

# ENERGÍA EÓLICA APLICADA A REGADIOS

José Antonio García de Larrínoa

**Argolabe Ingeniería**

# Índice

1. **Presentación de la empresa**
2. **Energía convencional**
3. **Generación distribuida**
4. **Breves conceptos eólica**
5. **Aerogenerador prototipo**
6. **Aerogenerador T100**
7. **Ejemplo de aplicación. Bodega con autoconsumo**
8. **Aplicación en regadíos**

# ARGOLABE INGENIERÍA S.L.

Compañía de servicios de ingeniería fundada en 2005. Cuenta con ingenieros y técnicos con más de 20 años de experiencia en el sector.

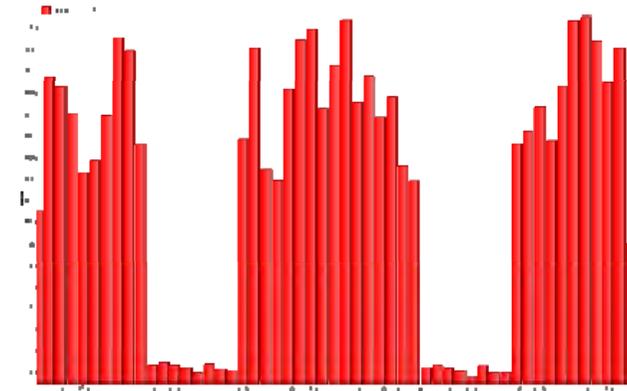
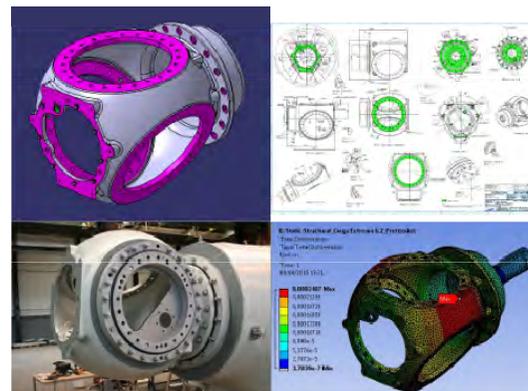
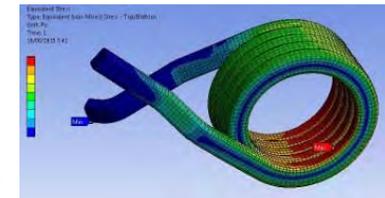
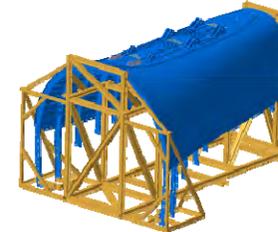
Nuestra filosofía se fundamenta en cuatro pilares:



# ARGOLABE INGENIERÍA S.L.

- Soluciones de Ingeniería:

- Desarrollo de producto.
- Diseño 3D: Expertos en los software de diseño avanzado CAD 3D: Catia v5 y Siemens NX
- Desarrollo de Utillaje
- Cálculos Mecánicos: Cálculo estático y de fatiga mediante elementos finitos, **FEM**, de piezas metálicas y material compuesto
- Asesoría en la contratación eléctrica: Optimización en la facturación eléctrica, tipo de tarifa recomendable, análisis global de la instalación.



# **ARGOLABE INGENIERÍA S.L.**

La actividad de Argolabe se desarrolla en las siguientes áreas tecnológicas

***AERONÁUTICA***

***AUTOMOCIÓN***

***INDUSTRIAL***

***ENERGÍA EÓLICA***

***ARQUITECTURA***

***SERVICIOS ENERGÉTICOS***

# AERONÁUTICA

Argolabe Ingeniería

- Diseño de Producto
- Diseño de Utillaje
- CATIA
- Diseño en Material

## Compuesto

Trabajamos con compañías líderes en el sector:

**AERNNOVA**

**AIRBUS**

**BOEING**

**BOMBARDIER**

**EMBRAER**



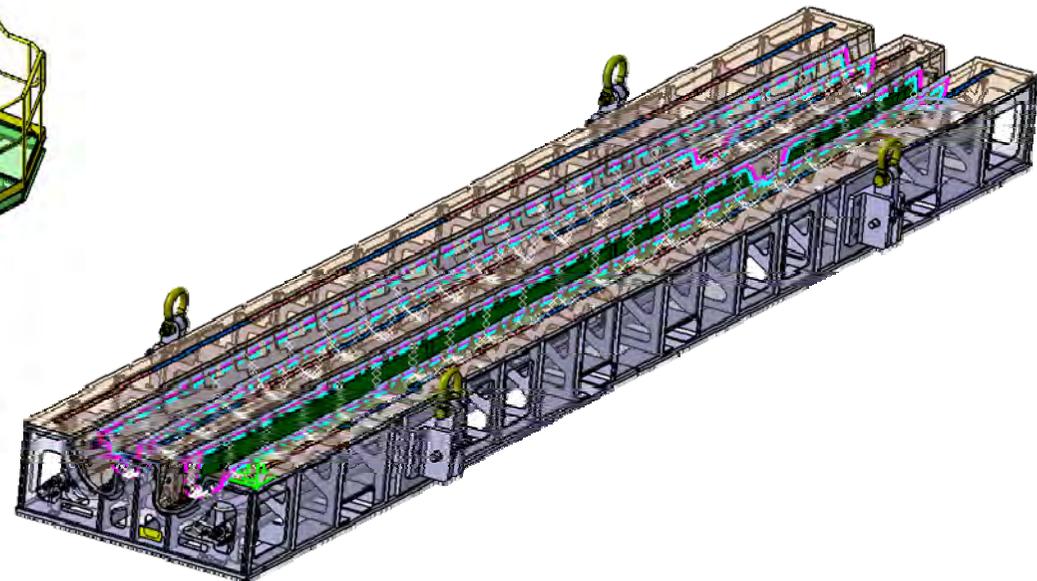
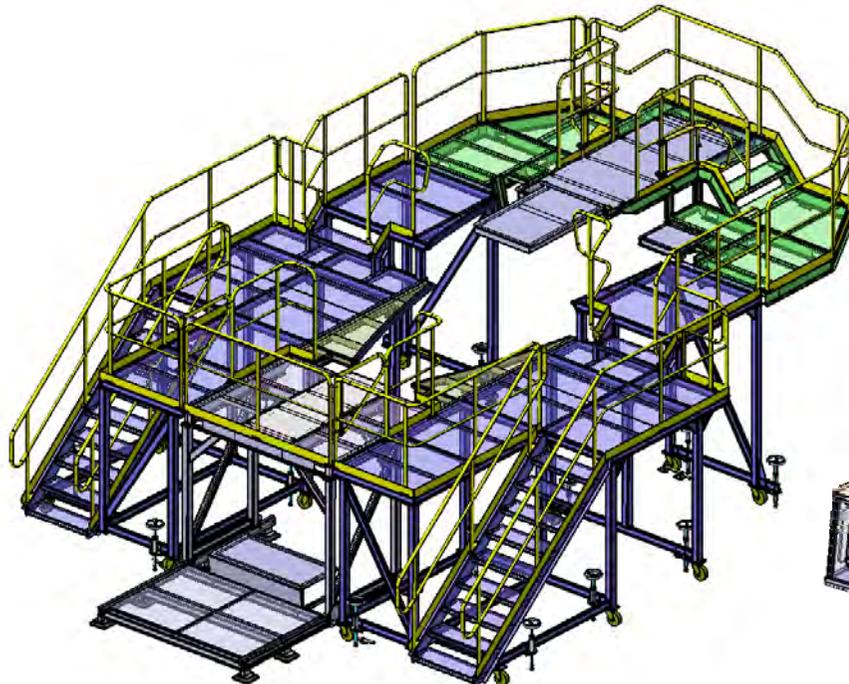
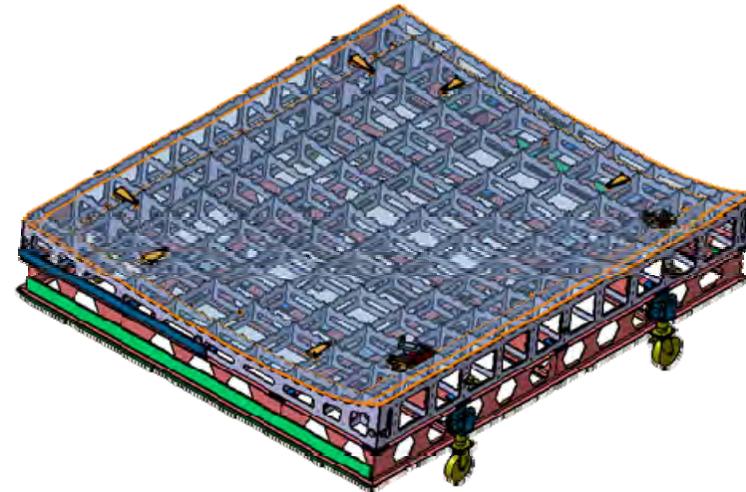
**AERnnova**



# AERONAUTICA

## □ Desarrollo de utillajes

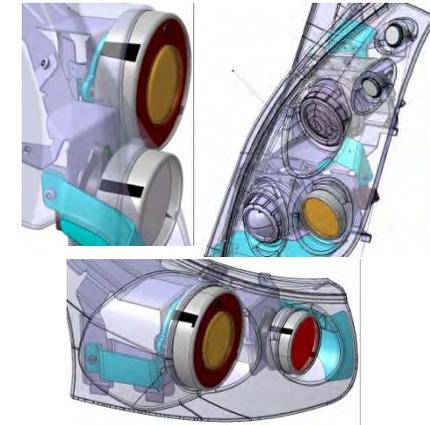
- Metálico
- Compuesto



# AUTOMOCIÓN

Argolabe Ingeniería

- ❑ Diseño de Producto
- ❑ Industrialización de Piezas
- ❑ CATIA/NX
- ❑ Inyección de Plástico
- ❑ Procesos de fabricación



# OPTIMIZACIÓN FACTURA ELÉCTRICA

## ESTUDIO ENERGÉTICO PERSONALIZADO:

**Análisis de la curva de carga** de la instalación.

**Adecuación de la tarifa** eléctrica contratada.

**Optimización** de la factura eléctrica.

Recomendación de **actuaciones de ahorro**

Seguimiento y **optimización continua.**

**Asesoramiento técnico** en materia energética.

**Revisión errores de facturación.**

**Tramitación** con comercializadoras.

**Informe anual** de ahorros generados.

## • Casos de éxito:

- Consumo anual de **1,2GWh**, **15.090€/año**, ahorro del 16% en la factura eléctrica.
- Consumo anual de **315kWh**, **1.250€/año**, ahorro del 18% de la factura eléctrica

AUTORUSES  
**ALEGRÍA**



**BURDINBERRI, S.L.**

INYECTADOS PLÁSTICOS  
**Buriplast, s.l.**



GRUPO  
**PIÉROLA**

**UMSA**  
Unión Metalúrgica, s.a.

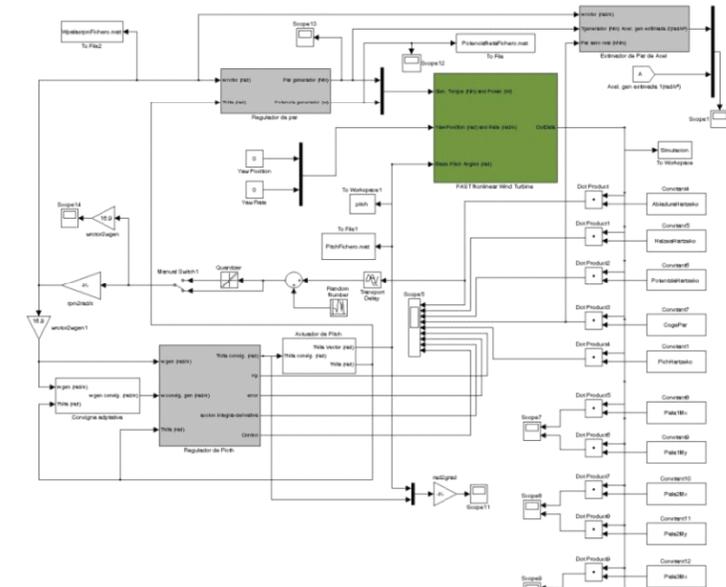
**TRASLASCUESTAS**

# ENERGÍA EÓLICA

- ❑ Desarrollo Integral de Aerogeneradores
- ❑ Desarrollo de Componentes
- ❑ Cálculos Estáticos y de Fatiga
- ❑ Desarrollo del Sistema de Control
- ❑ Simulaciones aeroelásticas



