
EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ESTELA EN EL DESEMPEÑO DE UN PARQUE EÓLICO

Carlos Méndez,
e-mail: carlos.mendez@comelecinc.com
Francisco González-Longatt,
e-mail: francisco.gonzalez-longatt@manchester.ac.uk
Enrique Gavorskis,
e-mail: e.gavorskis@hotmail.es
Oswaldo Ravelo,
e-mail: oravelo@usb.edu.ve

Resumen: *El proceso de transformación que efectúan las turbinas de viento extrae energía cinética del viento incidente, como consecuencia, el viento que sale de la turbina posee menos velocidad y es turbulento. Este viento es la llamada estela. La estela tiene dos efectos sobre las turbinas aguas abajo: la turbulencia aumenta los esfuerzos mecánicos en la turbina acortando su vida útil, y la disminución en velocidad disminuye la producción de las turbinas aguas abajo. En este artículo se presenta un modelo simple para el cambio de la velocidad del viento producto del efecto de la estela. El efecto ha sido considerado incluyendo el posible cambio de dirección del viento. El modelo ha sido implementado en un programa en Matlab® y se ha evaluado el desempeño sobre una granja de viento. Simulaciones demuestran que el cambio de dirección del viento tiende a aumentar la potencia total producida por el parque.*

Palabras claves: *Estela, energía del viento, granja de viento, modelación, simulación.*

1 INTRODUCCIÓN

El viento provee una rica fuente energética al cual junto con otras fuentes renovables, debe ser explotado más para lograr los principales restos en el mundo actual. La industrialización está causando una demanda por energía que esta que los suministros fósiles son insuficientes para cumplir con ello a largo plazo [1]. Siguiendo debates en calentamiento global, muchas naciones han ajustado sus objetivos para estabilizar los niveles de emisiones de gases de invernadero provenientes de la quema de los combustibles fósiles [2]. Hay un llamado al suministro sustentable y limpio de energía [3].

La capacidad de energía eólica a nivel mundial está en rápido crecimiento. En 2003 la capacidad instalada de energía creció aproximadamente 40GW [4]. Escenarios optimistas apuntan a una elevada integración de energía eólica de tipo costa afuera (offshore), especialmente en Europa donde se esperan que se instalen 10 GW para el 2010. [5].

La electricidad generada por la turbina de viento impulsando un generador es en una forma similar que las plantas hidroeléctricas y que queman carbón con excepción que la fuente de energía primaria es el viento (en vez de agua o vapor) que hace mover las palas de la turbina de viento y fuerza el eje del generador a rotar.

El proceso de transformación energético que tiene lugar en

la turbina de viento, obliga a que el viento que deja la turbina pierda cierta cantidad de energía contenida como parte de la energía que es transformada en energía cinética en el rotor de la turbina [6]. El viento que sale del rotor de la turbina es tanto reducido en velocidad como turbulento. El viento detrás del rotor de la turbina es llamado la estela [7].

Un efecto de la estela incluye la reducción de la velocidad lo cual causa una reducción de la potencia de salida de las turbinas agua abajo. La turbulencia en el viento causa que las turbinas agua abajo estén sometidas a esfuerzos mecánicos adicionales que reducen su vida útil. A fin de reducir el efecto de la estela de las turbinas agua arriba causan, las turbinas de viento deben estar separadas entre 5 a 9 veces el diámetro de rotor las unas de las otras en la dirección prevaeciente del viento y alrededor de 3 a 5 veces el diámetro del rotor para los vientos proveniente de direcciones perpendiculares.

El objetivo de este artículo es presentar el efecto que tiene la estela en el desempeño en régimen estacionario de un parque eólico. Para ello inicialmente se explica el concepto de una estela, para luego presentar la modelación del mencionado efecto. Aspectos teóricos de la modelación de la estela son presentados en el caso general y se ha considerado los efectos de cambio de altura y cambios de dirección. Finalmente, el modelo ha sido implementado en un programa en Matlab®, con el cual se ha efectuado simulaciones sobre una hipotética granja de viento; dos casos se han considerado, con y sin variación de la dirección. Las simulaciones han demostrado que la producción total de potencia en el parque eólico ha sido afectada.

