



ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE CONSTRUCCIÓN MODULAR ORIENTADA A LA PROSPECCIÓN EÓLICA EN ARGENTINA



Ing. Rafael Oliva (Universidad Nacional de la Patagonia Austral + L&R Ingeniería)

Defensa de Tesis de Maestría en Energías Renovables - U.N.Sa

DEPARTAMENTO DE FÍSICA - FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA - ARGENTINA

Octubre 3 de 2014

Tesis - R.Oliva - UNPA + L&R Ing.



CONTENIDOS

- Parte introductoria: marco teórico, objetivos – preguntas y organización del trabajo:
 - 0) Contexto: Uso de Energía, Energía Eólica en generación eléctrica, internacional y local
 - I) Naturaleza y Medición del Recurso Eólico: Sensores, registradores y conceptos de estadística del viento
 - II) Teoría básica y cómputo de Incertidumbres
 - III) Curva de Potencia en Aerogeneradores
 - IV) Recursos de hardware y software requeridos
- Parte Experimental, implementación y resultados
- Análisis de resultados, conclusiones, discusión

Introducción (i)

TESIS - ESTACION MET-4CH/1NIVELVIENTO - 17-04-2011

R.OLIVA - TESIS 04-2011 V2.1

Sensores
de viento

Sensores
atmosféricos

Tesis: Idea de la Estación
Modular configurable

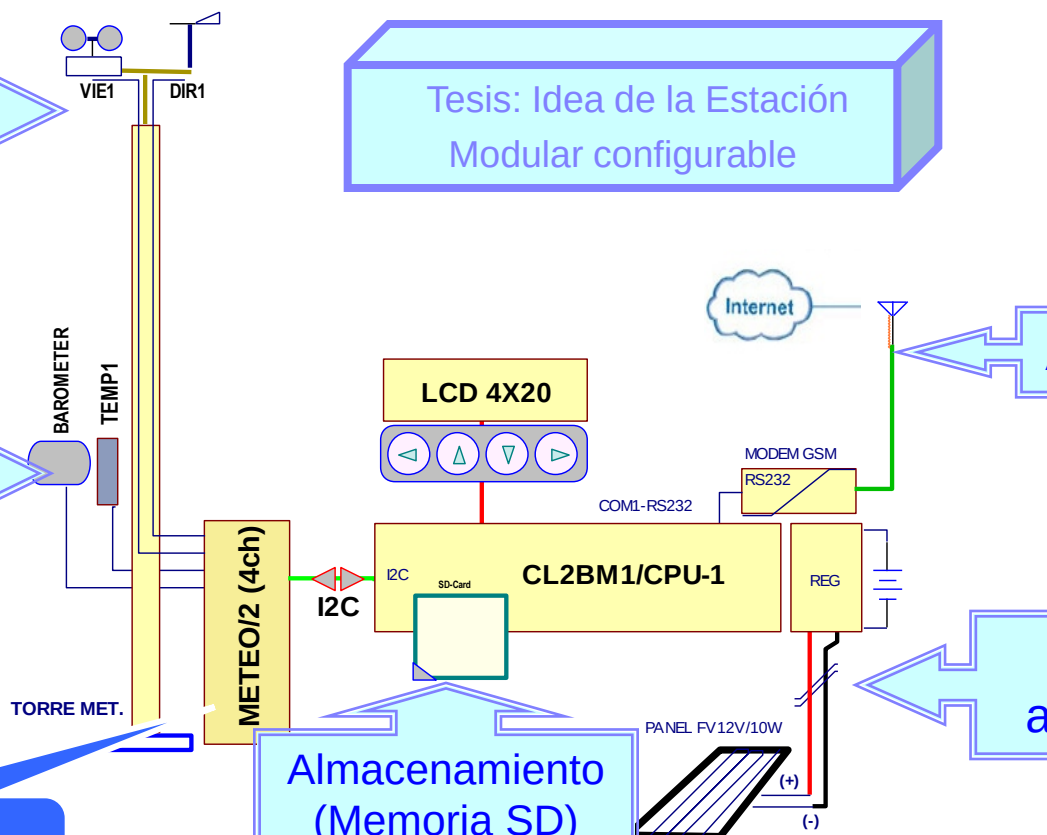
Acceso remoto

Fuente de
alimentación

Módulos
de expansión

Almacenamiento
(Memoria SD)

Tesis - R.Oliva - UNPA + L&R Ing.



Introducción (ii)

TESIS - ESTACION MET-6CH/2NIVELVIENTO - v2/17-04-2011

R.OLIVA - TESIS 04-2011

Sensores
de viento
a varios
niveles

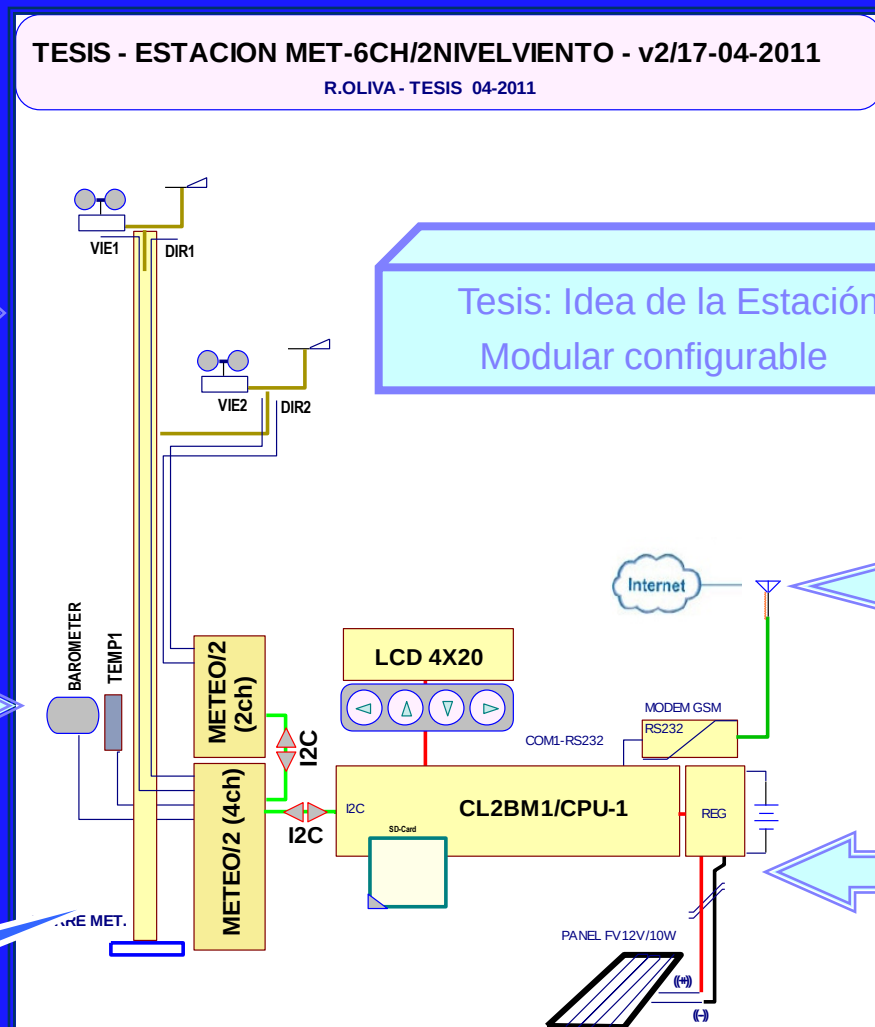
Sensores
atmosféricos

Módulos
de expansión

Tesis: Idea de la Estación
Modular configurable

Acceso remoto

Fuente de
alimentación



Introducción (iii)

TESIS - ENSAYO CURVA POTENCIA 1x AERO 48V - 30-03-2011

R.OLIVA - TESIS 04-2011

Estación Modular configurada
para Curva de Potencia

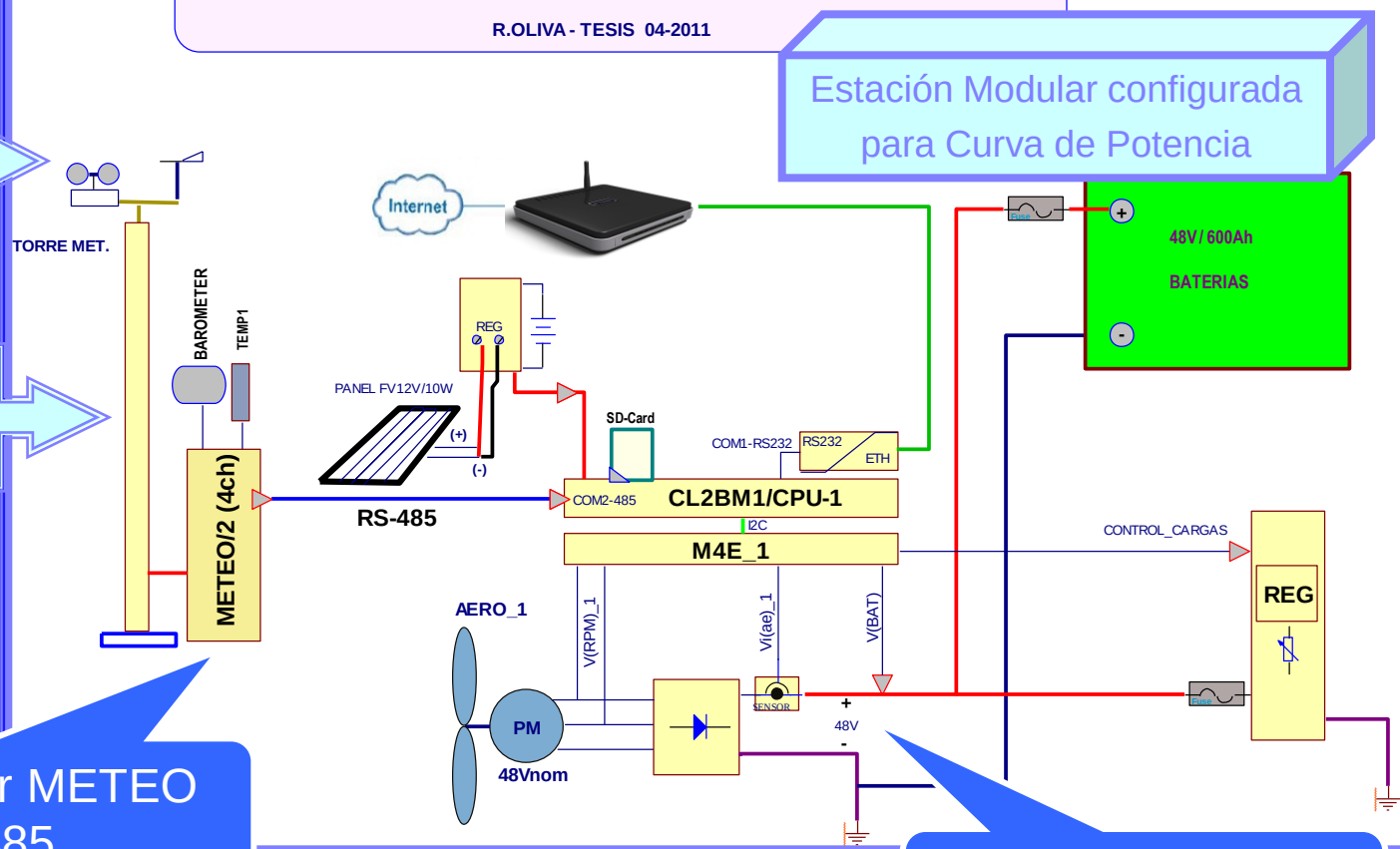
Sensores
de viento

Sensores
atmosféricos

Módulo exterior METEO
por RS485

Módulo interior
medición potencia

Tesis - R.Oliva - UNPA + L&R Ing.



Introducción – (iiib) Marco Teórico

Tesis

0) Contexto

I) Medición y Estadística del viento

La Estación resulta una **Herramienta** para cuantificar el recurso eólico disponible + medir la curva de potencia de un aerogenerador incorporando:

- evaluación de las incertidumbres asociadas,
- sólida metodología para recolección de los datos y su tratamiento estadístico

II) Cómputo de Incertidumbres

III) Curva de Potencia en Aerogeneradores

IV) Recursos de hardware y software requeridos



+



Introducción – (iv)

Tesis

Características buscadas para la estación:

- Capacidad de acondicionamiento de señales para diversos sensores de calidad media a alta.
- Almacenamiento en memoria no volátil, de series de tiempo de promedios, máximo, mínimo y desvío estándar
- Adaptabilidad y facilidad de configuración y operación para medición stand-alone o de curvas de potencia en red , integración con paquetes de software para posprocesamiento
- Elevada confiabilidad, incertidumbres acotadas y procedimientos claros de calibración
- Alta integración local para reducción de costos



+



Introducción – (v)

Tesis

Insumos de Diseño para la estación:

- Mattio, H.F. y Tilca, F. (2009) "RECOMENDACIONES PARA MEDICIONES DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DE VIENTO CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA, Y MEDICIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA GENERADA POR AEROGENERADORES" Publicación CREE / INENCO / Secretaría de Energía de la Nación, Octubre de 2009.
- IEC61400-12-1 (2005). "Wind Turbines –Part 12-1 Power Performance Measurements of electricity producing wind turbines" – International Standard 61400-12-1, IEC (International Electrotechnical Commission) Geneva, Suiza.



+



Introducción – (v)

Tesis

Organización del Trabajo

Capítulo 1 – Introducción general.

Capítulo 2 - Conceptos y terminología en medición y evaluación de incertidumbres.

Capítulo 3 - Medición de Variables Meteorológicas.

Capítulo 4 - Aspectos estadísticos de la medición del viento y de implementaciones prácticas.

Capítulo 5 – Características y trazado de curva de potencia de una máquina eólica, incertidumbres según IEC 61400-12-1.

Capítulo 6 - Software e implementación modular de la medición de viento, comparación de resultados en prototipos de Campo de Pruebas INTI Cutral-Có, en determinación de curva de potencia y las incertidumbres asociadas.

Capítulo 7 – Implementación de la versión stand-alone meteorológica, software, costos y evolución futura



Introducción – (vi)

Tesis

Caps.1-4

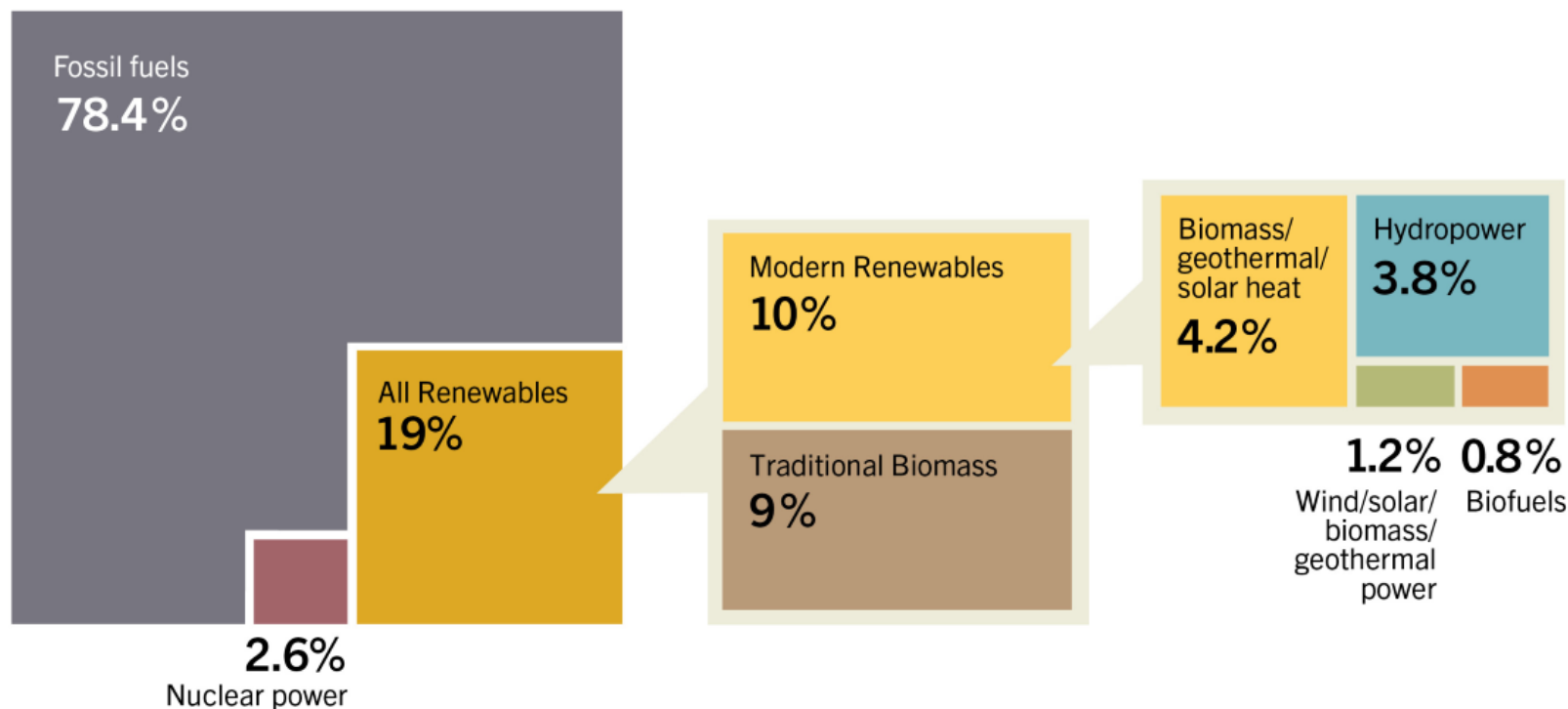
- 0) Contexto: Uso de Energía, Energía Eólica en generación eléctrica, internacional y local
- I) Naturaleza y Medición del Recurso Eólico: Sensores, registradores y conceptos de estadística del viento
- II) Teoría básica y cómputo de Incertidumbres
- III) Curva de Potencia en Aerogeneradores
- IV) Recursos de hardware y software requeridos

Caps.5-7

- V) Implementación práctica y Resultados. Costos, discusión
- VI) Conclusiones

0) CONTEXTO: ENERGIA PRIMARIA MUNDIAL – FRACCIÓN RENOVABLE (2012)

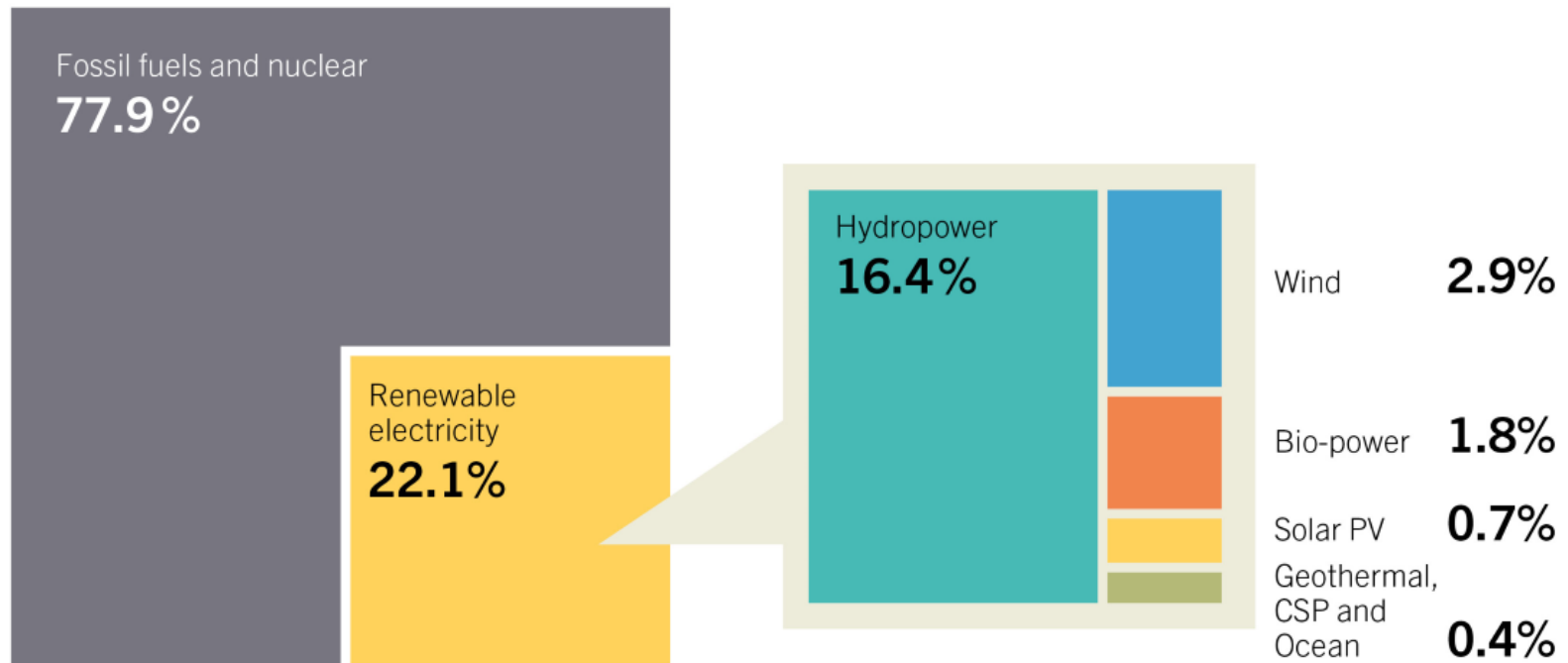
Estimated Renewable Energy Share of Global Final Energy Consumption, 2012



REN21. 2014. *Renewables 2014 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat).

CONTEXTO: GENERACIÓN ELECTRICA MUNDIAL – FRACCIÓN RENOVABLE (2013)

Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2013

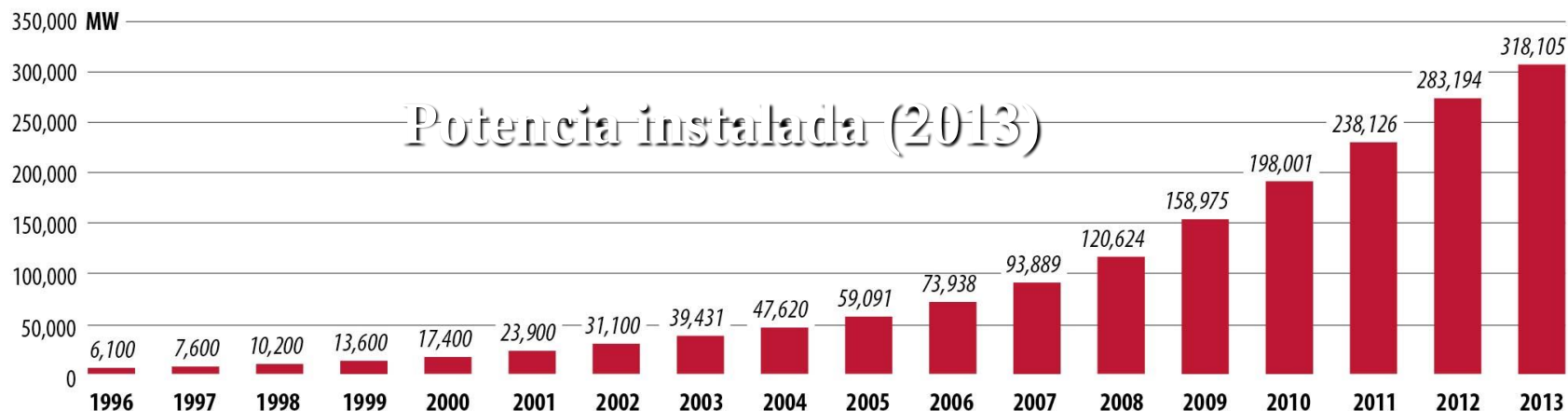


Based on renewable generating capacity in operation end-2013.
Data do not add up due to rounding.

