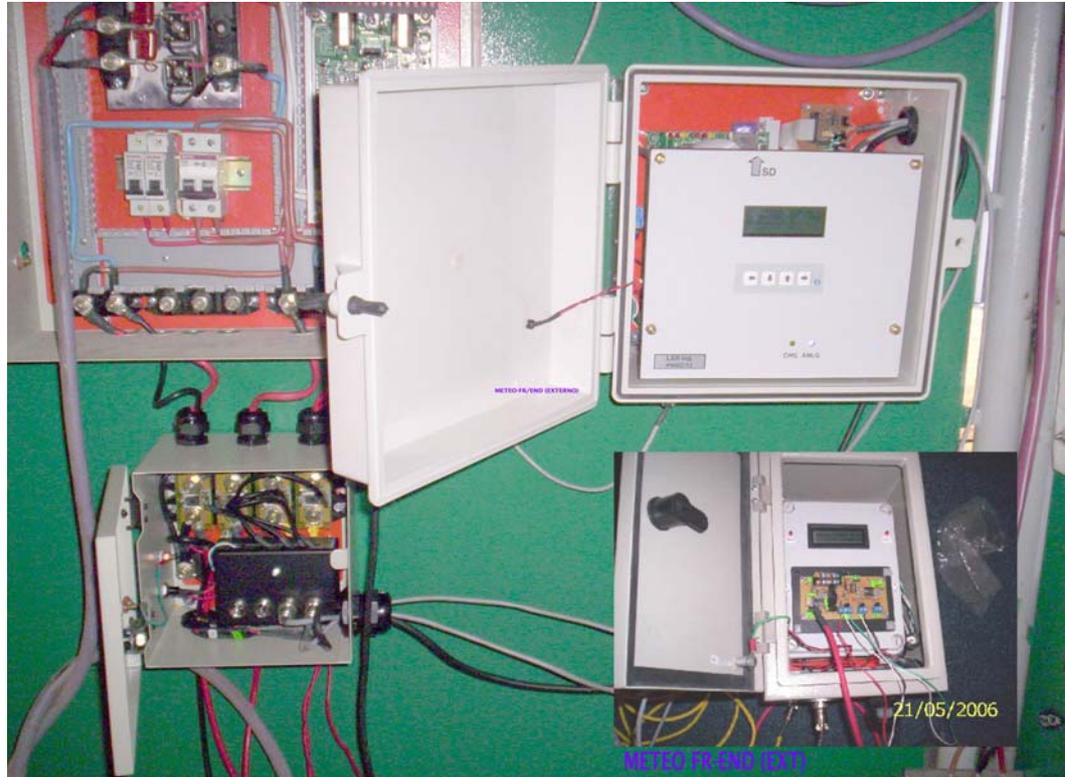




.....

# PWRC-DL/12+ Meteo



## *Logger + Sistema de relevamiento de Curva de potencia*

### 1. Introducción

#### 1.1 Objetivo de la medición:

El objeto es medir la potencia (en función de la velocidad de viento) producida por la turbina después de todas las pérdidas internas, de modo tal que “sólo se mida la potencia entregada a la carga” según el estándar de performance de AWEA/IEC. En un sistema aerocargador con baterías, el conjunto regulador / banco de baterías / consumo se considerará como carga del molino, por lo cual lo importante no es lo que se genera en la góndola sino lo que efectivamente se transfiere a dicha carga.

#### 1.2 Normativa existente y propuesta

La presente versión tiene en cuenta las consideraciones especiales para Pequeños Aerogeneradores, indicadas en el Anexo H del documento IEC61400-12-1(2005) [REF\_6] – de aquí en más indicado como “Anexo H”, y que resuelve varios aspectos dudosos que existían en cuanto a la aplicación de la metodología a equipos de imán permanente y baja potencia. Las normativas en general agrupan las mediciones requeridas para determinar la **CP** (Curva de Potencia) en **atmosféricas** y de **potencia / estado**. Las primeras incluyen la medición de intensidad y dirección de viento, la

temperatura del aire y la presión atmosférica (estas dos últimas a efectos de realizar la corrección de densidad).

Las mediciones de **potencia** y la determinación de **estado** sirven para registrar promedios de producción, y a la vez establecer para qué mediciones relevadas el sistema está funcionando en forma correcta. En REF\_4 se realizó un resumen de las normativas relevadas, aunque se toma como normativa rectora la versión indicada de la IEC61400-12-1 de reciente aparición, indicándose en qué aspectos se hacen salvedades a dicha norma.

