



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL ROSARIO

ALGORITMOS GENÉTICOS - 2022

OPTIMIZACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA DE UN PARQUE EÓLICO

GRUPO 8
ALUMNOS

Ortega Coldorf, Juan Cruz
Legajo 44904
Comisión 3E03
juancruzortegacoldorf@gmail.com

Berruti, Octavio
Legajo 45332
Comisión 3E03
octavioberruti8@gmail.com

Schiavoni, Franco
Legajo 44896
Comisión 3E03
francoschiavo07@gmail.com

DOCENTES

Diaz, Daniela

Lombardo, Víctor Hugo

ABSTRACT

El presente trabajo tiene por objetivo optimizar la generación de energía de un parque eólico de manera de obtener la mayor potencia generada a través de la disposición de aerogeneradores.

Keywords Trabajo Práctico · Algoritmos Genéticos · Python · UTN · Investigacion · Parques Eolicos · Optimizacion

Índice

1. Proyecto de Investigación	3
2. Situación Problemática	3
3. Problema	3
4. Objetivos de la investigación	3
4.1. Objetivo General	3
4.2. Objetivos Específicos	3
5. Marco Teórico	3
5.1. Introducción	3
5.2. Componentes del Modelo	3
5.2.1. Aerogeneradores	3
5.2.2. Potencia	4
5.2.3. Efecto estela	5
5.2.4. Modelo efecto estela simple	5
5.3. Influencia de la superficie terrestre sobre la velocidad del viento	6
5.3.1. Rugosidad del terreno y longitud de rugosidad	6
5.3.2. La influencia de los obstáculos	8
5.3.3. La orografía del área	9
5.4. Marco legal	10

1. Proyecto de Investigación

Disposición de Aerogeneradores para la optimización de energía eólica mediante algoritmos genéticos.

2. Situación Problemática

La construcción de parques eólicos está destinada a incrementarse en los países que buscan la sustentabilidad ambiental. Dentro del panorama de las energías renovables, la eólica es una de las que más se está usando en la Argentina. Por supuesto, es fácil tener acceso a la fuente, que es el viento. Pero además, para poder obtener resultados, es fundamental el buen funcionamiento de los aparatos que consigan capturar esa energía y retenerla para que pueda ser utilizada.

Una etapa importante en la construcción de parques eólicos es resolver el problema de optimización del diseño del parque, el cual consiste en distribuir un conjunto de aerogeneradores de tal manera que las pérdidas de energía ocasionadas por los efectos estela se minimicen y la producción de energía esperada se maximice. El efecto estela es un fenómeno que debe ser tomado en cuenta para obtener la mejor configuración de un campo eólico. Este problema es considerado por la comunidad científica como un problema de optimización NP-Duro, causando suma atención y relevancia.

Ahora bien, para lograr el objetivo especificado se presenta el problema de desarrollar e implementar el modelo matemático para un parque eólico, teniendo en cuenta tanto el efecto de estela simple, la potencia del aerogenerador seleccionado, como la incidencia del viento sobre las turbinas. También se deberá de determinar la función objetivo según el análisis realizado, la función de aptitud y todos aquellos parámetros necesarios para poder implementar el modelo.

Consideraciones Generales:

- Modelo de aerogenerador, elegir los cuales puedan ser utilizados en la República Argentina, de acceso o fabricación nacional u otro que considere oportuno fundamentando la elección.
- El parque eólico debe poder ser instalado en la provincia de Santa Fe, analizar los diferentes vientos en la provincia y simular la ubicación del mismo en la zona más acorde.
- Evitar que dos molinos adyacentes interfieran mutuamente con su funcionamiento entre molinos.
- El viento sin perturbar se mantiene constante y proviene de una sola dirección y puede dejarse planteado para modificar las direcciones y velocidades del viento.
- Un terreno puede tener una cantidad máxima de 25 molinos.
- Considerar la rugosidad del terreno en el desarrollo. Cuanto mayor es la longitud de rugosidad del terreno menores velocidades de viento se tiene a una determinada altura, en consecuencia menor es la cantidad de energía que se puede obtener.

3. Problema

¿Cómo optimizar la generación de energía de un parque eólico de manera de obtener la mayor potencia generada a partir de la distribución de los aerogeneradores que lo componen?

4. Objetivos de la investigación

4.1. Objetivo General

- Obtener una disposición de aerogeneradores en un parque eólico determinado para optimizar la generación de energía.

4.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un algoritmo genético acorde al problema usando el lenguaje de programación Python.
- Desarrollar un modelo matemático del parque eólico y determinar la función objetivo.
- Generar conclusiones sobre la aplicación de algoritmos genéticos a este problema.
- Comunicar fehacientemente los resultados obtenidos.

5. Marco Teórico

5.1. Introducción

En esta sección se detallarán características fundamentales pertinentes a los aerogeneradores y su respectiva colocación en un parque eólico. Esta información será necesaria para la comprensión y formulación del modelo matemático utilizado para la elaboración del algoritmo genético.