REN21. 2014. *Renewables 2014 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat).

CONTEXTO: POTENCIA EÓLICA INSTALADA EN CONEXIÓN A RED – MUNDIAL (2013)

GLOBAL CUMULATIVE INSTALLED WIND CAPACITY 1996-2013



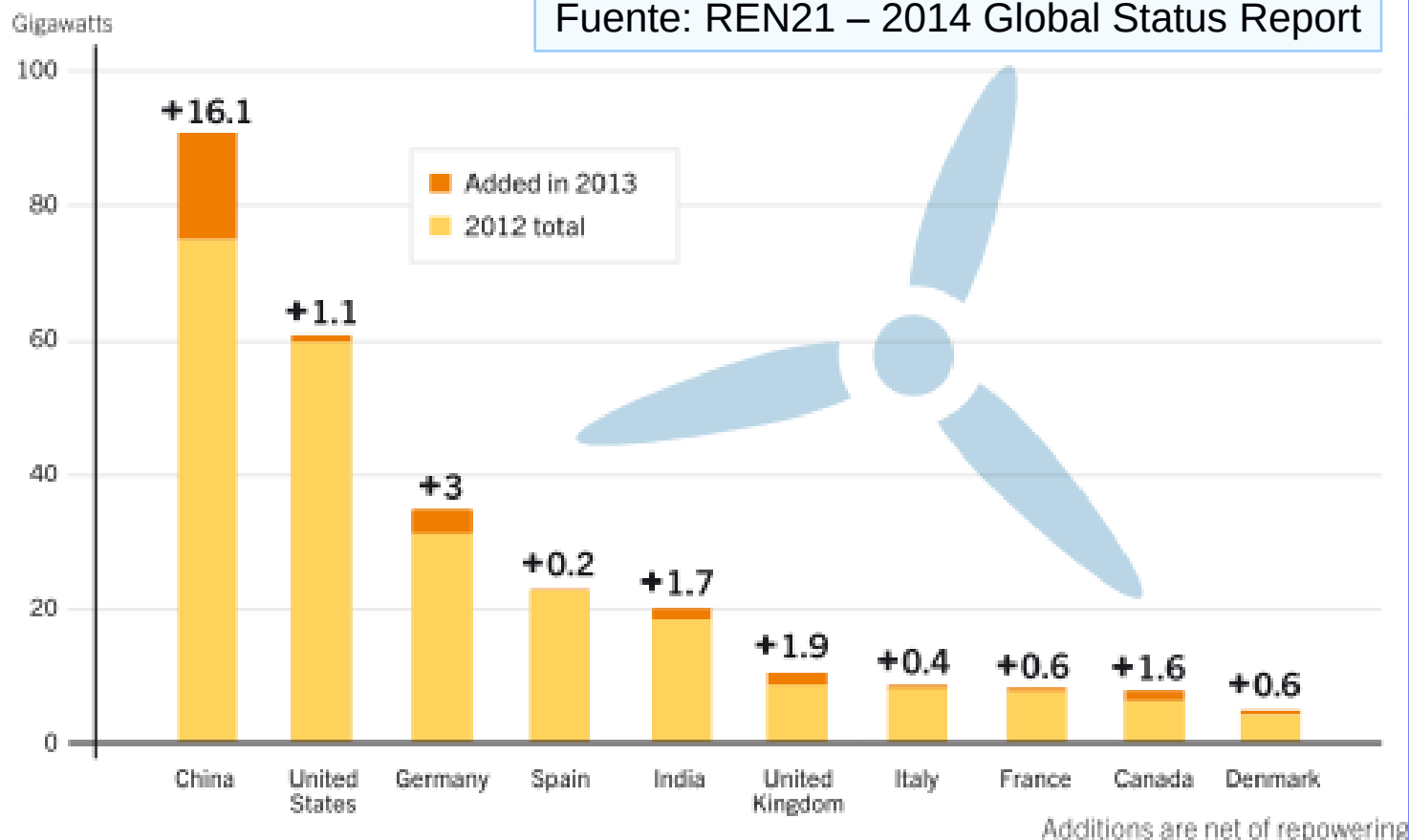
Turbinas eólicas convencionales dependen de conexión a red, inyectando potencia activa sin almacenamiento. Tecnología madura con costos decrecientes de instalación ($<2 \times 10^6$ usd/MW)

318,1 GW
– fin de
2013

CONTEXTO: POTENCIA EÓLICA POR PAÍS, INSTALADA Y AGREGADA 2013

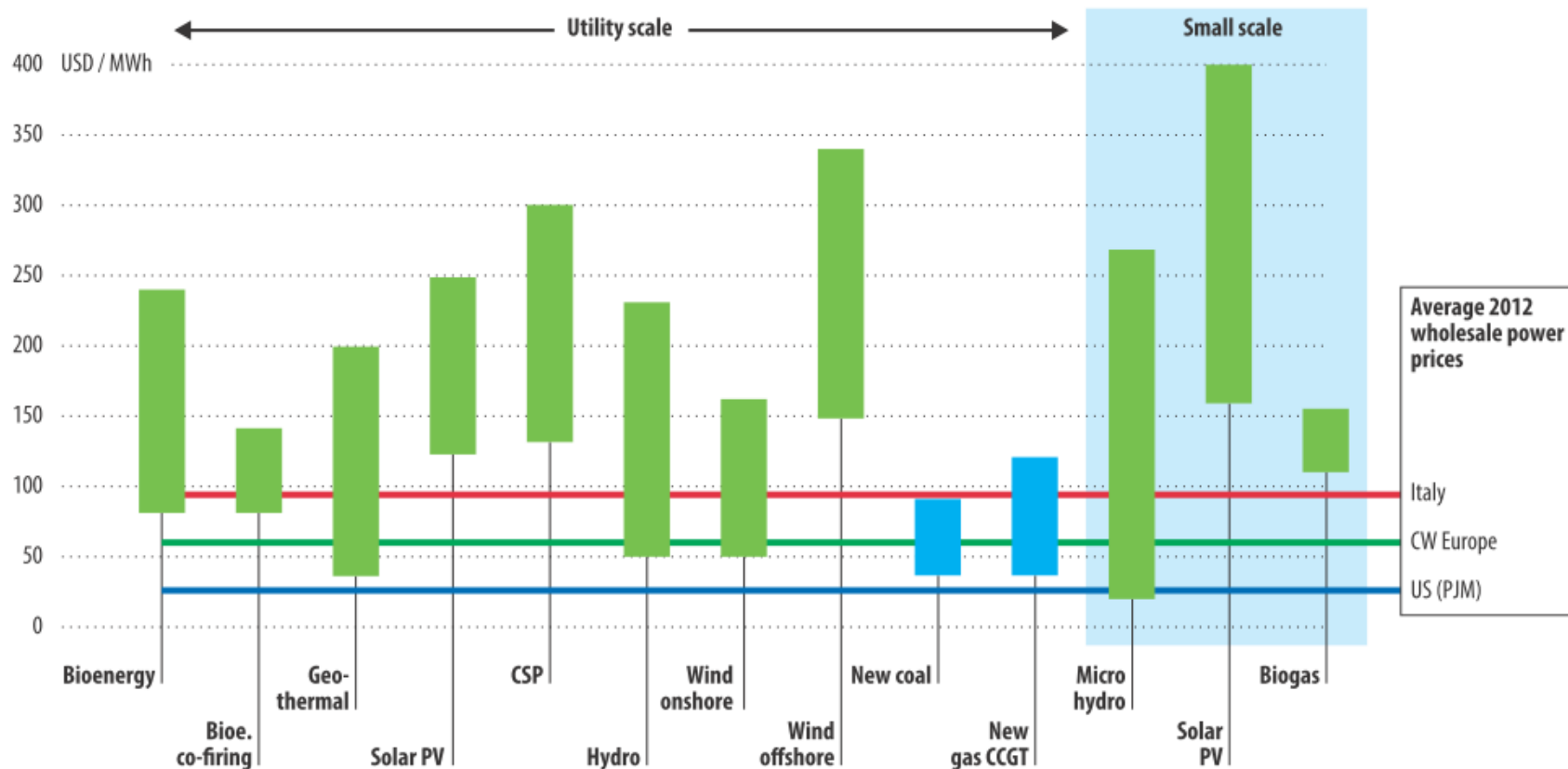
Figure 20. Wind Power Capacity and Additions, Top 10 Countries, 2013

Fuente: REN21 – 2014 Global Status Report



CONTEXTO: ENERGÍA EÓLICA – COMPARACIÓN DE COSTOS CON OTRAS FUENTES (2013)

GLOBAL LEVELISED COST OF POWER GENERATION RANGES¹² (Q1 OF 2013)



Notes: costs are indicative and ranges reflect differences in resources, local conditions and the choices of sub-technology.

CCGT = combined-cycle gas turbine.

Central-Western (CW) Europe = Austria, France, Germany, Switzerland, United States (US).

PJM = regional transmission organisation covering 13 states and the district of Columbia (DC).

Fuente: GWEC – 2014

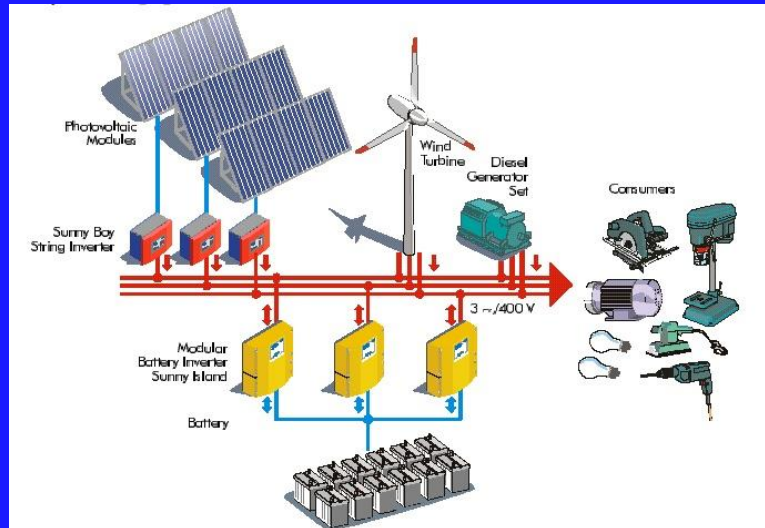
Source: IEA analysis with power price data from Bloomberg LP, 2013



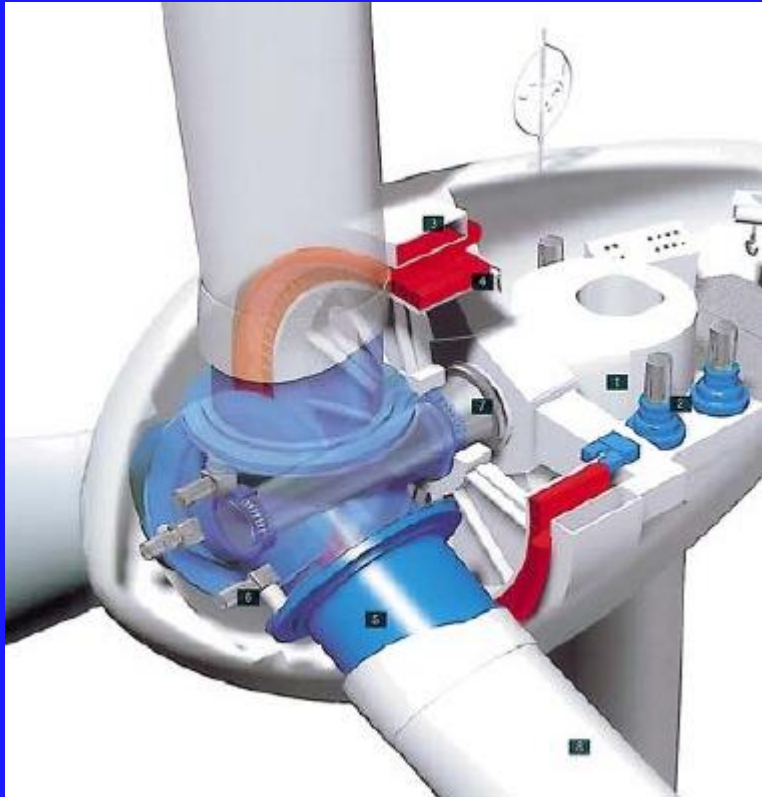
+



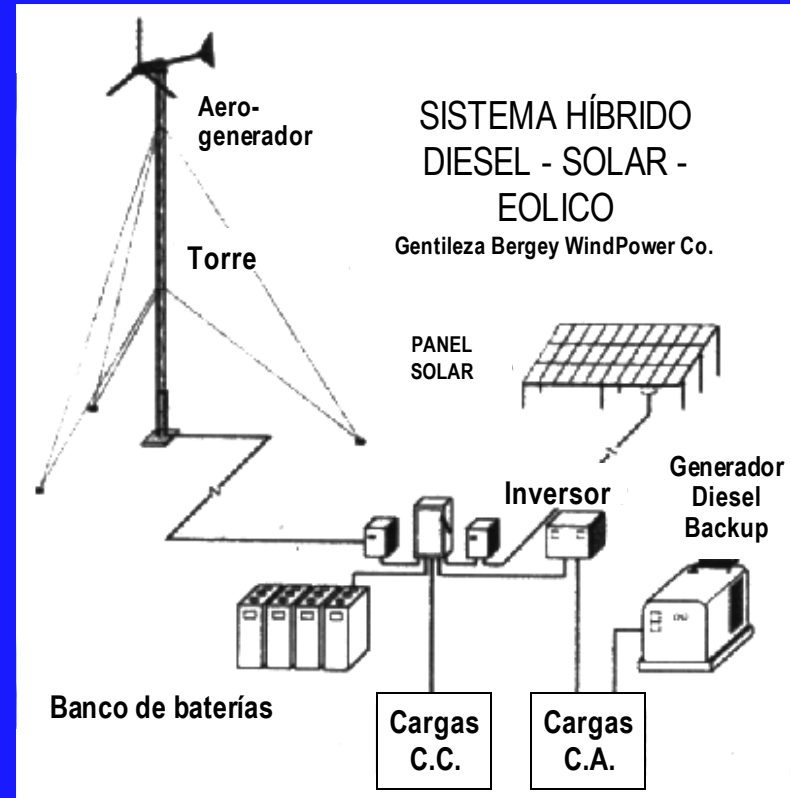
CONTEXTO: ENERGÍA EÓLICA PARA GENERACION ELÉCTRICA



CONTEXTO: ENERGÍA EÓLICA PARA GENERACION ELÉCTRICA

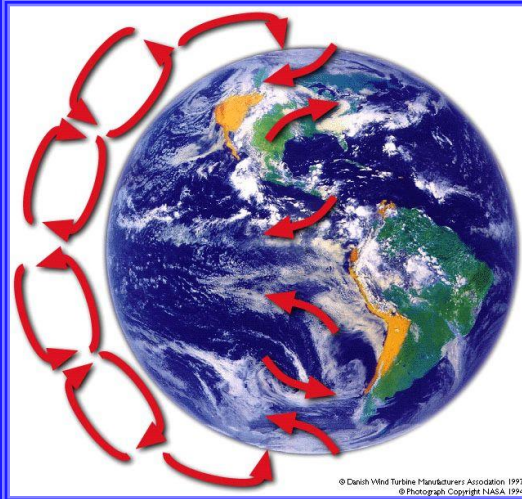


Grandes máquinas
para conexión a red



Máquinas pequeñas
para sistemas aislados

I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO



Circulación Global
de masas de aire



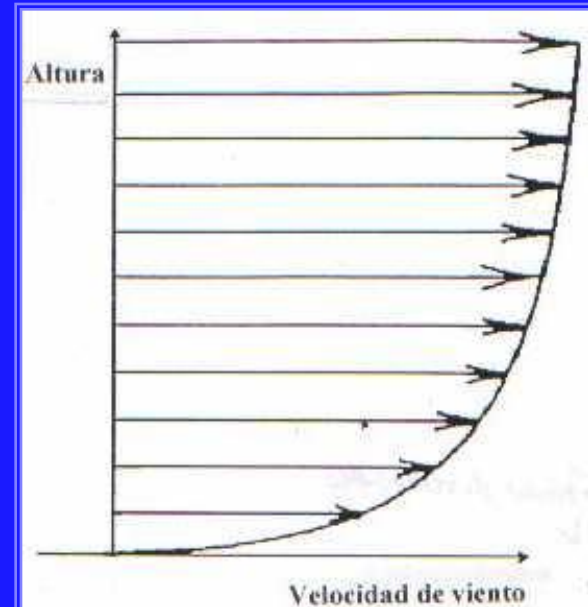
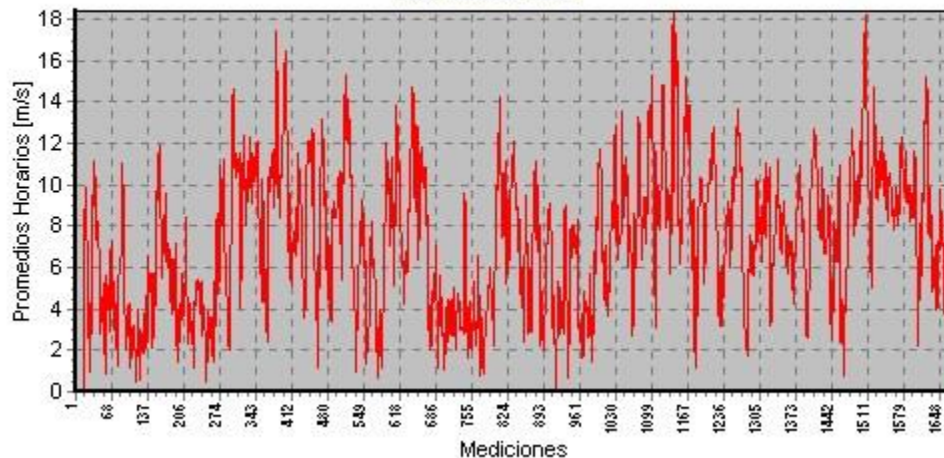
Variaciones permanentes
de intensidad y dirección



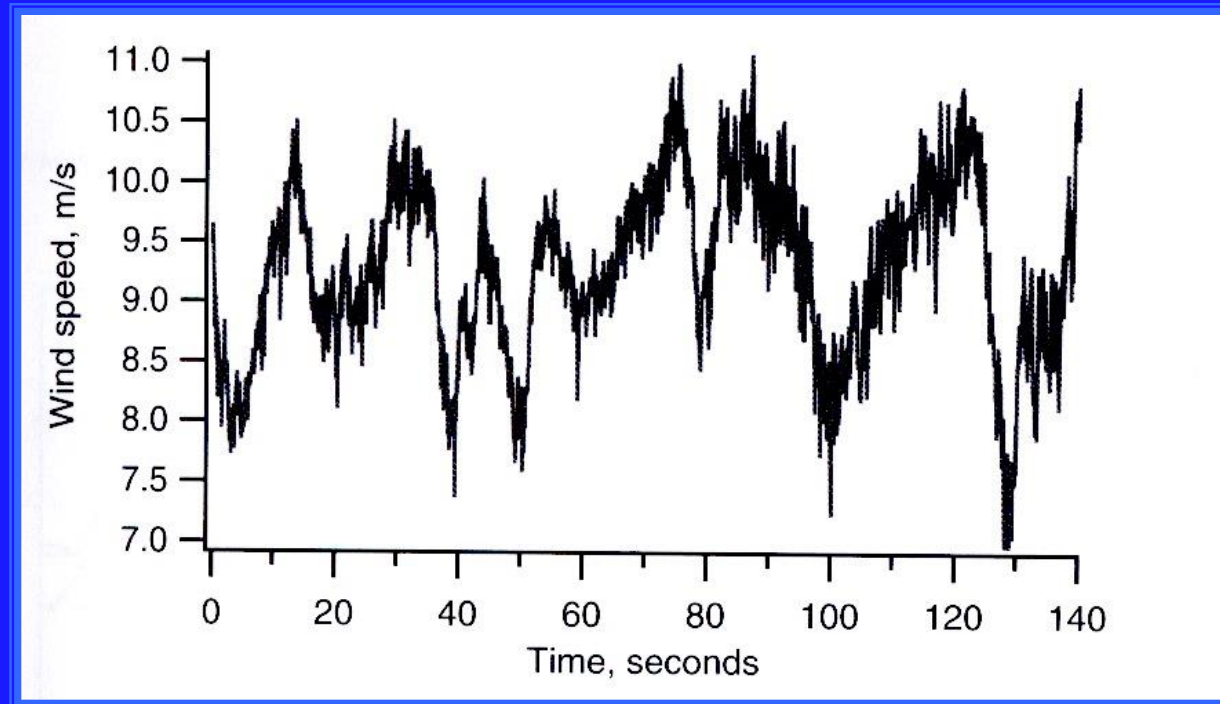
Intensidad aumenta
con la altura...