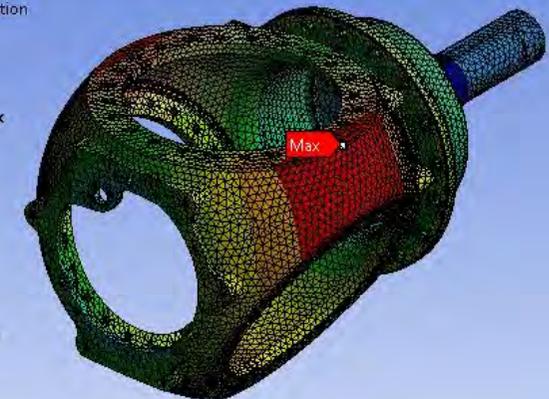
Argolabe Ingeniería



E: Static Structural\_Carga Extrema 6.2\_Pretension

Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Units: m  
Time: 1  
09/04/2015 13:31

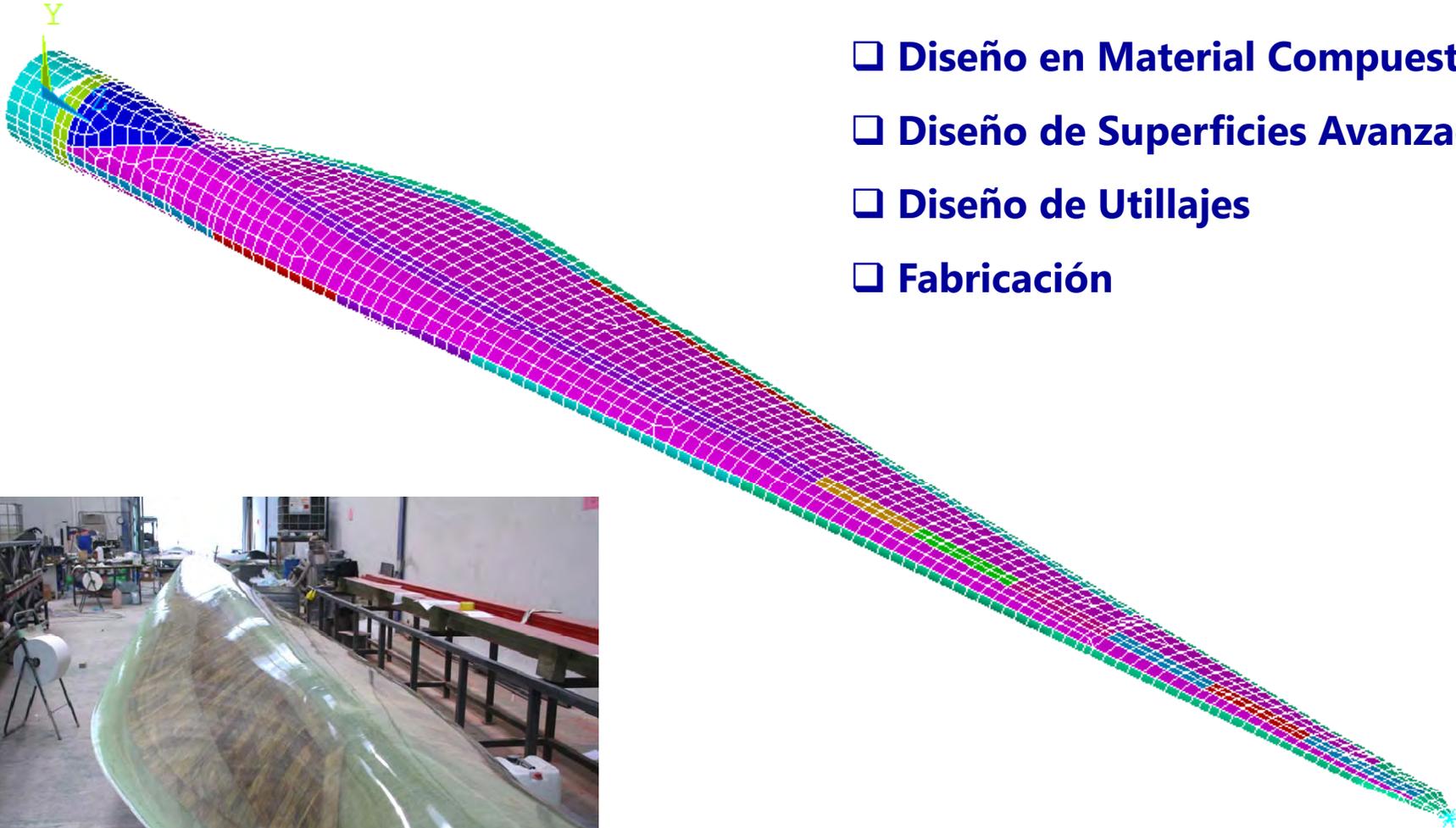
0,0002407 Max  
0,00021399  
0,00018729  
0,00016059  
0,00013389  
0,00010718  
8,048e-5  
5,3776e-5  
2,7073e-5  
3,7039e-7 Min



# ENERGÍA EÓLICA

Argolabe Ingeniería

- Diseño Eléctrico
- Diseño en Material Compuesto
- Diseño de Superficies Avanzadas
- Diseño de Utillajes
- Fabricación



# MODELADO Y SIMULACION AEROLÁSTICA DE AEROGENERADORES **FAST** CODE

## ❑ Modelado del Rotor

✓ Aerodinámica, estructural

## ❑ Modelado de la Torre

## ❑ Modelado del Tren de Potencia

## ❑ Desarrollo de algoritmos y estrategias de control

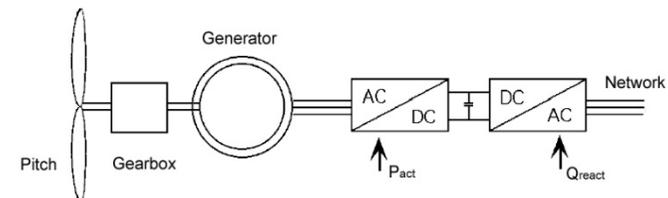
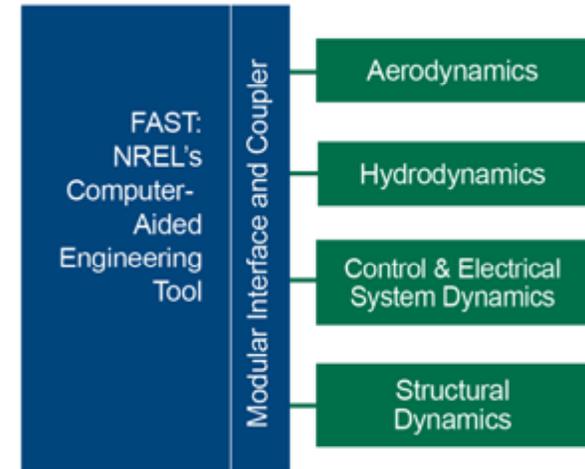
## ❑ Modelado de Actuadores

✓ Pitch, yaw

## ❑ Modelado de Máquinas Eléctricas

✓ Generador, Converter

## ❑ Simulaciones hardware-in-the-loop del control.



## Main goals with **FAST**

- Design loads for calculations
- Dynamic behaviour
- Power performance

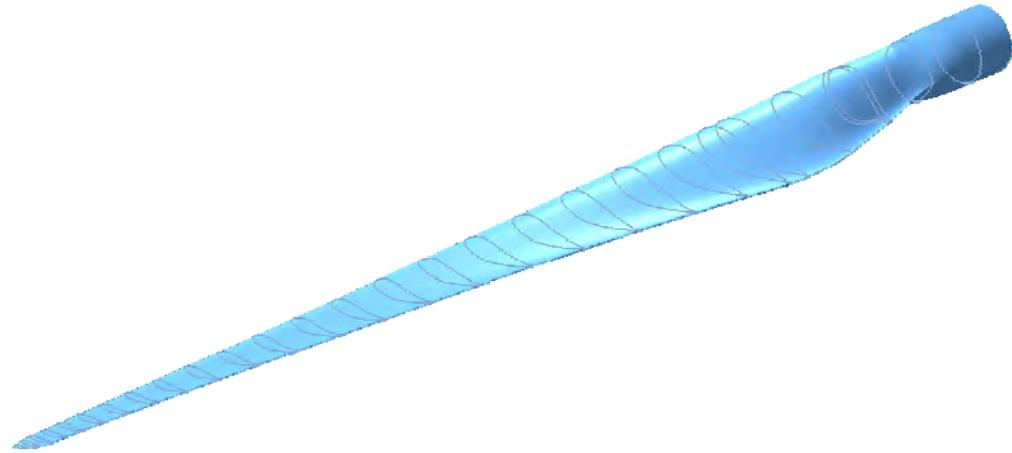
# Aerogenerador 100kW

- ❑ El modelo T100 es una turbina de media potencia diseñada y fabricada por Argolabe. Ha sido diseñada conforme a los estándares internacionales más rigurosos de diseño de aerogeneradores:  
IEC 61400:1 y Germanischer Lloyd design guidelines.
- ❑ Objetivo: Generación Distribuida tanto en conexión a red como en aislado
- ❑ Clase de Diseño: **IIIa** ( $V_{ave}=7,5\text{m/s}$ )
- ❑ Cargas de diseño obtenidas por el software aeroelástico certificado: **FAST**
- ❑ Diseñado para operar con alta disponibilidad y reducido mantenimiento

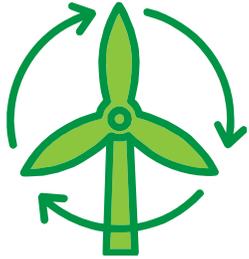


# Aerogenerador 100kW

Argolabe Ingeniería



# Modelo energético



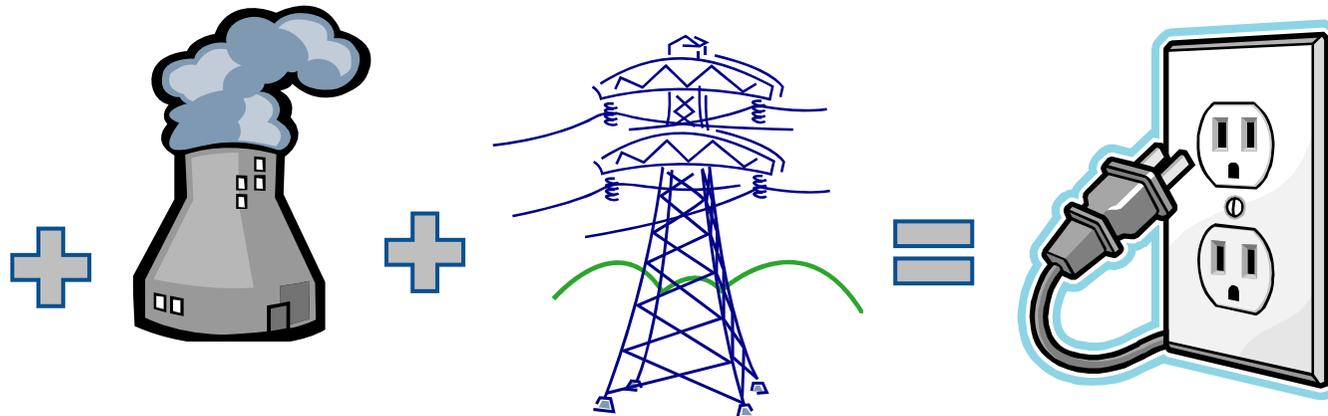
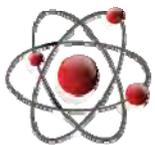
## Siglo XXI = Sostenibilidad

