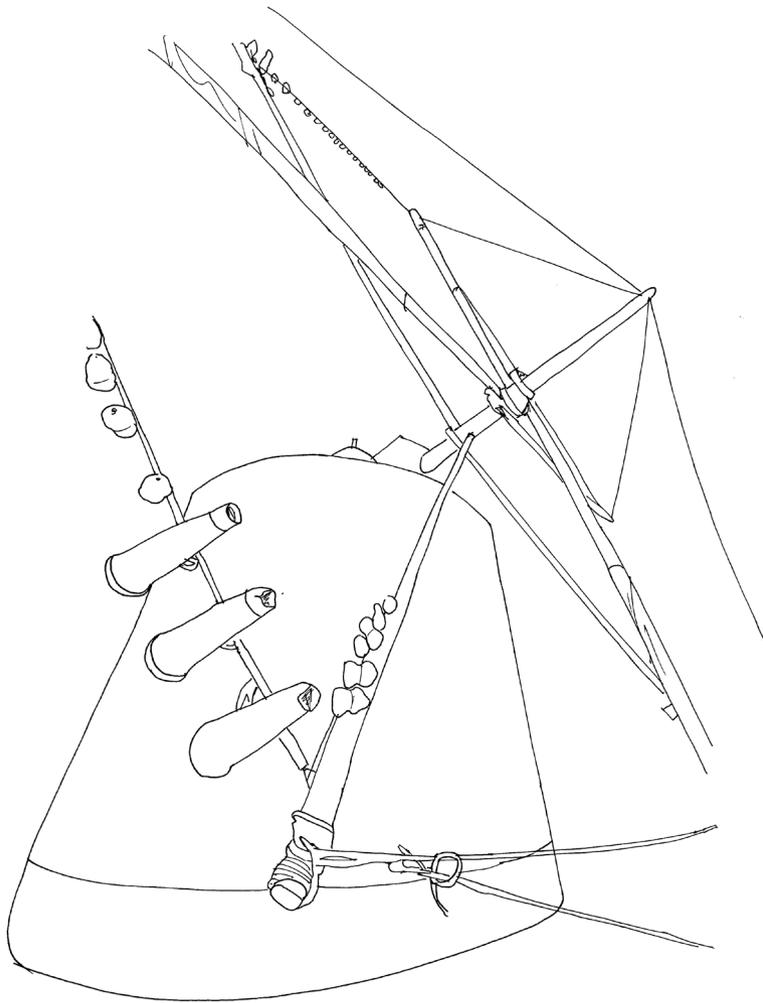


Fig. 71



Fig 73



Fig 74



**Molino portugués**  
**Siglo XI**  
**Portugal**

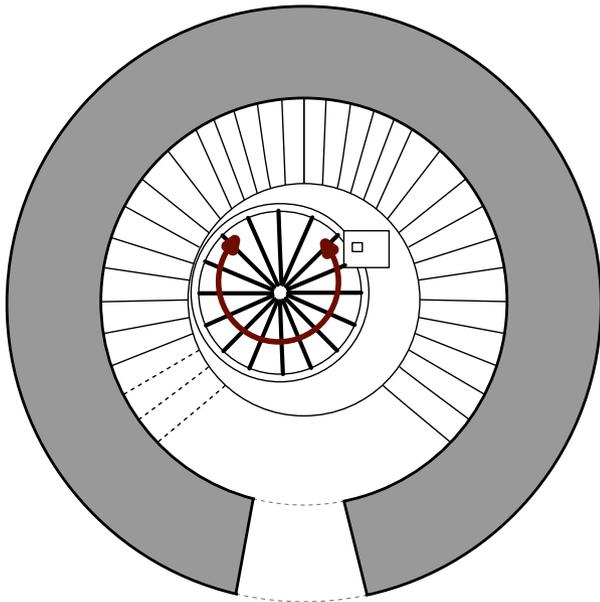


Fig. 75

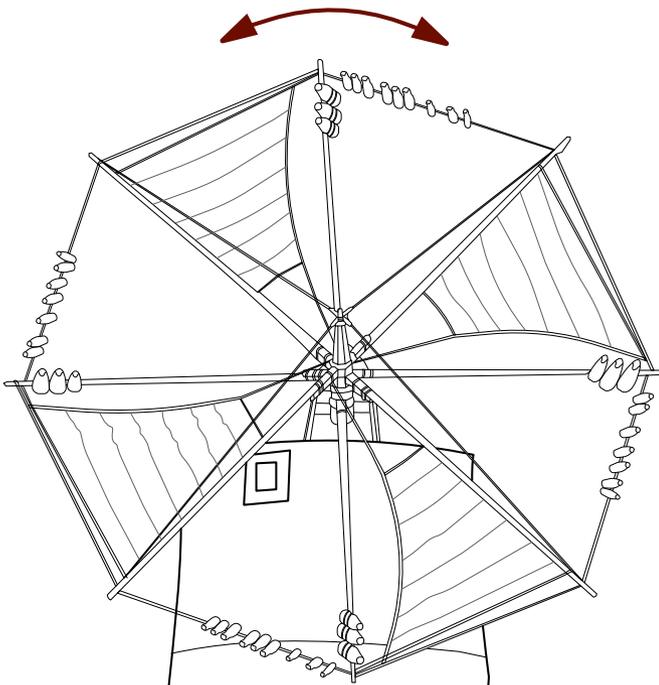


Fig. 76

- Torre de:
  - Mampostería
  - Madera
  - Cal
  - Cerámica
  - Lienzo
- Características:
  - Entre 4/8 aspas de vela triangular, de madera o mixto.
- Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro verticales.
- Primeros usos: molienda de grano.
- Desventaja: las velas pueden ser dañadas con mayor facilidad.
- Las torres eran:
  - planta circular
  - cilíndrico-cónicas
  - cilíndricas
  - ligeramente troncocónicas
- Contenía un sistema para avisar a los aldeanos. Consistía en unos cántaros de barro atados a los tirantes exteriores del rotor, produciendo así un sonido distinto según incida el viento.



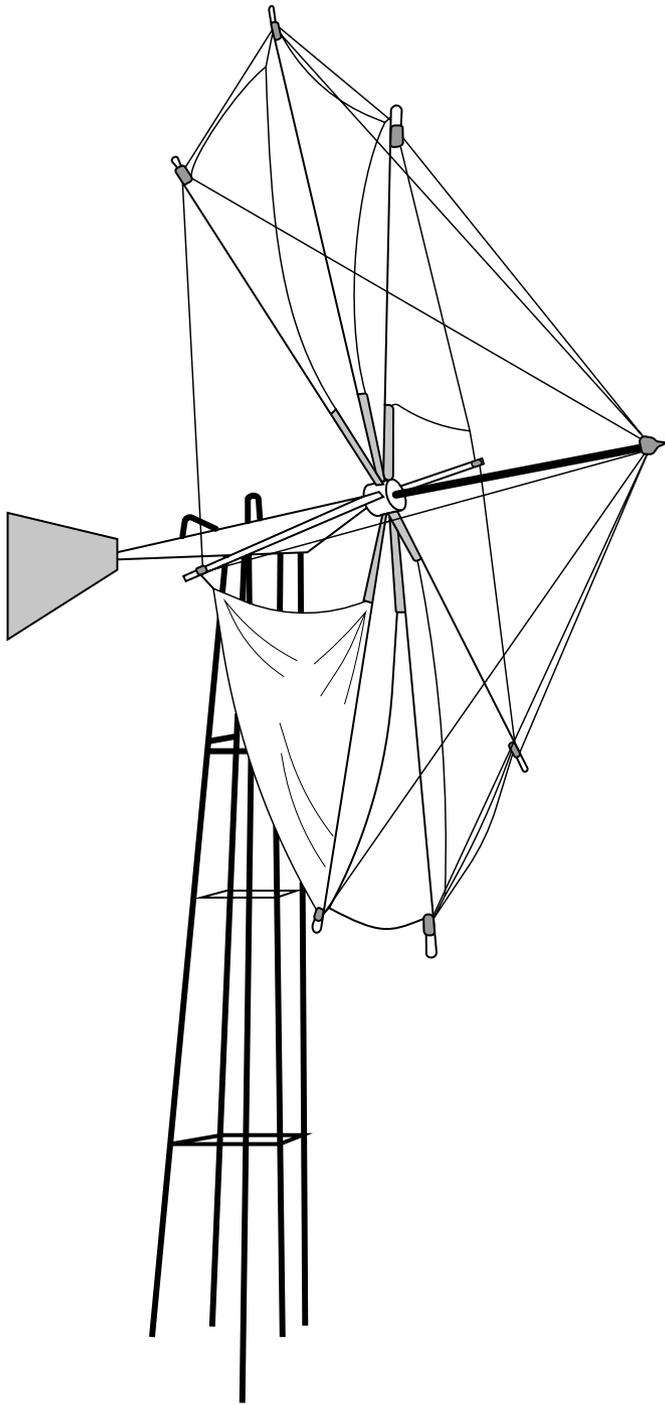


Fig. 77



Fig 78



Fig 79

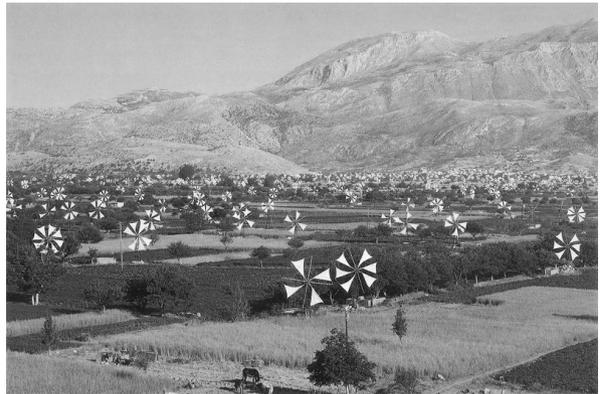


Fig 80

**Molino de vela sobre trípode**  
**Siglo XII**  
**Islas de Creta y Egeo**

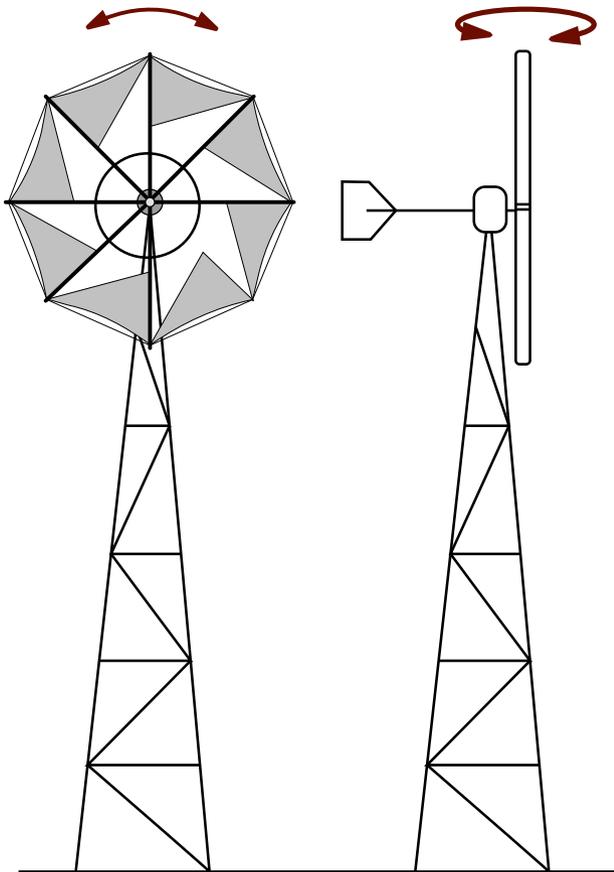


Fig. 81

- Torre trípode de:
  - Tela
  - Tirantes de sujeción
  - Madera
  - Cangilones
- Características:
  - Entre 6/8 palas de tela .

• La velocidad de rotación se podía modificar soltando o recogiendo la vela, teniendo tanto las velas como los tirante de sujeción, cierta elasticidad a deformación para regular el comportamiento aerodinámico.

• Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro verticales.

• Primeros usos: bombeo de agua y moler caña de azúcar.

• Desventaja: frente a tormentas imprevistas las velas no resistían y se rompían con mayor facilidad.

• Una rueda movida por el rotor aerodinámico, gracias a cangilones atados, extraía el agua de los pozos.

• Se cree que fueron construidos antes de la dinastía veneciana.

