

AEROGENERADOR

ENERLIM

Informe de la tecnología

INDICE

1	AEROGENERADORES DE TRASLACION	4
1.1	Fundamentos	4
2	ENERLIM	5
3	AEROGENERADOR ENERLIM	5
3.1	Descripción y Funcionamiento	6
3.2	Singularidades.....	6
3.3	Impacto Ambiental.....	7
3.3.1	Emanaciones contaminantes	7
3.3.2	Afección al suelo.....	7
3.3.3	Impacto visual	7
3.3.4	Impacto a las aves	7
3.3.5	Impacto Ecológico-Energético.....	8
4	VENTAJAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS	9
4.1	Ventajas técnicas.....	9
4.2	Características técnicas	10
4.3	Ventajas económicas.....	11
5	características de producción.....	12
6	ESTADO DE LA TECNOLOGÍA	12
7	GRÁFICO, FOTOGRAFÍA Y SIMULACIONES.....	13

INTRODUCCION

La energía del viento se ha utilizado con fines prácticos desde tiempos muy remotos, principalmente para la propulsión de barcos, molienda de granos y elevación de agua. La energía del viento es limpia e "inagotable" y su aprovechamiento se realiza actualmente mediante el empleo de aerogeneradores, existiendo una gama muy amplia en cuanto a tipos, tamaños y potencias.

Las mejoras tecnológicas en los generadores comercializados actualmente están orientadas a una optimización de los componentes/sistemas y a adecuar la tecnología a maquinas de gran potencia en un intento de disminuir los costes por kW. Instalado, dando lugar a que pequeños aumentos del rendimiento necesiten de grandes inversiones en investigación y a productos de una mayor sofisticación técnica.

Las mejoras asociadas a los componentes eléctricos de generación, control y distribución de energía, al ser comunes a otras formas de generación, no parecen que vaya a suponer el elemento clave en el desarrollo de la energía eólica. El futuro de la energía eólica en un mercado cada vez más competitivo y probablemente menos subvencionado, pasa por la:

a)-reducción del coste por unidad de superficie de captación (mejoras en diseño y tecnología, aumento de potencia unitarias de los aerogeneradores)

b)-utilización de elementos modulares fácilmente transportables (reducción de costes de instalación)

c)-fabricación de elementos a gran escala y utilización de componentes comerciales (reducción de costes de fabricación)

El diseño comercial más extendido ha sido hasta la fecha el aerogenerador de eje horizontal tripala. En este tipo de aerogeneradores un aumento de la superficie de captación conlleva:

-un aumento de la envergadura de la pala, lo que obliga a un reforzamiento de su estructura

-un aumento de la altura del centro de gravedad del sistema que obliga a un mayor dimensionamiento del pilar (añadido al debido al mayor peso asociado a la mayor área de captación)

-una mayor disimetría en las condiciones de viento entre la parte superior e inferior de la trayectoria de la pala.

Básicamente, las tres características antes mencionadas están íntimamente ligadas al hecho de que el elemento de captación (pala), hace funciones de elemento estructural del sistema de captación y como tal está ligado al eje de rotación, por el que además ha de conducir toda la energía extraída del viento.

1 AEROGENERADORES DE TRASLACION

1.1 Fundamentos

En estos aerogeneradores, a diferencia de los antes mencionados, los elementos del sistema captador no van unidos a un eje de giro, sino que describen una trayectoria rectilínea. Históricamente los dispositivos de traslación movidos por el viento se han utilizado mas para propulsión, basados en superficies movidas por la fuerza resistente al viento, que para generación de electricidad. La utilización de **superficies sustentadoras** en movimiento de traslación para generación de electricidad a partir del viento se ha intentado desde principios del siglo XX, existiendo numerosas patentes registradas que dan fe de ello.

Hasta la fecha no tenemos constancia de que se haya desarrollado un aerogenerador de traslación con éxito. En 1933 Julius Madaras por encargo de la New Jersey and Light Company (USA), realizó un prototipo de generador de traslación basado en el efecto Magnus y en los años 80, en Tehachapi USA, la empresa Transpower lo intentó de nuevo sin éxito.