Es necesario un plan global de crecimiento sostenible para el siglo XXI que invierta la tendencia actual y evite graves problemas sociales y medioambientales. En el marco de la política energética actual se están aplicando tres estrategias fundamentales:

- ✓ Promoción del ahorro
- ✓ Mejora de la eficiencia energética
- ✓ Fomento de las **energías renovables**

# Modelo energético

## Modelo convencional



- Sistema centralizado
- Grandes centrales de generación
- Extensas redes de transporte y distribución

✓ Elevado impacto medioambiental

✓ Grandes pérdidas por transporte y distribución

✓ Dependencia de combustibles fósiles

# Modelo energético



## Cambio de modelo energético

Transición del modelo convencional hacia un modelo descentralizado con alta penetración de energías renovables que utilice los recursos locales, limpios e inagotables:

- ✓ Son necesarios acuerdos y compromisos de los países para promover este cambio de modelo que mejore la gestión de recursos y la protección del medio ambiente
- ✓ Un esquema descentralizado conlleva la mejora de la eficiencia global del sistema; se reducen las grandes pérdidas asociadas al transporte y distribución y se aumenta la estabilidad del sistema
- ✓ Independencia energética aprovechando los recursos energéticos locales, limpios e inagotables. Reducción progresiva del peso de los combustibles fósiles en el sistema: Ahorro de costes económicos y ambientales

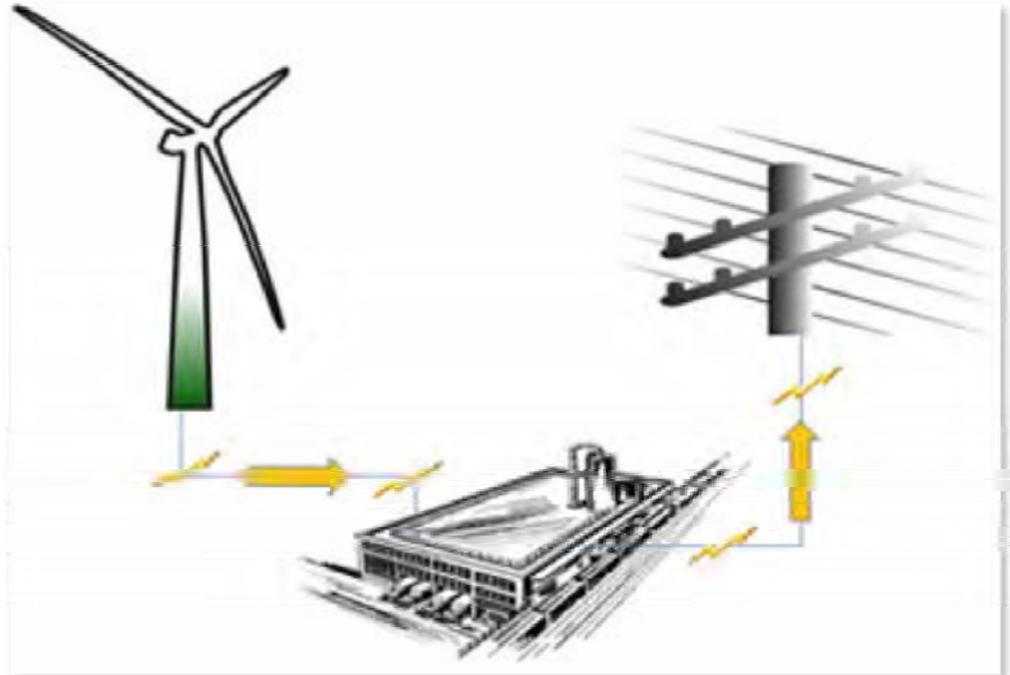
# Modelo energético



## Generación distribuida

Generación eléctrica local junto al punto de consumo

- ❑ Se eliminan las pérdidas por transporte, distribución y transformación
- ❑ Se aprovechan los recursos energéticos locales, limpios e inagotables
- ❑ Sistema mas competitivo, eficiente y sostenible



# Modelo energético



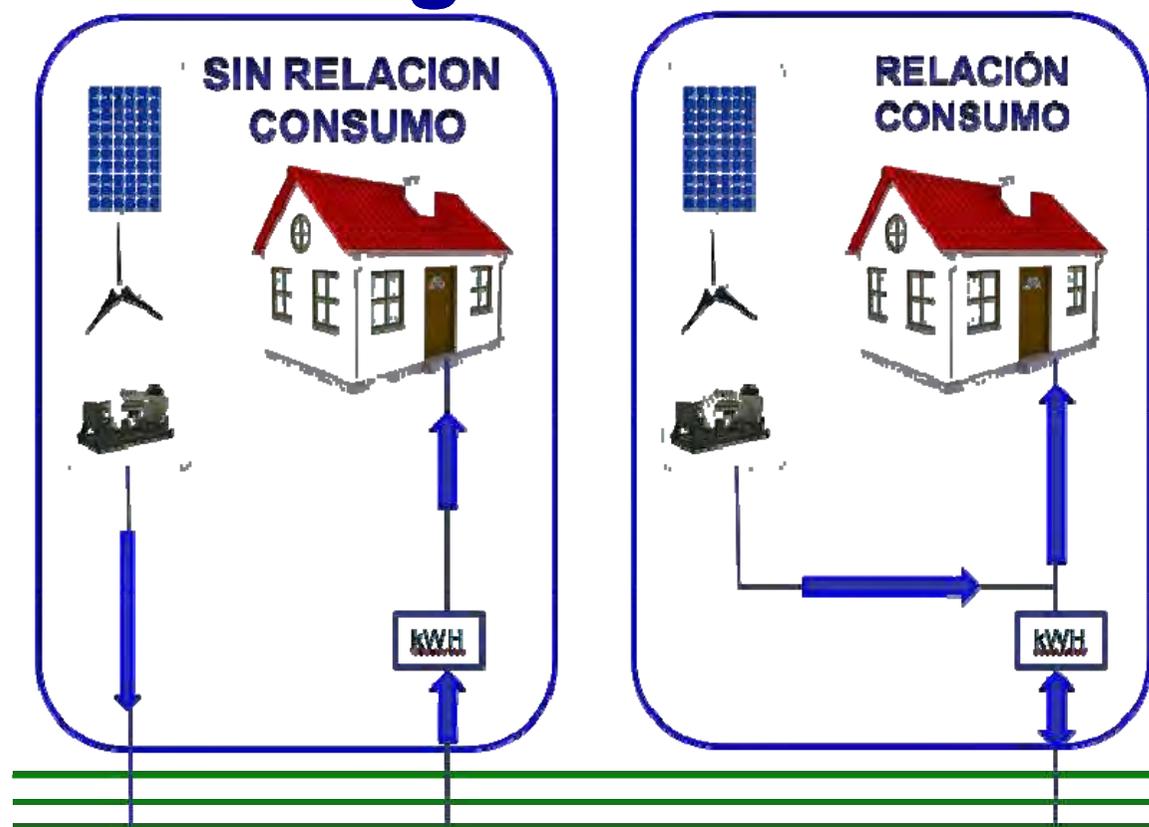
## Generación distribuida. Beneficios para los usuarios

- Reducción la factura eléctrica.
- Aumento de confiabilidad de red.
- Incremento de la calidad de la energía en redes débiles y finales de línea.
- Reducción del número de cortes.
- Uso eficiente de recursos energéticos.
- Eliminación de emisiones de gases contaminantes
- Suministro eléctrico autóctono, limpio e inagotable



# Modelo energético

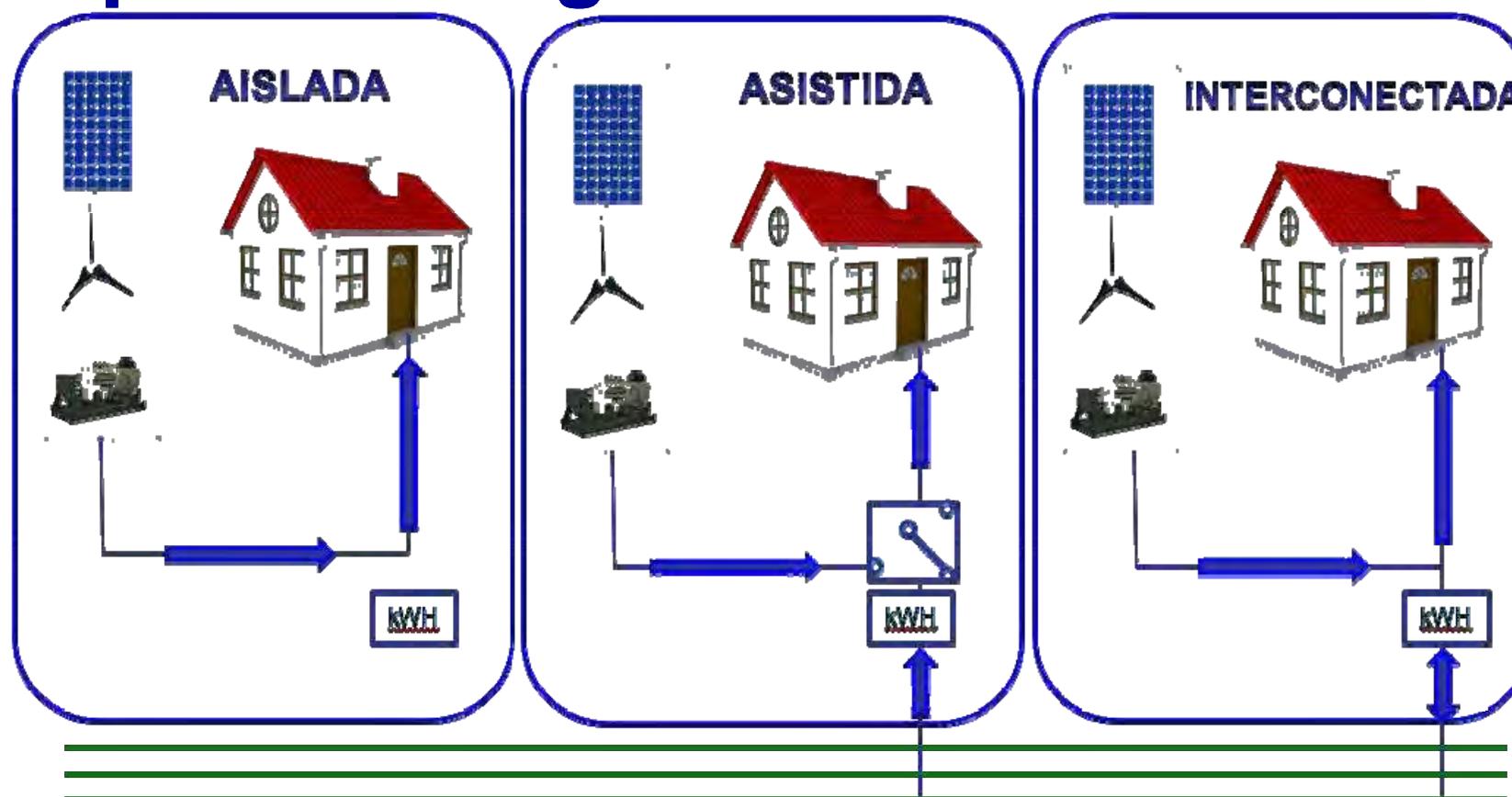
## Esquemas de generación distribuida



Las instalaciones sin relación con el consumo están diseñadas para vender toda la energía que producen, pero estas instalaciones a fecha de hoy no tienen prima, es decir, no se le retribuye con un importe superior al estipulado en el mercado eléctrico. RDL 1/2012 anuló estas primas.

# Modelo energético

## Esquemas de generación distribuida



Únicamente instalaciones aisladas están excluidas de pagar el peaje de respaldo comúnmente conocido como impuesto al sol.