5.2. Componentes del Modelo

5.2.1. Aerogeneradores

Un aerogenerador cumple la función de transformar energía cinética del viento, energía eólica, en energía mecánica para luego convertirla en energía eléctrica.

Existen dos tipos de turbinas eólicas en el mercado: de eje vertical y de eje horizontal. En este caso, nos centraremos en el segundo tipo, dado que todos los aerogeneradores comerciales conectados a la red se construyen actualmente con un rotor tipo hélice de eje horizontal.

Los aerogeneradores de eje horizontal son aquellos que poseen el eje de rotación del equipo paralelo al suelo. Dada su confiabilidad, su eficiencia y su capacidad de adaptación a diferentes potencias, es la tecnología que predomina.

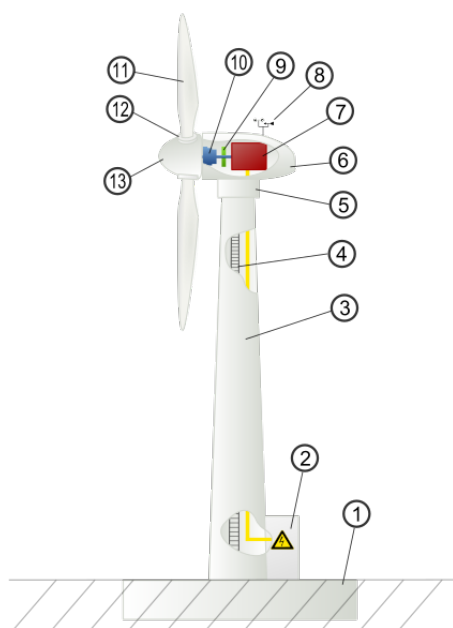


Figura 1: Esquema de aerogenerador de eje horizontal.

1. **Suelo**
2. **Conexión a la red eléctrica (Celda de Media Tensión (MT))**
3. **Torre:** Los vientos de mayor intensidad están ubicados a grandes alturas, con la implementación de la torre el generador se ubica a una mayor altura que no solo permite el giro de las palas, sino que también transmite las cargas del equipo al suelo.
4. **Escalera de acceso**
5. **Sistema de orientación (Sistema Yaw):** Los aerogeneradores de eje horizontal necesitan de algún mecanismo para orientar el conjunto góndola-rotor eólico, de tal forma que la dirección del viento sea perpendicular al plano de giro del rotor eólico. Esta tarea la lleva a cabo el sistema de orientación del aerogenerador, el cual, tiene como función realizar movimientos de rotación de la combinación rotor/góndola sobre el eje de la torre. A este movimiento se le conoce como “movimiento en yaw” y es un importante grado de libertad en la dinámica de sistemas. El ángulo que existe entre el eje horizontal del rotor eólico y la dirección del viento se denomina “ángulo yaw”. Mientras menor sea este ángulo, mayor será la potencia entregada por el aerogenerador.
6. **Góndola (Nacelle):** sirve de alojamiento para los elementos mecánicos y eléctricos (multiplicadora, generador, armarios de control, etc.) del aerogenerador.
7. **Generador:** existen diferentes tipos dependiendo del diseño del aerogenerador. Pueden ser síncronos o asíncronos, jaula de ardilla o doblemente alimentados, con excitación o con imanes permanentes. Lo podemos definir como la parte del aerogenerador que convierte la energía en electricidad.

8. **Anemómetro y Vela:** El anemómetro y la vela se usan para medir la velocidad y la dirección del viento y conectar o parar el aerogenerador dependiendo de ello, girándolo y orientándolo dependiendo de su dirección.

9. **Acoplamiento Flexible**

10. **Tren de potencia:** Es el encargado de transmitir la energía producida por el giro del rotor al motor de una forma aprovechable por esta para la generación de energía eléctrica. Está formado por el eje principal, caja multiplicadora y eje secundario.

11. **Palas:** En conjunto de tres forman el rotor. Están construidas principalmente con materiales compuestos, se diseñan para transformar la energía cinética del viento en un momento torsor en el eje del equipo. Los rotores modernos pueden llegar a tener un diámetro de 42 a 80 metros y producir potencias equivalentes de varios MW. La velocidad de rotación está normalmente limitada por la velocidad de punta de pala, cuyo límite actual se establece por criterios acústicos.

12. **Buje (Sistema Pitch):** Regula la potencia de la instalación mediante la posición de las palas del rotor respecto al viento. De este modo, la eficiencia de la instalación se optimiza en relación con la fuerza del viento imperante. El sistema de pitch también puede considerarse como parte del freno.

13. **Cono:** Es la cubierta metálica con forma cónica que se encara al viento, y lo desvía hacia el tren motor. Debe tener la forma aerodinámica adecuada para impedir la formación de turbulencias.

