

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 413 008**

51 Int. Cl.:

F03D 1/00 (2006.01)

F03D 11/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.08.2004** **E 04775035 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2013** **EP 1680596**

54 Título: **Turbina eólica para uso mar adentro**

30 Prioridad:

27.08.2003 NO 20033807

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

15.07.2013

73 Titular/es:

**HYWIND AS (100.0%)
Forusbeen 50
4035 Stavanger, NO**

72 Inventor/es:

NIELSEN, FINN, GUNNAR

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 413 008 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Turbina eólica para uso mar adentro

5 La presente invención concierne a un método y a un dispositivo en conexión con el uso de una turbina eólica mar adentro, que comprende una turbina eólica conectada a través de un eje a un generador, que está montada giratoriamente sobre una torre, y en un basamento por debajo de ella en forma de elemento flotador o boya, sobre la cual está montada la torre.

10 Las turbinas eólicas se están instalando cada vez más mar adentro, parcialmente debido a requisitos de espacio y también para conseguir condiciones de viento óptimamente constantes y explotables (mayor velocidad media, menor turbulencia, interfaz más delgado que sobre tierra). En la actualidad, están instaladas principalmente en aguas poco profundas donde pueden ser colocadas fácilmente sobre un basamento que se yergue sobre el lecho marino. Tales instalaciones requieren que haya disponibles zonas suficientes de agua poco profunda. A lo largo de la mayoría de las costas del mundo, y particularmente a lo largo de la costa de Noruega, el agua es generalmente demasiado profunda para permitir la instalación de turbinas eólicas sobre el lecho marino. La instalación de turbinas eólicas en aguas poco profundas puede originar también problemas para los barcos que han de llevar a cabo la instalación. La mayoría de los barcos tendrán un calado demasiado grande para permitirles operar en profundidades de hasta 10 metros.

20 Por estas razones, el uso de estructuras flotantes de soporte es una solución relevante. Para hacer esto económicamente interesante, cada turbina debe tener una alta capacidad, por ejemplo del orden de 5 MW. Con tan gran rendimiento y explotando las propiedades del viento mar adentro, se espera que las estructuras flotantes de soporte serán capaces de competir en el precio de la energía con respecto a las instalaciones terrestres.

25 Los conceptos de la técnica anterior para las estructuras flotantes de soporte están basados usualmente en una simple estructura flotante (por ejemplo una columna vertical) que está anclada al lecho marino por medio de puntales verticales (sujeciones). Otros conceptos del casco de los barcos están basados en la tecnología de plataformas semi-sumergibles. Éstas se han desarrollado especialmente para disponer de movimientos favorables (pequeños) de las olas. Una característica común de la mayoría de estos conceptos de las turbinas eólicas de la técnica anterior es que el objetivo es restringir el movimiento de la plataforma tanto como sea posible. Además, están diseñados de manera que pueden soportar condiciones extremas del mar. Cuanto más estrictos se hacen los requisitos para el movimiento, mayor es la fuerza experimentada en una situación extrema. Las combinaciones de estos requisitos son por tanto costosas y contribuyen a que las soluciones de turbinas eólicas marítimas de la técnica anterior no son generalmente rentables hasta la fecha.

30 Los documentos WO 03/004869, WO 02/052150, GB 2378679 y DE 3107252 divulgan turbinas eólicas flotantes que están ancladas al lecho marino.

La presente invención está relacionada con un método como se define en la reivindicación 1, y una turbina eólica mar adentro como se define en la reivindicación 5.

35 En la turbina eólica basada en mar adentro el montaje es sencillo y económico pero, al mismo tiempo, la turbina eólica será capaz de extraer energía de las olas además de la energía eólica.

En la presente invención, la boya está anclada con líneas de amarre o puntales (sujeciones) o está articulada en el suelo marino y, como consecuencia del efecto de las olas en la boya, el movimiento de la turbina eólica actuará como mecanismo de amortiguación para el movimiento y por tanto extraerá energía de las olas.

40 Al explotar el movimiento de la plataforma en las olas, la turbina eólica será capaz de extraer más energía. Esta energía se extrae por tanto de las olas. La turbina eólica actuará por tanto como un mecanismo de amortiguación para el movimiento y por tanto extraerá energía que de otra manera se desperdiciaría. Tanto el movimiento de cabezada como el de balanceo contribuirán en este proceso.