# Modelo energético

## Esquemas de generación distribuida

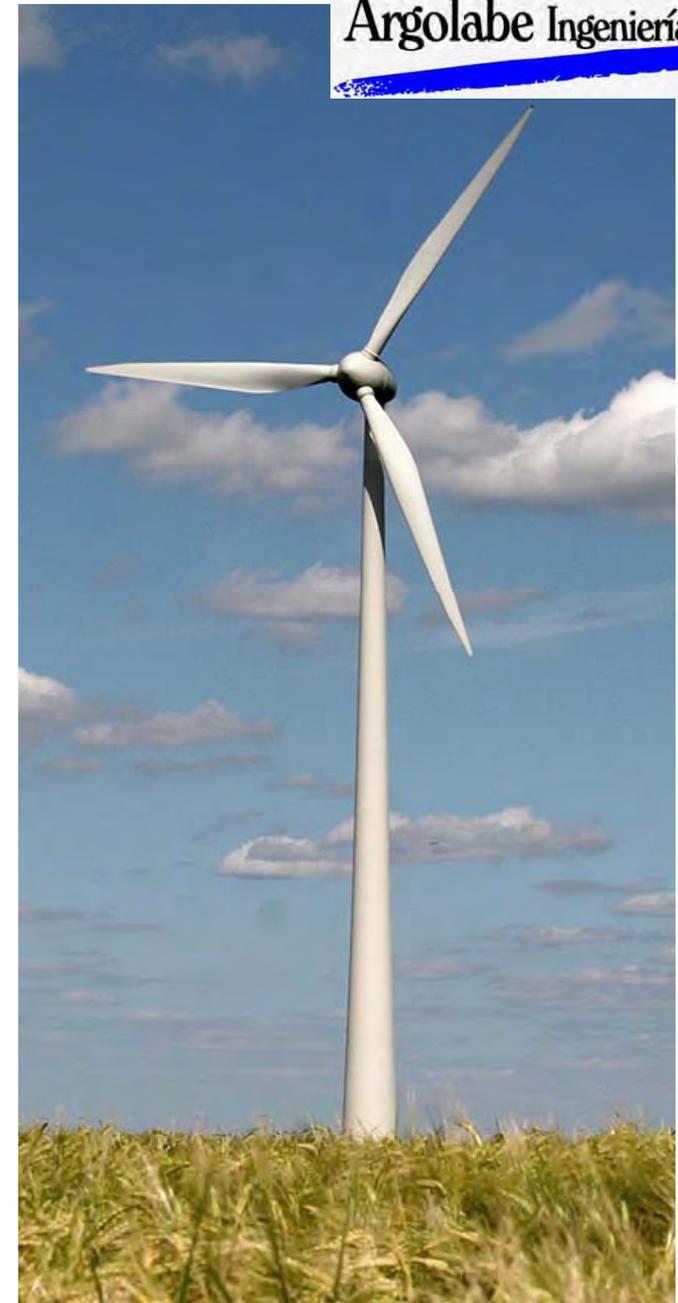
Se considera interesante bajo **tres esquemas** fundamentalmente:

- **Autoconsumo:** La energía que se genera se auto-consume y en los periodos sin recurso se consume la energía de la red. Puede ser con o sin venta de excedentes a red, según el 900/2015:
  - **Tipo 1:** Sin venta, los excedentes no se remuneran económicamente.  $P \leq 100 \text{ kW}$
  - **Tipo 2:** Con venta, los excedentes se venden en el mercado eléctrico como cualquier otro generador. RD1699/2011  $P \leq 100 \text{ kW}$ , RD1955/2000  $P > 100 \text{ kW}$
- **Balance neto:** La energía que se genera se auto-consume y los excedentes de energía se inyectan a la red a través de un contador bidireccional. En la factura eléctrica se abonará la diferencia entre lo consumido y lo inyectado. No existe aún en España.
- **Aislado:** En zonas donde no sea viable técnica o económicamente la acometida a la red general. En este esquema la generación renovable es apoyada por almacenamiento o generación auxiliar para los periodos sin recurso.

# Energía eólica

## VENTAJAS

- **Energía renovable, es decir inagotable**
- **Energía limpia, sin emisión de gases invernadero**
- **Ruido es bajo**
- **Mínima ocupación al ser montaje vertical**
- **No daña el terreno para usos agrícolas o ganaderos**
- **Bajo mantenimiento y costes de operación**
- **Tecnología muy madura**
- **Vida útil mayor a 20 años**
- **Posibilidad de desmontaje**



# Energía eólica

Argolabe Ingeniería

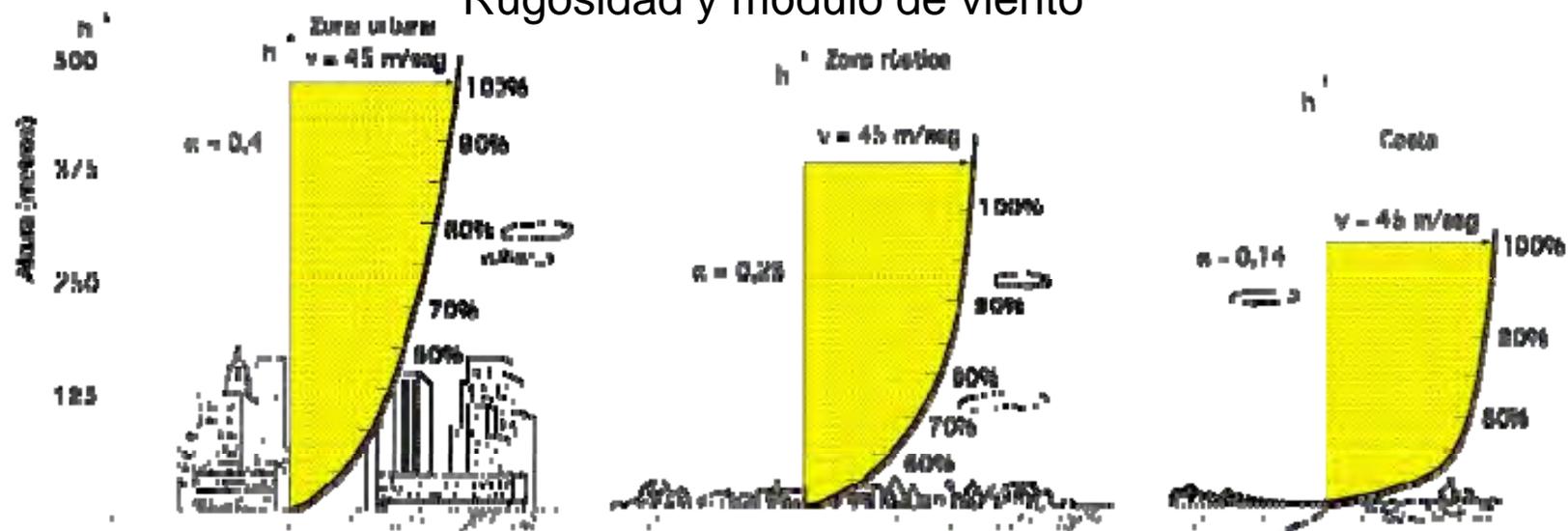
## MAPA EÓLICO DE ESPAÑA

Velocidad Media Anual a 80 m de altura

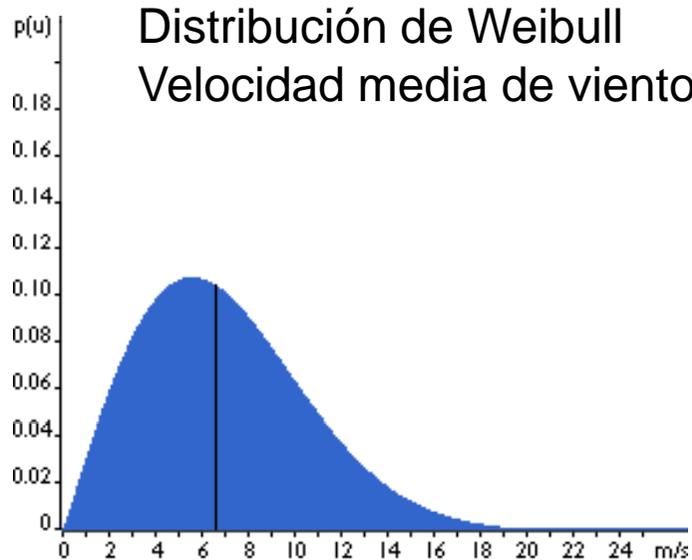


# Energía eólica

## Rugosidad y módulo de viento

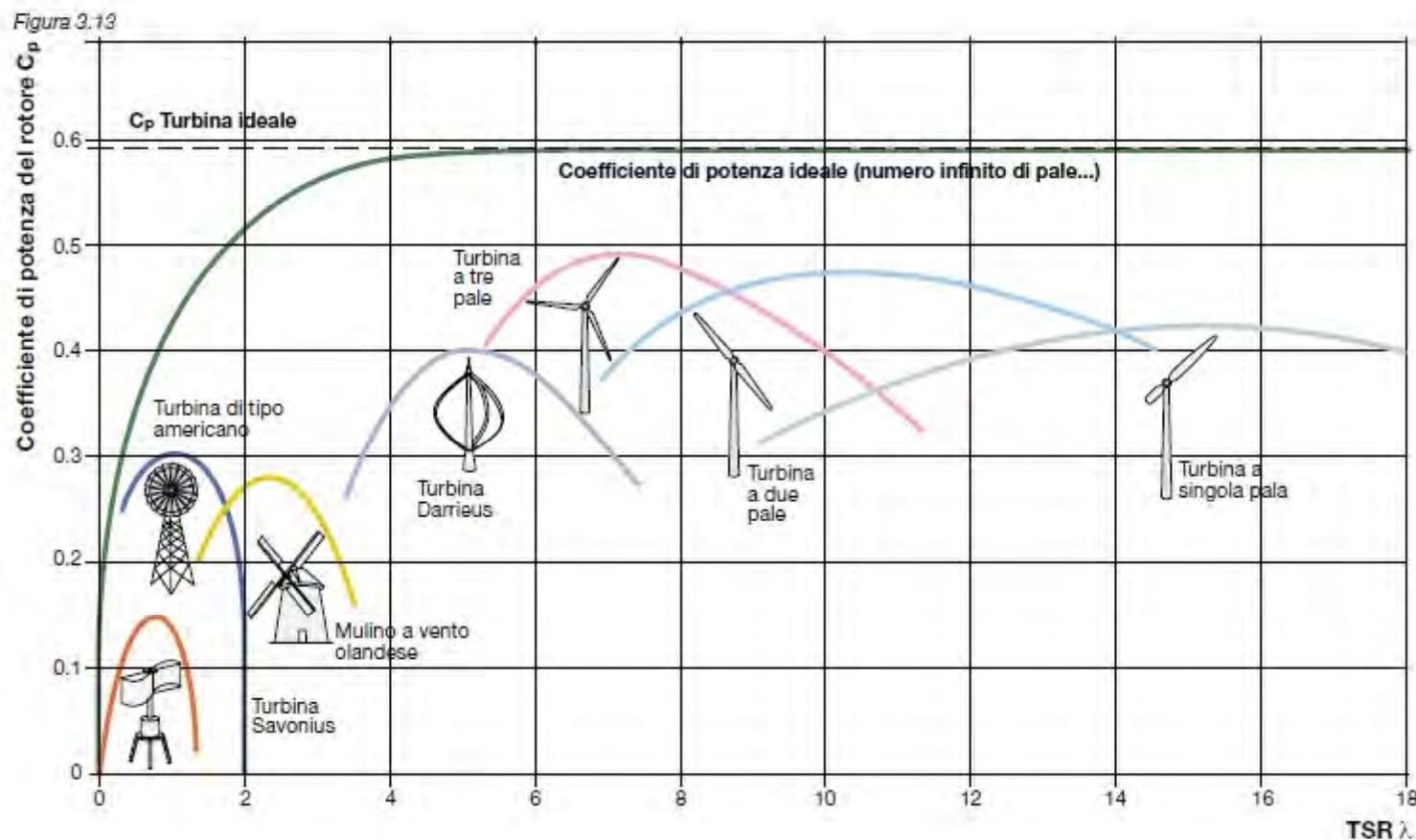


## Distribución de Weibull Velocidad media de viento den 7m/s



# Energía eólica

El rendimiento obtenido del viento se cuantifica mediante el  $C_p$  (coeficiente de potencia), este coeficiente nos relaciona la potencia del viento con la que se puede obtener mecánicamente.