5.2.2. Potencia

La energía cinética del aire (E) (en Julios por cada metro cúbico de aire) depende del cuadrado de la velocidad del aire (v) y de su densidad (ρ).

La potencia (w), en vatios por unidad de superficie, se puede expresar como:

$$w = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (1)$$

Por tanto, la potencia eólica a la que estará expuesta una turbina se determina multiplicando la anterior expresión por el área de barrido de la turbina, que es el círculo que abarcan las aspas. Sin embargo, no toda la potencia del aire puede ser aprovechada por el aerogenerador. El límite de potencia que puede ser extraído está dado por el límite que estableció el físico Albert Betz. El límite de Betz indica que una turbina no puede aprovechar más de un 59.3 % de la energía cinética del viento. El número (0.593) se le conoce como el coeficiente de Betz. Los aerogeneradores modernos obtienen entre un 75 % a un 80 % del límite de Betz, y una de las razones que más influye en que no se pueda alcanzar el 100 % del límite de Betz es la rugosidad del suelo. Por ello, una mayor altura del rotor y la instalación en el mar contribuyen a un mejor aprovechamiento de la energía del aire.

El limite de Betz se puede calcular a traves del coeficiente de potencia, que expresa la relacion entre la potencia generada y la potencia con la que incide el aire:

$$C_p = \frac{P_{generada}}{P_{incidente}} = 4a(1 - a)^2 \quad (2)$$

donde a es el coeficiente de induccion axial, expresado de la forma:

$$a = \frac{v_0 - v_1}{v_0} \quad (3)$$

tomando como v_0 a la velocidad incidente del viento en el rotor y a v_1 como la velocidad del viento con la que sale del aerogenerador.

Luego, de esta manera, podemos realizar la derivada de C_p con respecto a a e igualando a 0, se obtiene el punto que maximiza la funcion $C_p(a)$, que equivale a $a = 1/3$, obteniendo asi el limite expresado anteriormente $C_{p_{max}} = 0,593$.

Mas alla de esto, los fabricantes intentan general las potencias lo mas cercano posible a estos valores, por lo cual la potencia es un dato que viene especificado en las características del modelo de turbina que se va a utilizar. Por ejemplo para el modelo GAMESA G47 la potencia generada respecto a la velocidad del viento, proporcionada por el fabricante es:

Velocidad viento (u_s)	Potencia generada (P_s)
0 – 4 m/s	0 kW
5 m/s	53 kW
6 m/s	106 kW
7 m/s	166 kW
8 m/s	252 kW
9 m/s	350 kW
10 m/s	464 kW
11 m/s	560 kW
12 m/s	630 kW
13 – 25 m/s	660 kW
> 25 m/s	0 kW

Figura 2: Tabla de potencias.

En general, los aerogeneradores modernos de eje horizontal se diseñan para trabajar con velocidades del viento que varían entre 3 y 25 m/s de promedio. La primera es la llamada velocidad de conexión y la segunda la velocidad de corte. Básicamente, el aerogenerador comienza produciendo energía eléctrica cuando la velocidad del viento supera la velocidad de conexión y, a medida que la velocidad del viento aumenta, la potencia generada es mayor, siguiendo la llamada curva de potencia. Pero luego una vez superados los 25m/s el aerogenerador se detiene para evitar que se quemen componentes electronicos del generador, o excitaciones en las frecuencias de resonancia de la estructura para no causar un colapso total.

5.2.3. Efecto estela

Se define como la sombra que proyecta una turbina en la dirección e intensidad del viento, porque la turbina captura parte de la energía del viento, y origina una estela que se conoce como efecto de parque o de proximidad, obligando a separar entre sí las turbinas en un parque eólico.

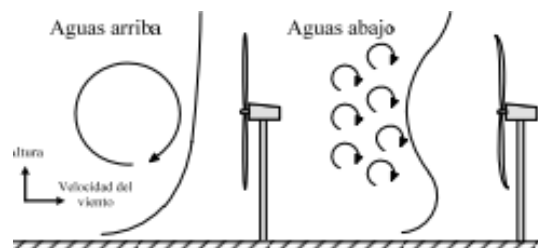


Figura 3: Interaccion de la estela con el flujo de viento del ambiente.

¿Que es la estela? Es el rastro en el fluido, en este caso aire, que deja tras de sí un cuerpo en movimiento.



Figura 4: Efecto estela.

Los aspectos que más influyen en el déficit que genera este efecto son la longitud de la estela, su intensidad y la dirección predominante del viento. Una intensidad alta significa que la atmósfera es menos estable y hay más mezcla de aire, lo que, sin embargo, puede reducir la longitud de propagación de la estela y, por tanto, influir positivamente en el rendimiento del parque.

En la actualidad, la mayoría de los ingenieros y consultores que evalúan el recurso eólico usan un valor único o, en el mejor de los casos, un promedio de dos valores ponderados de la dirección del viento y de la intensidad de la estela en sus modelos de estimación de la energía que producirá un proyecto. Pero la realidad es que la dirección del viento y el valor de intensidad varían significativamente a lo largo del día y la noche y de las estaciones.