Dado que la relación entre la potencia máxima extraíble por dispositivos basados en superficies sustentadoras y los basados en resistencia varia con el cuadrado de la relación Sustentación / Resistencia y ésta puede variar entre 5 y 20, es obvio la gran superioridad de los dispositivos basados en superficies sustentadoras. Pero por el contrario las superficies sustentadoras obtienen sus rendimientos máximos cuando se mueven más rápido que el viento, lo que en el caso de máquinas de traslación de altas potencias, hace suponer en principio grandes inversiones en terrenos y dispositivos complicados de

adecuación a las trayectorias de retorno e imposibilidad de orientar la superficie de captación al viento cambiante. Por ello la solución de situar la superficie sustentadora en una maquina giratoria parece obvio como método de desarrollo. Pero con ello se deja la superficie de captación del viento "cautiva" al eje de giro.

2 ENERLIM

ENERLIM www.enerlim.com es una empresa de I+D dentro del campo de las energías renovables, formada por un equipo humano multidisciplinar que trabaja en siete áreas: Gestión, Diseño, Mecánica, Aerodinámica, Electromecánica, Electrónica y Materiales. En el desarrollo del aerogenerador de traslación se ha contado con la colaboración de centros de investigación, empresas especializadas y entes públicos, además de haber contado con el reconocimiento de la Fundación BABCOCK para la Innovación Tecnológica, al concedernos el Primer Premio de su certamen de Innovación Tecnológica en el ejercicio 96.

3 AEROGENERADOR ENERLIM

En 1992 Mikel Robles (Enerlim) inició una línea de investigación, tomando como idea base la consecución de un aerogenerador de bajo coste por m² de superficie de captación y de rendimiento comparable a los aerogeneradores actualmente en el mercado y de utilización rentable incluso en emplazamientos con vientos inferiores a los mínimos exigidos por los aerogeneradores de eje horizontal. Fruto de esta investigación es el desarrollo de un aerogenerador de traslación, patentado, del que se han desarrollado varios prototipos de prueba de materiales y un primer prototipo de 300-600 kW, que han validado el cumplimiento de los requisitos básicos antes mencionados. Este prototipo, denominado E 1T 300 de la tabla de características, ha sido promovido por ECOEÓLICA S.L en el Valle de Losa (Burgos) y apoyado por el PAEE y la Junta de Castilla y León, siendo conectado a red eléctrica en Julio del 2001.

3.1 Descripción y Funcionamiento

El aerogenerador se monta sobre dos columnas, estas llevan en la parte superior tres poleas/alternador repartidas proporcionalmente a lo largo de ella, las poleas situadas a un mismo nivel guían con sus gargantas un anillo de cable de acero que rodea las columnas. Las palas van sujetas perpendicularmente a los cables. El viento a su paso por la turbina cede parte de su energía a las palas, la fuerza ejercida por éstas hace mover el cable y por tanto girar las poleas/alternador, generando con ello energía eléctrica.

3.2 Singularidades

Las palas son de planta rectangular y sin torsión. El perfil de la pala es simétrico y está compensado aerodinámicamente; la pala en todo momento sigue la dirección del viento aparente con un ángulo de desfase constante, es decir, el ángulo de ataque de la pala es constante para toda dirección de viento, sin necesidad de ningún mecanismo de cambio de paso. La limitación de potencia se realiza por medio de un mecanismo simple de desorientación y de actuación autónoma en cada pala, “carcasa de regulación”.

Existe una superficie de trabajo aguas abajo, como si de una turbina de dos etapas se tratara. La extensión de la superficie de captación no está ligada a la envergadura de las palas, puesto que si al conjunto de poleas-cables-palas denominamos “turbina”, puede crecer en horizontal y en vertical formando varias turbinas en varios niveles.

La tensión del cable se mantiene constante en toda la gama de temperaturas de trabajo y la orientación del plano de giro de las poleas viene dado por el ángulo de la catenaria del cable a su entrada en la polea.

La velocidad de la pala es entre 3 y 6 veces inferior a la velocidad de funcionamiento de palas de igual envergadura en aerogeneradores de eje horizontal y vertical.

Dada un área barrida, la solidez (relación superficie palas/ superficie barrida) y la velocidad de pala pueden variarse fácilmente a fin de optimizar los rendimientos. Con este sistema se abre la posibilidad de ubicar aerogeneradores en valles y la utilización en parques eólicos de máquinas de traslación agrupadas de forma que no existan huecos entre ellas, con lo que se aumentaría considerablemente el aprovechamiento de la superficie ocupada por el parque eólico.