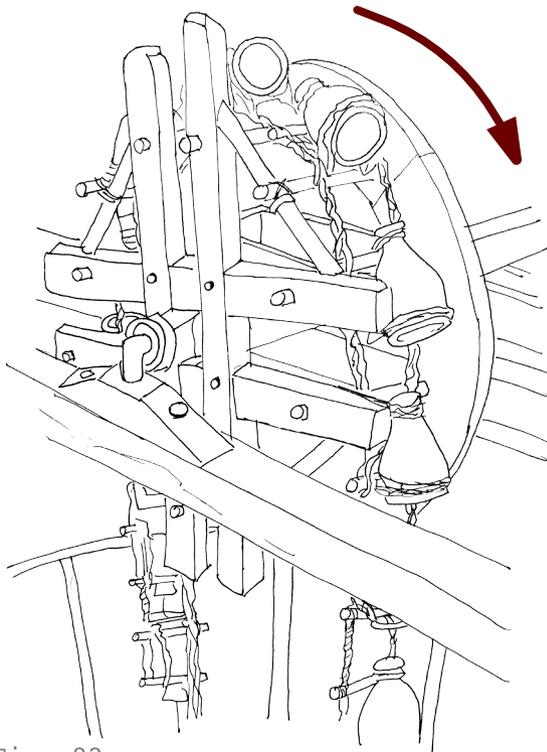


Fig. 82



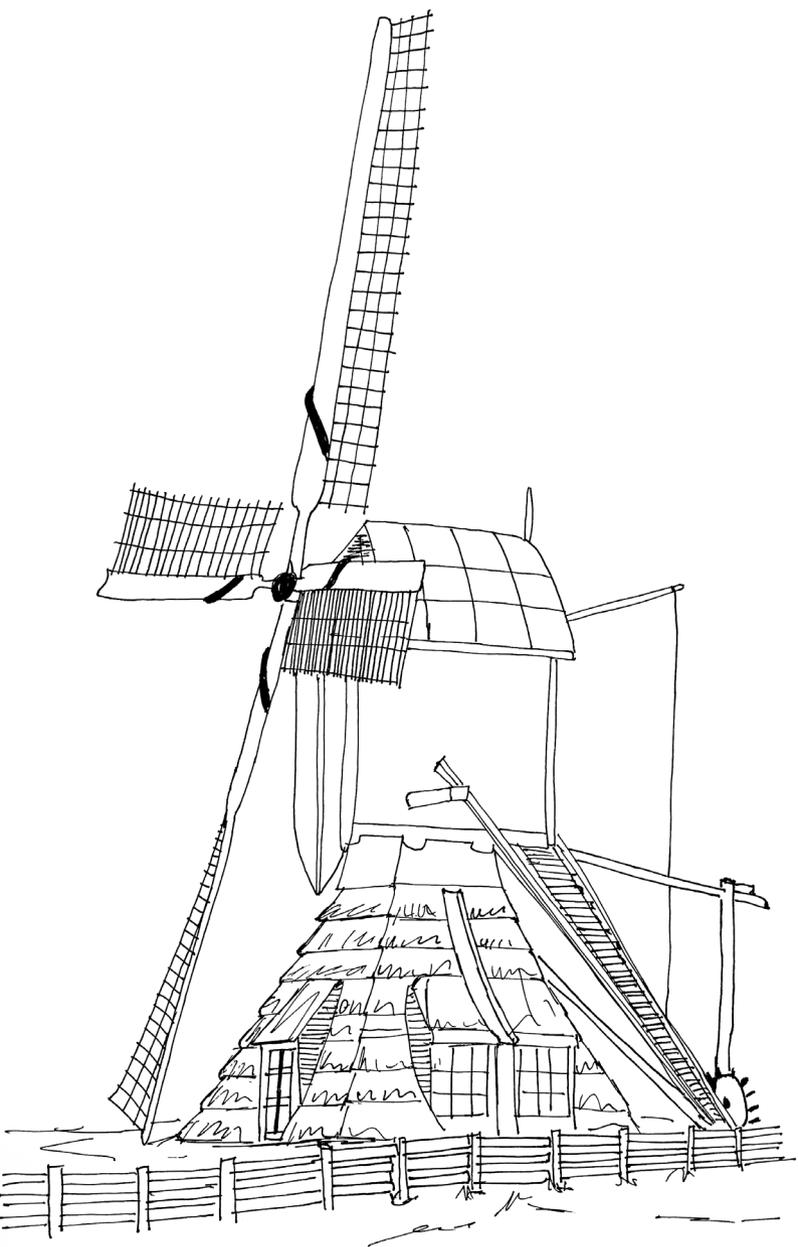


Fig. 83



Fig 84



Fig 85



Fig 86



**Molino sobre trípode**  
**Siglo XIV**  
**Norte de Europa**

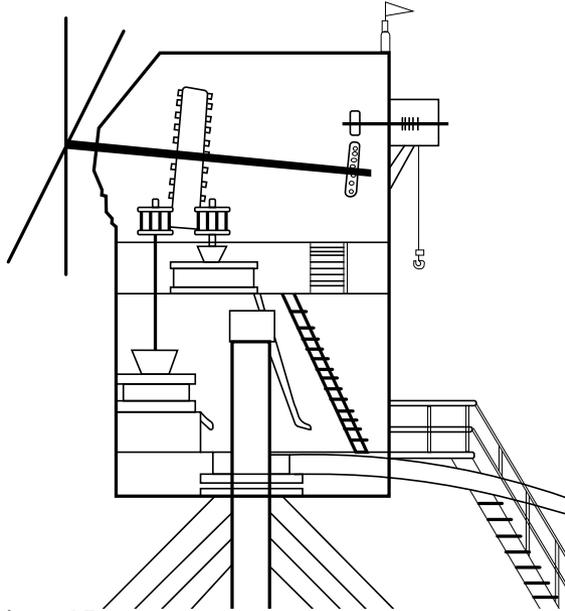


Fig. 87

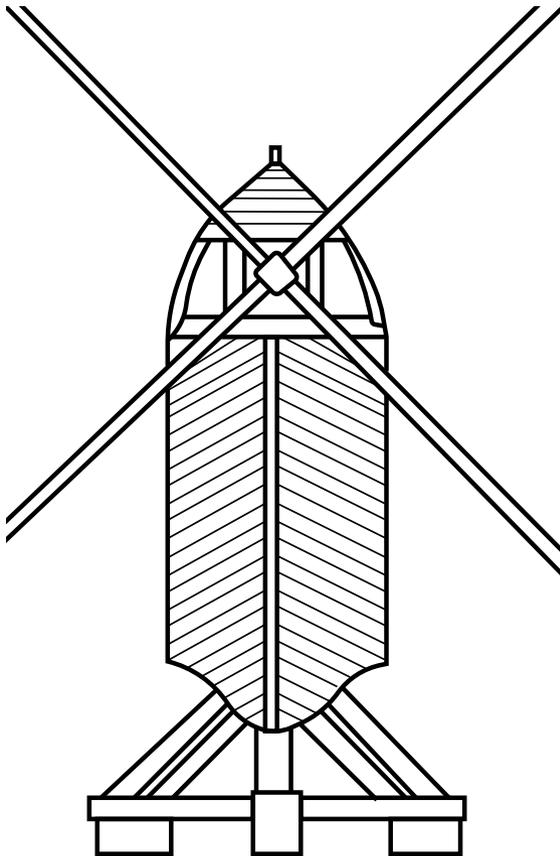


Fig. 88

- Torre:
  - Madera
- Características:
  - 4 aspas de madera.
  - Torre elevada sobre un trípode de madera.
- Evolución del molino sobre pivote.
- Era de base más estable y a su vez resultaba más sencilla su construcción, así como la orientación al viento.
- Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro vertical.
- Primeros usos: hogares, así como en las industrias de molienda de caña de azúcar.
- El recinto móvil pivotante se orientaba hacia la dirección del viento.
- Se dejó de construir hacia el siglo XV
- El recinto pivotante e hincaba en tierra o se hundía dentro de un apilamiento de piedras o maderos.
- A veces se construía una estructura debajo del cuerpo del molino para proteger el caballete de madera y para proporcionar almacenamiento.



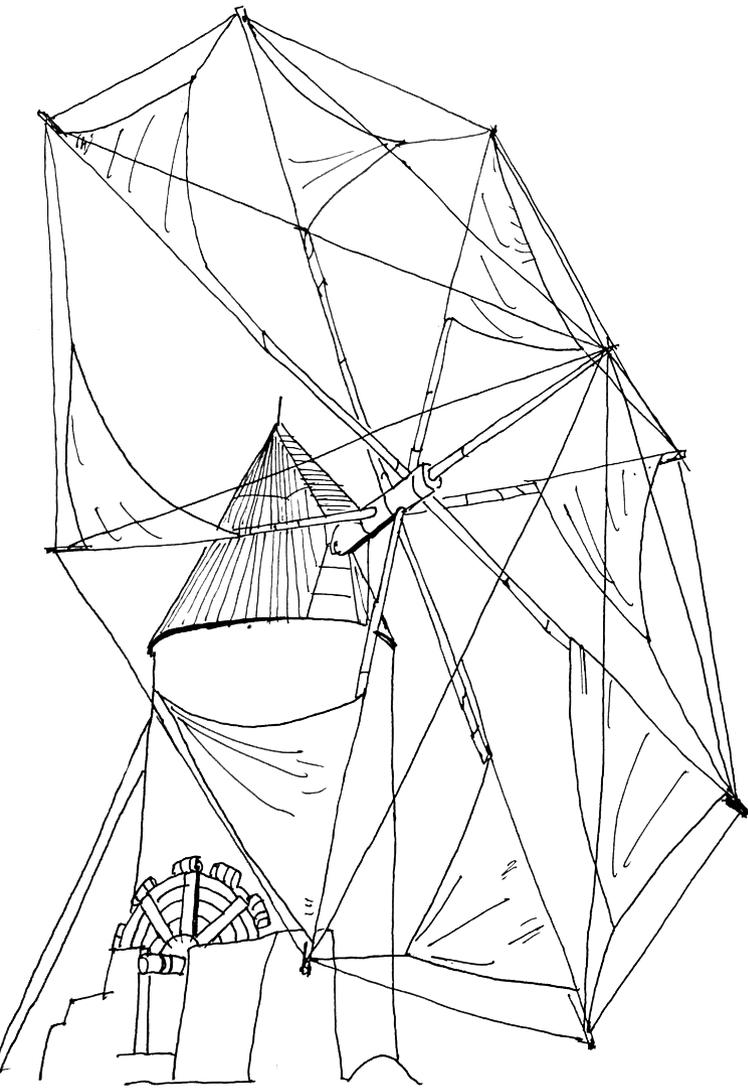


Fig. 89



Fig 90



Fig 91



Fig 92



**Molino de vela de Cartagena**  
**Siglo XIV**  
**Cartagena - Murcia**

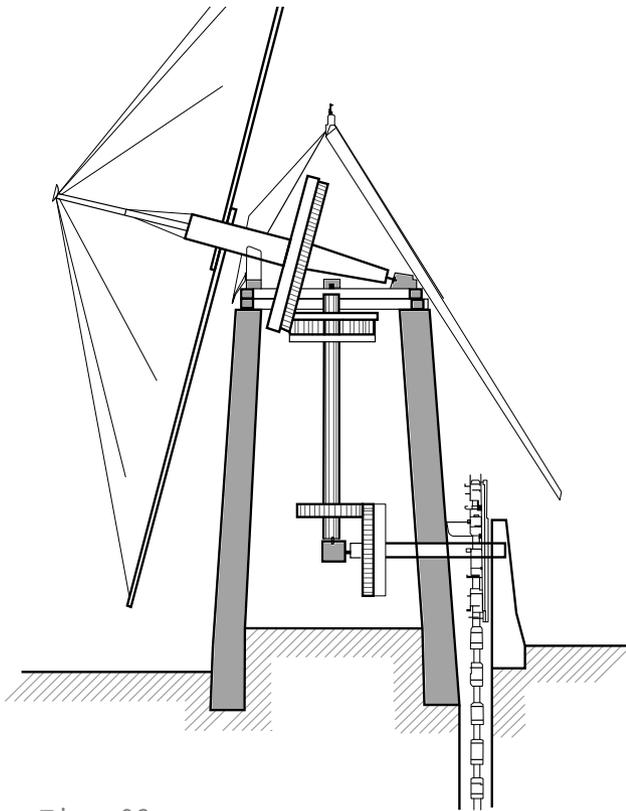


Fig. 93

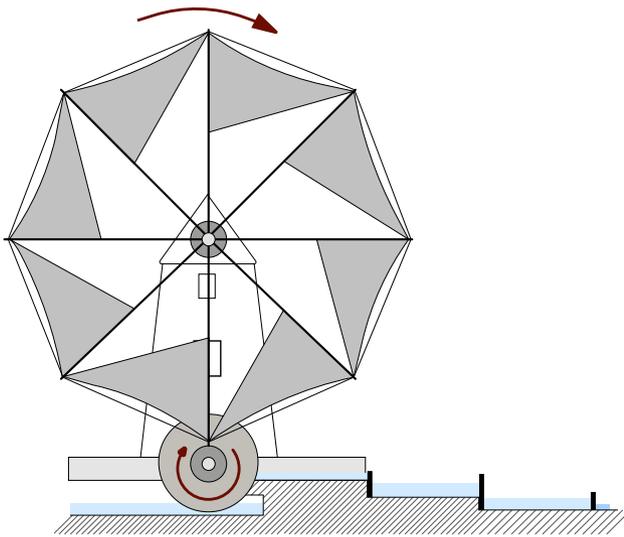


Fig. 94

- Torre:
  - Madera
  - Tela
  - Arcilla
  - Mampostería
- Características:
  - Entre 4/8 palas de tela sobre un armazón de madera.
  - Entre 7/8 metros de altura.
- Cúpula orientable y giratoria para una mejor rotación de las aspas.
- Construido sobre una plataforma de 1 o 2 metros de altura. De menor tamaño que el molino tipo torre ya que no contiene las piedras para moler el grano.
- Se usaba un ingenioso sistema de palancas para regular la separación de las mulas y así variar la finura de grano molido.
- Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro verticales.
- Primeros usos: bombeo de agua.
- Desventaja: las velas pueden ser dañadas con mayor facilidad.
- El movimiento del eje desciende a lo largo de la torre por engranajes para impulsar una noria y elevar el agua mediante cangilones.



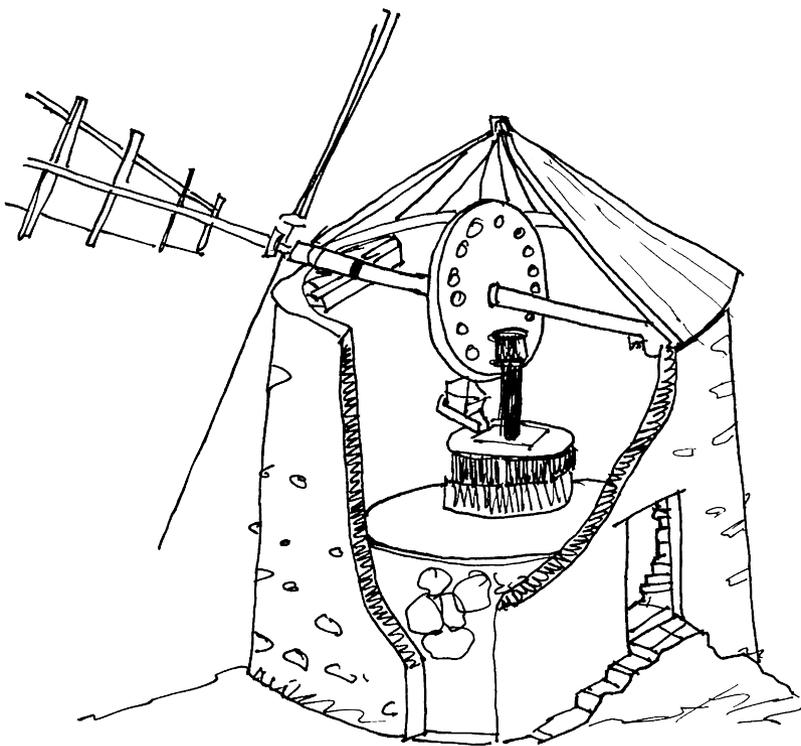


Fig. 95



Fig 96



Fig 97



Fig 98



**Molino Canario**  
**Siglo XIV**  
**Fuerteventura, Lanzarote, Tenerife**

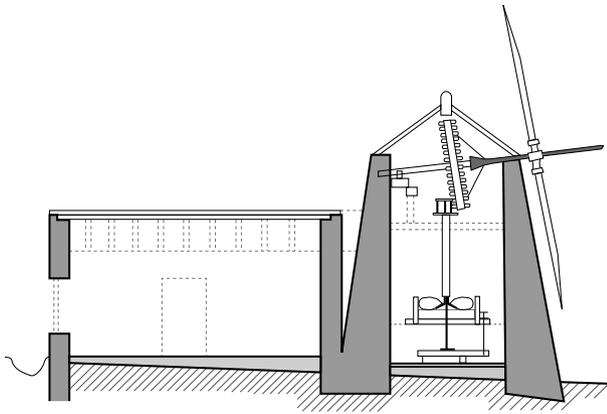


Fig. 99

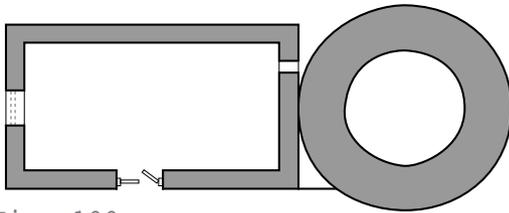


Fig. 100

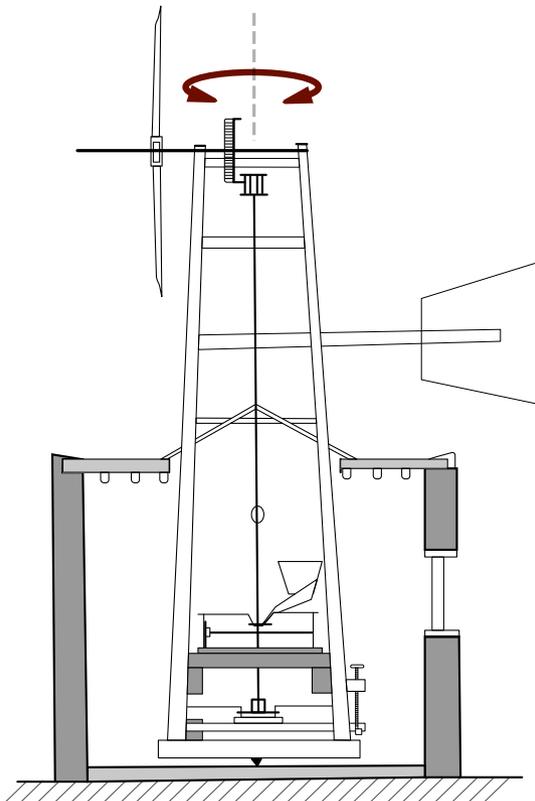


Fig. 101

- Torre:
  - Madera
  - Mampostería
- Características:
  - Entre 6/8 aspas de madera.
  - Torre cilíndrica.
  - Torre troncocónica.
- Elevado sobre una plataforma.
- Dos estancias que se comunican por el exterior.
- Se pueden diferenciar los distintos molinos según su rotor.
  - Número de aspas.
  - Forma de aspas.
    - Rectangular.
    - Trapezoidal.
- Las aspas estaban unidas por cables a la prolongación del mástil.
- Eje: de transmisión horizontal.
- Primeros usos: Bombeo de agua o molienda de cereal o gofio.
- Una variedad que se encontraba en Palma era sin torre, solo con un armazón.
- Su extensión es en las primeras etapas de la colonización.
- Creado por su escasez fluvial en las islas.