2 ESTELA

Cuando el viento pasa a través de un aerogenerador, la turbina de viento transforma una cierta cantidad de la energía cinética contenida en el viento en energía mecánica, que se entrega a una cierta velocidad de giro en el eje de la turbina. En tal sentido, el viento aguas arriba y aguas debajo de la turbina de viento posee cantidades diferentes de energía, lo que corresponde un cambio en las condiciones del viento.

La estela es una región espacial con una velocidad de viento menor y con diámetro un poco mayor a la del aerogenerador en estudio [7].

Una turbina eólica a medida que extrae energía del viento

va dejando una estela caracterizada por reducir la velocidad del viento y un incremento de turbulencia. Si una turbina de viento se encuentra trabajando dentro de la región de la estela de otra, o en un punto dentro del parque eólico donde se ve afectada por varias de estas estelas, entonces la turbina producirá menos energía que aquellos aerogeneradores que interactúan directamente con el flujo de viento natural [7].

La estela y el flujo de viento que lo rodea se mezclan y la región de mezclado se expande hacia el centro de la estela y hacia los extremos de la misma (ver Figura 1), lo que hace que la velocidad del viento incremente, de esta manera la falta de velocidad en la estela es consumida y la misma se vuelve más amplia pero con menor efecto hasta que el flujo del viento se recupera aguas abajo [7].

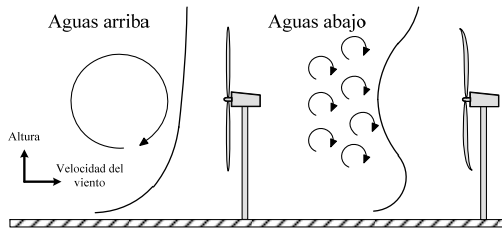


Figura 1. Interacción de la estela con el flujo de viento del ambiente

Además de la turbulencia mencionada anteriormente, la turbina genera una turbulencia mecánica producida por la interacción del aerogenerador con el viento, este componente mecánico de la turbulencia es de alta frecuencia y disminuye rápidamente. En el año 1983 un modelo teórico de éste fenómeno fue desarrollado por Bossanyi [7], el cual describe como esta turbulencia adicional disminuye, dicha explicación teórica indica que la energía turbulenta se mueve hacia frecuencias cada vez mas grandes hasta que eventualmente desaparece, además Bossanyi indica que a medida que la velocidad.

2.1 REGIONES DEL EFECTO ESTELA

Las regiones donde se observa el efecto estela, son básicamente dos. La primera es el flujo en un terreno cercano a la localidad del rotor de una turbina, la segunda es una región aguas abajo lejana a la ubicación de la turbina, donde la velocidad reducida del viento es necesaria para el cálculo de la producción energética de los aerogeneradores aguas abajo [8].

2.1.1 TERRENO CERCANO

En el caso del terreno o campo cercano el efecto estela puede ser descrito en términos ciertas propiedades del flujo del viento (ver Figura 2), T que es el empuje de la turbina se encuentra expresado en función del coeficiente de empuje C_T , además se tiene la inducción de un factor a al cual se encuentra relacionado con la velocidad del viento que se encuentra inmediatamente después del rotor de la turbina U_{w0} y la velocidad de viento incidente (viento sin efecto estela) U_0 [8].

Además de los factores mencionados anteriormente se debe observar la expansión del área inmediatamente después

del rotor (A_{SHADOW} en la Figura 2) relacionado con el área del rotor A_R pasando por el coeficiente de expansión β , el cual a su vez se encuentra relacionado con a como se puede observar en (5). Por último se debe tomar en cuenta el área de expansión total del flujo ΔA_T [8].

