

Eólica Urbana

Proyecto FSE _1_2011_1_6674

José Cataldo, 16 de octubre de 2015

Dirección Nacional de Energía

Proyecto presentado al Fondo Sectorial de Energía de la ANII

Integración del grupo de trabajo

Facultad de Ingeniería

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental

Instituto de Ingeniería Eléctrica

Facultad de Arquitectura

Taller Perdomo

Instituto de la Construcción

Recurso global
Mapa eólico
Elevada altura

Recurso ajustado a las características locales
Rugosidad
Velocidad media
Turbulencia

Característica geométrica de edificaciones

Efecto de las construcción y vegetación
Modelación numérica
Modelación física
Casos embebidos

Características constructivas

Análisis de viabilidad: Factor de capacidad, efecto de turbulencia, potencia instalada, soluciones de sujeción

Efectos Ambientales: Efecto sobre paisaje, requerimientos energéticos, requerimientos ambientales

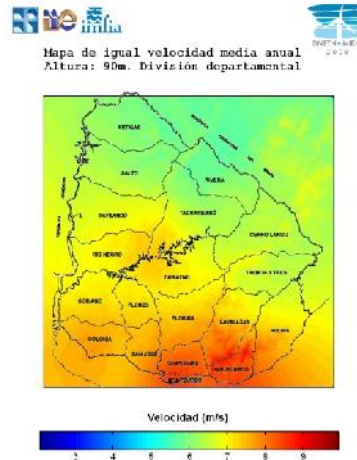
Análisis de factibilidad: economía, obras requeridas, ruido, ahorros energéticos y ambientales

Conexión a la red de distribución:
Calidad del servicio, estabilidad, consumos y aportes

Instalación piloto

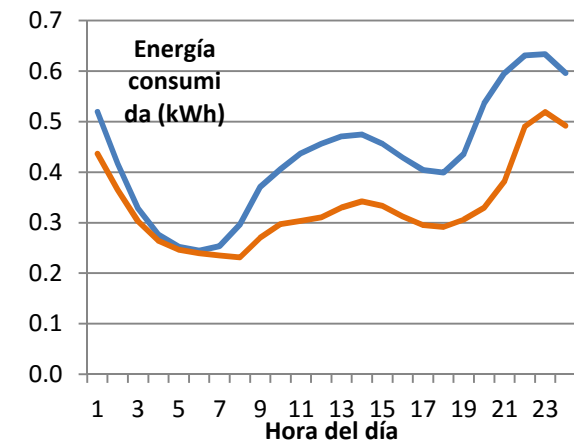
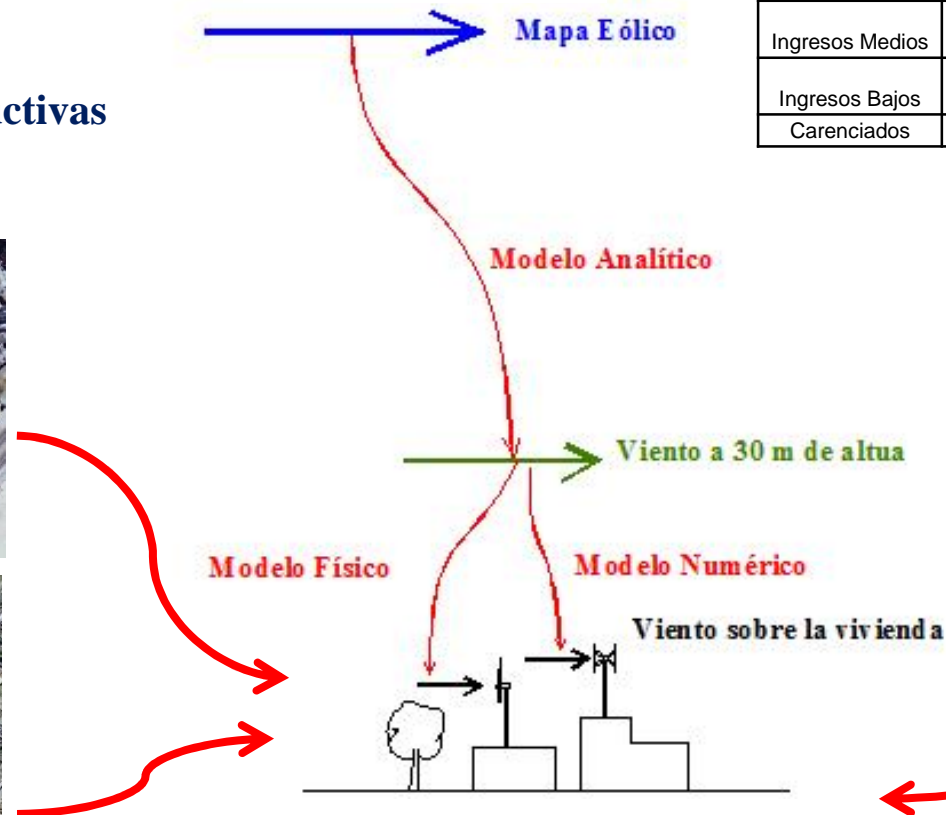
GUÍA DE INSTALACIÓN

Curso y concurso para estudiantes



Tipologías constructivas y entorno

Estrato	Leña (tep/hogar)	E. Eléctrica (tep/hogar)	Supergas (tep/hogar)	GNL (tep/hogar)
Ingresos Altos	0,255	0,666	0,121	0,175
Ingresos Medios	0,106	0,285	0,089	0,02
Ingresos Bajos	0,164	0,142	0,065	0
Carenciados	0,22	0,248	0,07	0



Diseño arquitectónico

Construcción - aprovechamiento de los recursos naturales

- **Típico**
 - **Características repetitivas**
 - **Hincapié en sus rasgos genéricos**
- **Tipicidad**
 - **Regiones**

- ❖ **Áreas urbanas homogéneas**
 - ❖ **Elevada homogeneidad interna**
 - ❖ **Alta heterogeneidad externa**

