

Pequeños aerogeneradores en entorno urbano

Ignacio Cruz

CIEMAT



**Curso sobre minieólica para autoconsumo.
Sistemas Eólicos distribuidos y aislados**

Montevideo 7-11 de Octubre de 2019

Que hay que hacer para promover una instalación minieólica urbana

1. Conocer los mas posible del **recurso eólico en nuestro emplazamiento.**
2. Identificar la **tecnología minieólica mas adecuada.**
3. Elegir el **mejor emplazamiento y predecir de forma realista la energía anual que se puede producir en él.**
4. Evaluar la **viabilidad económica** de nuestro proyecto.
5. Solicitar los **permisos** necesarios para llevar a cabo la instalación

Hay viento en los entornos urbanos?



Paris



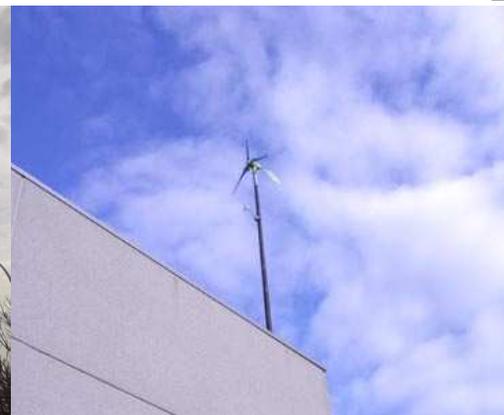
Portland
(Oregon)



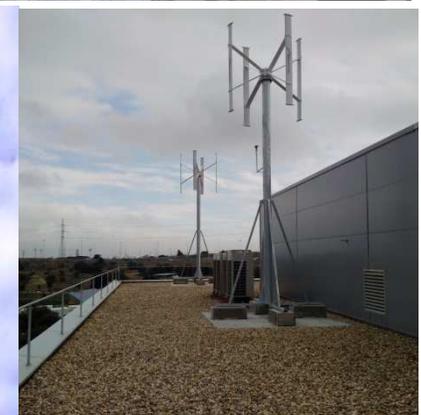
CCIB de Barcelona



Conserjería de Industria
del Gobierno
de Navarra en Pamplona



Fábrica de Bornay en
Castalla (Alicante)

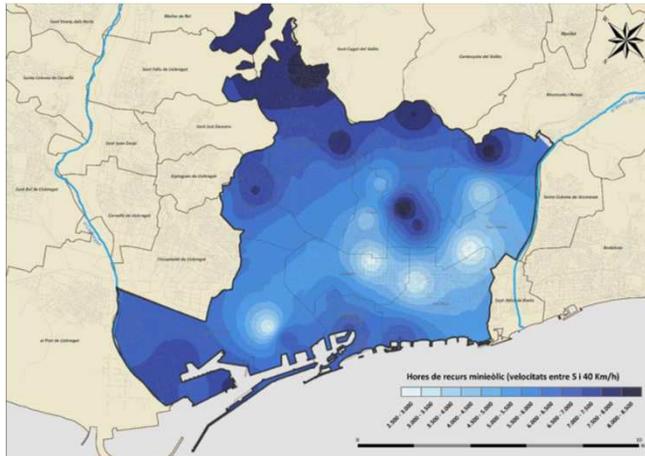


Aerogeneradores
Technowind en UPM
Madrid

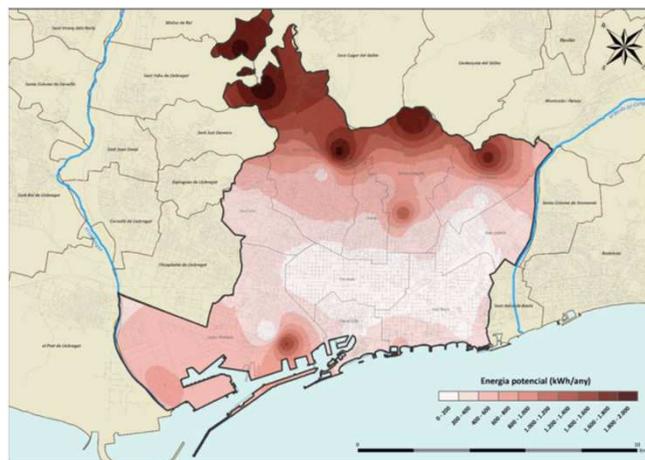
Que es un mapa eólico de una ciudad?

BARCELONA

Fuente: Mapa del Recurs Minieòlic de la Ciutat de Barcelona. Agencia D' Energia de Barcelona

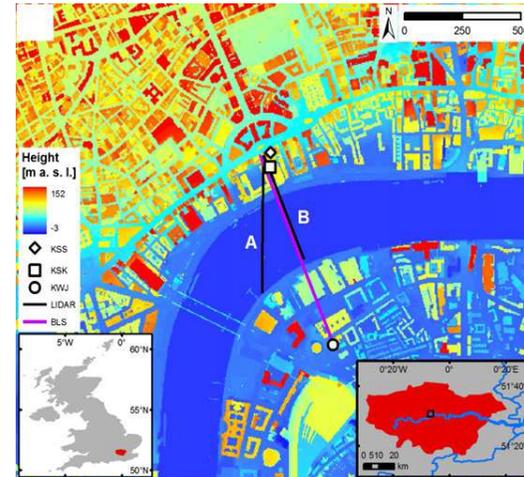


Horas de recurso minieòlic (Entre 5 y 40 km/h)

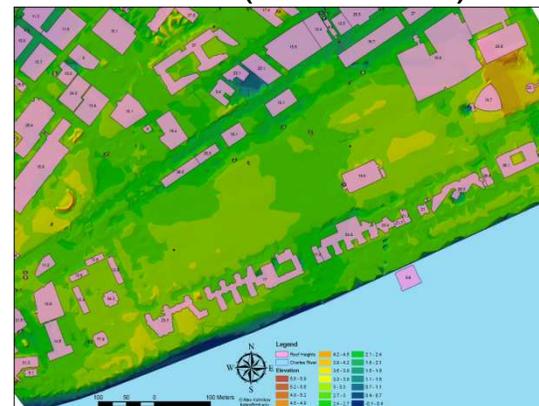


Energía potencial (kWh/m2)