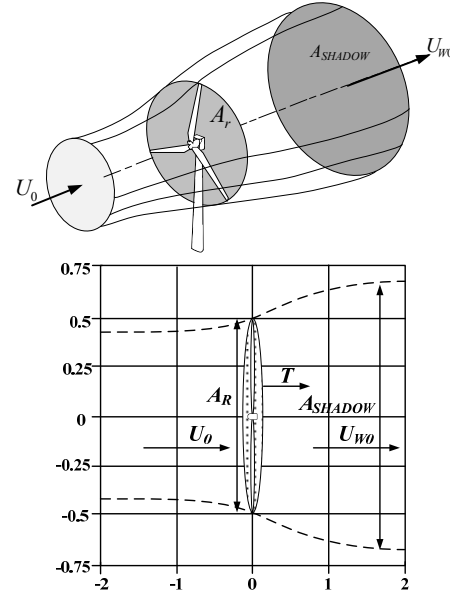


Figura 2. Efecto Estela alrededor del rotor de un aerogenerador, Región de Terreno Cercano

En base a las propiedades mencionadas anteriormente tomando como referencia la Figura 2 se obtienen un conjunto de ecuaciones las cuales conllevan a la obtención del área de expansión total del flujo del viento para el caso del campo cercano [8].

$$T = \frac{1}{2} \rho C_T U_0^2 \quad (1)$$

$$U_{w0} = (1 - a) U_0 \quad (2)$$

$$a = 1 - \sqrt{1 - C_T} \quad (3)$$

$$A_{SHADOW} = \beta A_R \quad (4)$$

$$\beta = \frac{1 - \frac{1}{2} a}{1 - a} \quad (5)$$

$$\Delta A_T = A_R a \beta \quad (6)$$

En (1) se observa como el valor de T depende además de C_T y el cuadrado de U_0 de la densidad del aire ρ , además se observa la interacción entre todos los parámetros presentes en la Figura 3 y se muestra como la velocidad después del rotor de la turbina es menor a la incidente, ya que, el valor del factor a será inferior a la unidad, como se indica en (3).

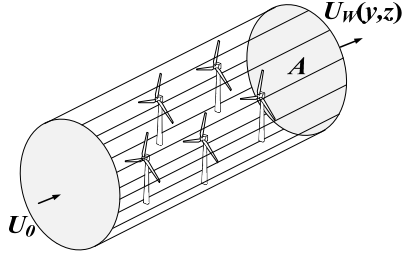


Figura 3. Volumen de control cilíndrico alrededor de un conjunto de turbinas

2.1.2 TERRENO ALEJADO

En el caso del terreno lejano o alejado se aplica un volumen de control en forma de cilíndrico alineado con la dirección del viento (U_0), dicho cilindro tiene todas las turbinas de viento en estudio y debe ser lo suficiente mente amplio para que el déficit de velocidad en la dirección del viento sea muy pequeño en la superficie cilíndrica [2].

A pesar de la presión a gran escala de gradientes y las fuerzas compartidas que se encuentran dentro del cilindro, las ecuaciones de balance del volumen y de momento para el volumen de control implica que el terreno o superficie del flujo $U_w(y,z)$ en alguna posición aguas abajo se encuentra relacionado mediante la suma del empuje de las turbinas a través de (7), también puede ser expresada en términos del déficit de la velocidad relativa, la cual se obtiene a través de (8) como se muestra en (9) [8].

A partir del el teorema del momento [11], se procede a plantear los momentos en regiones espaciales antes y después de la turbina de viento. La sumatoria de los momentos después de ocurrido dicho suceso, lo que implica una conservación de momentos [10]. En tal sentido resulta:

$$\rho\pi r_x^2 = \rho\pi r_t^2 v_t + \rho\pi(r_x^2 - r_t^2)v \quad (7)$$

$$\frac{dr_x}{dt} = k(\sigma_t + \sigma)$$

$$\frac{dr_x}{dt} = \frac{dr_x}{dt} \frac{dt}{dx} = \frac{k(\sigma_t + \sigma)}{v_s}$$

donde se tiene que v_s es la velocidad del viento promedio, mientras que σ y σ_t son la desviación de la media cuadrática de la turbulencia natural y la turbulencia causada por la turbina de viento aguas arriba respectivamente. En éste modelo se tiene que el coeficiente de disminución (k_w) de estela es el mostrado en (8):

$$k_w = \frac{k(\sigma_t + \sigma)}{v_s} = \frac{1}{2 \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} \quad (8)$$

donde z_0 es el roughness o rugosidad de la superficie del

terreno. Mediante el uso del coeficiente de alzamiento y arrastre c , se puede calcular la velocidad v_x en la turbina aguas abajo considerando el efecto estela, debido al aerogenerador ubicado aguas arriba. Esta relación se observa en (9) [11].

$$v_x = v \left[1 - \left(1 - \sqrt{1 - c} \right) \frac{1}{(k_w m)^2} \right] \quad (9)$$

donde m es el radio de la distancia entre los aerogeneradores aguas arriba y aguas abajo en el parque eólico y el diámetro de las turbinas.