- ✓ **Áreas de borde**
 - ✓ **Diferencias de alturas**
- ✓ **Áreas expuestas**
 - ✓ **Plaza, costa**
- ✓ **Áreas Interiores**

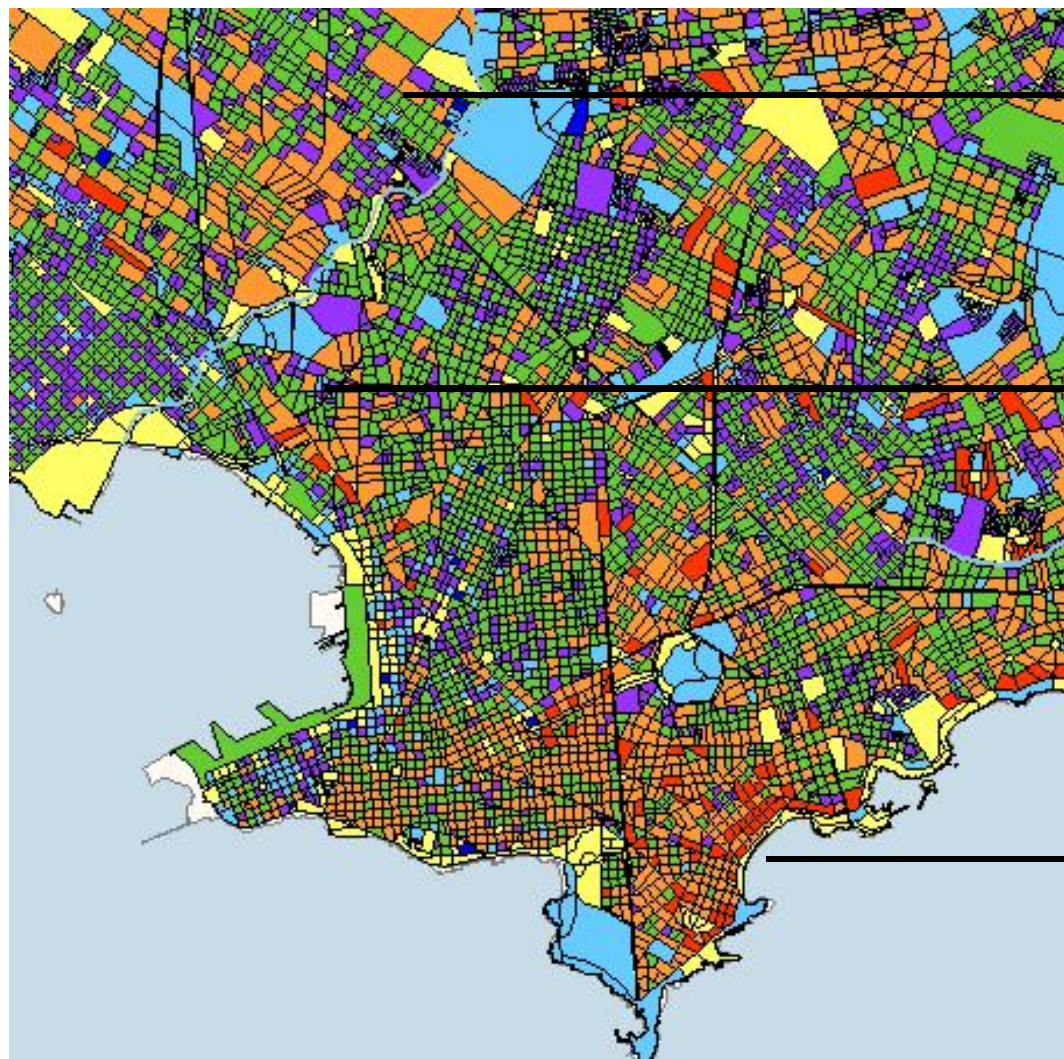
Selección de estudios de caso.

- *Áreas presentes masivamente en la ciudad*
 - ocupación total
 - ocupación territorial
 - ocupación en altura.
- *Áreas con consolidación concordante con la normativa*
 - contenida Plan de Ordenamiento Territorial (POT)
 - escenario estable
- *Viabilidad económica de la aplicación de turbinas eólicas*
 - considerando acá el poder adquisitivo de los propietarios,

ALTA densidad

Densidad MEDIA

BAJA densidad.