LONDRES



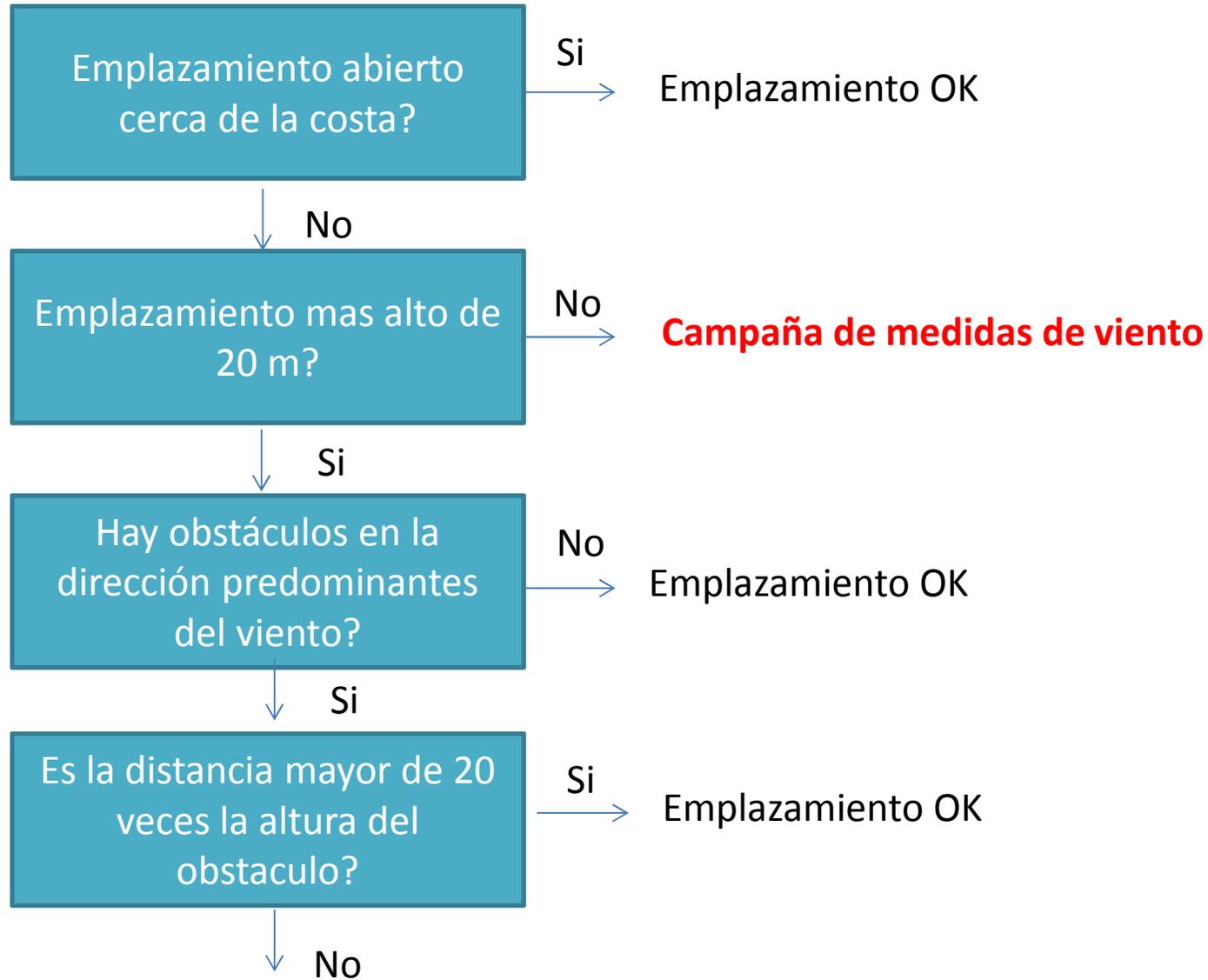
MIT (BOSTON)



Evaluación del recurso eólico en entorno urbano



Ejemplo de evaluación de emplazamiento simple



Campaña de medidas de viento

Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (1/13)

- Hoy en día **la mayoría de los aerogeneradores se instalan en edificios ya construidos.**
- En el futuro se construirán edificios con aerogeneradores integrados.
- **En todos los casos hay que medir la velocidad del viento en el lugar de potencial instalación.**

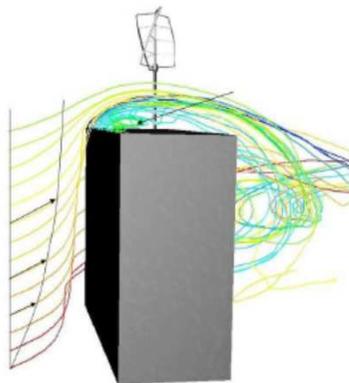


Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (2/13)

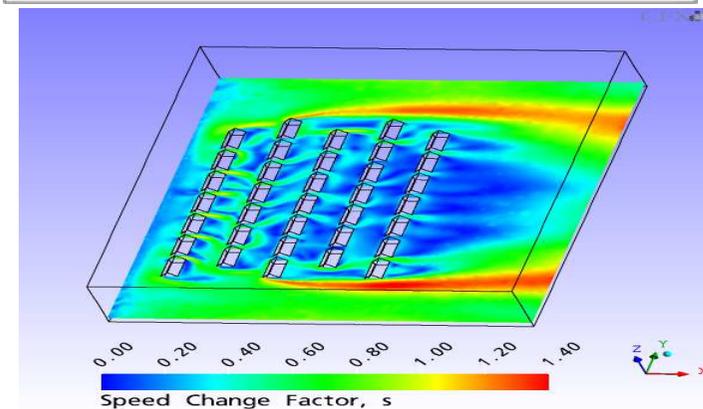
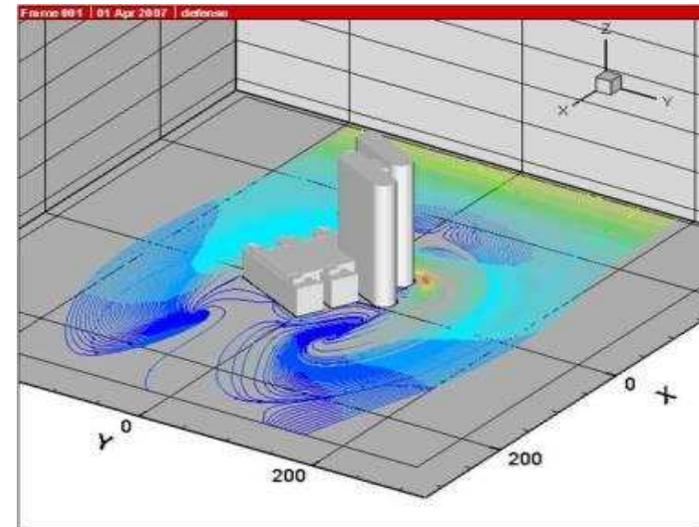
- Primera pregunta que debe hacerse un potencial usuario de minieólica en un entorno urbano es:
 - *Con que precisión puedo predecir la energía generada por un miniaerogenerador instalado en el tejado de mi casa?*
- La precisión de la predicción energética dependerá de:
 - La precisión en la **evaluación del recurso eólico**
 - La precisión de la **curva de potencia** del miniaerogenerador a instalar.

Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (3/13)

- Hay una gran dificultad para cuantificar el efecto de los obstáculos.
- El flujo de viento es sobretodo **turbulento**.
- Se dan importantes variaciones espaciales en pocos metros.



