

TEMÁTICA A ABORDAR EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

**“OPTIMIZACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA DE UN PARQUE EÓLICO”**

**PROBLEMA :**

¿Cómo optimizar la generación de energía de un parque eólico de manera de obtener la mayor potencia generada?

**CONSIDERACIONES:**

- Efecto Estela Simple.
- Modelo de potencia de un aerogenerador GAMESA G47. (en el mejor de los casos puede parametrizarse el ingreso del modelo de potencia, dando lugar a ingresar modelos de diferentes aerogeneradores)
- 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 (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.
- El algoritmo debe ser diseñado para trabajar a partir de una población aleatoria de 50 individuos (o cromosomas), donde cada uno es una configuración posible de un parque eólico, el cual se representa mediante una matriz bidimensional binaria, donde un “1” indica la existencia de un aerogenerador y un “0” la ausencia del mismo.
- Descripción general del algoritmo, el cual puede ser revisado y perfeccionado:

Se seleccionan los pares de individuos a ser cruzados según el método de selección por ruleta creando un pool genético formado por los cromosomas de la generación actual donde los más aptos (aquellos que obtienen una mejor puntuación de acuerdo a la función de optimización) poseen mayores probabilidades de ser elegidos.

Una vez emparejados los individuos, se evalúa si se realizará el cruce según el criterio de probabilidad definido como parámetro del algoritmo. El mismo es realizado por filas y por columnas, es decir, se crea el primer hijo seleccionando las mejores filas de sus padres y el segundo hijo eligiendo las mejores columnas, así sucesivamente para cada generación considerando que se cumpla con la probabilidad de cruce.

En relación a la metodología de mutación se aplica seleccionando al azar una posición de uno de los individuos resultantes. Luego, se evalúa la existencia o no de un molino, teniendo en cuenta que si en dicha posición se encuentra uno, éste se quita, y en caso de no existir, se agrega. La probabilidad que ocurra una mutación se define como parámetro del algoritmo.

- Desarrollo e Implementación del modelo matemático para un parque eólico

El modelo desarrollado e implementado se basa en una simplificación realizada por Mosetti et. al. a partir del modelo de decaimiento de la estela propuesto por N.O. Jensen.

#### Modelo del efecto de estela simple

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

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

donde  $\gamma$  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 ( $2r_r$ ).

#### Modelo de potencia de un aerogenerador

La potencia es un dato que viene especificado en las características del modelo de turbina que se va a utilizar. Para el modelo GAMESA G47, la potencia generada proporcionada por el fabricante es descrita en la Tabla

Tabla Potencia generada por el modelo GAMESA G47.

Velocidad Viento ( $u_x$ )	Potencia Generada ( $P_x$ )
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

La potencia total del terreno, resultará la sumatoria de la potencia de todas las turbinas que lo componen:

$$P_{\text{tot}} = \sum_1^n P_x$$

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

Considerando el modelo de estela y velocidad del viento incidente ( $u_x$ ) podemos diferenciar dos situaciones posibles:

- El viento incide directamente sobre una turbina:

$$u_x = u_o \rightarrow P(u_o).$$

donde  $u_o$  representa al viento sin turbulencia.

- ii. La turbina recibe viento turbulento, producto de una turbina delantera (efecto estela simple).

$$u_x = u_0 \left( 1 - \frac{2a}{(1 + \alpha \frac{x}{r_1})^2} \right) \rightarrow P(u_x)$$

donde  $a$  es el coeficiente de inducción axial;  $\alpha$  es el coeficiente de arrastre;  $x$  es la distancia entre turbinas y  $r_1$  es el radio de la estela.

La función objetivo considerada es:

$$F_{obj} = \sum_1^n P_x = P_{tot}.$$

La cual vamos a optimizar:

$$\text{Max} \left\{ \sum_1^n P_x \right\}.$$

- Alcance de la problemática abordada

Definimos las siguientes consideraciones y supuestos para simplificar el desarrollo y la prueba del modelo en cuestión:

- Para evitar que dos molinos adyacentes interfieran mutuamente con su funcionamiento la distancia mínima entre los mismos ( $x$ ) será:

$$x = 4 * (r_r).$$

- El viento sin perturbar ( $u_0$ ) se mantiene constante y proviene de una sola dirección.
- Un terreno puede tener una cantidad máxima de 25 molinos.
- El coeficiente de inducción axial ( $a$ ) está relacionado con el coeficiente de sustentación ( $C_T$ ) de la turbina:

$$C_T = 4 a (1 - a).$$

Se ha demostrado empíricamente que, para obtener la máxima eficiencia de un rotor aerodinámico de eje horizontal, su diseño debe buscar un " $a$ " que sea lo más cercano a  $\frac{1}{3}$  [6, 7]:

$$a = \frac{1}{3} \rightarrow C_T = 4 \frac{1}{3} \left( 1 - \frac{1}{3} \right) = 0,888.$$

- El coeficiente de arrastre ( $\alpha$ ) tiene la siguiente fórmula, también comprobada empíricamente

$$\alpha = \frac{1}{2 \ln \frac{z}{z_0}}$$

donde  $z$  es la altura del buje y  $z_0$  es la rugosidad del terreno.

Consideramos que la rugosidad del terreno ( $z_0$ ) se trata de la altura (en metros) sobre la superficie de referencia. 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. El valor de  $z_0$  considerado fue de 0,0024 m. el cual corresponde al factor de rugosidad del tipo de terreno “campo abierto con superficie lisa”

Parámetros utilizados para el algoritmo genético a desarrollar:

Descripción	Valores A	Valores B
Tamaño población	50	
Cantidad de iteraciones	1500	
Tipo de cruce	Por filas y por columnas	
Tipo de mutación	Al azar	
Probabilidad de cruce	0.75	
Probabilidad de mutación	0.20	
Método de selección	Por ruleta	
Función de optimización	$P_{\text{tot}} = \sum_1^n P_x$	(2)
Rango cantidad de molinos	25	
Velocidad viento incidente	20 m/s	13 m/s
Coeficiente de arrastre	0.050	
Coeficiente de inducción axial	0,333	
Diámetro de la turbina	47 m.	
Tamaño de celda (distancia mínima entre molinos)	94 m.	
Tamaño de la matriz	10x10 celdas.	