## 2. Puntos salientes que modifican la Prueba respecto a revisiones anteriores, a partir de Annex H / IEC 61400-12-1 (2005)

### 2.1 Respecto a Preparación del ensayo (5.1 en Norma):

2.1.1) Se utilizará la notación SWT (*Small Wind Turbina*) para indicar el conjunto aerogenerador, torre y resto del sistema de carga. En nuestro caso el sistema debe incluir el aerogenerador, su controlador, la torre y el cableado entre el aerogenerador y la carga. Se entenderá que el banco de baterías es parte de la carga.

2.1.2) Se conectará una *Carga Representativa de la situación normal* para la prueba, y dicha carga incluye al banco de baterías. Idealmente, toda la energía va a la carga resistiva del regulador, por lo cual es aceptable que se utilice un banco de baterías de menor tamaño al usual para la prueba.

2.1.3) La torre del aerogenerador debe ser la de provisión habitual, sin modificaciones.

2.1.4) En cuanto a cableado, y a efectos de minimizar su influencia en la prueba, la carga estará conectada a una distancia comprendida entre base de torre y como máximo 3 veces HH (*Hub Height*), siendo HH la altura del cubo de rotor del aerogenerador. En nuestro caso, la distancia será de 30m aprox. Se cableará con sección dentro del promedio recomendado por el fabricante.

2.1.4) El regulador de tensión será capaz de mantener en el nodo de conexión a la carga una tensión dentro del 10% del valor en la tabla indicada como H.1, para todo el rango de potencia del SWT. El **promedio de 1 min de la tensión** sobre la carga debe estar +/-5% del rango indicado en dicha tabla, para ser incluido dentro del Data Set utilizable (elegibilidad).

Se hace notar que en el Anexo H especifica una **tensión de umbral requerida** para la prueba, y **dos tensiones opcionales** (V\_Umbral Alto y y V\_Umbral Bajo optativos), para cuantificar el efecto de niveles distintos de carga de la batería. Esto concuerda con las suposiciones iniciales [REF\_2] y la especificación del CREE, aunque se modifican los niveles de tensión y se relajan rangos posibles de variación (5% en promedio comparado con 2%).

Tabla H.1 - p76 IEC 61400-12-1  
Tensiones en [V] salvo indicado.

Tensión nominal	Tensión Umbral requerida	Umbral bajo optativo	Umbral Alto optativo
12.0	12.6	11.4	14.4
24.0	25.2	22.8	28.8
36.0	37.8	34.2	43.2
48.0	50.4	45.6	57.6
Otras (en Vpc)	2.1	1.9	2.4

Para Sistemas en 12V

	Tensión Umbral	Umbral - 10%	Umbral +10%	VProm 1min - 5%	VProm 1min + 5%
Prueba Normal	12.6	11.34	13.86	11.97	13.23
Prueba con Umbral Bajo	11.4	10.26	12.54	10.83	11.97
Prueba con Umbral Alto	14.4	12.96	15.84	13.68	15.12

En resumen, los niveles anteriores (REF\_2 de 1998) y los actuales se muestran en el cuadro siguiente:

	Tension nominal	Tensión Umbral requerida	Umbral bajo	Umbral Alto
ITP / 1998	12.0	-	11.52 +/- 2%	13.44 +/- 2%
IEC 2005	12.0	12.6 +/- 5% (*)	11.4 +/- 5% (*)	14.4 +/- 5% (*)

(\*) Promedios de Tensión de 1 minuto

La nueva norma simplifica la implementación, al permitir rangos mas amplios de variación. Se indica explícitamente que la elegibilidad de la medición se resuelve computando los promedios de 1min de la tensión. Esta condición se complementa con la elegibilidad “direccional” que se implementa a través de promedios vectoriales de viento (de 1 min también). Los sectores excluidos por sombra de torre, etc. se deben cargar en el logger PWRC-12 al comienzo de la prueba.

## 2.2 Respecto a la Ubicación de la Torre meteorológica (5.2.1 en Norma).

Se permite el montaje de sensores sobre una extensión de la torre misma del aerogenerador, con la condición de que el sensor esté separado de cualquier parte del SWT una distancia mínima de 3m.

## 2.3 Respecto a Equipos de Prueba (6.1, 6.4, 6.7 en Norma)

2.3.1 La potencia de salida es la que se mide en el punto de conexión a la carga. Dicho punto, en un sistema SWT para carga de baterías, es entre el Rectificador y el Regulador/Banco de Baterías.

2.3.2 Adicionalmente a la potencia, debe medirse la tensión del banco para asegurar la elegibilidad del registro almacenado (ver 2.1.4).