En los parques eólicos, para evitar una turbulencia excesiva corriente abajo alrededor de las turbinas, cada una de ellas suele estar separada del resto una distancia mínima equivalente a tres diámetros del rotor. En las direcciones de viento dominante esta separación es incluso mayor.

5.2.4. Modelo efecto estela simple

La figura del efecto estela exhibida debajo exhibe de manera ilustrativa el efecto estela entre dos aerogeneradores. U_0 representa la velocidad del viento incidente puro (sin turbulencia) y U_B representa la velocidad del viento resultante (con turbulencia) al pasar por el Aerogenerador A.

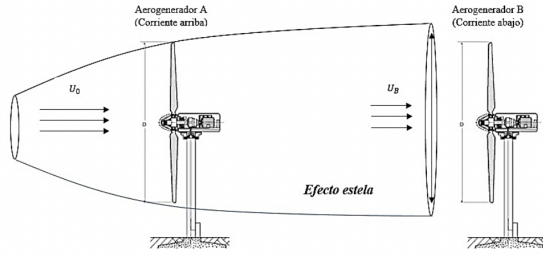


Figura 5: Efecto estela entre dos aerogeneradores

La modelación del efecto estela para calcular los déficits de velocidad en el viento ha sido causa de muchas investigaciones, por lo que se han propuesto diversos modelos para analizar las características de este fenómeno aerodinámico, tal como: velocidad con la que se expande el efecto estela, diámetro del efecto, etc. El modelo desarrollado e implementado se basa en una simplificación realizada por Mosetti a partir del modelo de decaimiento de la estela propuesto por Jensen.

El radio de la estela (r_1) se describe de la siguiente forma:

$$r_1 = r_r * \gamma; 1 \leq \gamma < 4 \quad (4)$$

donde γ es la constante de proporcionalidad y r_r es el radio de la turbina

La longitud de la estela que genera una turbina alcanza entre 6 ~ 18 veces el diámetro de la turbina ($2 * r_r$).

Por otra parte el modelo de potencia describe como se comporta el molino en función del viento incidente en el, de esta manera se calcula la potencia generada, la cual variara dependiendo del modelo de aerogenerador elegido.

La potencia total resultará entonces la sumatoria de la potencia de todas las turbinas que lo componen:

$$P_{total} = \sum_{x=1}^n P_x \quad (5)$$

Siendo n la cantidad de aerogeneradores y P_x es la potencia generada por cada uno.

Considerando entonces el modelo de estela y la velocidad del viento que ingresa al aerogenerador (U_0) podemos diferenciar dos situaciones posibles:

1. El viento incide directamente sobre una turbina:

$$U_v = U_0 \rightarrow P(U_0) \quad (6)$$

donde U_0 representa al viento sin turbulencia.

2. La turbina recibe viento turbulento, producto de una turbina que se encuentra delante de la misma

$$U_v = U_0 \left(1 - \frac{2a}{\left(1 + \alpha * \frac{d}{r_1} \right)^2} \right) \rightarrow P(U_v) \quad (7)$$

donde a es el coeficiente de inducción axial; α es el coeficiente de arrastre; d es la distancia entre turbinas y r_1 es el radio de la estela.

5.3. Influencia de la superficie terrestre sobre la velocidad del viento

A una gran altura de la superficie del terreno, alrededor de un kilómetro, la superficie terrestre apenas ejerce influencia alguna sobre el viento. Sin embargo, en las capas más bajas de la atmósfera, las velocidades del viento se ven afectadas por la fricción con la superficie terrestre. En la industria eólica se distingue entre rugosidad del terreno, la influencia de los obstáculos, y la orografía del área, para analizar como la superficie impacta en la velocidad del viento.

5.3.1. Rugosidad del terreno y longitud de rugosidad

En general, cuanto más pronunciada sea la rugosidad del terreno mayor será la ralentización que experimente el viento. Obviamente, los bosques y las grandes ciudades ralentizan mucho el viento, mientras que las pistas de hormigón de los aeropuertos sólo lo ralentizan ligeramente. Las superficies de agua son incluso más lisas que las pistas de hormigón, y tendrán por tanto menos influencia sobre el viento, mientras que la hierba alta y los arbustos ralentizan el viento de forma considerable.