3 MODELO DEL EFECTO DE LA ESTELA

3.1 MODELO JENSEN CON VELOCIDAD DE VIENTO RECORTADA

Cuando la superficie del terreno no es idealmente plana y/o las alturas de las góndolas de los aerogeneradores son diferentes (como se observa en la Figura 4), es necesario considerar el efecto de la velocidad de viento recortada, es decir una velocidad menor a la incidente producto del efecto estela.

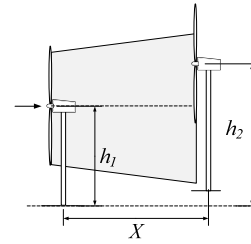


Figura 4. Aerogeneradores con alturas de góndolas distintas (modelo Jensen con velocidad de viento recortada)

Para el cálculo de la velocidad del viento de los aerogeneradores aguas abajo se emplea el modelo de Jansen basado en (7). Sin embargo, al no poseer la misma altura (ver Figura 4) se debe tomar en cuenta la variación de la velocidad con respecto a la altura. Para ello se considera la variación exponencial de la velocidad del viento por el modelo de Hellmann [11], [13], mostrado en (10).

$$v_2 = v_1 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad (10)$$

Utilizando (7) y (8) se puede obtener la velocidad del viento de los aerogeneradores aguas abajo mediante la aplicación de la ecuación (9) [11].

Combinando (9) y (10) se puede obtener la velocidad del viento de los aerogeneradores aguas abajo incluyendo el efecto de la turbulencia del modelo de Jensen y la variación de la velocidad con la altura [9],[11].

$$v_s = v \left[1 - \left(1 - \sqrt{1-c} \right) \frac{1}{(k_w m)^2} \right] \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad (11)$$

3.2 MODELO DEL EFECTO ESTELA DETALLADO

En un parque eólico existan varios aerogeneradores, de modo que la interferencia en la velocidad del viento y las turbulencias de varias turbinas de viento aguas arriba que también afectan al aerogenerador aguas abajo en estudio [14].

Para comprender esta situación considérese seis aerogeneradores, denotados por: a, b, c, d, e, f como se muestra en la Figura 5(a).

Supóngase que el viento no perturbado llega a este parque eólico en sentido de izquierda a derecha. En este caso, el viento que alcanza la turbina e, será perturbado no solo por no solo por el aerogenerador aguas arriba que se encuentra directamente antes de él, como lo es a, sino, que también se ve afectada por otras turbinas como lo son c y d.

De igual modo, el aerogenerador f se ve afectado por las turbinas a y b (y el que se encuentra exactamente frente a él que es la turbina d). Por lo tanto se debe construir un modelo del efecto estela detallado, con las áreas de las sombras causadas por todos los aerogeneradores ubicados aguas arriba [13].

Para evaluar el efecto de la estela, se considera la proyección del cono representativo del comportamiento de expansión y cambio de velocidades en la ubicación de la turbina donde se desea estudiar el efecto de múltiples turbinas. Por simplicidad supóngase que se evalúa el comportamiento entre dos turbinas. En la Figura 5(b) se muestra el plano de intercepción de las dos turbinas consideradas.

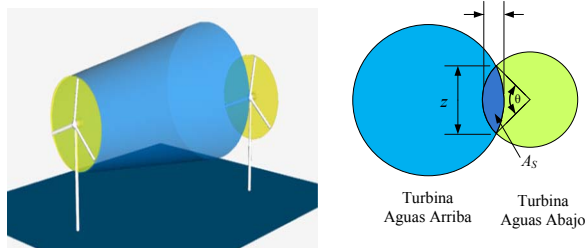
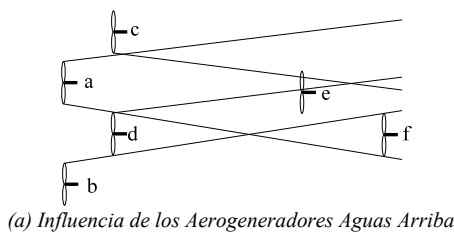