2.3.3 Las mediciones de Temperatura de Aires y Presión atmosférica deben hacerse a por lo menos 1.5 D (Diámetro del rotor) por debajo de la altura del rotor (HH).

2.3.4 Sólo es necesario monitorear el estado del aerogenerador si el controlador del SWT tiene una salida para indicar su condición. En nuestro caso, y en forma similar a lo recomendado por NREL, el PWRC-12 cuenta con una llave manual para que el operador pueda pasar a INACTIVO el logger, el tiempo que sea necesario en caso de reparaciones o fallas.

## 2.4 Respecto al Procedimiento de la Medición ( 7.2, 7.3, 7.6 en Norma)

2.4.1 Aunque se recomienda mantener al SWT en "estado de operación normal" se admite el ajuste de los seteos de fábrica de Umbral de regulador, sobre todo el alto si este interfiere con la medición o el aero reduce su potencia de salida por éste seteo.

2.4.2 Recolección de datos: la norma requiere que sean muestreados a 1Hz o más, y el almacenamiento de promedios **debe ser cada 1 minuto** (en la norma es cada 10min para equipos grandes). Los datos de temperatura, presión y estado pueden muestrearse a un ritmo mas lento.

2.4.3 Criterios para considerar la base de datos Completa:

2.4.3.1 Cada Bin\_V (intervalo de viento) entre V(cut-in) y 14m/s contiene al menos 10minutos de datos muestreados.

2.4.3.2 La base de datos completa tiene al menos 60h de datos, con el SWT en condiciones de producir.

2.4.3.3 Si el SWT es con limitación por plegado, deben existir bins que reflejen esta condición.

## 2.5 Respecto a postprocesamiento y Formato del Reporte (8.1, 8.3 y 9 en Norma)

2.5.1 En cuanto a la Normalización de Datos, para turbinas con controles de potencia pasivos como furling / plegado o flutter, se normalizará el viento utilizando la ecuación de normalización por viento y densidad (3)  $V_s = V_{10m}(\rho_{m}/\rho_{site})^{1/3}$  Puede utilizarse también la ecuación de normalización por potencia u otra, pero debe documentarse adecuadamente las razones por las cuales se las elige.

2.5.2) Relativo a la Producción Anual de Energía (o AEP): Si la turbina no tiene un sistema de corte con vientos fuertes (Vcut-out), la AEP medida y AEP proyectadas se calcularan como si la velocidad de cut-out fuera el bin mas alto completado o 25m/s, el que resulte superior.

2.5.3) Respecto al Formato del Reporte, se agregarán los siguientes datos descriptivos:

- 2.5.3.1 Tamaño y tipo de cableado, longitud y tipo de conectores desde SWT a carga.
- 2.5.3.2 Resistencia medida desde SWT a carga.
- 2.5.3.3 Seteos de tensión de los reguladores del equipo utilizado.
- 2.5.3.4 Tensión nominal del banco de baterías utilizado.
- 2.5.3.5 Capacidad del banco nominal en Ah, tipo de batería y edad de las mismas.
- 2.5.3.6 Descripción detallada con marca y modelo, del regulador de tensión utilizado.

2.5.4) El Anexo H (confirmando lo solicitado por CREE) recomienda obtener información adicional a través de mediciones que cuantifiquen el efecto de los cambios en la tensión del banco de baterías sobre la performance del SWT. Estas curvas de potencia adicionales deben obtenerse seteando el banco de baterías / regulador a las tensiones de UMBRAL ALTO y BAJO optativos, indicados en la tabla H.1 (ver f)), obteniendo un mínimo de 30h de datos promediados a 1min. Cuando se realiza el reporte de éstas curvas, las tablas y gráficos deben incluir claramente estos niveles de tensión. Debería incluirse al menos un gráfico común donde se muestre cómo varía la potencia con estos niveles distintos de tensión.

### 3. ENSAYO PROPUESTO:

#### 3.1 Consideraciones generales

Los ensayos se realizarán con el equipo maestro PWRC-12 y el Meteo/FrEnd (esclavo) instalados [REF\_1]. El primero, en proximidad del banco de baterías y bajo refugio. El segundo al pie de la torre de medición de viento, que estará ubicada a una distancia  $L = 8\text{m}$  del aerogenerador<sup>1</sup>. La orientación de la torre de medición respecto al aerogenerador será de modo tal que los vientos menos probables en esa zona pasen a través del aerogenerador antes que la torre (en general del NE), por lo cual los sectores excluidos (en software) serán los vientos en esa dirección (Figura 1).