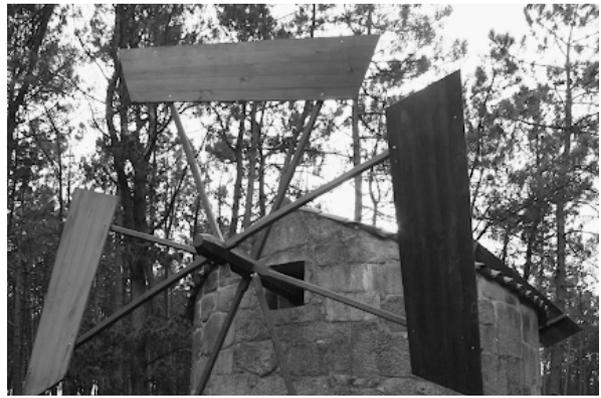


Fig 103



Fig 104

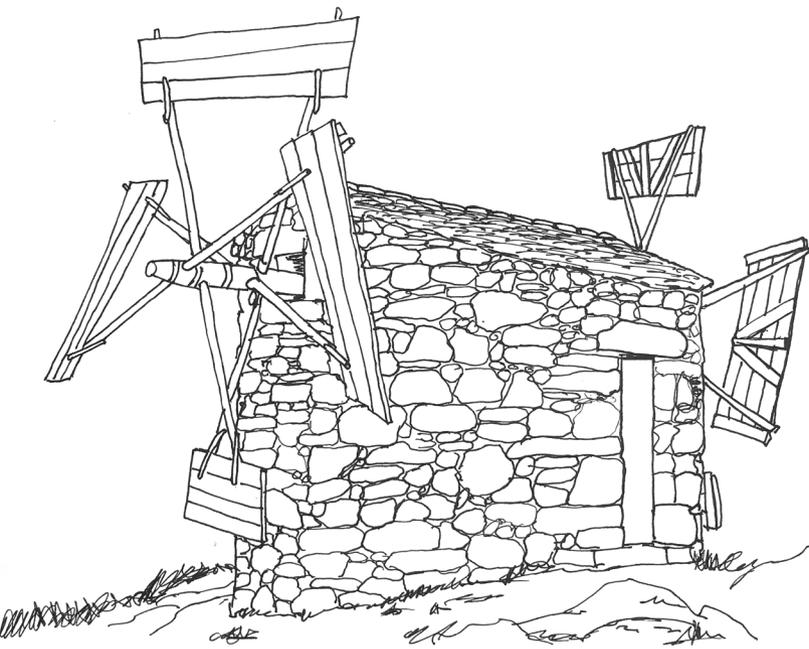


Fig. 102



Fig 105



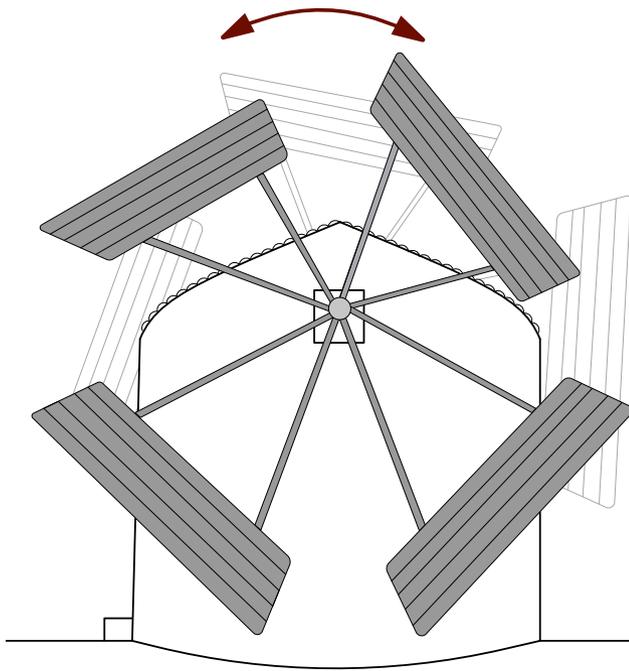


Fig. 106

- Torre:
  - Piedra
  - Madera
  - Tejas
- Características:
  - Entre 3/4 palas de madera.
  - Entre 3/5 metros de altura.
- Cubierta a dos aguas.
- Esta formado por dos rotores opuestos acoplados a la misma estructura y sin ningún sistema de orientación.
- Según la procedencia del viento (NE y SO) actuaba un rotor u otro.
- Eje: de transmisión horizontal.
- Primeros usos: molienda de grano.
- Desventaja: las velas pueden ser dañadas con mayor facilidad.

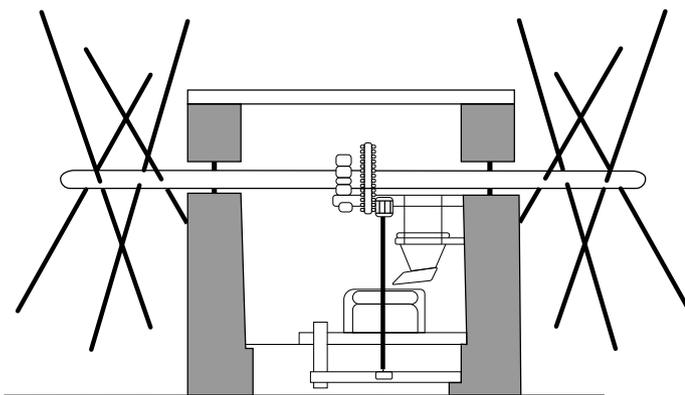


Fig.107

- Podían también tener dos ejes dispuestos a 90° acoplados a la misma rueda.
- Por su singular morfología de sistema de doble aspa, es único en Europa.





Fig 109

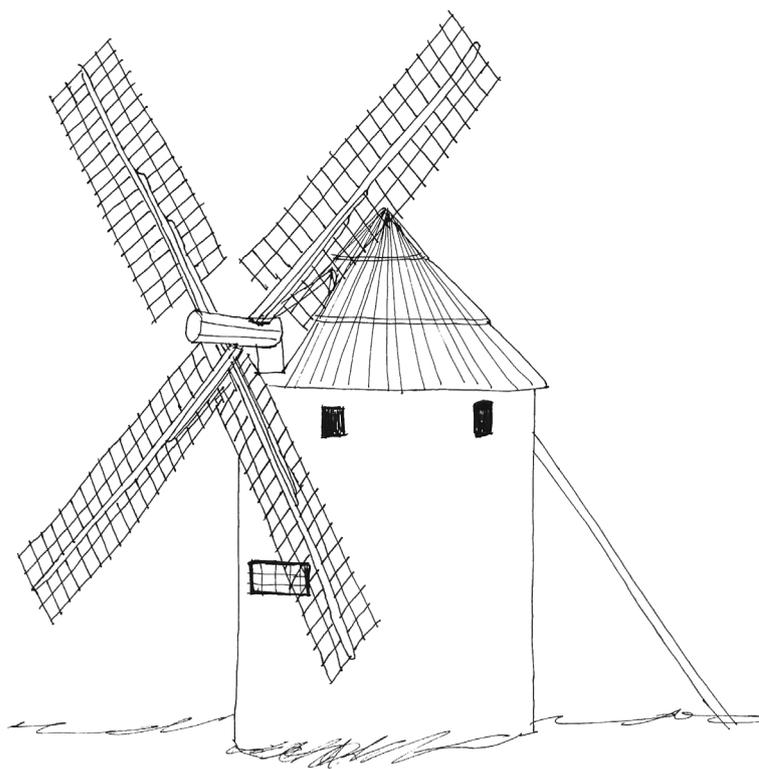


Fig. 108



Fig 110



Fig 111



**Molino Manchego**  
**Siglo XV**  
**Castilla-La Mancha**

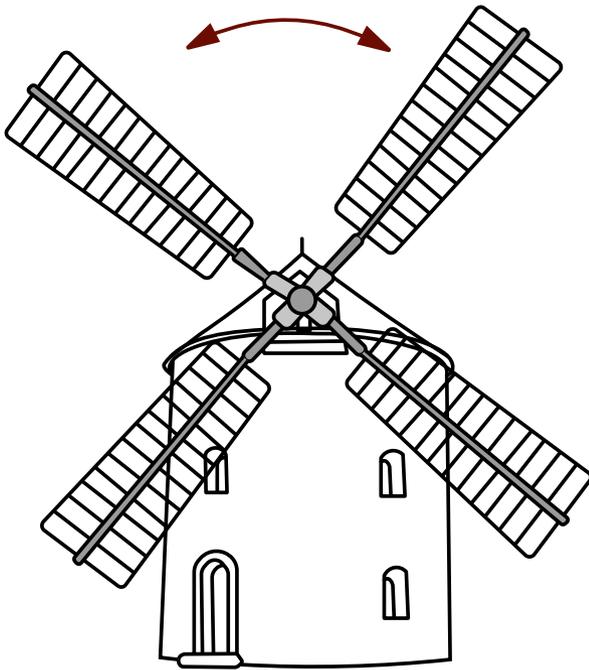


Fig. 112

- Torre de:
  - Piedra
  - Adobe
  - Madera
  - Lienzo
- Características:
  - 4 palas con un entramado de madera, recubierto de lienzo.
  - Hasta 8 metros de altura
  - Caperuza troncocónica de 3 metros de altura media.
  - Diámetro unos 6 metros.
- Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro verticales.
- Primeros usos: molienda de harina.
- Tres estancias:
  - Silo o cuadra. Ensancado de la harina.
  - Camareta. Una ventana y dos vigas que sustentan el moledero.
  - Moledero o habitación de las piedras. 8 ventanillos.
- Se puede considerar una variante del molino mediterráneo de vela por la torre.
- Las aspas y formas es de influencia europea.

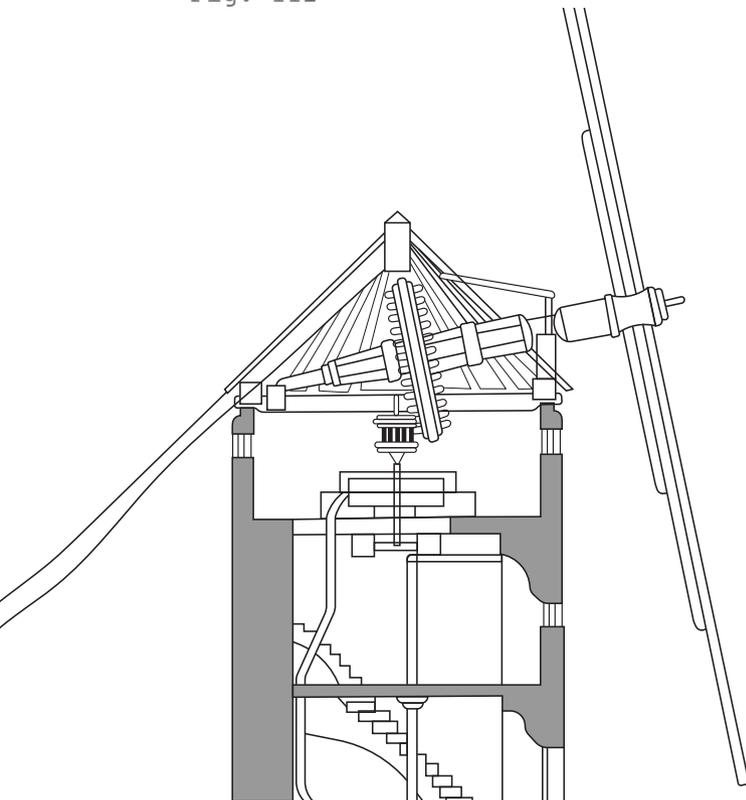


Fig. 113



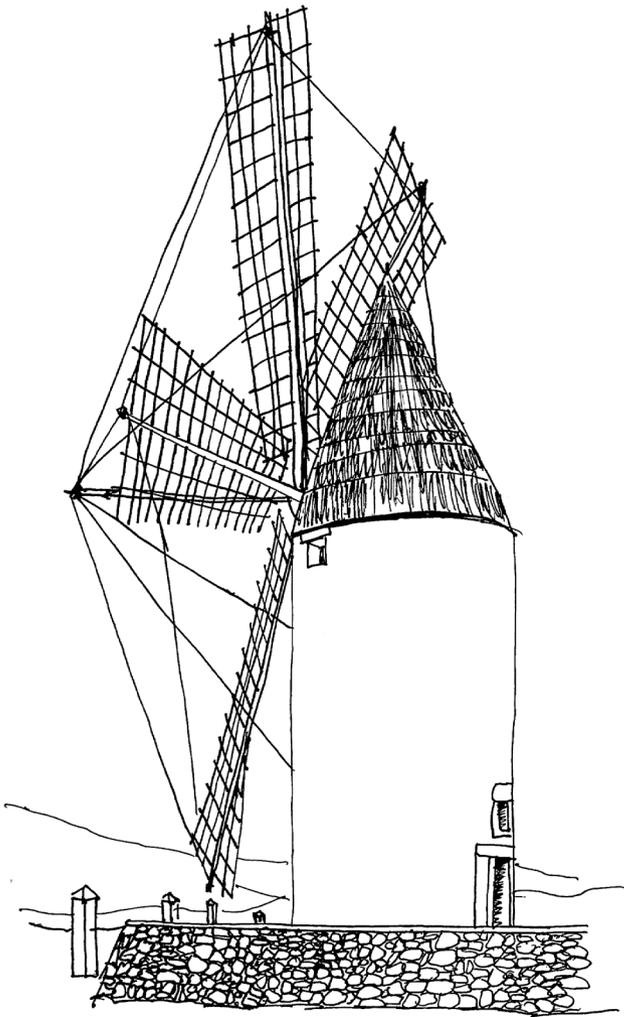


Fig. 114



Fig 115



Fig 116



Fig 117



**Molino Mallorquín**  
**Siglo XV**  
**Islas Baleares**

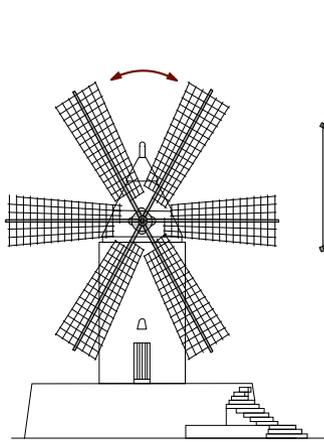


Fig. 118

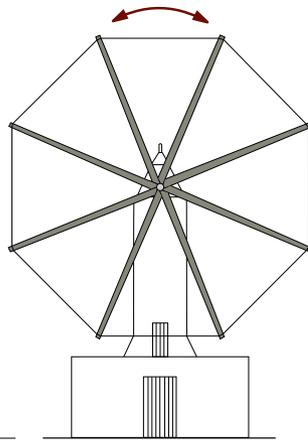


Fig. 119

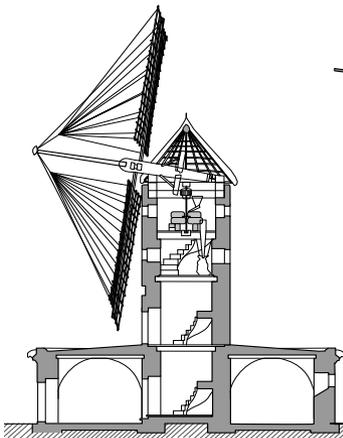


Fig. 120

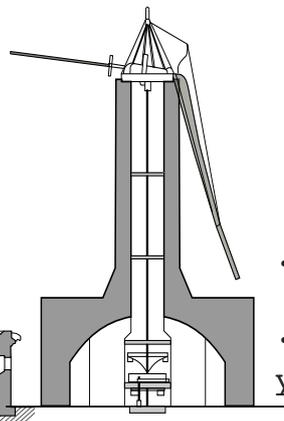


Fig. 121

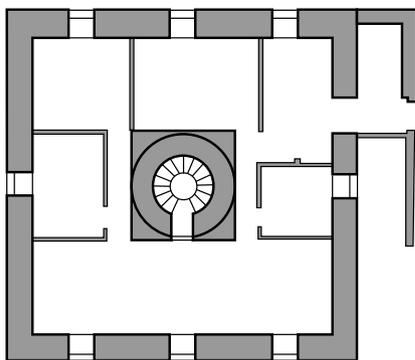


Fig. 122

- Torre de:
  - Piedra
  - Adobe
  - Madera
  - Lienzo
  - Cal
  - Arena
- Características:
  - 4 palas con un entramado de madera, recubierto de lienzo.
  - Entre 8/10 metros de altura
  - Caperuza troncocónica de 3 metros de altura media.
  - Diámetro unos 3/4 metros.
  - Muro de 1 metro de espesor
  - Torre cilíndrica.
- Puede tener 2 o 3 estancias
- Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro verticales.
- Primeros usos: molienda de harina.
- La torre es más esbelta que la del molino manchego.
- Dos tipos según su esbeltez, aspas Y funcionamiento.
- Cubierta móvil para orientar las aspas cara el viento.
- Situado sobre el dintel que suele ser de base cuadrangular o circular.
- La mayor concentración de molinos en España.