PEÑAROL - densidad media 200 a 500 hbs/h

PRADO – baja densidad 50 a 100 hbs/h

POCITOS – alta densidad + de 500 hbs/h

ALTA DENSIDAD - Pocitos

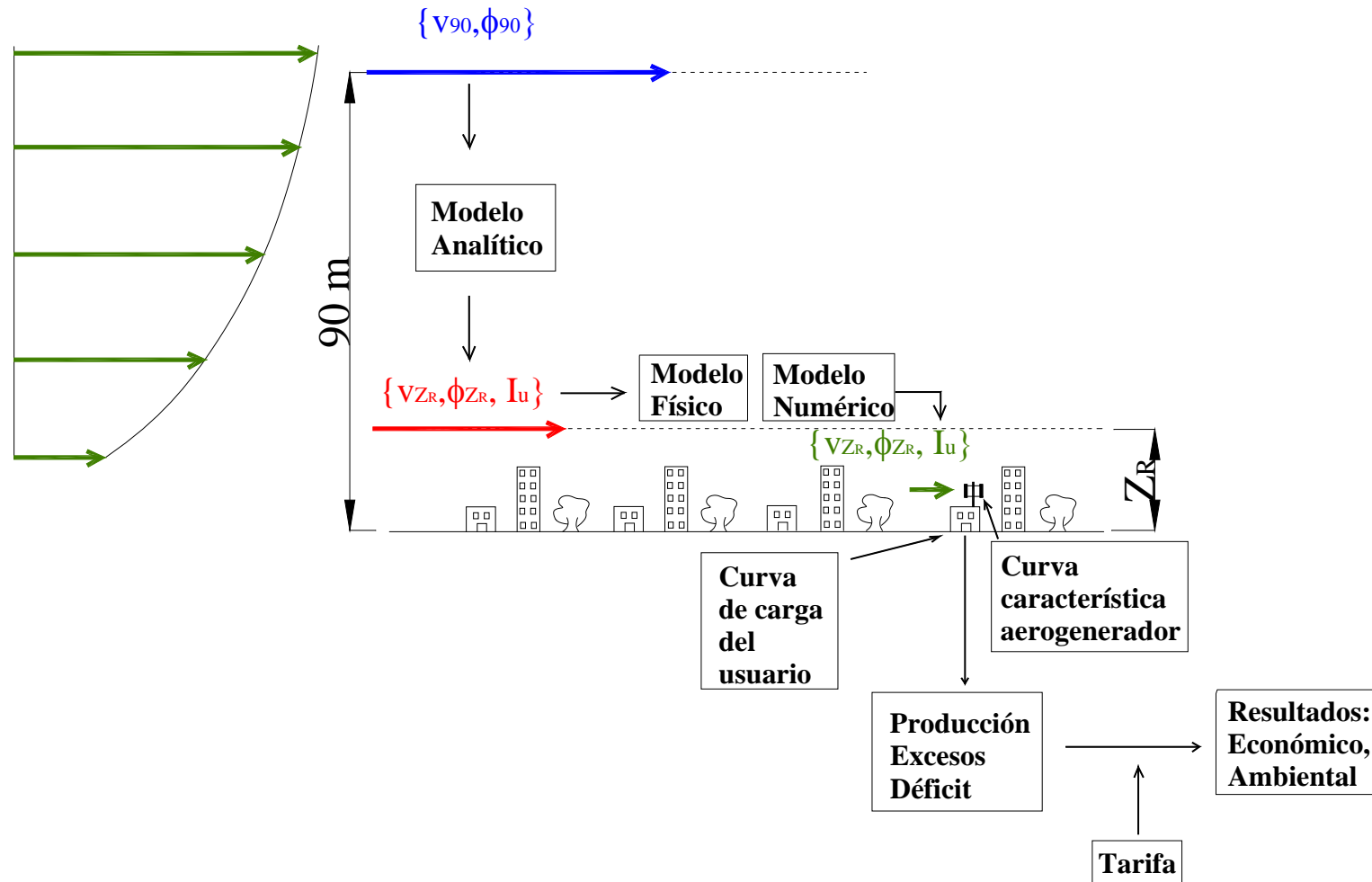


BAJA DENSIDAD - Prado

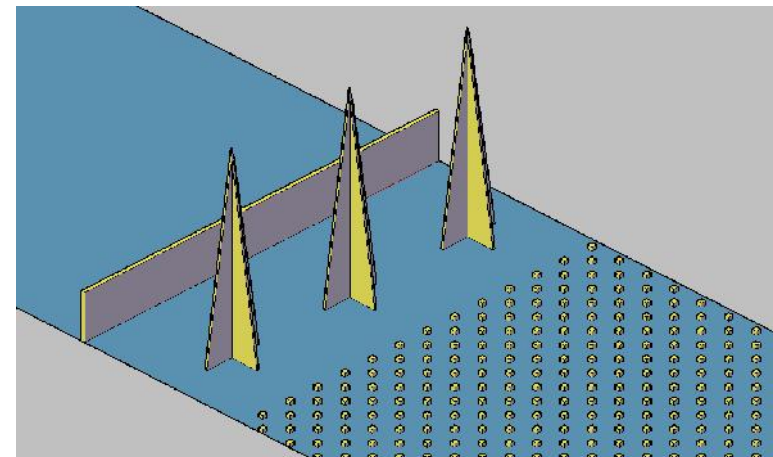


DENSIDAD MEDIA - Peñarol

Caracterización del recurso eólico



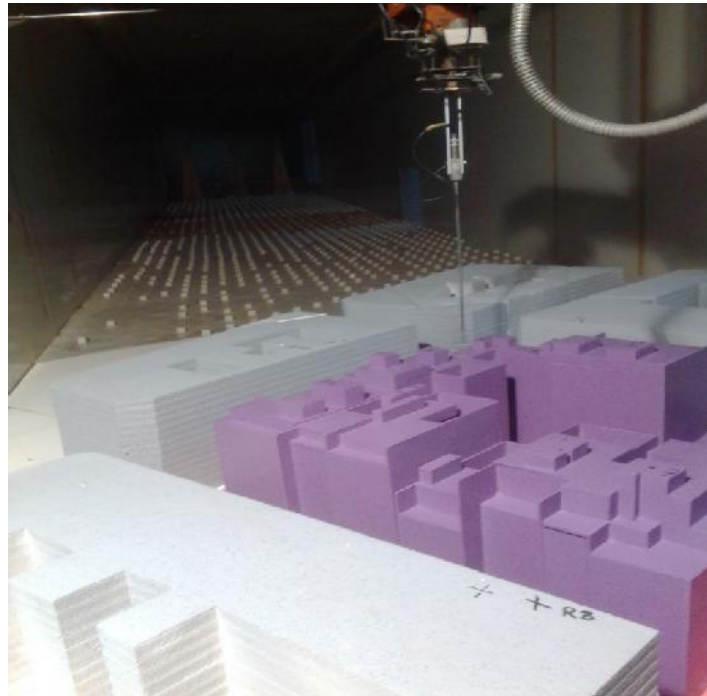
- **Modelación física**
 - **Túnel de viento**
 - **Modelación del viento atmosférico – Escala 1/100**
 - **Modelación de situaciones de estudio**
 - **Tres zonas seleccionadas**
 - **Facultad de Ingeniería**