En cuanto a los Niveles de tensión, se había adoptado por instrucción del CREE [REF\_3] la normativa propuesta por ITPower [REF\_2]. **Para el presente ensayo, se modifica lo siguiente para estar en concordancia con IEC61400-12-1 [REF\_6]:**

a) Se hacen tres ensayos - Uno a tensión "nominal" mas extenso, y dos más reducidos a nivel "bajo" y "alto". Los niveles son los indicados en la tabla H.1, del punto 2.1.4. Como antes, el control de tensión "hacia arriba" se realiza utilizando **los reguladores Trace C40 ya instalados en los sitios (por expresa indicación de CREE - REF\_3)**, ajustando a valores menores el umbral de corte. Por otro lado, la tensión de baterías se medirá para determinar la Elegibilidad (**promedios de 1 min - por software, ver 2.1.4 en la presente**) de los datos en caso de descarga excesiva "hacia abajo", por debajo de los valores sugeridos.

b) A efectos de las pruebas para el PERMER, se realizarán los ensayos utilizando el esquema general indicado en Figura 2. No se incluye en este diagrama el sistema DL2/12, que se conecta a la misma placa de sensores y realiza un monitoreo general del sistema (sí se muestra en la Figura 3).

---

<sup>1</sup> En la propuesta anterior, en coincidencia con la mayoría de las normas previas que permitían una distancia de  $6D$  como máximo, con  $D =$  diámetro del rotor (2m en nuestro caso), se sugirió 10m. Aquí se redujo a  $4D=8\text{m}$  pues es lo máximo que permite la IEC61400-12-1

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

### PROYECTO PERMER - AEROWIND

LYR-INGENIERIA-05-2006

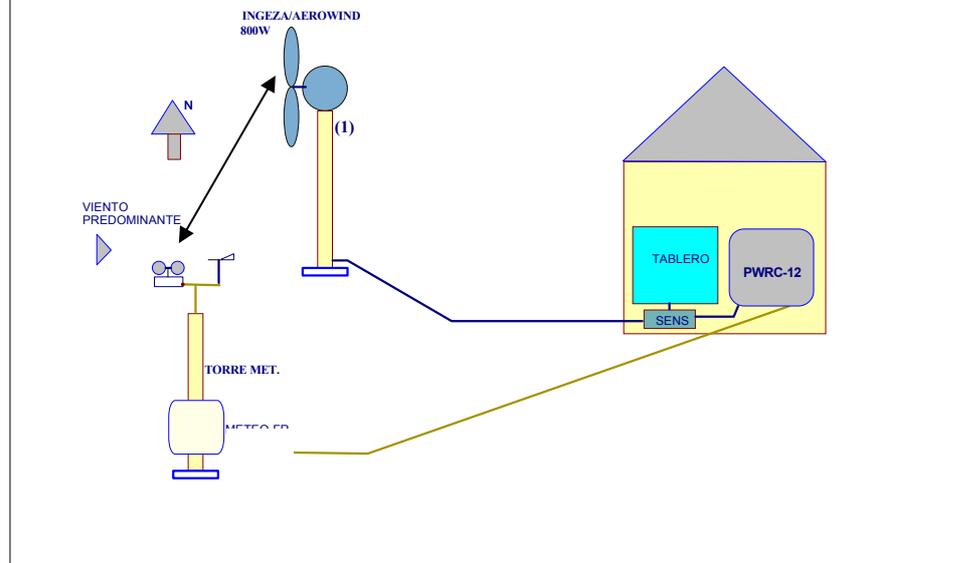


Figura 1 – Sólo se excluirán los vientos del NE (poco probables) por pasar primero por el aerogenerador. En cada sitio, se ingresarán los rangos excluidos (en grados) al PWRC-12 a efectos de su almacenamiento.

## 3.2 Características y Procedimiento

El procedimiento general consistirá de una serie de pasos previos de preparación, el ensayo en sí mismo y la elaboración de un informe y conclusiones:

### 3.2.1 Pasos Previos - Fijación de las características del Ensayo:

- 3.2.1.1 El ensayo se realizará para TRES niveles de SOC (Estado de carga) - Nominal, Alto y Bajo.
- 3.2.1.2 Determinación de Valores Min / Max de Tensión de batería admisibles en cada nivel:
- 3.2.1.3 Se realizará el ensayo con el regulador Trace C40 del equipo (variando su umbral de regulación  $V_{th1}$ ) como se indica en Figura 2.
- 3.2.1.4 Asegurar la instalación de una batería nueva y en buen estado, de características adecuadas (ciclo profundo).
- 3.2.1.5 Asegurar la instalación de cableado adecuado para evitar caídas totales superiores al 10% de la tensión nominal (1.2V) a potencia nominal del aerogenerador, sumando las caídas en alterna (previo al rectificador) y en continua. Para el cómputo de las corrientes en AC por cada fase utilizar la formula de peor caso  $I_{ca} = 0,8 \cdot I_{cc}$ .
- 3.2.1.6 Preparar la ubicación de sensores de intensidad y dirección de viento, presión atmosférica y temperatura. Se utilizará una torre separada, ubicando anemómetro y veleta a la altura del rotor y sensores de aire en la base. La ubicación del modulo Meteo respecto al logger maestro PWRC/12 definirá la extensión del cable RS485, que debe prepararse especialmente para cada medición.
- 3.2.1.7 Los sensores a utilizar serán los especificados: Anemómetro NRG Max#40 (sin calibrar), Veleta NRG #200P, sensor de Presión Motorola/Freescale

MPX4115A, Sensor de temperatura NTC Epcos 1%.

**Procedimiento de contrastación:**

**Viento:** Utilizando un logger NRG9200 o WindExplorer, se conectarán el anemómetro (cuidando conectar ambas conexiones GND al mismo terminal) y la veleta (Terminales a +5V a través de sendos diodos Schottky). Se lanzan ambos loggers en forma simultánea, almacenando por lo menos 10 horas de valores promedios a 10min, para realizar una contrastación entre lo almacenado en la tarjeta SD y lo que almacena el NRG (chip o cartucho).  
**Presión atmosférica y Temperatura:** Contrastación horaria de valores con los valores reportados por el SMN.

**Medición de Corriente y Tensión:** Se utilizarán los sensores de efecto Hall especificados (75 y 100A de Allegro Microsystems), y divisores resistivos de precisión. Los valores de potencia se computan como producto en forma instantánea (punto flotante) internamente. La calibración se realiza por el método de 2 puntos, por software. Contrastación: Se utilizará un Multímetro Fluke 189 calibrado (01/2006) con Software FlukeView para contrastar los valores de cada canal ( para corriente, limitado a 10A<sub>máx</sub>) en muestreos almacenados cada 1 minuto o menos.

- 3.2.1.8 La frecuencia de Muestreo será de  $f_s = 0.5\text{Hz}$ . La forma en que el Meteo/Fr.End mide la velocidad de viento impide actualizar a 1Hz como requiere la Norma (ver 2.4.2), aunque ésto no es considerado un impedimento significativo. Las muestras se promediarán cada 1min, pudiendo por sistema elegirse también intervalos de 5min, 10min ó 15min.
- 3.2.1.9 Ancho de "bin" interno de viento del PWRC/12 para confección de histograma y promedios: 0.5m/s, centrado en múltiplos de 0.5m/s (en coincidencia con REF\_6). Ejemplo: bin centrado en 2.5m/s, contiene mediciones de valores entre 2.25 y 2.75m/s, bin centrado en 3.0m/s, contiene mediciones entre 2.75 y 3.25m/s, a así sucesivamente.
- 3.2.1.10 Duración de la prueba: Se mantendrán contadores de valores almacenados en cada "bin", y la prueba se considerará en principio finalizada cuando (Ver 2.4.3):
  - 2.4.3.1 Cada Bin\_V (intervalo de viento) entre  $V(\text{cut-in}) - 1\text{m/s}$  y 14m/s contiene al menos 10 minutos de datos muestreados.
  - 2.4.3.2 La base de datos completa tiene al menos 60h de datos, con el SWT en condiciones de producir.
  - 2.4.3.3 El SWT Aerowind se considerará plegado para bins  $> 14\text{m/s}$ , por lo cual la existencia (probable) de mediciones en esta condición será observada. (se podrá consultar por Display o vía USB).
- 3.2.1.11 La Potencia entregada **a efectos de la medición de la curva de potencia:** se considerará la potencia entregada por el Aerogenerador a la batería como  $P(\text{aero}) = I(\text{aero}) * V(\text{bat})$ , computada en cada muestreo (0.5Hz -> cada 2s) y luego promediada. Esto fue definido por CREE en julio [REF\_3] y coincide con Norma IEC61400-12-1.
- 3.2.1.12 Potencia desde la batería o "potencia Suma". Es la tomada por el Sensor indicado como "I $\sigma$ " en la Figura 2, y resulta ser la suma de las corrientes derivadas a las cargas (IL\_1, IL\_2), y la derivada por el regulador a la resistencia Fantasma (IDump). El cómputo de Idump surge de la resta  $I_{\text{dump}} = I_{\sigma} - I_{L_1} - I_{L_2}$ . La corriente neta hacia/desde la batería con su signo surge de  $I_{\text{bat}} = I_{\text{aero}} - I_{\sigma}$ . **Estos valores son registrados por DL2/12, no se utilizan en la curva de potencia.**