BAPTRReader v1.0 - Promedios de Viento [m/s] - SPSE/UNPA
C:\mis documentos\GregorioBAPT\Greg009.bpa- <V>: 7.32m/s
Total Valores: 1680



I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO



- **Naturaleza fuertemente aleatoria**
- **Comportamiento estadístico – variaciones anuales +/-20% típico**

I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO

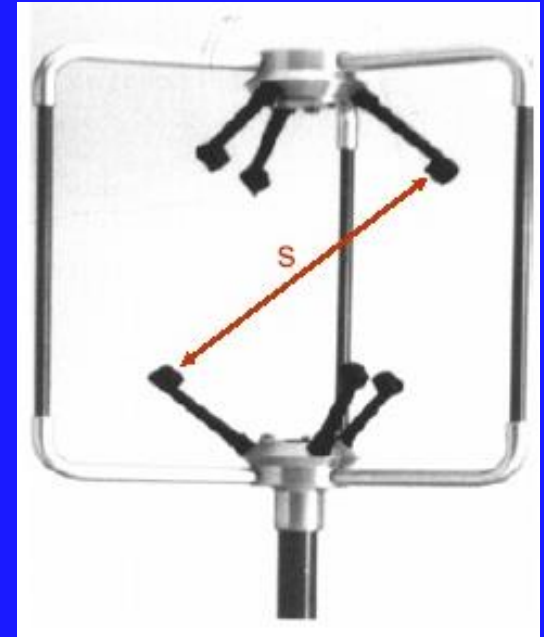
- Instrumentos para medición de intensidad del viento



THIES CLASS
ONE



NRG MAX #40



ULTRASONIDO

I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO



Anemómetro
(intensidad)

Logger
Ammonit
(198x)

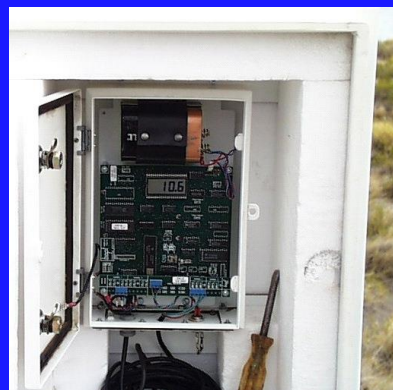
Veleta
(dirección)

Medicion
De Radiacion -
Piranómetro
(Optativo)

Medicion
De Temperatura
(Optativo)

Medición del Viento con
Estaciones Automáticas
(1ra generación)

Estación NRG 9200+
(diseño 1990+/-)

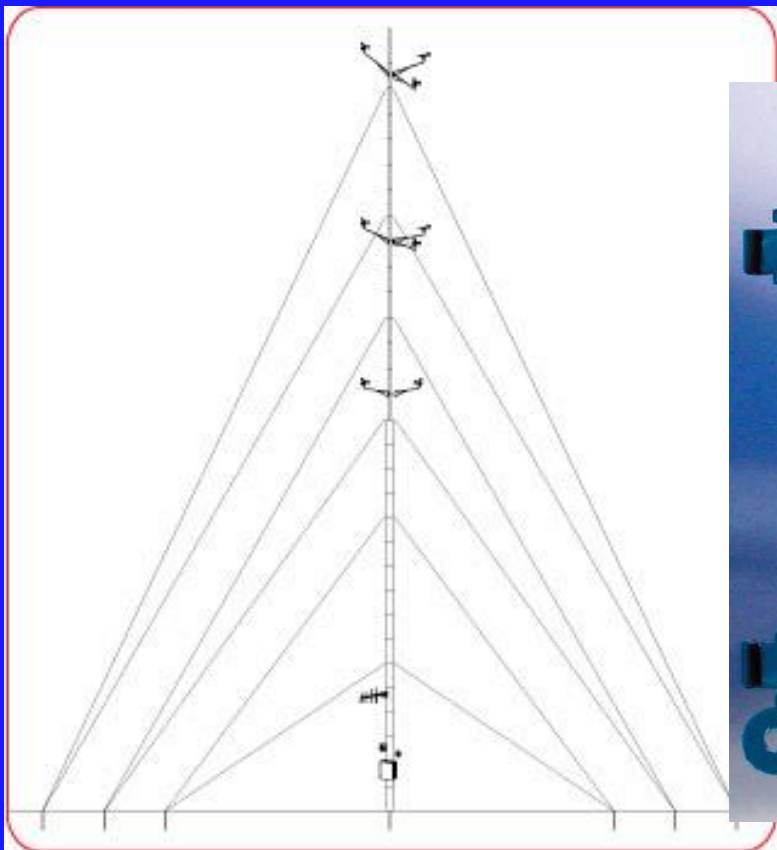


Estación BAPT
(diseño 198x)



I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO

Estacion NRG Symphonie
(diseño 2004+/-) + Symphonie Plus



⇒TORRE 60/70m + LOGGER

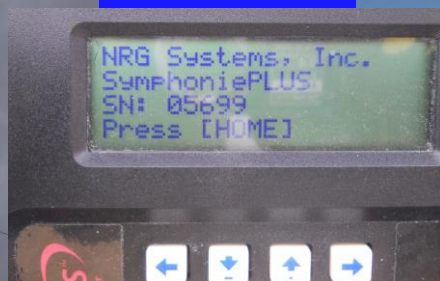
I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO

San Julian / instalado 11-08

San Julian / R25
01-2013

Estación NRG
Symphonie
Plus: en torre
comunicaciones
sensores a 30 y
50 m
(wpa SA)

Estación NRG-
XD, NRG
Symphonie :
con torre
tubular (60,50,40
m) desde 2008 y
continúa



I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO



Cutral – Có NQN
06-2012

*Estación
Secondwind
Nomad 2:*

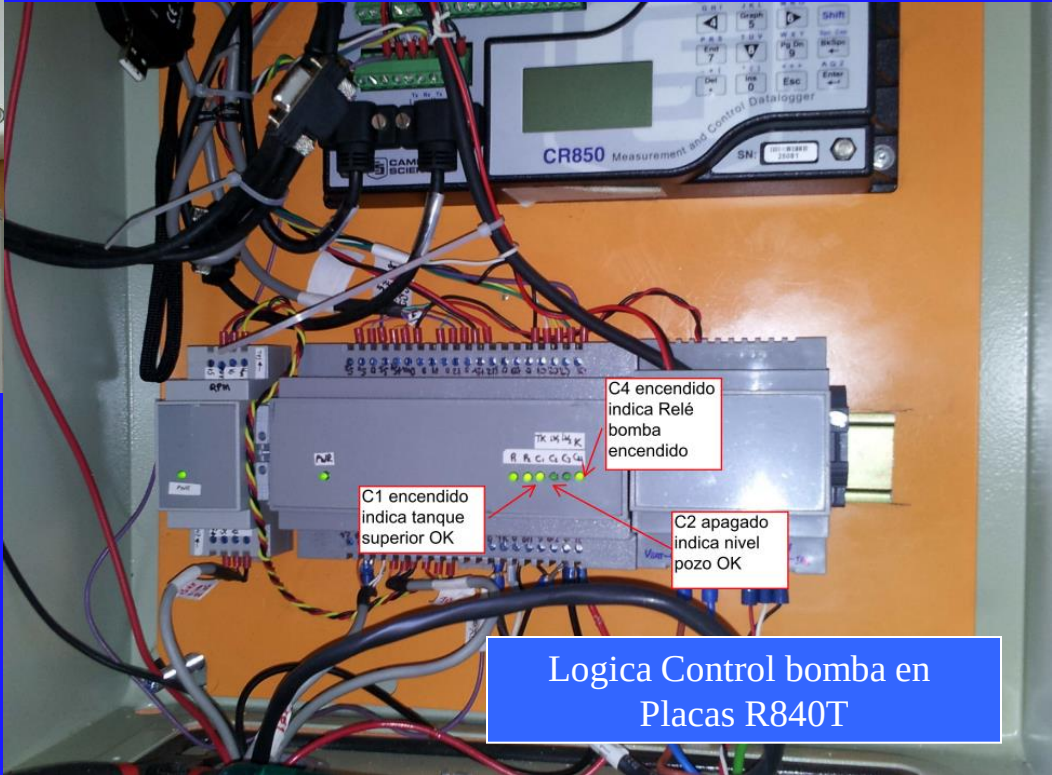
*en Campo de
pruebas
aerogeneradores
INTI – Cutral Có
Neuquén
(inst . 2012)*

Módulo METEO
de PWRC2

Sensor 50A Corriente Aerogen

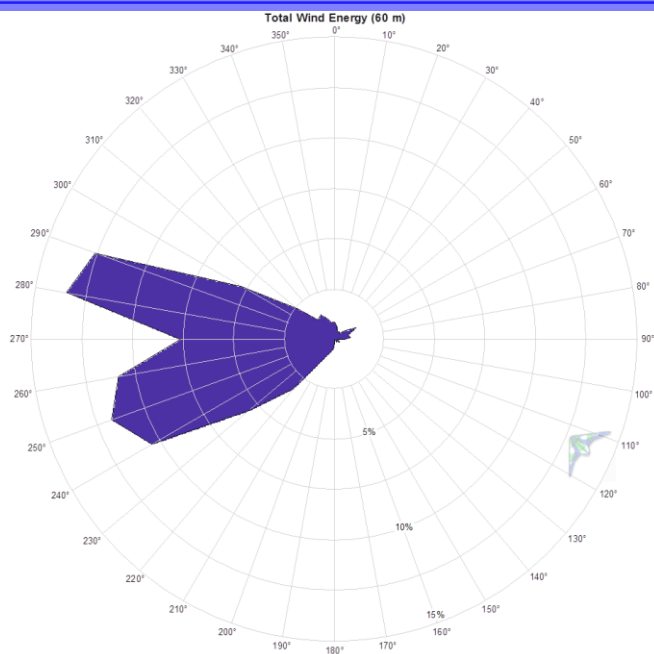


Data Logger Campbell Scientific CR850
de propósito general (aquí para monitoreo
sistema eólico / FV Porvenir /Chile 2013/2014)



Logger Campbell Scientific
CR850 – programacion en CRBASIC

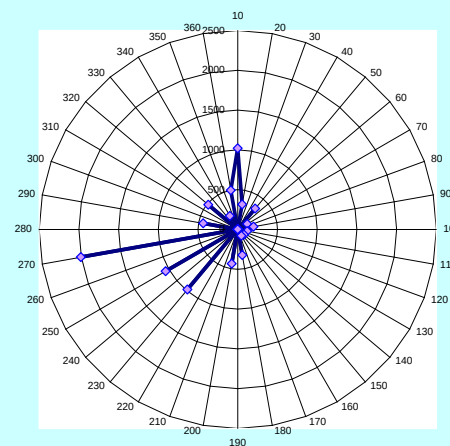
I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO - DIRECCIÓN



Energía por dirección

Frecuencia por dirección

Distribución de Frecuencia de direcciones
San Julián -SMN 03/99 a 03/00





+



I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO – TECNICAS AVANZADAS

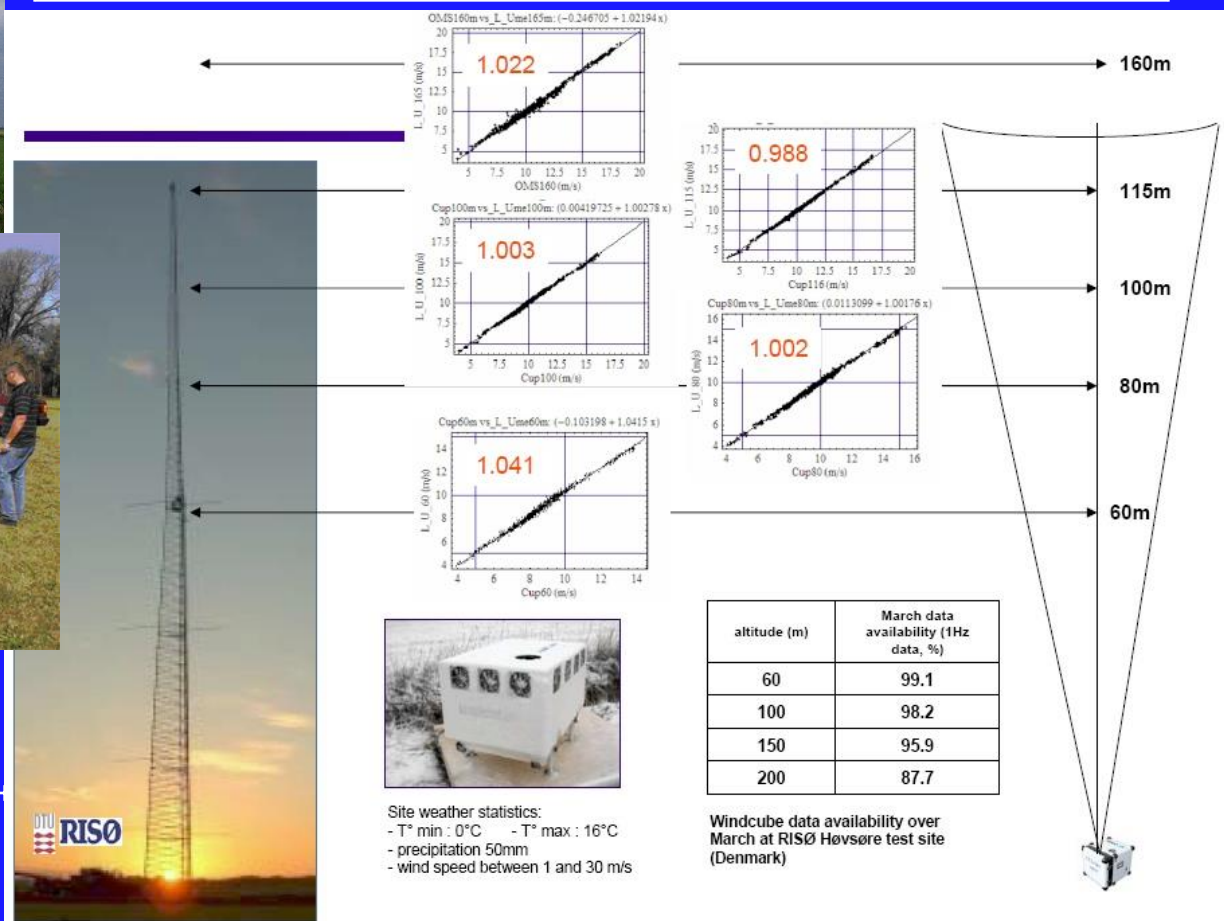
ultrasonido
(SODAR)



SODAR de
ENARSA (2011)

Ensayos LIDAR
Vs. Mediciones
Convencionales
(RISO)

LIDAR QinetiC en parque pruebas Hovsore,
al W de Dinamarca sobre Mar del Norte



I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO – ESTADÍSTICA

Teórico:

Velocidad Media de Viento (ec. 4.1)

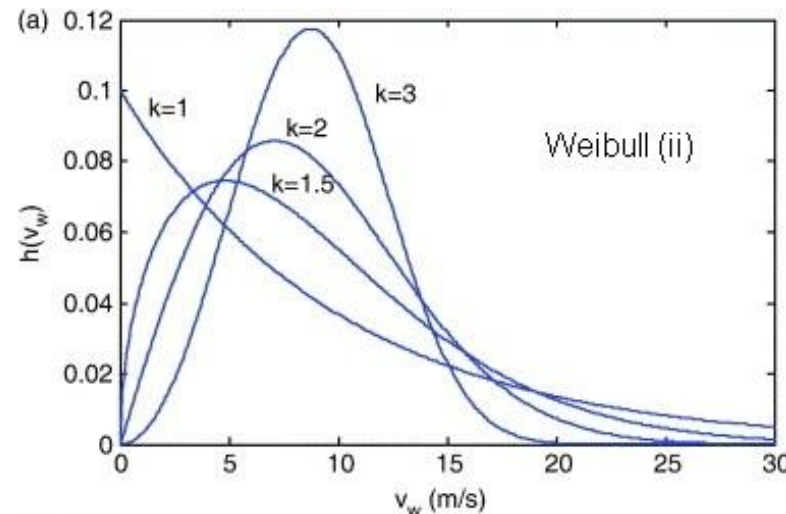
$$\langle V \rangle = \int_0^{\infty} v f(v) dv$$

donde $f(v)$ es la distribución de probabilidad.

Weibull II-
distribución mas
usual

$$f_w(v) = \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{A} \right)^k}$$

A = factor de Escala
(m/s),
k = factor de forma



I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO – ESTADÍSTICA

Primera aproximación:

Cálculo de la Velocidad Media de Viento

$$\langle V \rangle = \int_0^{\infty} v f(v) dv \cong \sum_{i=1}^n f_i V_i \quad (1.3.2a)$$

donde $f(v)$ es la distribución de probabilidad.

$$f_i = \frac{N_i}{N_T}; \text{ con } i = 1, 2, 3, \dots, n, \text{ y } N_T = \sum_{i=1}^n N_i \quad (1.3.2b)$$

Calculado por
Logger – 1°
generación

poco requerimiento de
memoria (Ej. Wind
Explorer - NRG)

I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO – ESTADÍSTICA

Histograma DEWI, iniciado 10.8.88, 512h 41m				RBO 1995			
Valor	Bin [m/s]	fi (%)	Vi	fi*Vi	fi*Vi**2	fi*Vi**3	fi*(Vi-<V>)**2
1	0-1	0.60	0.50	0.30	0.15	0.08	0.11045549
2	1-2	3.40	1.50	5.10	7.65	11.48	0.368153644
3	2-3	12.50	2.50	31.25	78.13	195.31	0.655856045
4	3-4	20.80	3.50	72.80	254.80	891.80	0.346454859
5	4-5	23.00	4.50	103.50	465.75	2095.88	0.019423123
6	5-6	17.00	5.50	93.50	514.25	2828.38	0.085552221
7	6-7	10.60	6.50	68.90	447.85	2911.03	0.309737126
8	7-8	6.40	7.50	48.00	360.00	2700.00	0.469814295
9	8-9	2.50	8.50	21.25	180.63	1535.31	0.343991209
10	9-10	1.00	9.50	9.50	90.25	857.38	0.221784484
11	10-11	0.90	10.50	9.45	99.23	1041.86	0.293375235
12	11-12	0.80	11.50	9.20	105.80	1216.70	0.360128387
13	12-13	0.30	12.50	3.75	46.88	585.94	0.178304545
14	13-14	0.09	13.50	1.22	16.40	221.43	0.068268284
15	14-15	0.06	14.50	0.87	12.62	182.92	0.056563469
16	15-16	0.02	15.50	0.31	4.81	74.48	0.02293825
17	16-17	0.01	16.50	0.17	2.72	44.92	0.013711005
18	17-18	0.00	17.50	0.00	0.00	0.00	0
		99.98		479.06	2687.90	17394.88	3.9245117

Obtenido
del
logger

Valores Calculados:

Tmedia=10min

Nro. medias=3076

<V>[dado por ALWIN] = 4.7m/s

<V>[m/s]= 4.7906

<V**2>[m/s]= 26.87895

<V**3>[m/s]= 173.94875

ke= 1.582164303

sigma[m2/s2] 1.981038028

IT=sigma/<V> 0.413526078

cálculo por planilla de <V>, IT

Verificación Sigma:

(<V**2>-<V>**2)**.5=
1.982196166

I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO – ESTADÍSTICA

Primera aproximación – calculo por planilla de A,k:

$$\ln(-(\ln(1 - P_i))) = y_i$$

$$\ln v_i = x_i \quad (1.2.6k)$$

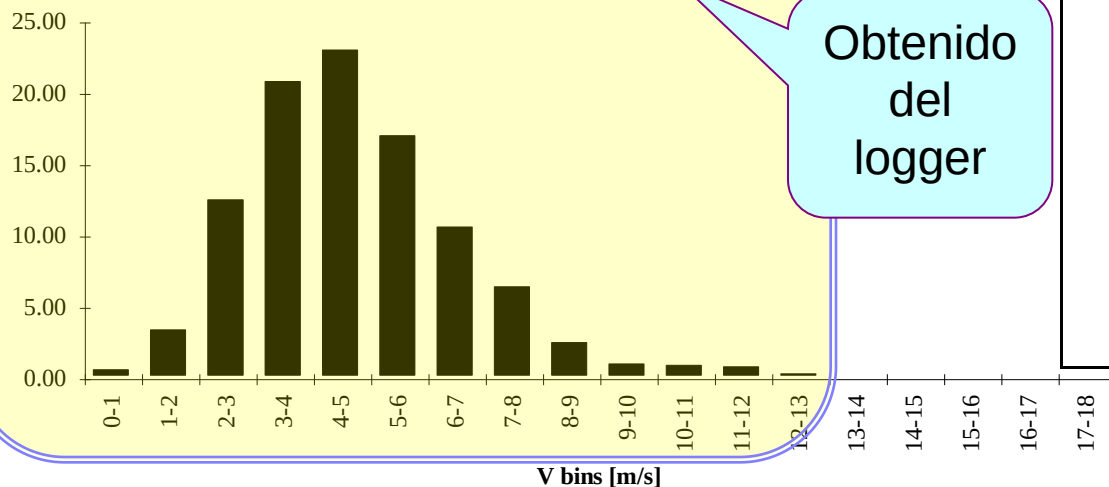
$$y_i = bx_i + a$$

$$A = e^{-\frac{a}{b}} \quad [\text{m/s}]$$

$$k = b \quad [] \quad (1.2.6l)$$

Ref.:
Dr.V.Barros
Dr. Mattio

Histograma fi (%)



Obtenido
del
logger

Ajuste Weibull - II

Pi (%)	yi	xi
0.60	-5.1130	-0.6931
4.00	-3.1985	0.4055
16.50	-1.7130	0.9163
37.30	-0.7618	1.2528
60.30	-0.0792	1.5041
77.30	0.3939	1.7047
87.90	0.7476	1.8718
94.30	1.0525	2.0149
96.80	1.2361	2.1401
97.80	1.3394	2.2513
98.70	1.4685	2.3514
99.50	1.6674	2.4423
99.80	1.8269	2.5257
99.89	1.9188	2.6027
99.95	2.0283	2.6741
99.97	2.0933	2.7408
99.98	2.1421	2.8034
99.98	2.1421	2.8622

Curva de ajuste yi=bx+a

b=	a=
2.1324	-3.5612

$$A[\text{Weibull}] = 5.3124$$

$$k[\text{Weibull}] = 2.1324$$

I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO – ESTADÍSTICA

Sistemas mas modernos:

Cómputo iterativo de la Velocidad Media de Viento
(Eqs. 6.1 – 6.3 – Ref.Akai, 1994) para
Muestras $j, j-1$

$$A_j = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_j}{j}; \quad A_{j-1} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{j-1}}{j-1};$$

$$jA_j = (j-1)A_{j-1} + x_j$$

$$A_j = \frac{(j-1)A_{j-1} + x_j}{j}$$

Nuevo
promedio

Se utiliza también para medias
de Potencia, Presión y Temperatura

Promedio
muestra anterior

Nueva
muestra

I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO – ESTADÍSTICA

Teórico:

Cálculo de la Varianza muestral del Viento
e Intensidad de Turbulencia

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (v - \langle V \rangle)^2 f(v) dv \cong \frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \langle V \rangle)^2 f_i \quad [\text{m}^2/\text{s}^2] \quad (1.3.2d)$$

Intensidad de turbulencia

$$S = IT = \sigma / \langle V \rangle$$

I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO – ESTADÍSTICA

Sistemas mas modernos:

Cómputo iterativo de varianza muestral
(Eqs. 6.5 – 6.7 – Ref.Akai, 1994) para Muestras $j, j-1$

Se utiliza también
para medias
de Potencia, Presión
y Temperatura

$$s_j^2 = \frac{1}{j-1} \left[\sum_{k=1}^j x_k^2 - jA_j^2 \right]$$

Varianza muestral
 j

$$(j-1)s_j^2 = \left[\sum_{k=1}^j x_k^2 - jA_j^2 \right]$$

Muestras
anteriores

$$(j-2)s_{j-1}^2 = \left[\sum_{k=1}^{j-1} x_k^2 - (j-1)A_{j-1}^2 \right]$$

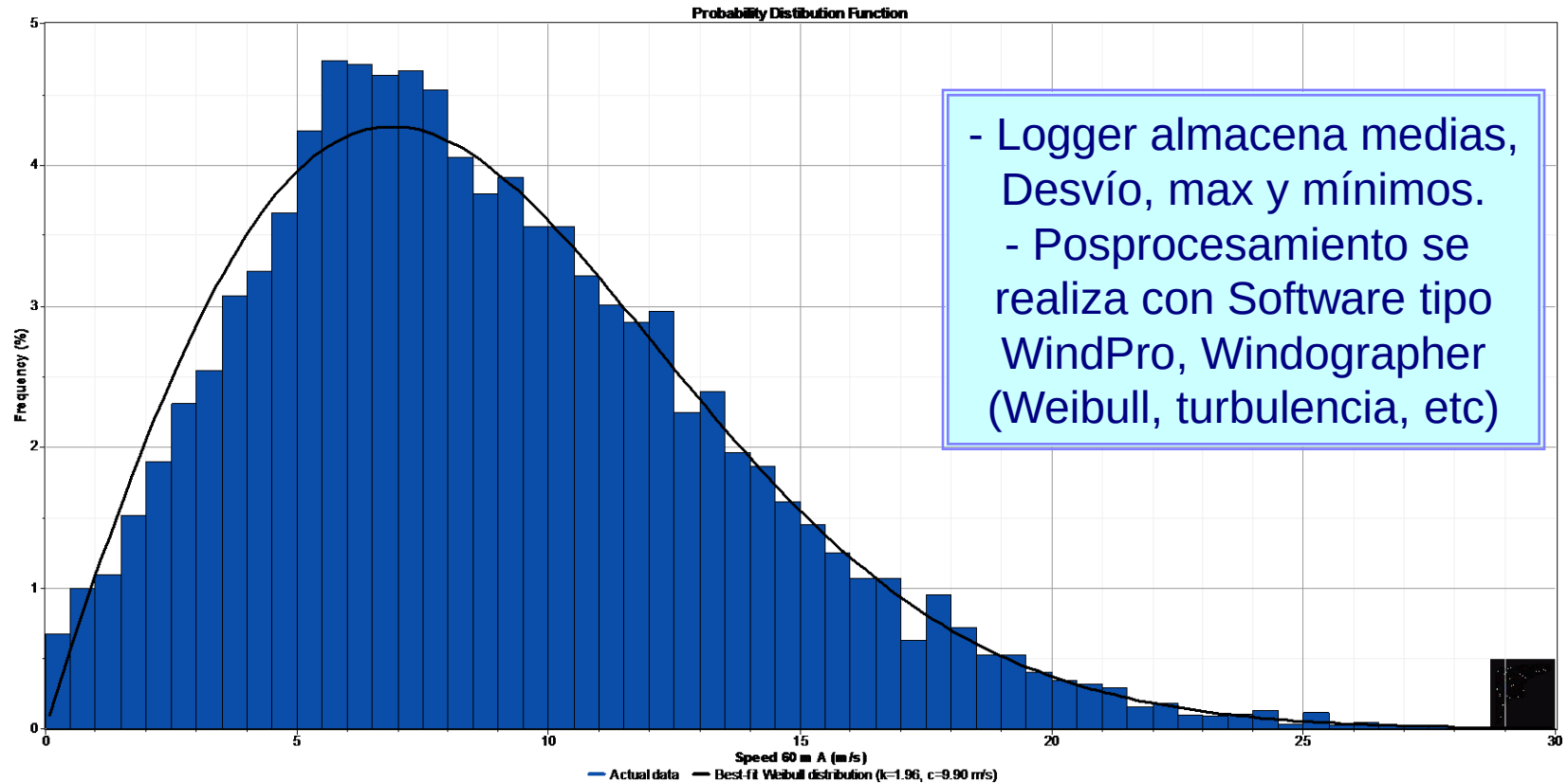
Nueva
varianza

$$s_j^2 = \frac{1}{j-1} \left[(j-2)s_{j-1}^2 + \left(\frac{j}{j-1} \right) (x_j - A_j)^2 \right]$$

