

fcfm

Generación de Energía Eléctrica con Fuentes Renovables

EL-6000

Modulo Energía Eólica



Semestre Primavera 2009

Ing. Keith Watt Arnaud



6. Condiciones de Emplazamiento

Planificación & Diseño de un Parque
Eólico



Proyectos Eólicos

- Un proyecto Eólico se divide en
 - Planificación
 - Construcción
 - Operación

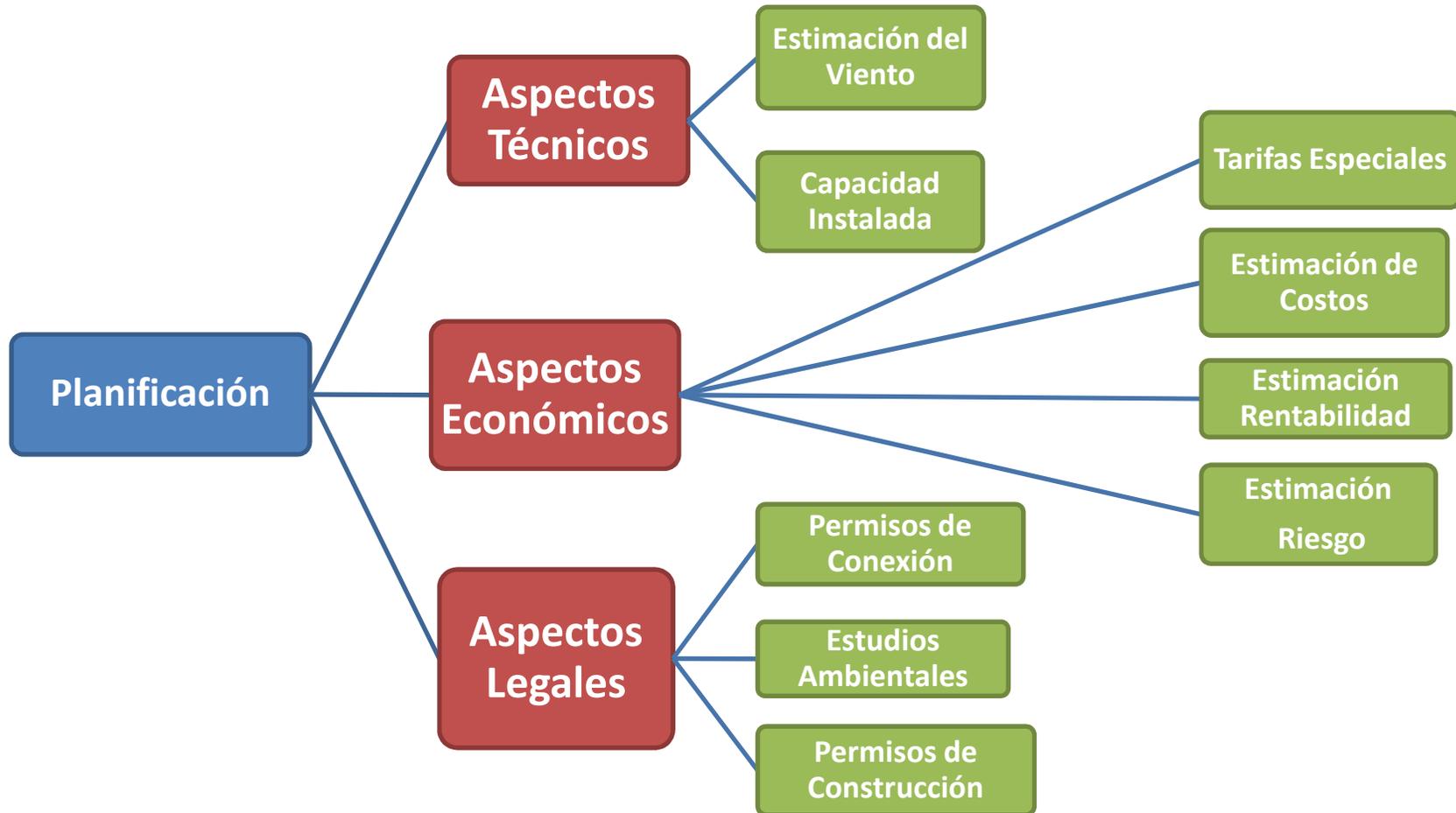


- Es necesario considerar en las tres etapas los siguientes aspectos
 - Técnicos
 - Marco Regulatorio y Permisos
 - Económicos y Rentabilidad Financiera



Planificación

Etapas de Planificación de los Proyectos Eólicos



Primeros Pasos

- Antes de Hacer un Proyecto Eólico
 - Primero Responder las Siguietes 5 Preguntas [4]
 1. ¿El recurso Eólico es Suficiente?
 2. ¿La Conexión del Parque Eólico es Factible?
 3. ¿Se podrán obtener todos los permisos necesarios para su construcción?
 4. ¿La construcción del parque y el acceso a este serán económicamente factibles?
 5. ¿Los derechos de acceso al predio se podrán obtener?
 - Si las respuestas son ROTUNDAMENTE negativas

¡ABSTENERSE DE HACER EL PROYECTO EÓLICO!

