



## Energía eólica en ensayos de laboratorio

- fundamentos de la aerodinámica
- generación de energía a partir de la energía eólica
- tecnología de engranajes, control de instalación y control de maquinaria para los modernos centrales eólicas

## Tabla de materias

**Tecnología con futuro**

Mientras que las ruedas eólicas típicas para accionamientos mecánicos son muy comunes desde hace siglos, la generación de corriente a través de grandes centrales eólicas, concretamente, disfruta en el presente de su auge económico.

La tendencia actual es el uso de grandes centrales eólicas con grandes rotores. Esto se debe a que las velocidades del viento son muy elevadas a grandes alturas. La velocidad del viento tiene una gran influencia en la velocidad rotacional del rotor. Los diámetros de los rotores ascienden hoy en día a aprox. 100m.

El proceso de la producción de energía mediante energía eólica abarca, además de los aspectos prácticos, también fundamentos teóricos extensos. Por ello, en nuestro concepto didáctico de la energía eólica diferenciamos los campos didácticos expuestos a la derecha.



El E-learning de GUNT ofrece un amplio material didáctico multimedia en línea para los ensayos de laboratorio y apoya así la formación técnica y los estudios de ingeniería.

**Fundamentos de la ingeniería eólica****Aerodinámica**

HM 226

**Túnel de viento para la visualización de líneas de corriente**

HM 170

**Túnel de viento abierto**

HM 170.09

**Cuerpo de sustentación superficie sustentadora NACA 0015**

HM 170.22

**Distribución de la presión en una superficie sustentadora NACA 0015****Generación de energía a partir de la energía eólica**

HM 170.70

**Central eólica con variación del paso**

ET 210

**Fundamentos de las centrales eólicas**

ET 220

**Conversión de energía en una central eólica**

ET 220.01

**Central eólica**

ET 220.10

**Equipo de mando para central eólica ET 220.01****Tecnología de aplicación en centrales eólicas****Tecnología de engranajes**

AT 200

**Determinar la eficiencia de engranajes****Control de instalación**

ET 222

**Cadena cinemática de energía eólica**

ET 224

**Comportamiento de funcionamiento de central eólica****Control de maquinaria**

PT 500

**Sistema de diagnóstico de máquinas, unidad básica**

PT 500.11

**Kit de árbol con fisura**

PT 500.15

**Kit de defectos en engranajes**

## Conocimientos básicos Energía eólica

El éxito de las centrales eólicas modernas es inconcebible sin las aportaciones de diversas subdisciplinas. En lo que concierne a los aspectos económicos del funcionamiento de parques eóli-

cos, los sistemas para el control del estado (en inglés: Condition Monitoring Systems – CMS) adquieren cada vez más importancia.



### Aerodinámica

La aerodinámica es la ciencia que estudia el comportamiento de cuerpos en un gas compresible (aire). La aerodinámica describe las fuerzas que permiten que una rueda eólica gire o un avión se eleve del suelo.

El diseño de una pala de rotor para centrales eólicas modernas debe tener en cuenta tanto las propiedades aerodinámicas como la carga mecánica. Para satisfacer los requisitos, especialmente en centrales eólicas muy grandes, se suelen utilizar perfiles de ala, que se han optimizado en simulaciones exhaustivas.

### Generación de energía a partir de la energía eólica

Para poder utilizar la energía eólica debe transformarse primero la energía cinética del viento en energía de rotación. La energía de rotación puede utilizarse después para producir energía eléctrica con un generador. Como en todos los procesos de transformación de energía, aquí también se producen pérdidas en cada fase. Basándose en la máxima potencia útil del viento (criterio de Betz), se producen pérdidas aerodinámicas, mecánicas y electrodinámicas.

### Tecnología de engranajes

En la transmisión de potencia del eje del rotor al generador deben cumplirse dos requisitos básicos:

- buenas propiedades de sincronización con oscilaciones lo más reducidas posibles del número de revoluciones y de los momentos
- buena adaptación de la gama del número de revoluciones entre el rotor y el generador

Aunque en los últimos años se han logrado grandes avances en el desarrollo de convertidores de frecuencia, las construcciones de transmisión establecidas se basan en el uso de mecanismos de transmisión. Los engranajes permiten adaptar el número de revoluciones o la frecuencia del generador a los requisitos de la red de corriente alterna.

### Control de instalación

El rendimiento de los centrales eólicas depende de los componentes mecánicos y eléctricos, así como de un control eficaz de la instalación. Aquí hay que conocer la influencia de los parámetros efectivos en todas las condiciones de funcionamiento relevantes. Para ello, se tiene en cuenta la dependencia de la potencia del rotor de la velocidad del viento, la velocidad del rotor y el ángulo de las palas del rotor en los diagramas característicos correspondientes.

### Control de maquinaria

La construcción y servicio de una central eólica va unida a grandes costes de inversión. Una avería en la disposición de cojinetes del rotor, los engranajes o el árbol del rotor provoca pérdidas económicas.

Para evitar averías, en las centrales eólicas se realizan continuamente análisis de vibración. El objetivo de estos análisis es la detección y cambio antes de tiempo de los componentes dañados, antes de que se averíe la central eólica.

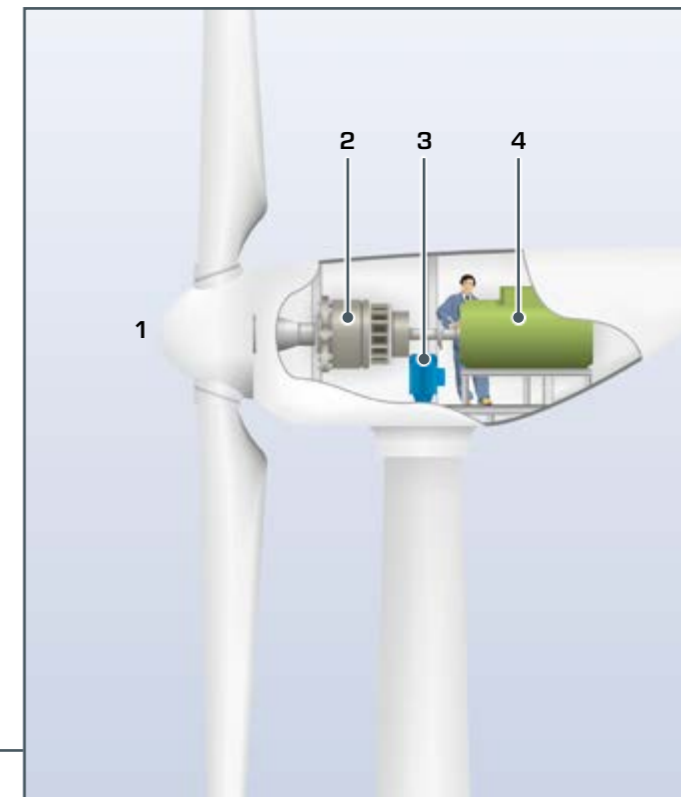
Las centrales eólicas constan no solo del rotor y el generador, sino también de muchos componentes diferentes que solo combinados constituyen una central eólica funcional y eficiente.

Los siguientes aspectos desempeñan un papel fundamental en la formación de personal cualificado e ingenieros en el área de la ingeniería eólica:

- modo de funcionamiento e interacción de los distintos componentes
- montaje y control del funcionamiento

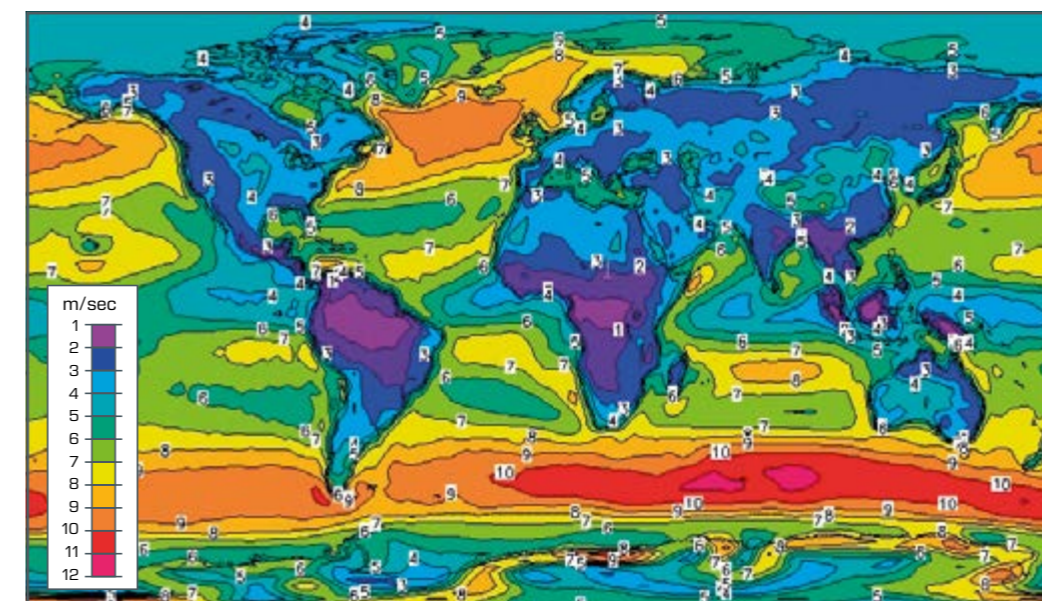
Estructura de una central eólica típica

1 rotor, 2 engranaje,  
3 motor de acimut, 4 generador



### Suministro global de energía eólica

El gráfico muestra el suministro medio global de energía eólica en superficies coloreadas

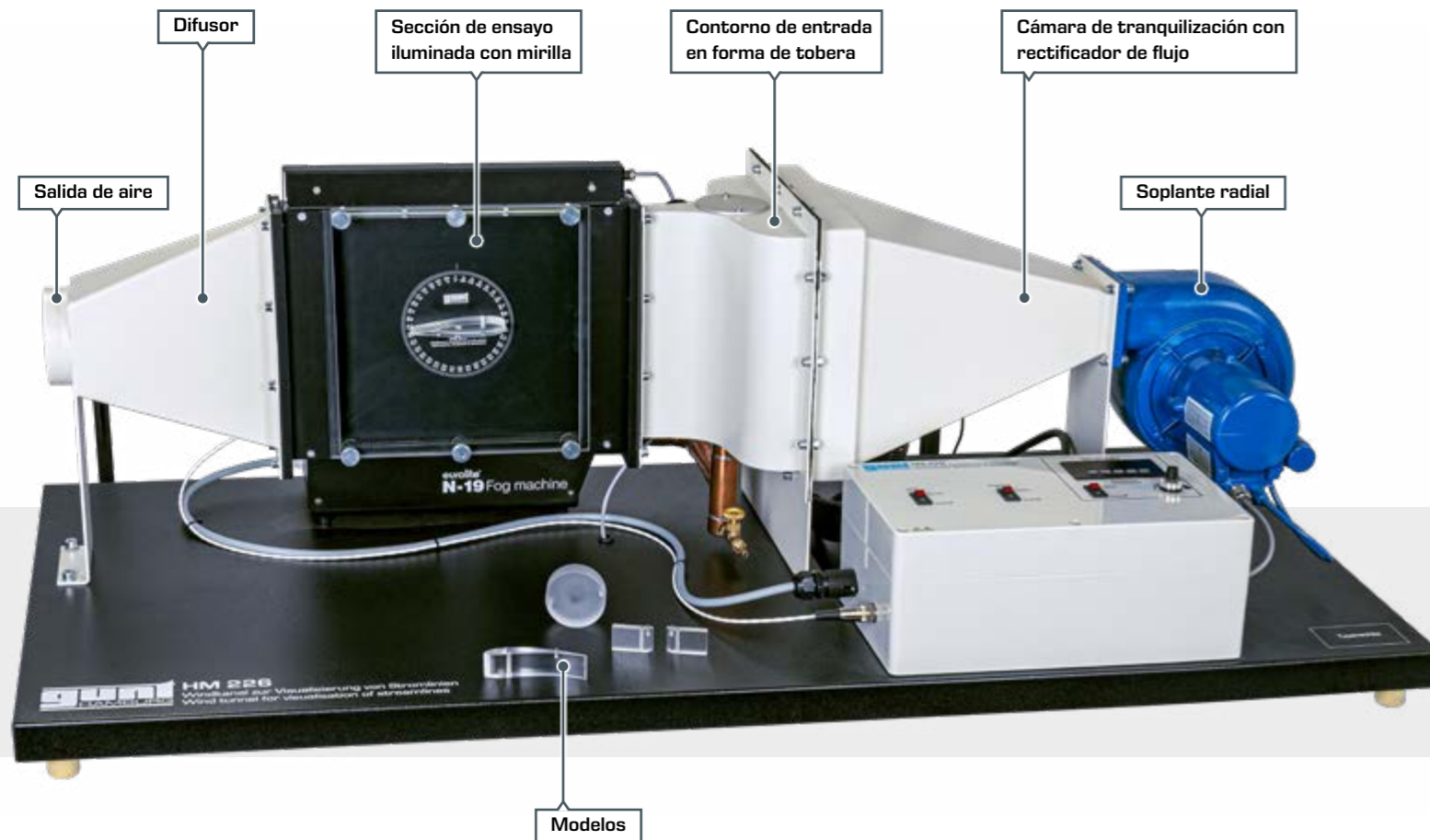


# HM 226

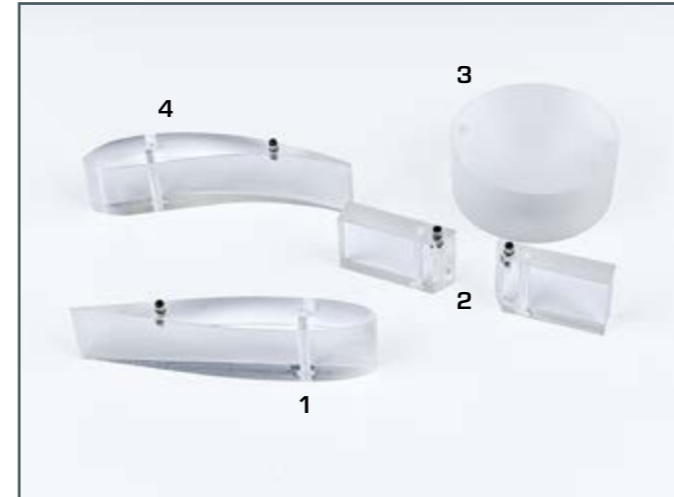
## Túnel de viento para la visualización de líneas de corriente

El equipo de ensayo HM 226 es un túnel de viento abierto, en el cual se pueden hacer visibles líneas de corriente, separación de flujo y turbulencias con ayuda de niebla. El fluido de niebla vaporizado es atóxico, soluble en agua y no ataca a los materiales habituales de estas instalaciones.