En la industria eólica, la gente suele referirse a clase de rugosidad o longitud de rugosidad cuando se trata de evaluar las condiciones eólicas de un paisaje. Una alta rugosidad de clase 3 ó 4 se refiere a un paisaje con muchos árboles y edificios, mientras que a la superficie del mar le corresponde una rugosidad de clase 0. Las pistas de hormigón de los aeropuertos pertenecen a la clase de rugosidad 0.5, al igual que el paisaje abierto y llano pacido por las ovejas (fotografía de la izquierda). La definición exacta de clase de rugosidad y longitud de rugosidad puede ser encontrada en la siguiente tabla:

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad m	Índice de energí (%)	Tipo de paisaje
0	0,0002	100	Superficie del agua
0,5	0,0024	73	Terreno completamente abierto con una superficie lisa, p.ej., pistas de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, etc.
1	0,03	52	Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos. Sólo colinas suavemente redondeadas
1,5	0,055	45	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 1250 m.
2	0,1	39	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 500 m.
2,5	0,2	31	Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas, o setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 250 m.
3	0,4	24	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola, con muchos o altos setos resguardantes, bosques y terreno accidentado y muy desigual
3,5	0,8	18	Ciudades más grandes con edificios altos
4	1,6	13	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos

El término longitud de rugosidad es en realidad la distancia sobre el nivel del suelo a la que teóricamente la velocidad del viento debería ser nula.

El cizallamiento del viento es la consecuencia directa de la rugosidad sobre la velocidad del viento. Se explica mediante el hecho de que la velocidad tome valores menores cerca del nivel del suelo y que este valor vaya aumentando su magnitud conforme se aleja del suelo. Es fundamental tener conocimiento sobre el perfil vertical de viento para poder caracterizar la producción de energía, pero sobre todo para el estudio mecánico de los aerogeneradores. Dentro de la superficie de la circunferencia que define el área de barrido de las palas de la turbina, la velocidad cambia de unos puntos a otros. En la zona superior es donde se produce un mayor empuja y por lo tanto mayor velocidad, que en la zona inferior. Usualmente cuando se realizan las mediciones de viento no se suelen realizar a la altura del buje de la turbina y por lo tanto las medidas de velocidad a una altura dada tendrán que ser escaladas a la altura que en un futuro se obtendrá la energía.

Formula del perfil vertical del viento: La velocidad del viento a una cierta altura sobre el nivel del suelo es:

$$V = V_{ref} * \frac{\ln(\frac{z}{z_0})}{\ln(\frac{z_{ref}}{z_0})} \quad (8)$$

donde:

V = velocidad del viento a una altura z sobre el nivel del suelo.

V_{ref} = velocidad de referencia a una altura z_{ref} .

$\ln(\dots)$ = función logaritmo natural.

z = altura sobre el nivel del suelo para la velocidad deseada, V .

z_0 = longitud de rugosidad en la dirección de viento actual.

z_{ref} = altura a la que conocemos la velocidad de viento exacta V_{ref} .

Se consideran las llamadas condiciones de estabilidad atmosférica neutra, es decir, que la superficie del

suelo no está ni más caliente ni más fría, comparada con la temperatura del aire.

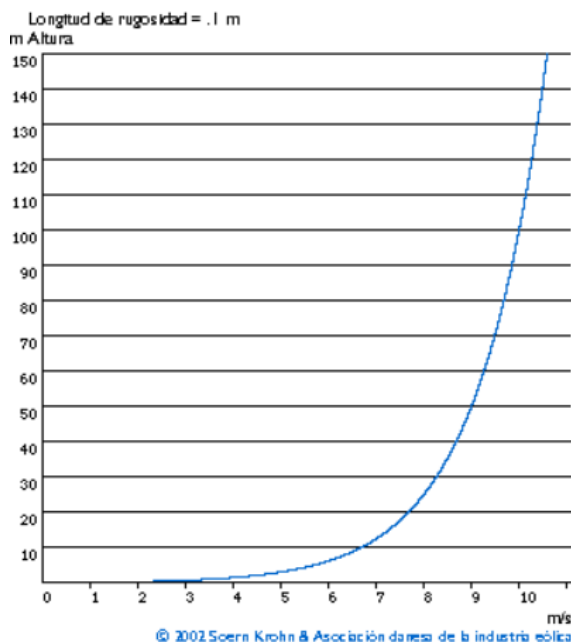


Figura 6: Velocidad del viento respecto a la longitud de rugosidad.

5.3.2. La influencia de los obstáculos

Obstáculos del viento tales como edificios, árboles, formaciones rocosas, etc, pueden disminuir la velocidad del viento de forma significativa y a menudo crean turbulencias en torno a ellos. Como puede verse en este dibujo de típicas corrientes de viento alrededor de un obstáculo, la zona de turbulencias puede extenderse hasta una altura alrededor de 3 veces superior a la altura del obstáculo. La turbulencia es más acusada detrás del obstáculo que delante de él. Entonces, lo mejor es evitar grandes obstáculos cerca de las turbinas eólicas, y en particular si se encuentran en la parte donde sopla en viento dominante, es decir, en frente de la turbina.

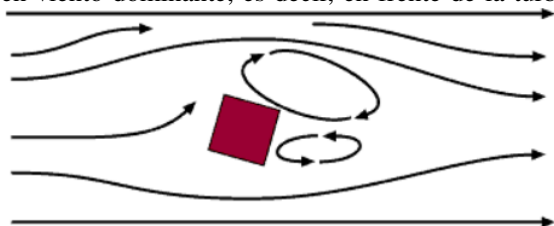


Figura 7: Afección de las corrientes de viento con un obstáculo.