45 La cantidad de energía que puede extraerse de las olas depende de diversos factores, tales como el diseño del flotador (casco) o boya, las características del amarre y la distribución de masas, es decir, las propiedades dinámicas de la boya. Además, la cantidad de energía extraída de las olas depende de lo que se controlen las aspas de la turbina eólica con respecto a la velocidad instantánea relativa del viento, es decir, el control de la cabezada de las aspas de la turbina eólica. Si la cabezada se mantiene constante, los coeficientes del empuje y la potencia son aproximadamente constantes. Por otra parte, si la cabezada se controla de forma que los coeficientes de empuje y potencia aumentan cuando aumenta la velocidad relativa del viento, entonces la absorción de energía de las olas aumentará.

50 Se extraerá la máxima energía de las olas si el sistema oscila en resonancia con las olas. Al diseñar el sistema de forma que la amortiguación de la radiación sea igual a la amortiguación lineal de la turbina eólica, se conseguirá la máxima absorción de energía. (La amortiguación de la radiación es la amortiguación que origina la creación de olas

que se alejan en el agua cuando la estructura se está moviendo).

5 La amortiguación de la radiación está influenciada por el diseño geométrico del flotador o boya. Es principalmente una función del radio de la boya. A una frecuencia dada, la amortiguación de la radiación en la cabezada (en el frente marino) es proporcional a la cuarta potencia del radio de la boya. La amortiguación de la turbina depende de la velocidad media del viento, del radio de la turbina y del coeficiente de empuje.

Sin embargo, también se puede extraer energía de las olas cuando la boya está oscilando a frecuencias no resonantes. El periodo de resonancia en la cabezada puede ser ajustado, por ejemplo, bombeando lastre hacia fuera y hacia dentro de un depósito. Esto hará posible ajustar el centro de gravedad de la plataforma y/o la tensión en la sujeción. La tensión de la sujeción afectará al periodo de resonancia del sistema.

10 A bajas velocidades del viento en particular, cuando la producción de potencia nominal de la turbina no se consigue solamente con el viento, la interacción con las olas inducirá una producción adicional de energía.

A altas velocidades del viento (y correspondientemente, olas altas) será posible ajustar el periodo natural del sistema para evitar la resonancia y por tanto reducir el movimiento. Esto hará posible también reducir las cargas máximas en el sistema.

15 La presente invención será descrita con más detalles en lo que sigue, utilizando ejemplos y con referencia a las figuras, donde:

La figura 1 muestra un simple diagrama esquemático de una turbina eólica de la técnica anterior colocada en el lecho marino.

20 La figura 2 muestra un simple diagrama esquemático de la técnica anterior, de una turbina eólica flotante amarrada al lecho marino.

La figura 3 muestra un simple diagrama esquemático de una turbina eólica, de acuerdo con la presente invención, que está libre para moverse con movimientos de balanceo y cabezada.

Las figuras 4 - 7 muestran diversas curvas asociadas con la salida de la turbina eólica, con y sin el efecto de las olas, basadas en cálculos teóricos.

25 Una turbina eólica 1 comprende, en un bosquejo aproximado como se ilustra en las figuras 1 - 3, una turbina eólica 2 conectada a través de un eje (no ilustrado) a un generador 3, el cual está montado giratoriamente sobre una torre 4, y una estructura 5, 6 de soporte, sobre la cual está montada la torre. La figura 1 muestra una turbina eólica tradicional en la cual la torre 4 está montada sobre una estructura fija 5 sobre el lecho marino, mientras que la figura 2 muestra una turbina eólica similar tradicional en la cual la torre está montada sobre un dispositivo flotante o boya sumergida 6, que está anclada al lecho marino a través de las líneas 7 de amarre y tiene, consecuentemente, movimientos muy pequeños.

35 Como se ha indicado anteriormente, la presente invención está basada en la teoría de que el basamento tiene permitido tener una flotabilidad positiva y se acepta un movimiento relativamente alto en el plano horizontal, los amarres pueden hacerse más sencillos y la estructura probablemente menos costosa, al tiempo que ofrece el potencial de un aumento de la producción de energía. En particular, tal solución será capaz de producir una mayor salida en situaciones con viento moderado. Si se supone que las olas vienen generalmente en la misma dirección que el viento, la turbina eólica se moverá hacia delante y hacia atrás debido al movimiento del basamento (boya) como se ilustra en la figura 3. Esto dará como resultado un movimiento periódico de la turbina eólica, alternadamente a favor y en contra del viento. En cuanto a la potencia de salida de la turbina eólica, es aproximadamente proporcional al cubo de la velocidad relativa entre la turbina eólica y el aire. (Esto es válido para turbinas con cabezada fija, sin embargo, el exponente variará para las turbinas con cabezada variable. Esto puede aumentar o reducir la extracción de energía de las olas, dependiendo de la estrategia de regulación). Esto dará como resultado una producción de energía adicional. Esta energía adicional se toma de las olas.

