

# EFEECTO DE LAS ESTELAS EN LOS PARQUES EÓLICOS

Para el diseño de parques eólicos es de interés conocer la producción de energía eléctrica de las turbinas eólicas, o aeroturbinas, así como las cargas que pueden sufrir las mismas limitando su vida útil. La producción de energía está ligada a la intensidad del viento incidente, y la vida útil de las aeroturbinas al grado de agitación turbulenta del viento. El grupo de Mecánica de Fluidos Aplicado a la Ingeniería Industrial de la UPM, ha desarrollado programas informáticos para estimar la magnitud del viento y la intensidad de la turbulencia, en función de las características del terreno y de la distribución de las turbinas en el parque eólico, utilizando para ello modelos numéricos que simulan el movimiento turbulento de los fluidos.

La tecnología eólica es compleja y costosa, por lo que, desde el punto de vista de generación eléctrica comercial, solo suele ser rentable la agrupación de aeroturbinas en un parque. Debido al tamaño, las máquinas interfieren entre sí generando estelas que condicionan el diseño del parque produciendo:

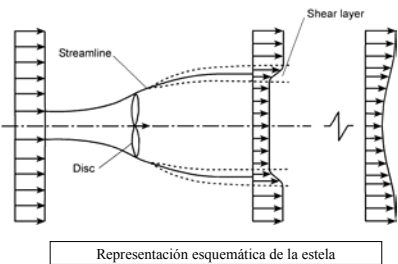
- Disminución de producción de energía por la reducción de la velocidad incidente en las máquinas aguas abajo, ya que el viento es frenado por la máquina de delante
- Incremento de cargas dinámicas sobre los aerogeneradores por el aumento del nivel de turbulencia incidente en cada una de ellas, por lo que la vida útil de la máquina se acortará respecto a si estuviera en una corriente sin perturbar por la estela.

Cuanto mayor sea la intensidad de la turbulencia ambiente más se difunde la estela, abriéndose y afectando a un mayor número de máquinas, aunque por otra parte el déficit de velocidad creado es menor. De estos efectos contrapuestos el segundo es el dominante y, por lo general, al igual que ocurre con una sustancia contaminante, cuando mayor sea la turbulencia ambiente menor será el efecto nocivo de la estela.

La propia turbulencia generada por la estela se sumaría a una turbulencia ambiente, dando lugar a un efecto relativo que será tanto menor cuanto mayor sea la turbulencia ambiente.

La turbulencia ambiente depende de diversos factores, tales como la orografía, rugosidad del terreno y de la inestabilidad atmosférica; cuanto mayores sean, mayor será dicha turbulencia, y, de acuerdo con lo anterior, menor sería la influencia relativa de las estelas.

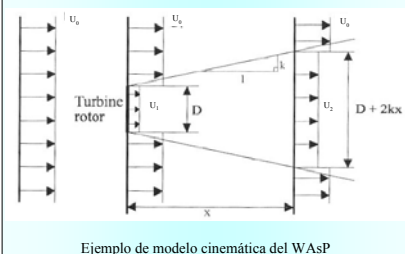
Para los parques eólicos en el mar (offshore), en que la rugosidad y la turbulencia ambiente son pequeños, y el efecto de la orografía inexistente, los efectos de las estelas pueden ser relativamente más importantes.



## Distancia entre aeroturbinas.

Si una máquina está suficientemente alejada de otra, el efecto de aquella sobre ésta será poco o nada importante. Los efectos de la máquina se hace sentir fundamentalmente en la estela aguas abajo, en la dirección del viento incidente. El defecto de velocidad que genera la máquina puede decaer a menos de un 10% de la velocidad inicial en distancias del orden de unos 6 a 10 diámetros. Sin embargo el decaimiento de la turbulencia es en distancias mucho mayores. El efecto lateral de la estela, dirección perpendicular al viento, decae a valores aceptables en distancias muy pequeñas, 1 a 3 diámetros, por lo que, en regiones donde la dirección del viento es predominante las máquinas pueden colocarse bastante juntas. En cualquier caso, los efectos de las estelas de distintas máquinas en un parque eólico se superponen y para evaluar los efectos nocivos hay que hacer los cálculos para todo el rango de velocidades y direcciones de viento incidentes

Los modelos de estelas más sencillos son los denominados cinemáticos, que presuponen la forma del perfil de velocidades y se basan en leyes simples de difusión de la estela. No suelen calcular la turbulencia, sólo el defecto de velocidad.