3.3 Impacto Ambiental

El impacto ambiental de esta tecnología es positivo frente a otras formas de generación energética y lo podemos ver en los siguientes puntos:

3.3.1 Emanaciones contaminantes

Como el resto de las energías renovables, esta tecnología no aporta emanaciones contaminantes a la atmósfera. Además al no tener componentes que necesiten lubricación o refrigeración por medio de aceites, no existe el riesgo de contaminación por derrame de estos fluidos.

3.3.2 Afección al suelo

Los elementos constructivos mayores de las maquinas son de 14m. y 5 Tm. por lo que para su transporte se utilizan vehículos similares a los que se utilizan en dichos emplazamientos para otras actividades del lugar (tala forestal, etc.) por lo que no es necesaria la realización de modificaciones en los accesos existentes a los emplazamientos, y si no existiesen accesos, o bien no se tendría que realizar ningún acceso, o si hubiese que hacerlos estos serían mínimos. También por este motivo no es necesaria, o se minimiza, la necesidad de corte de masa forestal, si la hubiese en los accesos.

Tampoco al trabajar con pequeñas masas es necesario realizar plataformas para la utilización de grúas de gran tonelaje en el montaje.

3.3.3 Impacto visual

Los elementos de las maquinas de mayor tamaño son las estructuras, 300 mm. de diámetro y las palas, 250 mm. de ancho, por lo que a 4 Km solo se ven las estructuras y a 8 km. Hay que agudizar la vista para poder situar la maquina.

3.3.4 Impacto a las aves

Previo al análisis de este impacto, habrá que convenir que, en el caso de las aves, el impacto depende de la velocidad relativa entre la del elemento y el ave, puesto que el ave no impacta contra un elemento que

vaya a una velocidad igual o inferior a la suya y en el caso de mayor velocidad del elemento, dependerá de que a dicha velocidad le dé tiempo al ave a rectificar su trayectoria.

En el caso de nuestra tecnología la velocidad de las palas es de 40 kmh., por lo que el ave ante la maquina cambia su trayectoria para no colisionar. Esto se ha podido demostrar con una maquina 1 T 300 que lleva instalada dos años en un emplazamiento en el que habitan buitres, gorriones, tordos, etc., y que además es coto de caza con “puestos de paso de paloma” y no se ha registrado ninguna mortandad.

3.3.5 Impacto Ecológico-Energético

Consideramos que el análisis de este impacto es el más importante, puesto que analiza el problema ambiental, no desde aspectos concretos como los anteriores, sino en su conjunto y sobre todo porque lo analiza desde valores energéticos y no económicos que pueden estar alterados por subvenciones, etc.

Desde un análisis ecológico diremos que en la fabricación y funcionamiento de una maquina el ser humano coge prestada de la naturaleza una energía. Una tecnología será mejor o peor que otra dependiendo del tiempo necesario para que dicha maquina en su producción devuelva la energía prestada. El valor de este impacto se mide en tiempo.

$$E_i + E_f = E_e \times P \times T$$

E_i = Energía utilizada en la fabricación

E_f = Energía necesaria para el funcionamiento. En el caso de las energías renovables este valor es bajo, en las térmicas tiene su importancia.

E_e = Tiempo equivalente anual de potencia nominal, medido en horas

P = Potencia nominal

T = Valor del Impacto Ecológico-Energético, medido en horas.

Resumiendo, una vez conocida la energía que se necesita para la fabricación y el funcionamiento de una maquina, el tiempo que dicha maquina tiene que estar funcionando para devolver la misma cantidad de energía es el Valor del “Impacto Ecológico-Energético”.

En el caso de nuestra tecnología, no podemos actualmente valorar objetivamente la energía

utilizada para la fabricación, pero si podemos realizar una aproximación por comparación con otra forma de generación similar como es el aerogenerador tripala. Existe una correlación entre los pesos de una maquina y la energía necesaria para su fabricación. La tecnología Enerlim al tener la mitad de peso que el tripala de igual potencia necesita la mitad de energía para su fabricación.

4 VENTAJAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS

4.1 Ventajas técnicas

La flexibilidad de la máquina viene dada por:

1º Modularidad. Todas las partes de la máquina, columnas, poleas, palas, son divisibles en módulos para facilitar la fabricación, el transporte, el montaje y el mantenimiento.