La sección de ensayo está provista de un fondo negro y una luna de vidrio transparente; las líneas de corriente son muy bien visibles gracias a una iluminación adicional.

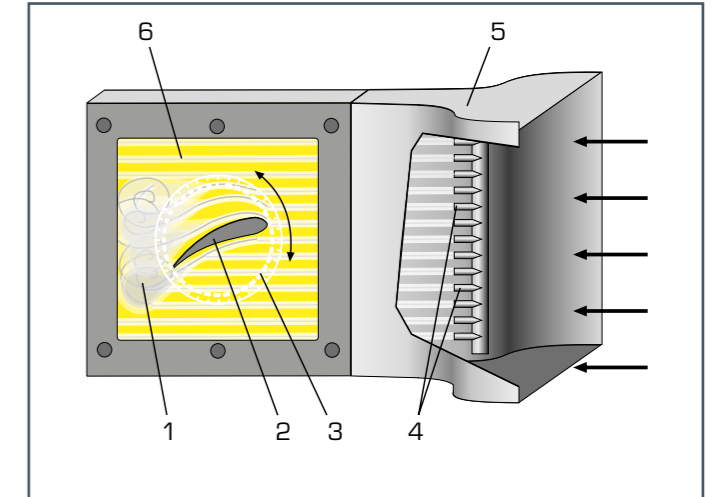


Cuatro modelos intercambiables están incluidos en el volumen de suministro. El ángulo de ataque de la superficie sustentadora (ala) es ajustable.



Modelos

1 superficie sustentadora, 2 placa con orificio, 3 cilindro, 4 perfil de álabe distribuidor



Estructura de la sección de ensayo

1 turbulencia, 2 modelo, 3 escala para el ajuste del ángulo de ataque, 4 toberas para la inyección de niebla, 5 contorno de entrada en forma de tobera, 6 sección de ensayo iluminada

Al producto:

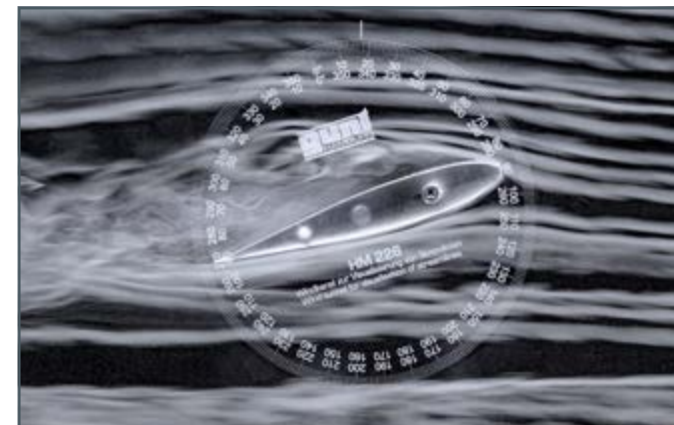


**Contenido didáctico**

- visualización de líneas de corriente
- flujos alrededor y de paso en modelos de diferentes formas
- separación del flujo y turbulencias
- entrada en pérdida del flujo en función del ángulo de ataque

**Features**

- campo de visión iluminado y transparente para una observación óptima de las líneas de corriente
- flujo de escasa turbulencia
- el campo de líneas de corriente es generado mediante inyección de niebla desde varias toberas
- generador de niebla incluido en el alcance de suministro



Vista detallada de la sección de ensayo

La pérdida en función del ángulo de ataque

# HM 170

## Túnel de viento abierto con accesorios

### Grundlagen der Windenergieumwandlung

Al principio de la cadena de acción de una central eólica se encuentra el rotor. La cantidad de energía eólica que se transforma en trabajo mecánico depende principalmente de las propiedades aerodinámicas de la pala del rotor.

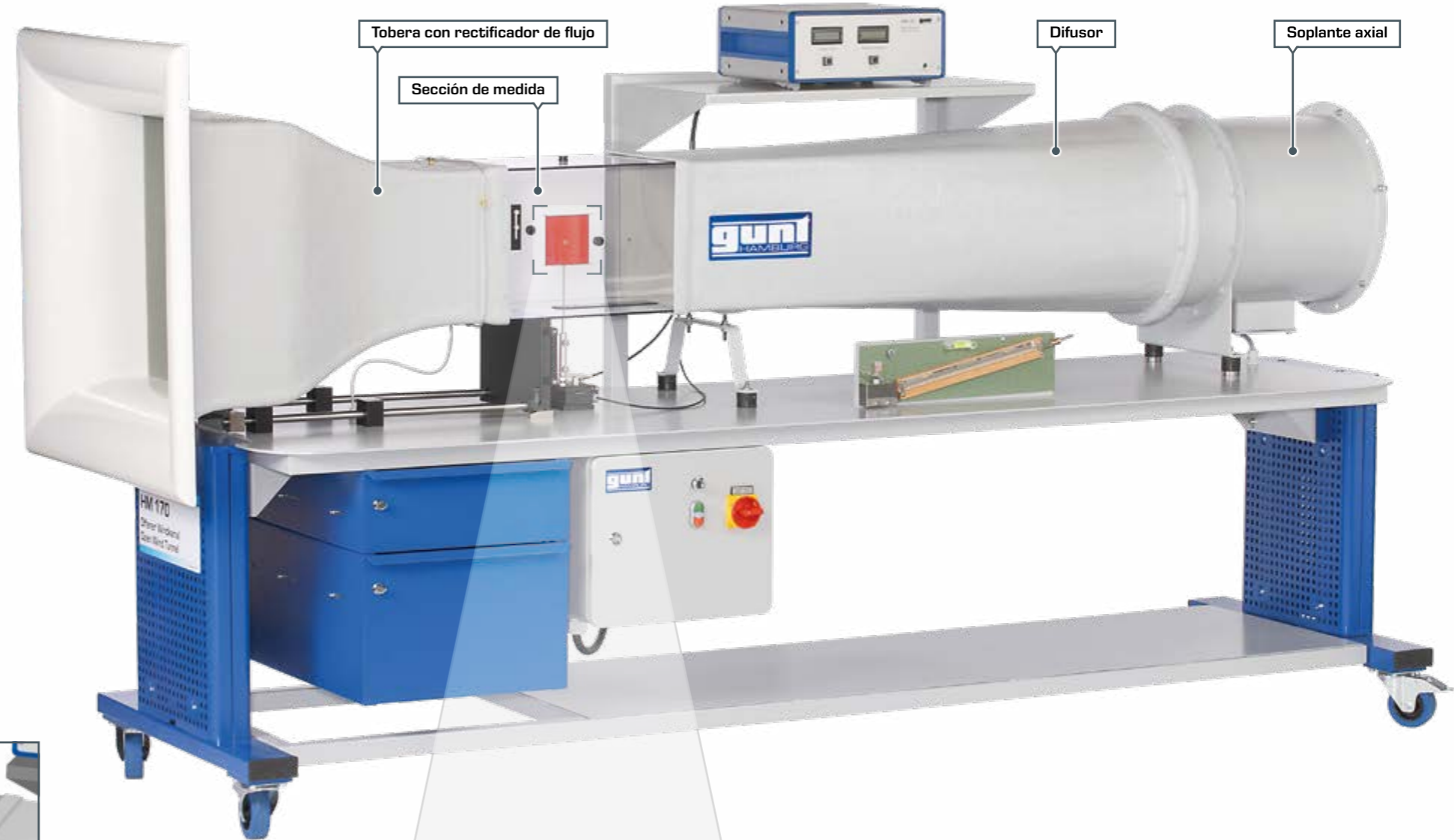
En el túnel de viento HM 170 pueden realizarse ensayos con diferentes formas de perfil y cuerpos de resistencia. Aquí puede medirse, p. ej., la influencia del ángulo de ataque en la distribución de presión en el perfil. Las fuerzas ascensionales y fuerzas de resistencia resultantes determinan la transformación de la energía cinética del viento en trabajo mecánico en el árbol del rotor.

El HM 170 es un túnel de viento abierto del tipo "Eiffel" con el cual se pueden demostrar y medir las propiedades aerodinámicas de diferentes modelos. Para ello se aspira y se acelera aire del entorno mediante un rectificador de flujo. En una sección de

medida, el aire fluye alrededor de un modelo, p. ej., una superficie sustentadora. Al final, el aire vuelve a expulsarse al exterior a través del soplante motriz.

Para los distintos ensayos con el HM 170 se requieren diversos accesorios.

Al producto:



### Features

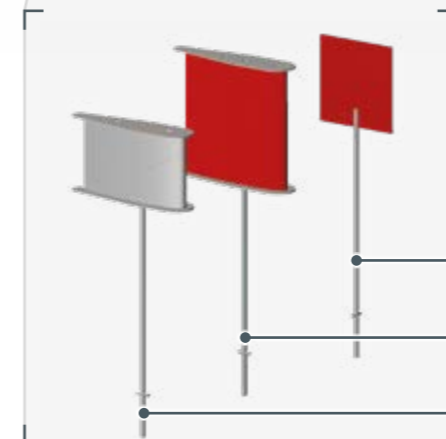
- túnel de viento abierto para una gran variedad de ensayos aerodinámicos
- flujo homogéneo gracias a un rectificador de flujo y un contorno especial de las toberas
- sección de medida transparente

### Contenido didáctico

- estudios en cuerpos expuestos a flujos circundantes
- distribución de la presión en una superficie sustentadora expuesta a flujos de aire circundantes
- medición de la fuerza ascensional y fuerza de resistencia
- empuje ascensional y separación en función del ángulo de ataque y de la velocidad de flujo



Sensor de fuerza para 2 componentes



Para una iniciación detallada a la aerodinámica de centrales eólicas, recomendamos realizar primero ensayos con los accesorios siguientes:

- HM 170.05**  
Cuerpo de resistencia placa cuadrada
- HM 170.09**  
Cuerpo de sustentación superficie sustentadora NACA 0015
- HM 170.22**  
Distribución de la presión en una superficie sustentadora NACA 0015