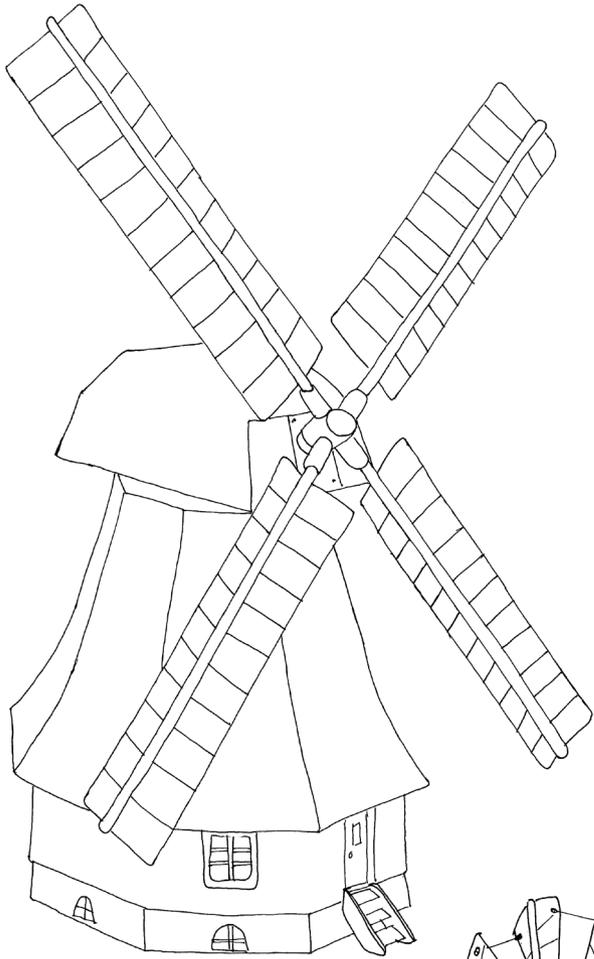


Fig. 123

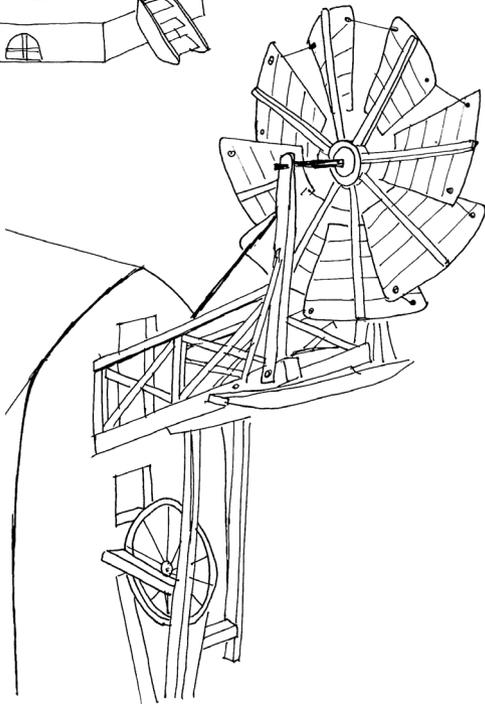


Fig. 124



Fig 125



Fig 126



Fig 127



**Molino con sistema de auto-orientación**  
**Siglo XVII**  
**Inglaterra, Holanda y Países Bajos**

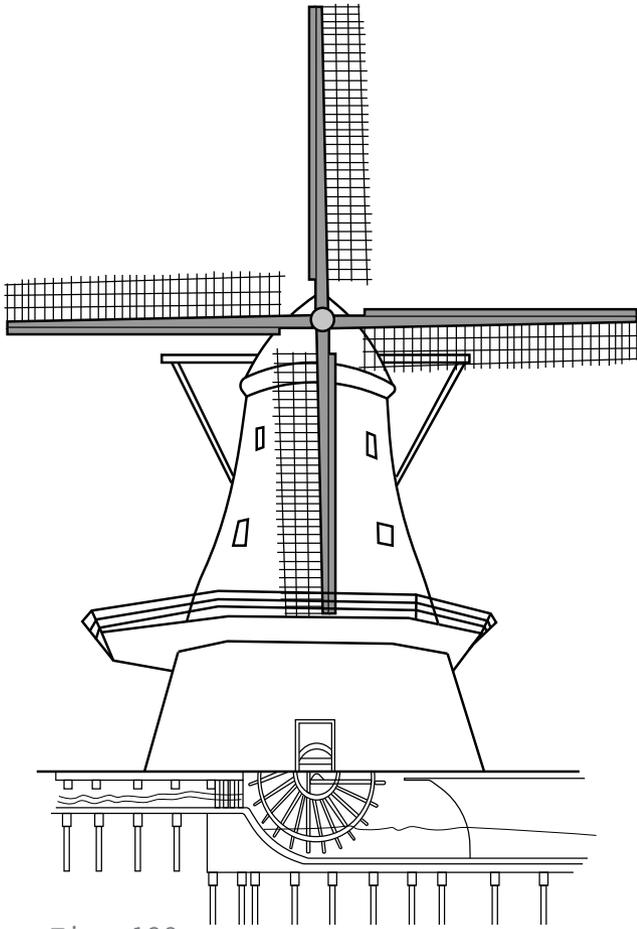


Fig. 128

- Torre:
  - Madera
  - Ladrillo
- Características:
  - 4 aspas de madera.
  - Rotor auxiliar.
- Consistía en un rotor auxiliar, dispuesto perpendicularmente al rotor principal, que iba montado sobre la escalera de acceso al molino y acoplado a unas ruedas apoyadas al suelo.
- Eje principal: de transmisión horizontal y los paneles de giro vertical.
- Primeros usos: en Holanda se utilizaba para desecar los polders.
- El rotor auxiliar, cuándo el viento incide actúa sobre las ruedas y mover a la máquina para orientar el molino debidamente.

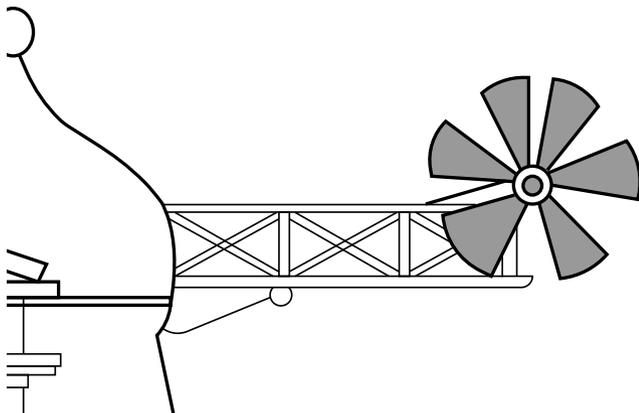


Fig. 129



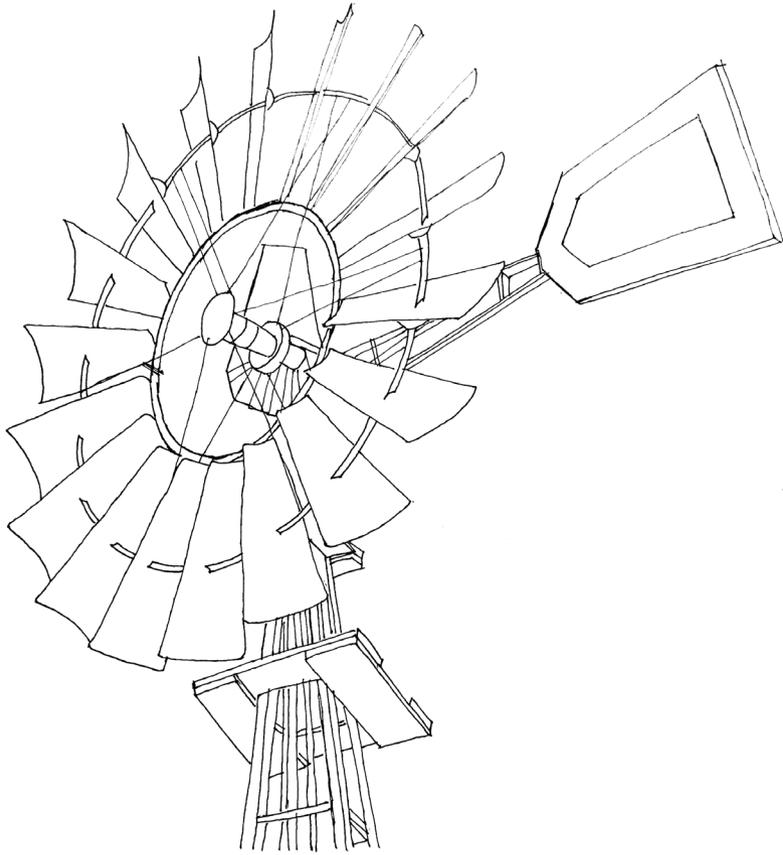


Fig. 130



Fig 131



Fig 132



Fig 133



**Rotor multipala americano**  
**Siglo XIX**  
**Estados Unidos**

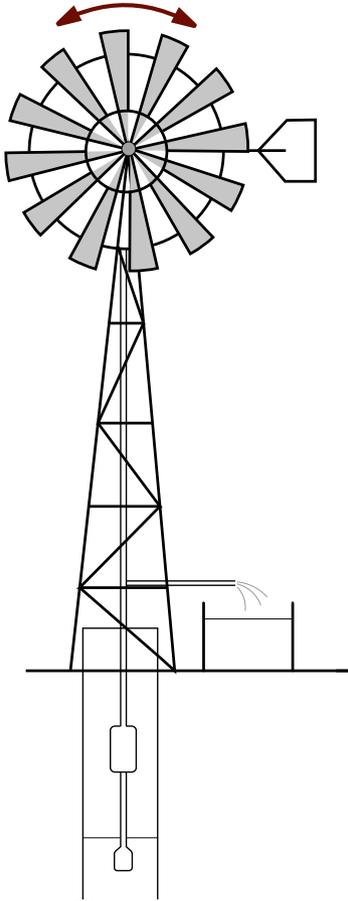


Fig. 134

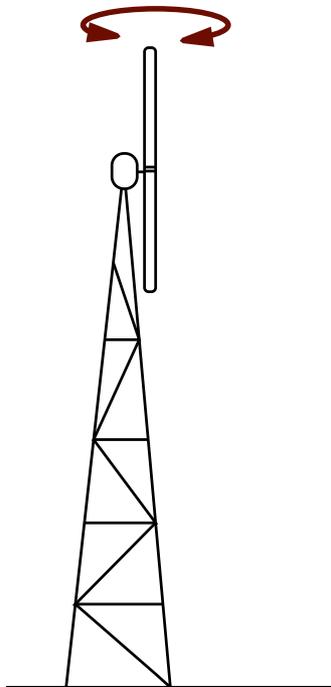


Fig. 135

- Torre:
  - Metálica
- Características:
  - Rotor de 3 metros de diámetro.
  - Entre 18/24 palas.
- El rotor estaba montado sobre un eje horizontal en la parte superior de la torre.
- Primeras bombas de agua eólicas.
- Rotores de múltiples álabes acoplados a una bomba de pistón.
- Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro vertical.
- Primeros usos: para el bombeo de agua.
- Creadores:
  - Daniel Halladay (Rotor multipala)
  - Stewart Perry (R. M. americano)
- Desventaja: limitación de sus aplicaciones al bombeo no favorecía su desarrollo tecnológico por su baja velocidad y poca eficiencia.
- Llegó a convertirse en el molino más extendido de cuantos hayan existido.





Fig 137

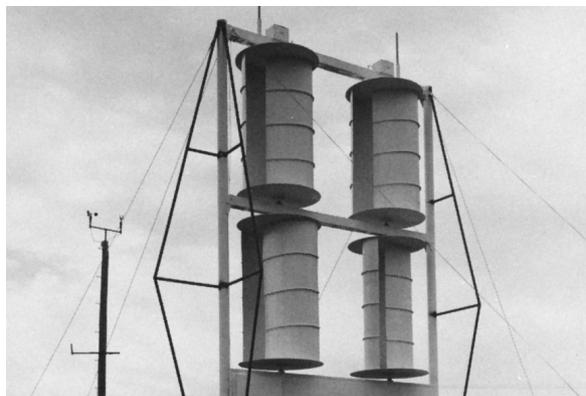


Fig 138



Fig 139

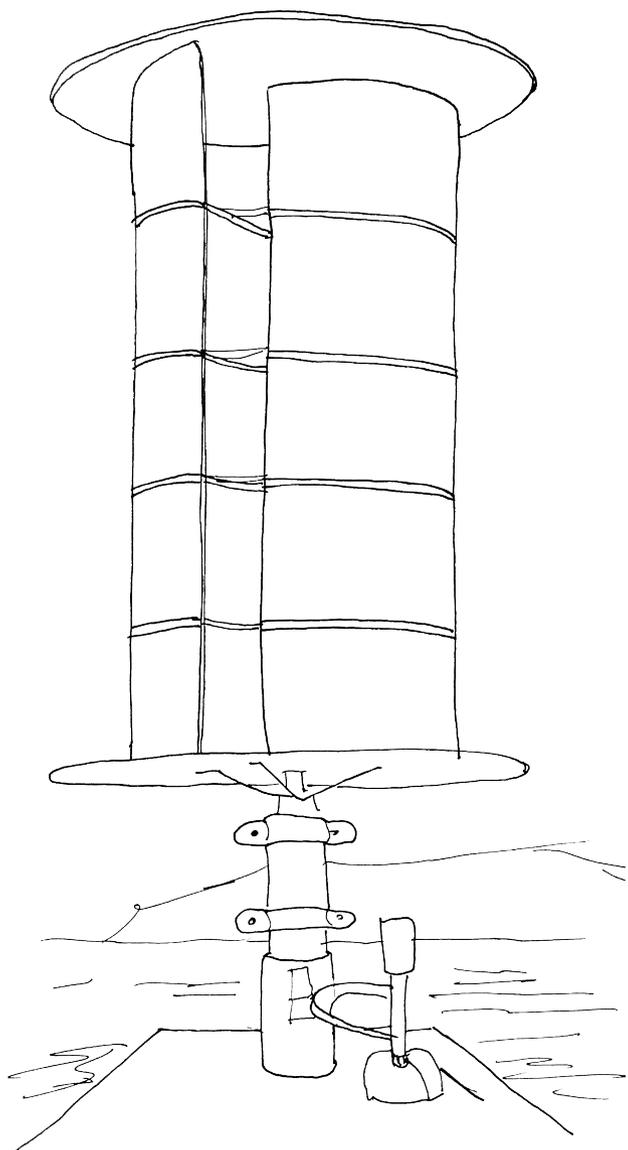


Fig. 136



**Rotor Savonius**  
**Siglo XX**  
**Finlandia**

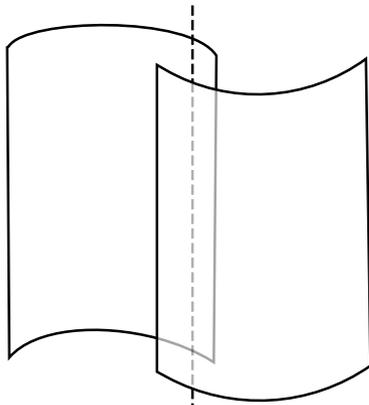


Fig. 140

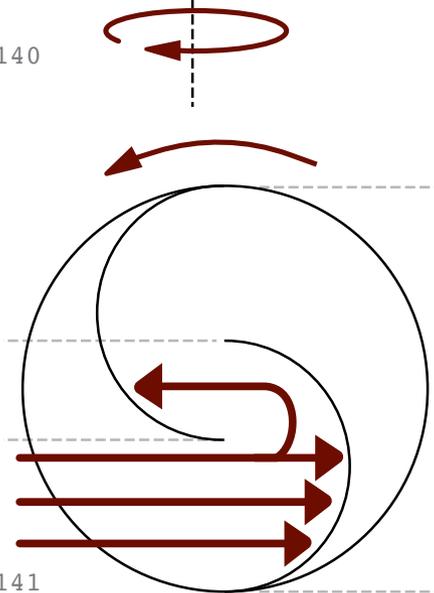


Fig. 141

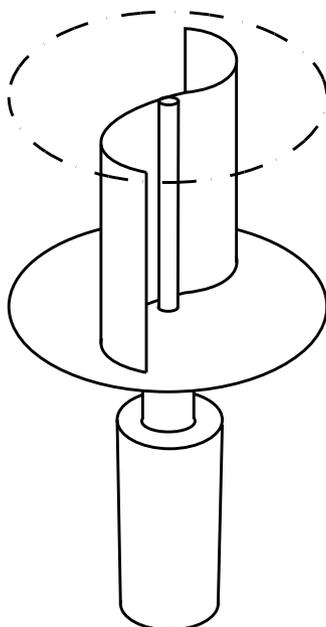


Fig. 142

- Torre:
  - Metálica
- Características:
  - Aspas semicírculos desfasados en el centro.
  - Entre 2/3/4 aspas.
- La forma del rotor que se pretende construir está restringida a la geometría que ofrece un tanque o barril de aceite.
- Por la facilidad de manufactura más viable y el diseño que se quiere lograr es el de 2 aspas.
- Eje: de transmisión vertical y los paneles de giro horizontal.
- Primeros usos: para el bombeo de agua.
- Configuraciones de anclaje para el eje del rotor.
  - Soportes arriba y abajo.
  - Se ancla abajo con dos puntos de soporte, asemejando un apoyo empotrado.
- Desventaja:
  - Gira a una velocidad muy pequeña, por lo que a veces necesitará de sistemas de transmisión.
  - Rendimiento de los más bajos en cuanto a aerogeneradores de eje vertical.
- Sistema de orientación omnidireccional.