**CONJUNTO PWRC-12 (Sistema Curva de Potencia) - CIRCUITO Y AJUSTES**  
**PROYECTO PERMER - AEROWIND**  
 LYR-INGENIERIA -05-2006

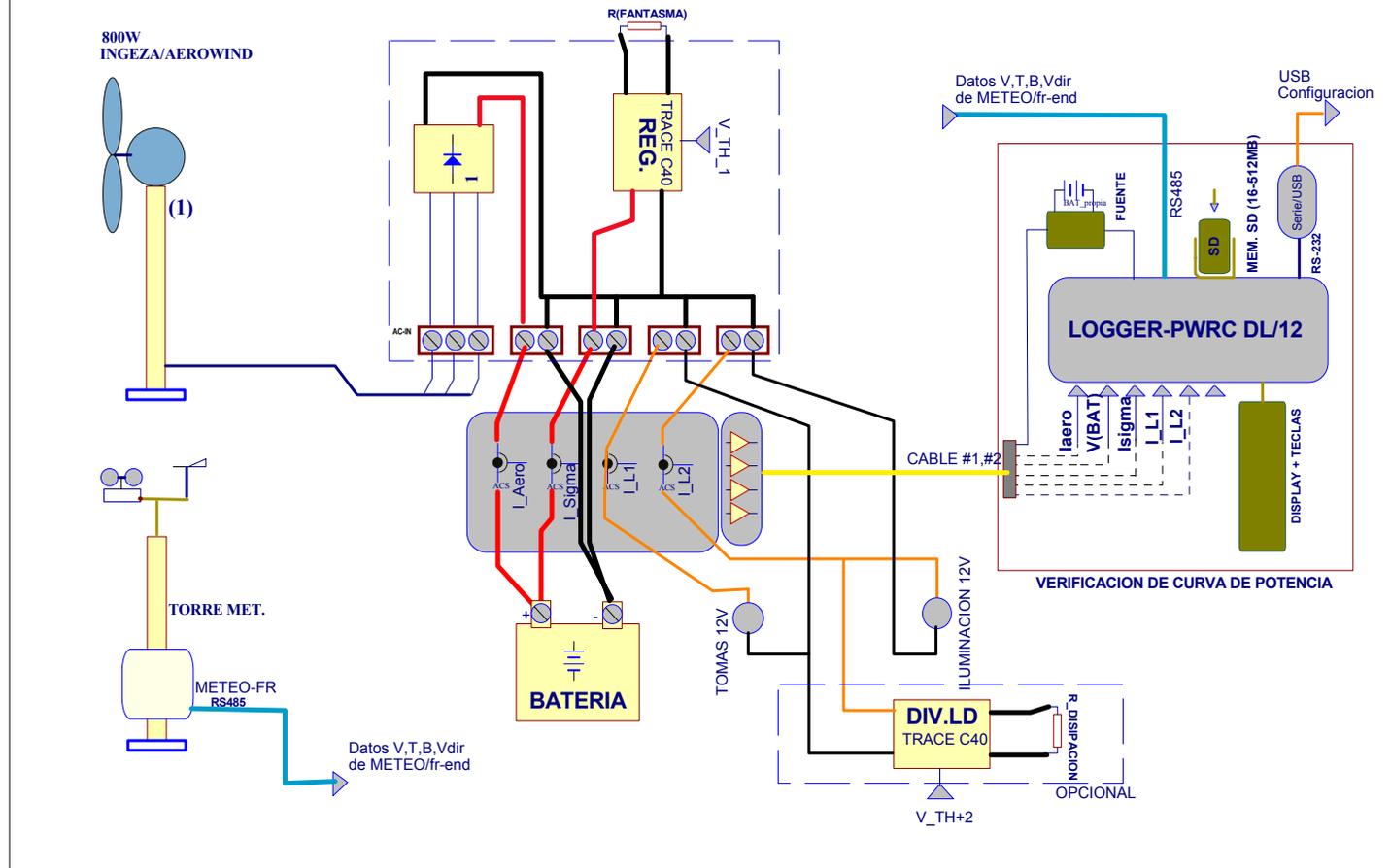


Figura 2 – Esquema del Circuito de medición propuesto PWRC / PERMER.