**Visualización del
flujo**

**Descripción del
flujo**



Medición de velocidad

**Velocidad – Velocidad de
referencia**

Intensidad de turbulencia

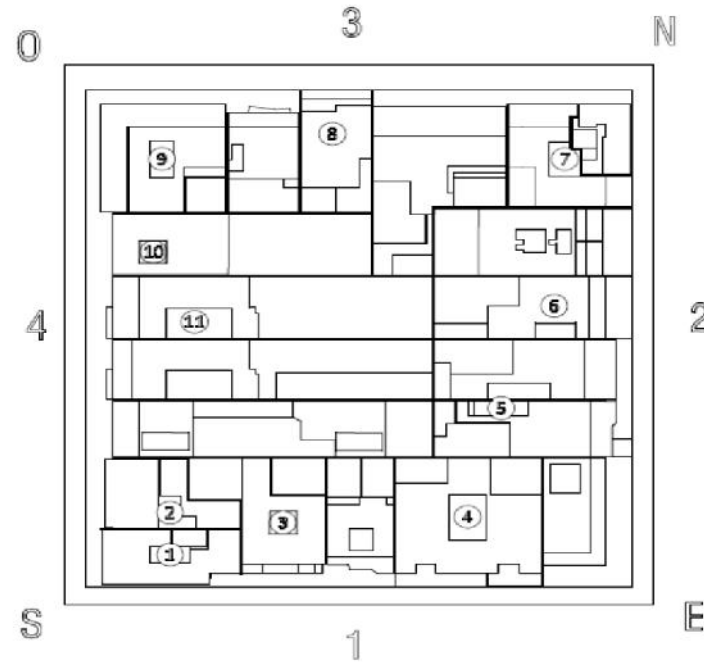
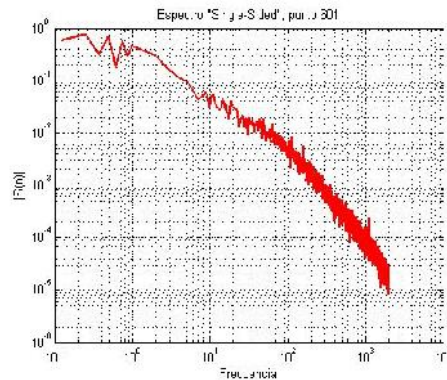
Espectros de la turbulencia

Selección de sitios de medición

Distribuidos

Alturas 3 m, 7 m, 15 m

Resultados V/V_{ref} , I_u , Espectros



En cada sitios

Serie histórica de velocidad media de viento

Valores de velocidad extrema – Periodo de retorno 50 años

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3$$

Potencia Meteorológica

Energía disponible

	Altura	P(W/m²)			V (m/s)		
	(m)	Media	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Máxima
101	3	1.12	0.02	5.12	1.7	0.6	3.3
102	7	2.14	0.13	7.87	2.3	1.1	3.9
103	15	5.94	0.40	10.96	3.4	1.5	4.7
201	3	5.76	1.34	12.24	3.4	2.4	4.9
202	7	6.48	0.05	11.80	3.5	0.7	4.8
203	13	10.70	0.12	20.08	4.1	1.0	5.3
301	3	6.52	0.55	13.91	3.5	1.8	4.7
302	7	8.43	0.83	17.23	3.8	2.1	4.9

Punto	Velocidad extrema (km/h)	Punto	Velocidad extrema (km/h)
101	74	701	181
102	86	702	170
103	136	703	181
201	141	801	86

- ❖ Zonas de ELEVADA DENSIDAD
 - ❖ Velocidad media anual > 4 m/s
 - ❖ Valores extremas de velocidad - Elevadas – 40 m/s
 - ❖ Intensidad de turbulencia – 22% a 50%

- ❖ Zonas de BAJA DENSIDAD, DENSIDAD MEDIA
 - ❖ Velocidad media anual > 3 m/s
 - ❖ Valores extremas de velocidad < 30 m/s
 - ❖ Intensidad de turbulencia 18% a 29%

IEC 61400 – 1

Clase de turbina eólica	I	II	III	S
V _{ref} (m/s)	50	42.5	37.5	Valores especificados por el diseñador
A I _{ref}	0.16			
B I _{ref}	0.14			
C I _{ref}	0.12			