# HM 170

## Túnel de viento abierto con accesorios

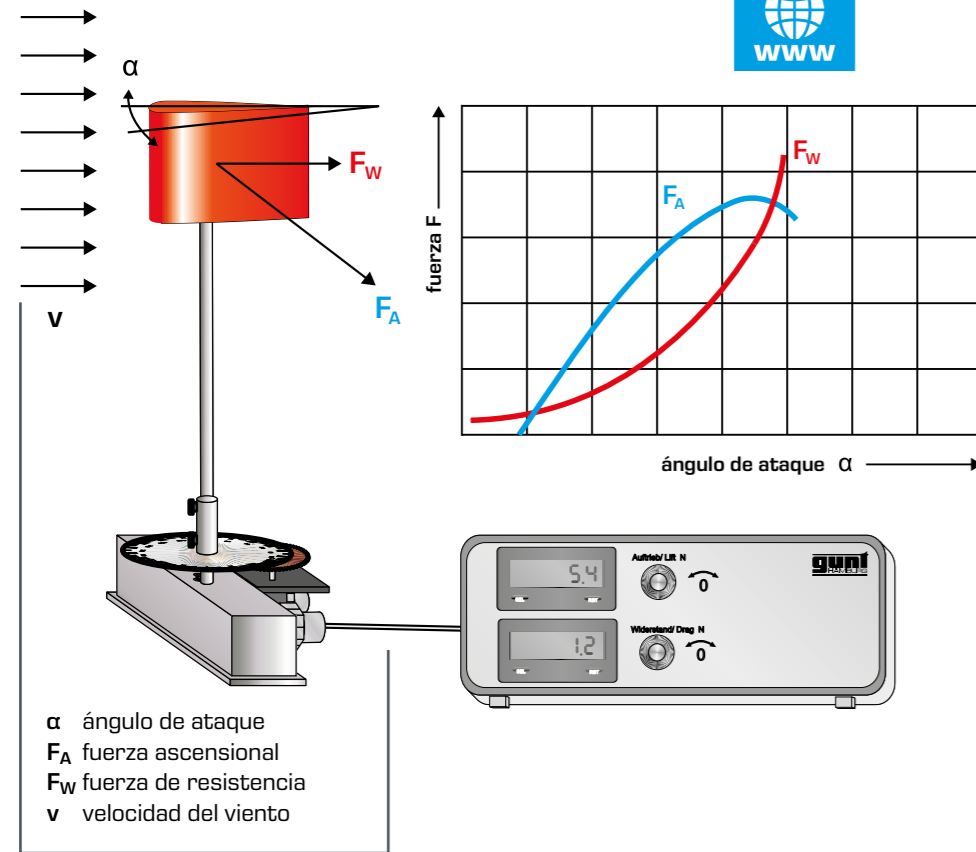
### HM 170.09

Cuerpo de sustentación superficie sustentadora NACA 0015

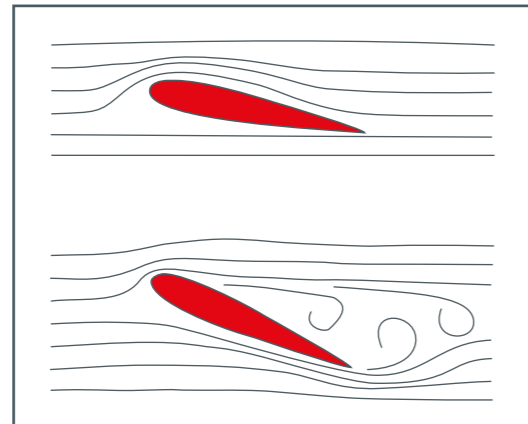
Por definición, la fuerza ascensional es perpendicular a la dirección del flujo incidente. Con la velocidad del viento dada se puede observar la fuerza ascensional máxima bajo un ángulo de ataque característico para el perfil de ala utilizado.

Con el HM 170.09 puede registrar sistemáticamente las fuerzas activas en un perfil de ala.

Al producto:



Contenido didáctico	
■	estudios en cuerpos expuestos a flujos circundantes
■	definición del coeficiente de resistencia
■	definición del coeficiente de sustentación
■	con sensor de fuerza HM 170.40 ▶ definición del coeficiente de momento



El "pitch" y la "stall" determinan el comportamiento de funcionamiento de la central eólica

La fuerza activa en la pala del rotor se puede ajustar a través del ángulo de ataque (pitch).

La entrada en pérdida del flujo (stall) se utiliza especialmente en centrales eólicas más pequeñas para limitar el número de revoluciones del rotor.

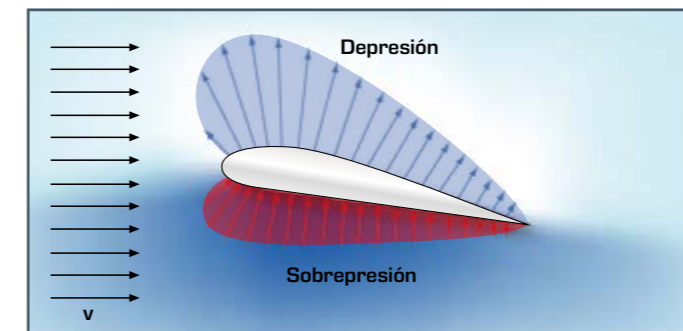
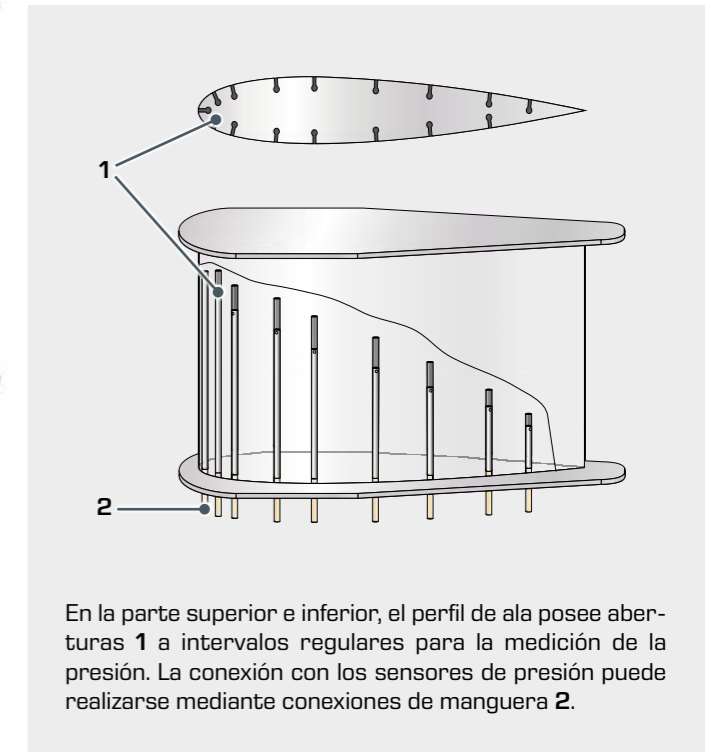
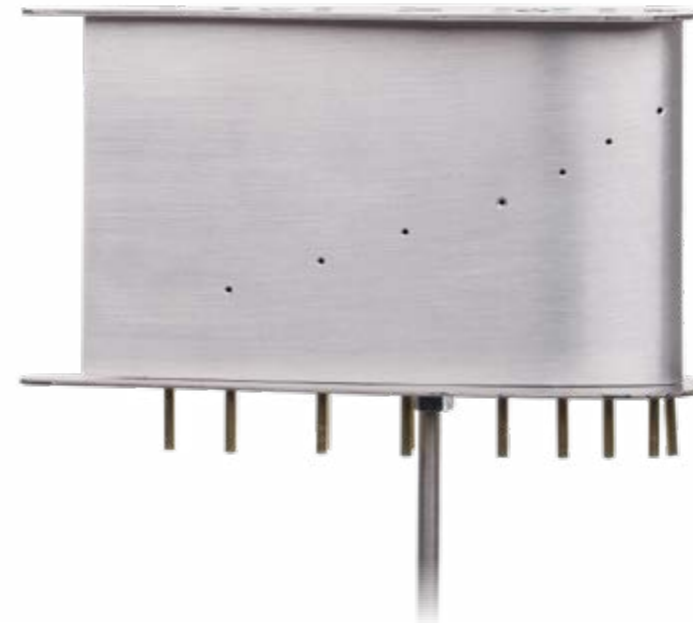
### HM 170.22

Distribución de la presión en una superficie sustentadora NACA 0015

La medición de la distribución de presión alrededor de un perfil de superficie sustentadora con flujo circundante proporciona a los estudiantes conocimientos básicos sobre la formación de la fuerza ascensional.

Con el HM 170.22 se demuestra la distribución de presión en el perfil de ala NACA 0015.

Al producto:



Para que se produzca un empuje ascensional en un cuerpo expuesto a flujos de aire circundantes, en el lado inferior del cuerpo tiene que haber una sobrepresión y en el lado superior una depresión.

Contenido didáctico	
■	distribución de la presión en una superficie sustentadora expuesta a flujos de aire ▶ en función del ángulo de ataque

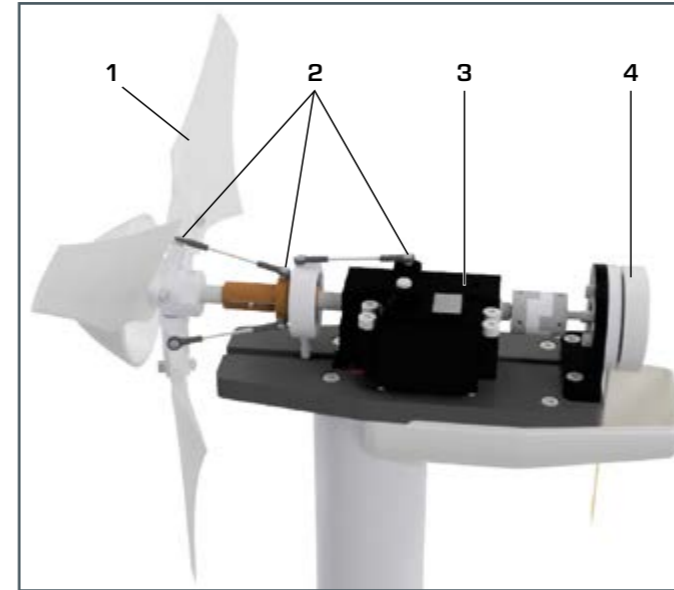
# HM 170.70

## Central eólica con variación del paso

HM 170.70 permite junto con el túnel de viento HM 170 la demostración de una central eólica con mecanismo de variación del paso de las palas del rotor y generador con número de revoluciones variable. El soplante axial en el túnel de viento cuenta con un número de revoluciones variable y suministra el flujo de aire requerido para los ensayos. Un rotor de tres palas acciona directamente el generador. El ángulo de ajuste de las palas del rotor se cambia por medio de un servomotor.

Para alcanzar diversos puntos de funcionamiento, es posible predeterminar el número de revoluciones nominal del generador con ayuda de un regulador. El número de revoluciones del rotor se registra con precisión mediante unos sensores Hall integrados en el generador. Para la investigación de diferentes formas, las palas del rotor con perfil recto y con perfil optimizado se incluyen en el volumen de suministro.

Al producto:

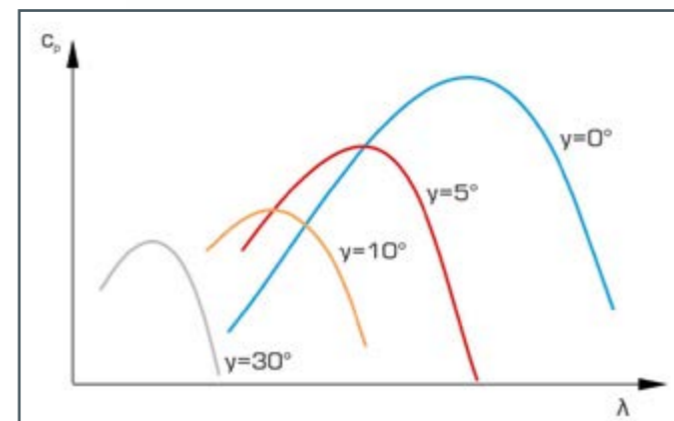
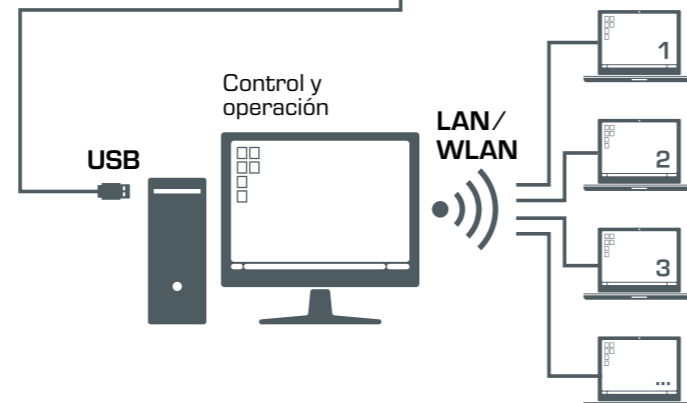


Componentes de la central eólica

1 pala del rotor, 2 mecanismo de variación del paso de las palas del rotor, 3 servomotor, 4 generador



HM 170.70 conectado al túnel de viento abierto HM 170



Coefficiente de potencia en función de la velocidad específica para distintos ángulos de ajuste de la pala del rotor y velocidad del viento constante

### Features

- central eólica con número de revoluciones variable
- ángulo ajustable de las palas del rotor mediante servomotor
- posibilidad de investigar las formas propios de las palas del rotor (impresión 3D)
- capacidad de funcionar en red: observar, adquirir y evaluar los ensayos a través de la red propia del cliente

### Contenido didáctico

- transformación de energía cinética en eléctrica
- ajuste de la potencia mediante
  - ▶ el ajuste de número de revoluciones
  - ▶ mecanismo de variación del paso de las palas del rotor
- comportamiento con flujo de aire oblicuo
- determinación del gráfico coeficiente de potencia/velocidad específica
- comparación de distintas formas de palas del rotor

# ET 210

## Fundamentos de las centrales eólicas

En las centrales eólicas modernas, la extracción de potencia del viento se adapta a las condiciones cambiantes del viento. Con vientos fuertes, la extracción de potencia es limitada para proteger a la central eólica. Para ello sirve el mecanismo de variación del paso de las palas del rotor. Este mecanismo cambia las fuerzas que actúan sobre la pala del rotor modificando el ángulo. Con vientos normales, la extracción de potencia es optimizada mediante sistemas de generadores con número de revoluciones variable.