UrbaWind, de Meteodyn

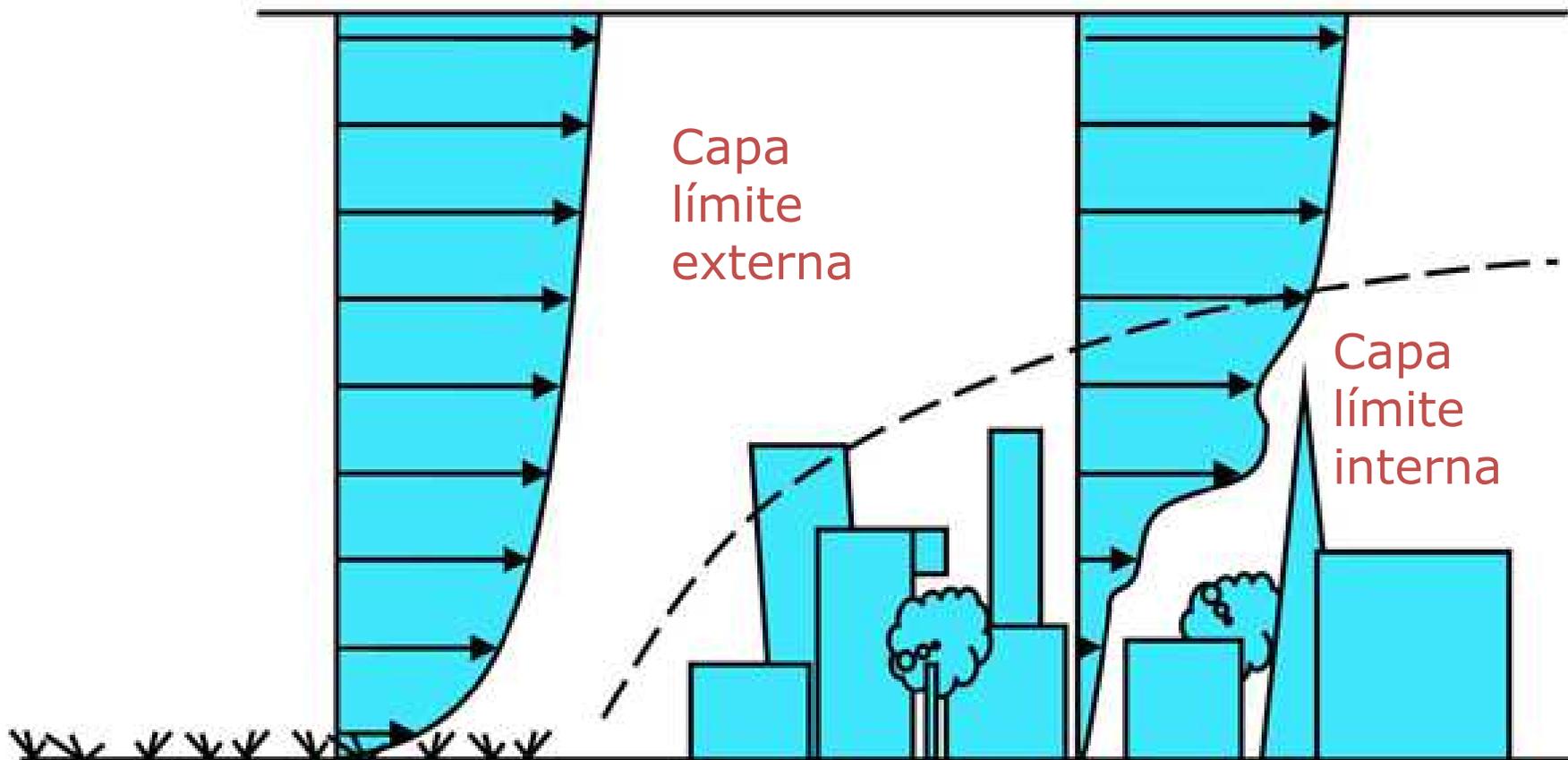


Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (4/13)

- Se debe utilizar “siempre” la torre mas alta disponible para cada instalación.
- La distancia entre la torre de medida y el emplazamiento de nuestro aerogenerador va a afectar mucho (**Google Earth** nos puede ayudar).
- El **tipo de terreno** y los **obstáculos** en la dirección predominante de viento **son críticos**.
- Una mayor altura nos puede ayudar pero la rugosidad del terreno afecta mas todavía.

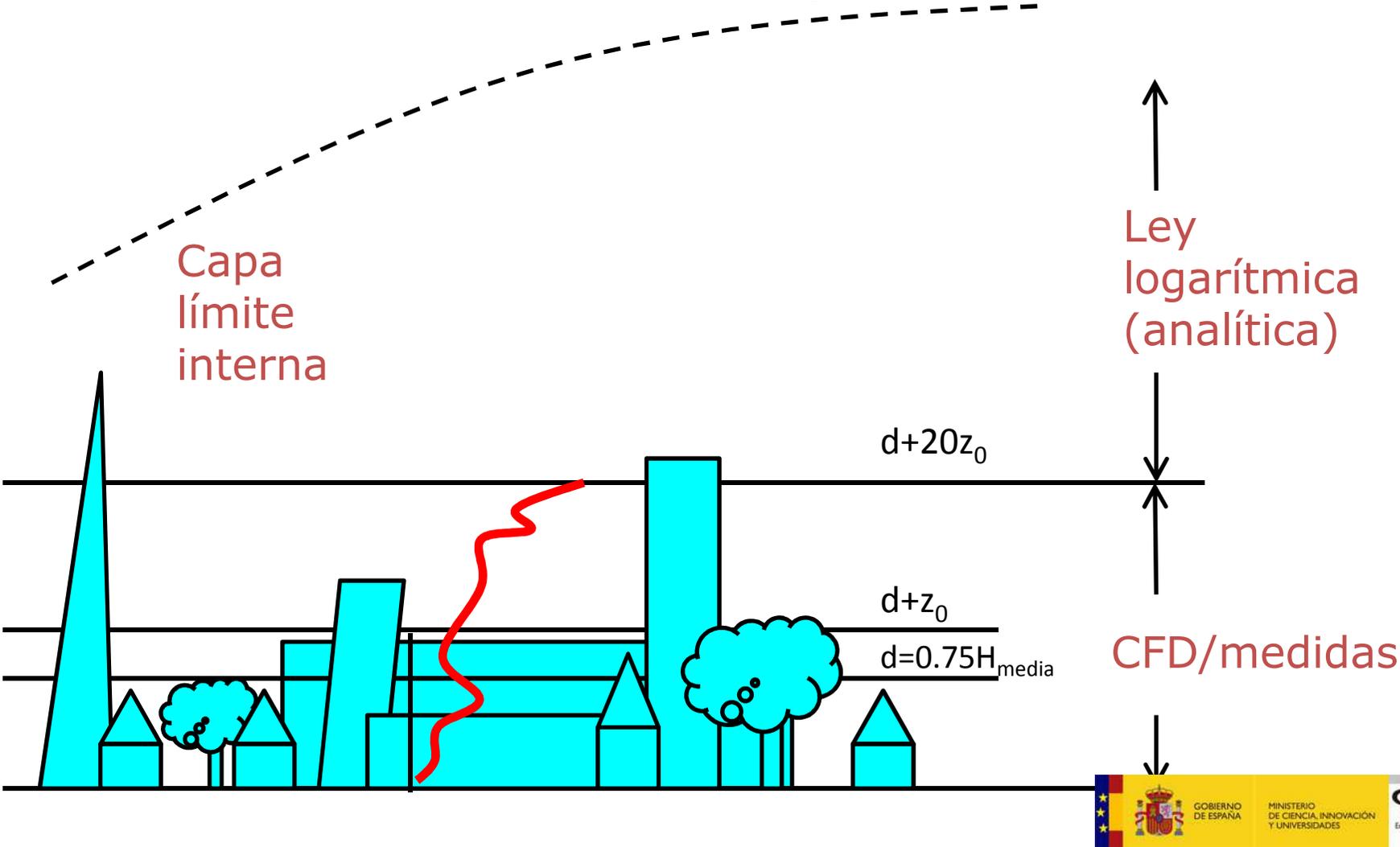
Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (5/13)

Efecto de la capa límite



Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (6/13)

Efecto de la capa límite

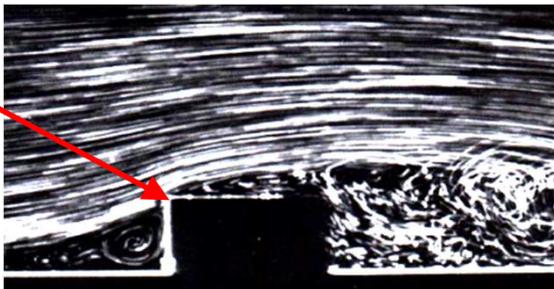


Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (7/12)