Estudios de Planificación

- Para responder las preguntas anteriores es necesario realizar los siguientes Estudios y Análisis

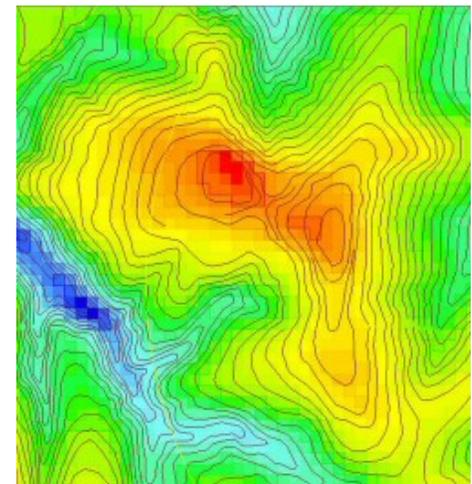
- **Evaluación y Elección del Sitio**
 - Estimación del Recurso Eólico
 - Capacidad
 - Accesibilidad y Conexión
- **Análisis Marco Regulatorio**
 - Existencia de Subsidios
 - Esquema de tarificación
 - Exigencias Ambientales y Legales
 - Estudios Necesarios
 - Permisos Necesarios
- **Análisis del Mercado**
 - Proveedores
 - Ventas de Energía & Contratos
 - Competencia
 - Posibles Clientes



Verificar
Rentabilidad
Financiera
&
Factibilidad
Económica del
Proyecto

Evaluación del Sitio

- Estimar el Recurso Eólico
 - Sentido común
 - Mapas Eólicos
 - Mediciones en Sitio
 - 2/3 de la altura de la torre
 - Mínimo 1 año de duración
 - Considerar Variaciones de $\pm 12\%$ cambios interanuales (Conservador)
- Rugosidad y Complejidad del terreno
 - Mayor Turbulencia -> Menor Generación
 - Dificulta el acceso, la instalación y construcción del Parque
- Tamaño del terreno
 - Límita la Capacidad del Parque
- Acceso y conexión a la red
 - Mayores costos de transporte de equipos y acceso para mantenimiento
 - Aumentar o Disminuir los costos de equipos y líneas hacia el PCx a la Red.



La Gran Interrogante

¿Que es más rentable?

Un Terreno Grande con Gran Régimen de Viento lejos del sistema Eléctrico

O

Un terreno de menor tamaño con un Régimen de Viento Moderado cerca del sistema Eléctrico.

La Respuesta del Millón es:

-DEPENDE-

Estimación del Recurso Eólico

- Medir el Viento en el Predio
 - Mínimo un año
 - Uso de Anemómetros Calibrados y Certificados
 - Norma IEC 61400
 - Método más Confiable
 - Es lento y de mayor costo
 - Mayor Precisión
- Usar Atlas de Viento o Mapas Eólicos
 - Más económico
 - ¿Menos exacto y más riesgoso?
 - Calidad y cantidad de las Medidas