ET 210 muestra una central eólica con mecanismo de variación del paso y generador con número de revoluciones variable. El flujo de aire es generado por un soplante. Un rectificador de flujo se encarga de que el flujo sea uniforme y prácticamente no tenga turbulencias. Un rotor de tres palas acciona directamente al generador. Para la investigación de diferentes formas, las palas del rotor con perfil recto y con perfil optimizado se incluyen en el volumen de suministro.

Al producto:

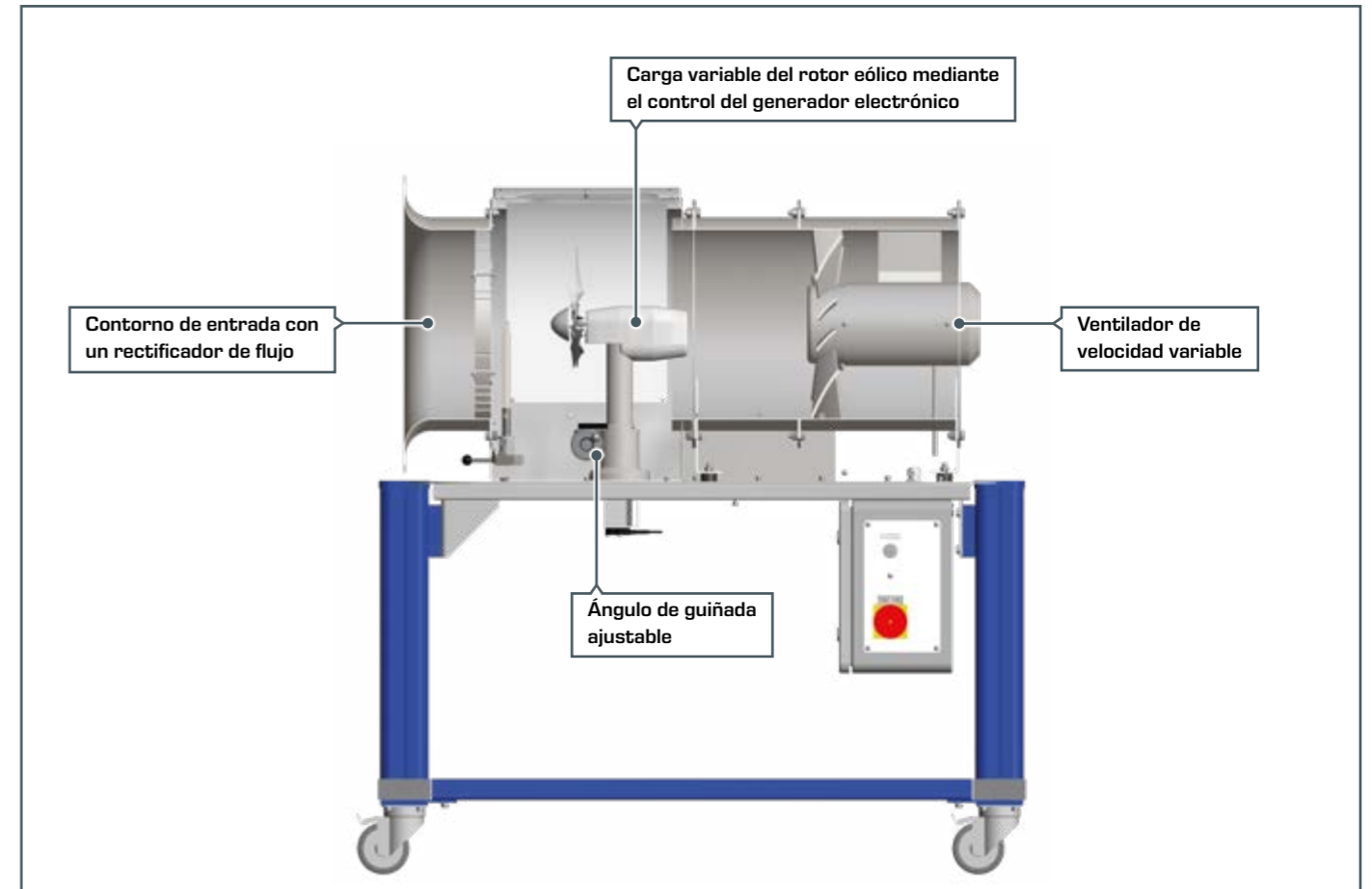
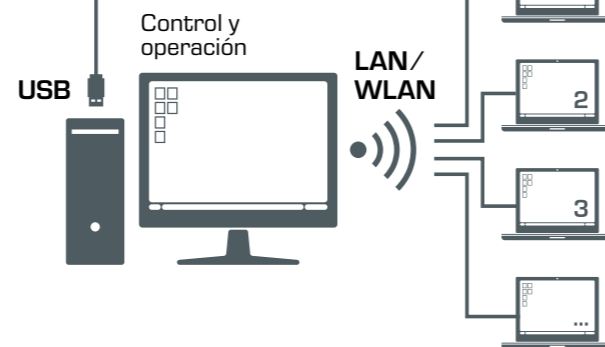


### Features

- equipo compacto, los ensayos se pueden realizar sin accesorios adicionales
- central eólica con número de revoluciones variable
- mecanismo de variación del paso y ajuste de la guiñada
- capacidad de funcionar en red: observar, adquirir y evaluar los ensayos a través de la red propia del cliente

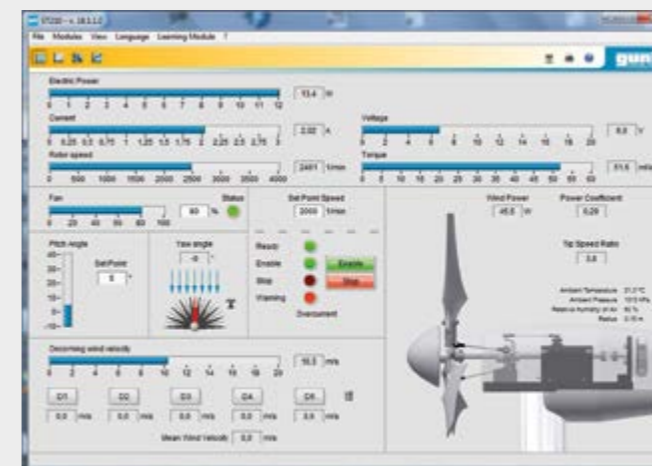
### Contenido didáctico

- transformación de energía cinética en eléctrica
- ajuste de la potencia mediante
  - ▶ el ajuste de número de revoluciones
  - ▶ mecanismo de variación del paso de las palas del rotor
- comportamiento con flujo de aire oblicuo
- determinación del gráfico coeficiente de potencia/velocidad específica
- comparación de distintas formas de palas del rotor

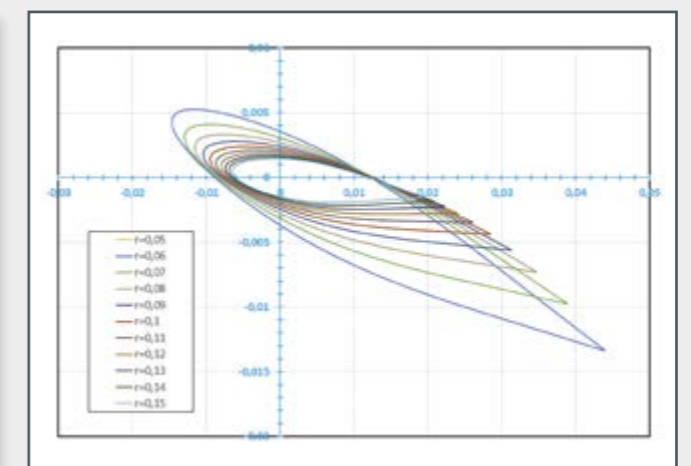


### Software

El software calcula la potencia eléctrica convertida, el par del generador, así como características específicas de la central eólica.



Software GUNT para el control del equipo y la adquisición de datos desde el PC



Resultados calculados para una secuencia de segmentos en una pala de rotor. Cambio en la profundidad y la torsión de la pala en función del radio de la pala.



# ET 220

## Conversión de energía en una central eólica

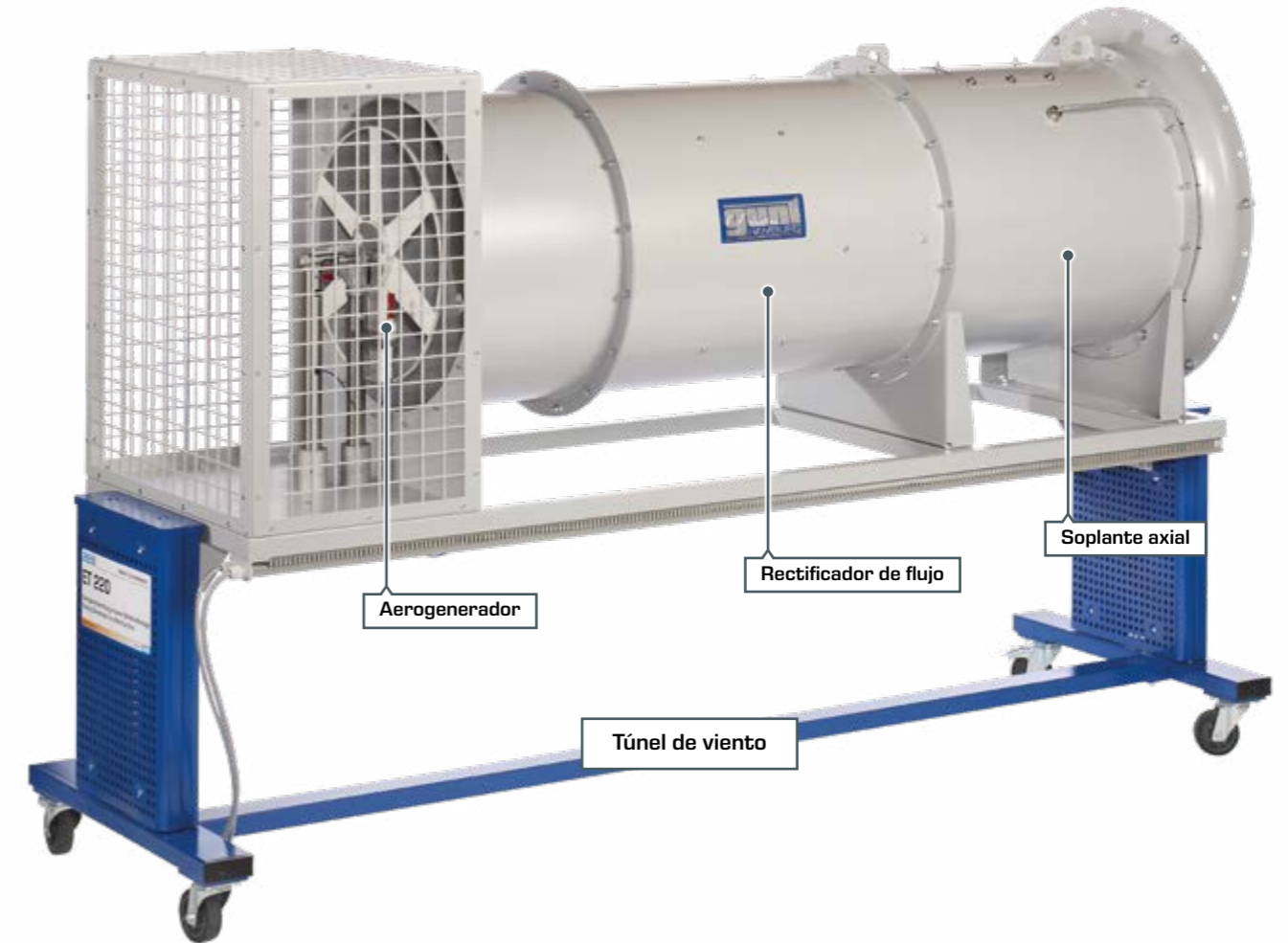
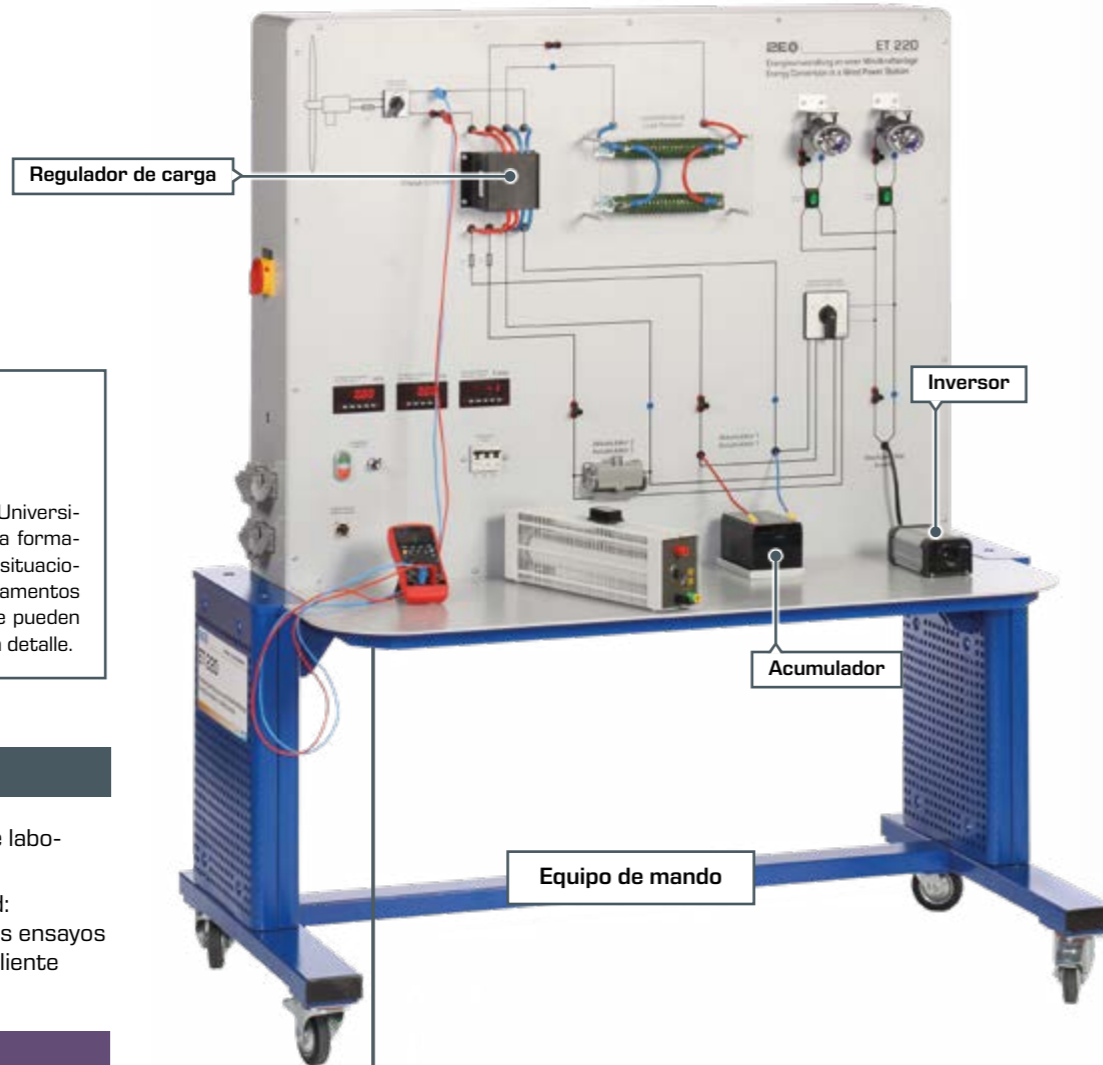
Con el ET 220 puede enseñar en pasos claros las distintas etapas de la transformación del flujo del viento en energía de rotación hasta el almacenamiento de la energía eléctrica en acumuladores.