$$P_{\text{aerogenerador}} = C_p \times P_{\text{viento}}$$

# Energía eólica

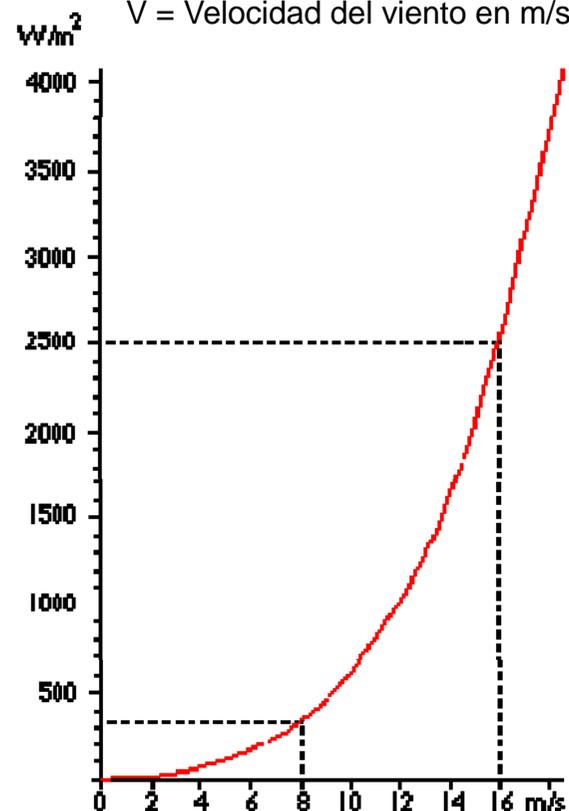
$$P = C_p \cdot P_{\text{viento}} = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho A v^3$$

P = Potencia en =W

$\rho$  = densidad del aire en Kg/m<sup>3</sup>

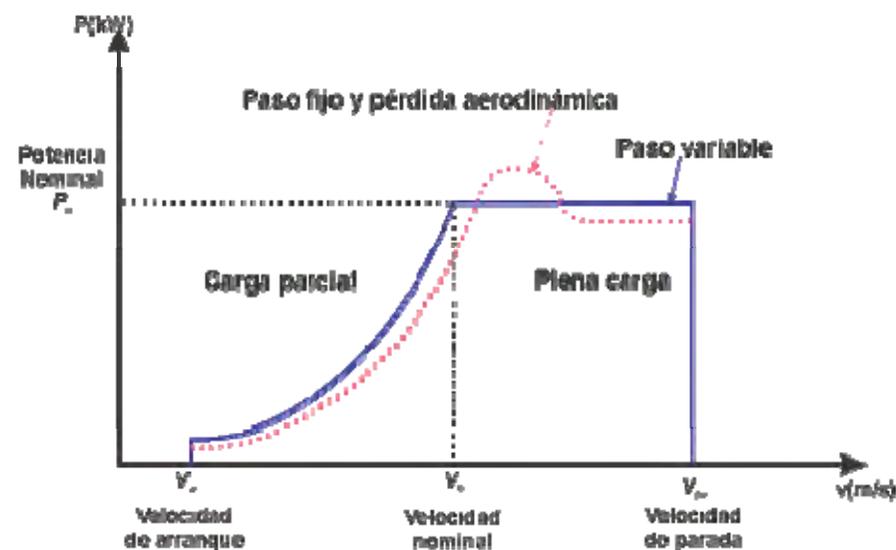
A = Superficie en m<sup>2</sup>

V = Velocidad del viento en m/s



La potencia es proporcional al cubo de la velocidad del viento

## Curva de potencia de aerogenerador



$$V_a \approx 4 \text{ m/s}$$

$$V_n \approx 11 \text{ m/s}$$

$$V_{pa} \approx 20 \text{ m/s}$$

# Aerogenerador prototipo

- Inicio del proyecto año 2005
- Instalado y conectado a red en el Parque Tecnológico de Álava desde 2011
- Operando desde su instalación con buenos registros de rendimiento y fiabilidad



# Aerogenerador prototipo



*Primera unidad de aerogenerador instalado en el parque tecnológico de Álava*

# Aerogenerador T100

El aerogenerador **TURBEC-100** posee un concepto de diseño que le dota de alta fiabilidad y elevado rendimiento.

Se ha concebido para tener una elevada disponibilidad con un mantenimiento muy reducido.

Está diseñado conforme a la normas **IEC 61400-1** y **G.L. Guideline for the certification of wind turbines**.

Con **100 KW** de potencia nominal, es un aerogenerador de media potencia de última generación con innovador diseño. Mediante el concepto de chasis autoportante, el tren de potencia solo recibe par mecánico, eliminándose el resto de solicitaciones negativas sobre la transmisión. Este diseño otorga a la turbina un peso reducido y una elevada eficiencia.



- **Clase de diseño:** IEC IIIA para velocidades de viento medias anuales de 7,5 m/s, según IEC 61400-1
- **Velocidad de viento de conexión:** 3.5 m/s
- **Velocidad de viento nominal:** 10.5 m/s
- **Velocidad de viento de corte:** 20 m/s
- **Velocidad de viento extremo:** 52,5 m/s
- **Control de potencia:** Ángulo de ataque de palas variable y velocidad de operación variable
- **Vida útil:**  $\geq 20$  años.

# Aerogenerador T100

Argolabe Ingeniería

## Diseño y montaje:

- **Diseñado** íntegramente por Argolabe Ingeniería.
- **Ensamblaje** en Vitoria (Álava).
- **Piezas** fabricadas por empresas locales bajo supervisión de Argolabe.
- **Componentes comerciales** de proveedores nacionales y Europeos.

## Rotor:

- **Tipo:** Tripala. Rotor a barlovento con control de ángulo de paso de pala activo.
- **Diámetro:** 22.5 m.
- **Perfiles aerodinámicos:** NREL / DU
- **Velocidad de giro rotor:** 20-50 rpm. Velocidad variable.
- **Material de palas:** Composite fibra de vidrio epoxi.

## Torre:

- **Tipo:** Tubular tronco-cónica de acero.
- **Altura:** 34 m.

## Tren de potencia:

- **Multiplicadora:** Coaxial de 2 etapas. Transmisión compacta que exige un menor espacio y posee un elevado rendimiento mecánico.
- **Generador:** Síncrono de imanes permanentes. Elevado rendimiento, robusto y fiable.
- **Freno:** Freno de disco electromecánico.

## Electrónica:

- **Convertidor:** IGBT - Full-Converter. Permite que el aerogenerador opere en velocidad variable, maximizando su rendimiento, manteniendo el sincronismo con la red. Proporciona una excelente calidad de señal eléctrica libre de armónicos.
- **Control de reactiva:** Integrado en el convertidor.
- **Separación galvánica:** Cumple con los requisitos del RD 1699/2011.
- **Monitorización:** Supervisión remota.
- **Voltaje:** 400 V - Baja tensión.
- **Frecuencia:** 50 Hz.



# Aerogenerador T100

## Transporte

Los componentes que conforman el aerogenerador, las palas, la torre y la góndola, se transportan en camiones tráiler convencionales.

## Instalación

La instalación del aerogenerador **T100** es rápida y sencilla. No se altera el entorno donde se instala ya que no es necesario acondicionamiento de viales ni maquinaria especial.

La instalación se realiza con **medios convencionales**:

Para construir la cimentación y la acometida eléctrica es necesario una **mini-excavadora** tipo *Bobcat* y una **hormigonera**.

Para el montaje de la turbina se utiliza una **grúa de 30 T** con pluma de 40 metros de altura y una **plataforma elevable** para dos operarios.

El aerogenerador **T100** se conecta en redes de **baja tensión** por lo que la conexión a la red eléctrica local del cliente es sencilla.

## Mantenimiento

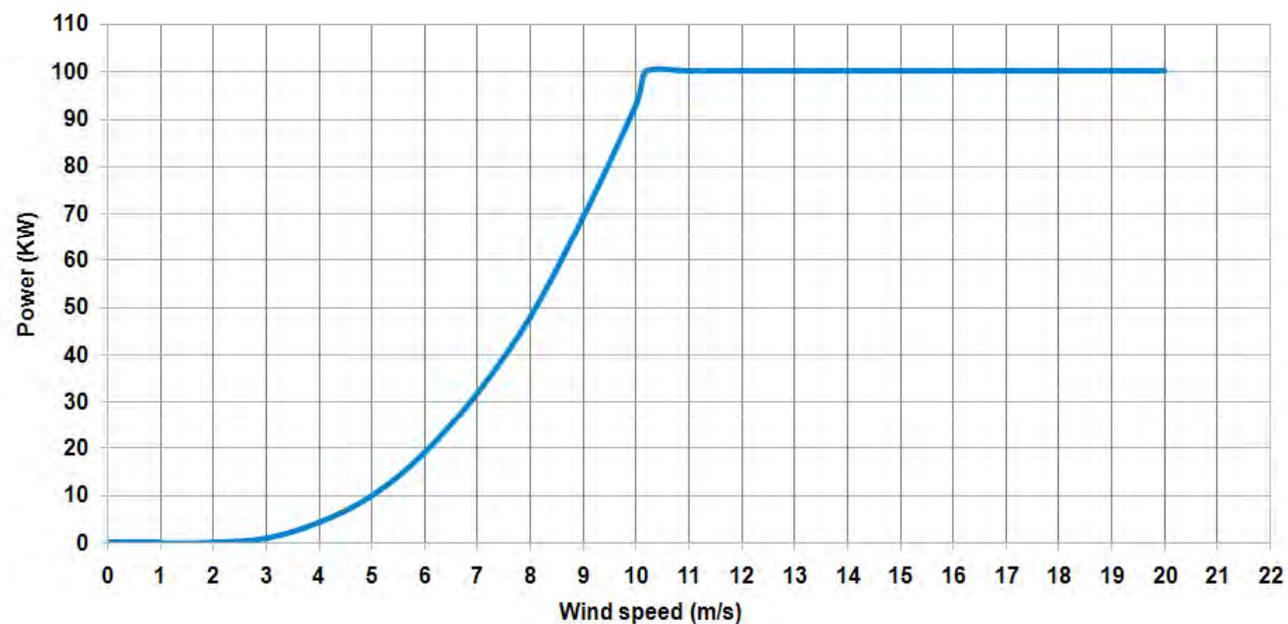
El aerogenerador **T100** está diseñado para operar con tan solo **una operación de mantenimiento por año**.

Las operaciones de mantenimiento son sencillas así que las pueden desempeñar **operarios sin elevada cualificación** con herramientas ordinarias.