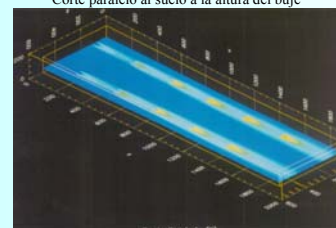
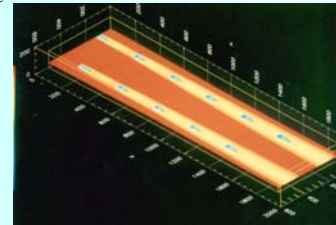
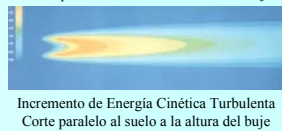
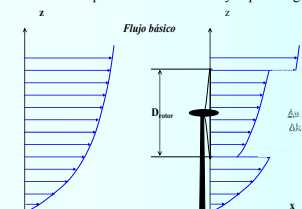
El código UPMARK, desarrollado por el laboratorio de Mecánica de Fluidos, supone que la velocidad incidente al parque es una corriente básica no-uniforme correspondiente a la capa superficial de la capa límite terrestre.

Cada máquina perturba la corriente que le llega, la básica o la perturbada por otro aerogenerador, generando un defecto de velocidad y una turbulencia que se difunden en dicha corriente, hasta que, a una distancia suficientemente grande su efecto se amortigua.

Las ecuaciones que describen el movimiento fluido son similares a las indicadas para el estudio de los efectos topográficos: conservación de masa, cantidad de movimiento, energía, conservación de la energía cinética turbulenta y de su ritmo de disipación

Se hace uso de que el problema es tratado como si fuese parabólico, de manera que no se transmite información a barlovento en la dirección del viento principal.

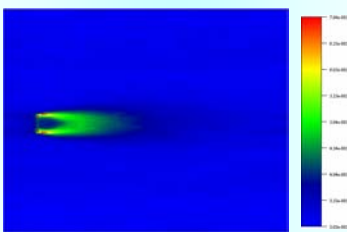
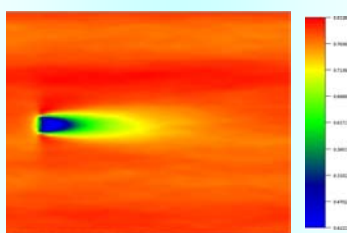
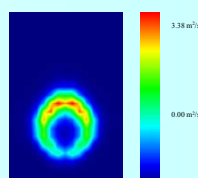
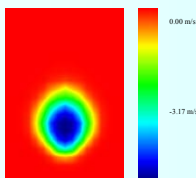
Se pueden estudiar múltiples efectos tales como la saturación de la estela (el defecto de velocidad suele saturarse cuando se superpone la estela de un par de máquinas, mientras que la turbulencia precisa un número mayor para llegar a su máximo) o el cumplimiento de la normativa de clases de aerogeneradores.



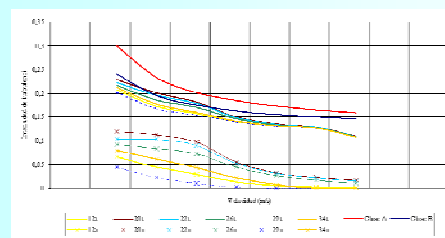
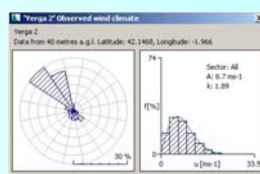
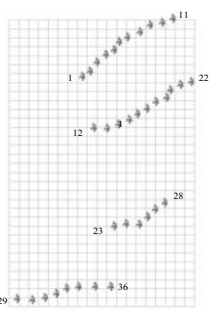
La tendencia actual, también empleada en la ETSII de la UPM, es emplear modelos LES, que suponen una ley para las escalas más pequeñas de la turbulencia, puesto que tienen un carácter más universal, pero resuelven las grandes, más dependientes de las condiciones de contorno.

La limitación para su desarrollo es que precisan mucho más tiempo y recurso informático para su empleo.

Actualmente no son capaces de estudiar todo un parque eólico, sino solamente un par de máquinas interactuando.



Una máquina que en ausencia de estelas cumple con la normativa puede dejar de hacerlo cuando esté sometida a la interferencia de otras



Otra forma de tratar la estela es mediante ensayos a escala, realizados por ejemplo en la E.T.S.I. Aeronáuticos de la UPM. Los resultados suelen ser más limitados por problemas de ajustes de escalas