Figura 5. Modelo del Efecto Estela Detallado

Cuando las áreas se solapan se produce un efecto de

interferencia entre estelas. El área de intercepción puede ser llamada área de sombra A_s . Dependiendo del tipo de interferencia es posible que el área será menor o mayor a la mitad del área del aerogenerador aguas arriba, o igual al área del mismo. En la Figura 5(b) se ha supuesto que todos los aerogeneradores poseen turbinas con el mismo diámetro. El área de la sombra puede ser calculada a partir de trigonometría elemental:

$$A_s = \theta R^2 - \frac{1}{2} dz \quad (12)$$

En tal sentido, al incorporar todos los factores y considerando la se tiene:

$$v_s = v \left[1 - \sum_{i=1}^n \left(1 - \sqrt{1-c} \right) \frac{1}{(k_w m)^2} \frac{A_{Si}}{A} \right] \quad (13)$$

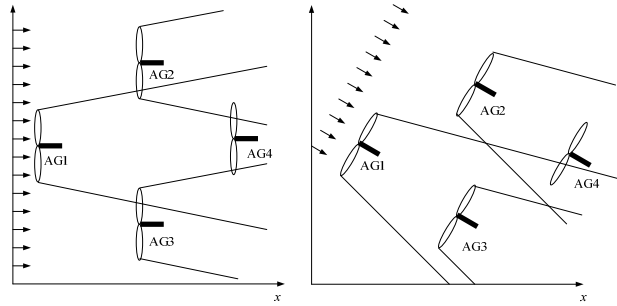
Finalmente si se toma en cuenta el efecto de la velocidad de viento compartida, (12) puede ser modificada resultando (14) [11].

$$v_s = v \left[1 - \sum_{i=1}^n \left(1 - \sqrt{1-c} \right) \frac{1}{(k_w m)^2} \frac{A_{Si}}{A} \right] \left(\frac{h_x}{h} \right)^\alpha \quad (14)$$

En efecto se tiene que (14) representa la interacción de varios aerogeneradores aguas arriba con respecto a una turbina aguas abajo, ya que, puede darse dicho caso, por lo que la turbina aguas abajo se verá afectado por varias A_s y en efecto una disminución de velocidad mucho mayor.

3.3 EFECTO DE LA VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO

El estudio horario de la velocidad y dirección del viento es requerido para evaluar la cantidad de generación de un parque eólico [6]. Ya el estudio del comportamiento vertical del viento se aclaró anteriormente, al implementar la ley exponencial de Hellmann la cual se encuentra expresada en (13), sin embargo, la dirección del viento también es un factor de relevancia al momento de estudiar parques eólicos debido a que el efecto de la estela varía con respecto a ésta, debido a que las turbinas que se encuentran aguas arriba del resto de los aerogeneradores no siempre afectarán a las mismas turbinas (ver Figura 6), por lo que la velocidad que le llegar a ciertos aerogeneradores podría ser en algunos casos menores como podrán ser mayores, dependiendo de la dirección del viento.



(a) Efecto de la Estela sin cambio de dirección (b) Efecto Estela con cambio de Dirección
 Figura 6. Cambio del Efecto Estela con la dirección del viento

La Figura 6 muestra un ejemplo de la variación de la estela con respecto a la dirección del viento, considerando que los aerogeneradores poseen un sistema de direccionamiento para colocarse de frente al viento, se tiene que al variar la dirección las turbinas 1 y 2 no se ven afectadas por ninguna estela mientras que en el caso original, cuando el viento proviene directamente del Oeste sólo la turbina 1 no se ve afectada por ninguna estela.

Por tanto se debe decir que la disminución o incremento de la velocidad del viento y por ende de la potencia generada por aerogenerador, no depende sólo de la altura al cual se encuentran las turbina y la distribución de las misma dentro del parque eólicos, sino, que también depende del ángulo con el cual el viento incide a dicho parque, debido a que éste influye directamente con el comportamiento de la estela generada por cada turbina y así aumentar o disminuir el impacto que éste origina al resto de las turbinas.