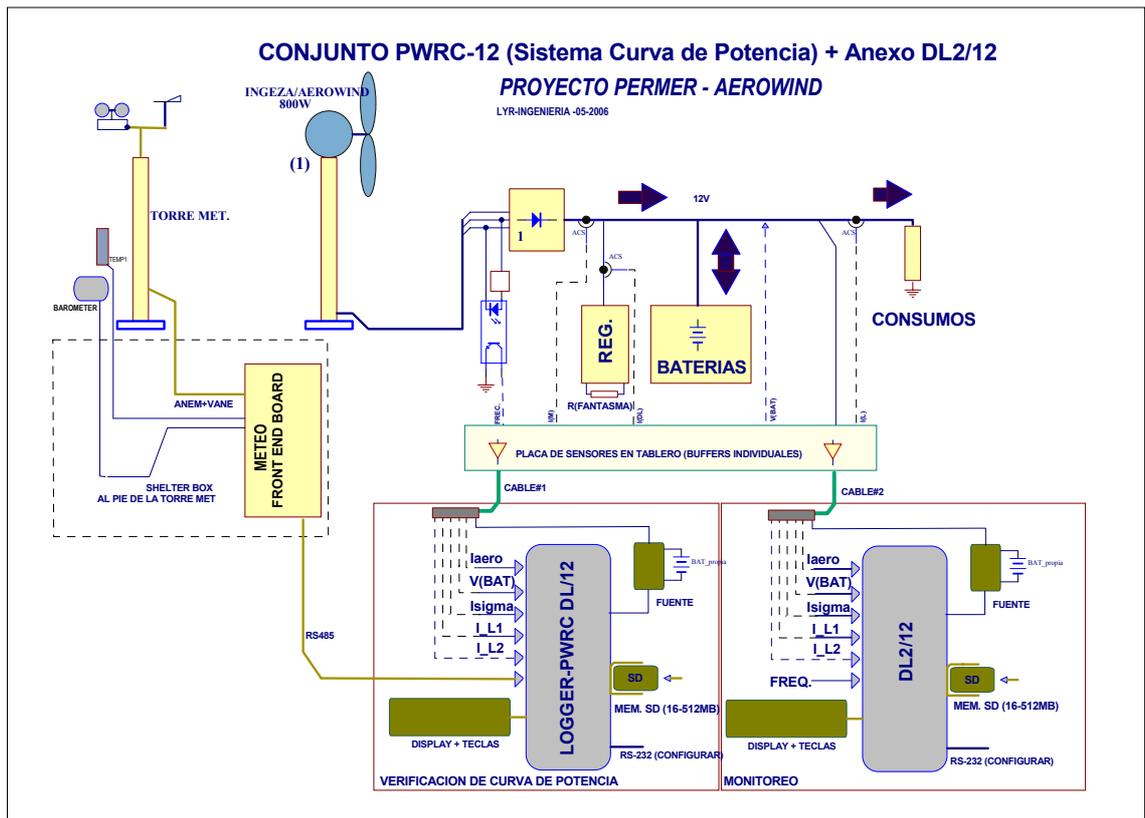


Figura 3 – PWRC con DL2/12 agregado/ PERMER según la distribución original

### 3.2.2 Ensayo:

3.2.2.1 Montaje según Figura 2. Recomendable que primera medición se realice en P.Madryn ó en CREE/Rawson en forma Completa, hasta pulir bien la metodología.

3.2.2.2 Los períodos climáticos deben elegirse idealmente en forma aleatoria, a efectos de no beneficiar ó afectar características específicas de la máquina. Se excluirán los períodos con lluvia, nieve o acumulación de hielo.

3.2.2.3 Se deberá documentar en un cuaderno el ensayo indicando características del equipo, potencia, configuración (orientación / obstáculos y sectores a excluir en la medición por ubicación de la torre), y realizando una detallada secuencia de eventos, cambios, alteraciones o problemas que surgieren durante la medición. Fotografiar las ubicaciones y equipos, adjuntando las fotos al informe.

3.2.2.4 Para cada ensayo, se deberá considerar y anotar lo siguiente:

- a) Nivel de tensión  $V_{th}$  al que se ajustará el regulador C40, dependiendo si es ensayo a  $V_{Nominal}$ , a  $V_{baja}$  o  $V_{alta}$ . Este nivel se ingresará al PWRC/12
- b) Se ingresarán al PWRC/12 los límites de exclusión en grados ( $0^\circ = N$ ) WDIRm y WDIRM por interferencia del SWT con la Torre.
- c) El registro se hará a través del PWRC/12 utilizando un archivo de loggeo tipo PWddmmaa.csv, donde dmmaa indica la fecha de inicio. Además, se creará un archivo de Eventos EVddmmaa.csv. El formato utilizado está modificado respecto a los ensayos iniciales, realizados en Puerto Madryn en conjunto con CREE y la empresa Aerowind / Procast S.A. Los archivos se

almacenan en una Tarjeta Flash SD (Secure Disk) no volátil, que puede leerse a través de un lector standard de tarjetas por USB ya provisto. Los archivos de cada ensayo deberán almacenarse en directorios separados, una vez finalizada cada medición, indicando en cada directorio lugar y fecha inicio. EJ: prueba a tensión nominal en Ñorquinco iniciada el 12-10-2006, se almacenará en el directorio \mediciones\norquinco\CurvaPot\Med\_Nomin\_12-10-2006, conteniendo los archivos PW12102006.csv, y EV12102006.csv