# Aerogenerador T100

Argolabe Ingeniería



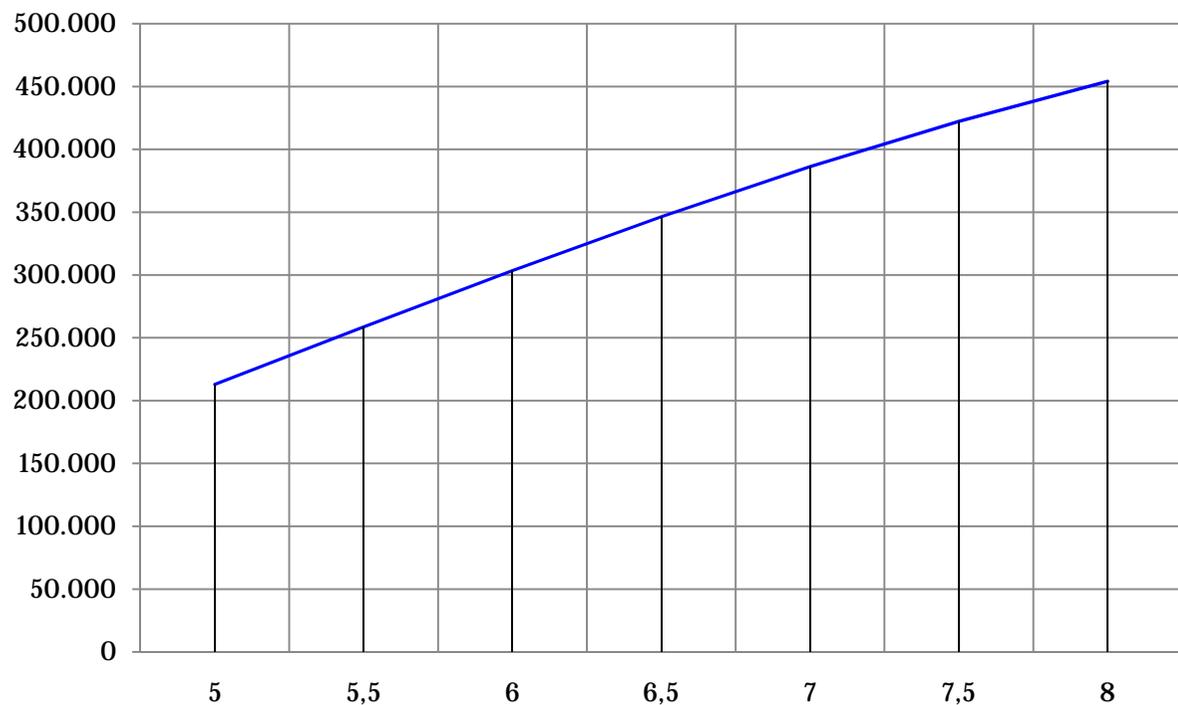
**Curva de Potencia**

Velocidad de viento (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Producción (kWh)</b>	0	0	1,15	4,23	9,56	18,28	30,21	46,05	65,19	88,91
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



# Aerogenerador T100

Argolabe Ingeniería



**Curva de producción anual (kWh)**

Velocidad de viento (m/s)	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
<b>Producción anual (kWh)</b>	<b>212.916</b>	<b>258.628</b>	<b>303.481</b>	<b>346.273</b>	<b>386.079</b>	<b>422.191</b>	<b>454.089</b>



# Aerogenerador T100



## ¿Por qué 100kW?

- ❑ Es la máxima potencia para conectarse en redes de baja tensión de acuerdo a los **reglamentos de baja tensión** de la mayoría de los países.
- ❑ Este rango de potencia está aceptado en las **normativas de generación distribuida** de la mayoría de los países.
- ❑ La instalación de un aerogenerador de este tamaño no necesita permisos a nivel nacional o regional. Únicamente licencias locales o municipales.
- ❑ Este tamaño de turbina es asequible a un gran abanico de industrias, infraestructuras y comunidades.



# Aerogenerador T100



## Aplicaciones aerogenerador de 100kW

- ✓ Fábricas y polígonos industriales
- ✓ Poblaciones y comunidades
- ✓ Universidades, colegios, hospitales, infraestructuras públicas
- ✓ Granjas, invernaderos, minas, canteras, **regadíos y bombeos**
- ✓ Puertos, desaladoras, naves frigoríficas, depuradoras
- ✓ Áreas de servicio, centros comerciales, hoteles, complejos turísticos y de ocio
- ✓ Instalaciones aisladas, microredes.



# Aerogenerador T100

Argolabe Ingeniería



*Aerogenerador T100 instalado en una bodega de la Rioja*

# Autoconsumo en bodega

Argolabe Ingeniería

## Aerogenerador conectado en Bodegas Fernández de Piérola

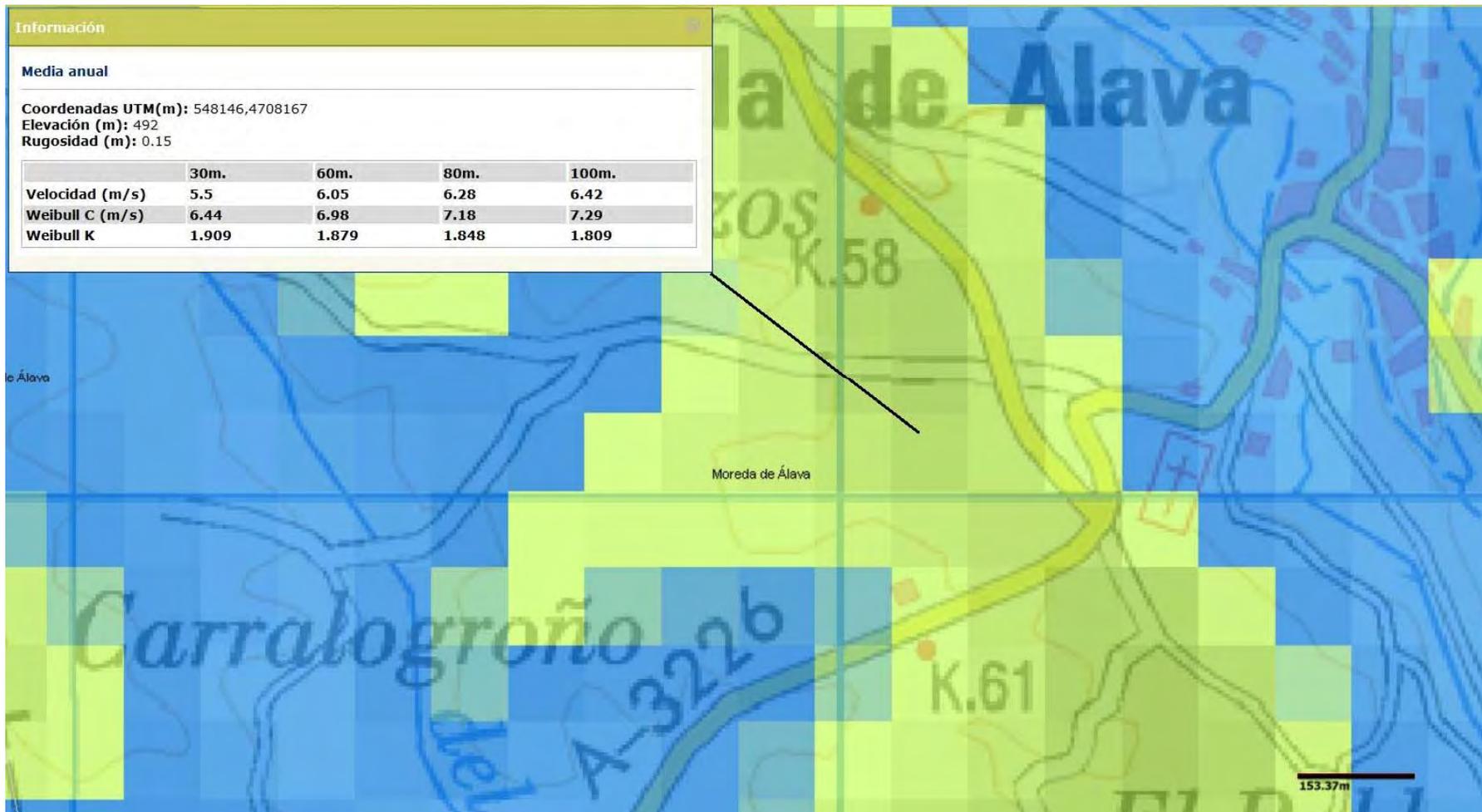


# Autoconsumo en bodega

## Recurso eólico en emplazamiento

### Recurso eólico en Emplazamiento

Velocidad media de viento anual de 5,5 m/s a 30 m de altura con una constante de distribución estadística de viento de  $K=1,909$  (Datos obtenidos de IDAE, Ministerio de industria, energía y turismo)



# Autoconsumo en bodega

## Producción eléctrica anual

### Datos Cliente

Potencia contratada: 100 kW  
 Consumo anual: 170.000 kWh  
 Contrato de suministro: Tarifa 3 periodos AT. 3.1 A

### Recurso eólico en el emplazamiento propuesto

### Producción anual en el emplazamiento propuesto

#### Media anual

Coordenadas UTM(m): 548146,4708167  
 Elevación (m): 492  
 Rugosidad (m): 0.15

	30m.	60m.	80m.	100m.
Velocidad (m/s)	5.5	6.05	6.28	6.42
Weibull C (m/s)	6.44	6.98	7.18	7.29
Weibull K	1.909	1.879	1.848	1.809

Velocidad media anual de viento medida a 30 m (m/s)	Densidad del aire (kg/m <sup>3</sup> )	Turbulencia (%)	Factor de Weibull K	Altura de buje (m)	Velocidad media anual de viento a altura de buje (m/s)	Producción anual (kWh)	Factor de capacidad (%)
<b>5,5</b>	1,225	10	1,909	35	5,62	<b>260.744</b>	<b>29,8</b>

# Autoconsumo en bodega

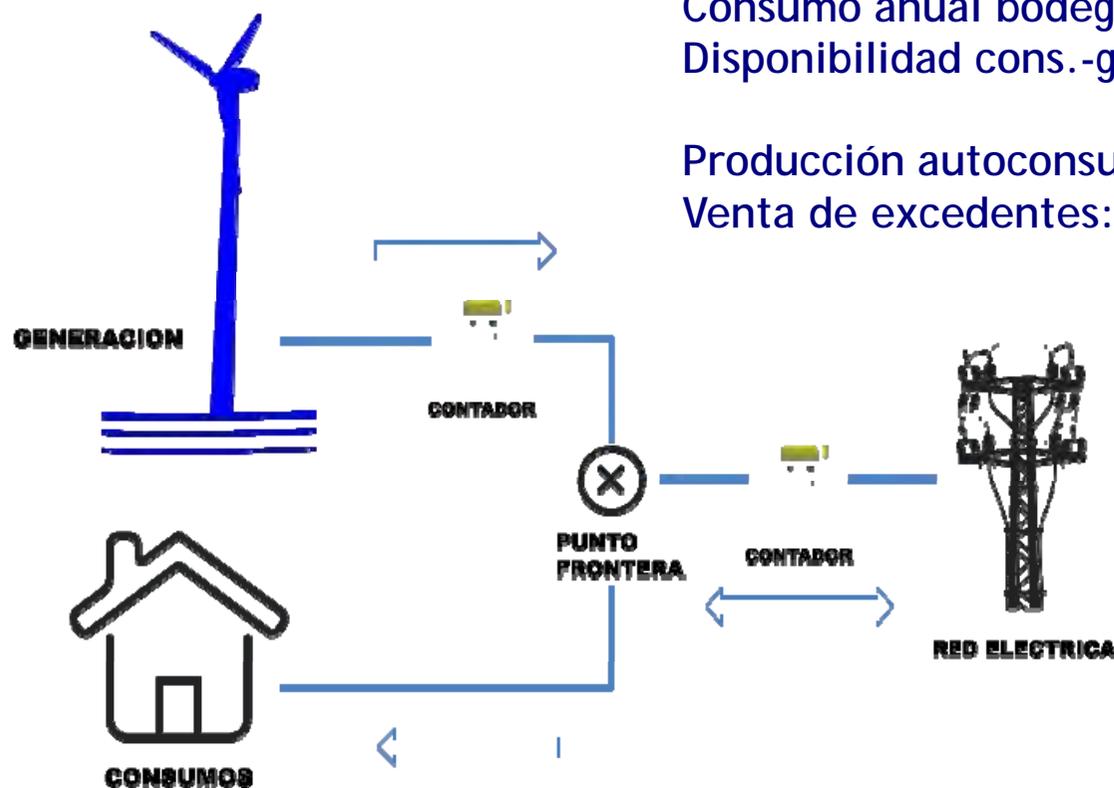
## Producción eléctrica anual

Instalación acogida a la modalidad de autoconsumo tipo 2, del RD-900/2015.  
Generación distribuida con venta de excedentes y autoconsumo instantáneo.