4 CASO DE ESTUDIO

A fin de estimar el comportamiento del efecto de la estela dentro de un parque eólico se procede a considerar un caso de estudio de un hipotético. Se trata de un parque eólico constituido por seis (06) aerogeneradores, con una distribución como es mostrada en la Figura 7, los detalles de coordenadas son mostradas en la Tabla 1. Se considera que todos los aerogeneradores son iguales, y que poseen aun eje (*hub*) a una altura de 60 m sobre el terreno y el diámetro de la turbina es de $d_0 = 61\text{m}$.

Cada turbina es caracterizada por un coeficiente de empuje $C_T = 0.5$; radio de la turbina con la velocidad incidente. El radio de cada turbina es $r_0 = 30.5\text{ m}$ lo que implica que el área total de barrido de la turbina es $A_0 = 2922.47\text{ m}^2$.

Se considera que la velocidad de viento incidente, proveniente del Oeste o parte frontal del parque eólico, en el sentido del eje x (ver Figura 8). Esta velocidad de viento esta medida a una altura de 55m y corresponde a $v_0 = 8.5\text{ m/s}$; el ángulo de expansión de la estela al presentar sólo el flujo del viento natural es de $\alpha = 0.1\text{ rad}$.

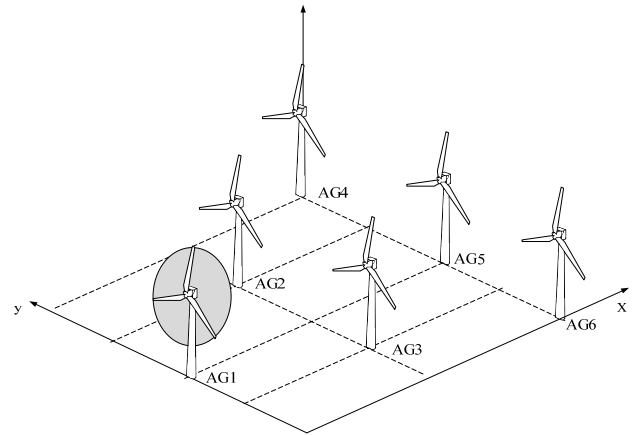


Figura 7. Distribución de Aerogeneradores estudiado

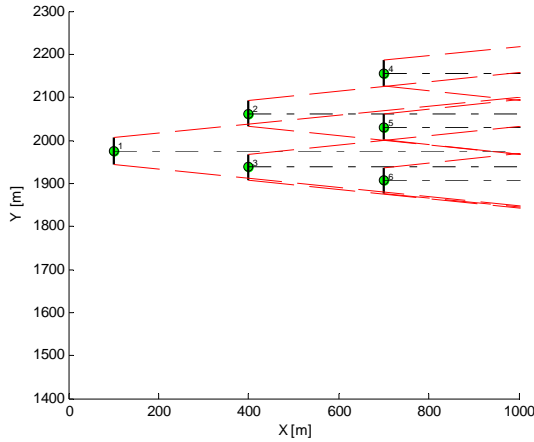
Tabla 1
Ubicación de los Aerogeneradores

Aerogenerador	Ubicación [m]		
	X	Y	Z
1	100	1975	55
2	400	2062.5	55
3	400	1937.5	55
4	700	2156.25	75
5	700	2031.25	75
6	700	1906.25	75

Se ha considerado que se trata de un tipo de terreno poco accidentado, de modo que para trasladar la velocidad del viento a otras alturas se emplea un exponente de la ley de potencia es de $\sigma = 0.15$.

4.1 CASO I: EFECTO DE LA ESTELA SIN CAMBIO EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO

Una vez conocida la disposición de los aerogeneradores y los datos asociados al caso de estudio se procede al cálculo del efecto que tiene la estela sin considerar cambio de dirección del viento. En la Figura 9 se muestra la distribución de las estelas para el caso estudiado, en dicha figura se logra a observar como los Aerogeneradores 1 y 4 no se ven afectadas por ninguna estela, solo por el viento no perturbado, por lo que la velocidad incidentes en ellas es v_0 para 1 mientras que para 4 es el valor de v_0 multiplicado por el factor de corrección de velocidad con respecto a la



altura.