45 La base teórica de la idea muestra cómo la interacción entre el viento y las olas proporciona tanto un aumento de la producción de energía como una reducción de los movimientos inducidos por las olas con respecto a los movimientos sin tal interacción. La potencia máxima de las olas se consigue cuando se explota la resonancia y cuando la amortiguación debida a la difracción de las olas está "sintonizada" con la amortiguación debida a la turbina eólica. Sin embargo, debe añadirse que esa resonancia no es un requisito para que el principio funcione.

50 Parece inapropiado pasar a valoraciones y cálculos teóricos fundamentales con respecto a la presente invención. Por tanto, en lo que sigue, se mostrarán simplemente ejemplos que ilustran la presente invención.

Para explicar la presente invención con más detalle, lo más fácil es suponer una turbina eólica flotante en la cual la boya o basamento consiste en un cilindro vertical con un diámetro constante, como se ilustra en la figura 3. Ajustando la flotabilidad, el peso y la posición del centro de gravedad, es posible hacer que el sistema se mueva en

resonancia con un movimiento giratorio virtualmente puro (cabezada) alrededor de un punto entre la línea del agua y el lecho marino. En teoría, es posible mostrar cuánta energía es posible extraer de las olas y que lo óptimo es tener amortiguación debido a que el efecto de la turbina es igual a la amortiguación de las olas (esto se aplica cuando hay resonancia). El puntal del dibujo ilustrado en la figura puede ser sustituido, en aguas de profundidad moderada, por una conexión articulada entre la plataforma y el lecho marino. Alternativamente, se puede utilizar el anclaje de una línea de cadena más convencional.

La salida máxima media que puede extraerse entonces de las olas en resonancia, viene dada por:

$$\bar{P}_{\alpha} = 3 \frac{\rho g^3 z_A^2}{\omega^3} \frac{B_{33}^{(r)} B_i^{(r)}}{(B_{33}^{(r)} + B_i^{(r)} + B_{add}^{(r)})^2} \frac{C_P}{C_T}$$

donde ρ (rho) es la densidad del agua, g es la aceleración de la gravedad, ζ_A (Zeta) es la amplitud de la ola (olas monocromáticas normales), ω (omega) es la frecuencia de la ola, que se supone igual a la frecuencia natural de la cabezada en este ejemplo, $B_{33}^{(r)}$ es la amortiguación de la radiación de la ola en conexión con la resonancia para el movimiento de cabezada, $B_i^{(r)}$ es la amortiguación del movimiento de cabezada debido a la fuerza del viento en la turbina, $B_{add}^{(r)}$ es la amortiguación adicional debida, por ejemplo, a la fuerza del viento en la torre y a las fuerzas viscosas en el agua, C_P y C_T son respectivamente el coeficiente de potencia y el coeficiente de empuje de la turbina eólica. La amortiguación debida a la fuerza del viento en la turbina viene dada por:

$$B_i^{(r)} = C_P \rho_a \pi R^2 (z_a - z_r)^2 U_w$$

El coeficiente C_P de potencia de la turbina eólica tiene un valor máximo teórico de 16/27. El correspondiente valor del coeficiente C_T es 8/9. ρ_a es la densidad del aire, R es el diámetro del rotor, $(z_a - z_r)$ es la distancia desde el centro del rotor hasta el centro del movimiento de cabezada y U_w es la velocidad del viento en el rotor. El efecto teórico máximo de las olas se consigue si $B_{add}^{(r)} = 0$ y $B_{33}^{(r)} = B_i^{(r)}$. Este efecto máximo viene dado por:

$$\bar{P}_{\alpha, \max} = \frac{3}{4} \frac{\rho g^3 z_A^2}{\omega^3}$$

La figura 4 muestra una curva de salida típica para una turbina eólica terrestre de tamaño moderado (600 kW) en función de la velocidad del viento. Como muestra la figura, esta turbina solamente consigue su máxima salida a una velocidad del viento de aproximadamente 15 m/s y superior. Las turbinas instaladas mar adentro serán diseñadas normalmente para velocidades del viento mayores. Utilizando las propiedades dinámicas del sistema activamente, será posible extraer más energía a velocidades del viento de menos de aproximadamente 15 m/s.