Los obstáculos disminuirán la velocidad del viento corriente abajo del obstáculo. Esta disminución depende de la porosidad del obstáculo, es decir, de cómo de abierto sea el obstáculo (la porosidad se define como el área libre dividida por el área total del objeto de cara al viento). Obviamente un edificio es sólido y no tiene porosidad mientras que un árbol completamente abierto en invierno (sin hojas) puede dejar pasar a su través más de la mitad del viento. Sin embargo, en verano el follaje puede ser muy denso, con lo que puede hacer disminuir la po-

rosidad hasta dejarla en una tercera parte. El efecto de frenado del viento que un obstáculo produce aumenta con la altura y la longitud del mismo. Obviamente, el efecto será más pronunciado cerca del obstáculo y cerca del suelo.

De este análisis derivan cuatro conceptos importantes:

1. **Efecto Abrigo:** Se define como el efecto que se produce a sotavento de un obstáculo de cara al viento, produciéndose una reducción drástica de la velocidad del mismo.
2. **Turbulencia:** flujo de aire irregular que se caracteriza por tener fluctuaciones de velocidad y dirección de viento en periodos cortos. Las tormentas suelen venir asociadas a ráfagas de viento que cambian tanto en velocidad como en dirección. En áreas cuya superficie es muy accidentada y con obstáculos como edificios, también se producen muchas turbulencias, con flujos de aire muy irregulares, con remolinos y vórtices en los alrededores. En la imagen puede verse un ejemplo de como la turbulencia aumenta las fluctuaciones en la velocidad del viento:

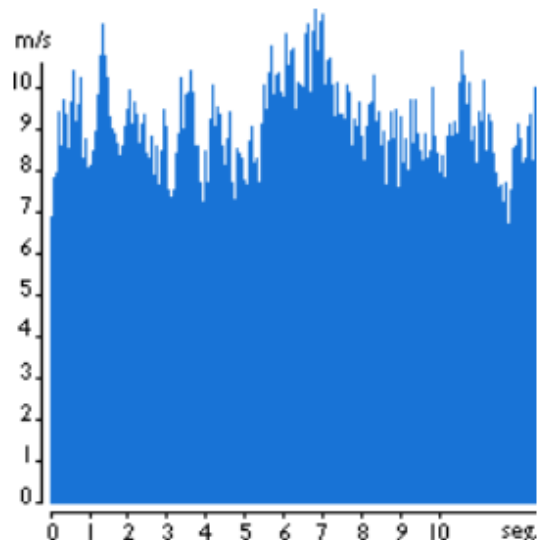


Figura 8: Fluctuaciones de velocidad del viento por turbulencias.

Las turbulencias disminuyen la posibilidad de utilizar la energía del viento de forma efectiva en un aerogenerador. También provocan mayores roturas y desgastes en la turbina eólica. Las torres de aerogeneradores suelen construirse lo suficientemente altas como para evitar las turbulencias del viento cerca del nivel del suelo.

3. **Efecto tunel:** es aquel que se presenta como resultado de la compresión del aire por el paso del viento entre dos edificios o montañas. Esto produce un incremento considerable en la velocidad del mismo. Ubicar un aerogenerador en un túnel de este tipo es una forma inteligente de obtener velocidades del viento superiores a las de las áreas colindantes. Para obtener un buen efecto túnel, el túnel debe estar suavemente

agregado en el paisaje. En el caso de que las montañas sean muy accidentadas, puede provocar que existan muchas turbulencias en ese área. Como vimos anteriormente si hay muchas turbulencias, la ventaja que supone la mayor velocidad del viento se verá completamente anulada, y los cambios en el viento pueden causar roturas y desgastes innecesarios en el aerogenerador.



Figura 9: Efecto tunel.

4. **Efecto de la colina:** Una forma habitual de ubicar aerogeneradores es situándolos en colinas o estribaciones dominando el paisaje circundante. En las colinas, siempre se aprecian velocidades de viento superiores a las de las áreas circundantes. Esto es debido a que el viento es comprimido en la parte de la montaña que da al viento, y una vez el aire alcanza la cima de la colina puede volver a expandirse al descender hacia la zona de bajas presiones por la ladera a sotavento de la colina.

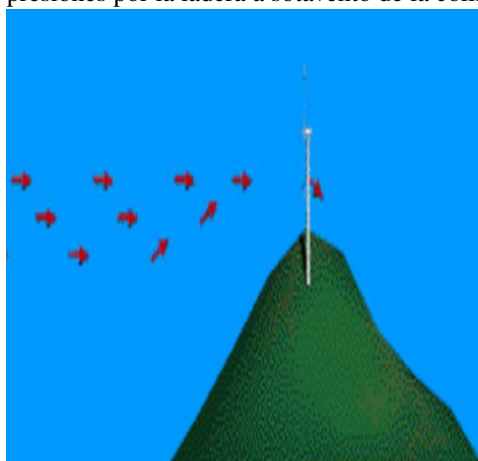


Figura 10: Efecto colina.