Figura 8. Comportamiento del Efecto Estela dentro del Parque Eólico. Caso I

Aplicando las ecuaciones definidas en la sección III se obtienen los valores de la velocidad incidente (v_i) en cada turbina (ver Figura 8 y Tabla 2). El factor de estela (FE) es la proporción del cambio de la velocidad incidente no perturbada y perturbada.

Tabla 2
Velocidad Incidente de los Aerogeneradores y Factor de Estela, Caso I

AG	v_i	FE
1	8.5	1
2	8.488	0.9986
3	7.9255	0.9324
4	8.9048	1.0476
5	8.0023	0.9414
6	8.0476	0.9447

Finalmente para el parque eólico considerado se tiene que la producción de total es de $P_x = 0.9575$ p.u. indicando de esta manera que considerando un viento en dirección de 0° el parque en estudio presenta una generación del 95.7% de la potencia que tendría el parque si no existiera el efecto estela. En tal sentido, se muestra claramente que el efecto de la estela es una reducción en la utilización de la energía contenida en el viento.

4.2 CASO II: EFECTO DE LA ESTELA CONSIDERANDO EL CAMBIO DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO

A partir del caso de estudio inicial se procede a considerar que el viento proviene de una dirección equivalente a un ángulo de $\theta = 30^\circ$, medidos en sentido antihorario sobre el eje x. En la Figura 9 se muestra la variación de la estela con respecto al Caso I, ya que en este caso las turbinas 1, 3 y 6 no se ven afectadas por ningún aerogenerador aguas arriba. Ahora en base a la variación del ángulo se procede al cálculo de los distintos parámetros necesarios para la cuantificación del valor de la velocidad incidente en cada turbina (v_i), igual a lo realizado en para el caso anterior, obteniendo lo mostrado en la Tabla 3.

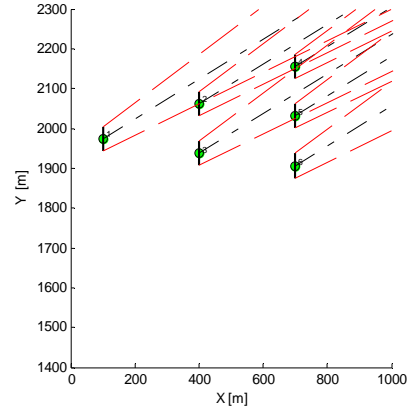


Figura 9. Comportamiento del Efecto Estela dentro del Parque Eólico. Caso I

Tabla 3
Velocidad Incidente de los Aerogeneradores y Factor de Estela, Caso II

AG	v_i	FE
1	8.5	1
2	8.379611	0.985519
3	8.5	1
4	8.256997	0.971411
5	8.745010	1.028825
6	8.904791	1.047622

Los resultados del cambio de dirección del viento muestran dos turbinas que no resultan afectadas por el efecto de la estela. Al calcular la producción total de potencia en el parque se tiene que resulta $P_x = 0.9825$ p.u., en este caso la producción es equivalente a un 98.25% del que correspondería a un parque eólico donde no existiera el efecto de la estela.

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADO

Una vez finalizado el estudio del comportamiento de la estela dentro de un parque eólico se tiene, que éste afecta directamente a la capacidad de generación del parque, loas casos de estudios planteados se muestra que en el Caso II donde se considera un cambio de dirección del viento la productividad del parque es mayor a la consideración de viento a dirección 0° (Caso I). Esto se debe a que al variar el ángulo de incidencia del viento la cantidad de turbinas afectadas por la estela disminuye, dejando la velocidad del viento sin perturbar en consecuencia aumentando la capacidad de generación de las mismas.

Por otra parte se nota que al variar el valor de la altura del buje (*hub*), es decir, al cambiar la ubicación en el eje z, se nota como el valor de factor de estela se incrementa resultando valores superiores a la unidad, dando a conocer que el valor de la velocidad presenta una mejora con respecto a la velocidad no perturbada, esto encuentra pleno sustento en la variación (teórica) de la velocidad con la altura, Ley Exponencial de Hellmann.