### 3.2.3 Post-Procesamiento:

Para el post-procesamiento de los datos y obtención de la curva final P(V) o Cp(V), se utilizará un Módulo de software adicional para la obtención de la curva de potencia. El procedimiento implementado por dicho módulo consiste en lo siguiente:

3.2.3.1 - Lectura de los archivos crudos CSV.

3.2.3.2 - Separación de registros con valores de Dirección (entre WDIRm y WDIRM) que implican sombra de medición sobre el anemómetro. En el archivo CSV se indicaran dichos extremos, y la elegibilidad estará indicada en una columna ELEG para facilitar este procedimiento (ej. 0=Valido, 3 novalido por WDIR).

3.2.3.3 - Separación de registros con valores promedio de 1 minuto de Tensión de Batería por debajo de VMin y por encima de VMax, según tabla. La elegibilidad también estará indicada en la columna ELEG, pero con dos códigos distintos. (ej. 0=Valido, 1= no valido por  $V_p(1min) < V_{min}$ , 2= no valido por  $V_p(1min) > V_{max}$ ).

3.2.3.4 - Corrección de Valores por densidad o "normalización". Por tratarse de máquinas que utilizan "furling" o plegado para limitar potencia, se utilizará la recomendación de NREL [REF\_5] (coincidente con IEC - REF\_6) que consiste en ajustar los valores de velocidad de viento (y no las potencias), según:

$$V_s = V_{1m}(\rho_{1m}/\rho_{site})^{1/3}$$

Con  $\rho_{site}$  = promedio de densidades del sitio de medición (calculado).

Los valores de densidad para períodos de 1min se calcularán como sigue:

$$\rho_{1m} = (B_{1m} / (R * T_{1m}))$$

con  $R = 287.00 \text{ J/kgK}$

3.2.3.5 El software agrupará los resultados (Pares Vs, Pi) por cada bin, de acuerdo a su valor de Vs, obteniendo dentro de cada bin una cantidad  $n_i$  de pares  $V_{ij}$ ,  $P_{ij}$ , que si se promedia cada 1min debe significar  $n_i > 30$ . El resultado de promediar los valores dentro de cada bin "i", a través de las fórmulas (4),(5) en REF\_6:

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

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

Esto proporciona el par "i" de la tabla P(Vi), que podrá visualizarse en forma tabular o de gráfico.

3.2.3.6 La Norma REF\_6 requiere además la curva normalizada como Cp(V), y es necesario obtener la tabla según el siguiente cómputo.

$$C_{pi} = \frac{P_{bin\_i}}{0.5 \rho_o A V_{bin\_i}^3}$$

#### 4. Referencias:

- REF\_1: Manual PWRC/ 12 – L&R Ingeniería 2006  
REF\_2: ITPower 1998 “Standardising Performance Claims for Wind Turbine Systems - Draft Methodology” ITP/97573/98603  
REF\_3: Especificación del CREE respecto a Metodologías de Medición. – Julio 2006.  
REF\_4: “Medición de Curva de Potencia – Pequeños Aerogeneradores”  
Ing. Rafael Oliva / Aerowind S.A. Supervisión: CREE (Centro Regional de Energía Eólica) Chubut – Argentina. Abril-Mayo de 2006  
REF\_5: T. Forsyth (NREL-NWTC) “Wind Turbine Generator System – Power Performance Test Plan for the Whisper H40” – Junio 29, 2001.  
REF\_6: IEC 61400-12-1 (2005) “Wind Turbines – Part 12-1 Power Performance Measurements of electricity producing wind turbines” – International Standard, IEC (International Electrotechnical Commission), Geneva, Suiza.

**Revisión: 14.09.2006**

#### Mayor Información

Ing. Rafael Oliva  
Teófilo de Loqui 58  
9400 Río Gallegos  
TE/FAX 02966 430923  
[lyringenieria@ciudad.com.ar](mailto:lyringenieria@ciudad.com.ar)  
[www.lyr-ing.com](http://www.lyr-ing.com)