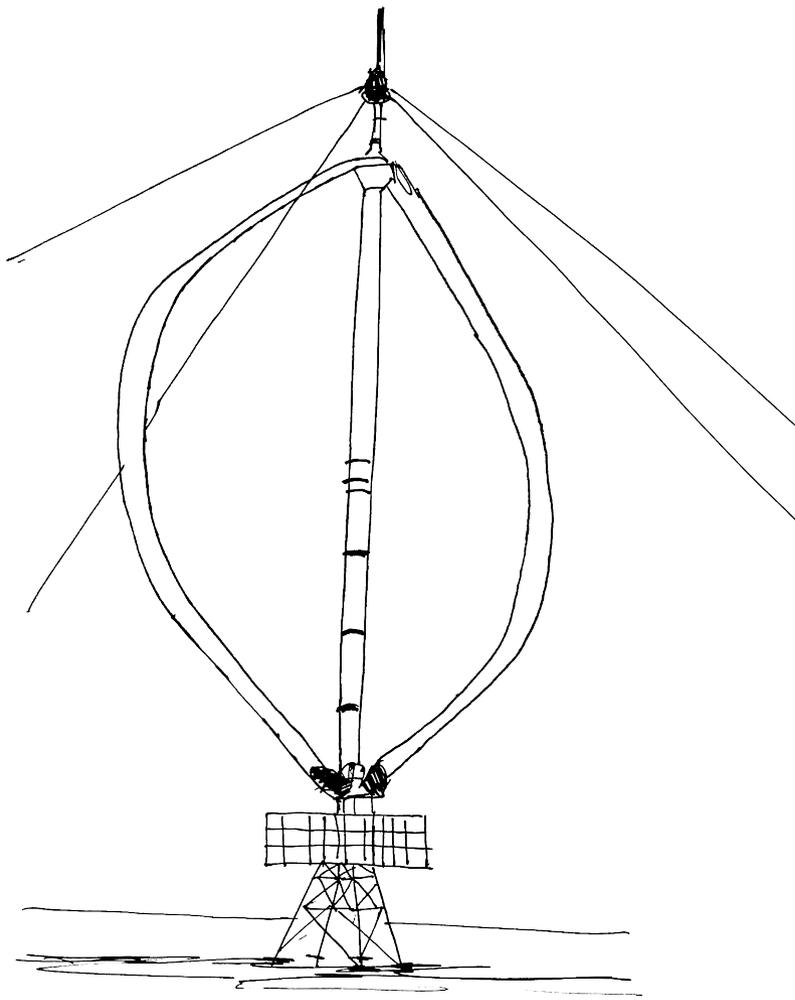


Fig. 143



Fig 144

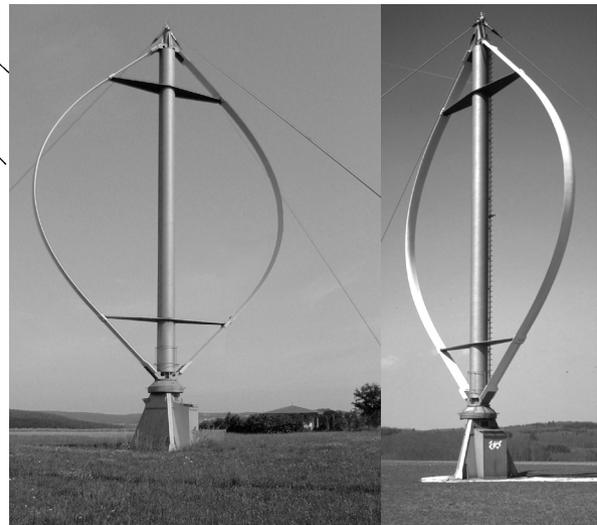


Fig 145

Fig 146



**Rotor Darrieus**  
**Siglo XX**  
**Francia**

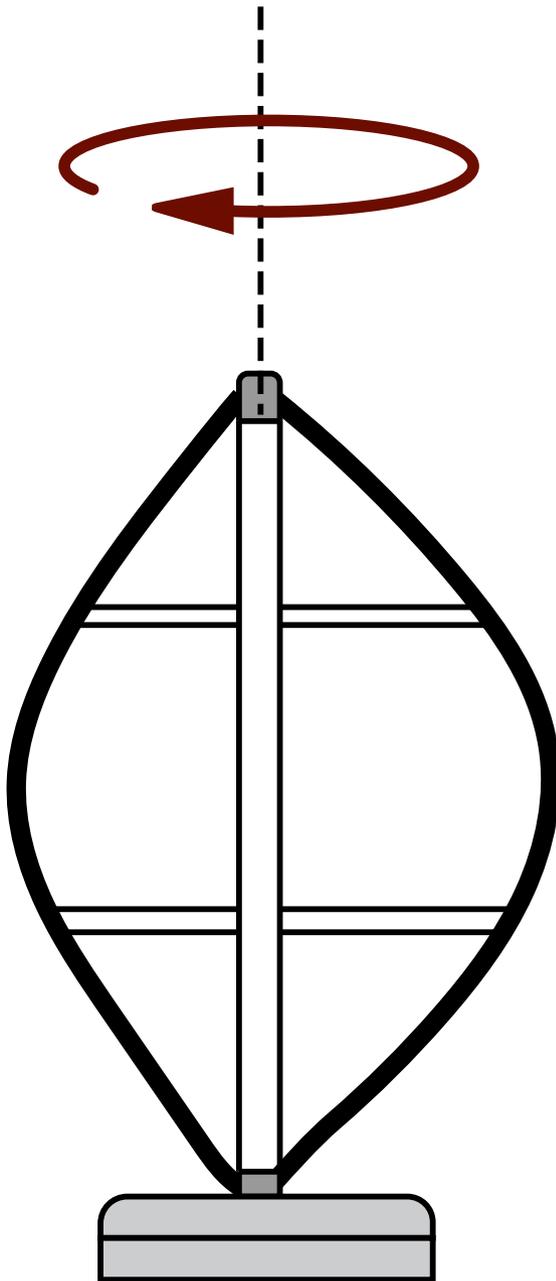


Fig. 147

- Construcción:
  - Metálica
- Características:
  - Palas en forma de C.
  - Entre 2/3 palas.
  - No es necesario una torre.
- La turbina tiene un rotor provisto de unas palas curvadas, mediante la yuxtaposición de dos alas.
- Rendimiento y velocidad de giro son comparables a las aeroturbinas de eje horizontal
- Eje: de transmisión vertical y los paneles de giro horizontal.
- Primeros usos: energético.
- Desventaja:
  - Ausencia de par de arranque (motorizar la turbina).
  - Empleo de tensores adicionales para garantizar la estabilidad estructural de la máquina.
  - Fluctuaciones de par elevadas debido al efecto de sombra de torre.
- La única turbina de eje vertical que se ha comercializado.
- El más grande del mundo se encuentra en Canadá.
  - 110 metros de altura
  - Potencia de 4 MW



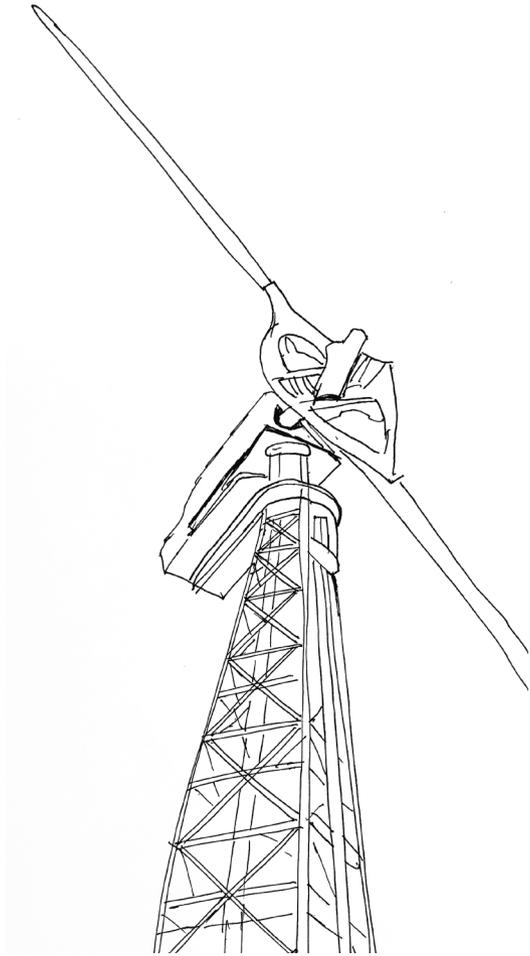


Fig. 148



Fig 149



Foto 150



**Rotor Smith-Putnam**  
**Siglo XX**  
**Estados Unidos**

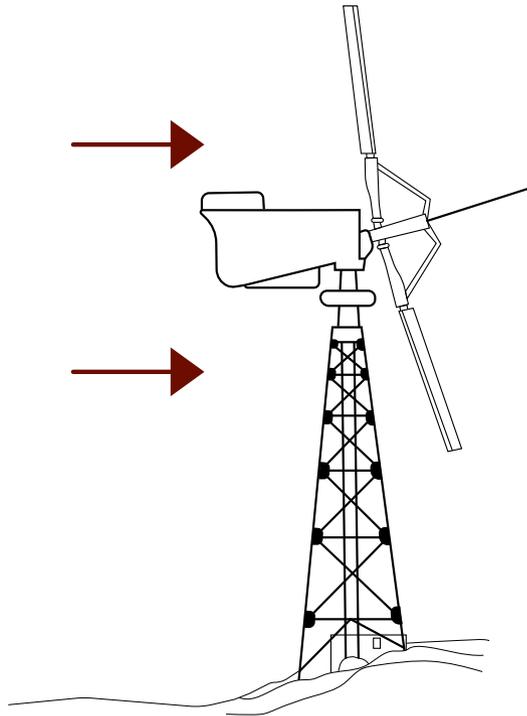


Fig. 151

- Torre:
  - Metálica.
- Características:
  - 2 pala de acero inoxidable.
  - Palas dispuestas a sotavento.
  - 53 metros de diámetro de rotor.
- Primer aerogenerador de potencia mayor a 1 MW.
- La regulación se realizaba variando la conicidad de las palas, mediante un mecanismo que permitía variar el ángulo de conicidad reduciendo el área barrida por el viento.
- Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro vertical.
- Primeros usos: para el bombeo de agua.
- Desventaja:
  - Las vibraciones producidas en las palas al variar casi continuamente su ángulo de conicidad, generaban tensiones dinámicas en los materiales, dando lugar a la aparición de fenómenos de fatiga.
- Esta conicidad hizo que en 1945 una de las palas rompiera por fatiga.

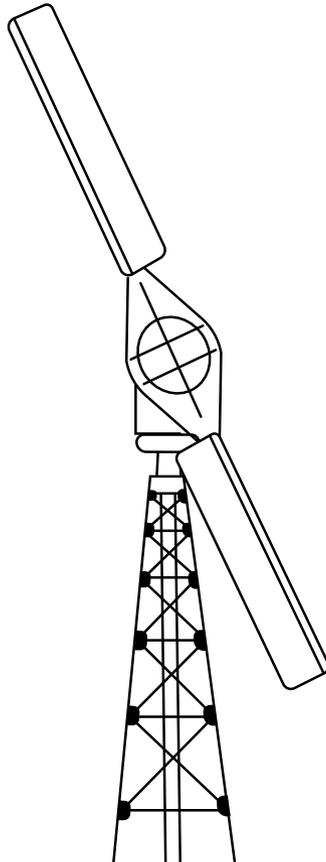


Fig. 152



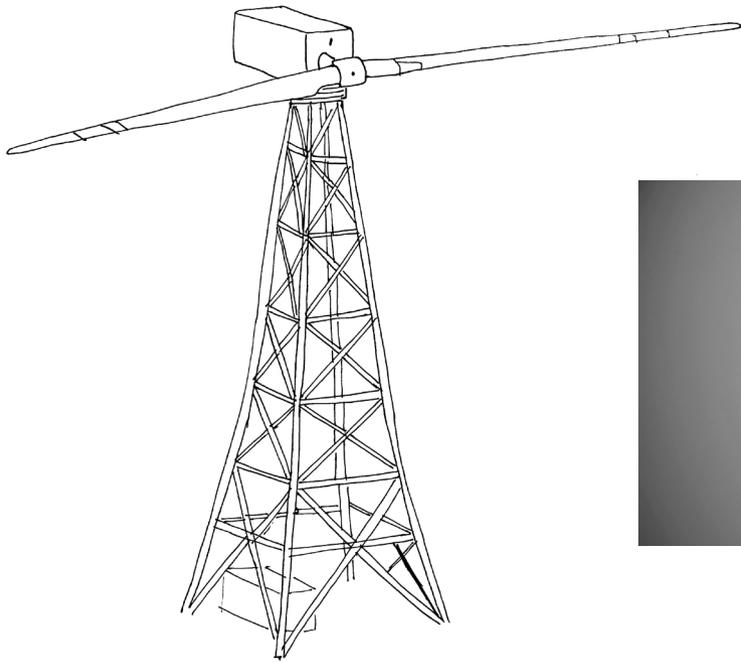


Fig. 153



Fig 154

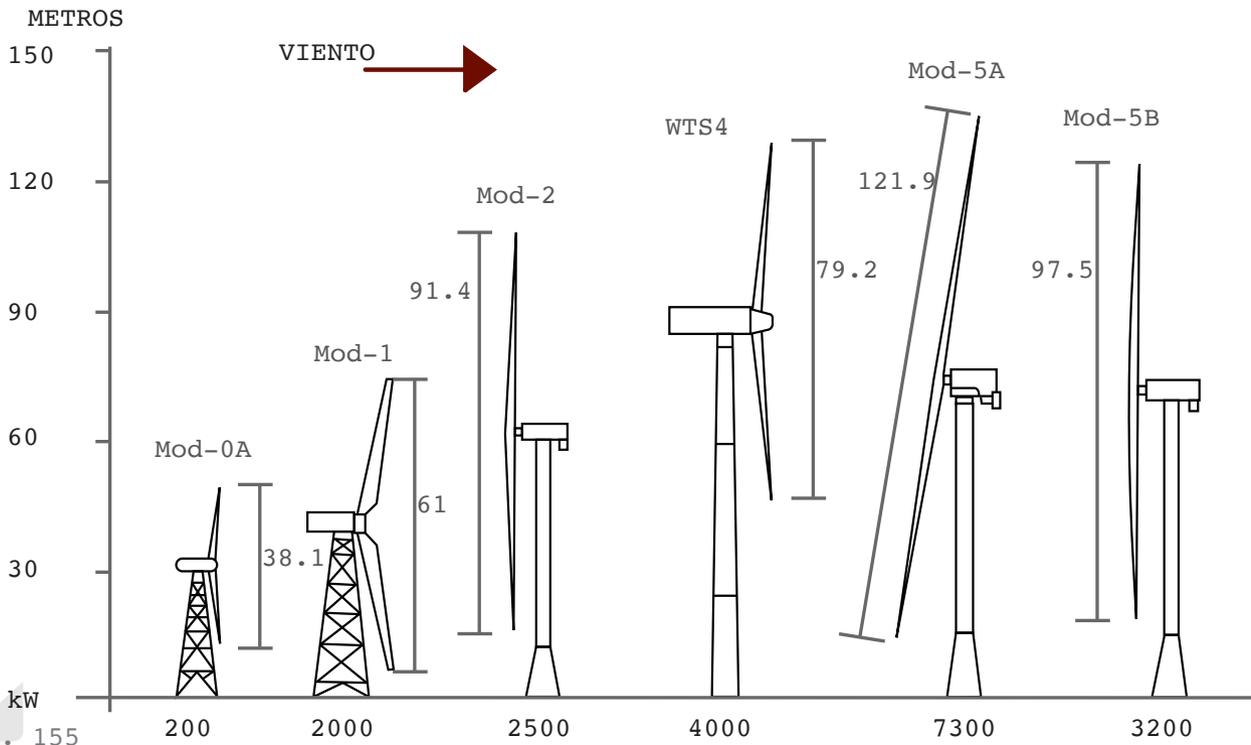


Fig. 155

**Aerogenerador MOD-0/MOD-1**  
**Siglo XX**  
**Estados Unidos**



Fig 156



Fig 157

- Torre:
  - Metálica
- Características:
  - Rotor bipala.
  - 38 metros de diámetro de rotor.
  - Torre de acero de 42,7 m de altura (MOD-1).
- La torre estaba situada a sotavento y con el eje rígido.
- Las palas eran de aluminio, con un perfil aerodinámico variable.
- Eje: de transmisión horizontal y los paneles de giro vertical.
- Primeros usos: energéticos.
- La turbina MOD-1 fue la primer turbina eólica capaz de generar electricidad a escala industrial.
- Desventaja:
  - Perturbaciones aeroacústicas de baja frecuencia nocivas para las personas con afecciones cardíacas.
- Son los sucesores del rotor Smith-Putnam.
- El aerogenerador MOD-2 fue el resultado de las observaciones y mejoras de los modelos MOD-0 y MOD-1 anteriores.
- A partir de este momento se comienzan a realizar grandes avances tecnológicos más ligeros y con mayor aprovechamiento.