La figura 5 muestra un ejemplo específico de cuánto rendimiento adicional puede conseguirse de una turbina a diversas velocidades del viento, incluyendo la potencia de las olas. La curva de puntos muestra la salida conseguida explotando tanto el viento como las olas. La línea continua muestra la salida cuando solamente se explota el viento. En este ejemplo, se usa un basamento con un radio de aproximadamente 7 metros y un calado de 120 metros. El rotor de la turbina tiene un radio de 40 metros. Esto es equivalente a una turbina mar adentro con una salida del orden de 5 MW. El sistema tiene un periodo natural de cabezada de aproximadamente 10 segundos. En el ejemplo, se supone que la amplitud de la ola es proporcional a la velocidad del viento (amplitud de la ola de 0,5 metros a una velocidad del viento de 5 m/s. aumentando a una amplitud de la ola de 2 metros a 20 m/s de velocidad del viento) y que el sistema oscila en resonancia aproximadamente a 10 segundos.

La figura 6 muestra la consecuencia en la producción de energía incluyendo la potencia de las olas, y muestra el aumento relativo en la salida al explotar tanto el viento como las olas con respecto a solamente el viento (la línea continua), es decir, la línea continua es la relación entre la energía producida por el viento y las olas y la energía producida solamente por el viento. A 6 m/s, se consigue más de un 25% de potencia adicional de salida cuando se explota la energía de las olas además del viento, en comparación con la explotación del viento solamente. Las líneas continua y de rayas largas muestran la cantidad de potencia que se extrae con respecto al máximo teórico. La línea de rayas largas muestra la proporción de la energía máxima teórica explotada de las olas. La línea de puntos: amplitud utilizada para la ola. El radio del rotor: 40 m. El radio del basamento: 6 m. El calado: 60 m. En este ejemplo se utilizan coeficientes constantes (fijos) para el empuje y la potencia. Utilizando el control de la cabezada, aumentará la potencia.

Un efecto positivo doble de extraer energía de las olas es que los movimientos del sistema se reducen. En la figura 7 se ilustra el ángulo de respuesta en cabezada por metro de amplitud de la ola en el sistema descrito anteriormente,

es decir, la figura 7 muestra la respuesta de cabezada en olas con y sin interacción entre el viento y las olas. La frecuencia de las olas varía desde 0,02 Hz hasta 0,25 Hz. Se utiliza una velocidad del viento constante de 15 m/s. La línea negra continua muestra la respuesta en olas sin interacción con el viento, mientras que la línea discontinua muestra la respuesta cuando se incluye la interacción.