Para investigar el funcionamiento de una central eólica en condiciones meteorológicas reales al aire libre, la ET 220 puede funcionar junto con la ET 220.01.

El túnel de viento del ET 220 permite realizar ensayos bajo condiciones definidas. De este modo puede analizar curvas características de la instalación independientemente de la situación meteorológica también con tiempos de ensayo breves.

terísticas de la instalación independientemente de la situación meteorológica también con tiempos de ensayo breves.

Al producto:



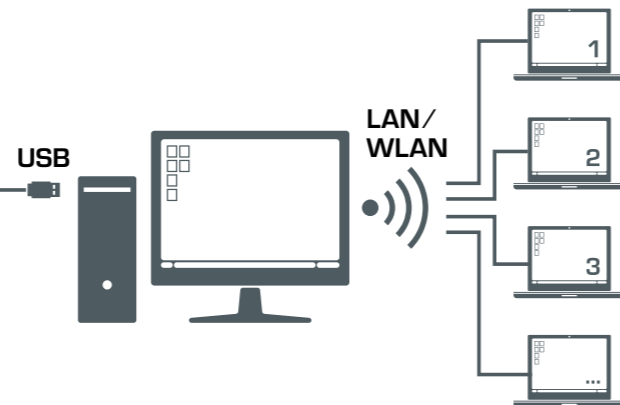
El ET 220 también se utiliza en la Universidad de Leeds, Reino Unido, para la formación de ingenieros. Para diversas situaciones de formación, desde los fundamentos hasta las áreas más avanzadas, se pueden realizar ensayos documentados en detalle.

### Features

- ensayos prácticos a escala de laboratorio
- capacidad de funcionar en red: observar, adquirir y evaluar los ensayos a través de la red propia del cliente

### Contenido didáctico

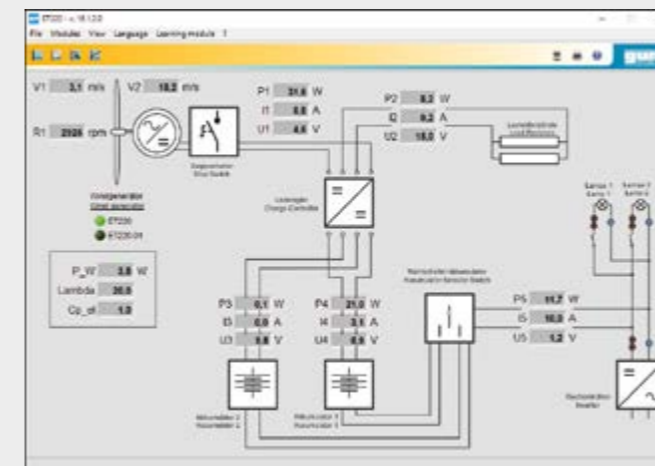
- conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica
- funcionamiento y montaje de un sistema en isla con una central eólica
- determinación del coeficiente de potencia en función de la relación de velocidad periférica (tip-speed ratio TSR en inglés)
- balance energético en una central eólica
- determinación del rendimiento de una central eólica



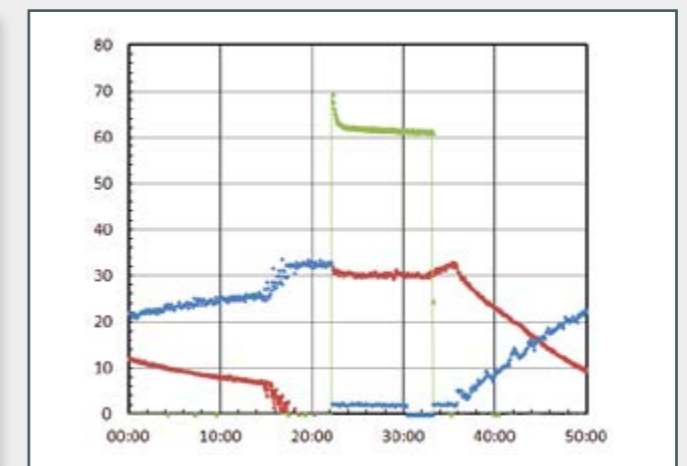
### Software

Con el software se mide la corriente y la tensión en diversos puntos del sistema de isla.

Los balances energéticos son posibles para todo el sistema y para componentes individuales.



Software GUNT para la adquisición de datos de medición via PC

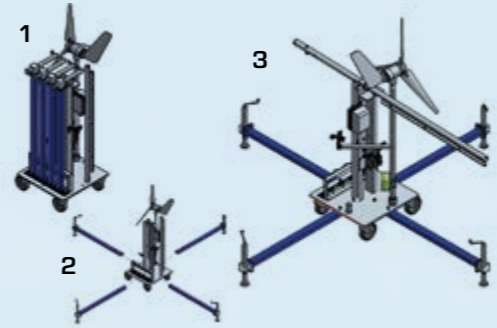


Curvas temporales medidas de las potencias eléctricas

ET 220.01  
ET 220.10

Central eólica  
Equipo de mando para central eólica ET 220.01

La productividad de una central eólica depende de las velocidades del viento predominantes y el aprovechamiento de la corriente generada. La central eólica ET 220.01 se utiliza junto con la ET 220 o junto con la ET 220.10.

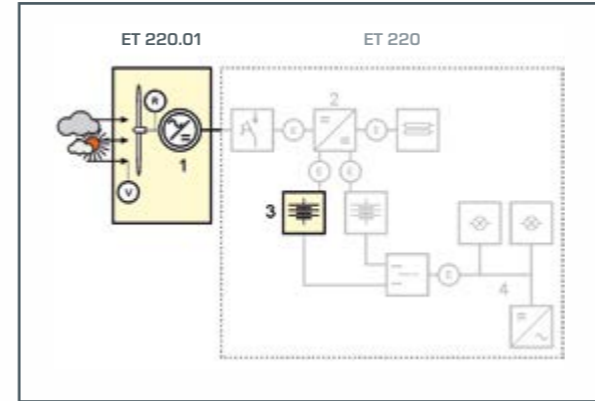


**Puesta en funcionamiento del ET 220.01**

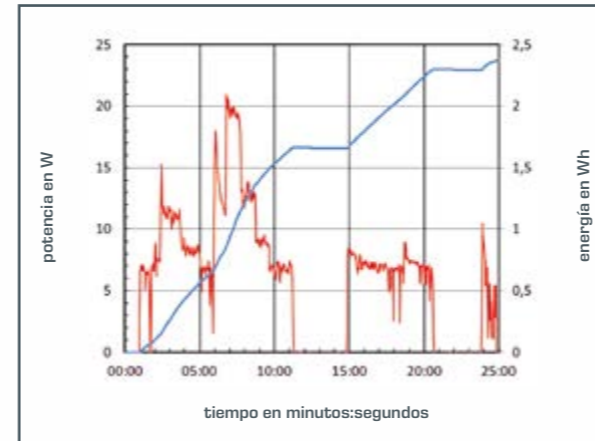
La central eólica puede desplazarse fácilmente en estado de transporte **1** al emplazamiento para realizar los ensayos. Tras el montaje de los soportes **2**, la central eólica se coloca en el poste orientable **3**.



Al producto:



La energía eléctrica generada se transmite al equipo de mando del ET 220 y puede utilizarse para cargar acumuladores o para el consumo directo.



Al igual que en un diagrama típico del manual del ET 220, se evalúan las curvas de potencia relacionadas con las condiciones climáticas (rojo) para el cálculo de los rendimientos energéticos (azul).



**ET 220.10**  
Equipo de mando para central eólica ET 220.01

La energía eléctrica de la central eólica ET 220.01 se alimenta al sistema en isla independiente de la red eléctrica del ET 220.10.

Los sensores registran la velocidad del viento y el número de revoluciones del rotor del ET 220.01, la corriente y la tensión del sistema en isla. Los valores medidos se pueden almacenar y procesar con ayuda del software para la adquisición de datos adjuntado. La transferencia al PC se realiza a través de una interfaz USB. La velocidad del viento y el número de revoluciones del rotor pueden leerse adicionalmente en indicadores digitales.