Efecto de la aerodinámica en los edificios

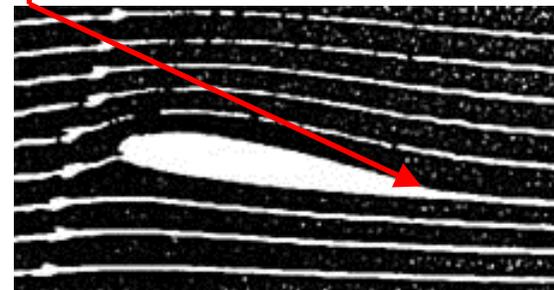
OBJETO AFILADO

- Punto de separación delante
- Arrastre de presión
- Gran arrastre y estela



OBJETO AERODINAMICO

- Punto de separación detrás
- Arrastre viscoso
- Bajo arrastre y estela



CONCLUSIONES

- El viento en ambiente urbano es muy dependiente del lugar donde este instalado el aerogenerador.
- Los edificios tienden a provocar un efecto concentrador

Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (8/13)

Estelas grandes producidas por obstáculos

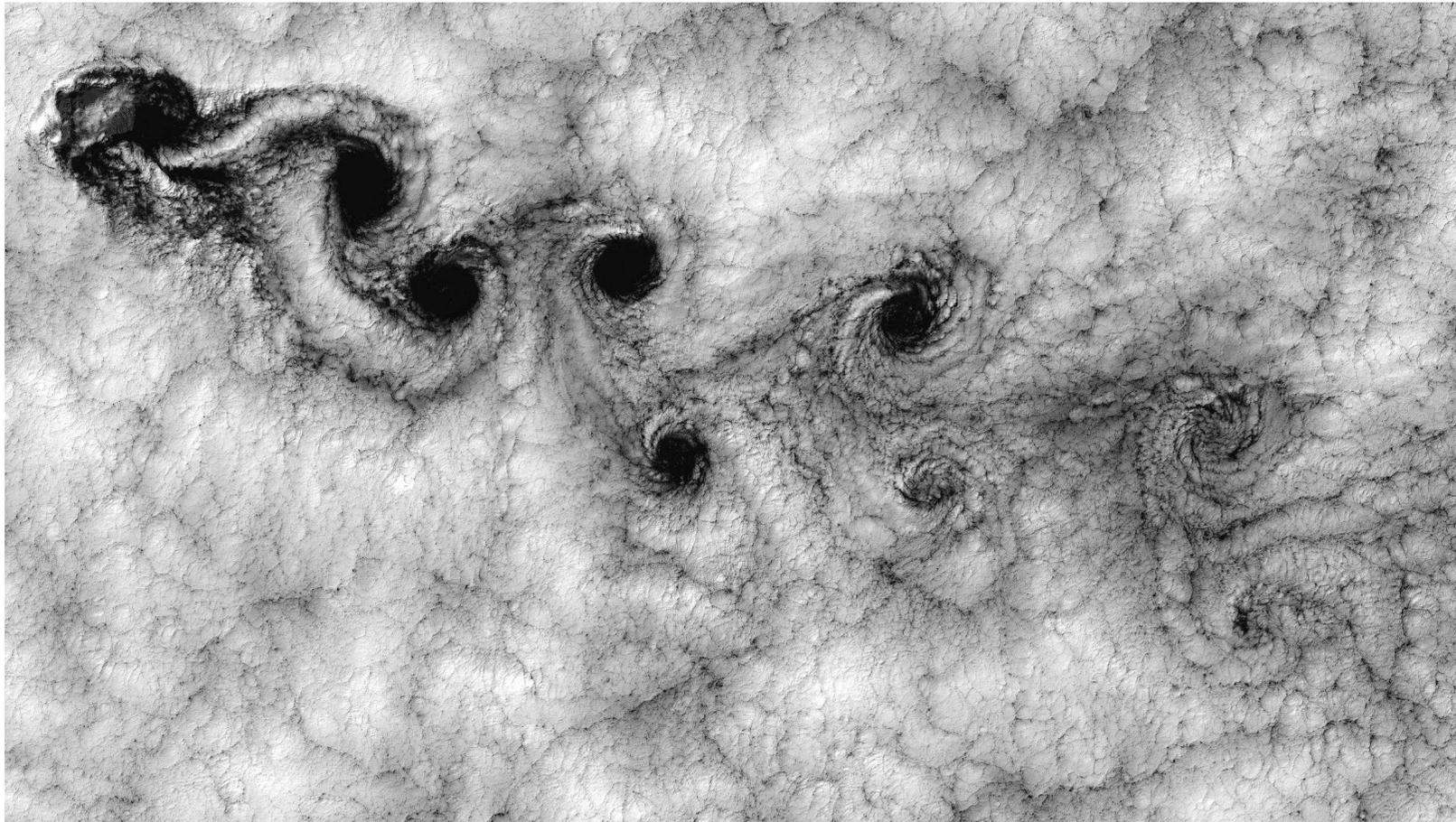


Foto: NASA. Landsat 7 imagen de nubes saliendo de la costa Chilena cerca de la isla de Juan Fernandez (También conocida como la isla de Robinson Crusoe) el 15 de Septiembre de 1999

Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (9/13)

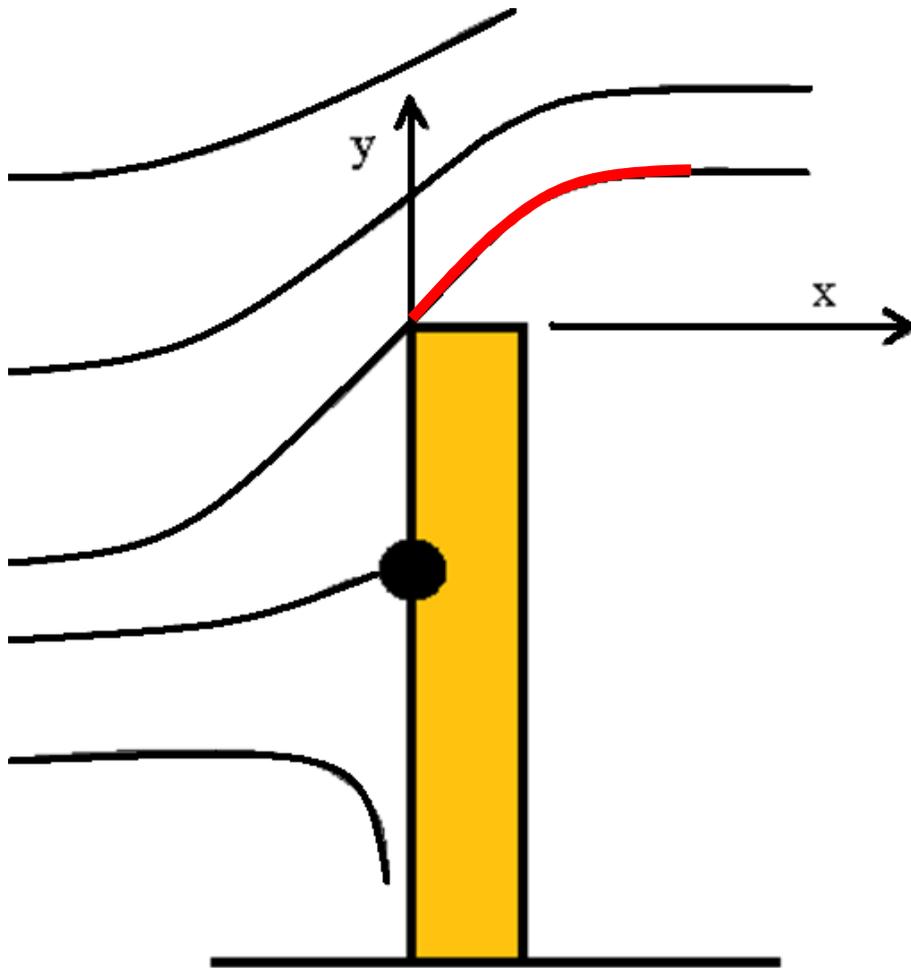
Cálculo de la velocidad de viento

- Basado en la ley logarítmica (p.e. valido en atmósfera neutra).
- Son necesarios los modelos de capa límite externa/interna.
- Son necesarios modelos de estelas para cada edificio individual que este cerca del potencial emplazamiento.
- Bastante tiempo necesario de calculo (luego caro)

Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (10/13)

- Se deberá ir a los **edificios mas altos** en los **bordes** de la ciudad.
- La velocidad del viento estará muy influenciada por los edificios de mayor altura (**estelas**).
- La dirección del viento estará muy influenciada por los edificios de mayor altura. (**efecto cañón o calle**)

Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (11/13)



Edificios 3D

$$y = 0.28D^{\frac{2}{3}}x^{\frac{1}{3}}$$

$$D = D_{klein}^{\frac{2}{3}} D_{groot}^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{If: } 0.1 < \frac{x}{D} < 0.4$$

Edificios 2D

$$y = 0.12H^{0.5}x^{0.5}$$

$$x \gg y$$

Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (12/13)

Herramientas para evaluación del recurso eólico en entorno urbano

Modelo CFD UrbanWind (Modulo Eólico) Desarrollado por METEODYN www.meteodyn.com

- Calcula el potencial eólico en todo tipo de edificios con formatos de datos estándar.
- Modela la **turbulencia**, **perfil vertical** y el **ángulo de incidencia** del viento
- Analiza los **efectos aceleradores** de los edificios (Venturi, esquina..)
- Considera los elementos porosos del dominio evaluado.
- Ofrece el **mapa de frecuencias de superación del umbral de operación del aerogenerador** (Velocidad de viento para arranque)
- Ofrece los **coeficientes de Weibull** y las **tablas de frecuencias**

Evaluación del recurso eólico en entorno urbano (13/13)

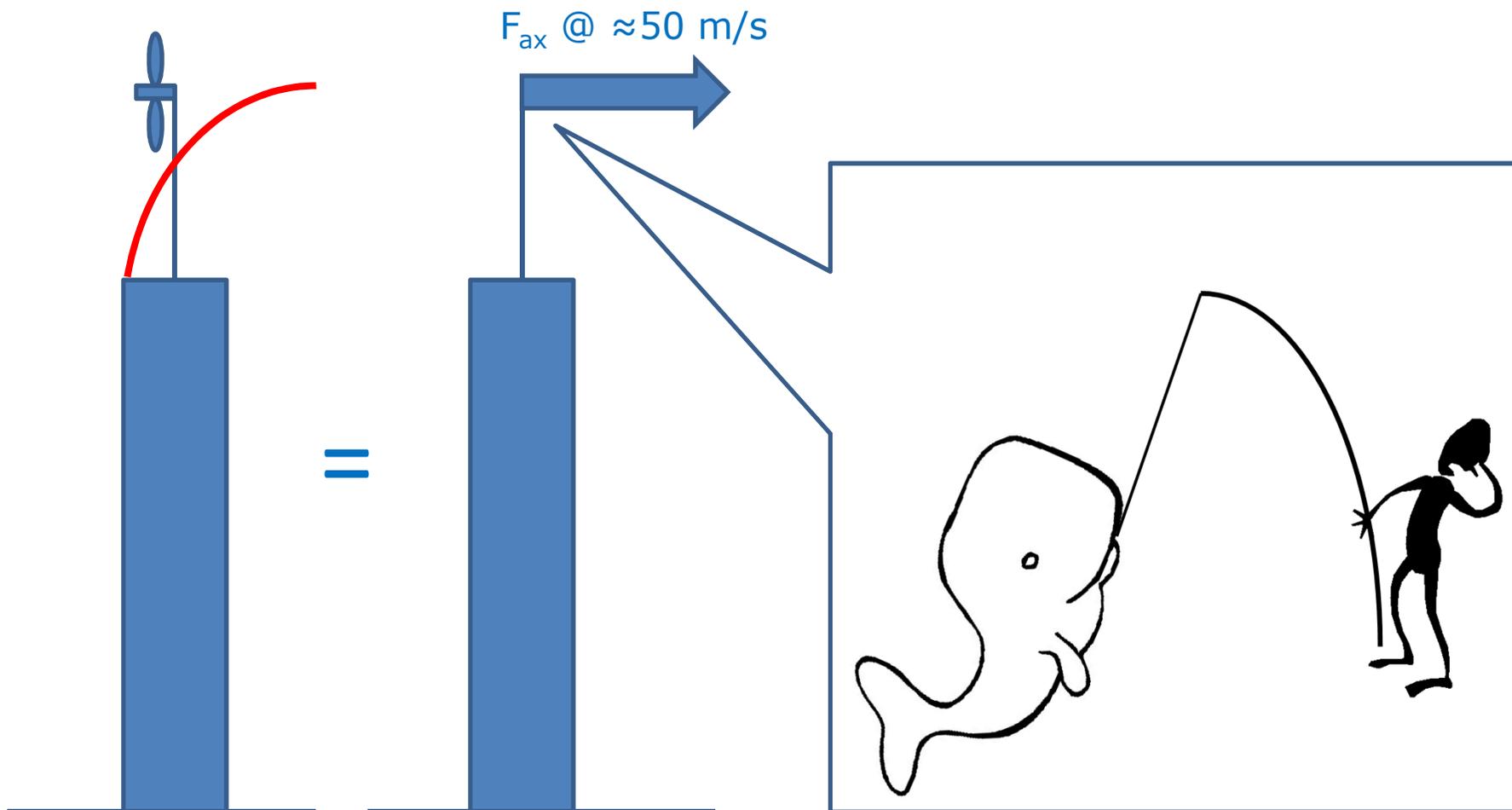
- **NABLADOT (Zaragoza ESPAÑA)**
<http://www.nabladot.com/2018/04/ubicacion-optima-de-pequenas-turbinas-eolicas-en-entornos-urbanos/>
- **Ubicación óptima de pequeñas turbinas eólicas en entornos urbanos**
- La aplicación desarrollada consiste en el acoplamiento de procedimientos SIG (Sistemas de Información Geográfico), modelos numéricos de predicción y reanálisis meteorológico, técnicas de fluidodinámica computacional y software analítico para la caracterización del viento en zonas urbanas.
- La aplicación está integrada en la nube, su uso es sencillo y tiene un elevado nivel de automatización, de tal forma que un usuario pueda ejecutar la herramienta computacional simplemente eligiendo la zona en la que quiere obtener la caracterización del viento; por tanto, no son necesarios conocimientos previos de simulación numérica ni disponer de recursos computacionales para manejar la aplicación desarrollada.



Conclusiones preliminares

- Velocidad media anual de viento alrededor de **4 m/s** se considera buen sitio para aplicaciones urbanas.
- Energía anual de entre **200 - 300 kWh/m²**
- La velocidad de viento nominal del aerogenerador a la cual alcanza la potencia nominal debe bajar hasta 9 m/s (pérdidas aceptables en el rendimiento en términos de energía del sistema).