- 5 Debe observarse que la presente invención como se define en las reivindicaciones no está limitada a la solución descrita anteriormente e ilustrada en la figura 3. El principio funcionará también para otras configuraciones geométricas del flotador, aparte del cilindro vertical.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de instalación de una turbina eólica mar adentro, comprendiendo la turbina eólica (2) unas aspas conectadas a través de un eje a un generador (3), que está montado giratoriamente sobre una torre (4), y un basamento debajo de la torre en forma de flotador o casco (6) sobre el cual está montada la torre (4), comprendiendo el método:
- anclar el flotador (6) por medio de una línea de anclaje, sujeción o conexión (7) al lecho marino, de manera que flote libremente;
- caracterizado por que el método comprende además:
- 10 ajustar el periodo de resonancia de la turbina eólica ajustando el centro de gravedad de la turbina eólica y/o la tensión de la línea de anclaje, sujeción o conexión (7), de manera que la turbina eólica oscile en resonancia con las olas;
- por lo que, como consecuencia del efecto de las olas sobre el flotador, el movimiento de la turbina eólica (2) actúa como mecanismo de amortiguación sobre el movimiento y por tanto extrae energía de las olas.
- 15 2. Un método como se reivindica en la reivindicación 1, que comprende además el ajuste del periodo de resonancia de la turbina eólica en la cabezada, bombeando lastre hacia fuera y hacia dentro de un depósito en el flotador (6).
3. Un método como se reivindica en la reivindicación 1, que comprende además el ajuste del periodo de resonancia de la turbina eólica en la cabezada, desplazando líquido o lastre sólido verticalmente en el flotador (6) o torre (4).
- 20 4. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además el control de la cabezada de las aspas de la turbina eólica, para conseguir un efecto amortiguador deseado y extraer con ello energía de las olas.
5. Una turbina eólica mar adentro, que comprende:
- 25 un rotor (2) de la turbina eólica conectado a través de un eje a un generador (3), que está giratoriamente montado sobre una torre (4);
- un basamento por debajo de la torre en forma de flotador (6), sobre el cual está montada la torre (4); y
- una línea de anclaje, conexión o sujeción (7), conectada al flotador de manera que el flotador puede desplazarse libremente en el plano vertical;
- 30 caracterizado por que se ajusta el centro de gravedad de la turbina eólica y/o la tensión de la línea de anclaje, conexión o sujeción (7) para ajustar el periodo de resonancia de la turbina eólica, de manera que la turbina eólica oscila en resonancia con las olas; y
- por lo que, como consecuencia del efecto de las olas sobre el flotador, el movimiento de la turbina eólica actúa como mecanismo de amortiguación sobre el movimiento y por tanto se capaz de extraer energía de las olas.
- 35 6. Una turbina eólica mar adentro, como se reivindica en la reivindicación 5, en la que el flotador comprende un depósito, y el periodo de resonancia de la turbina eólica en la cabezada puede ser ajustado bombeando lastre hacia dentro y hacia fuera del depósito.
7. Una turbina eólica mar adentro, como se reivindica en la reivindicación 5, que comprende además lastre líquido o sólido dispuesto en el flotador o en la torre, donde el periodo de resonancia de la turbina eólica puede ajustarse desplazando el lastre líquido o sólido verticalmente en el flotador (6) o en la torre (4).
- 40 8. Una turbina eólica mar adentro, como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 5 o 7, en la que las aspas del rotor de la turbina eólica pueden ser ajustadas con el fin de controlar la cabezada de las aspas.