Estimación del Recurso Eólico

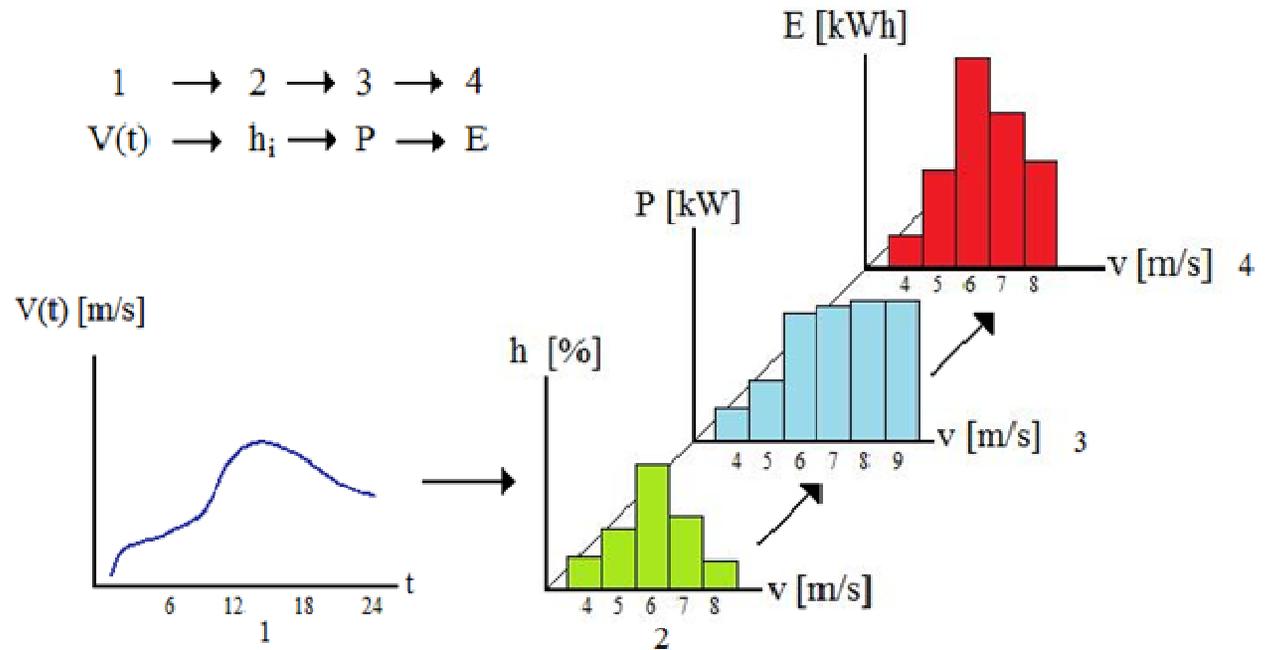
- ¿Como se estima la generación de Energía de un Parque?

$$E_{total} = \sum E_i$$

$$E_i = h_i \cdot P_i \cdot T \text{ [kWh]}$$

Pasos:

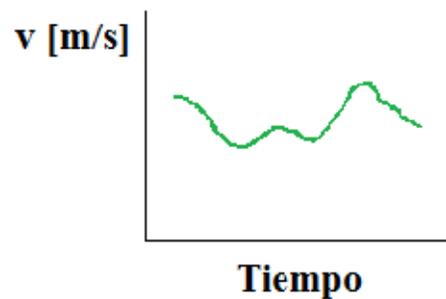
1. Se calcula su histograma de Viento
2. Usando la Curva de Potencia del Aerogenerador
3. Se calcula la Energía Generada



Estimación del Recurso Eólico

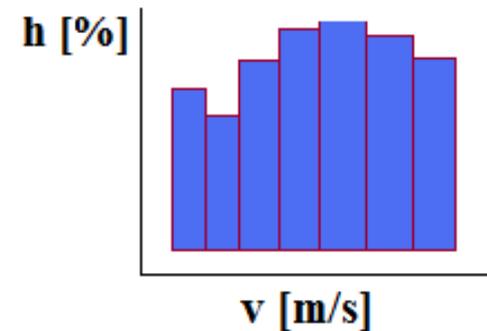
- Ejemplo de Estimación
- Se tiene la siguiente Serie de Medición

$$\bar{v}_{media}(t) = [2 \ 1 \ 3 \ 3 \ 4 \ 5 \ 5 \ 5 \ 7 \ 7 \ 8 \ 8 \ 6 \ 6 \ 7 \ 5 \ 6 \ 6 \ 5 \ 5 \ 4 \ 4 \ 3 \ 1]$$



$$T_{medición} = 24[\text{horas}]$$

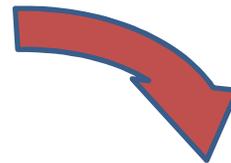
$$\Delta T_{medición} = 1[\text{hora}]$$



1. Se calcula su histograma de Viento

$$t_i = n^{\circ} \text{ de veces } v_i = i [m/s]$$

$$\vec{t} = [2 \ 1 \ 3 \ 3 \ 6 \ 4 \ 3 \ 2]$$

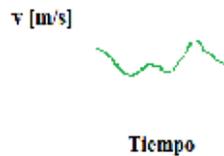


$$h_i = \frac{t_i}{T} \Rightarrow \bar{h}[\%] = [8,33 \ 4,17 \ 12,5 \ 12,5 \ 25 \ 16,67 \ 12,5 \ 8,33]$$