Viabilidad

Rendimiento de
aerogeneradores

Energía generada -
Necesaria

Desempeño
estructural de
aerogeneradores

Disponibilidad
de espacio -
Sujeción

Factibilidad

Valor Actual
Neto

Periodo de repago

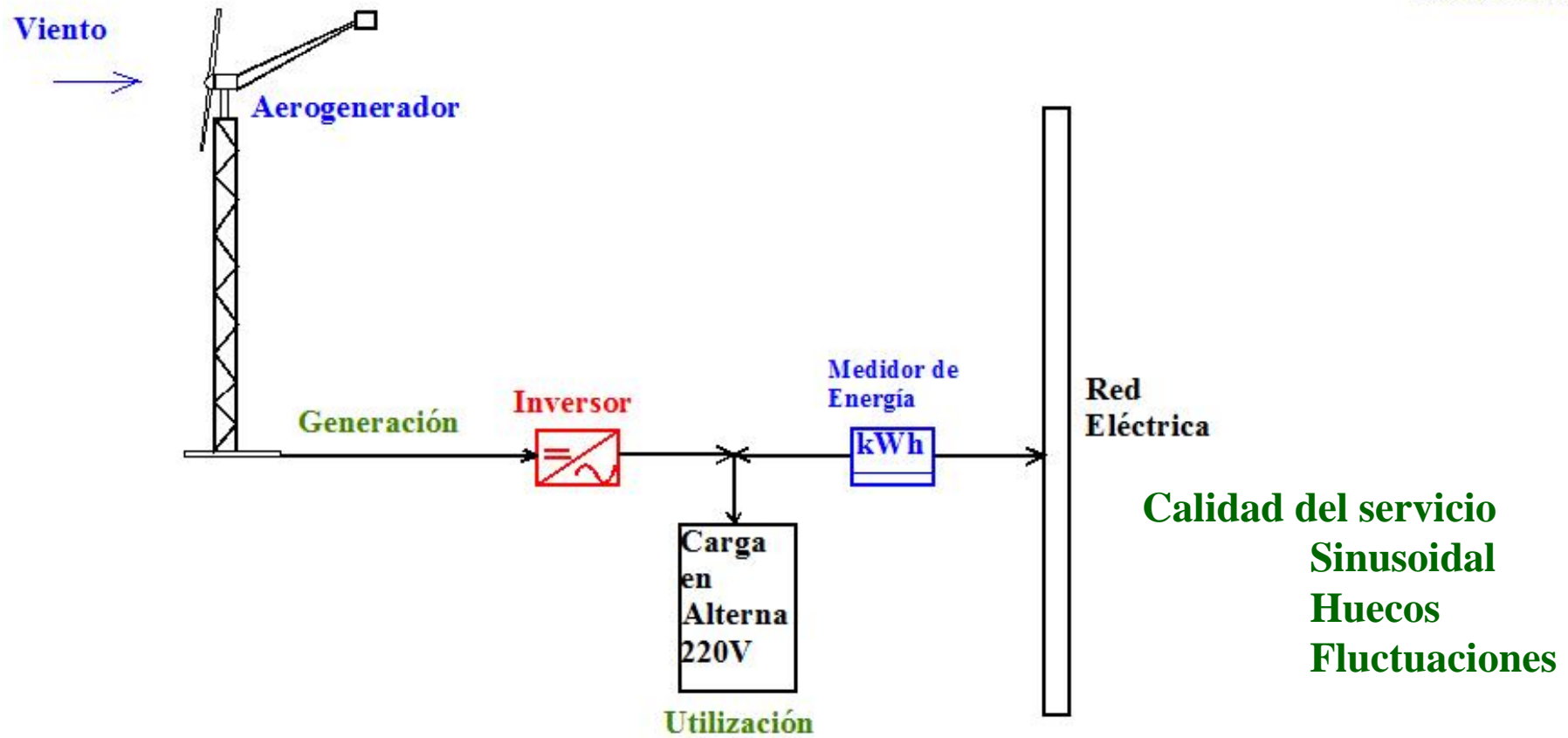
Tasa
interna de
retorno

Efectos
ambientales,
Positivas y
negativas

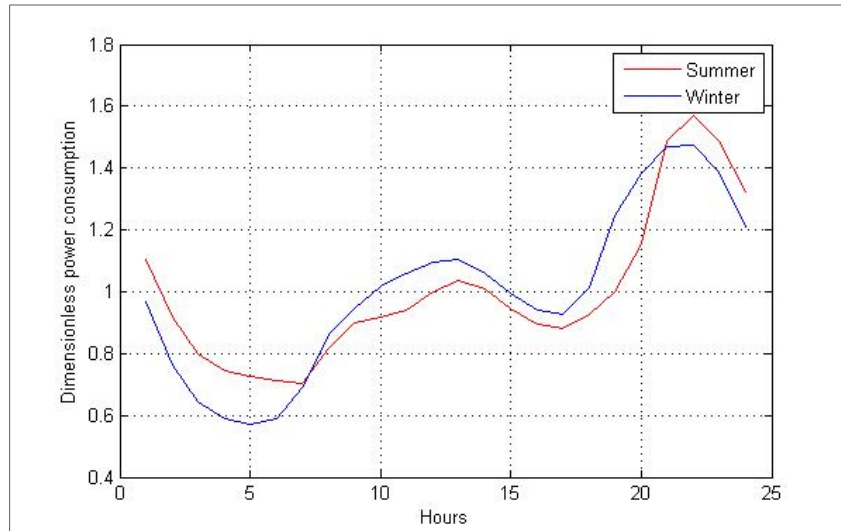
Decreto de Microgeneración, 173 – 010

- * Venta de energía eléctrica a la red de origen renovable**
- * Mismo precio de la tarifa contratada**
 - * Residencial simple**
1k Wh a 100 kWh, 101 kWh a 600 kWh y mayor a 600 kWh
 - * Doble horaria**
Punta 17:00 a 23:00, Valle 0:00 a 17:00 y 23:00 a 0:00
- * Se paga la diferencia**

Urbana, Suburbana, Rural



Consumo - UTE



PEDEM

Categoría	Nivel de consumo Mensual (kWh)
Ingresos bajos	123
Ingresos medios	255
Ingresos altos	589
Ingresos muy altos	937

Esquemas tarifarios

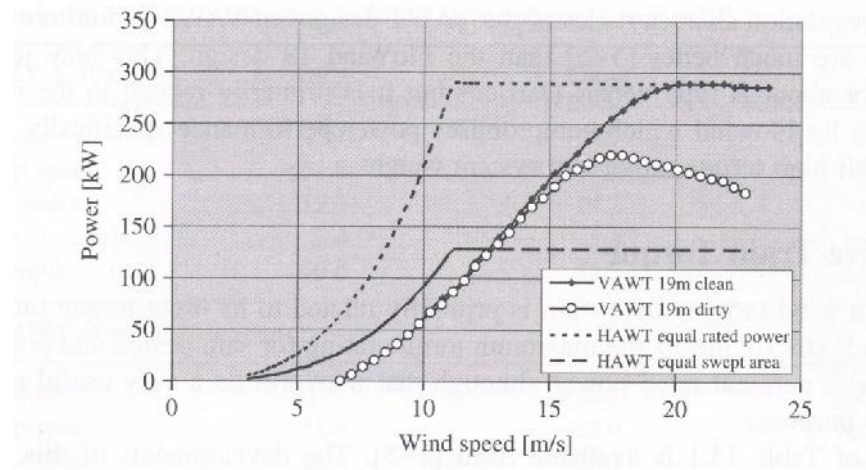
TARIFA RESIDENCIAL SIMPLE	
Cargo por consumo de energia	
1kWh a 100kWh	4,004\$/kWh
101kWh a 600kWh	5,022\$/kWh
601kWh en adelante	6,253\$/kWh
Cargo por potencia contratada	47,9\$/kW
Cargo fijo mensual	154,5\$