Al producto:



**Contenido didáctico**

- construcción y funcionamiento de una central eólica en funcionamiento en isla
- balance energético de una central eólica bajo condiciones de viento reales

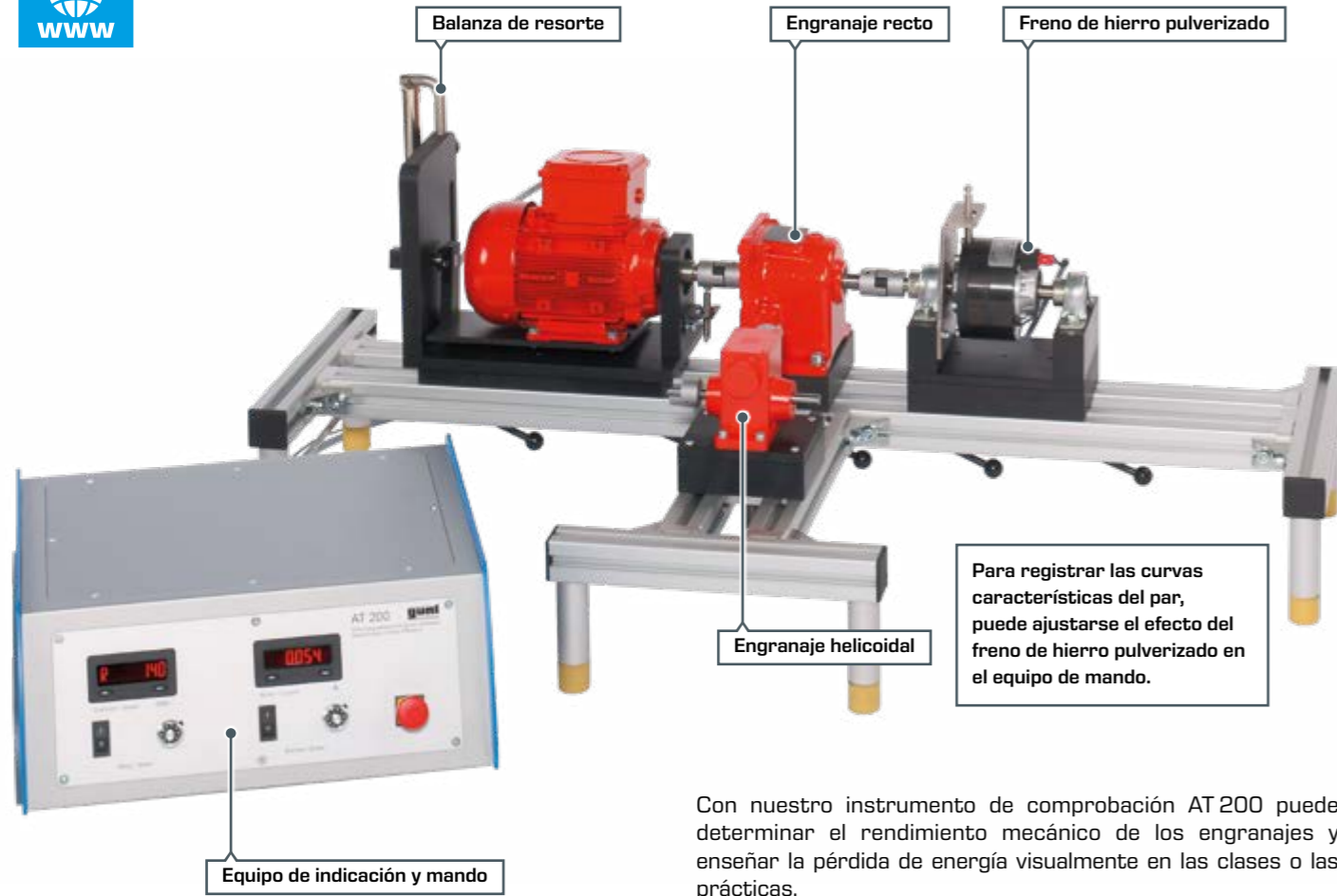
## AT 200

# Determinar la eficiencia de engranajes

En la transformación de energía los engranajes en las centrales eólicas desempeñan un papel muy importante. Un engranaje debe transmitir la energía cinética del rotor al generador con las

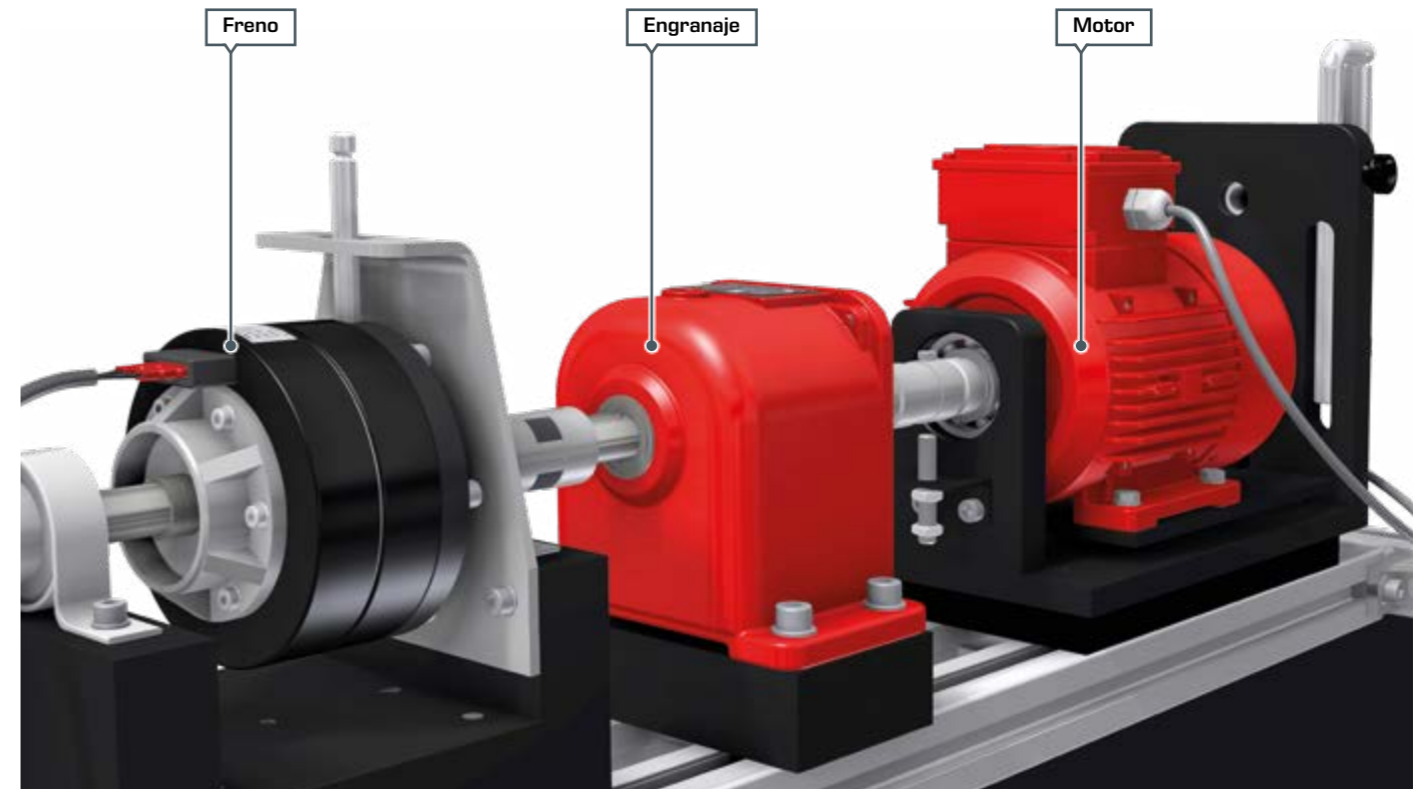
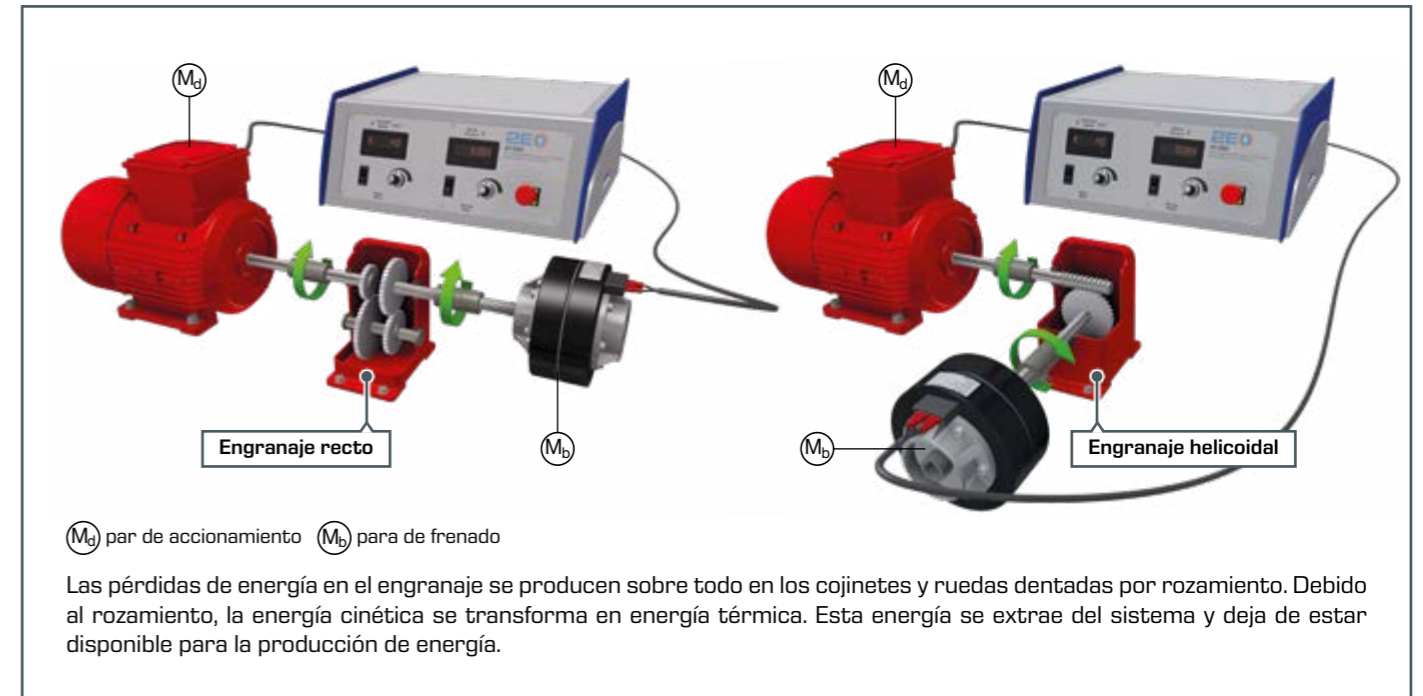
mínimas pérdidas posibles. En las aplicaciones típicas, el reducido número de revoluciones del rotor debe adaptarse a números de revoluciones mucho más altos del generador.

Al producto:



Para registrar las curvas características del par, puede ajustarse el efecto del freno de hierro pulverizado en el equipo de mando.

Con nuestro instrumento de comprobación AT 200 puede determinar el rendimiento mecánico de los engranajes y enseñar la pérdida de energía visualmente en las clases o las prácticas.



Contenido didáctico	
■	determinación del rendimiento mecánico de engranajes mediante comparación de la potencia mecánica de accionamiento y frenado para <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ engranaje recto, de dos etapas</li> <li>▶ engranaje helicoidal</li> </ul>
■	registro de la curva característica de par-corriente de un freno de hierro pulverizado
■	técnica de accionamiento y de regulación

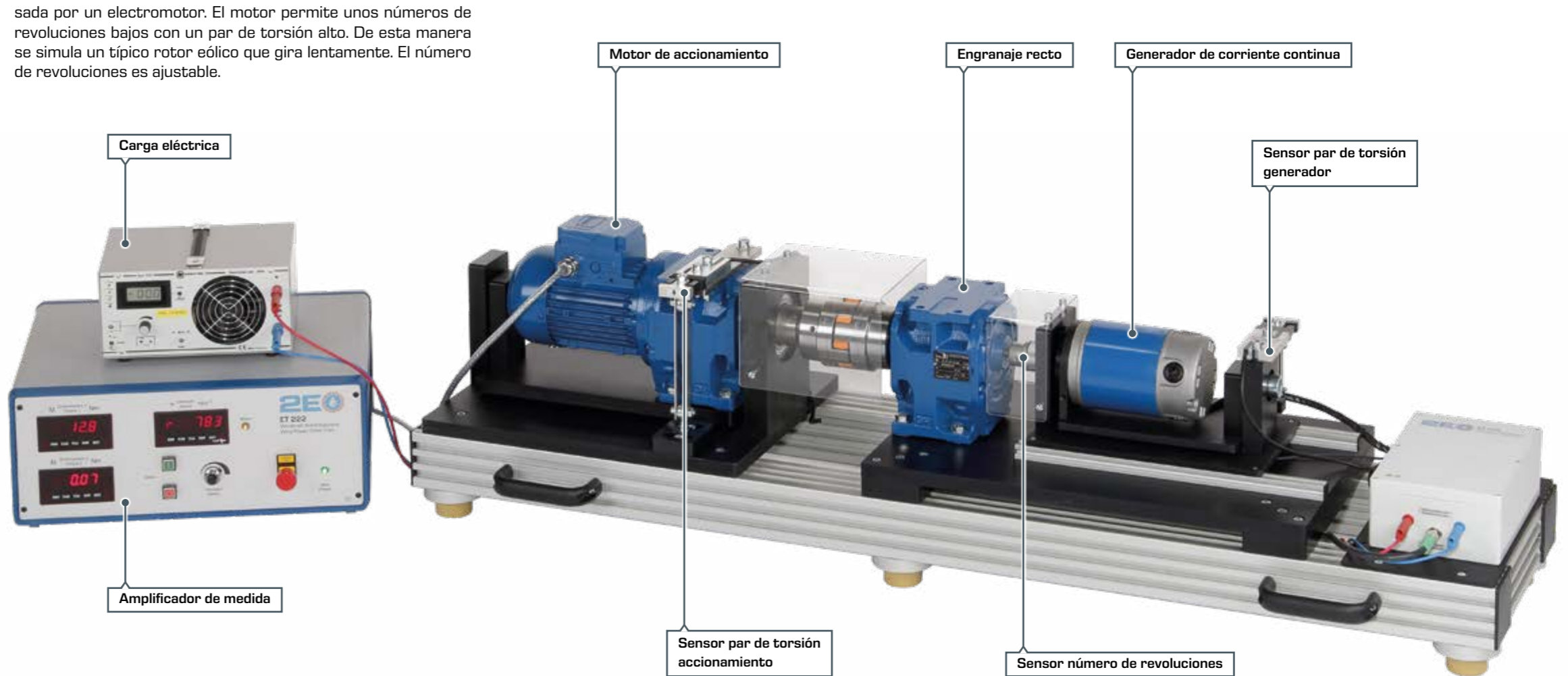
## ET 222

# Cadena cinemática de energía eólica

Las centrales eólicas modernas deberían estar adaptadas de la mejor manera posible a las condiciones del viento existentes en el emplazamiento y permitir unas condiciones de funcionamiento eficientes. Aparte del propio rotor eólico, especialmente los componentes de la cadena cinemática como el engranaje y el generador eléctrico son decisivos.