5.3.3. La orografía del área

El área de estudio de interés para este trabajo es el Sur de la Provincia de Santa Fe, que pertenece a la denominada llanura pampeana. Dicha llanura es el producto de la acumulación de sedimentos del macizo de Brasilia,

durante la era precámbrica. La región pampeana tiene una llanura vasta y continua. Esta continuidad es solo interrumpida por dos sistemas serranos en el sudeste de la región. La llanura alterna zonas casi completamente planas con zonas ligeramente onduladas. El bioma natural de la región pampeana es el pastizal. Dentro de este bioma, el tipo de vegetación dominante es la pradera, seguido por la estepa. Desde el punto de vista fitogeográfico, pertenece a la provincia fitogeográfica pampeana. Gran parte de la región fue modificada profundamente por la producción agrícola y ganadera. Los vientos característicos de la región pampeana son el pampero y la sudestada. El primero proviene de un anticiclón antártico, por lo que es un viento muy frío y seco, sopla desde el sur o el sudoeste del país hasta nuestra región; tiene una velocidad de 100 km/h y ocasiona lluvias, descenso de la temperatura, grandes nubes de polvo, y a veces nevadas.

La sudestada es un fenómeno meteorológico de vientos fríos del sur, que satura las masas de aire polar con humedad.

La Provincia de Santa Fe es la única de nuestro país que cuenta con un programa propio para la generación de Energía Eléctrica a partir de Fuentes renovables de baja escala. Generfe surge como respuesta a los proyectos e intenciones que empresas, asociaciones, municipios, comunas y ciudadanos presentaron en el marco de la Convocatoria a Proyectos de Inversión en Energías Renovables que realizó la Secretaría de Estado de la Energía, a instancias de la Subsecretaría de Energías Renovables, la Empresa Provincial de la Energía y la Agencia Santa-fesina de Inversiones y Comercio Internacional - Santa Fe Global.

En la primera etapa, el programa Generfe potenciará el servicio eléctrico en los corredores Norte y Sur beneficiando a más de 320.000 habitantes. Ambos corredores están conformados por líneas de transmisión de 132 KV. El corredor Norte posee una extensión de 284,14 km que se extienden desde la localidad de Tostado hasta Rafaela. Por su lado, la línea del Corredor Sur posee una longitud de 209,2 km que comprenden desde Casilda hasta Rufino.

La potencia total a adjudicar en esta etapa asciende a 50 MW distribuidos en parques fotovoltaicos y eólicos. A través de estos proyectos se obtendrá una generación anual estimada de más de 96.000 MWh anuales.

Según un informe realizado en el 2018 por este ente, se desarrollaron estudios sobre las características para el desarrollo de energía eólica de distintas ubicaciones de Santa Fe. De allí surge que el sur de la provincia es la zona más adecuada para este fin, en particular Las Rosas, San Jorge, Rufino y Venado Tuerto. Estas ubicaciones poseen una velocidad media de viento de casi de 7 m/s llegando a presentar máximos cercanos entre 26 y 30 metros por segundo (a 60 metros del suelo) con una orientación casi siempre proveniente del norte.

A tener en cuenta al leer esta estimación es que lo recomendado para un parque eólico es poseer una media de viento superior a 5 m/s, por lo que 7 m/s es suficiente para la realización del mismo.

5.4. Marco legal

Existen en Argentina una serie de leyes y resoluciones para estimular el desarrollo de la energía eólica como fuente de energía renovable.

A través de la Ley Nacional N.º 25019 sobre Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar, que declara de interés nacional a la generación de energía eléctrica de origen eólico y solar en todo el territorio nacional, el Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos de la Nación, a través de la Secretaría de Energía promueve la investigación y el uso de energías no convencionales o renovables.

La ley 26.190/200619 (Sancionada: Septiembre 23 de 2015 y Promulgada de Hecho en Octubre 15 de 2015) establece que el 20 % del consumo de energía eléctrica debe provenir de fuentes renovables hacia finales de 2025. El régimen ofrece una serie de beneficios promocionales para quienes contribuyan a este objetivo.

Las fuentes renovables de energía incluidas en el Nuevo Régimen de Fomento son energía eólica, solar térmica, solar fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz, undimotriz, de las corrientes marinas, hidráulica (hasta los 50 MW de potencia instalada), biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración, biogas y biocombustibles (con excepción de los usos previstos en la Ley N.º 26.093).

El régimen de fomento previsto en las Leyes N.º 26.190 y 25.019 estipulaba una remuneración adicional por MW de energía suministrada, complementada con

un régimen de beneficios fiscales para emprendimientos de producción de energía eléctrica a partir del uso de fuentes renovables de energía, entendiéndose por tales la construcción de las obras civiles, electromecánicas y de montaje, la fabricación o importación de componentes para su integración a equipos fabricados localmente y la explotación comercial. Además, establece como objetivo lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el 8 % del consumo total de energía eléctrica en Argentina para el 2017. De todas maneras, este objetivo no era obligatorio para los usuarios.