I) NATURALEZA Y MEDICION DEL RECURSO EÓLICO – ESTADÍSTICA

Sistemas mas modernos:

Weibull – ii – Sobre mediciones
60m San Julian – 2008/2010



Windographer: $k=1.96$; $c=A=9.90\text{m/s}$



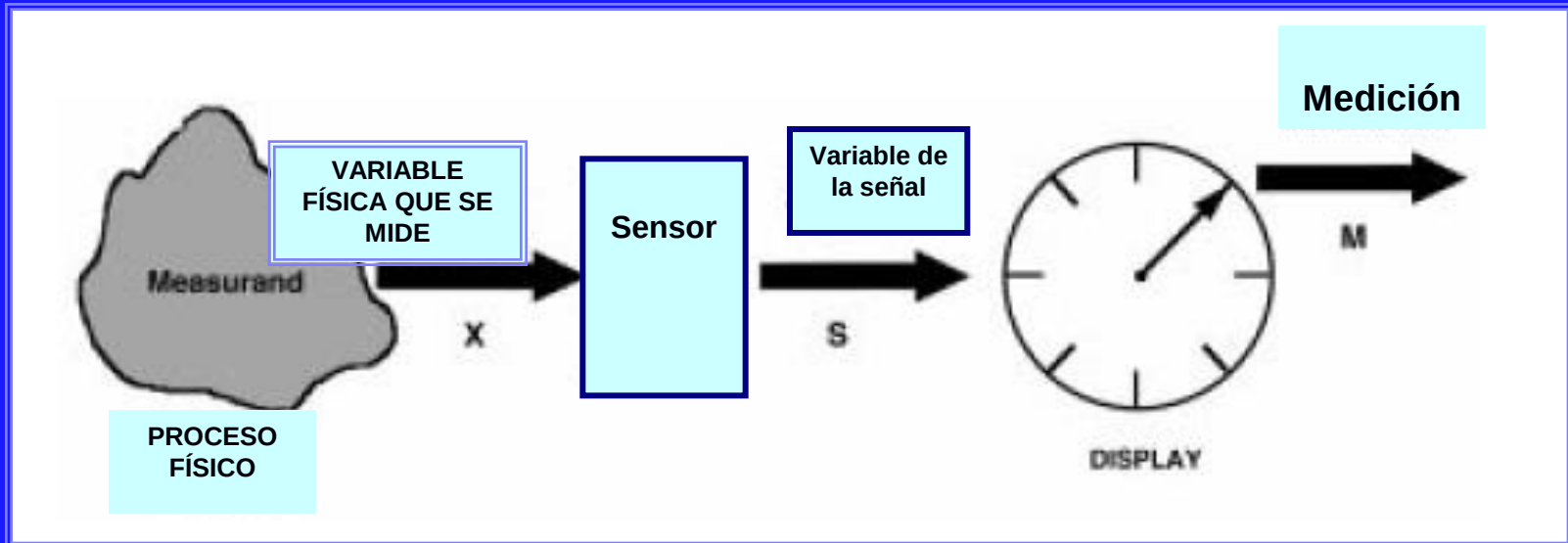
Ib) GENERALIDADES SOBRE MEDICIONES / CONCEPTO DE INCERTIDUMBRE

- Propósito de una medición:
 - Determinar el valor del mensurando
- Variabilidad observada en múltiples repeticiones:
 - Magnitudes de influencia no permanecen constantes
- Resultados de una medición:
 - Debe informarse una estimación de **incertidumbre**.

• Incertidumbre:

Parámetro que caracteriza el rango de valores dentro del cual puede estar el mensurando, con un determinado nivel de confianza.

Ib) GENERALIDADES SOBRE MEDICIONES / CONCEPTO DE INCERTIDUMBRE



MODELO SIMPLE DE INSTRUMENTO



+



II) MEDICIONES y CÓMPUTO DE INCERTIDUMBRES

ANALISIS DE INCERTIDUMBRES

Procedimiento utilizado para evaluar y cuantificar la validez y exactitud de una medición

Necesidad: No existen mediciones perfectas, y no existía hasta los '90 una metodología acordada de evaluación de errores

Hoy existe: Metodología (ISO/IEC GUM ó *Guide to Uncertainty in Measurements* – 1998-2009) y necesidades de Acreditación (ej. Laboratorios, calibración)

ISO/IEC 17025

“5.4.6 Estimación de Incertidumbre en mediciones”

II) MEDICIONES y CÁMPUTO DE INCERTIDUMBRES

- Habitualmente se busca hallar la incertidumbre de un mensurando Y , que no es medido en forma directa sino a través de N otras cantidades $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, a través de una relación funcional f denominada “ecuación de medición”

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

- Una estimación y del mensurando Y se obtiene aplicando la ecuación anterior a los valores estimados, $x_1, x_2, \dots, x_n$ de las cantidades $X_1, X_2, \dots, X_n$ mencionadas, o sea:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

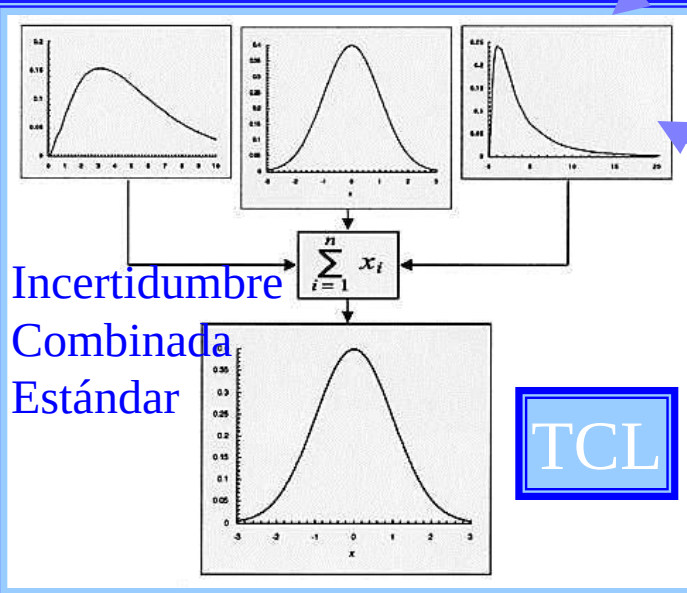
- Esta función f incorpora múltiples fuentes de variación en el resultado de la medición. -> Por lo tanto el modelo matemático puede resultar una relación sumamente compleja (-> simplificaciones.)
- La incertidumbre del resultado y resultará de las incertidumbres $u(x_i)$ que ingresan a dicha ecuación.

II) MEDICIONES y CÓMPUTO DE INCERTIDUMBRES

ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRES

Incertidumbres Estándar: Basadas en métodos estadísticos

Incertidumbres Tipo A: Se basan en repeticiones de la misma medición en condiciones similares – Se expresa como un desvío estándar



Incertidumbres Tipo B: Basadas en datos preexistentes (calibración previa, ej.) y en asumir una determinada distribución estadística -> también se expresa como desvío estándar.

II) MEDICIONES y CÁMPUTO DE INCERTIDUMBRES

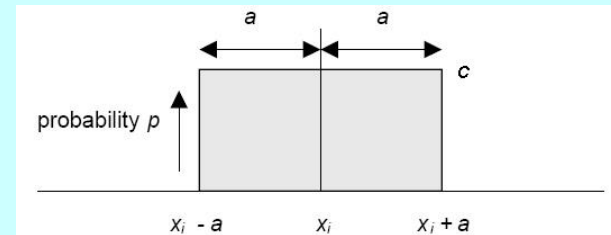
Tipo A: $u(x_i) = s_i \rightarrow$ surge a partir de análisis estadístico de datos:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}$$

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\bar{x}_i - x_{ij})^2}$$

$$\rightarrow u(x_i) = u_i = s_i$$

Tipo B: $u(x_i)$ surge de la evaluación de hojas de datos, etc.. Se supone una distribución sencilla, ej:



$$\sigma^2 = \int x^2 f(x) dx = \int_{-a}^{+a} \frac{x^2}{2a} dx = \frac{a^2}{3}$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{a}{\sqrt{3}} = u(x_i) = u_i$$

Incetidumbre estándar combinada (aproximación) (Eq.1):

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \cong \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1+1}^N c_i c_j u(x_i) u(x_j) \rho_{ij}$$

$\rightarrow$ Incertidumbre expandida: $U = k u_c(y)$

Por TCL...
K=1 (1σ) $\rightarrow$ 68%
K=2 (2σ) $\rightarrow$ 95.45%
NC

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} = c_i$$

$$\rho_{ij} \in [-1, 1]$$

Coefs. De correlacion

III) CURVA DE POTENCIA EN AEROGENERADORES

La relación básica que existe entre la producción de **potencia** de una máquina eólica y la intensidad de viento, puede expresarse a través de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p \eta_{TS} V^3 \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \quad [\text{kW}]$$

Donde:

ρ es la densidad del aire

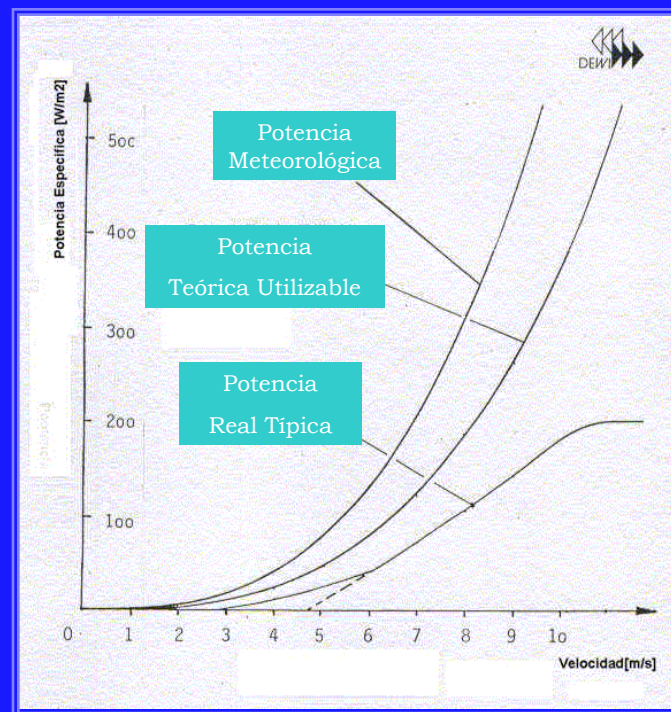
D es el diámetro del rotor

η_{ts} es el rendimiento del generador y transmisión mecánica.

C_p es el coeficiente aerodinámico adimensional de potencia del rotor (dependiente del viento y la velocidad de giro)

V es la intensidad del viento

P es la potencia eléctrica generada.



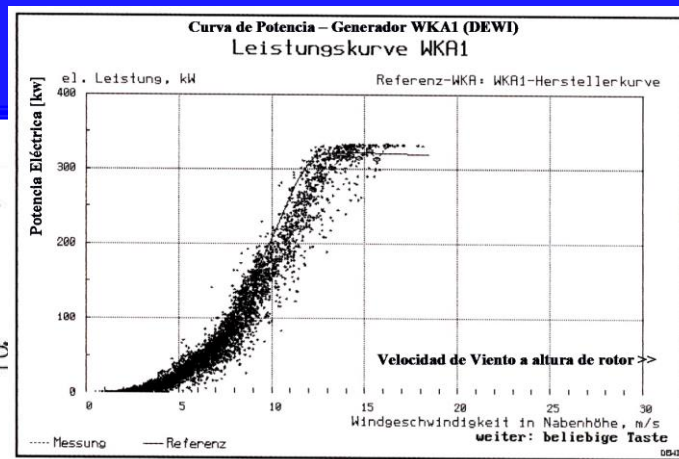
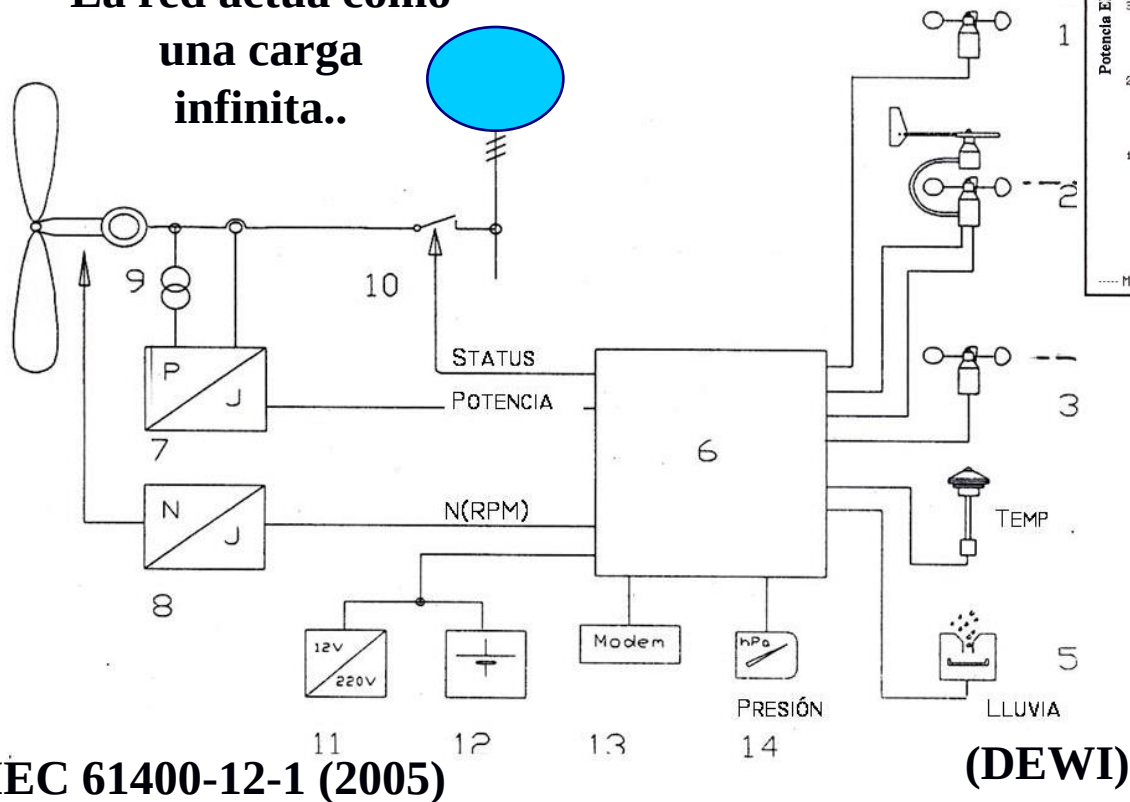
La densidad el aire se obtiene de:

$$\rho = \frac{B}{RT} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

III) CURVA DE POTENCIA EN AEROGENERADORES

Caso general: Sistemas de gran potencia

La red actúa como
una carga
infinita..



Curva $P=f(V)$





III) CURVA DE POTENCIA EN AEROGENERADORES

- De acuerdo a estas ecuaciones una medición de la curva $P(V)$ deberá tomar en cuenta la intensidad del viento con un anemómetro, la potencia eléctrica producida y la temperatura y presión barométrica.
- Debido a las interferencias sobre la torre de medición meteorológica y sobre la torre del aerogenerador, se debe incluir un sensor de dirección de viento (Veleta) .
- La norma [IEC61400-12-1,2005] requiere la utilización del **método de los bins** o casillas, llevándose un registro de completitud de la prueba que difiere entre máquinas grandes y las incluidas en el Anexo H (pequeñas).
- Una vez tomados los promedios de velocidad de viento y potencia, el método estipula que se agrupen por software los resultados de viento normalizado y potencia (pares V_s , P_i) por cada bin i , de acuerdo a su valor de V_s , obteniendo dentro de cada bin (cuyo ancho habitual es de 1m/s) una cantidad n_i de pares V_{ij} , P_{ij} . El resultado de promediar los valores dentro de cada bin “i” produce un par, a través de las fórmulas:

$$V_{pi} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} V_{ij}$$

$$P_{pi} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} P_{ij}$$



III) CURVA DE POTENCIA EN AEROGENERADORES

- En máquinas grandes o pequeñas, la medición de P eléctrica es indirecta ya que implica el producto $P=U*I$, (U es tensión en [V], I es corriente en [A]).
- Dicho producto podrá ser realizado electrónicamente en un multiplicador analógico, o a través de productos de valores digitalizados tanto en hardware (chip) como en software.
- Dado que la potencia mecánica P en el eje es producida por el rotor eólico, tiene una dependencia cúbica con el viento V y una dependencia directa con la densidad y por tanto con la presión atmosférica B y la temperatura ambiente T .
- Todos estos factores indican que para la curva de potencia la función (desconocida) de medición f tendría las dependencias básicas expresadas como:

$$f = f(U, I, V, B, T, SAD)$$

donde se ha agregado SAD como una variable genérica relacionada con el sistema de medición:

III) CURVA DE POTENCIA EN AEROGENERADORES –MODELO E INCERTIDUMBRES

- La norma [IEC61400-12-1,2005] establece las componentes y subcomponentes de f , su clasificación en tipos (A o B) las simplificaciones aceptables ($\rho_{ij} = 1$ o $\rho_{ij}=0$) y el cómputo de $u_{c,i}^2$ para cada par “i”, de la tabla $P(Vi)$ a partir de Eq.(1).

$$u_{c,i}^2 = \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 s_{k,i}^2 + \sum_{k=1}^{M_B} c_{k,i}^2 u_{k,i}^2 \cong s_{P,i}^2 + u_{P,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2$$

Coefs. De
correlacion

Aquí: $\frac{\partial f}{\partial x_i} = c_i$, la norma da $c_{p,i}=1$, y valores estimados para los de viento $c_{V,i}$, Temperatura $c_{T,i}$, y Presión barométrica $c_{B,i}$

-> Las incertidumbres tipo A ($s_{P,i}$) se relacionan con cálculos estadísticos, y básicamente se refieren a la variabilidad de la potencia eléctrica.

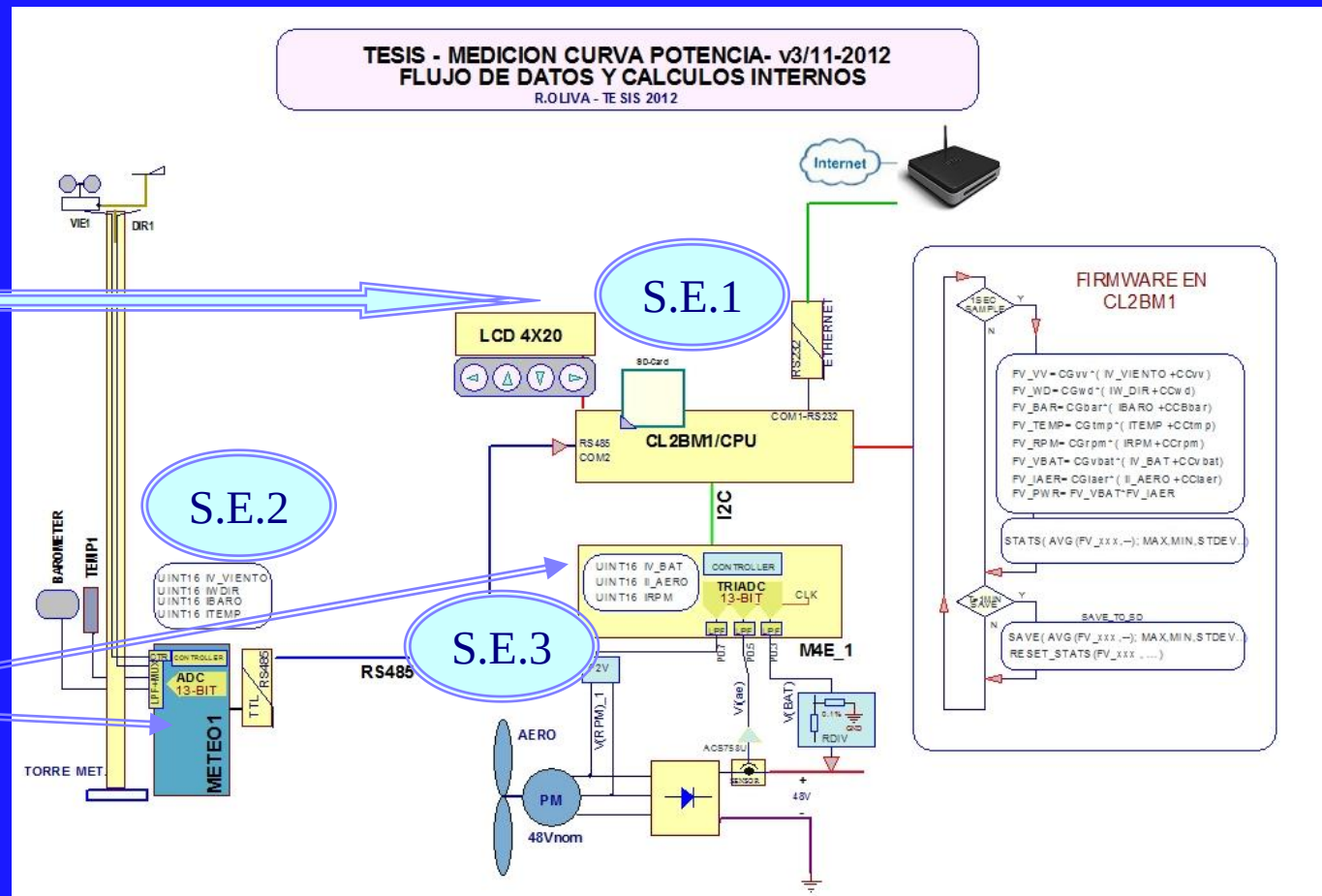
-> Las incertidumbres tipo B se relacionan con el instrumental utilizado para la medición de Potencia eléctrica $u_{P,i}$, con la medición de intensidad de viento, y con la estimación indirecta de la densidad del aire (lo cual requiere conocer las incertidumbres en medición de Temperatura $u_{T,i}$ y Presión $u_{B,i}$). Las del Sistema de Adquisición de Datos u_{di} se incluyen en cada parámetro.