2º Fabricación a gran escala. A excepción de las columnas, todos los componentes del aerogenerador están pensados para su fabricación en grandes series

3º Adecuación a nuevos emplazamientos. Debido a la utilización de palas de pequeño tamaño y a que la máquina admite cualquier número de palas, se puede adaptar la relación solidez/velocidad de turbina que sea más conveniente para la optimización del aprovechamiento de los vientos del lugar elegido.

Uso de tecnología "blanda" por:

1º Accesibilidad. La fabricación de la máquina no necesita de la concentración de gran cantidad de medios y recursos económicos, técnicos, etc.

2º Disponibilidad. La construcción de la máquina no exige la utilización de materiales o técnicas que no sean de utilización normal en el entorno industrial.

4.2 Características técnicas

AEROGENERADOR	E 1T 100	E 1T 300	E 2V 600	E 2V2H 1,2	E 2V3H 1,8
Turbinas de traslación	1		2	4	6
Funcionamiento (Regulación)	Angulo de ataque constante - Paso variable a través del par				
Nº de Palas (Solidez 16%)	81	177	354	708	1.062
Área de captación	720 m2	1.620 m2	3.240 m2	6.480 m2	9.720 m2
Distancia entre columnas	60 m	135 m			
Distancia entre 1ª y última columna	60 m	135 m	270 m	405 m	540 m
Separación entre caras (Ø poleas)	2,5 m	3 m			
Material de las palas	Aluminio-Policarbonato				
Envergadura de pala (Largo)	12 m				
Cuerda de pala (Ancho)	0,25 m				
Peso de pala	28 k				
Velocidad de pala	8 / 10 m/s				
Freno de seguridad	Neumático				
Velocidad de arranque	3 m/s				
Potencia nominal	11 m/s	12m/s			
Desconexión	25 m/s				
Supervivencia	60 m/s				
Transmisión y relación	Correa dentada 1:16				
Potencia Aerogenerador	100 kW	300 kW	600 kW	1,2 MW	1,8 MW
Generador	Sincr./Asincr.	Asincrono			
Potencia del Generador	3*35 kW	3*100 kW	6*100 kW	12*100 kW	18*100 kW
Revoluciones	750/1.000 r.p.m.				
Tensión	220/380 V	220/380 o 690 V			
Sistema de control	Por multiprocesador				
Consulta a distancia	Vía módem				
Torre Arriostrada tubular	350 Ø	Tubular 600 Ø			
Nº unidades	2			3	4
Altura de Torre	26 / 39 m	36 / 48 m	48 / 60 m		
Peso de Torres	5,5 / 7 Tm	7,5 / 10 Tm	18 / 26 Tm	35/50 Tm	52/64 Tm
Peso de Poleas(incl. Generador)	6,1 Tm	8 Tm	16Tm	32 Tm	48 Tm
Peso de la(s) Turbina(s)	3,5 Tm	7 Tm	14 Tm	28 Tm	42 Tm
Total pesos (Tm)	15,1 / 16,6	22,5 / 25	48,5 / 56	95 / 110	142 / 154
Kg m2 de área de captación	20,9 / 23	13,9 / 15,4	15 / 17,3	14,7 / 17	14,6 / 15,8

4.3 Ventajas económicas

- Baja inversión para fabricación
 - Bajos costes de la máquina. Por la tecnología empleada, tipos de materiales y cantidad de estos, los costes a igualdad de energía generada son menores que los del tripala.
1. Ampliación del mercado. Debido a lo anteriormente expuesto, el precio de m² de área barrida es mas bajo que en los sistemas de “eje”, lo que conlleva:
 - Adaptación de los parámetros solidez y velocidad de pala a velocidades de viento menores
 - Posibilidad de rentabilizar una sola máquina
 - Mejor aprovechamiento del área frontal al viento en los parques

Además del existente, se amplía el mercado potencial a zonas de vientos medios anuales comprendidos entre 4,5 y 6 m/s, con un carácter de **EXCLUSIVIDAD** en este sector del mercado.

Este sistema de generación eólica por su configuración no necesita de:

- Grupo de multiplicación
- Sistemas hidráulicos
- Sistema de orientación
- Sistemas de refrigeración
- Control centralizado de paso de pala

Por concepto, al haberse eliminado estos sistemas, el Aerogenerador Enerlim adquiere una mayor “*seguridad pasiva*” por lo que el mantenimiento de estas actividades y las alarmas que provocan se eliminan. Lógicamente el coste de mantenimiento está relacionado al número de máquinas a mantener en un emplazamiento (instalaciones aisladas-parque).