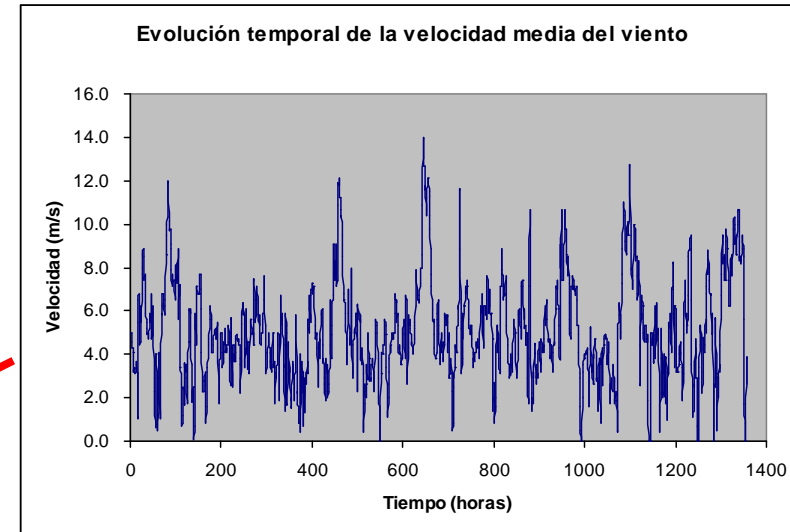
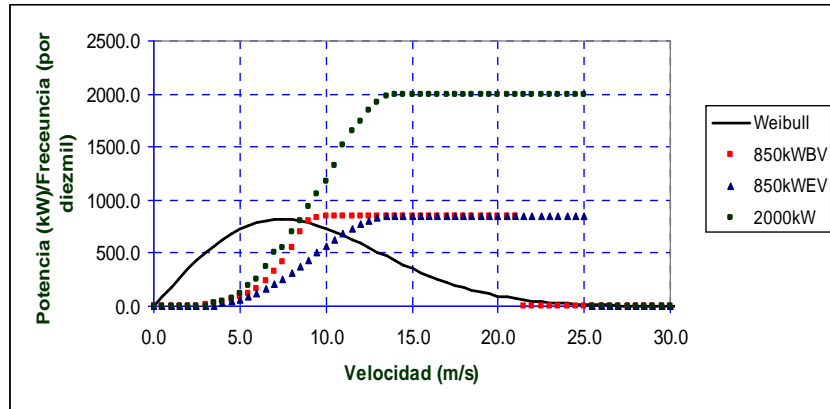
TARIFA DOBLE HORARIO RESIDENCIAL	
Cargo por consumo de energia	
Horario Punta*	6,694\$/kWh
Horario fuera de punta	2,679\$/kWh
Cargo por potencia contratada	47,9\$/kW
Cargo fijo mensual	279,0\$

➤ Modelo Analítico

➤ Datos

- Curva de consumo
- Esquema tarifario
- Aerogenerador – Curva Característica





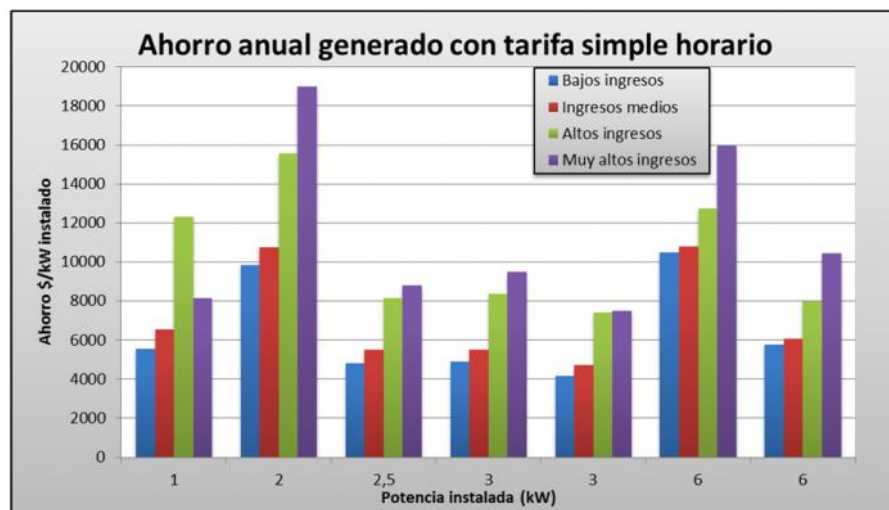
$$\bar{P} = \int_0^{\infty} P(V) \cdot p(V) \cdot dV$$

$$F.C. = \frac{\bar{P}}{P_R} = \frac{\text{Cantidad de horas a potencia no min al}}{\text{Horas totales}}$$

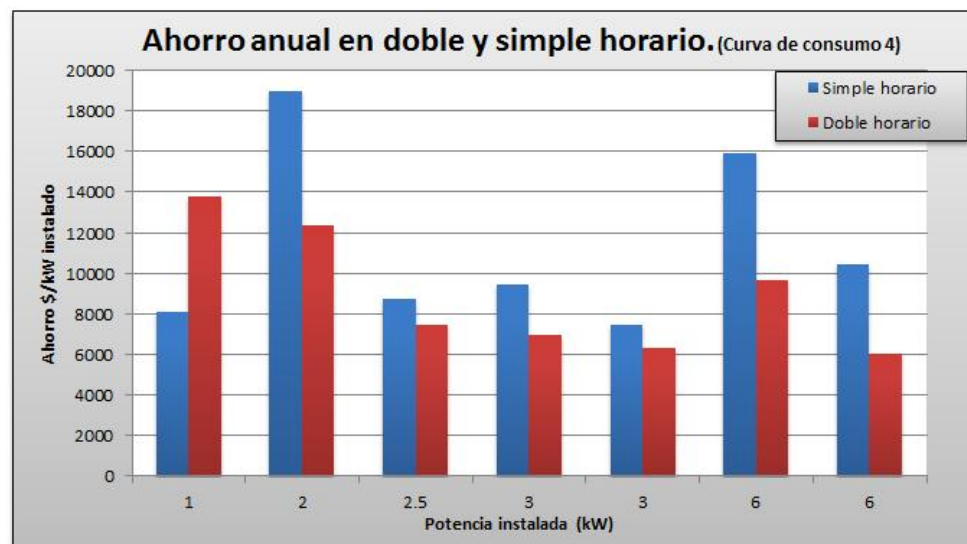
Desempeño energético – 27 aerogeneradores