Fig 158

## ● 4. CONCLUSIONES



En este trabajo hemos conseguido analizar de forma general los molinos de viento en todas sus etapas históricas y graficamente para poder poner en énfasis el proceso que han sufrido estos hasta llegar a la actualidad y conseguir un aprovechamiento energético.

Tras el análisis evolutivo tanto histórico como técnico de los molinos de viento y sus sucesores, se puede apreciar como han ido mejorando tras la revolución industrial optando más por el aprovechamiento del viento como energía renovable y dejando atrás los usos de la molienda de grano o el bombeo de agua.

Pero lo que si es cierto, es que causó un gran impacto social, mejorando la calidad de vida de los pueblos y los trabajadores del campo, expandiéndose por toda Europa llegando a la Península Ibérica con gran fuerza e impacto industrial.

Tras el estudio y análisis realizado tanto de los molinos de viento como de lo aerogeneradores, se observa la complejidad que tienen para que puedan cumplir su función de forma adecuada y segura. Siempre se ha tenido en cuenta el estudio de la materia prima para hacerlos funcionar correctamente, pero no siempre se ha obtenido el resultado que se buscaba, por falta de conocimientos técnicos adecuados.

Hemos podido apreciar que por el paso de los años, los molinos de viento han sufrido unos cambios considerablemente aprediables. Aunque estos, ya no se utilicen para la función por la que fueron creados, se mantienen muchos de ellos adornando nuestros paisajes y recordándonos los grandes avances que han sufrido en el uso de la energía eólica.

Actualmente los que tenemos en funcionamiento, són los aerogeneradores, que seguramente en unos años, estos también queden atrás en el recuerdo.

Finalmente, con este estudio, hemos podido comprobar que tras ciertas variaciones, se ha conseguido sacar el mayor provecho a los molinos durante años. Una de las modificaciones más relevantes que podemos apreciar, es que con la disposición del eje de transmisión en horizontal, fué la clave para su gran uso y evolución.





Fig 159

*"Los molinos de viento, no son sólo algo interesante por las emociones literarias y estéticas que se experimentan al contemplarlos, por los comentarios de tipo ensayísticos a que se prestan, sino porque su invención, multiplicación y perfeccionamiento constituyeron un capítulo importante en la historia de la Técnica..." (Jiménez Ballesta, 2001). [15]*





Fig 160

## ● 5. FUENTES Y BIBLIOGRAFÍA



## ● 5.1 Relación de figuras

Figura 1: Imagen de un molino de viento Rucio.

Produciendo. Turismo sensacional. Consuegra (Toledo) En produciendo [en línea]. Disponible en: [Fhttp://impulsa.produciendo.es/produciendo/servicios/300-dias-moliendo-grano/](http://impulsa.produciendo.es/produciendo/servicios/300-dias-moliendo-grano/).

Figura 2: Imagen de un detalle de molino de viento

GARCÍA ROLDÁN, Alberto, 2015. *Galicia pueblo a pueblo* [en línea]. Disponible en: <https://galiciapuebloapueblo.blogspot.com/2018/08/molino-de-viento-de-boucelo-mino.html>

Figura 3: Imagen de un detalle de molino de viento manchego

MUÑOZ, Paloma. *Los molinos y sus aspas. The mills and their blades* [en línea]. Disponible en: <https://www.pinterest.es/pin/383509724506181083/?lp=true>

Figura 4: Imagen de un detalle de molino de viento

GARCÍA ROLDÁN, Alberto, 2015. *Galicia pueblo a pueblo* [en línea]. Disponible en: <https://galiciapuebloapueblo.blogspot.com/2018/08/molino-de-viento-de-boucelo-mino.html>

Figura 5: Imagen de un detalle de molino de viento

GARCÍA ROLDÁN, Alberto, 2015. *Galicia pueblo a pueblo* [en línea]. Disponible en: <https://galiciapuebloapueblo.blogspot.com/2018/08/molino-de-viento-de-boucelo-mino.html>

Figura 6: Imagen de un detalle de molino de viento sobre pivote

BROWN, Alex, 2019. *Pistone windmill (detail)* [en línea]. Disponible en: <https://hiveminer.com/Tags/pitstone%2Cwindmill>

Figura 7: Evolución esquemática de los molinos de viento

*Elaboración propia*

Figura 8: Hydraulis Organ

*Elaboración propia a partir de la fuente: MUSEO VIRTUAL. Órgano eólico* [en línea]. Disponible en: [http://historico.oepm.es/museovirtual/galerias\\_tematicas.php?tipo=INVENTOR&xml=Herón%20de%20Alejandro%3%ADa.xml](http://historico.oepm.es/museovirtual/galerias_tematicas.php?tipo=INVENTOR&xml=Herón%20de%20Alejandro%3%ADa.xml)



**Figura 9: Máquina de Arquímedes**

*Elaboración propia a partir de la fuente: GARCÍA LÓPEZ, Sergi, 2014. Órgano eólico [en línea]. Disponible en: <http://leyendasmir-dalirs.com/2014/10/10/el-tornillo-de-arquimedes-y-el-siracusa/>*

**Figura 10: Molino de vela sobre trípode**

*STRANGE, Rick, 2011. Los molinos de viento, la meseta de Lassithi, en Creta, Grecia, Europa [en línea]. Disponible en: <https://www.alamy.es>*

**Figura 11: Molino Mediterráneo**

*KATJA, Kreder, 2010. Los molinos de viento, la meseta de Lassithi, en Creta, Grecia, Europa [en línea]. Disponible en: <https://www.alamy.es>*

**Figura 12: Molino Mediterráneo**

*KOSMIDER, PATRYK, 2013. Antiguos molinos de viento de lasithi meseta en Creta [en línea]. Disponible en: <https://sp.depositphotos.com/22557063/stock-photo-ancient-windmills-of-lasithi-plateau.html>*

**Figura 13: Molino de viento de Cartagena**

*2014. Molino campo de Cartagena [en línea]. Disponible en: <http://photobelcas.blogspot.com/2014/02/molino-campo-de-cartagena.html>*

**Figura 14: Molino Mallorquín**

*Es Molí de'n Pau [en línea]. Disponible en: <https://www.saboleda.com/restaurante-es-moli-den-pau-cocina-mallorquina-en-un-hermoso-molino-de-harina/>*

**Figura 15: Molino Manchego**

*Campo de Criptana (Ciudad Real) [en línea]. Disponible en: <https://www.intur.com/blog/rutas-historicas-espana.html>*

**Figura 16: Molino Manchego**

*FACTO, 2017. Molino europeo de Brill, Buckinghamshire, Inglaterra. [en línea]. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brill\\_windmill\\_April\\_2017.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brill_windmill_April_2017.jpg)*

**Figura 17: Molino trípode, Bélgica**

*HAZBOY, 2018. Belgium has some windmills [en línea]. Disponible en: <https://hiveminer.com/Tags/brugge%2Cwindmühle>*



**Figura 18: Primera bomba eólica**

R. WOLFF, Alfred, 1884. *The Wind Mill as a Prime Mover* [en línea]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Daniel\\_Halladay#/media/File:Wind\\_Mill\\_&\\_Water\\_Tank.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Daniel_Halladay#/media/File:Wind_Mill_&_Water_Tank.jpg)

**Figura 19: Primeros pasos de aerogeneradores modernos**

2009. *Molios de viento*. [en línea]. Disponible en: <https://www.pinterest.es/pin/754423375049906256/>

**Figura 20: Primeros pasos de aerogeneradores modernos**

LA COUR MUSEET, Poul, 1891. *Danmarks første elproducerende vindmølle blev bygget på Askov Højskole* [en línea]. Disponible en: <https://ing.dk/artikel/poul-la-cour-skrev-danmark-ind-vindmoellehistorien-186128>

**Figura 21: Primeros pasos de aerogeneradores modernos**

EPG-UNALM, 2009. Mecanismos para el aprovechamiento eólico: las máquinas eólicas. *Monografias.com*. [en línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf2/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas2.shtml>

**Figura 22: Rotor Darrieus**

2008. *Aerogenerador Darrieus, al Gobierno de Canadá windmill test site al Cabo Norte en la Isla Príncipe Eduardo de Canadá* [en línea]. Disponible en: <https://www.alamy.es/foto-aerogenerador-darrieus-al-gobierno-de-canada-windmill-test-site-al-cabo-norte-en-la-isla-principe-eduardo-de-canada-21252588.html>

**Figura 23: Aerogenerador de 200kW, Dinamarca.**

1997. *El aerogenerador de Gedser* [en línea]. Disponible en: <http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/pictures/juul.htm>

**Figura 24: Aerogenerador MOD-5B**

MANSKE, Magnus, 2008. *Mod-2 Wind Turbine Cluster3* [en línea]. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mod-2\\_Wind\\_Turbine\\_Cluster3.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mod-2_Wind_Turbine_Cluster3.jpg)

**Figura 25: Aerogenerador ECO 100**

BURKE, Jesse, 2016. *The Battle to Bring Offshore Wind Power to America* [en línea]. Disponible en: <https://gizmodo.com/the-battle-to-bring-offshore-wind-power-to-america-1787885358>

Figura 26, 27 y 28 : Extensión de los molinos en la Península  
*Elaboración propia a partir de la fuente: PÉREZ MARTÍN, Enrique, 2008. Estudio histórico-tecnológico y representación gráfica de los molinos de viento de la mancha, en la España de los siglos xvi al xix, mediante técnicas de dibujo asistido por ordenador (dao) [en línea]. Disponible en: [http://oa.upm.es/1270/1/ENRIQUE\\_PEREZ\\_MARTIN\\_A.pdf](http://oa.upm.es/1270/1/ENRIQUE_PEREZ_MARTIN_A.pdf)*

Figura 29, 30 y 31 : Distintos usos de molinos de eje horizontal  
*Elaboración propia a partir de la fuente: GALÍNDEZ FERNÁNDEZ, eneko, 2016. Aerogenerador de eje vertical [en línea]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18373/2.%20Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=y>*

Figura 32 : Rendimiento de diferentes aerogeneradores  
*Elaboración propia a partir de la fuente: SÁNCHEZ SIBAJA, Alexander, 2011. Modelado computacional de un aerogenerador eólico basado en una turbina Savonius modificada [en línea]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22707?show=ful>*

Figura 33: Foto de paisaje con molino  
*PARAMON, 2006. Fog, fog, gray-haired veil... [en línea]. Disponible en: <http://www.outdoor-photos.com/photo/5015.html>*

Figura 34 : Circulación general de la atmósfera  
*Elaboración propia a partir de la fuente: AYTOLA, Edu. Cómo influye la presión en el clima [en línea]. Disponible en: [http://telefonacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera\\_y\\_clima/presion/comoinfluye.htm](http://telefonacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera_y_clima/presion/comoinfluye.htm)*

Figura 35 : Circulación general de la atmósfera  
*Elaboración propia a partir de la fuente: BANGANHO, Jeferson. ¿Quieres saber todo sobre los vientos planetarios? Apréndelo aquí [en línea]. Disponible en: <https://magicanaturaleza.com/c-vientos/vientos-planetarios/>*

Figura 36 : La influencia de la fuerza Coriolis  
*Elaboración propia a partir de la fuente: AMPLE, Alejandro, 2014. LA energía eólica [en línea]. Disponible en: <https://www.slideserve.com/gloria/alejandro-ample-c-andr-s-rodr-guez-c>*



Figura 37 : Condiciones para considerar un terreno plano

*Elaboración propia a partir de la fuente: GARCÍA MARIN, E. LA energía eólica [en línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es/document/universitat-de-valencia/gestion-energetica-energias-renovables/apuntes/tema-01-energias-renovables/2444836/view>*

Figura 38 : Modificación en los perfiles de viento debido a la rugosidad del terreno.

*Elaboración propia a partir de la fuente: GALÍNDEZ FERNÁNDEZ, Eneko, 2016. Aerogenerador de eje vertical [en línea]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18373/2.%20Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=y>*

Figura 39, 40 y 41 : Aplicación del principio de Bernoulli al Molino de Viento

*Elaboración propia a partir de la fuente: VALERA MARTÍNEZ-SANTOS, Francisco, 2016. Principios físicos y tecnología del Molino de Viento [en línea]. Disponible en: <https://www.campodecriptana.info/descargas-ficheros/publicaciones/Fisica-y-tecnologia-del-molino-de-viento.pdf>*

Figura 42 : Tubo de corriente en un aerogenerador

*Elaboración propia a partir de la fuente: ZAROUALA, Ben y OULAD, Rachad, 2010. Modelado y control de aerogeneradores flexibles [en línea]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70162/>*

Figura 43 : Modificación de la velocidad y la presión al pasar por el aerogenerador

*Elaboración propia a partir de la fuente: GALÍNDEZ FERNÁNDEZ, Eneko, 2016. Aerogenerador de eje vertical [en línea]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18373/2.%20Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=yreproy/70162/>*

Figura 44: Foto de molino con rotor automático

*AGATEN, 2019. Molienda de granos [en línea]. Disponible en: <https://www.aboutespanol.com/para-que-sirve-el-molino-de-viento-3417899>*



Figura 45 : Panémona china para bombear agua

*Elaboración propia a partir de la fuente: SALAZAR LOZANO, Mariano José, 2016. Sistema para aprovechamiento de la energía eólica a baja escala y su acumulación en forma de hidrógeno [en línea]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/18325/TFG-P-432.pdf;jsessionid=7307D7EDD7F2DA126ABDAD094AD90E17?sequence=1>.*

Figura 46 : Panémona china para bombear agua

*Elaboración propia a partir de la fuente: SÁNCHEZ SIBAJA, Alexander, 2011. Modelado computacional de un generador eólico basado en una turbina Savonius modificada [en línea]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22707?show=full>*

Figura 47 : Vista del molino Persa

*Elaboración propia.*

Figura 48: Molino Persa

DESTINOINFINITO 2014. *Antiguos molinos de viento de Nashtifan, en Irán.* [en línea]. Disponible en: <https://destinoinfinito.com/molinos-de-viento-nashtifan/>

Figura 49: Molino Persa

FRIGERIO, Susana. Descubre ideas sobre molinos de viento [en línea]. Disponible en: <https://www.pinterest.de/pin/556546466435562128/>

Figura 50: Molino Persa

EHSAN, 2018. *Los molinos de viento persas de 1000 años, que pueden dejar de funcionar por falta de relevo.* [en línea]. Disponible en: <https://ecoinventos.com/molinos-de-viento-persas-de-nashtifan/>

Figura 51 y 52: Vista del molino Persa. Modelo Museo Alemán.

*Elaboración propia a partir de la fuente: KABOLDY. Los molinos de viento persas de 1000 años, que pueden dejar de funcionar por falta de relevo [en línea]. Disponible en: <https://ecoinventos.com/molinos-de-viento-persas-de-nashtifan/>*

Figura 53: Molino mediterráneo.