El precio de una instalación eólica tiene relación directa con el peso del Aerogenerador. Los Aerogeneradores de tecnología Enerlim pesan menos de la mitad que los de tecnología convencional de su misma potencia, por lo que el precio guarda esta misma relación. Es por esta característica, el precio, por lo que esta tecnología amplía los emplazamientos posibles, que actualmente se están ocupando con la generación eólica, a otros con vientos energéticos inferiores sin perder la rentabilidad.

5 CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN

En la siguiente tabla se analiza la producción de los Aerogeneradores Enerlim para “emplazamientos tipo” de unas determinadas velocidades y direcciones de viento.

Calculo de Producción eléctrica anual (kWh)								
Emplazamiento tipo	4 m/s	4,5 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
Parámetro de Weibull K	1,38	1,39	1,47	1,57	1,75	1,92	2	2,25
Aerogenerador E 1T-100 kW	148.588	185.210	220.620	293.660	367.605	440.813	503.507	572.498
Aerogenerador E 1T-300 kW	369.391	463.853	554.574	746.470	941.993	1.140.601	1.318.608	1.512.767
Aerogenerador E 2V-600 kW	738.782	927.706	1.162.448	1.492.940	1.883.986	2.281.202	2.637.216	3.025.534
Aerogen. E 2V2H 1,2 MW	1.477.564	1.855.412	2.324.896	2.985.880	3.767.972	4.562.404	5.247.432	6.051.068
Aerogen. E 2V3H 1,8 MW	2.216.346	2.783.118	3.487.344	4.478.820	5.651.958	6.843.606	7.911.648	9.076.602

Observaciones. Estos datos están calculados para: - Densidad del aire del 1,225.
- 85% de ganancia por tipo de distribución de Rosa de Vientos

6 ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

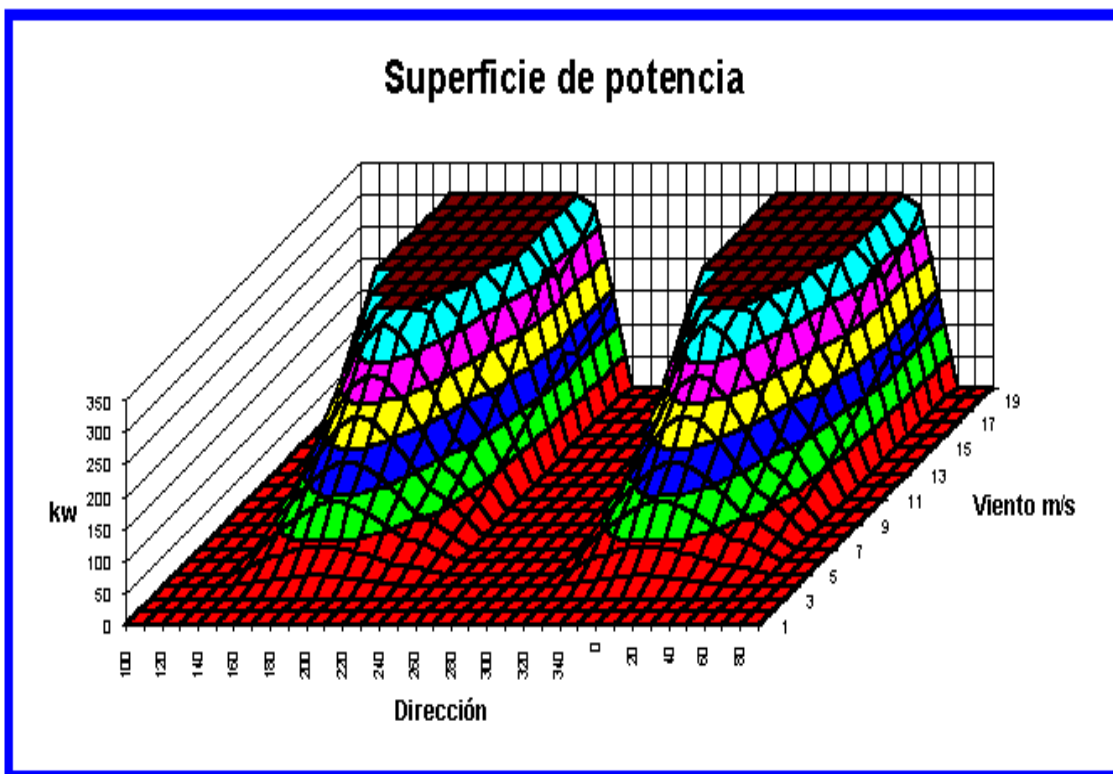
El trabajo desarrollado en los últimos años por ENERLIM, Organismos y Empresas colaboradoras ha hecho posible el desarrollo máquinas de 100 kW, 300 kW, 600 kW, etc. (ver tablas de características adjuntas). La singularidad de esta tecnología es que todos aquellos componentes pertenecientes a los sistemas de captación y automatización, como son las palas, cables, poleas, alternadores, etc. son idénticos para todas las máquinas. Esto nos ha permitido la creación de un módulo básico de 300 kW que se repite para máquinas de mayor potencia, siendo el límite de esta la orografía del terreno.