Marca	Tipo	FC (%)	
		Fac. Ing.	Alta dens
Ecofis	VAWT	11,0	14,5
Oy Windside	VAWT	12,2	15,6
Ropatec	VAWT	11,6	15,1
Ropatec	VAWT	9,3	12,1
Ropatec	VAWT	13,1	16,8
Turby	VAWT	10,8	14,5
Venturi	VAWT	6,2	8,2
Windman	VAWT	22,2	28,7
Windman	VAWT	14,0	18,6

**Bajos valores de
Factor de Capacidad**



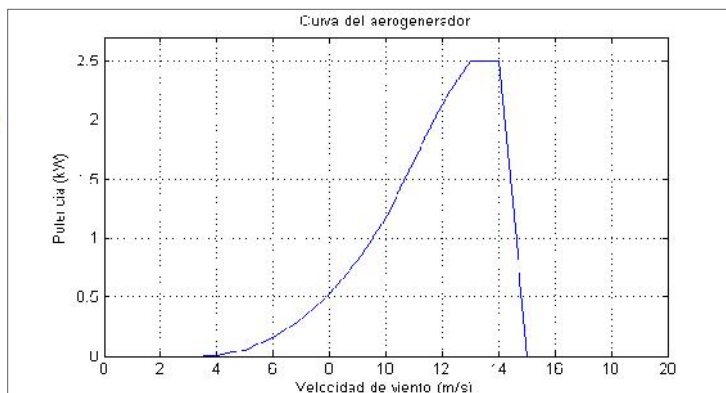
**Mayor ahorro a
elevados consumos**



Simple horario mayor ahorro que en doble horario – Producción no sintonizada horario

AERO 21	TRUBY									
Pot. (kW)	2.5									
FC	14.5%	Precio unitario (US\$/kW)	Simple horario				Doble horario			
% Inv.	Inv. (US\$)		Ahorro anual (\$)	PB (años)	TIR	VAN (\$)	Ahorro anual (\$)	PB (años)	TIR	VAN (\$)
100%	26392	10557	30454	25	-1.5%	-4.53E+05	22129	34	-4.2%	-5.24E+05
75%	19794	7918	30454	19	1.3%	-2.75E+05	22129	26	-1.7%	-3.46E+05
50%	13196	5278	30454	13	5.8%	-9.70E+04	22129	18	2.2%	-1.68E+05
38%	10029	4012	30454	10	9.4%	-1.15E+04	22129	14	5.2%	-8.24E+04

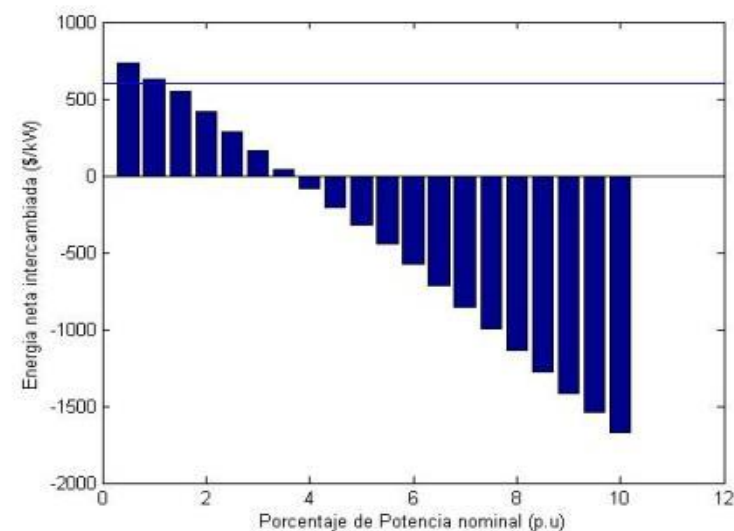
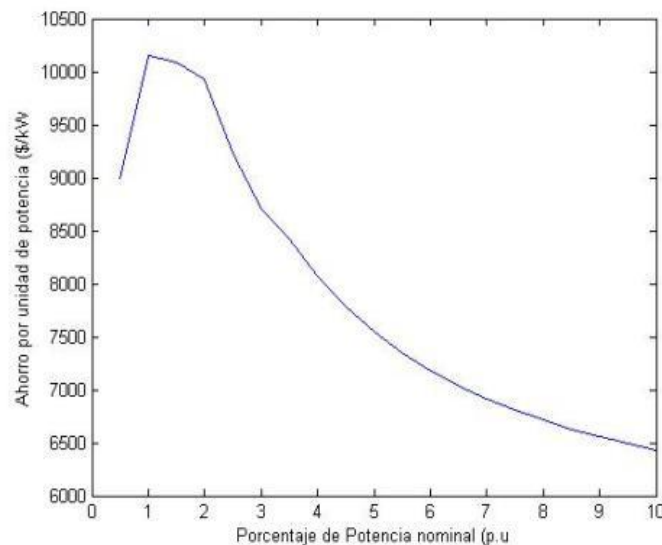
Sensibilidad a la inversión