Toda vez que el régimen de fomento fue considerado insuficiente para permitir el desarrollo de proyecto de energía renovable, a partir de 2009, el Estado Nacional ha promovido la ejecución de contratos de abastecimiento a partir de fuentes renovables de largo plazo entre compañías administradas por Estado Nacional —que actúan como compradoras de energía— y desarrolladores privados —que actúan como vendedores—. Estos contratos preveían precios por la energía suministrada más elevados así como beneficios adicionales para los desarrolladores.

Los costos no han variado de forma significativa, estos se encuentran entre 150 y 120 USD por MWh, lo que hace que no sea tan atractiva la inversión, de todas maneras el objetivo es disminuir los costos para poder generar una mayor competitividad en el sector y a la vez diversificar las fuentes de generación de energía eléctrica para así disminuir las complicaciones en la producción energética que presenta nuestro país.

Referencias

- [1] Ingeniera Daniela Diaz (2013). *ALGORITMOS GENÉTICOS Y LA OPTIMIZACIÓN. BÚSQUEDAS HEURÍSTICAS Y EXHAUSTIVAS*. Recuperado de: <https://frro.cvg.utn.edu.ar/> El 16/06/2022.
- [2] Cifras. \$8.088 M para generar energías renovables en Santa Fe. Recuperado de: <https://www.cifrasonline.com.ar/8-088-m-para-generar-energias-renovables-en-santa-fe/> El 29/10/2022.
- [3] Provincia de Santa Fe. *Generfe*. Recuperado de: <http://energiamodelosantafe.com.ar/articulos/generfe> El 29/10/2022.
- [4] Wikipedia. *Región pampeana*. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/> El 29/10/2022.
- [5] Argentina Ambiental. *Parque eólico en Santa Fe*. Recuperado de: https://argentinambiental.com/wp-content/uploads/pdf/AA42-27-Parque_Eolico_Santa_Fe.pdf El 29/10/2022.
- [6] Marval. *Nueva ley para el fomento de energías renovables*. Recuperado de: <https://www.marval.com/publicacion/nueva-ley-para-el-fomento-de-energias-renovables-12687&lang=es/> El 29/10/2022.
- [7] Wikipedia. *Aerogenerador*. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador#Aerogeneradores_de_eje_horizontal El 29/10/2022.
- [8] Sergio Alonso Espinosa Arrazola y Manuel Alberto Ramírez Hernández. *Análisis De Funcionamiento Del Sistema De Orientación YAW*. Recuperado de: <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/1244/MDRPIECA2016005.pdf> El 29/10/2022.
- [9] Wikipedia. *Góndola (aviación)*. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/> El 29/10/2022.
- [10] Rincon educativo. *Anemómetro-veleta*. Recuperado de: <https://rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/anemometro-veleta/> El 29/10/2022.
- [11] Renovetec. *AEROGENERADORES, LA ENERGÍA DEL VIENTO*. Recuperado de: <http://www.renovetec.com/594-energia-eolica/18-eolico/310-aerogeneradores-la-energia-del-viento> El 29/10/2022.

- [12] JAIME LEGERÉN ÁLVAREZ. *DISEÑO DE SISTEMA DE PITCH PASIVO PARA AEROGENERADORES EN ENTORNOS URBANOS*. Recuperado de: https://oa.upm.es/32798/1/PFC_Jaime_Legeren_Alvarez.pdf El 29/10/2022.
- [13] PartesDel. *Partes del aerogenerador*. Recuperado de: <https://www.partesdel.com/aerogenerador.html> El 29/10/2022.
- [14] The wind power. *GAMESA G47/660*. Recuperado de: https://www.thewindpower.net/turbine_es_166_gamesa_g47-660.php El 29/10/2022.
- [15] Danish Wind Industry Association. *Wind Power*. Recuperado de: <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/index.htm> El 29/10/2022.
- [16] Carlos Méndez, Francisco González-Longatt, Enrique Gavorskis y Oswaldo Ravelo. *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ESTELA EN EL DESEMPEÑO DE UN PARQUE EÓLICO*. Recuperado de: https://fglongatt.org/OLD/Desechable/Sept_Oct2010/Paper_SanCristobal%20Estela_.pdf El 29/10/2022.
- [17] Energias-renovables. *Nuevo sistema para conocer el impacto del efecto estela en los aerogeneradores marinos*. Recuperado de: <https://www.energias-renovables.com/eolica/nuevo-sistema-para-conocer-el-impacto-del-20170314> El 29/10/2022.
- [18] Real academia de ingeniería. *Efecto estela*. Recuperado de: <https://diccionario.raing.es/es/lema/efecto-de-estela> El 29/10/2022.