El equipo de ensayo ET 222 contiene una típica cadena cinemática de energía eólica a escala de laboratorio, la cual es propul-

Al producto:

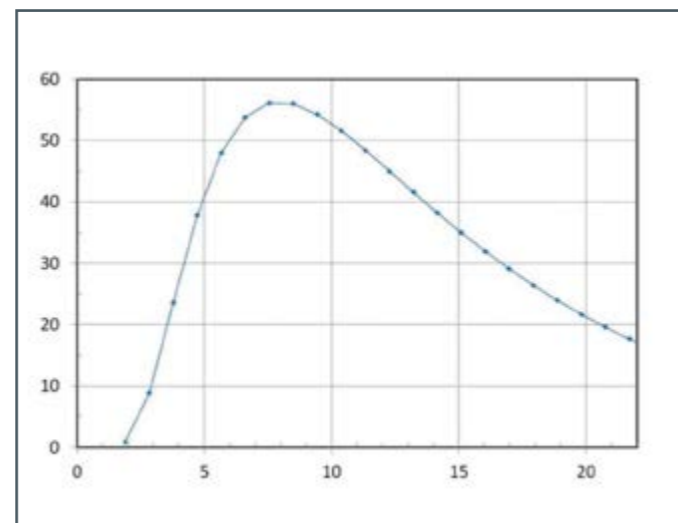


### Features

- el electromotor de baja velocidad simula el rotor eólico
- generador con carga eléctrica ajustable
- mediciones de par de torsión en el accionamiento y el generador

### Contenido didáctico

- conversión de energía de rotación en energía eléctrica
- influencia del par de torsión y del número de revoluciones sobre el rendimiento del engranaje
- influencia del par de torsión y del número de revoluciones sobre el rendimiento del generador
- influencia de la típica característica de par de torsión de un rotor eólico sobre el rendimiento total de la cadena cinemática



Característica de par de torsión simulada de un rotor eólico:  
eje x: número de revoluciones del árbol en  $\text{min}^{-1}$   
eje y: par de torsión en Nm

En los ensayos con ET 222 se simulan condiciones de funcionamiento típicas de una cadena cinemática. Para ello se varía la carga eléctrica del generador y el número de revoluciones del motor de accionamiento. De este modo se pueden reproducir puntos de trabajo de una típica característica de par de torsión. La característica calculada se obtiene a partir de la potencia mecánica de un rotor eólico para una determinada velocidad del viento.

El número de revoluciones del generador y los pares de torsión del lado de accionamiento y del generador se registran con sensores y se visualizan digitalmente en el amplificador de medida. Además, los valores de medición están disponibles como señales analógicas para un procesamiento o registro externo opcional.

NOTTINGHAM  
TRENT UNIVERSITY

El ET 222 fue desarrollado especialmente para la formación en energía eólica en la NOTTINGHAM TRENT UNIVERSITY (Reino Unido).

# ET 224

## Comportamiento de funcionamiento de central eólica

El rendimiento de aerogeneradores depende de los componentes mecánicos y eléctricos, así como de un control eficiente de todo el sistema. Por lo tanto, se debe conocer la influencia de los parámetros efectivos bajo todas las condiciones de funcionamiento relevantes.

Con el equipo ET224 se contemplan los componentes de una cadena cinemática de energía eólica. Para una mejor comprensión, se examinarán parámetros importantes del aerogenerador en ensayos con diagramas característicos simulados. Un motorreductor con número de revoluciones regulable simula el típico rotor eólico de rotación lenta con un alto par de giro. Entre el lado de accionamiento de rotación lenta y el lado del generador de rotación rápida se encuentra un engranaje recto de tres etapas. Un generador síncrono trifásico con rectificador convierte la energía mecánica en energía eléctrica. La energía eléctrica se transfiere a una carga electrónica.



### Software

La carga electrónica se puede controlar directamente o a través del módulo de simulación del software GUNT suministrado. Se pueden realizar mediciones individuales, registros automatizados de curvas características y diagramas característicos, así como mediciones durante el funcionamiento autónomo del aerogenerador guiado por el viento.

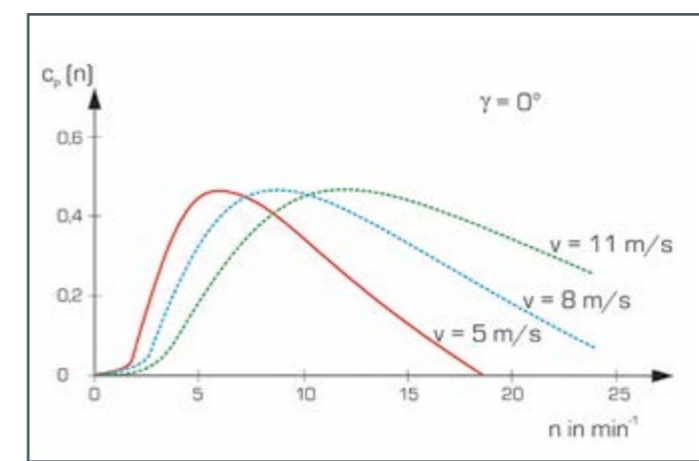
Mediciones automatizadas en modo de simulación

Control de instalación sin simulación

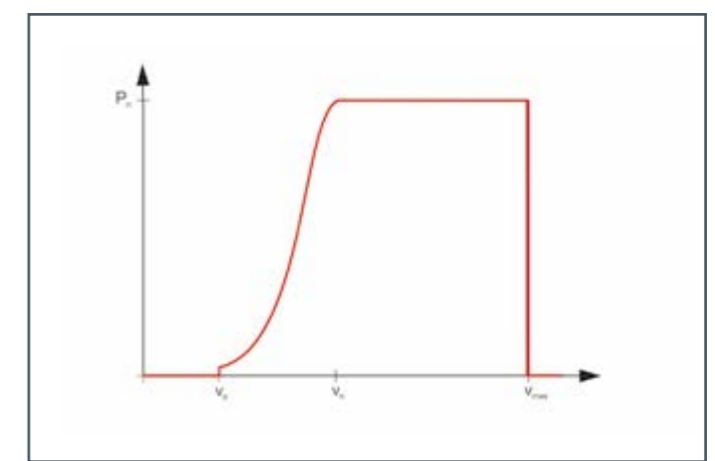
Al producto:

- ### Contenido didáctico
- conversión de la energía cinética en energía eléctrica
  - índice de potencia y velocidad específica
  - comportamiento de funcionamiento de aerogeneradores investigar la influencia del par de giro y el número de revoluciones en el rendimiento del engranaje y el generador
  - investigar la influencia de la velocidad del viento y el ángulo de las palas del rotor en la curva característica de par de giro típica de un rotor eólico
  - limitación de potencia mediante el control del número de revoluciones y el ángulo de las palas del rotor
  - familiarizarse con el control del aerogenerador guiado por el viento en funcionamiento autónomo

- ### Features
- la unidad de accionamiento de bajo número de revoluciones simula el rotor eólico
  - software GUNT de medición y simulación con función de control para la carga electrónica
  - registro automático de las diagramas característicos en función de la velocidad del viento, el ángulo de las palas y el número de revoluciones del rotor
  - capacidad de funcionar en red: observar, adquirir y evaluar los ensayos a través de la red propia del cliente



Índice de potencia como función del número de revoluciones del rotor: simulación de diagramas característicos típicas a diferentes velocidades del viento y ángulos de las palas del rotor



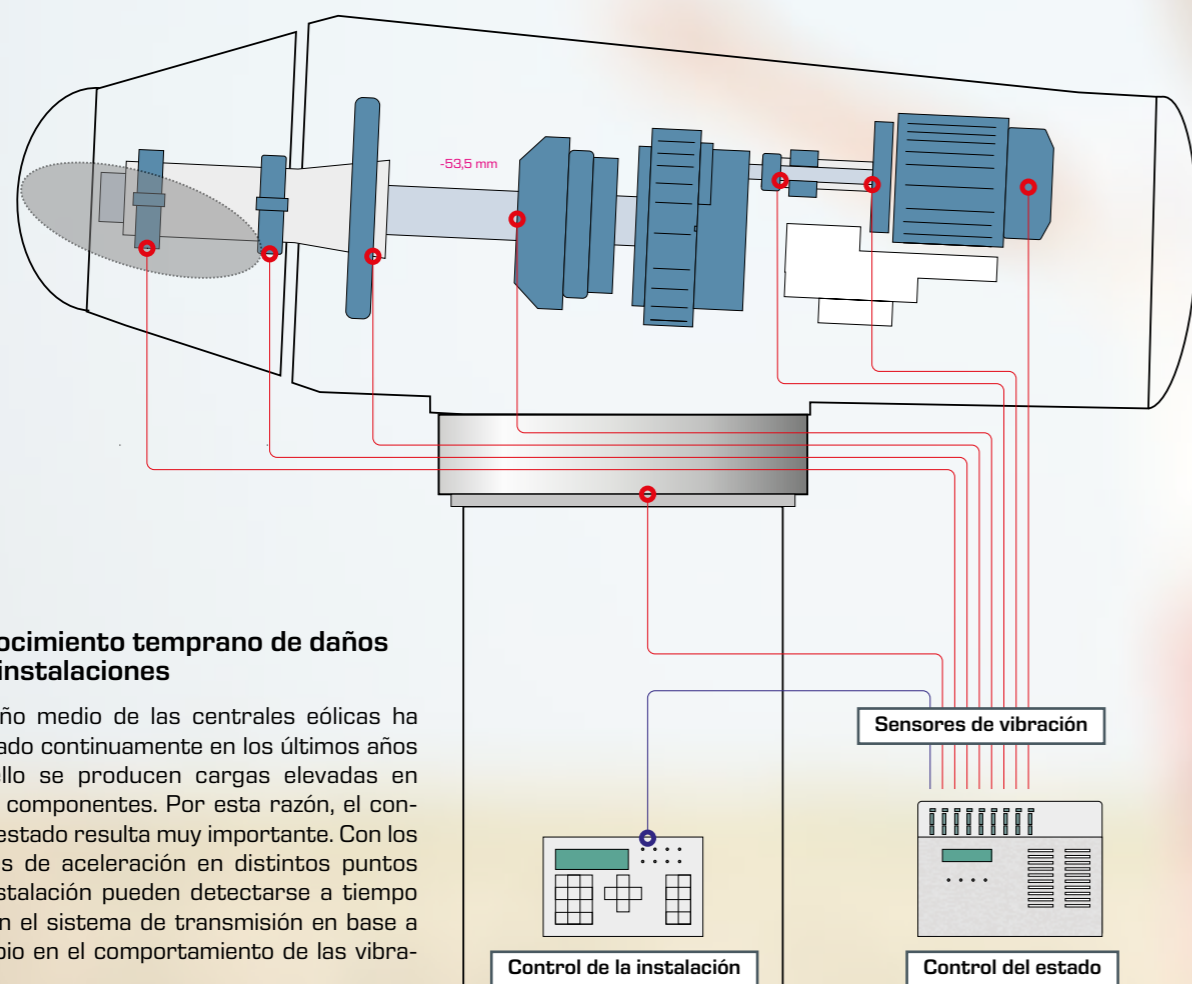
Curva característica de potencia para el funcionamiento autónomo a una velocidad del viento creciente: la potencia emitida es limitada por la unidad de control del aerogenerador mediante el ajuste del número de revoluciones del rotor y el ángulo de las palas del rotor

## Conocimientos básicos Control del estado en centrales eólicas

Para reducir los riesgos técnicos y económicos, hoy en día se instalan sistemas para controlar el estado de las instalaciones (en inglés: Condition Monitoring Systems: CMS) en todas las centrales eólicas grandes.