Carga con viento extremo



Tipos de aerogeneradores



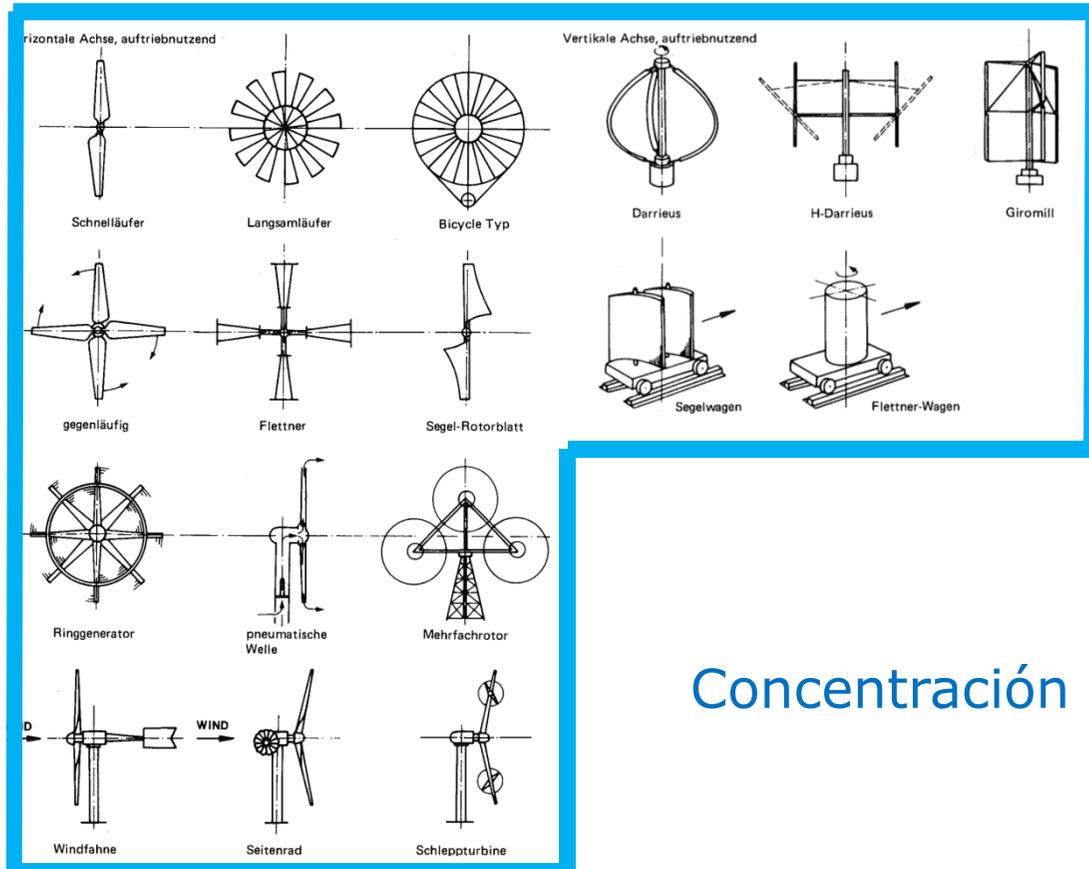
Múltiples modelos



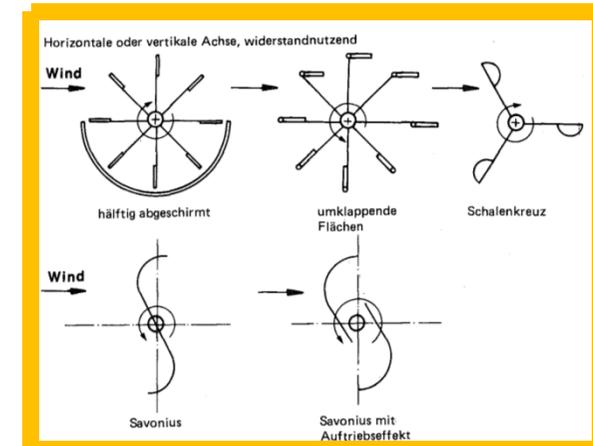
Echa un vistazo en
www.allsmallwindturbines.com
Para ver los modelos disponibles

Varios modelos

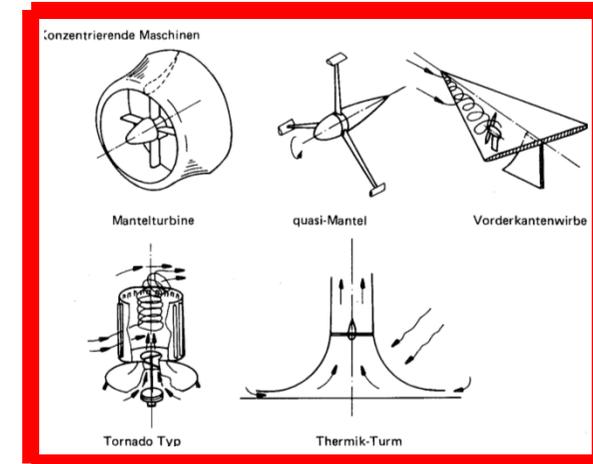
Sustentación



Arrastre



Concentración



MOLLY, J.-P. (1978): Windenergie in Theorie und Praxis, Grundlagen und Einsatz

Dos disposiciones del eje

EJE HORIZONTAL:

- Orientación frecuente / Desorientación

EJE VERTICAL:

- Autoarranque → pesado & curva de eficiencia en pico
- Sin autorranque → Mucha energía requerida para arrancar como motor en entornos turbulentos

Velocidad específica

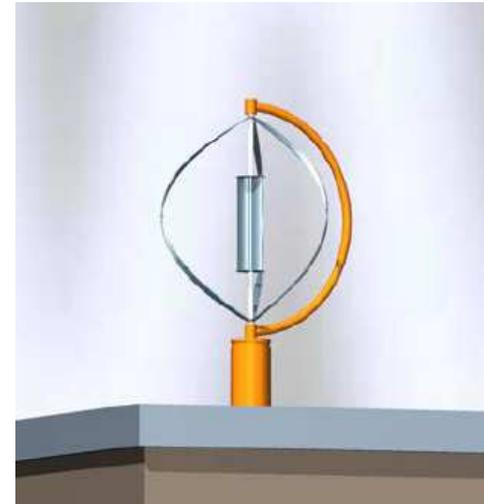
- La **velocidad específica** es la relación entre la velocidad de la punta de la pala o aspa (velocidad de rotación por el radio) y la velocidad del viento
- Una velocidad específica alta produce mucha emisión de ruido acústico.
- Se deberá ir a velocidades específicas por debajo de 5 (valores de 11 se han medido en el Air X).
- No ir a velocidades específicas por debajo 3 ya que esto obliga a diseñar la pala con área grande (y esto produce cargas grandes) y eficiencia baja.

Elección del aerogenerador

- Las turbinas de eje horizontal son preferibles que las de eje vertical por razones de eficiencia.
- Las turbinas de eje vertical producen menos ruido acústico y vibraciones.
- Sustentación.
- Nunca regulación por furling (Desorientación del rotor).
- Velocidad específica (TSR) entre 3 ... 5
- A poder ser utilice aerogeneradores certificados de acuerdo a las normas IEC o al menos etiquetados (IEA, SWCC, Renewables UK, etc.)
- Importante conocer la clase del aerogenerador (I,II,III,IV,S) (Ver norma IEC 61400-2 Edición 2 o UNE)

Requerimientos en un aerogenerador para integración en edificios

- Rendimiento alto en vientos complejos.
- Operación segura en ambiente urbano.
- Bajo nivel de emisión de ruido y vibraciones.
- Diseño robusto y simple.
- Mantenimiento mínimo.
- Apariencia estética.