IV) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN

SISTEMA CONFIGURADO PARA CURVA DE POTENCIA:

S.E.1 – SISTEMA EMBEBIDO 1, BASADO EN CONTROLADOR AVR ATMEGA1284P

S.E.2,3 SISTEMAS BASADOS EN CYPRESS PSOC



IV.1) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN – CONTROLADORES PSoc

28-Pin Part Pinout

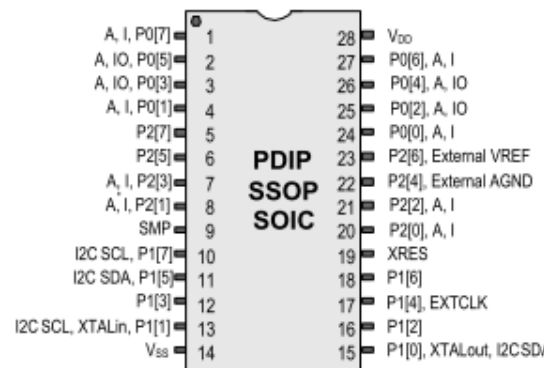
Table 2. 28-Pin Part Pinout (PDIP, SSOP, SOIC)

Pin No.	Type		Pin Name	Description
	Digital	Analog		
1	I/O	I	P0[7]	Analog column mux input
2	I/O	I/O	P0[5]	Analog column mux input and column output
3	I/O	I/O	P0[3]	Analog column mux input and column output
4	I/O	I	P0[1]	Analog column mux input
5	I/O		P2[7]	
6	I/O		P2[5]	
7	I/O	I	P2[3]	Direct switched capacitor block input
8	I/O	I	P2[1]	Direct switched capacitor block input
9	Power		SMP	Switch mode pump (SMP) connection to external components required
10	I/O		P1[7]	I ² C serial clock (SCL)
11	I/O		P1[5]	I ² C serial data (SDA)
12	I/O		P1[3]	
13	I/O		P1[1]	Crystal (XTALin), I ² C Serial Clock (SCL), ISSP-SCLK ^[5]
14	Power		V _{SS}	Ground connection
15	I/O		P1[0]	Crystal (XTALout), I ² C Serial Data (SDA), ISSP-SDATA ^[5]
16	I/O		P1[2]	
17	I/O		P1[4]	Optional external clock input (EXTCLK)
18	I/O		P1[6]	
19	Input		XRES	Active high external reset with internal pull-down
20	I/O	I	P2[0]	Direct switched capacitor block input
21	I/O	I	P2[2]	Direct switched capacitor block input
22	I/O		P2[4]	External analog ground (AGND)
23	I/O		P2[6]	External voltage reference (VREF)
24	I/O	I	P0[0]	Analog column mux input
25	I/O	I/O	P0[2]	Analog column mux input and column output
26	I/O	I/O	P0[4]	Analog column mux input and column output
27	I/O	I	P0[6]	Analog column mux input
28	Power		V _{DD}	Supply voltage

LEGEND: A = Analog, I = Input, and O = Output.

S.E.2,3

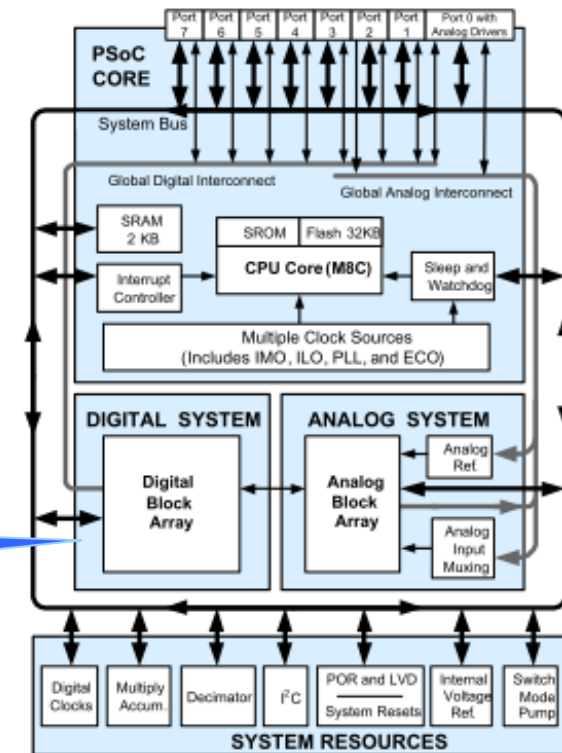
Figure 3. CY8C29466 28-Pin PSoc Device



Bloques digitales y analógicos programables

(usd 7,10 FOB 28-DIP / qty25)

Logic Block Diagram



CY8C29466, CY8C29566
CY8C29666, CY8C29866

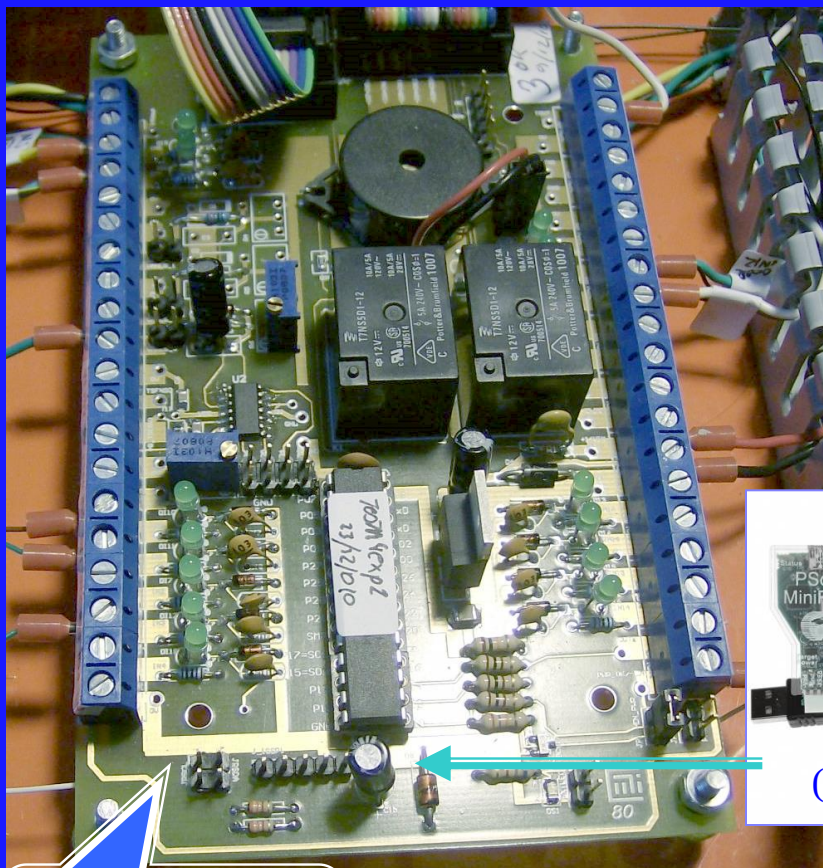
PSoc® Programmable System-on-Chip™

IV.1) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN – CONTROLADORES PSoC

S.E.3

M4/E – Modulo E/S basado en PSoC1 (2010)

M4/E software
interno en yEd



M4/E instalado en
Tablero



(usd 30 FOB)

PSoC MIE_Soft_Interno
DIAGRAMA Main()
ROLIVA 21-11-2013





+



IV.1) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN – CONTROLADORES PSOC

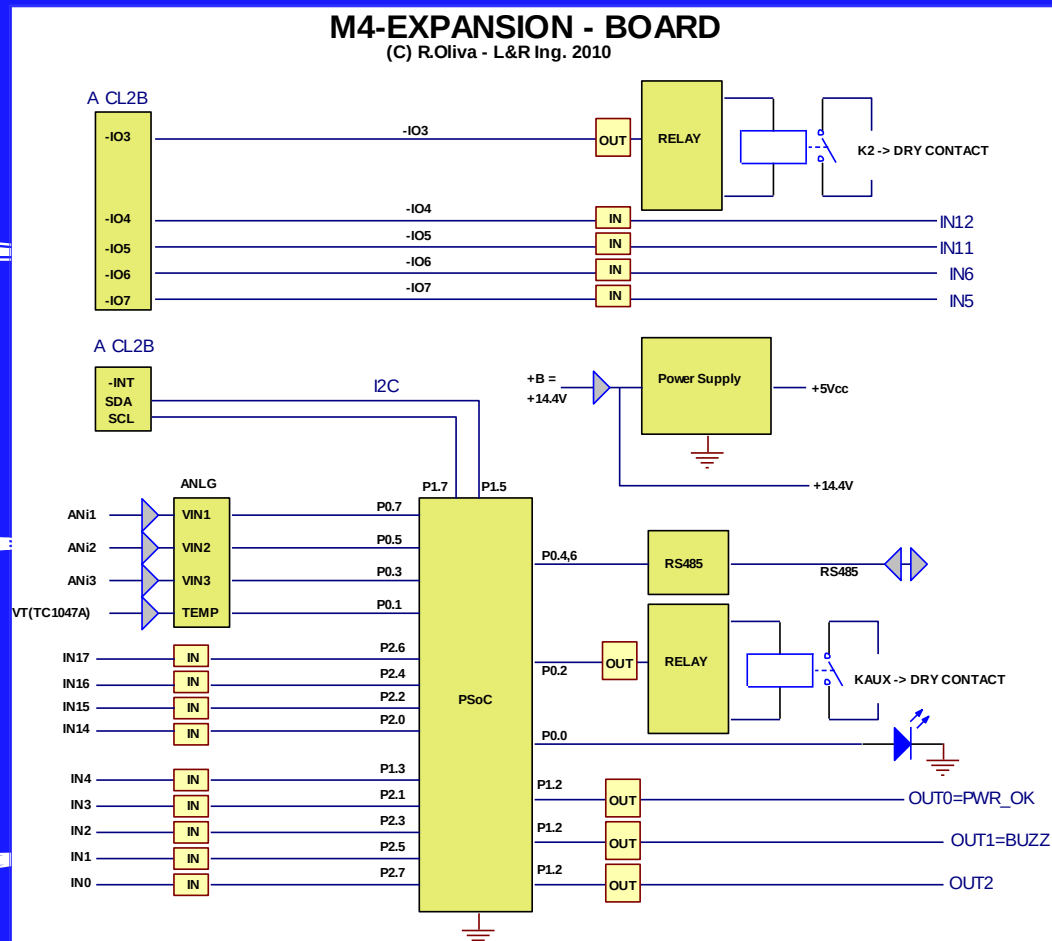
S.E.3

M4/E – Modulo E/S basado en PSOC1 (2010)

Interfase de E/S con CPU ppal.

4 Entradas Analógicas 13bits

Controlador PSOC 29466



IV.1) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN – CONTROLADORES PSoc

S.E.2,3

PSoc Designer 5.2
IDE con Compilador C
gratuito

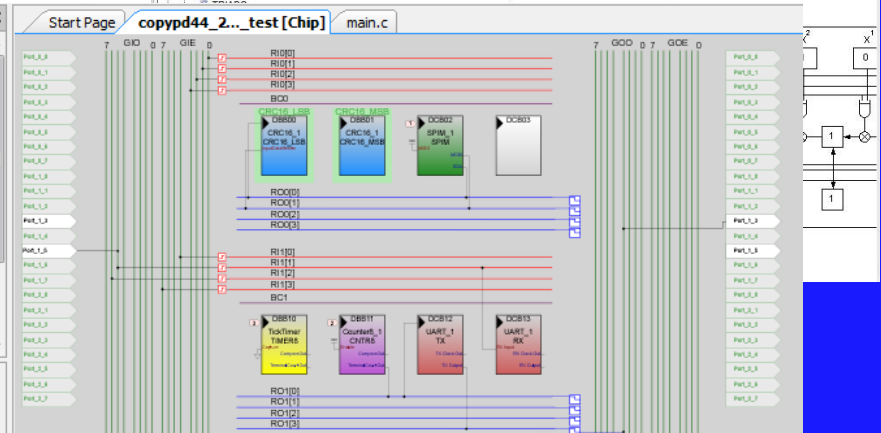
Global Resources - copypd44_2013_modbus3...

Power Setting [Vcc : 5.0V / 24MHz

- CPU_Clock SysClk/8
- 32K_Select Internal
- PLL_Mode Disable
- Sleep_Timer 1_Hz
- VC1= SysClk/N
- VC2= VC1/N
- VC3 Source SysClk/1
- VC3 Divider 48
- SysClk Source Internal
- SysClk*2 Disable No
- Analog Power SC On/Ref High
- Ref Mux (Vdd/2)+/-BandGap
- AGndBypass Disable
- Op-Amp Bias High
- A Buff Power High

Power Setting [Vcc / SysClk freq]

Selects the nominal operation voltage and System Clock (SysClk) source, from which many internal clocks (V1, V2, ...



16-Bit CRC Generator Datasheet

CRC16 V3.2

Resources	PSoC® Blocks			API Memory (Bytes)		Pins (per External I/O)
	Digital	Analog CT	Analog SC	flash	RAM	
CY8C29/27/24/22/21xxx, CY8C23x33, CY8CLED02/04/08/16, CY8CLED0x0d, CY8CLED0x6, CY8CST110, CY8CSTM0110, CY8CST120, CY8CSTM120, CY8CSTM120, CY8C21x45, CY8C22x45, CY8C23x30, CY8C23x30, CY8C2MA300, CY8C28x45, CY8C28x45, CY8C28x43, CY8C28x52	2	0	0	54	0	1
CYVUS86953	2	0	0	54	0	1

Features and Overview

- 2 to 16-bit CRC generator
- Data input clocking up to 48 MHz
- Programmable polynomial
- Programmable seed value
- Serial data in, parallel result out

The CRC16 User Module computes a 2 to 16-bit cyclical redundancy check (CRC) algorithm on an input serial data stream. The polynomial can be defined to implement CRC functions, such as the CRC-16 or CCITT algorithm. A seed value can be specified to initialize the starting data value.

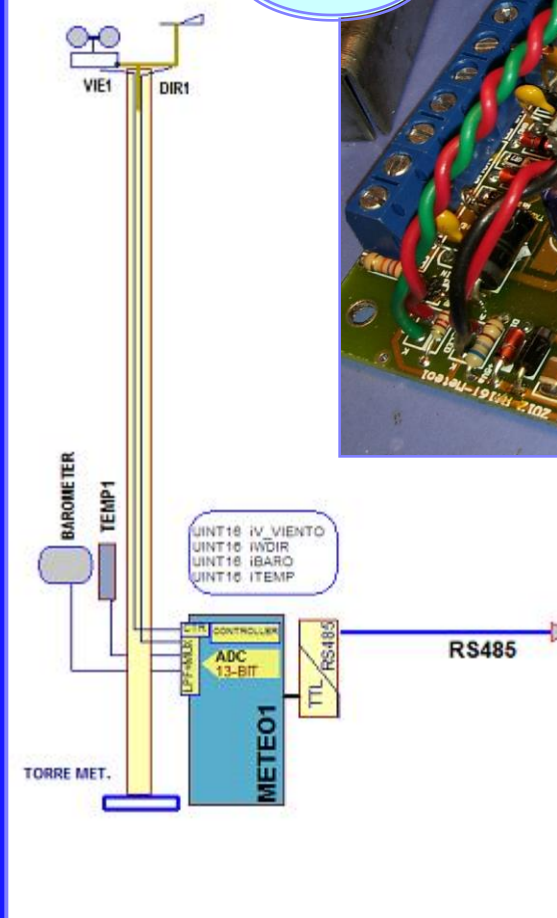
IV.1) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN – CONTROLADORES PSoC / MODULO METEO

S.E.2



METEO Interno
(CY29466)

Modulo DIN-
RS485



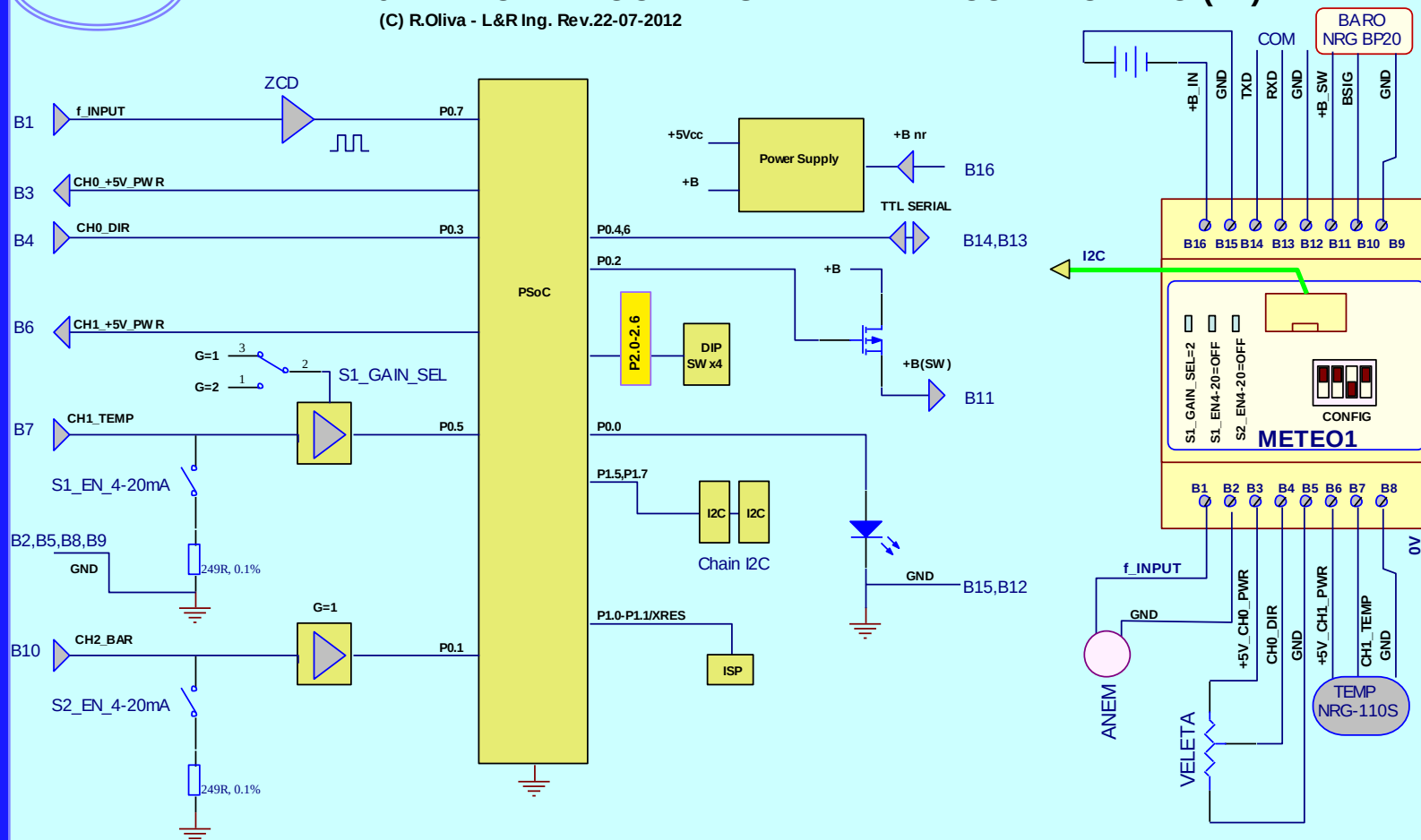
IV.1) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN – CONTROLADORES PSoC / MODULO METEO (2012)

S.E.2

DINR416-METEO1 - BLOCK DIAG

(C) R.Oliva - L&R Ing. Rev.22-07-2012

CONEXIONADO (A1)



IV.2) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN – CPU AVR /DESARROLLADA VIA ANR/FONTAR 2003-2010



8-bit **AVR**[®]
Microcontroller
with 128K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega1284P

Pinout ATmega1284P

PDIP

(PCINT8/XCK0/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0/PCINT0)
(PCINT9/CLKO/T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1/PCINT1)
(PCINT10/INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2/PCINT2)
(PCINT11/OC0A/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3/PCINT3)
(PCINT12/OC0B/SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4/PCINT4)
(PCINT13/ICP3/MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5/PCINT5)
(PCINT14/OC3A/MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6/PCINT6)
(PCINT15/OC3B/SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7/PCINT7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2/PCINT23)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1/PCINT22)
(PCINT24/RXD0/T3) PD0	14	27	PC5 (TDI/PCINT21)
(PCINT25/TXD0) PD1	15	26	PC4 (TDO/PCINT20)
(PCINT26/RXD1/INT0) PD2	16	25	PC3 (TMS/PCINT19)
(PCINT27/TXD1/INT1) PD3	17	24	PC2 (TCK/PCINT18)
(PCINT28/XCK1/OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA/PCINT17)
(PCINT29/OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL/PCINT16)
(PCINT30/OC2B/ICP) PD6	20	21	PD7 (OC2A/PCINT31)

S.E.1

- 1 MIPS/MHz – hasta 20MIPS
- 128 K Flash ISP
- 16 K SRAM
- 4 K EEPROM
- 2 USARTs
- 10 bit – ADC / 8ch
- SPI y TWI (I2C)

PDF: [http://www.lyr-ing.com/DocumentosLyR/EXT/ICs/AVR/AtMega1284P_\(3\)_8059S.pdf](http://www.lyr-ing.com/DocumentosLyR/EXT/ICs/AVR/AtMega1284P_(3)_8059S.pdf)

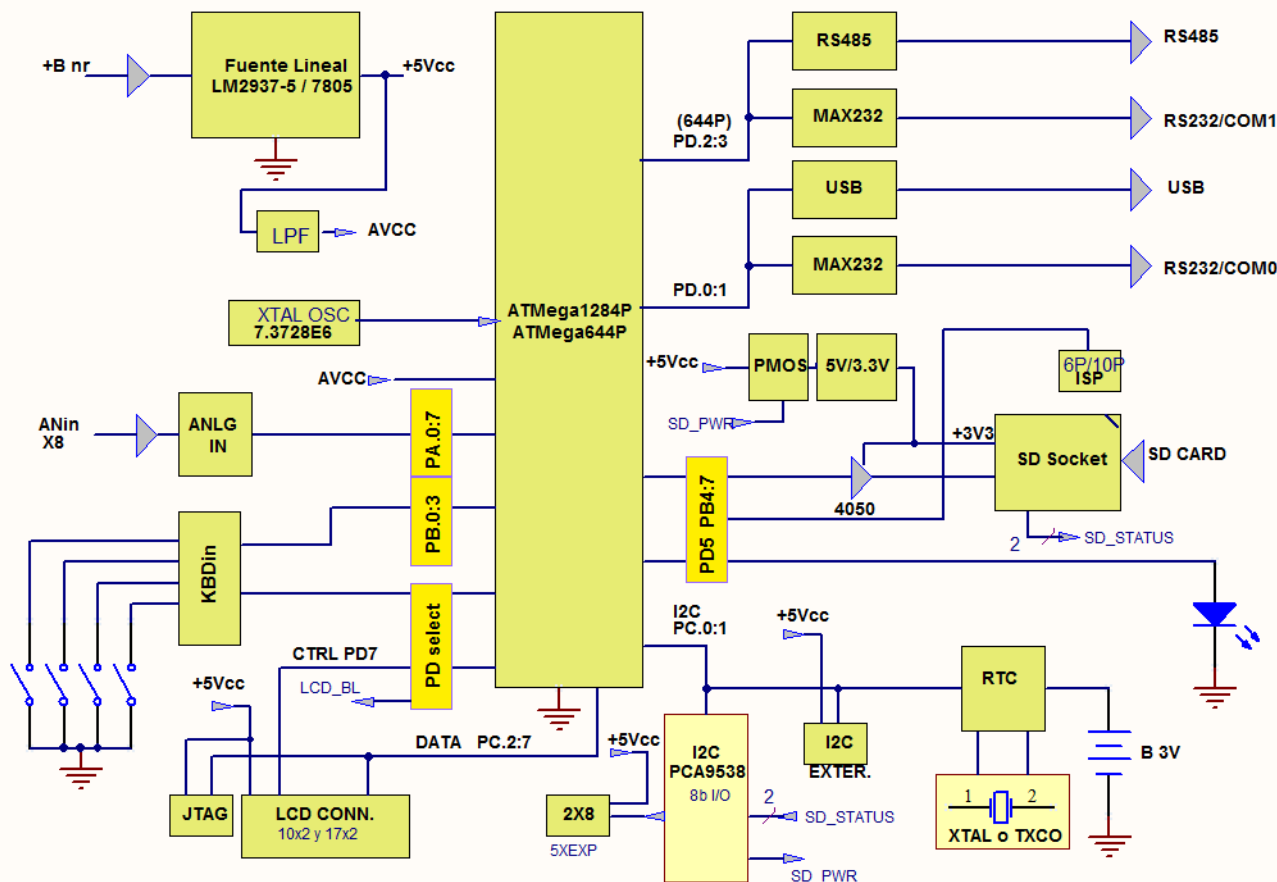
ó <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/megaAVR.aspx>