*Elaboración propia a partir de la fuente: GALÍNDEZ FERNÁNDEZ, Eneko, 2016. Aerogenerador de eje vertical [en línea]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18373/2.%20Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=y>*



Figura 54, 55 y 56: Molino Mediterráneo

2017. *Antiguo molino de piedra a la entrada a la meseta de Lasithi, Kriti (Creta), Grecia*. [en línea]. Disponible en: <https://www.alamy.es/antiguo-molino-de-piedra-a-la-entrada-a-la-meseta-de-la-sithi-kriti-creta-grecia-image187525097.html>

Figura 57 y 58: Molino mediterráneo.

*Elaboración propia a partir de datos de las fichas realizadas.*

Figura 59: Molino de vela típico de la baja Andalucía, Puebla de Guzmán, Huelva

*Elaboración propia a partir de la fuente: GFERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro, 1993. Energía eólica* [en línea]. Disponible en: <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=6>

Figura 60: Molino tipo Torre

2015. *Molinos Arineros de Agua y Viento* [en línea]. Disponible en: <http://www.santabarbaradecasa.es/es/municipio/puntos-de-interes/detalle/Molinos-Arineros-de-Agua-y-Viento/#prettyPhoto>

Figura 61: Molino tipo Torre

JIMENEZ, Kiko 2013. *Antiguo molino de viento en Vejer de la Frontera, Andalucía, España*. [en línea]. Disponible en: [https://es.123rf.com/photo\\_43064667\\_antiguo-molino-de-viento-en-vejer-de-la-frontera-andaluc%C3%ADa-espa%C3%BAa-.html](https://es.123rf.com/photo_43064667_antiguo-molino-de-viento-en-vejer-de-la-frontera-andaluc%C3%ADa-espa%C3%BAa-.html)

Figura 62: Molino tipo Torre

2013. *Buenavista y Molinos de Vejer* [en línea]. Disponible en: <http://pavostrotone.blogspot.com/2013/11/buenavista-y-molinos-de-vejer.html>

Figura 63: Molino de vela típico de la baja Andalucía, Puebla de Guzmán, Huelva

*Elaboración propia a partir de la fuente: GFERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro, 1993. Energía eólica* [en línea]. Disponible en: <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=6>

Figura 64: Planta del molino tipo torre

*Elaboración propia a partir de datos de las fichas realizadas.*



Figura 65: Molino sobre pivote con armazón de piedra.

*Elaboración propia a partir de la fuente: GALÍNDEZ FERNÁNDEZ, Eneko, 2016. Aerogenerador de eje vertical [en línea]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18373/2.%20Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=y>*

Figura 66 y 67: Molino sobre pivote

*AVERY, Alisoni. Brill Windmill, Brill [en línea]. Disponible en: <https://www.beautifulenglandphotos.uk/brill-buckinghamshire/brill-windmill-brill-5/>*

Figura 68: Molino sobre pivote

*BRISCOE, John 2015. Brill windmill, a post windmill situated on Brill Common, Aylesbury, Buckingham [en línea]. Disponible en: <https://www.alamy.com/stock-photo-brill-windmill-a-post-windmill-situated-on-brill-common-aylesbury-116002916.html>*

Figura 69: Molino sobre pivote. Alzado

*Elaboración propia a partir de la fuente: 2019. Proshot of Jim Root during AHIG World Tour (European Leg) [en línea]. Disponible en: [https://www.reddit.com/r/Slipknot/comments/cmahrh/proshot\\_of\\_jim\\_root\\_during\\_ahig\\_world\\_tour/](https://www.reddit.com/r/Slipknot/comments/cmahrh/proshot_of_jim_root_during_ahig_world_tour/)*

Figura 70: Molino sobre pivote. Perfil

*Elaboración propia a partir de la fuente: HUTCHINSON, Steve. Molino de viento en Buckinghamshire [en línea]. Disponible en: [https://es.123rf.com/photo\\_2753483\\_brill-windmill-in-buckinghamshire.html](https://es.123rf.com/photo_2753483_brill-windmill-in-buckinghamshire.html)*

Figura 71: Molino Portugués

*Elaboración propia a partir de la fuente: PIZARRO, Victor Manuel, 2018. Molinos de viento de Portugal, la arquitectura de los paisajes del viento [en línea]. Disponible en: <https://ciudad-dormida.blogspot.com/2018/05/molinos-de-viento-de-portugal-la.html?q=molino>*

Figura 72, 73 y 74: Molino Portugués

*PIZARRO, Victor Manuel, 2018. Molinos de viento de Portugal, la arquitectura de los paisajes del viento [en línea]. Disponible en: <https://ciudad-dormida.blogspot.com/2018/05/molinos-de-viento-de-portugal-la.html?q=molino>*



**Figura 75: Molino Portugués. Planta**

*Elaboración propia a partir de datos de las fichas realizadas.*

**Figura 76: Molino Portugués. Alzado**

*Elaboración propia a partir de la fuente: GFERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro, 1993. Energía eólica [en línea]. Disponible en: <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=6>*

**Figura 77: Molino de vela sobre trípode**

*Elaboración propia a partir de la fuente: GFERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro, 1993. Energía eólica [en línea]. Disponible en: <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=6>*

**Figura 78: Molino de vela sobre trípode**

*GESTIAFOTO, 2018. Molinos de viento antiguo, histórico, famoso, metálicos que la bomba de agua de la tierra para el riego de los campos en un día soleado (área de Lassithi, isla de Creta, Grecia) [en línea]. Disponible en: <https://sp.depositphotos.com/220985256/stock-photo-old-historic-famous-metallic-windmills.html>*

**Figura 79: Molino de vela sobre trípode**

*Zeus Cave - traditional villages- old wind mills [en línea]. Disponible en: <https://www.viator.com/en-SG/tours/Heraklion/Zeus-Cave-Lasithi-Plateau-Private-Tour-up-to-eight-people/d961-102515P1>*

**Figura 80: Molino de vela sobre trípode**

*COYOTITOS. Los molinos de viento de la meseta de Lasithi en Grecia [en línea]. Disponible en: <https://coyotitos.com/los-molinos-de-viento-de-la-meseta-de-lasithi-en-grecia/>*

**Figura 81: Molino de vela sobre trípode. Alzado y perfil**

*Elaboración propia a partir de la fuente: SALAZAR LOZANO, Mariano José, 2016. Sistema para aprovechamiento de la energía eólica a baja escala y su acumulación en forma de hidrógeno [en línea]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/18325/TFG-P-432.pdf;jsessionid=7307D7EDD7F2DA126ABDAD094AD90E17?sequence=1>.*

**Figura 82: Molino de vela sobre trípode**

*Elaboración propia a partir de la fuente: GFERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro, 1993. Energía eólica [en línea]. Disponible en: <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=6>*

Figura 83: Molino sobre trípode. Trípode recubierto en forma de almacén.

*Elaboración propia a partir de la fuente: GALÍNDEZ FERNÁNDEZ, Eneko, 2016. Aerogenerador de eje vertical [en línea]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18373/2.%20Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=yreproy/70162/>*

Figura 84,85 y 86: Molino sobre trípode

*FLICKR, Hive Mind. Brugge,windmühle [en línea]. Disponible en: <https://hiveminer.com/Tags/brugge%2Cwindmühle>*

Figura 87 y 88: Molino sobre trípode. Esquemas

*Elaboración propia a partir de la fuente: EKINYALGIN. histórico molino de viento en pequeña colina en la naturaleza en Brujas, Bélgica. [en línea]. Disponible en: [https://es.123rf.com/photo\\_78147186\\_histórico-molino-de-viento-en-pequeña-colina-en-la-naturaleza-en-brujas-bélgica-.html](https://es.123rf.com/photo_78147186_histórico-molino-de-viento-en-pequeña-colina-en-la-naturaleza-en-brujas-bélgica-.html)*

Figura 89: Molino de vela de Cartagena

*Elaboración propia a partir de la fuente: SALAZAR VILLANUEVA, Iván, 2010. Análisis dinámico de las palas (Ehecamani) de un aerogenerador en un túnel de viento.[en línea]. Disponible en: <https://dooplayer.es/72039876-Instituto-politecnico-nacional.html>*

Figura 90 ,91 y 92: Molino de vela de Cartagena

*GIL, Antonio, 2009. Los molinos de viento en el Cabo de Gata [en línea]. Disponible en: <https://cabodegata.net/14-los-molinos-de-viento-en-cabo-de-gata-eco-14/>*

Figura 93: Molino de vela de Cartagena. Sección

*Elaboración propia a partir de la fuente: FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro, 1993. Energía eólica [en línea]. Disponible en: <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=6>*

Figura 94: Molino de vela de Cartagena. Alzado

*Elaboración propia a partir de la fuente: BALLESTEROS PELEGRÍN, Gustavi, 2016. Funcionamiento del Molino de Quintín y del Molino de la Calcetera [en línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Funcionamiento-del-Molino-de-Quintin-y-del-Molino-de-la-Calcetera-Fuente\\_fig3\\_305636402](https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Funcionamiento-del-Molino-de-Quintin-y-del-Molino-de-la-Calcetera-Fuente_fig3_305636402)*



**Figura 95: Molino Canario.**

*Elaboración propia a partir de la fuente: SUÁREZ MORENO, Francisco, 2013. Artilugios y maquinarias para la molturación del molino de Gran Canaria. [en línea]. Disponible en: [https://www.bienmesabe.org/uploads/publicaciones/Libro\\_molinos\\_Gran\\_Canaria/files/libr](https://www.bienmesabe.org/uploads/publicaciones/Libro_molinos_Gran_Canaria/files/libr)*

**Figura 96: Molino Canario**

*MEINZAHN , 2014. Molino de viento, isla de Fuerteventura, Islas Canarias, España [en línea]. Disponible en: <https://www.istockphoto.com/es/foto/molino-de-viento-isla-de-fuerteventura-islas-canarias-españa-gm526895427-52972026>*

**Figura 97: Molino Canario**

*RTVE, 2000. Senderos Isleños-Molinos [en línea]. Disponible en: <http://www.rtve.es/alacarta/videos/senderos-islenos/senderos-islenos-molinos/4555330/>*

**Figura 98: Molino Canario**

*DOMINIQUE, G. Fuerteventura, Tefía, molino típico[en línea]. Disponible en: <http://www.alovelyworld.com/canaries/htmes/fuerteventura-tefia-molino-tipico.htm>*

**Figura 99, 100 y 101: Molino Canario. Secciones y planta**

*Elaboración propia a partir de la fuente: SUÁREZ MORENO, Francisco, 2013. Artilugios y maquinarias para la molturación del molino de Gran Canaria. [en línea]. Disponible en: [https://www.bienmesabe.org/uploads/publicaciones/Libro\\_molinos\\_Gran\\_Canaria/files/libro.pdf](https://www.bienmesabe.org/uploads/publicaciones/Libro_molinos_Gran_Canaria/files/libro.pdf)*

**Figura 102: Molino Gallego**

*Elaboración propia a partir de la fuente: Proyecto europeo leonardo da vinci, Proyecto aeolus. [en línea]. Disponible en: [http://www.sotaventogalicia.com/recursos/custom/publicacions/comun/docs/aeolus\\_manual\\_didactico\\_energia\\_eolica.pdf](http://www.sotaventogalicia.com/recursos/custom/publicacions/comun/docs/aeolus_manual_didactico_energia_eolica.pdf)*

**Figura 103, 104 y 105: Molino Gallego**

*ABOY, Xavier, 2015. Molinos del monte Beiro.[en línea]. Disponible en: <http://xavieraboy.blogspot.com/2015/12/ruinas-molinos-del-monte-beiro.html>*

**Figura 106 y 107: Molino Gallego. Alzado y sección**

*Elaboración propia a partir de la fuente: ABOY, Xavier, 2015. Molinos del monte Beiro.[en línea]. Disponible en: <http://xavieraboy.blogspot.com/2015/12/ruinas-molinos-del-monte-beiro.html>*

**Figura 108: Molino Manchego**

*Elaboración propia a partir de la fuente: SARRALDE, José Luis , 2019. Descubre los mejores rincones para ver molinos de viento en La Mancha [en línea]. Disponible en: <https://guias-viajar.com/espana/molinos-viento-la-mancha/>*

**Figura 109: Molino Manchego**

*INTUR. Alcázar de San Juan (Ciudad Real).[en línea]. Disponible en: <https://www.intur.com/blog/rutas-historicas-espana.html>*

**Figura 110: Molino Manchego**

*BELLÉS MONFORT, Carmen. Molinos de Viento.[en línea]. Disponible en: <https://www.minube.com/rincon/molinos-de-viento-a291031>*

**Figura 111: Molino Manchego**

*Molinos de Viento.Alcazar de San Juan [en línea]. Disponible en: [http://www.ciudad-real.es/lugares/molinos\\_alcazar.php](http://www.ciudad-real.es/lugares/molinos_alcazar.php)*

**Figura 112: Molino Manchego. Alzado**

*Elaboración propia a partir de la fuente: VVOSTAL. Dibujo de la mano de un molino de viento de piedra viejo [en línea]. Disponible en: <https://es.dreamstime.com/fotos-de-archivo-libres-de-regal%C3%ADas-molino-de-viento-image38085028>*

**Figura 113: Molino Manchego. Sección**

*Elaboración propia a partir de la fuente: LOSMOLINOSHEREDADOS, 2016. Los molinos heredados [en línea]. Disponible en: <https://los-molinosheredados.wordpress.com/category/historia/>*

**Figura 114: Molino Mallorquín**

*Elaboración propia a partir de la fuente: FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro, 1993. Energía eólica [en línea]. Disponible en: <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=6>*

**Figura 115: Molino Mallorquín**

*Ruta de los molinos. Molí des Torrent [en línea]. Disponible en: [http://www.permoltesraons.com/?page\\_id=25&lang=es](http://www.permoltesraons.com/?page_id=25&lang=es)*

**Figura 116: Molino Mallorquín**

*ESTELRICH RUIZ, Luis Miguel, 2011. Los recursos del campo mallorquin en el siglo xix. breve reseña historica .[en línea]. Disponible en: <http://mestelrich2.blogspot.com/2011/06/los-recursos-del-campo-mallorquin-en-el.html>*



**Figura 117: Molino Mallorquín**

*HANS, 2016. Windmill Mallorca Mill Wind .[en línea]. Disponible en: <https://pixabay.com/photos/windmill-mallorca-mill-wind-energy-1117385/>*

**Figura 118 y 119: Molino Mallorquín. Alzados**

*Elaboración propia a partir de la fuente: CONSELL de MALLORCA, 2012. Energía eólica [en línea]. Disponible en: [http://www2.conselldemallorca.cat/?&id\\_parent=1309&id\\_section=10216&id\\_son=10217&id\\_grandson=10220&id\\_paragraf=10292&id\\_media=30409](http://www2.conselldemallorca.cat/?&id_parent=1309&id_section=10216&id_son=10217&id_grandson=10220&id_paragraf=10292&id_media=30409)*

**Figura 120: Molino Mallorquín. Sección 1**

*Elaboración propia a partir de la fuente: FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro, 1993. Energía eólica [en línea]. Disponible en: <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=6>*

**Figura 121: Molino Mallorquín. Sección 2**

*Elaboración propia a partir de la fuente: CONSELL de MALLORCA, 2012. Energía eólica [en línea]. Disponible en: [http://www2.conselldemallorca.cat/?&id\\_parent=1309&id\\_section=10216&id\\_son=10217&id\\_grandson=10220&id\\_paragraf=10292&id\\_media=30409](http://www2.conselldemallorca.cat/?&id_parent=1309&id_section=10216&id_son=10217&id_grandson=10220&id_paragraf=10292&id_media=30409)*

**Figura 122: Molino Mallorquín. Planta**

*Elaboración propia a partir de la fuente: Molinos [en línea]. Disponible en: [http://www.nixe3.com/muestraficha.asp?id\\_ficha=2574](http://www.nixe3.com/muestraficha.asp?id_ficha=2574)*

**Figura 123: Molino con sistema de auto-orientación**

*Elaboración propia a partir de la fuente: Depositphotos. Molino de viento holandés antiguo [en línea]. Disponible en: <https://sp.depositphotos.com/93406934/stock-illustration-old-dutch-windmill.html>*

**Figura 124: Molino con sistema de auto-orientación**

*Elaboración propia a partir de la fuente: GALÍNDEZ FERNÁNDEZ, Eneko, 2016. Aerogenerador de eje vertical [en línea]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18373/2.%20Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=yreproy/70162/>*

**Figura 125: Molino con sistema de auto-orientación**

*Molino, molino de viento holandés.[en línea]. Disponible en: <https://www.alamy.es/foto-molinomolino-de-viento-holandes-94552578.html>*



Figura 126: Molino con sistema de auto-orientación  
*UN JUBILADO, 2018. Molinos en Holanda*[en línea]. Disponible en:  
<http://www.unjubilado.info/2018/11/15/molinos-en-holanda/>

Figura 127: Molino con sistema de auto-orientación  
*KOHR, Aaron, 2018. Molino holandés* [en línea]. Disponible en: [https://es.123rf.com/photo\\_268123\\_molino-holandés-.html](https://es.123rf.com/photo_268123_molino-holandés-.html)

Figura 128 y 129: Molino con sistema de auto-orientación  
*Elaboración propia a partir de la fuente: BRANDVOLD, Pamela. Large octagonal drainage mill or polder mill* [en línea]. Disponible en:  
<https://www.pinterest.es/pin/499969996103673128/?lp=true>

Figura 130: Rotor multipala americano  
*Elaboración propia a partir de la fuente: GALÍNDEZ FERNÁNDEZ, Eneko, 2016. Aerogenerador de eje vertical* [en línea]. Disponible en:  
<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18373/2.%20Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=yreproy/70162/>

Figura 131: Rotor multipala americano  
*BAXTER, Michael. Molino de viento occidental, hojas de acero, bombeo de agua molino de viento, reliquia occidental, fina lámina de arte*[en línea]. Disponible en: <https://www.etsy.com/es/listing/252862703/molino-de-viento-occidental-hojas-de>

Figura 132: Rotor multipala americano  
*SCHOUTEN DE JEL, G, 2008. Molino de viento americano* [en línea]. Disponible en: <https://es.freeimages.com/photo/american-windmill-1355153>

Figura 133: Rotor multipala americano  
*MAC IEJBLEDOWSKI, 2016. Vintage tonos torre molino de viento, símbolo del oeste americano* [en línea]. Disponible en: <https://sp.depositphotos.com/134181986/stock-photo-vintage-toned-windmill-tower-american.html>

Figura 134 y 135: Rotor multipala americano. Alzado y alzado  
*Elaboración propia a partir de la fuente: SALAZAR LOZANO, Mariano José, 2016. Sistema para aprovechamiento de la energía eólica a baja escala y su acumulación en forma de hidrógeno* [en línea]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/18325/TFG-P-432.pdf;jsessionid=7307D7EDD7F2DA126ABDAD094AD90E17?sequence=1>.