Aerogenerador Globuan (Darrieus)



Influencia de los obstáculos en la producción de los aerogeneradores

Tipo de turbina y emplazamiento	Velocidad media anual (m/s)	PAE Estimada (kWh)	Energía medida (kWh)	Intensidad de Turbulencia TI (%)	I5 5 m/s	I15 15 m/s	Power Curve	Turbulence Intensity
Proven 6 Area Rural	6.1	13,882 +/- 1,689 (6 m/s)	13,703	0.14	0.13	0.12		
Proven 6 Area Suburbana	4.5	4,629 +/- 1,362 (4 m/s)	4,181	0.21	0.25	0.18		
Skystream 2.1 Area Rural	4.7	3,416 +/- 295 (5 m/s)	3,681		0.19	0.18		
Skystream 2.1 Area Suburbana	3.3	1,736 +/- 208 (4 m/s)	1,936		0.22	0.2		

Fuente: CREDIT/DKIT IEAWind Task 27

Influencia de los obstáculos en la producción de los aerogeneradores

Proven 6
Area Rural



Proven 6
Area Suburbana



Fuente: CREDIT/DKIT IEAWind Task 27

Influencia de los obstáculos en la producción de los aerogeneradores

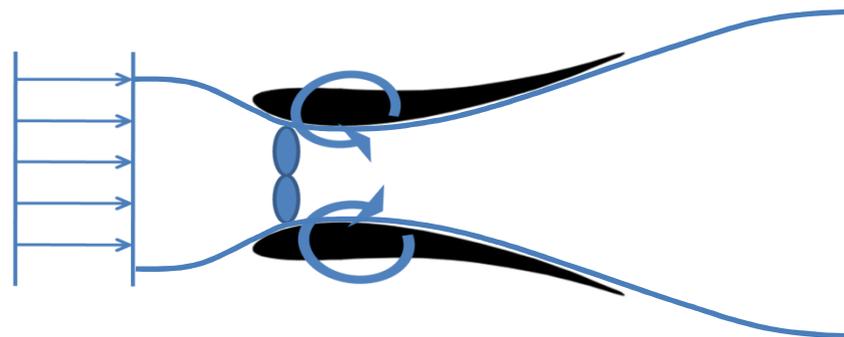
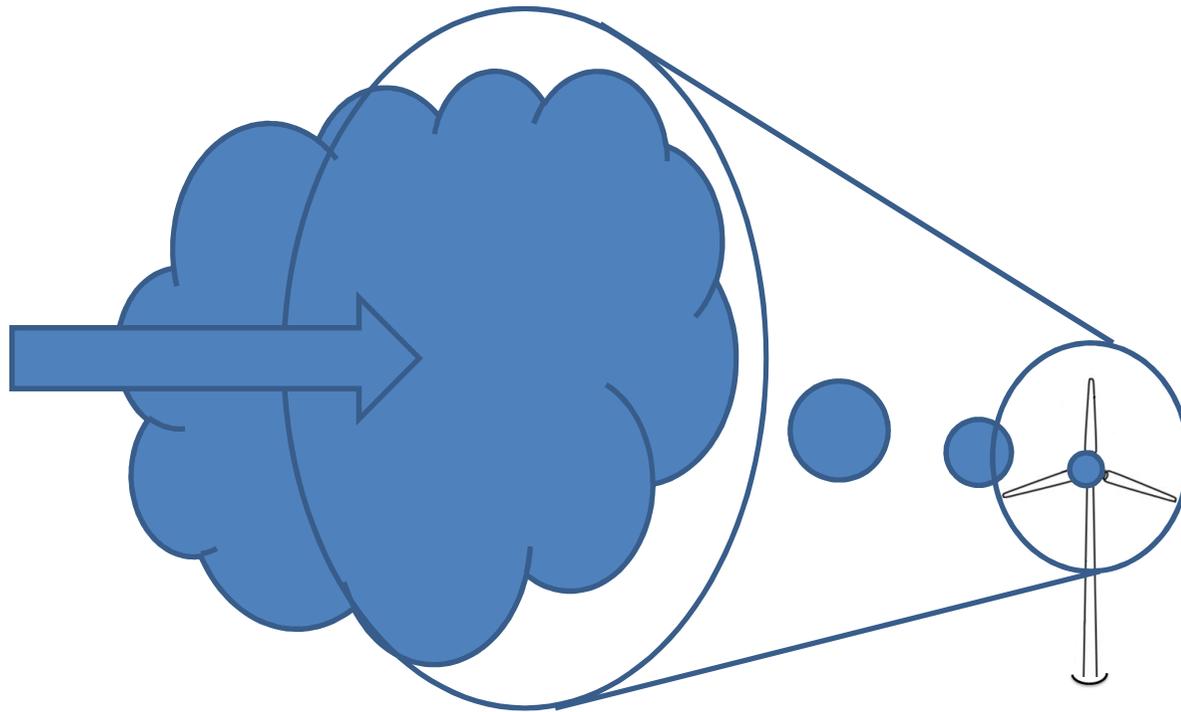
Skystream 2.1 Area Rural



Skystream 2.1 Area Suburbana

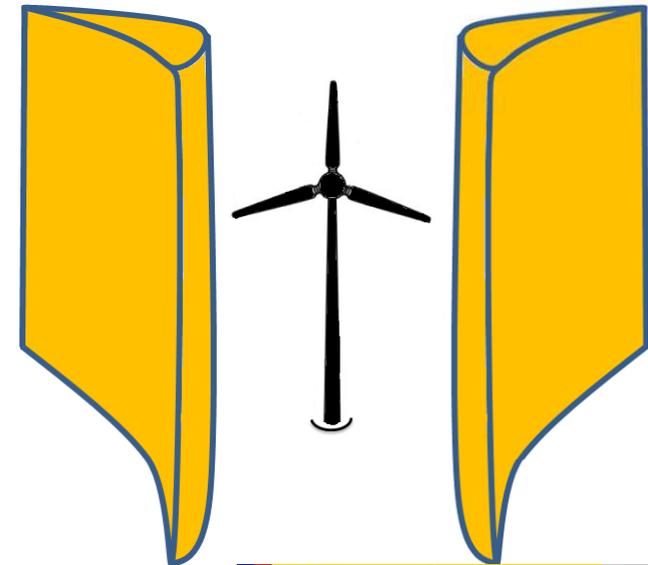
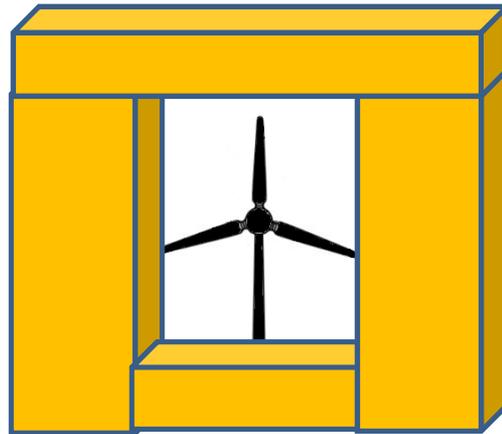
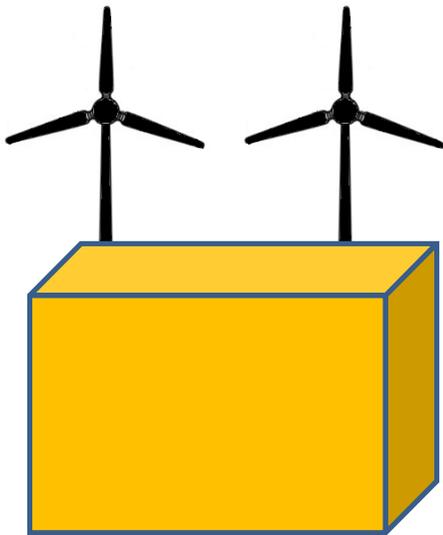