En el ejercicio 2001 se ha fabricó el primer aerogenerador E 1T 300 con conexión a red eléctrica entre la empresa promotora ECOEÓLICA SL (www.ecoeolica.com) y ENERLIM (www.enerlim.com). Por lo que una vez probado el módulo básico de 300 kW, se puede comenzar con la comercialización, fabricación y mantenimiento de este tipo de máquinas. Por este motivo, se están manteniendo conversaciones con grupos empresariales con el objeto de exportar la tecnología a otros países.

Desde diversos países se nos está demandando máquinas para autoconsumo (en isla) de menos de 100 kW., por lo que actualmente estamos realizando un prototipo, partiendo de la máquina E 1 T100, que esperamos empezar a comercializar en el año 2005.

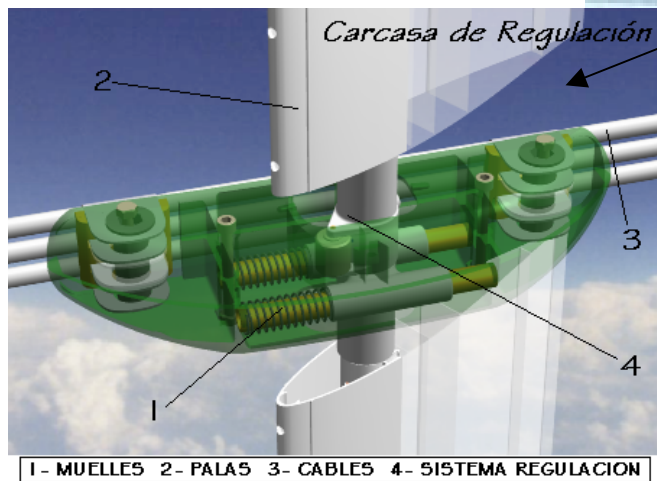
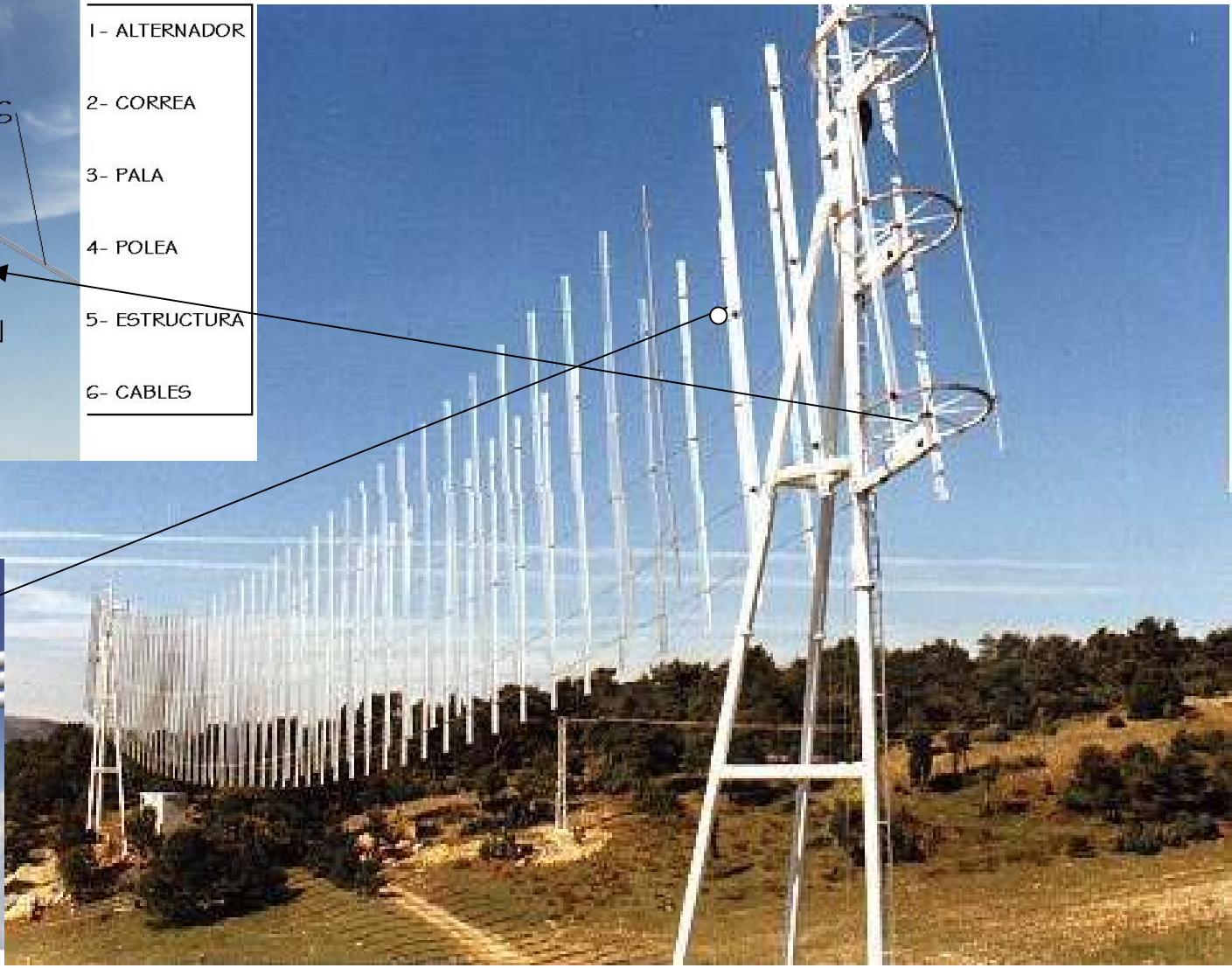
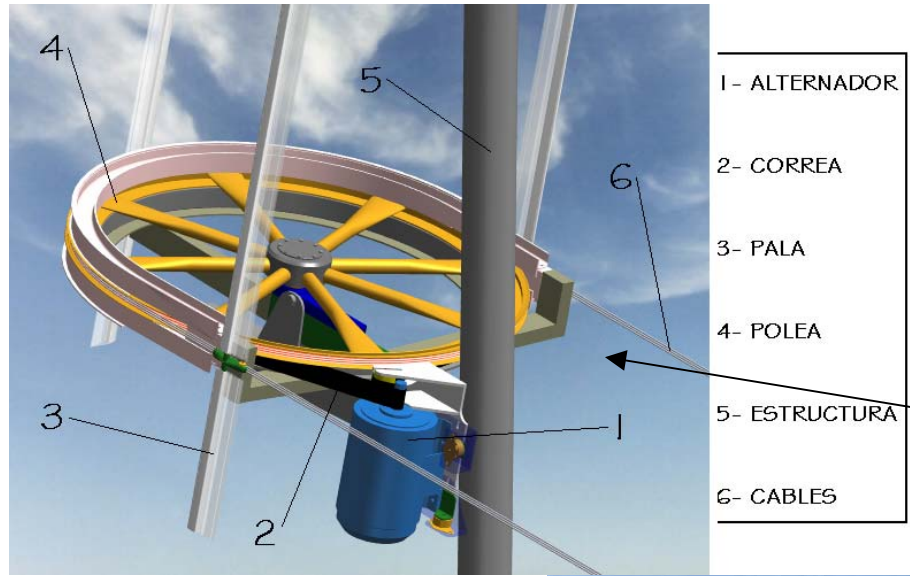
7 GRÁFICO, FOTOGRAFÍA Y SIMULACIONES

Curva de potencia típica de un Aerogenerador de traslación de 300 kW en la que se aprecia la necesidad del vector “Dirección” al no ser una maquina que se auto orienta, a diferencia de las maquinas de eje que solo tienen los vectores “Velocidad” y “Potencia”.