IV.2) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN – CPU AVR /DESARROLLADA VIA ANR/FONTAR 2003-2010

CL2_b Proto (AtMega644/1284P) Rev5F-2010

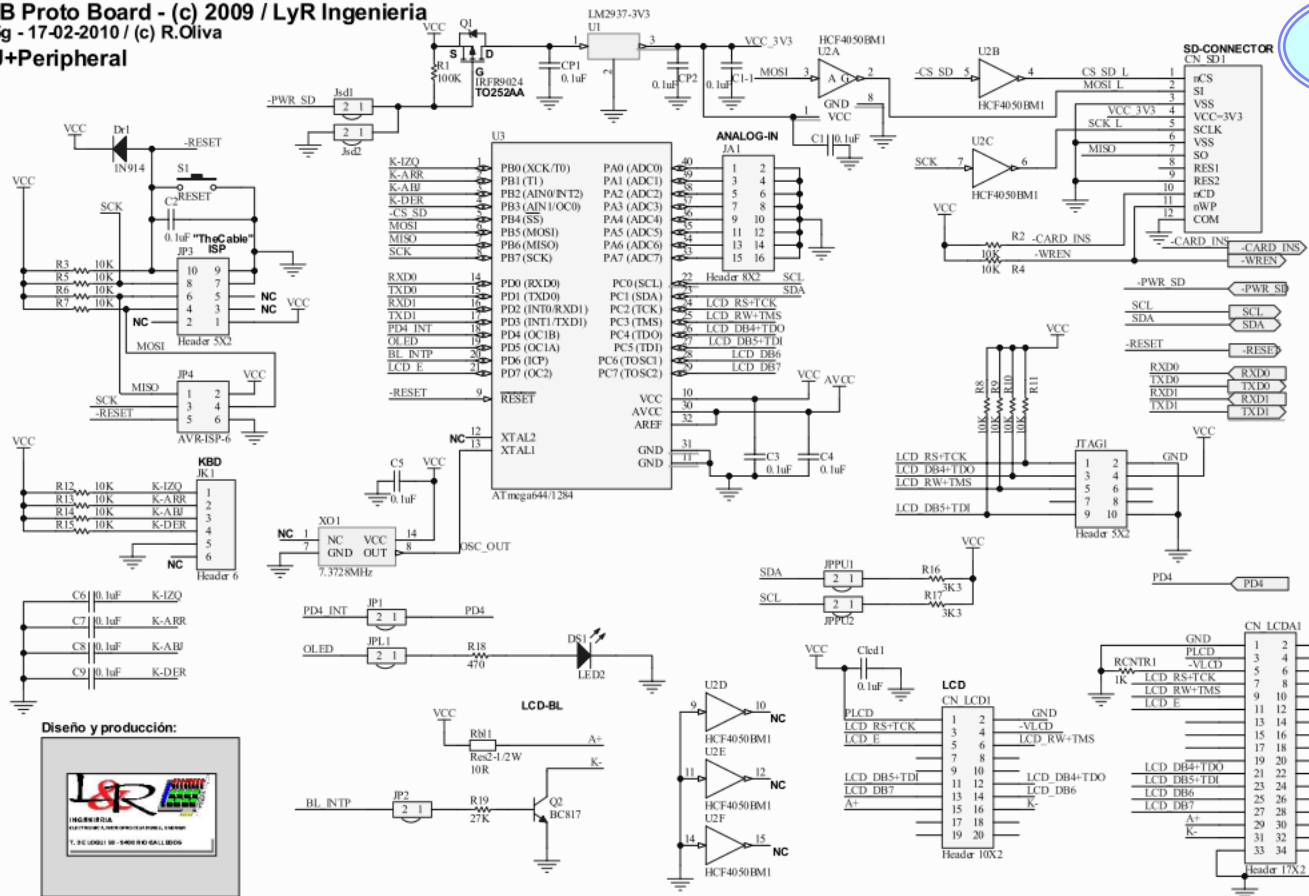
(C) R.Oliva - L&R Ing. 2009

S.E.1



IV.2) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN – CPU AVR /DESARROLLADA VIA ANR/FONTAR 2003-2010

CL2B Proto Board - (c) 2009 / LyR Ingenieria
rev.5g - 17-02-2010 / (c) R.Oliva
CPU+Peripheral

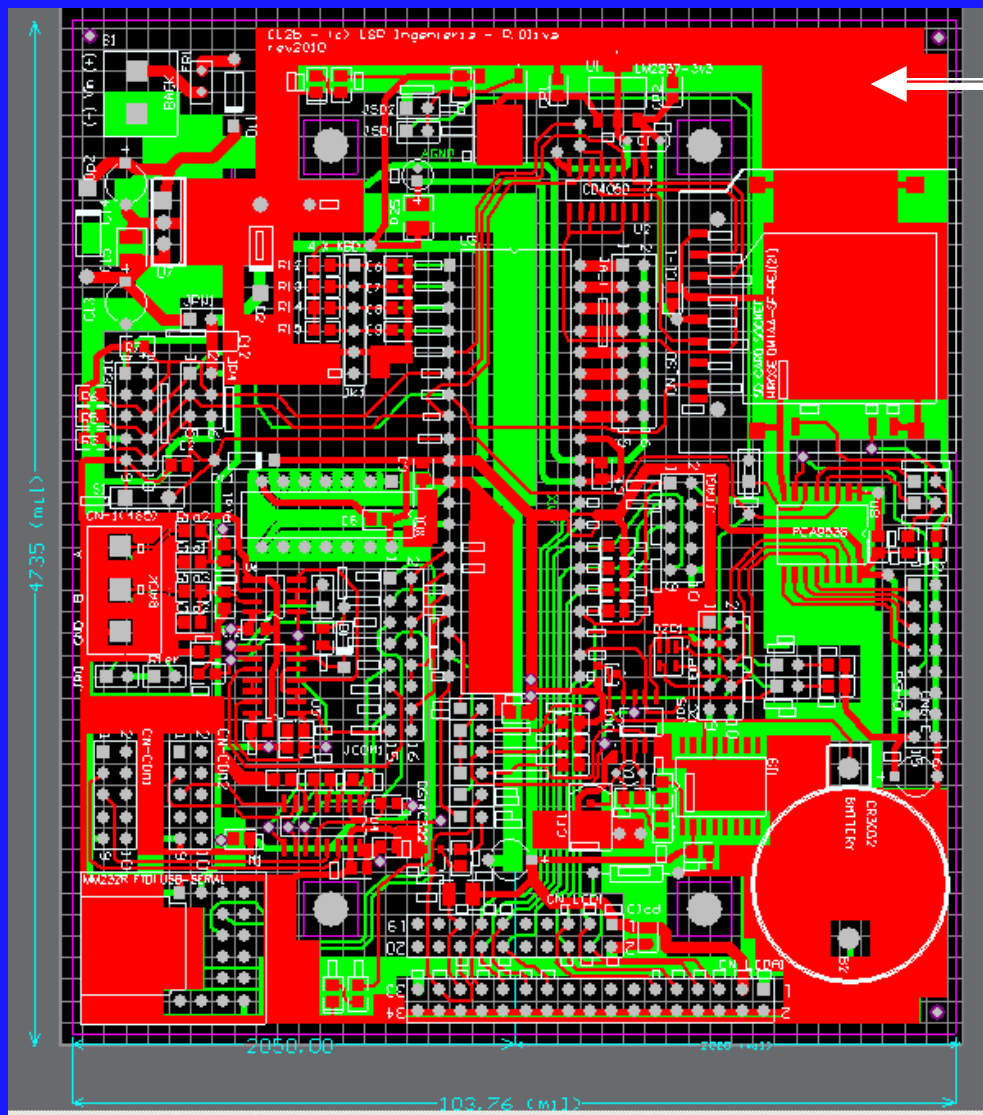


S.E.1

(5 Hojas)

Esquemáticos / PDF: http://www.lyr-ing.com/DocumentosLyR/CL2bm1/V5g_CL2bProto_17-2-2010_Schematic%20Prints.pdf

IV.2) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN – CPU AVR /DESARROLLADA VIA ANR/FONTAR 2003-2010



Placa CL2bm1 –
Final para
producción –25-
2-2010)

S.E.1

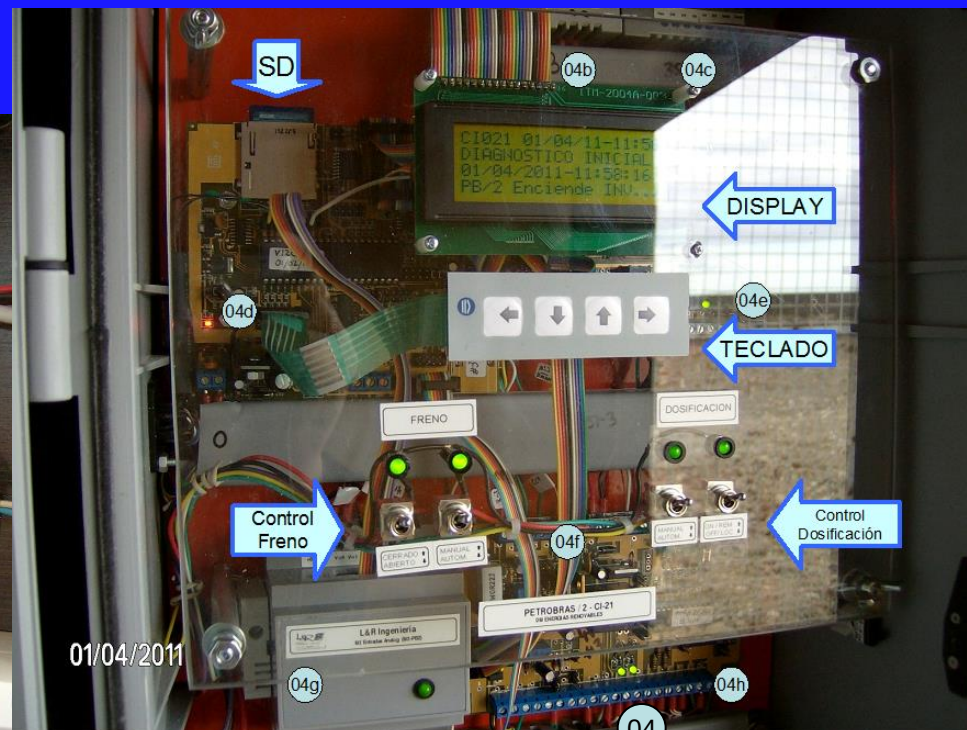
Ensayos
07-2010





IV.3) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN- IMPLEMENTACION CON SISTEMAS SIMILARES / PETROBRAS – BOLEADORAS-2010

(03) Interior – Fuentes, PLC
Twido y
Sensores Vac,Iac (Phoenix)



(04) Interior - Registrador con
CL2bm1 – SD
y control Freno

IV.3) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN- IMPLEMENTACION CON SISTEMAS SIMILARES / PETROBRAS - BOLEADORAS



CL2bm1 – opera en
condiciones severas



DM Energias Renovables



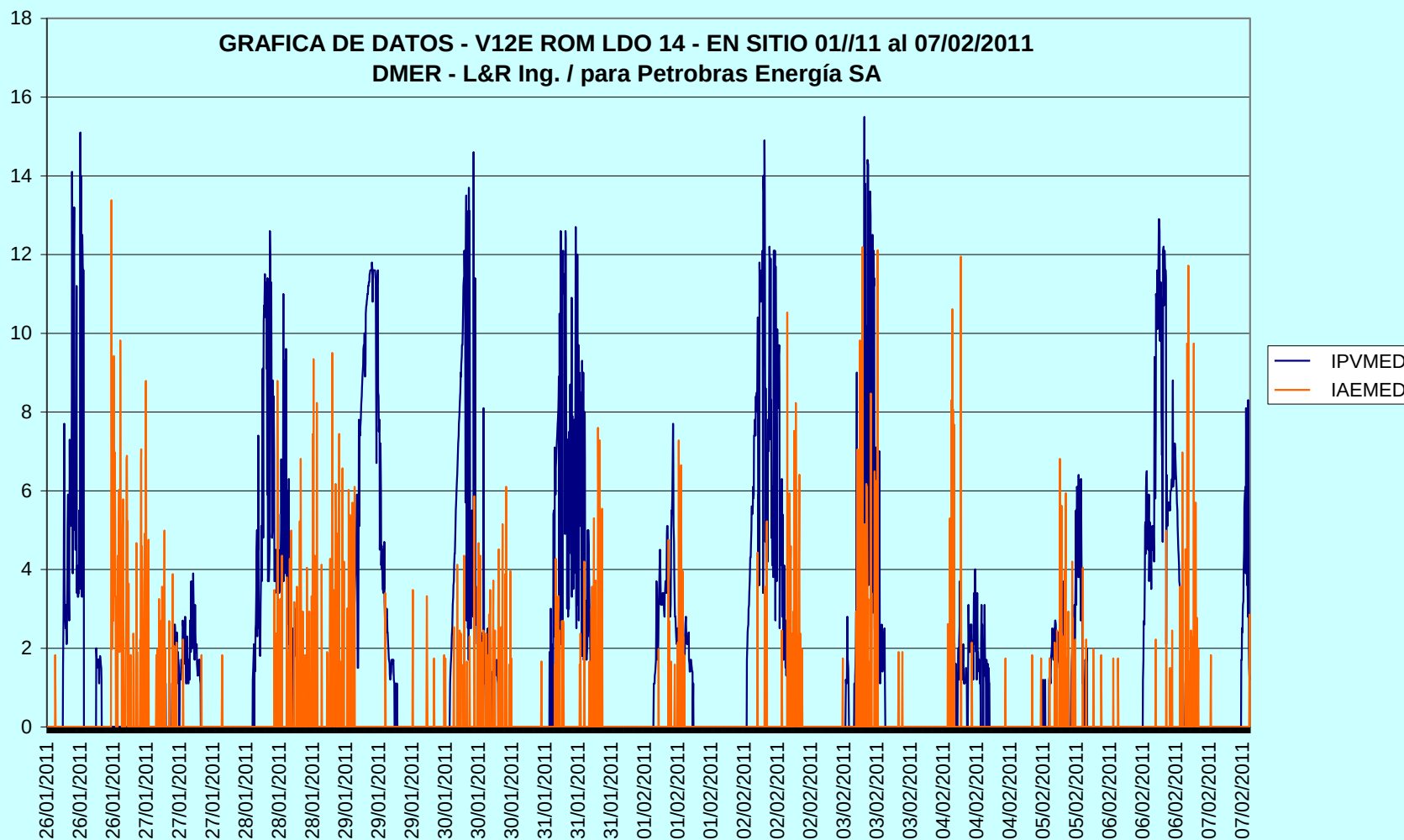


+



IV.3) COMPONENTES DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS EN ESTACIÓN- IMPLEMENTACION CON SISTEMAS SIMILARES / PETROBRAS - BOLEADORAS

GRAFICA DE DATOS - V12E ROM LDO 14 - EN SITIO 01//11 al 07/02/2011
DMER - L&R Ing. / para Petrobras Energía SA

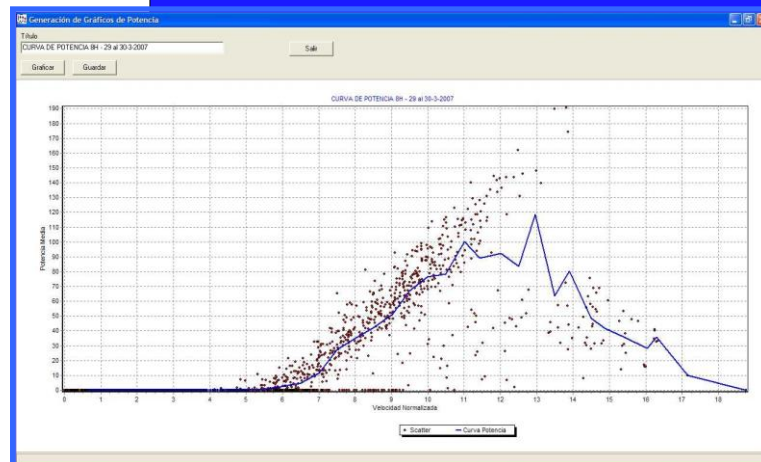
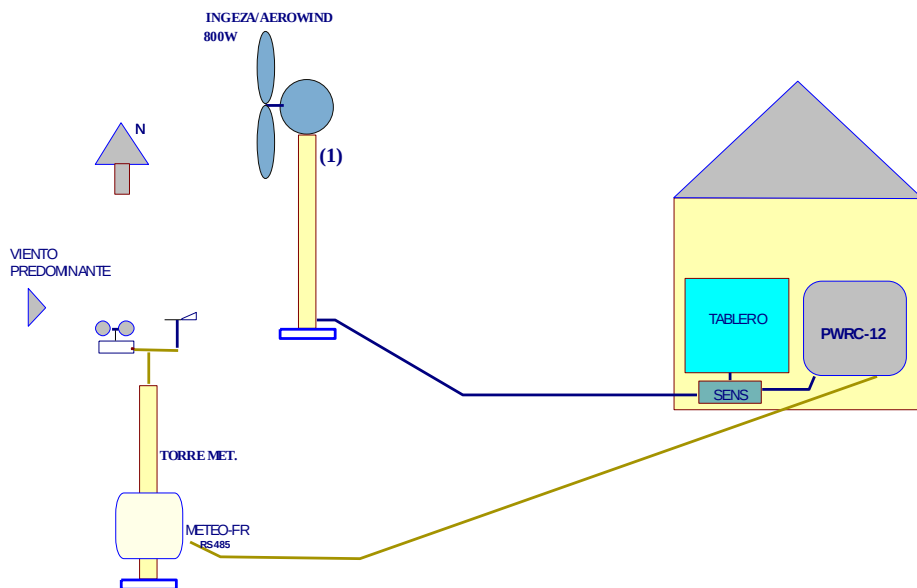


V) IMPLEMENTACION PRACTICA Y RESULTADOS ANTECEDENTES- CURVA DE POTENCIA DE PEQUEÑOS AEROGENERADORES (PERMER PILOTO 2005)

CONJUNTO PWRC-12 (Sistema Curva de Potencia) - UBICACION

PROYECTO PERMER - AEROWIND

LYR/INGENIERIA -05/2006





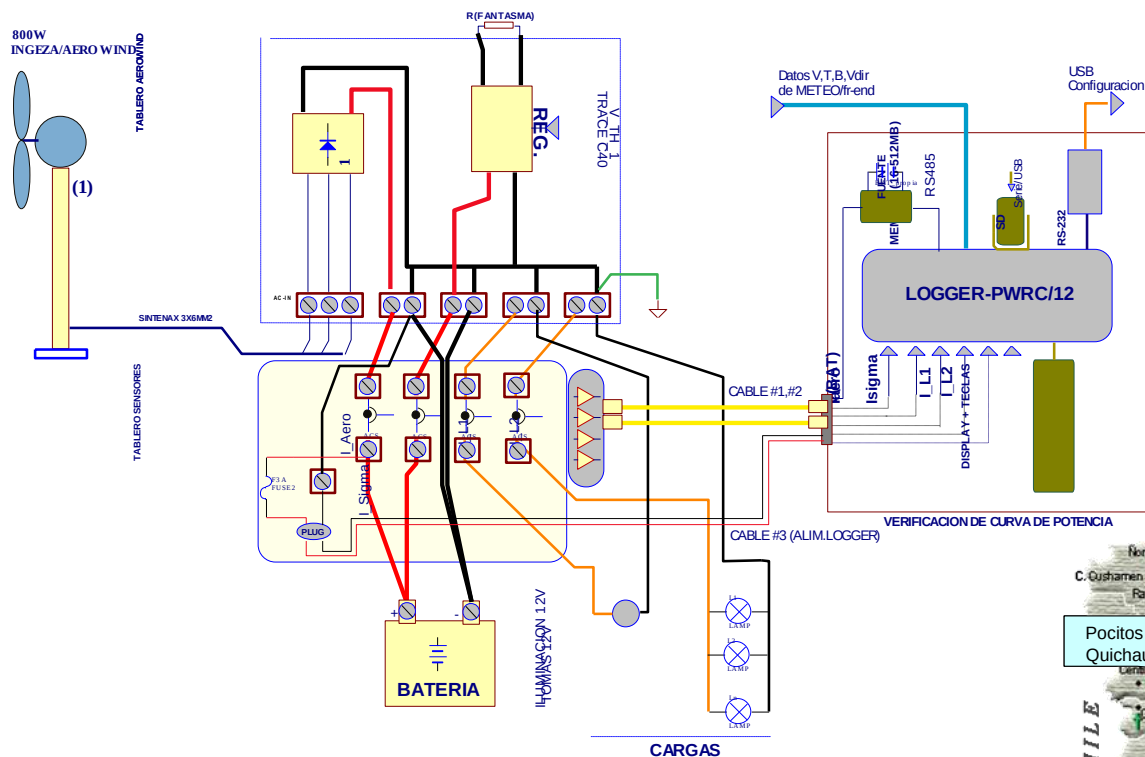
+



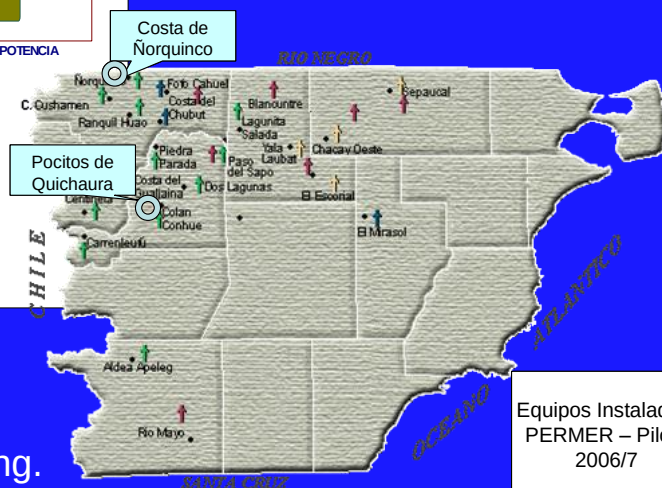
V) IMPLEMENTACION PRACTICA Y RESULTADOS ANTECEDENTES- CURVA DE POTENCIA DE PEQUEÑOS AEROGENERADORES

DETALLE CIRCUITO - TABLEROS / PWRC (CURVA DE POTENCIA) PROYECTO PERMER - AEROWIND

LYR-INGENIERIA - 10-2006



05/12/2006



Equipos Instalados
PERMER – Piloto
2006/7

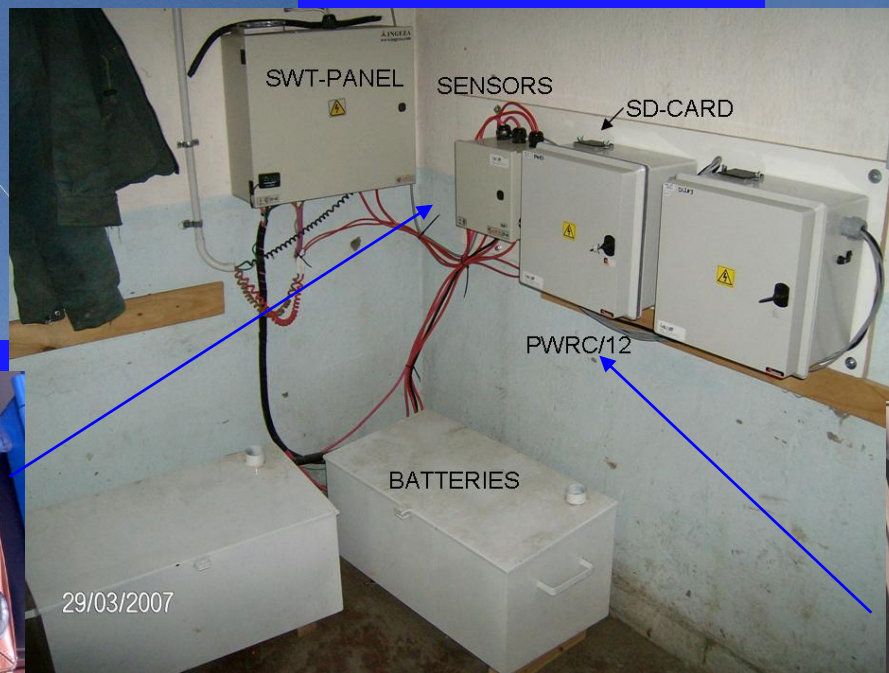
Tesis - R.Oliva - UNPA + L&R Ing.