Fig. 1

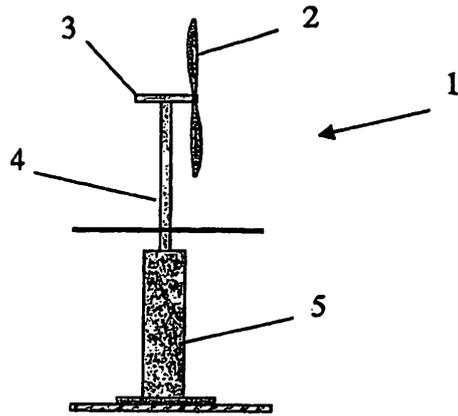


Fig. 2

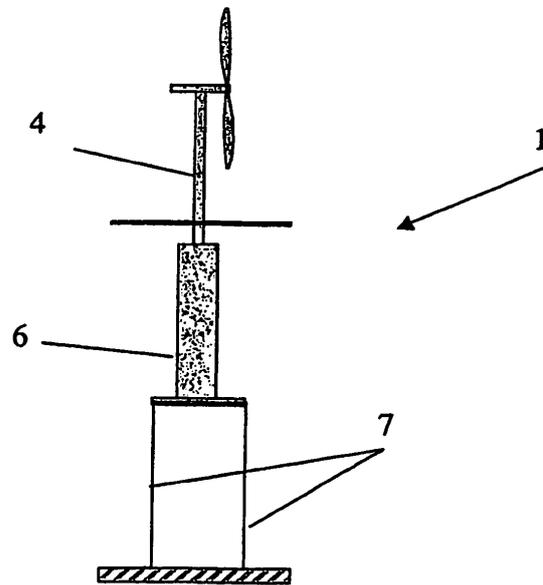


Fig. 3

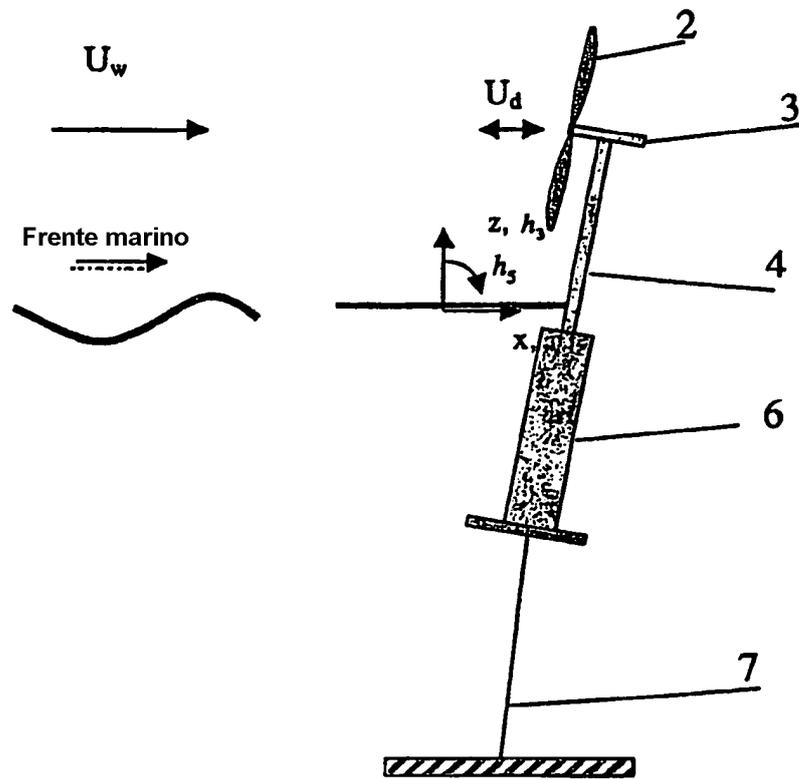


Fig. 4

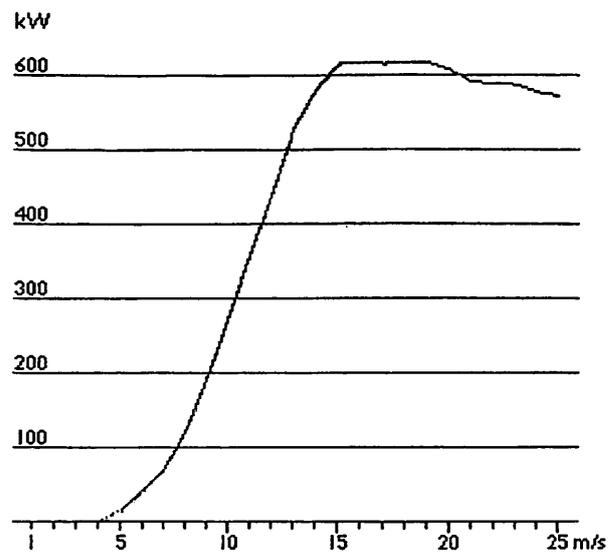


Fig. 5

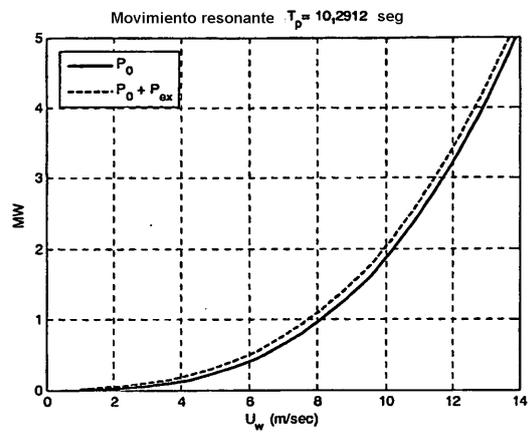


Fig. 6

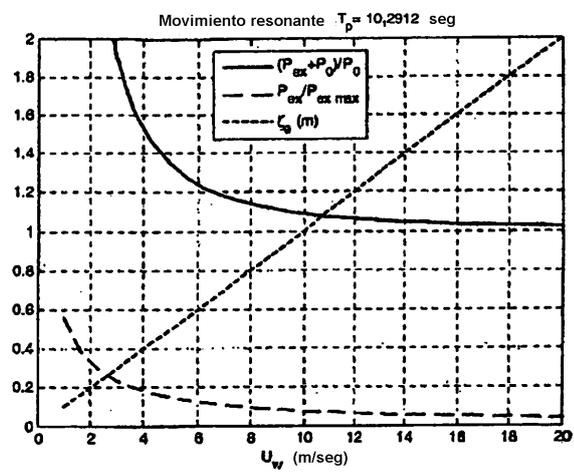


Fig 7.