**Figura 136: Rotor Savonius**

*Elaboración propia a partir de la fuente: GALÍNDEZ FERNÁNDEZ, Eneko, 2016. Aerogenerador de eje vertical [en línea]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18373/2.%20Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=yreproy/70162/>*

**Figura 137: Rotor Savonius**

*IMRICH VANCÁK A KOL, 2009. Savoniusov rotor a jeho využitie v zástavbe [en línea]. Disponible en: <https://www.energie21.cz/savoniusov-rotor-a-jeho-vyuzitie-v-zastavbe/>*

**Figura 138: Rotor Savonius**

*Turbina Savoniusa [en línea]. Disponible en: <https://www.odnawialne-firmy.pl/wiadomosci/pokaz/2,turbina-savoniusa>*

**Figura 139: Rotor Savonius**

*VÍA LÁCTEA, 2014. Molinos de viento sin aspas - ingenio español inside [en línea]. Disponible en: <https://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=4048153&page=2>*

**Figura 140, 141 y 142: Rotor Savonius**

*Elaboración propia a partir de la fuente: HERNÁNDEZ ECHEVERRI, Sergio, 2012. Diseño y construcción de un modelo de rotor eólico de eje vertical tipo savonius para la obtención de energía mecánica [en línea]. Disponible en: <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12559/DISEÑO%20Y%20CONSTRUCCION%20DE%20UN%20MODELO%20DE%20ROTOR%20EOLICO%20DE%20EJE%20VERTICAL%20TIPO%20SAVONIUS%20PARA%20LA%20OBTENCIO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>*

**Figura 143: Rotor Darrieus**

*Elaboración propia a partir de la fuente: GALÍNDEZ FERNÁNDEZ, Eneko, 2016. Aerogenerador de eje vertical [en línea]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18373/2.%20Memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=yreproy/70162/>*

**Figura 144: Rotor Darrieus**

*SOHM, Joseph, 2011. Batedores de ovo da nova era [en línea]. Disponible en: <https://gizmodo.uol.com.br/projetos-incriveis-energia-renovavel/#23>*

**Figura 145: Rotor Darrieus**

*W.WACKER, W, 2005. Darrieus rotor001 [en línea]. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Darrieus\\_rotor001.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Darrieus_rotor001.jpg)*

**Figura 146: Rotor Darrieus**

*ELCACHO, Joaquim, 2011. Model a petita escala d'un aerogenerador amb rotor Darrieus, que pot servir de model pel projecte DeepWind DW.*[en línea]. Disponible en: <https://www.elpuntavui.cat/societat/article/15-ciencia/353335-catalunya-treballa-en-el-moli-gegant.html>

**Figura 147: Rotor Darrieus**

*Elaboración propia a partir de la fuente: DAS, Amlan, 2016. Different types of Darrieus rotor VAWT* [en línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Different-types-of-Darrieus-rotor-VAWT\\_fig1\\_313893605](https://www.researchgate.net/figure/Different-types-of-Darrieus-rotor-VAWT_fig1_313893605)

**Figura 148: Rotor Smith-Putman**

*Elaboración propia a partir de la fuente: EIZE DE VRIES, 2012. Can quirky wind designs become mainstream?*[en línea]. Disponible en: <https://www.windpowermonthly.com/article/1124462/quirky-wind-designs-become-mainstream>

**Figura 149: Rotor Smith-Putman**

*SCRUSS 2013. Wind Power, 1940s style* [en línea]. Disponible en: <https://scruss.com/blog/2013/03/31/wind-power-1940s-style/>

**Figura 150: Rotor Smith-Putman**

*Breezin' through history* [en línea]. Disponible en: <https://www.rutlandherald.com/articles/breezin-through-history/>

**Figura 151 y 152: Rotor Smith-Putman**

*Elaboración propia a partir de la fuente: SULZBERGER, Carl, 2009. Can quirky wind designs become mainstream?*[en línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5233742>

**Figura 153: Aerogenerador Mod-0**

*Elaboración propia*

**Figura 154: Aerogenerador**

*AYESA. Parques eólicos La Carabina* [en línea]. Disponible en: <https://www.ayesa.com/es/sectores/industria/energia/renovables/548-parques-eolicos-la-carabina>

**Figura 155: Evolución de los aerogeneradores MOD**

*Elaboración propia a partir de la fuente: NASA experimental wind turbines drawn to the same scale* [en línea]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/NASA\\_wind\\_turbines](https://en.wikipedia.org/wiki/NASA_wind_turbines)



**Figura 156: Aerogenerador**

*The 200kW MOD-0A wind turbine at Clayton, New Mexico was a qualified success for NASA and DOE* [en línea]. Disponible en: <https://telos-net.com/wind/govprog.html>

**Figura 157: Aerogenerador**

*WITTRY, Jan, 2006. Wind Energy Research Reaps Rewards* [en línea]. Disponible en: [https://www.nasa.gov/vision/earth/technologies/wind\\_turbines.html](https://www.nasa.gov/vision/earth/technologies/wind_turbines.html)

**Figura 158: Imagen de varios Aerogeneradores**

*GODSKONTOR, Wedellsborg. Vindmøller-cover* [en línea]. Disponible en: <https://wefri.dk/wp-content/uploads/2017/07/vindmøller-cover.jpg>

**Figura 159: Imagen de molino de viento sobre pivote**

*WALKER, Richard, 2013. Brill Windmill Sunrise* [en línea]. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/richardwalkerphotography/11622334505>

**Figura 160: Imagen de molino de viento americano**

*Spinning wheel country australia oconell* [en línea]. Disponible en: <https://wallpaperbro.com/img/447561.jpg>



## ● 5.2 Bibliografía

[1] ARBELOA SOLA, Lorena y ZURITA GABASA, Jesús, 2012. Diseño de un aerogenerador de eje vertical tipo Savonius pala electrificación rural. *Academia-e* [en línea]. Disponible en: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/6667/57946.pdf?sequence=1>

[2] BARBERÓ, Aj, 2012. Energía Eólica - UCLM. En: *Previa* [en línea]. Disponible en: [https://previa.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/EEO-LICA\\_Febrero2012\\_G9.pdf](https://previa.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/EEO-LICA_Febrero2012_G9.pdf)

[3] CANCHÉ VENTURA, Yamile Guadalupe, et al, 2018. Análisis comparativo de aerogeneradores utilizando datos de viento: caso de estudio. *Revista del centro de graduados e investigación. Instituto tecnológico de Mérida* [en línea]. México: Vol. 33 NÚM. 70. PP. 74-80. ISSN 0185-6294. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/324164130\\_ANALISIS\\_COMPARATIVO\\_DE\\_AEROGENERADORES\\_UTILIZANDO\\_DATOS\\_DE\\_VIENTO\\_CASO\\_DE\\_ESTUDIO](https://www.researchgate.net/publication/324164130_ANALISIS_COMPARATIVO_DE_AEROGENERADORES_UTILIZANDO_DATOS_DE_VIENTO_CASO_DE_ESTUDIO)

[4] CASTELBLANCO, Nicolas, 2007. Curso energía eólica. En: *academia* [en línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/28437673/CURSO\\_ENERGIA\\_E\\_CURSO\\_ENERGIA\\_EÓLICA\\_2007\\_LICA\\_2007\\_ENDESA\\_Subdirecci\\_ENDESA\\_Subdirección\\_de\\_Selección\\_de\\_Selección\\_y\\_Formación\\_y\\_Formación\\_n](https://www.academia.edu/28437673/CURSO_ENERGIA_E_CURSO_ENERGIA_EÓLICA_2007_LICA_2007_ENDESA_Subdirecci_ENDESA_Subdirección_de_Selección_de_Selección_y_Formación_y_Formación_n)

[5] EL MOLINO, 2009. Historia del molino. En: *blogspot* [en línea]. Disponible en: <http://historiadelmolino.blogspot.com/2009/07/historia-del-molino.html>

[6] EPG-UNALM, 2009. Mecanismos para el aprovechamiento eólico: las máquinas eólicas. *Monografias.com*. [en línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf2/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas2.shtml>

[7] FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro, 1993. *Energía eólica* [en línea]. Universidad de Cantabria. ISBN 9788481020199. Disponible en: <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=6>

[8] FUNES RUIZ, Jose-Félix, 2009. *Análisis simplificado de la respuesta estructural de una pala de aerogenerador* [en línea]. Proyecto fin de carrera. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/8015>

[9] GALÍNDEZ FERNÁNDEZ, Eneko, 2016. *Aerogenerador de eje vertical* [en línea]. Trabajo fin de grado. Bilbao: Escuela universitaria de ingeniería técnica industrial de Bilbao. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18373/2.%20Memoria.pdf?sequence=3&i-sAllowed=y>

[10] GÁLVEZ ROMÁN, Raquel, 2005. *Diseño y cálculo preliminar de la torre de un aerogenerador* [en línea]. Proyecto final de carrera. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. Disponible en: <https://docplayer.es/17943741-Disenoy-calculopreliminar-de-la-torre-de-un-aerogenerador.html>

[11] GARCÍA MARÍN, E., 2019. Tema 01 Energías Renovables. En: *StuDocu* [en línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es/document/universitat-de-valencia/gestion-energetica-energias-renovables/apuntes/tema-01-energias-renovables/2444836/view>

[12] HERNÁNDEZ ECHEVERRI, Sergio, 2012. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE ROTOR EÓLICO DE EJE VERTICAL TIPO SAVONIUS PARA LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA. *Repository* [en línea]. Disponible en: <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12559/DISEÑO%20Y%20CONSTRUCCION%20DE%20UN%20MODELO%20DE%20ROTOR%20EOLICO%20DE%20EJE%20VERTICAL%20TIPO%20SAVONIUS%20PARA%20LA%20OBTENCIO.pdf?sequence=2&i-sAllowed=y>

[13] LORES ROSAL, Xabier, 1997. Molinos y hórreos en el paisaje rural de Pontevedra. *Narrria* [en línea]. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Filosofía y Letras. Museo de Artes y Tradiciones Populares, pp 8-17. ISSN: 0210-9441. Disponible en: [https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/8512/45850\\_2.pdf?sequence=1&i-sAllowed=y](https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/8512/45850_2.pdf?sequence=1&i-sAllowed=y)

[14] OMARTRON, 2008. Principio de Bernoulli. *Fandom* [en línea]. Disponible en: [https://astronomia.fandom.com/wiki/Principio\\_de\\_Bernoulli#WikiaArticleComments](https://astronomia.fandom.com/wiki/Principio_de_Bernoulli#WikiaArticleComments)

[15] PÉREZ MARTÍN, Enrique, 2008. *Estudio histórico-tecnológico y representación gráfica de los molinos de viento de la Mancha, en la España de los siglos XVI al XIX, mediante técnicas de dibujo asistido por ordenador (DAO)* [en línea]. Tesis doctoral. Madrid: Universidad politécnica de Madrid. Disponible en: [http://oa.upm.es/1270/1/ENRIQUE\\_PEREZ\\_MARTIN\\_A.pdf](http://oa.upm.es/1270/1/ENRIQUE_PEREZ_MARTIN_A.pdf)

[16] REDACCIÓN, 2018. Los molinos de viento persas de 1000 años, que pueden dejar de funcionar por falta de relevo. En: *EcoInventos* [en línea]. Disponible en: <https://ecoinventos.com/molinos-de-viento-persas-de-nashtifan/>

[17] RODRIGÁLVAREZ SIBÓN, Adrián, 2018. *Modelado y control de un aerogenerador conectado a la red mediante un DFIG* [en línea]. Trabajo fin de grado. Madrid: Universidad politécnica de Madrid. Disponible en: [http://oa.upm.es/50349/1/TFG\\_ADRIAN\\_RODRIGALVAREZ\\_SIBON.pdf](http://oa.upm.es/50349/1/TFG_ADRIAN_RODRIGALVAREZ_SIBON.pdf)

[18] ROJAS-SOLAS, José Ignacio y AMEZCUA, Juan Manuel, 2005. Origen y expansión de los molinos de viento en España. *Interciencia*, 30 de Junio, pp. 316-325.

[19] SALAZAR LOZANO, Mariano José, 2016. *Sistema para aprovechamiento de la energía eólica a baja escala y su acumulación en forma de hidrógeno* [en línea]. Trabajo fin de grado. Valladolid: Universidad de Valladolid. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/18325/TFG-P-432.pdf;jsessionid=7307D7EDD7F2DA126ABDA-D094AD90E17?sequence=1>.

[20] SÁNCHEZ, Karen, 2016. El poder de Eolo. *La unión de Morelos*. 1 de Agosto, pp 26-27.

[21] SÁNCHEZ MOLLEDO, José María, 1995. Molinos de viento en el mundo. *Patrimur* [en línea]. Disponible en: <http://www.patrimur.es/documents/1806272/1815086/josemaria.pdf/51bdc7d2-598b-4431-9af-4-0f5191809266>

[22] SÁNCHEZ SIBAJA, Alexander, 2011. *Modelado computacional de un generador eólico basado en una turbina Savonius modificada* [en línea]. Tesis Doctoral. México D. F.: Instituto politécnico Nacional. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22707?show=full>

[23] SUÁREZ MORENO, Francisco, 2013. Artilugios y maquinarias para la molturación del molino de Gran Canaria. *Solo-Millo* [en línea]. Disponible en: [https://www.bienmesabe.org/uploads/publicaciones/Libro\\_molinos\\_Gran\\_Canaria/files/libro.pdf](https://www.bienmesabe.org/uploads/publicaciones/Libro_molinos_Gran_Canaria/files/libro.pdf)



[24] THE WIND TURBINE COMPANY'S, 2013. The Smith-Putnam turbine, The MOD-1 Turbine, The WTS-3 & 4 Wind Turbines. *Windturbinecompany* [en línea]. Disponible en: <http://www.windturbinecompany.com/our-lineage.html>

[25] VALERA MARTÍNEZ-SANTOS, Francisco. Principios Físicos y tecnología del Molino de Viento.En: *Campo de Criptana* [en línea]. Disponible en: <https://www.campodecriptana.info/descargas-ficheros/publicaciones/Fisica-y-tecnologia-del-molino-de-viento.pdf>

[26] ZAROUALA, Ben y OULAD, Rachad, 2010. *Modelado y control de aerogeneradores flexibles* [en línea]. Trabajo fin de máster. Sevilla: Escuela técnica superior de ingeniería. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70162/>