5 CONCLUSIONES

En el presente artículo se estudió el efecto de la estela dentro de un parque eólico, en el cual se logró observar que la ubicación de los aerogeneradores presentan una gran importancia, debido a que dependiendo de la distribución de un parque eólico se puede presentar mayor o menos disminución en la velocidad, ya que un aerogenerador puede presentar un mayor o menor interferencias.

En los casos estudiados se observó como al variar la dirección del viento varía el comportamiento del efecto estela dentro del parque eólico. Este efecto es individual al modificar la velocidad incidente en cada turbina y al mismo tiempo afectando la producción de potencia total del parque.

Para el Caso I se observó cómo hay dos turbinas las cuales no son perturbadas por estela alguna, mientras que en el Caso II se tienen tres turbinas las cuales no se ven afectadas por estelas, en tal sentido el cambio de dirección del viento ha sido especialmente ventajoso pues se logra una mayor producción de energía en el parque bajo estas condiciones comparada al Caso I, aunque siempre el desempeño va a ser menor que si no se considera el efecto de la estela.

Se debe evidenciar que no se debe subestimar el efecto de la estela en la producción de un parque eólico. De igual manera se debe indicar que es ventajoso profundizar la investigación de este efecto, para que al momento de implementar cualquier parque eólico se tome en cuenta el efecto directo que produce la estela, para así colocar una topología en el cual se aproveche al máximo el recurso eólico disponible.

6 Referencias Bibliográficas

- [1] WEC Website (online). **Survey of energy resources**. London, UK' WEC <http://www.worldenergy.org/wecgeis/publications/reports/ser/overview.asp>, consultado en Agosto de 2009.
- [2] WEC Website (online). **Energy for tomorrow's world—acting now!** London, UK' WEC http://www.worldenergy.org/wecgeis/publications/reports/etwan/exec_summary/exec_summary.asp, consultado en Agosto de 2009.
- [3] WEC Website (online). **WEC statement 2003—renewable energy targets**. London, UK' WEC <http://www.worldenergy.org/wecgeis/publications/statements/stat2003.asp>, consultado en Agosto de 2009.
- [4] IEA. Website (online). **IEA Wind Energy Annual Report 2003. International Energy Agency Executive Committee for the Implementing Agreement for Cooperation in the Research and Development of Wind Turbine Systems**. http://www.ieawind.org/annual_reports.html, consultado en Septiembre de 2009.
- [5] EWEA Website (online). **Security of energy supply: Offshore wind can be the answer to Europe's energy crunch**. News release at. www.ewea.org, consultado en Septiembre de 2009.
- [6] T. Ackermann, "Wind Power in Power Systems," John Wiley and Sons, 2005.
- [7] Burton, Tony; Sharpe, David; Jenkins, Nick; and Bossanyi Ervin. **Wind Energy Handbook**. John Wiley and Sons. 2003.
- [8] O. Rathmann, S Frandsen y R. Barthelmie. "Wake Modelling for intermediate and large wind farms". **Conferencia y Exhibición de Energía Eólica, EWEC 2007**.

- [9] R. A. Rivas Ecofys. "**Optimization of Offshore Wind Farm Layouts**". International BV. Septiembre 2008.
- [10] B.M. Yavorski, A.A. Detlaf. **Manual de Física**, Editorial MIR, Moscú 1977.
- [11] Xinyan Zhang y Weiqing Wang. "**Wind Farm and Wake Effect Modeling for Simulation of a Studied Power System**". Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE apos;09. IEEE/PES Volume , Issue , 15-18 March 2009.
- [12] Fernández, P. **Energía Eólica**. Antecedentes Históricos y Fuentes Eólicas. Universidad de Cantabria. Departamento de Energía Eléctrica y Energética. España 2002.
- [13] Bañuelos F., Angeles C., Serrano J. y Muciño D. "**Análisis y Validación de Metodología Usada para la Obtención de Perfiles de Velocidad de Viento**". Reunión del Capítulo de Potencia IEEE, Mexico, 2008.
- [14] H. S. Huang y C. T. Chiang. "Reliability worth Assessment of Distribution System with Large Wind Farm Considering Wake Effect". IEEE Power India Conference, 2006.