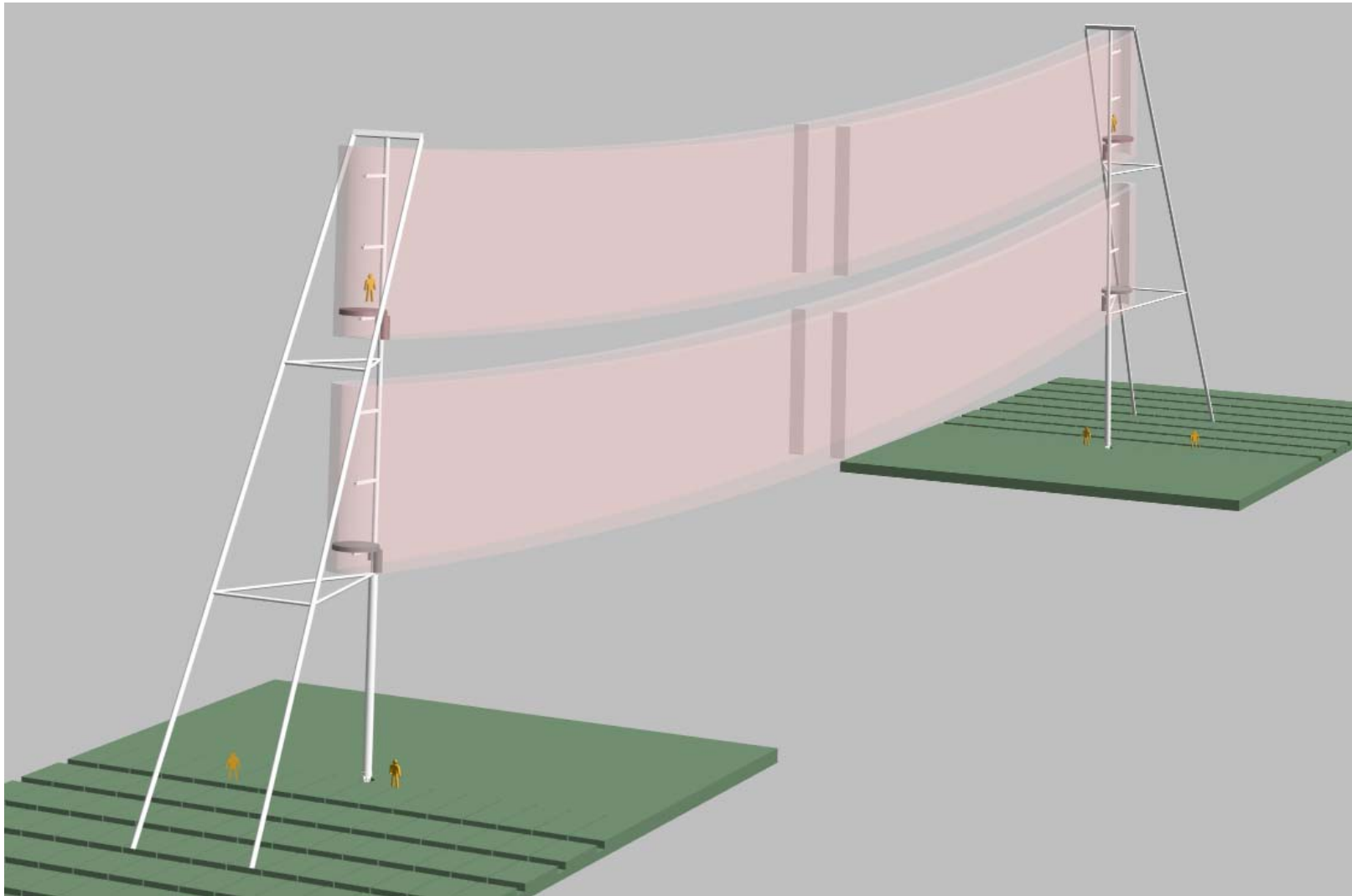
Aerogenerador NERLIM. Variación de potencia según dirección y velocidad

Fotografía de la maquina de E 1T 300 instalada en el Valle de Losa (Burgos). Con simulación del conjunto columna, palas, cables, polea y la transmisión por medio de la correa dentada al generador.



Simulación de la maquina de dos turbinas E 2V 600

En la que se puede apreciar los tamaños, en referencia a las personas, y las formas. No se han simulado todas las palas y poleas para simular mejor el área barrida por las palas.



Simulación de ubicación de la maquina E 2V 10H 6

En la siguiente ilustración se contempla el efecto de la instalación de 6 MW. en la simulación de un parque.