### Datos producción

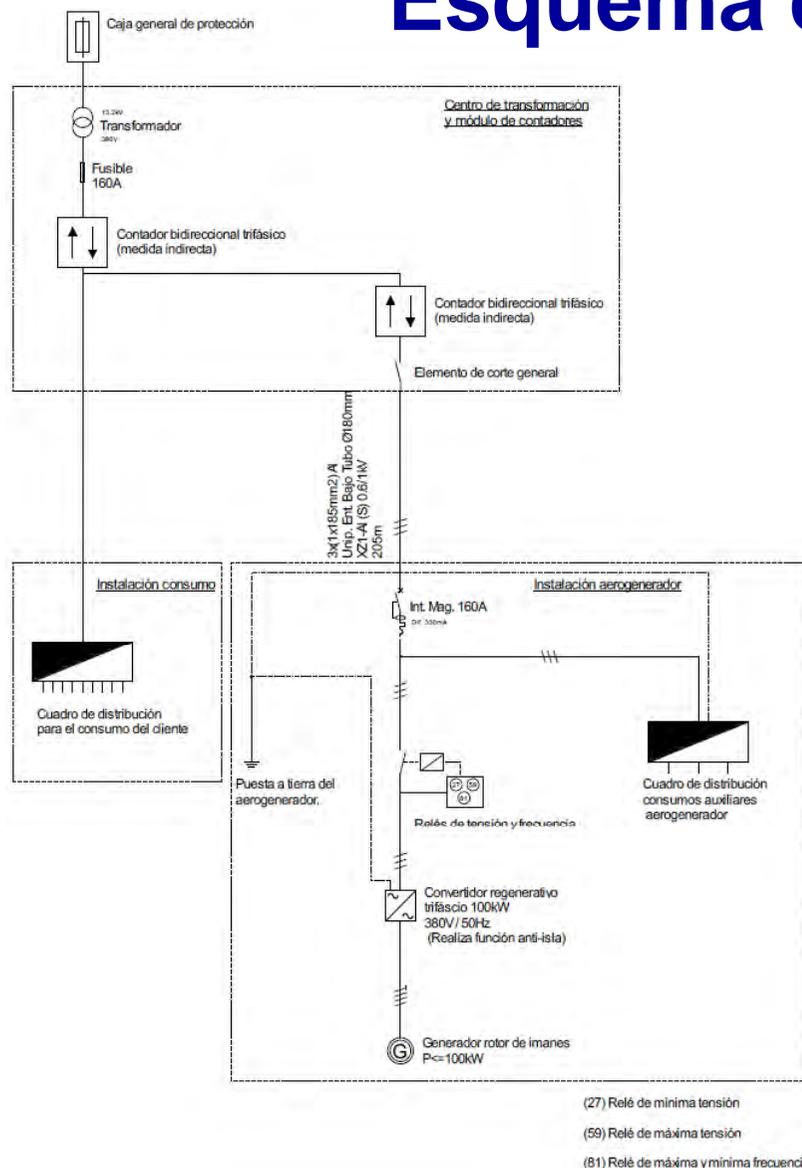
Energía producida eólico: 260.000 kWh  
Consumo anual bodega: 170.000 kWh  
Disponibilidad cons.-gen.: 39%

Producción autoconsumida: 101.400 kWh  
Venta de excedentes: 158.600 kWh



# Autoconsumo en bodega

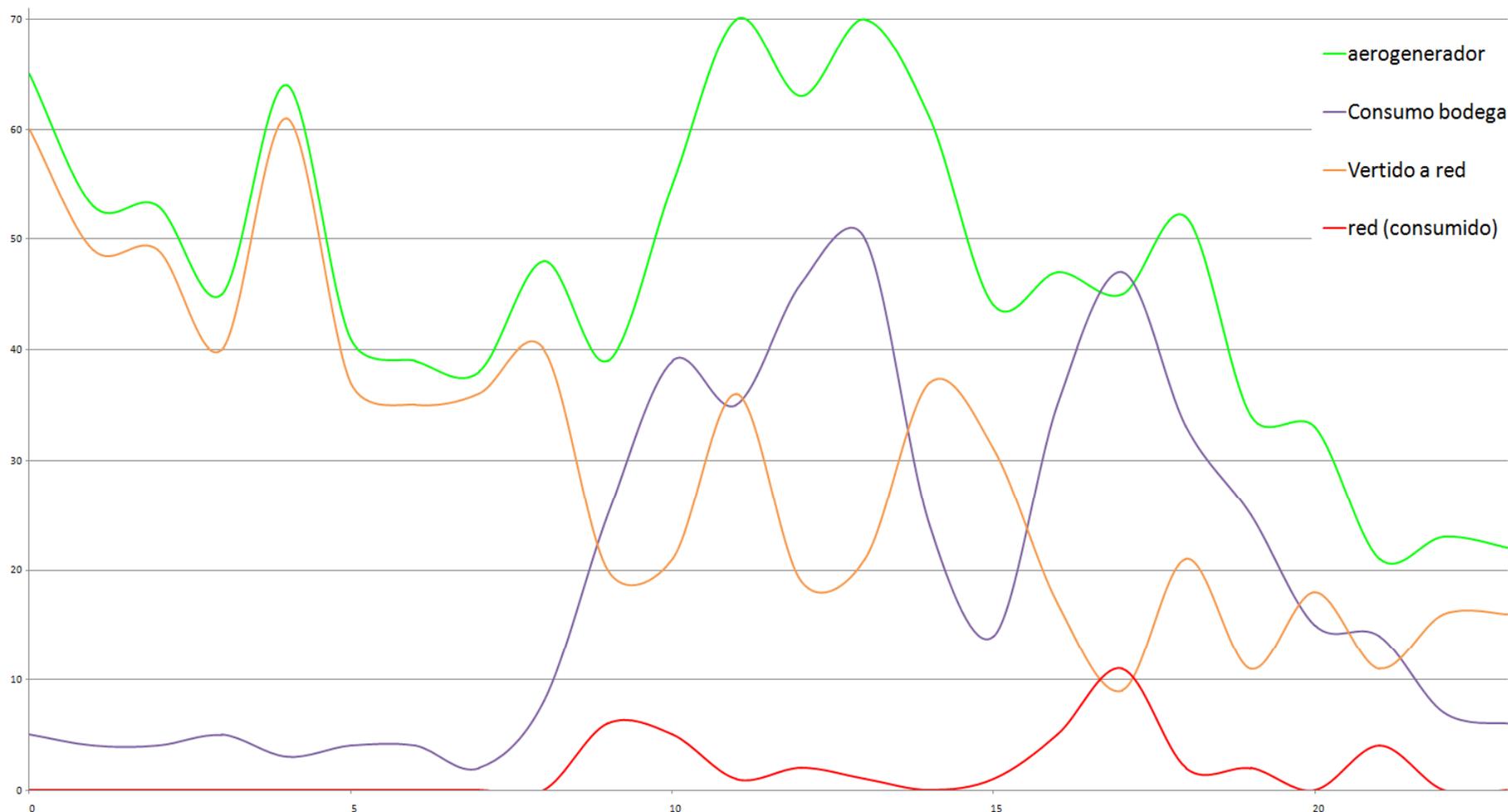
## Esquema de conexión



- Se ha conectado en la red de baja tensión ya existente.
- No ha requerido ninguna modificación en las instalaciones previas.
- La bodega únicamente estuvo 20min sin tensión para la conexión del aerogenerador.
- Doble contador como marca el RD900/2015. Para poder leer la energía autoconsumida y la vertida a red.
- Certificación de cumplimiento de RD1699/2011.
- Aislamiento galvánico mediante transformador ya existente.

# Autoconsumo en bodega

## Peculiaridades de la instalación



Gráfica real día 13 de enero de 2017

# Autoconsumo en bodega

## Peaje de respaldo

Cargos transitorios por energía autoconsumida (31/12/2016–31/01/2017)	P1 1.113,85 kWh x 0,015301 €/kWh	17,04 €
	P2 3.221,61 kWh x 0,009998 €/kWh	32,21 €
	P3 1.303,28 kWh x 0,012035 €/kWh	15,68 €
<b>Total cargos variables 5.638,74 kWh hasta 31/01/2017</b>		<b>64,93 €</b>

Peaje de respaldo en enero de 2017

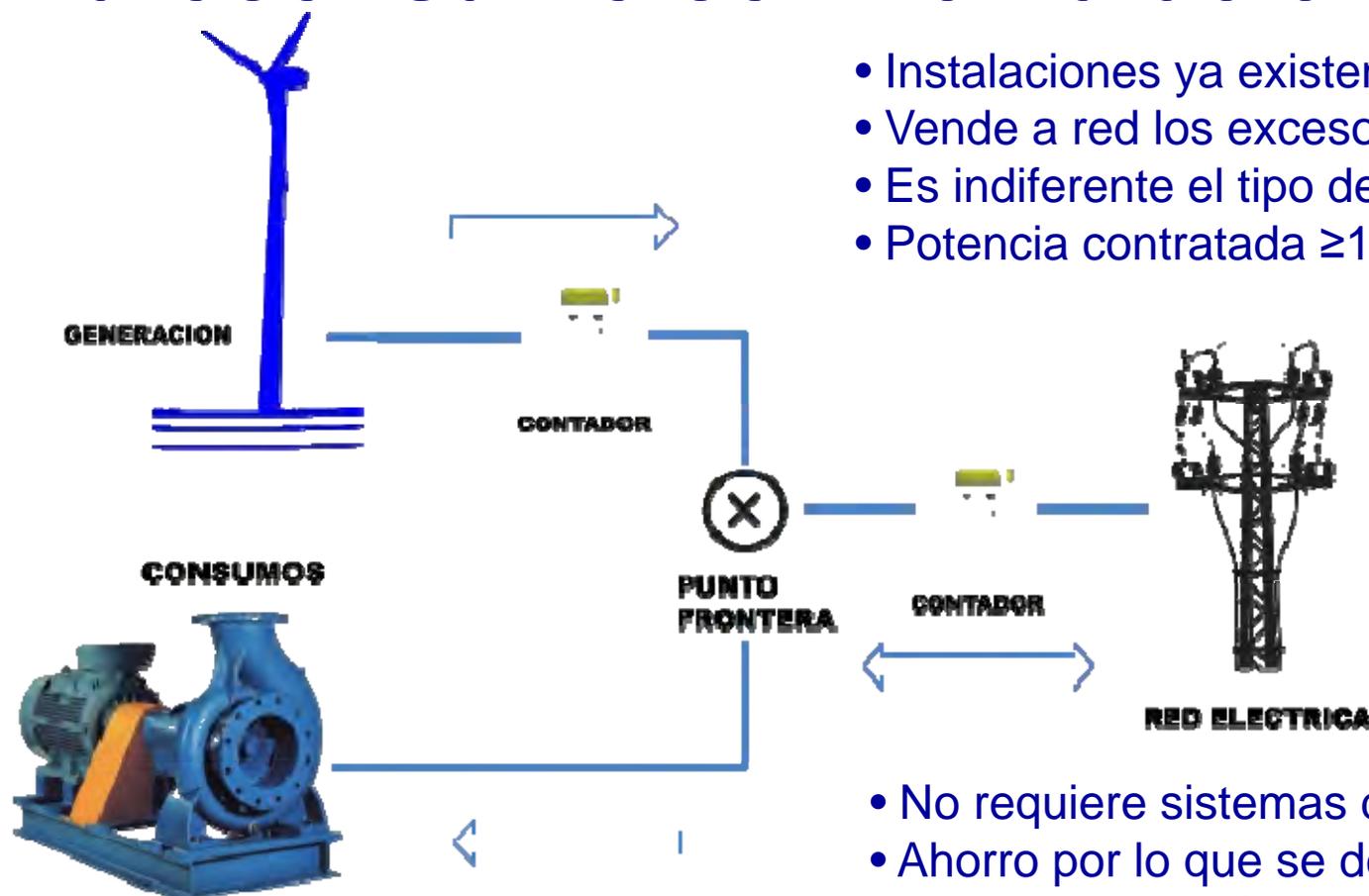
# Autoconsumo en bodega

## Peculiaridades de la instalación

- Pionera en autoconsumo con energía eólica. Primera instalación eólica realizada con el RD-900/2015.
- Instalación con cargas diferentes cada mes.
- Proceso de menor impacto ambiental, aprovechando un recurso renovable local.
- Importante aporte de marketing a la bodega.
- Estabilidad de la red eléctrica de la instalación.
- El ahorro en la factura eléctrica es de un 58%. Aproximadamente el ahorro por autoconsumo es de 400€/mes y por generación de 900€/mes