+



V) IMPLEMENTACION PRACTICA Y RESULTADOS ANTECEDENTES- CURVA DE POTENCIA DE PEQUEÑOS AEROGENERADORES

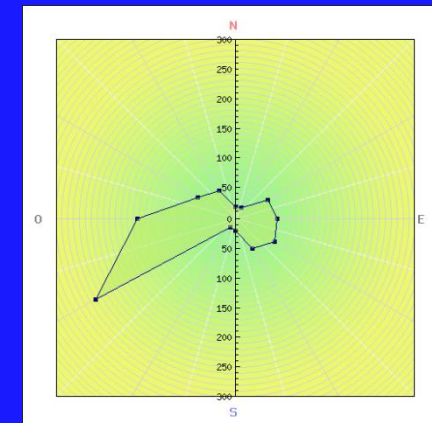


V.1) IMPLEMENTACION PRACTICA Y RESULTADOS INTI – NEUQUEN / CAMPO DE PRUEBA PEQUEÑOS AEROGENERADORES

Cutral-Có– Neuquén



Datos de Viento



Lat. -38°55' - Long. -69°16'

$V_{avg-10m}$: 6.5 m/s

Altitud: 652 m - T_{avg} : 10.4 °C



V.I) CASO APLICACIÓN- CAMPO DE PRUEBAS INTI – NEUQUÉN – PEQUEÑOS AEROGENERADORES

Equipamiento Laboratorio INTI – Cutral Có (Inaugurado Junio 26, 2012)

4 torres rebatibles p/ aerogeneradores
(9 m)

2 Torres Metereológicas reticuladas (9 m – 18 m)

Presión

Temperatura

Velocidad de viento

Dirección

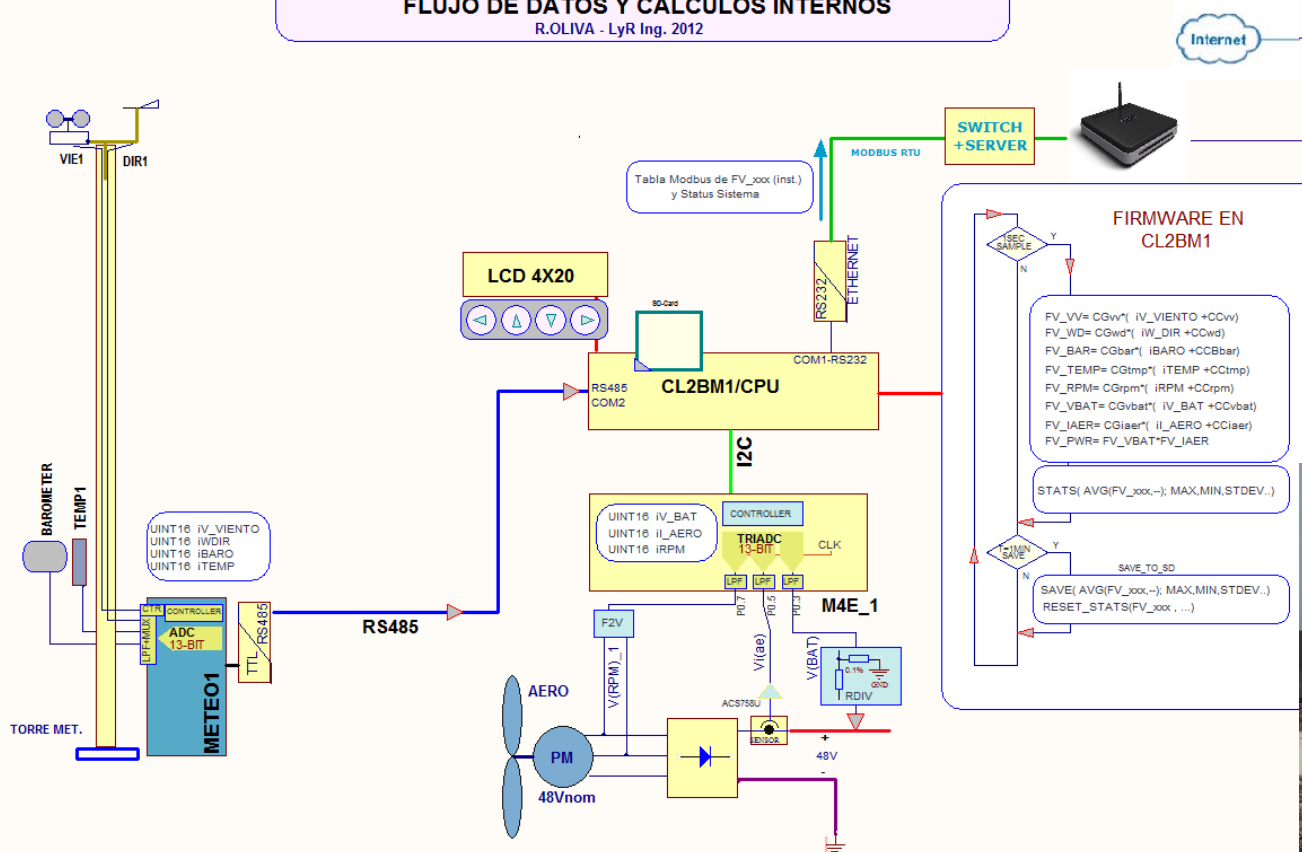


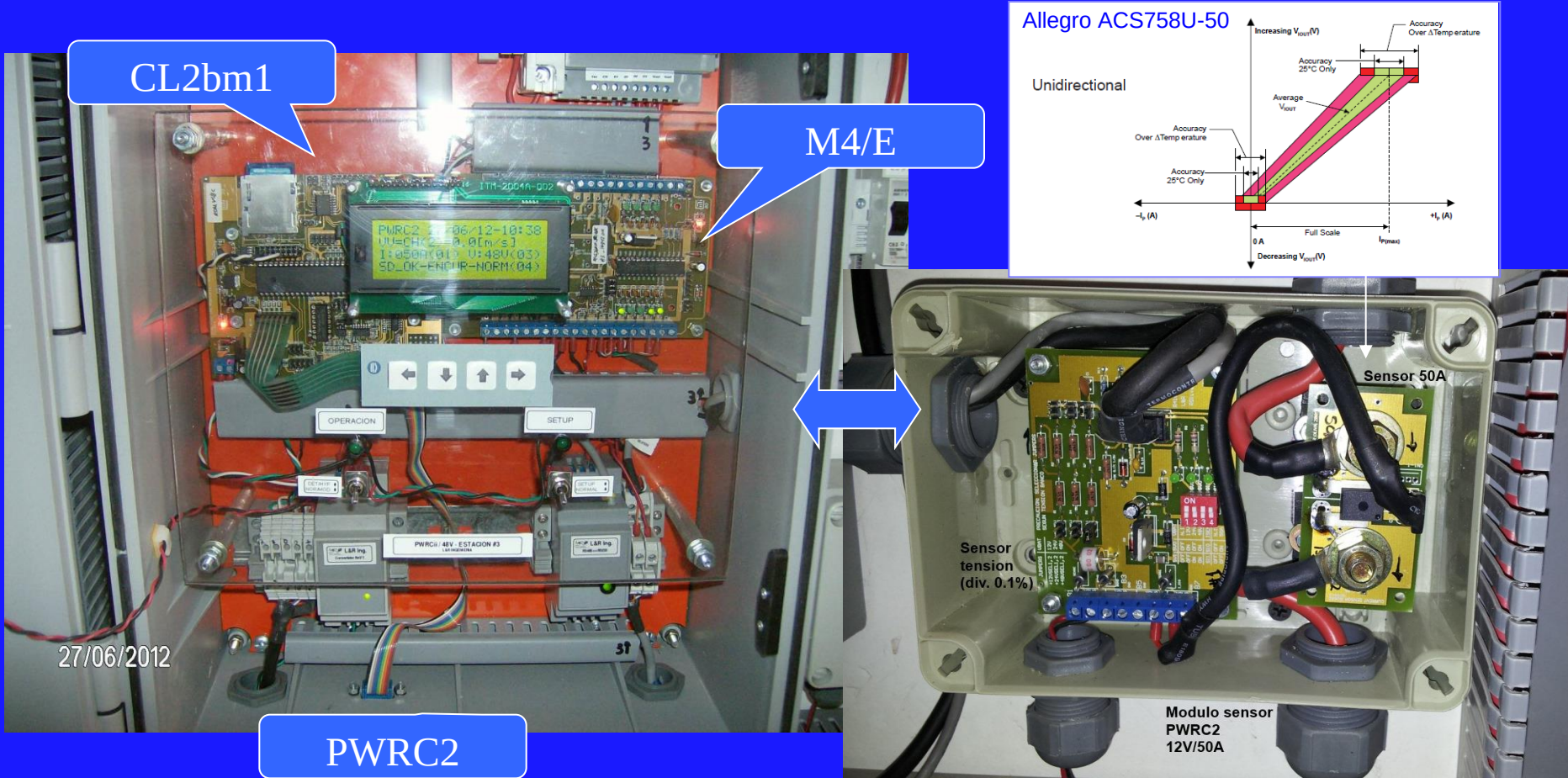
V.I) CASO APLICACIÓN- CAMPO DE PRUEBAS INTI – NEUQUÉN – PEQUEÑOS AEROGENERADORES

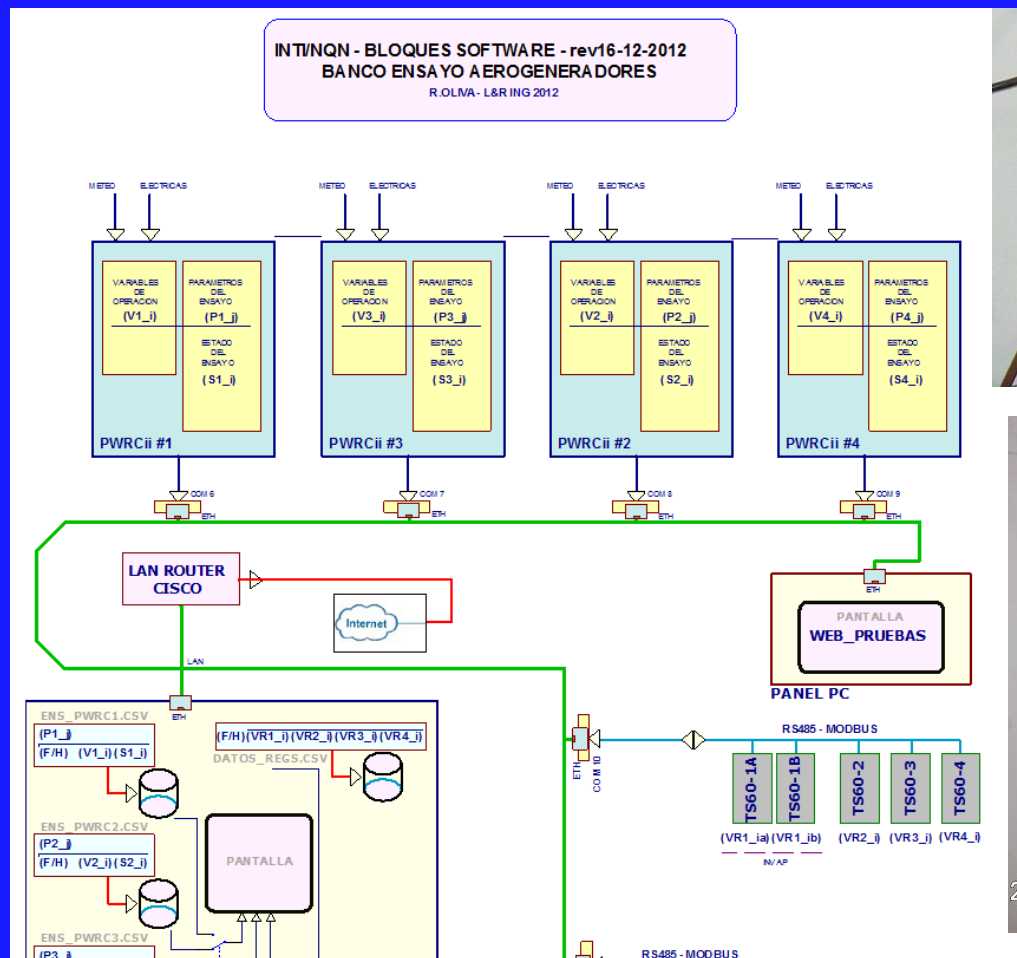
PWRC2 - MEDICION CURVA POTENCIA- v3/11-2012

FLUJO DE DATOS Y CALCULOS INTERNOS

R.OLIVA - LyR Ing. 2012







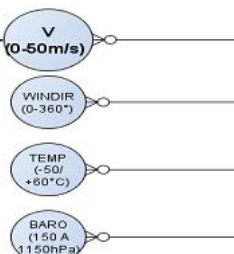
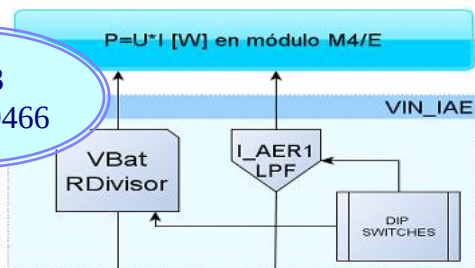


+



V.I) CASO APLICACIÓN- CAMPO DE PRUEBAS INTI – NEUQUÉN – PEQUEÑOS AEROGENERADORES

S.E.3
PSoC 29466



RS485

S.E.1
ATMega1284P

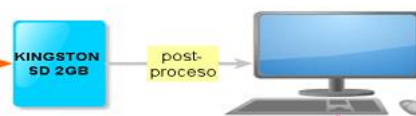
CL2BM1 CPU



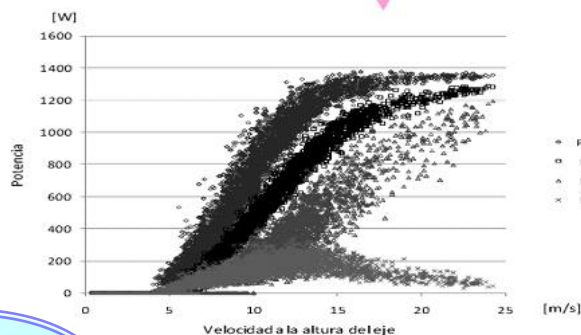
I2C

PWRC2 - MEDICION CURVA POTENCIA
DIAGRAMA GENERAL
R.OLIVAr2 09-2013

INTI-Neuquén: Campo de Ensayo de
Pequeños Aerogeneradores (06-2012)



P(V) ScatterPlots



INTI

* PWCH_MAX
□ PWCH_MED
△ PWCH_MIN
× PWCH_DSTD

S.E.2
PSoC 29466

Figura 8. Nube de puntos de potencia medida vs velocidad de viento



+



V.I) CASO APLICACIÓN- CAMPO DE PRUEBAS INTI – NEUQUÉN – PEQUEÑOS AEROGENERADORES

S.E.1
ATMega1284P

S.E.3/ M4-E
PSoC 29466

S.E.2/METEO
PSoC 29466

01/11/2012

03/11/2012



+



V.I) CASO APLICACIÓN- CAMPO DE PRUEBAS INTI – NEUQUÉN – PEQUEÑOS AEROGENERADORES

Aplicación en Delphi
para lectura vía Modbus
con Componente
HMITalk
(CPK Software, Arg.)
[R.Vallejos]

INTI Neuquén: Ensayos ver.2.3 (06/2012)

Fecha: 28/06/2012 Hora: 12:45:59 ☐ Iniciar Prueba ☐ Envio FTP

PWRC II 1 PWRC II 2 PWRC II 3 PWRC II 4 Nomad 2

☒ Finalizar Ensayo

Velocidad del Viento [m/s]: 8,6 Dirección del Viento [°]: 277,2

Temperatura [°C]: 0 Presión Atmosf. [mB]: 935,3

Anemómetro 18 mts. [m/s]: 10,7

HMITalk(4)
☐ Tx: [01] [03] [00] [34] [00] [0F] [44] [00]
☐ Rx: [01] [03] [1E] [00] [47] [00] [00] [00] [00] [00] [00] [00] [67] [00] [00] [00] [00]

Driver Status:
OK: Data received successfully [86.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 107.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000]

Datos Nomad

28/06/2012,12:44:53,10,5,279,9,0,934,3,12,2
28/06/2012,12:44:58,11,2,294,8,0,935,3,13,4
28/06/2012,12:45:03,10,5,301,3,0,935,1,12,6
28/06/2012,12:45:08,8,2,286,0,935,3,11,4
28/06/2012,12:45:13,9,7,259,6,0,935,3,13,7
28/06/2012,12:45:18,12,7,273,5,0,934,3,12,6
28/06/2012,12:45:23,11,2,275,5,0,935,3,11,8
28/06/2012,12:45:28,8,6,282,4,0,935,3,12,6
28/06/2012,12:45:33,11,2,304,1,0,934,3,12,2
28/06/2012,12:45:38,8,2,286,7,0,934,3,13,4
28/06/2012,12:45:43,9,7,283,0,935,3,10,3
28/06/2012,12:45:48,9,7,290,9,0,934,8,9,5
28/06/2012,12:45:54,10,8,279,2,0,934,3,11,8
28/06/2012,12:45:59,8,6,277,2,0,935,3,10,7

Datos Nomad2

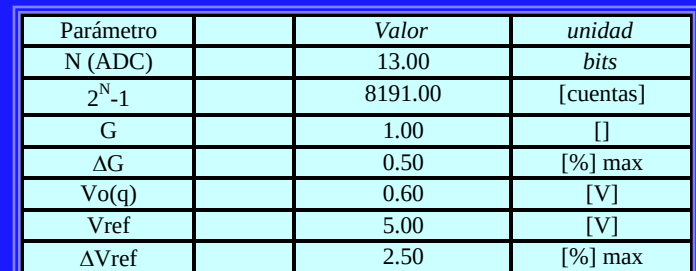


V.2) COMPONENTES DE INCERTIDUMBRE en los PWRC2 del Campo de Pruebas INTI

- La implementación del cómputo de potencia se basa en la adquisición a través de un módulo de conversión A/D tipo TRIADC de muestras (a razón de 10 por segundo) de tensión y corriente y el cómputo de la variable FV_PWR como el producto de las lecturas previamente escaladas a unidades de ingeniería, y con los coeficientes de calibración correspondientes. Este producto se realiza una vez por segundo, en coincidencia con la llegada de una muestra desde METEO1. Por lo tanto la potencia y la medición de viento están coordinadas con desfase mínimo.
- Estos equipos utilizan una unidad CPU basada en procesador Atmel ATMega1284P corriendo a 14.76 MHz (S.E.1) y una unidad periférica M4/E (S.E.3) con controlador Cypress PSoC 29466, que implementa el conversor A/D triple TRIADC de 13 bits, para medición simultánea de tensión y corriente. Ambas unidades se conectan vía bus I2C.
- Externamente, al pie de las torres de medición se utiliza una unidad (S.E.2) METEO (también con controlador PSoC 29466) por cada 2 PWRC2, para suministrar datos de viento vía RS485, registrados por anemómetros Thies Class One a 9 y 18 m, y sensores de dirección, temperatura y presión atmosférica.

- $$I = \frac{1}{S} \left[\frac{V_{REF} D}{G(2^N - 1)} - V_{o(q)} \right] = f(S, V_{REF}, D, G, V_{o(q)}) \quad [A]$$

$V_o(q)$ el valor del offset de señal con 0A circulando.