Y turbinas con concentradores

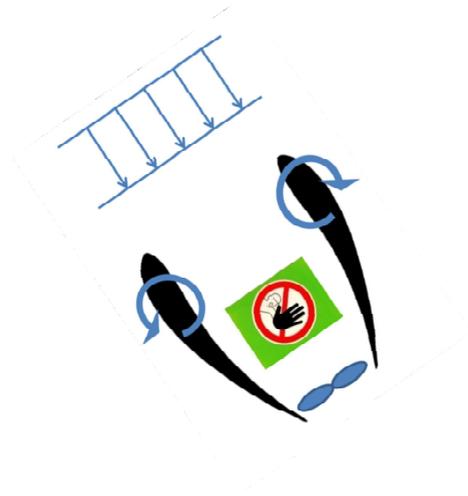
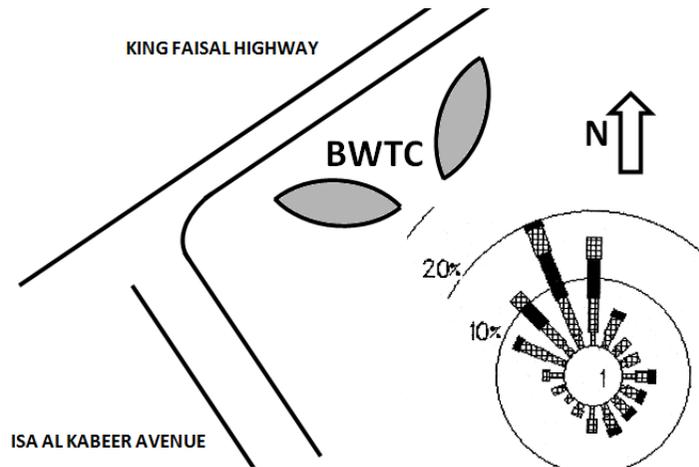


Y edificios concentradores

- Instalación en el tejado o en el lateral de un edificio ya existente.
- En un ducto, tubo o paso a través del edificio.
- Entre dos edificios con fachadas en forma de perfiles aerodinámicos

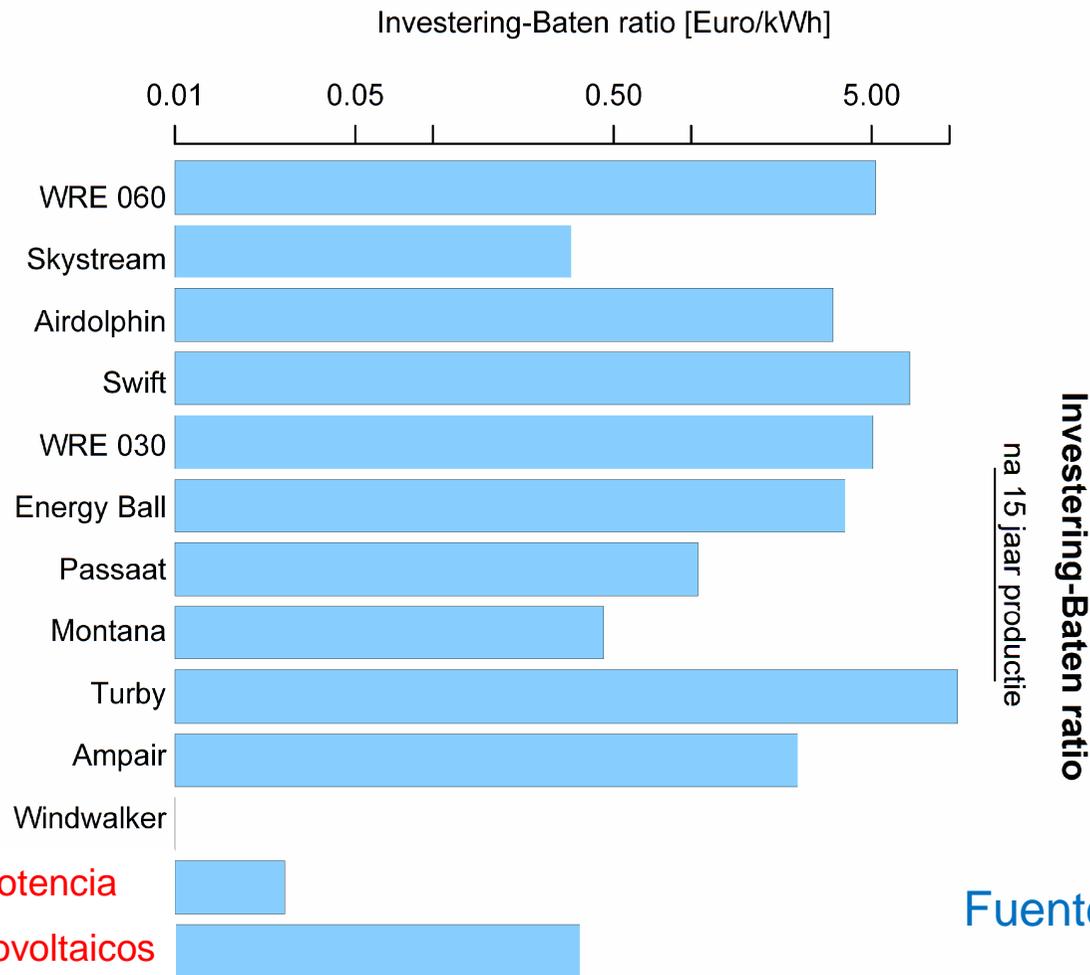


Bahrain World Trade Center



Aerogeneradores urbanos

Coste de la energía COE



Fuente: Ingreenious

Resultados ensayos

- **Grandes diferencias** en cada unos de los aspectos que afectan a la producción energética de los aerogeneradores de pequeña potencia.
- **Solo algunos producen lo que el fabricante dice.** Han ocurrido ciertos eventos como rotura de las palas, inversor estropeado o rodamientos que chirrían, la mayoría de ellos difíciles de explicar
- La tecnología solar FV instalada en las fachadas que es comparable a los aerogeneradores instalados en los tejados produce menos que lo visto en los gráficos (sombras, ángulos inadecuados)
- En general, esta claro que **queda mucho por hacer**, pero la tecnología eólica para integración en viviendas a pesar de todo los problemas es prometedora.

Aplicaciones mas viables

- **Iluminación urbana.**
 - Un tercio del consumo de energía de las ciudades es en iluminación: Paseos, parques, edificios, etc.
- **Sistemas de comunicación urbana (wifi, radio, cámaras etc.)**
- **Carga de vehículos eléctricos.**



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES

Ciemat
Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

Conclusiones

- Se requiere evaluar el escenario total (ahorro de energía, tratar de resolver nuestras necesidades de energía con energías renovables,....).
- No hay que intentar vender la energía eólica urbana en lugares ridículos.
- Buscar lugares con recurso suficiente y desarrollar buenos aerogeneradores específicos para esta aplicación.
- Identificar todas las posibles barreras en cuanto a permisos (Limite de altura, etc.)

Información disponible

- Proyecto VINEUR (UE) www.urbanwind.net
- Guía para promover la energía eólica urbana en el Reino Unido www.urbanwindenergy.org.uk
- Tarea 27 se la AIE Eólica http://www.ieawind.org/task_27_home_page.html
- Strathclyde University www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/01-02/RE_info/Urban%20wind.htm



Muchas gracias por su atención

Ignacio.cruz@ciemat.es



3A



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