Estimación del Recurso Eólico

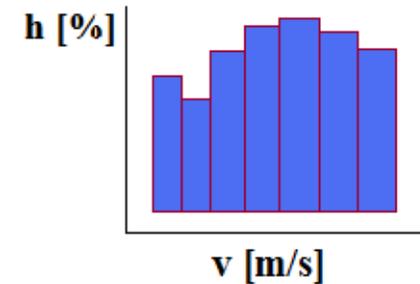
- Ejemplo de Estimación
- Se tiene la siguiente Serie de Medición

$$\bar{v}_{media}(t) = [2 \ 1 \ 3 \ 3 \ 4 \ 5 \ 5 \ 5 \ 7 \ 7 \ 8 \ 8 \ 6 \ 6 \ 7 \ 5 \ 6 \ 6 \ 5 \ 5 \ 4 \ 4 \ 3 \ 1]$$



$$T_{medición} = 24 [horas]$$

$$\Delta T_{medición} = 1 [hora]$$



1. Se calcula su histograma de Viento

$$t_i = n^\circ \text{ de veces } v_i = i [m/s]$$

$$\bar{t} = [2 \ 1 \ 3 \ 3 \ 6 \ 4 \ 3 \ 2]$$

$$\Rightarrow h_i = \frac{t_i}{T}$$

$$\Rightarrow \bar{h} [\%] = [8,33 \ 4,17 \ 12,5 \ 12,5 \ 25 \ 16,67 \ 12,5 \ 8,33]$$

2. Usando la Curva de Potencia del Aerogenerador

$$\bar{P} = [0 \ 0 \ 400 \ 700 \ 1000 \ 1200 \ 1300 \ 1400] [kW]$$

3. Se calcula la Energía Generada

$$E_{total} = \sum E_i$$

$$E_i = h_i \cdot P_i \cdot T [kWh]$$



$$\bar{E} = [0 \ 0 \ 1200 \ 2100 \ 6000 \ 4800 \ 3900 \ 2800] [kWh]$$

$$E_{total} = \sum E_i = 20800 [kWh] = 20,8 [MWh]$$

Diseño de un Parque Eólico

- Problema de Optimización
- Sujeto a las siguientes restricciones
 - Físicas
 - Eléctricas
 - Ambientales
 - Económicas
- Existencia de Softwares de Diseño
 - Windfarm
 - WindPro

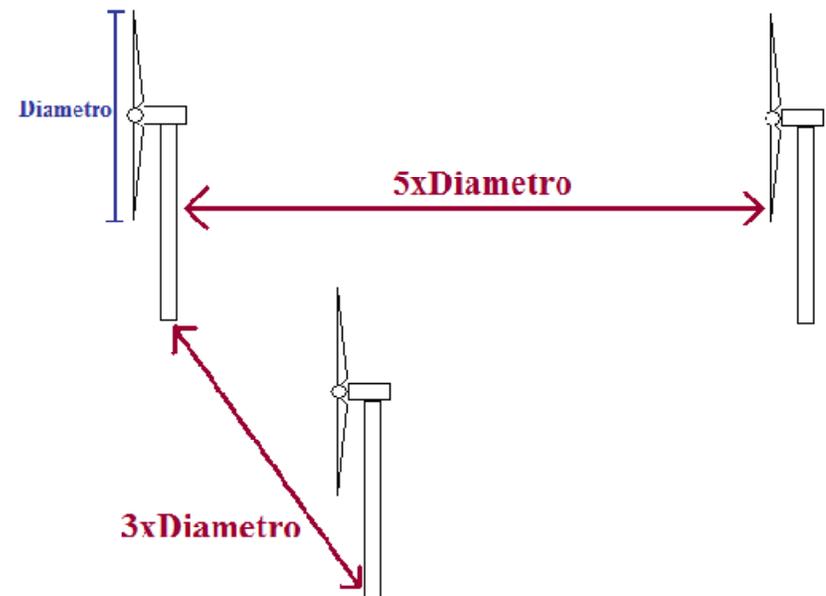


Diseño

- Restricciones Físicas
 - Tamaño del Predio
 - Tamaño de las turbinas
 - Espaciamiento Mínimo entre las Turbinas
 - 5 diámetros para atrás
 - 3 diámetros para el lado

¿ Cual es el Tamaño que necesito para poder hacer un parque de 4x2 MW?

¿Cual es la Superficie Mínima para Emplazar un parque de 100 MW?