**Familia de
aerogeneradores**

0.5 a 10 veces 2.5 kW

**Vivienda en zona de ALTA DENSIDAD
Ingresos Muy Altos**



Dimensión óptima del generador

Aerogeneradores utilizados en micro generación

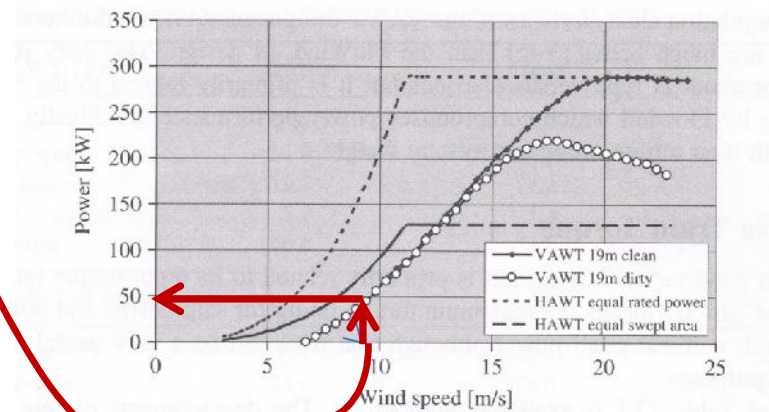


Tecnología de aerogeneradores

Baja velocidad

elevada turbulencia

**Elevadas solicitaciones –
Fluctuantes - Riostras**



Banco de prueba de aerogeneradores

Facultad de Ingeniería



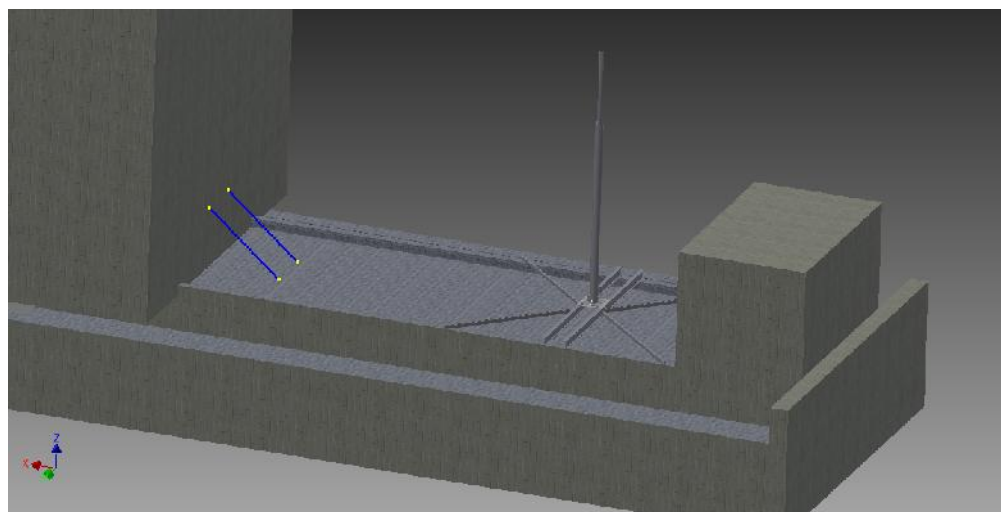
Modelo físico

Anemómetros ultrasónicos

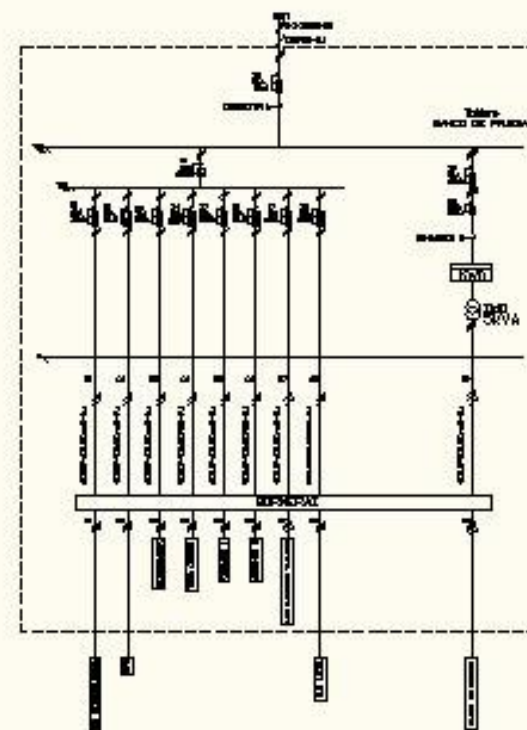
e-olos Urbis: Micrositing Computacional de Aprovechamientos Eólicos en la Ciudad de Montevideo



- ❖ **Diseño estructural**
 - ❖ **Vientos extremos**
 - ❖ **Turbulencia**



- ❖ **Diseño de conexión eléctrica**
 - ❖ **Tablero**
 - ❖ **Conexión - UTE**

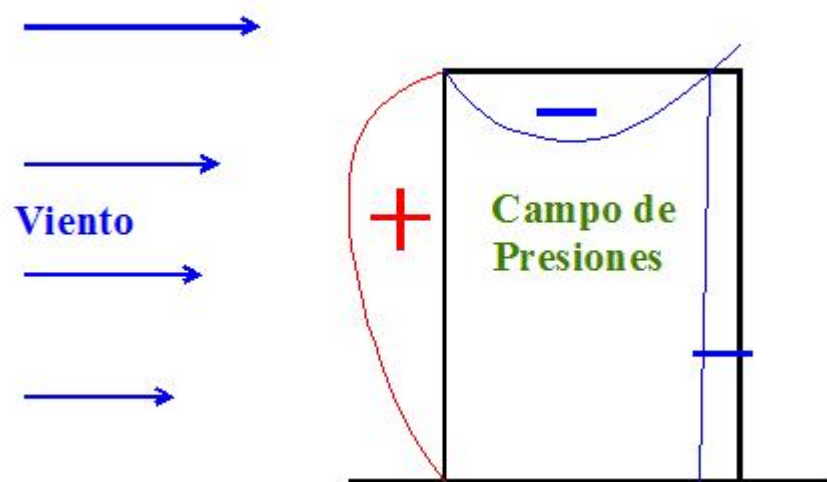


- **Mediciones**
 - **Potencia**
 - **Velocidad de viento**
 - **Valor medio**
 - **Turbulencia**
 - **Calidad del servicio**
 - **Emisiones acústicas**
 - **Vibraciones mecánicas**

Soluciones a medida







Concurso para estudiantes de Arquitectura

- **Concurso de ideas para la incorporación de la energía eólica en el ambiente urbano.**
- **Análisis de propuestas tanto desde el punto de vista energético, arquitectónico como económico.**

Conclusiones

- Se identificaron tres tipos de zonas urbanas
- Zona de ALTA DENSIDAD – No parece adecuada para la explotación eólica
- Zonas de BAJA y MEDIA DENSIDA
 - Viable – Altura
- Viabilidad
 - Elevados consumos
 - Tarifa Simple
 - Ahorro de energía
 - Inversión < 5000 U\$S/kW
- Banco de pruebas – Desarrollo de tecnología