# Aplicación en bombeos

## Autoconsumo con venta de excedentes



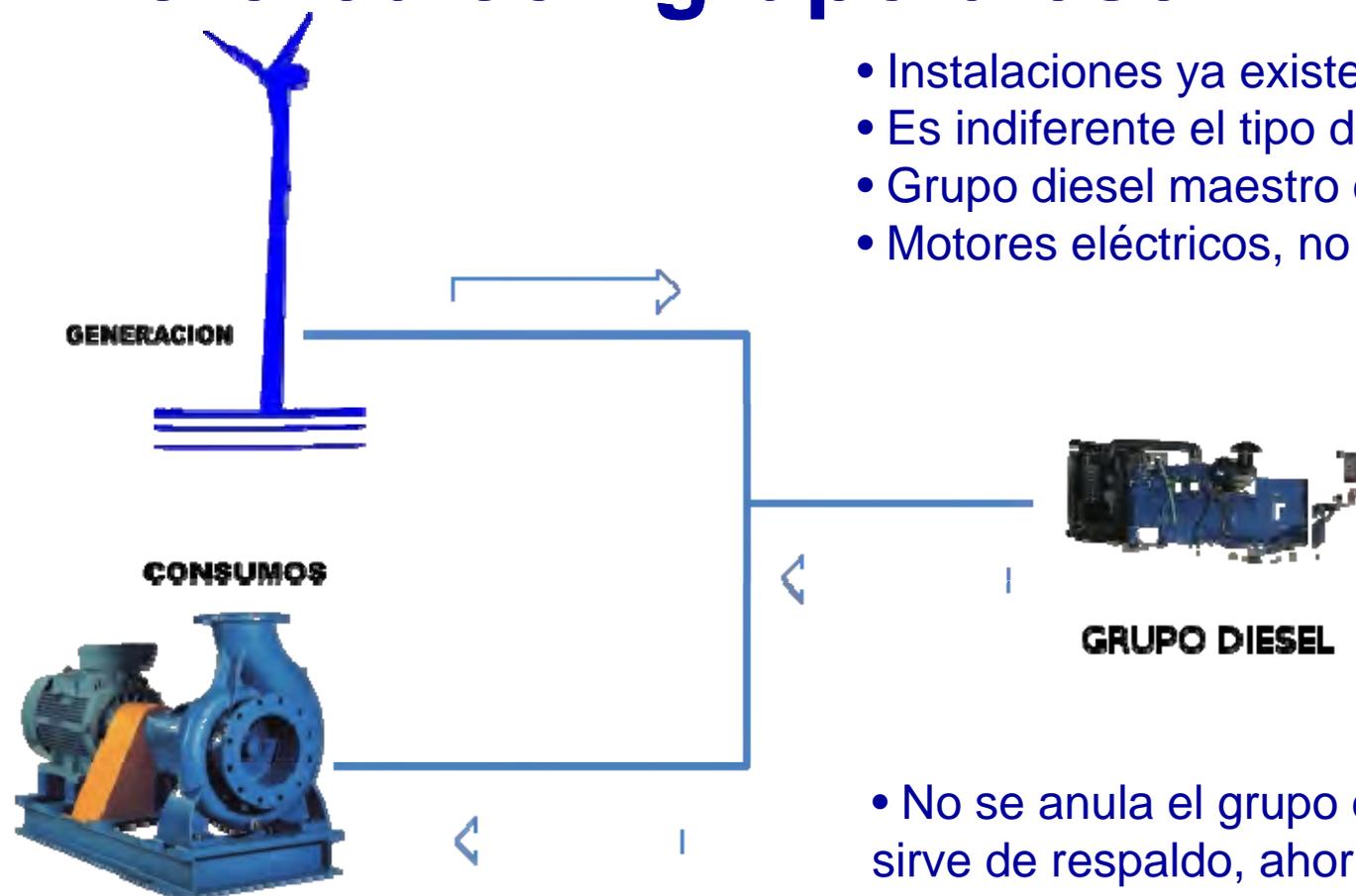
- Instalaciones ya existentes
- Vende a red los excesos generados
- Es indiferente el tipo de bomba
- Potencia contratada  $\geq 100\text{kW}$

- RD-900/2015
- RD 1699/2011

- No requiere sistemas de almacenamiento
- Ahorro por lo que se deja de consumir y por la venta de energía

# Aplicación en bombeos

## Microred con grupo diesel

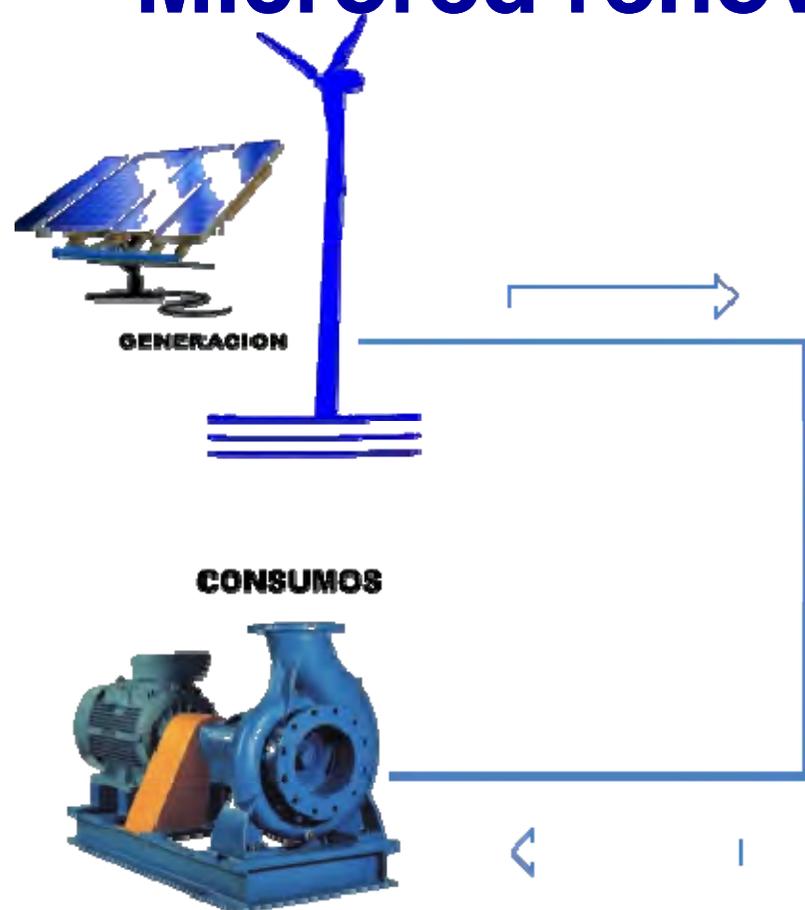


- Instalaciones ya existentes
- Es indiferente el tipo de bomba
- Grupo diesel maestro de red
- Motores eléctricos, no de combustión interna

- No se anula el grupo diesel, sino que le sirve de respaldo, ahorrando de combustible
- No requiere sistemas de almacenamiento
- Mucho más competitivo que contra red eléctrica

# Aplicación en bombeos

## Microred renovable



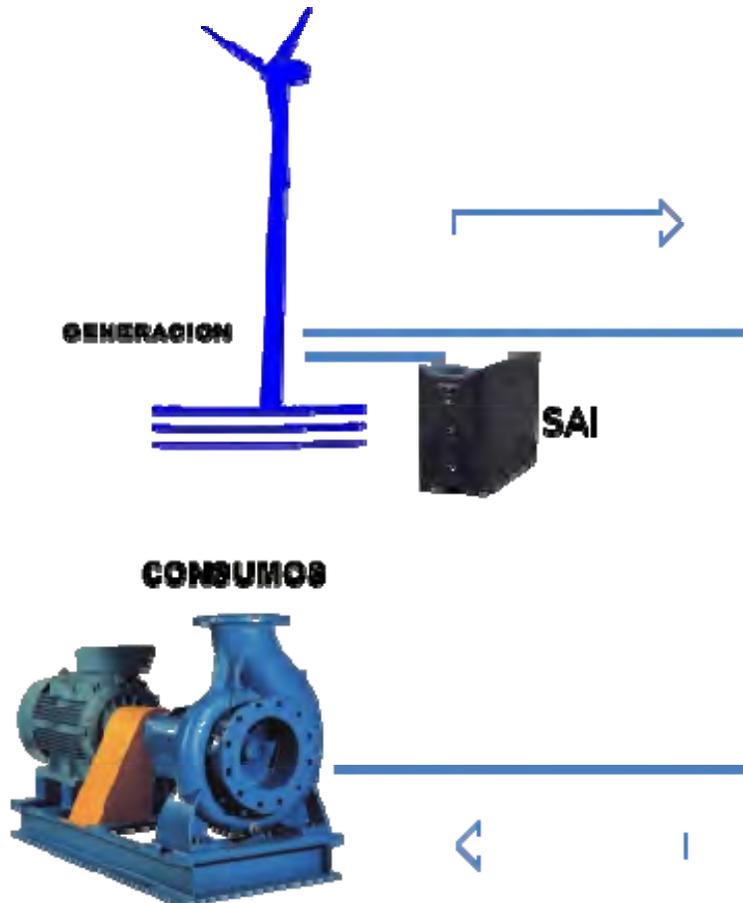
- Baterías maestro de red
- Problemática las baterías, Tª de funcionamiento, ciclos de carga...
- Requerirá un controlador de la microred que gestione el funcionamiento de los generadores, encendido cargas y gestión de baterías

**BATERIAS**

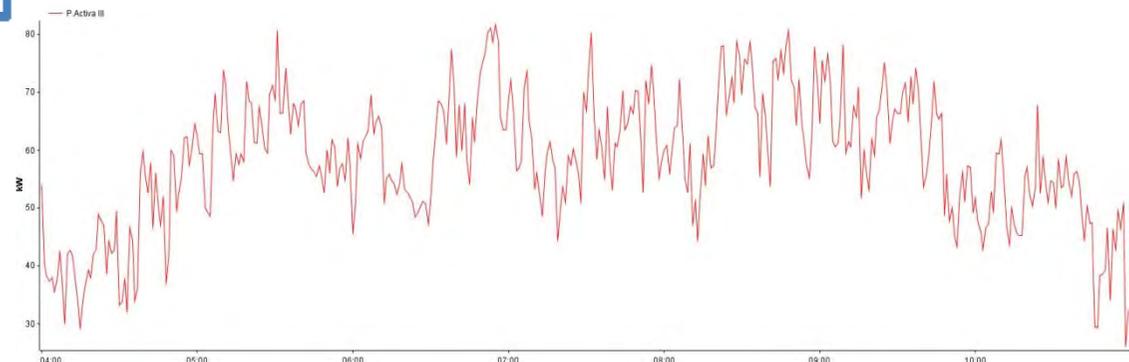
- Requiere una alta inversión inicial
- Mayor complejidad tecnológica
- Únicamente requiere recursos locales, la amortización comparada con un diesel puede ser muy rápida
- El aerogenerador dispone de regulación de potencia, pudiendo limitar la producción.

# Aplicación en bombeos

## Aislada



- La bomba debe de poder funcionar en diferentes puntos de trabajo
- No es eficiente para regadío directo, solo bombeos o elevación, ya que por cambios de viento puede afectar a la presión del agua.
- Puede estar varios días sin funcionar por falta de recurso eólico.
- El aerogenerador requiere electricidad para poder posicionarse al viento y arrancar.
- Recomendable suavizado mediante batería





Gracias

¿Alguna  
pregunta?

**Argolabe Ingeniería**

**Argolabe Ingeniería, SL**  
Av. De Los Huetos, 79  
Edificio Azucarera  
E-01010 VITORIA, ESPAÑA  
<http://www.argolabe.es>