Emplazamiento de Grandes Parques



Diseño Eléctrico

- Restricciones Eléctricas

- Costo de Conexión

- Distancia al punto de conexión
 - Equipos de Control
 - Compensación

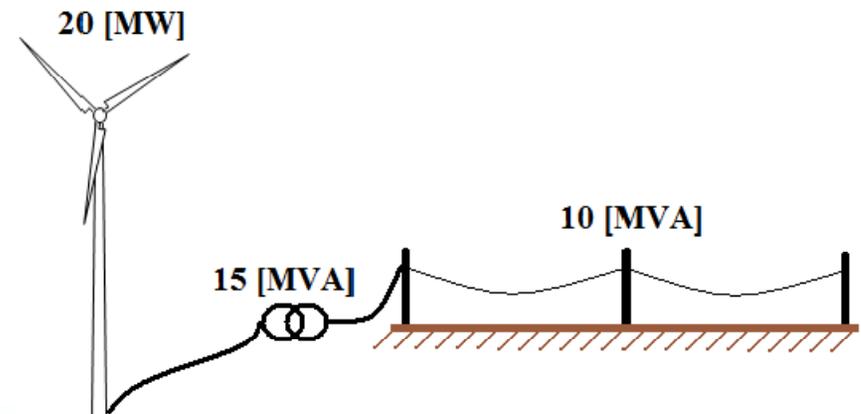
Existe un Costo de Conexión

Líneas muy extensas pueden hacer un Proyecto No Rentable

Un Transformador de Alta Tensión es Caro

- Máxima capacidad de Equipos de Conexión

- Líneas de transmisión
 - Transformadores de la Subestación
 - Límites de Estabilidad del Sistema



Diseño Restricciones Ambientales

- Efecto en la Flora y Fauna
 - Trayecto de Migración Avenir
 - Diseñar el parque tal de minimizar muerte antropologica de pajaros
 - Evitar el daño a la fauna local



Diseño Restricciones Ambientales

- Impacto Visual
 - Visualmente Agradable
 - No Invasivo
 - Se acomode al Paisaje



¿ Que es
más
Lindo?

Diseño Restricciones Ambientales

- Cercanía a zonas residenciales
 - **Máximo de Nivel de Ruido permitido**
 - En ciertas horas del día no más de 50 dB (decibeles)
 - **Efecto Flicker de Sombra**
 - Máximo de 10 horas al año



Diseño Restricciones Económicas

- Minimizar la Inversión

- Tipo de Turbina

- Altura y Diámetro

- Mayor Altura -> Mayor Generación

- Mayor Diámetro -> Mayor Potencia

- Tipo de Generación

- Velocidad Fija -> menor Generación -> Menor Costo

- DFIG & Sincrónico -> Mayor generación -> Mayor Costo



**Minimizar costo de
US\$ por MW
Instalados**

Vel. Fija	€ 1.100 – 1.300
DFIG	€ 1.550 – 1.700
Sincrónico	€ 1.800 – 1.920

Estimaciones turbina de h = 80 m y D = 70 m

Diseño Restricciones Económicas

- Minimizar la Inversión
 - **Costo de Conexión**
 - Transformadores
 - Líneas
 - Compensación

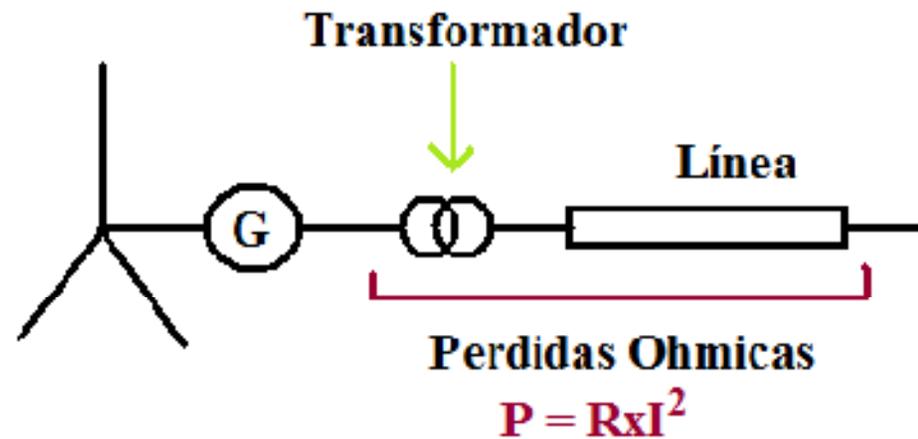


**Necesidad de
Cumplir con El Factor
de Potencia Exigido
por la Ley**

**Necesidad de Estimar El
consumo o Generación
de Potencia Reactiva del
Parque**

Diseño Restricciones Económicas

- Minimizar Costos de Operación
 - Costo de Mantenimiento
 - Tiempo
 - Capital de Trabajo
 - Pérdidas
 - Transmisión



$$\sum \text{Pérdidas} = \text{Menos Energía Inyectada}$$

¡Menores Ingresos!