V.2) COMPONENTES DE INCERTIDUMBRE en los PWRC2 del Campo de Pruebas INTI

- El análisis de la **incertidumbre asociada a la medición de corriente**, suponiendo que las variables tienen correlación nula, da como resultado:

$$U^2(I) = C_{fS}^2 U^2(S) + C_{fV_{REF}}^2 U^2(V_{REF}) + C_{fD}^2 U^2(D) + C_{fG}^2 U^2(G) + C_{fV_{o(q)}}^2 U^2(V_{o(q)})$$

Donde se considera que los coeficientes surgen por derivación de la ecuación anterior de corriente I .

$$C_{fS} = \frac{\partial f}{\partial S} = \frac{V_{o(q)} - \frac{V_{REF} D}{G(2^N - 1)}}{S_0^2}$$

$$C_{fV_{REF}} = \frac{\partial f}{\partial V_{REF}} = \frac{D}{S_0 G(2^N - 1)}$$

$$C_{fD} = \frac{\partial f}{\partial D} = \frac{V_{REF}}{S_0 G(2^N - 1)}$$

$$C_{fG} = \frac{\partial f}{\partial G} = \frac{-DV_{REF}}{S_0 G^2(2^N - 1)}$$

$$C_{fV_{o(q)}} = \frac{\partial f}{\partial V_{o(q)}} = -\frac{1}{S_0}$$

Tabla Incertidumbre Medición de Corriente - sin calibración - PWRC2/48V/150A

$$U^2(I) = C_{fS}^2 U^2(S) + C_{fV_{REF}}^2 U^2(V_{REF}) + C_{fD}^2 U^2(D) + C_{fG}^2 U^2(G) + C_{fV_{o(q)}}^2 U^2(V_{o(q)})$$

Incertidumbre total U(I)			(A1)	(A2)	(C)
D	V(ADC)	I[A]	$(C_{fS} * U(S))^2$ [A ²]	$C_{fV_{REF}} * U(V_{REF})^2$ [A ²]	
1050	0.64	1.52	14.06250	0.35221	
1550	0.95	12.82	14.06250	0.76751	
2050	1.25	24.12	14.06250	1.34254	
2550	1.56	35.43	14.06250	2.07730	
3050	1.86	46.73	14.06250	2.97179	
3550	2.17	58.04	14.06250	4.02601	
4050	2.47	69.34	14.06250	5.23997	
4550	2.78	80.65	14.06250	6.61365	
5050	3.08	91.95	14.06250	8.14707	
5550	3.39	103.25	14.06250	9.84022	
6050	3.69	114.56	14.06250	11.69309	
6550	4.00	125.86	14.06250	13.70570	
7050	4.30	137.17	14.06250	15.87804	
7550	4.61	148.47	14.06250	18.21011	
8050	4.91	159.78	14.06250	20.70191	
8191	5.00	162.96	14.06250	21.43347	



V.2) COMPONENTES DE INCERTIDUMBRE en los PWRC2 del Campo de Pruebas INTI

- Es similar el análisis de la **incertidumbre asociada a la medición de tensión**, suponiendo que las variables tienen correlación nula:

$$V = \frac{1}{AT} \left[\frac{V_{REF} D}{G(2^N - 1)} - V_{io} \right] = f(AT, V_{REF}, D, G, V_{io}) \quad [V]$$

Donde AT es la atenuación del sensor en [V/V], y V_{io} es el valor de la tensión de offset de entrada del amplificador operacional. El tratamiento de los coeficientes es similar.

Finalmente, la **potencia** resulta de un producto de ambas señales:

$$P = VI \quad [W]$$

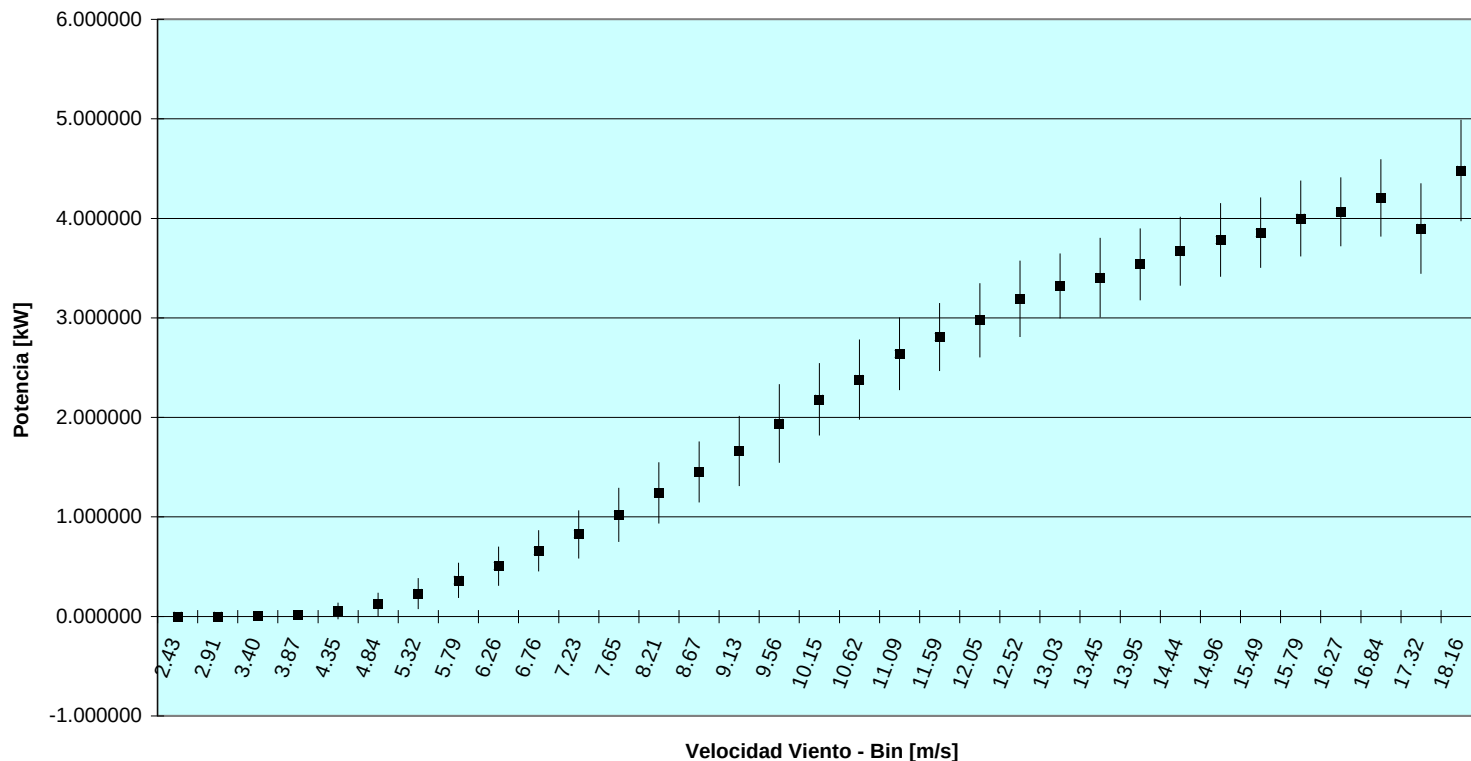
y la **incertidumbre asociada a la potencia medida** surge entonces de la expresión:

$$U^2(P) = \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)^2 (\Delta V)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial I} \right)^2 (\Delta I)^2 \quad [W^2]$$

V.3) Incertidumbre Global y Curva de Potencia calculada – Ensayo reducido IVS4500

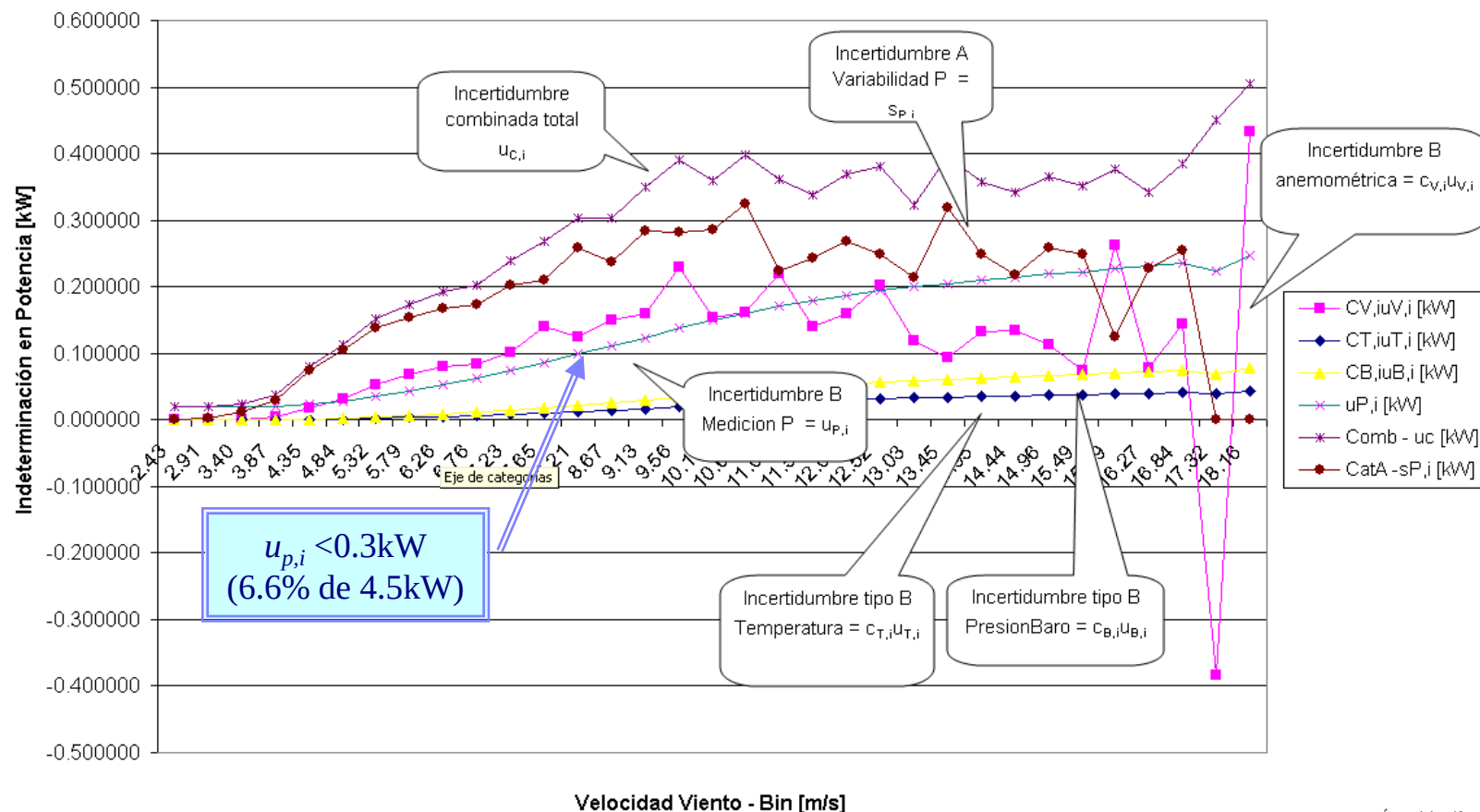
- En la Figura se grafican los valores de potencia e incertidumbre $u_c(P_i)$ en función de la velocidad de viento, para el IVS4500,

Curva de Potencia parcial con límites de Incertidumbre Estandar INVAP 4.5kW - (TrabajoTesis R.Oliva 2012)



V.3) Componentes de incertidumbre en el ensayo limitado IVS4500

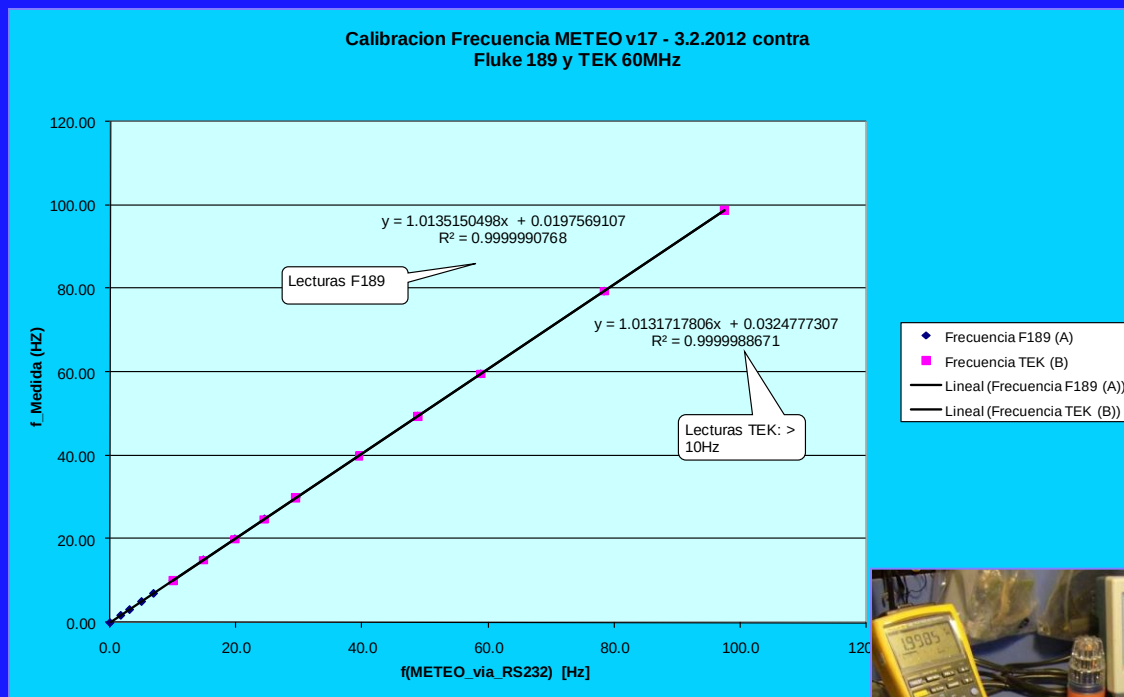
Componentes de Indeterminación en la curva de Potencia IVS4500 4.5kW - (Trabajo Tesis R.Oliva 2012)



Área del gráfico

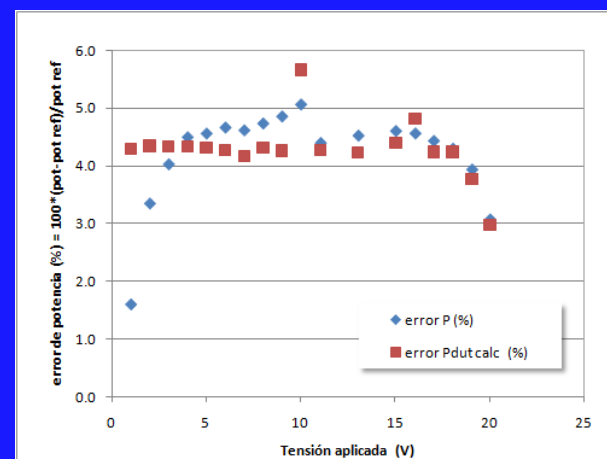
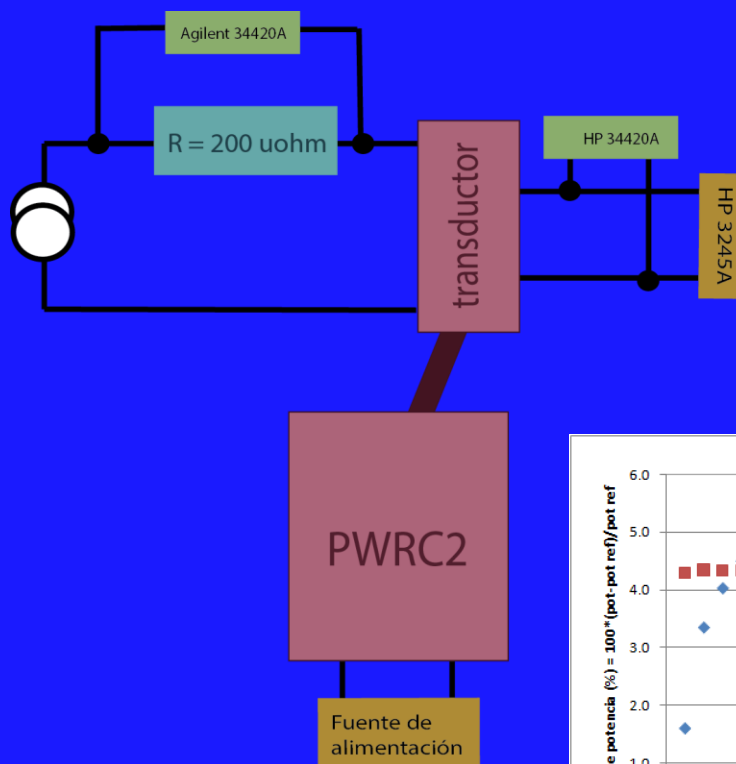
V.4) Calibración Unidades METEO

* Cada unidad METEO1 se calibra [Fluke-1, 2011] con dos instrumentos de referencia (Multímetro Fluke F189 y osciloscopio digital TEK TS1002B - Figura), registrando en una terminal convencional los paquetes que contiene valores de frecuencia x10 como se muestra en la Figura para 15 puntos de medición



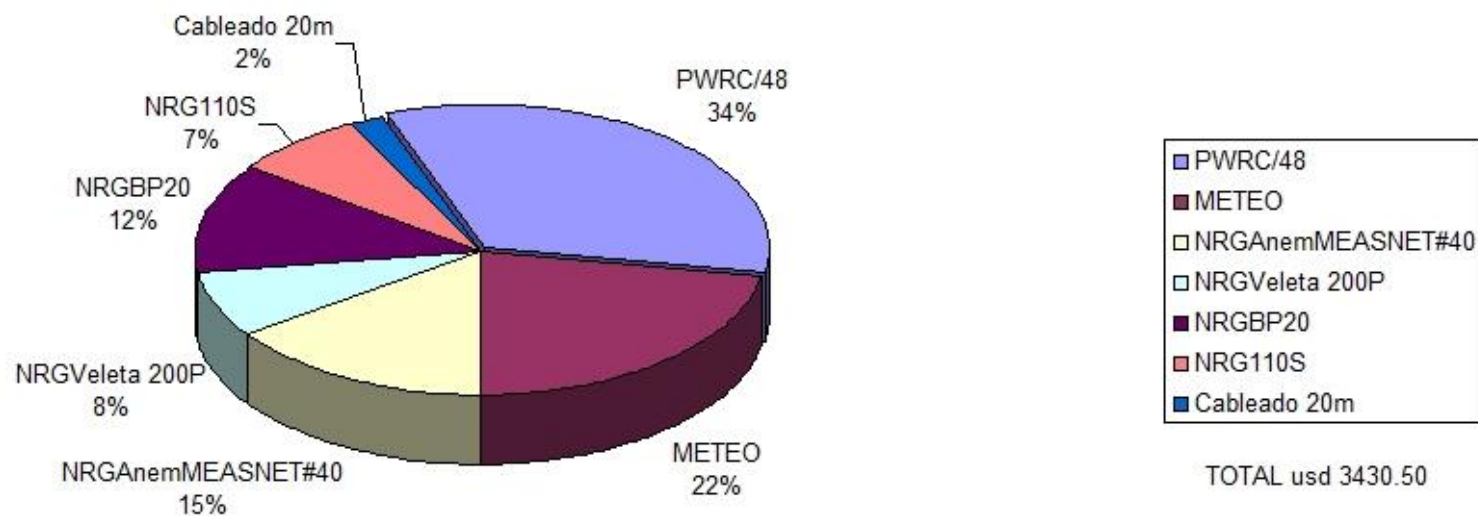
V.5) Calibración en un equipo similar, realizada por INTI Metrología

Durante febrero de 2014, el INTI-Neuquén envió a INTI-Metrología en Buenos Aires una unidad PWRC2 para medición de sistemas de 12V nominal (0 a 20V) y sensor de 100A para realizar su calibración en potencia, cuyos resultados se reportan en [INTI-RUT N°FM-102-3090U, 2014]. El circuito de medición y el instrumental utilizado (de indeterminaciones muy bajas comparadas con el PWRC2), así como los resultados se muestran en la Figura. El error del sistema de potencia se mantiene por debajo del 6%.



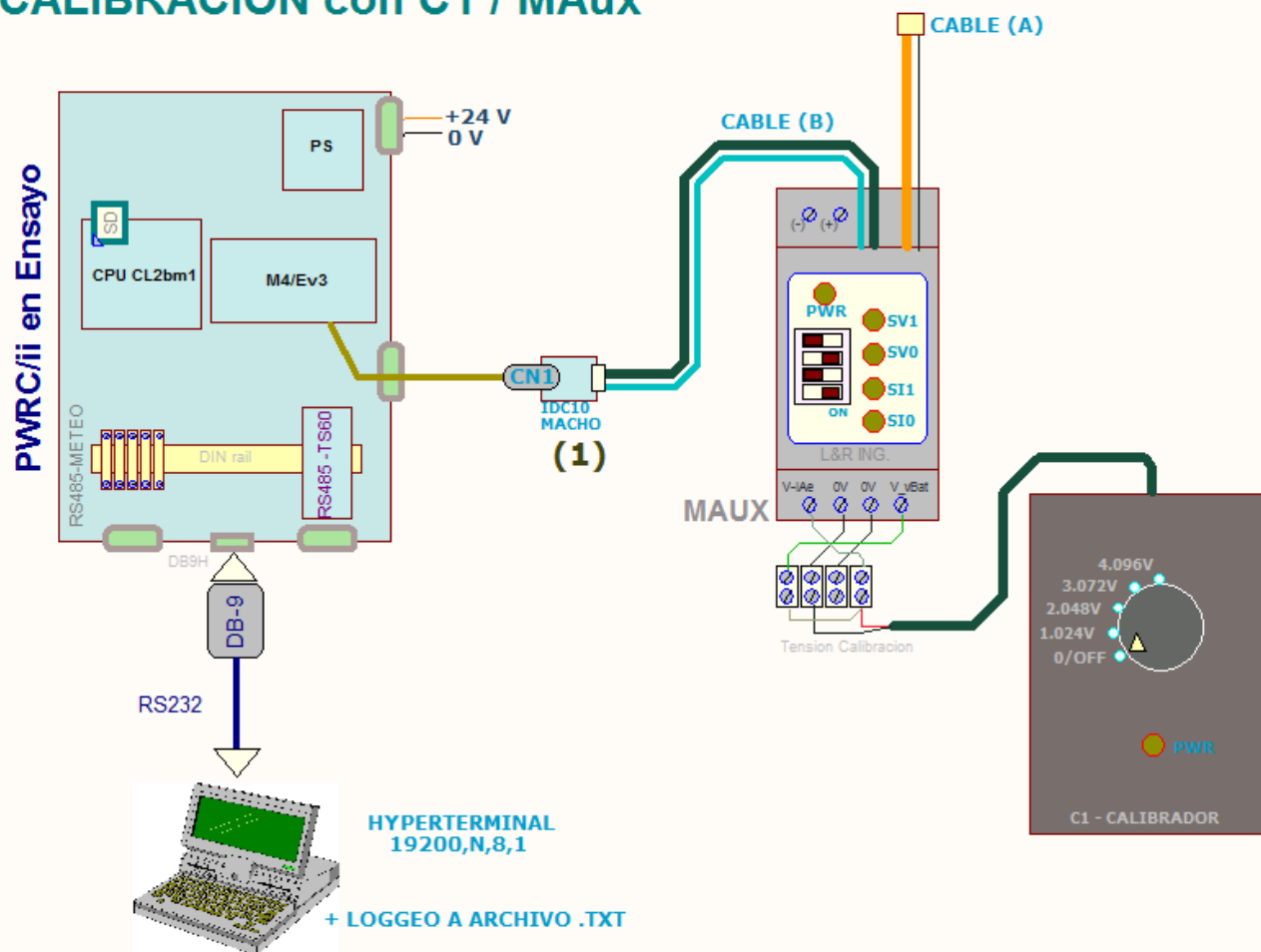
V.6) Costos – Sistema completo PWRC2

Costos Sistema Completo PWRC2+METEO+Sensores L&R Ingeniería 2011



V.7) Trabajo en Curso – Mejora sistemas de Calibración

I) CALIBRACION con C1 / MAux



Conclusiones

Se ha podido cumplir con lo siguiente:

- Estación configurable, ensayada básicamente en su modalidad Curva de Potencia con capacidad para usar sensores de calidad media a alta.
- Cuenta con sistema probado de almacenamiento en Flash, de series de tiempo de promedios, máximo, mínimo y desvío estándar
- Resulta adaptable y relativamente sencilla de operar para medición de curvas de potencia en red
- Buena confiabilidad, incertidumbres acotadas y procedimientos mejorados de calibración
- Alta integración local para reducción de costos

Conclusiones

Trabajo que resta desarrollar:

- Ensayo en modalidad Stand Alone con panel solar.
- Mejora en interfase de usuario (Windows o Tablet) adaptable y sencilla de operar.
- Integración con paquetes de software para posprocesamiento



GRACIAS POR SU ATENCION!

Mail: roliva@lyr-ing.com
rafael.beltran.oliva@gmail.com