Además de los datos típicos como, p. ej., la velocidad del viento, el número de revoluciones, la potencia eléctrica y la temperatura, estos sistemas registran, especialmente, las vibraciones en todos los puntos relevantes de la instalación. Mediante el análisis y la comparación de los datos de vibración con valores teóricos es posible detectar componentes dañados antes de

tiempo y cambiarlos antes de que se produzca una avería de los componentes. Desde el punto de vista de la gestión del servicio, tanto el ajuste de intervalos de mantenimiento apropiados como la detección temprana de averías resultan de gran importancia. Gracias a la inclusión de sistemas CM, se fijan entretanto periodos de inactividad muy por debajo del 10%, p. ej., en contratos entre fabricantes, entidades explotadoras y aseguradoras de centrales eólicas.



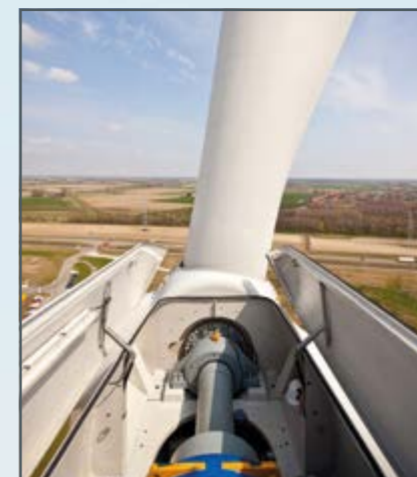
### Reconocimiento temprano de daños en las instalaciones

El tamaño medio de las centrales eólicas ha aumentado continuamente en los últimos años y por ello se producen cargas elevadas en muchos componentes. Por esta razón, el control del estado resulta muy importante. Con los sensores de aceleración en distintos puntos de la instalación pueden detectarse a tiempo daños en el sistema de transmisión en base a un cambio en el comportamiento de las vibraciones.

### Evitar peligros

En componentes sensibles de una central eólica, como los cojinetes y las ruedas dentadas, pueden producirse fallos debido a varias causas. Entre ellas, el desgaste regular, condiciones ambientales extremas, sobrecargas, así como fallos de montaje y fabricación. Si los defectos resultantes de estas causas no se descubren ni se resuelven a tiempo, pueden producirse grandes daños, que pueden provocar la destrucción de una central eólica.

Además, debido a los peligros para el medio ambiente, es necesario un control lo más continuo posible del estado de las instalaciones, especialmente, en las centrales eólicas grandes.



### El conocimiento de los expertos asegura un control fiable de las instalaciones

El control del estado incluye, en particular, mediciones de vibraciones en distintos componentes de las instalaciones con una frecuencia apropiada. Del análisis del sonido propagado pueden sacarse conclusiones sobre el estado de los componentes. Otras variables medidas importantes son, p. ej., el número de revoluciones y las temperaturas del aceite y del cojinete.

Para diferenciar de forma segura los valores de medición de estado y los condicionados por el funcionamiento, en muchos casos se requiere además la intervención de expertos con experiencia. Queremos ofrecerle ensayos esenciales para que pueda enseñar los conocimientos especiales necesarios con nuestros equipos del área de la energía eólica.

## PT 500

Sistema de diagnóstico de máquinas,  
unidad básica

Con el sistema didáctico para diagnóstico de máquinas PT 500 puede simular, medir y evaluar señales de vibración de distintos fallos y daños. La interpretación de las señales de medición puede practicarse en detalle con este sistema. La tecnología de

medición profesional contribuye a transmitir los conocimientos adquiridos en la práctica diaria con centrales eólicas modernas.

Al producto:



El equipo básico PT 500 con el analizador de vibraciones PT 500.04 asistido por ordenador permite realizar una serie de ejercicios sobre el diagnóstico de máquinas y el control de maquinaria. El software GUNT ofrece una gran variedad de posibilidades de análisis para la evaluación. Entre ellas, p. ej.:

- osciloscopio
- espectro de frecuencias
- intensidad de vibración
- análisis de curva envolvente
- análisis de daños en rodamientos y engranajes en función de espectros de curvas envolventes

#### Información detallada sobre el sistema PT 500

Nuestro folleto PT 500 ofrece también una visión de conjunto detallada sobre todas las opciones del sistema modular y puede descargarlo en [www.gunt.de](http://www.gunt.de)



#### Referencias

Muchos de nuestros clientes internacionales trabajan con éxito con nuestro sistema de formación PT 500.

Algunas referencias seleccionadas:

- Escuela Superior HAW de Ciencias Aplicadas, Hamburgo/Alemania
- Escuela Superior HTW de Tecnología y Economía, Dresde/Alemania
- Escuela Superior Reinhold-Würth, Künzelsau/Alemania
- Universidad de Varsovia, Varsovia/Polonia
- Centro de Formación RFPC, Bandar Iman/Irán
- Instituto Técnico INTECAP de Capacitación y Productividad, Guatemala

#### Accesorios para el sistema PT 500

- PT 500.01 Mesa móvil
- PT 500.04 Analizador de vibraciones asistido por PC
- PT 500.05 Equipo de frenado y carga
- PT 500.10 Kit de árbol elástico
- PT 500.11 Kit de árbol con fisura
- PT 500.12 Kit de defectos en rodamientos
- PT 500.13 Kit de acoplamientos
- PT 500.14 Kit de transmisión por correa
- PT 500.15 Kit de defectos en engranajes
- PT 500.16 Kit de mecanismo de biela y manivela
- PT 500.17 Kit de cavitación en bombas
- PT 500.18 Kit de vibraciones en soplantes
- PT 500.19 Kit de vibraciones electromecánicas
- PT 500.41 Dos sensores de desplazamiento



El equipo básico contiene una plancha de sujeción con amortiguación de vibraciones, un motor de accionamiento regulado por el número de revoluciones con tacómetro, un árbol con dos discos de masa y dos uni-

dades de cojinete, un acoplamiento y pesos rotativos. Gracias al amplio programa de accesorios puede tratarse prácticamente cada tema del diagnóstico de máquinas.

#### Contenido didáctico

- introducción a la medición de vibraciones en sistemas de máquinas rotativas:
  - ▶ fundamentos de la medición de vibraciones en árboles y cojinetes
  - ▶ magnitudes básicas y parámetros
  - ▶ sensores e instrumentos de medición
  - ▶ influencia del número de revoluciones y la disposición de los árboles
  - ▶ influencia de la posición de los registradores
- comprender e interpretar espectros de frecuencia
- uso de un analizador de vibraciones asistido por PC

PT 500.11

Kit de árbol con fisura



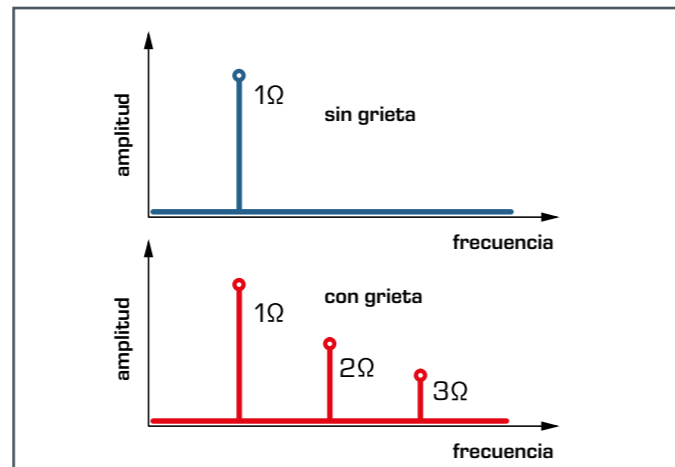
El árbol del rotor de una central eólica transmite la energía mecánica del rotor al engranaje. Gracias a la detección temprana de grietas en el árbol se puede minimizar el riesgo de una avería costosa o el peligro de la destrucción de la instalación.

Con nuestro accesorio PT 500.11 puede realizar análisis de vibraciones en árboles defectuosos. Le ofrecemos distintos árboles para que pueda simular grietas de distinto tamaño.

Al producto:



Contenido didáctico	
■	variación del comportamiento vibracional característico (frecuencia de resonancia, velocidad de resonancia, amplitud y fase de las vibraciones) a causa de una fisura
■	identificación de la fisura a través de la variación del espectro de vibraciones
■	fisura en un árbol con extremo saliente
■	comprender e interpretar espectros de frecuencia
■	uso de un analizador de vibraciones asistido por PC



Durante una vuelta del árbol dañado, la apertura y cierre de una grieta provoca gamas de frecuencias adicionales. En especial, la armónica de segundo orden experimenta un fuerte crecimiento frente al árbol no dañado.

PT 500.15

Kit de defectos en engranajes



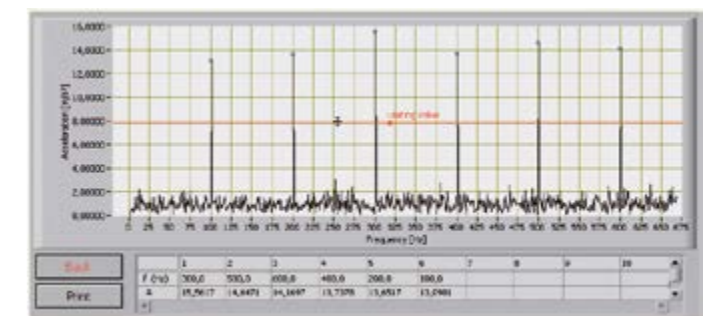
El juego de accesorios PT 500.15 le ofrece distintos juegos de ruedas con diferentes daños en los dientes. Además, en el volumen de suministro se incluyen ruedas sin daños para realizar

mediciones comparativas. El PT 500.15 le permite realizar ensayos sobre análisis de vibraciones de daños en el dentado y la ubicación de daños en engranajes.

Al producto:



Contenido didáctico	
■	identificación de defectos en los engranajes sobre la base del comportamiento vibracional
■	influencia del tipo de dentado
■	localización del defecto
■	influencia de la lubricación
■	influencia de la distancia entre ejes y la holgura entre dientes
■	comprender e interpretar espectros de frecuencia
■	uso de un analizador de vibraciones asistido por PC



Espectro de un engranaje de dentado recto a 1800min<sup>-1</sup> y frecuencia de engrane de 752 Hz

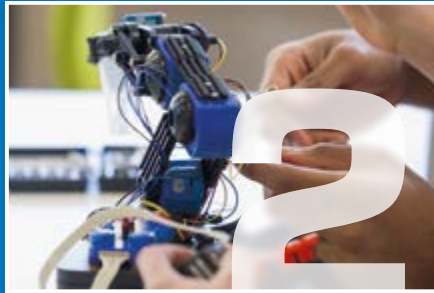


## Todo el programa GUNT



### Mecánica y diseño mecánico

- estática
- resistencia de materiales
- dinámica
- dinámica de máquinas
- diseño mecánico
- ensayo de materiales



### Mecatrónica

- dibujo técnico
- modelos seccionados
- metrología
- elementos de máquinas
- tecnología de fabricación
- procesos de montaje
- mantenimiento
- diagnóstico de máquinas
- automatización e ingeniería de control de procesos



### Ingeniería térmica

- fundamentos de termodinámica
- cambiadores de calor
- máquinas fluidomecánicas térmicas
- motores de combustión interna
- refrigeración
- ingeniería de suministro (HVAC)



### Mecánica de fluidos

- flujos estacionarios
- flujos no estacionarios
- flujo alrededor de cuerpos
- elementos de sistemas de tuberías y de ingeniería de plantas
- turbomáquinas
- máquinas de desplazamiento positivo
- ingeniería hidráulica



### Ingeniería de procesos

- ingeniería de las operaciones básicas mecánicas
- ingeniería de procesos térmicos
- ingeniería de procesos químicos
- ingeniería de procesos biológicos
- tratamiento de aguas



### 2E Energy & Environment

- | Energy                                   | Environment |
|--|-------------|
| ■ energía solar                          | ■ agua      |
| ■ energía hidráulica y energía marina    | ■ aire      |
| ■ energía eólica                         | ■ suelo     |
| ■ biomasa                                | ■ residuos  |
| ■ energía geotermia                      |             |
| ■ sistemas de energía                    |             |
| ■ eficiencia energética en edificaciones |             |

## Contacto

G.U.N.T. Gerätebau GmbH  
Hanskampring 15-17  
22885 Barsbuettel  
Alemania

+49 40670854-0  
sales@gunt.de  
www.gunt.de



Visite nuestra  
página web  
[www.gunt.de](http://www.gunt.de)