

Medición de Curva de Potencia – Pequeños Aerogeneradores

Fuentes consultadas: windworks.org (Paul Gipe) – Sep 2000 / ITPower 1998 Draft Standard / IEA-RISO 1990 Draft Std. / NREL Campaña Medición Whisper H40 s/AWEA (2001 - Trudy Forsyth).

Compilación: Ing. Rafael Oliva

Para: Aerowind S.A.

Supervisión: CREE (Centro Regional de Energía Eólica) Chubut – Argentina.

Abril-Mayo de 2006

1. GENERAL

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. En un sistema que carga baterías, esto ocurre entre el regulador de carga y el banco de baterías, por lo cual lo importante no es lo que se genera en la góndola sino lo que efectivamente se transfiere a las baterías.

1.2 Normativa existente y propuesta

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 atmosféricas (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 en las que el sistema está funcionando en forma correcta.

A continuación se resumen los requerimientos de las distintas normas propuestas (no existe una normativa unificada) en cuanto al instrumental y disposición de los equipos para la medición, como así también (última columna) los utilizados por NREL/USA para evaluar un Aerogenerador Whisper H40 de 900W, en 2001.

PARAMETRO	IEA/RISO '90	WindWorks.org (P.Gipe)	ITPower	NREL / Campaña Whisper H40 (900W / D=2.1m)
<V> Anemómetro	Calibrado	Calibrado / No Calib. NRG Max#40	Ideal: calibrado	MetOne 010C, 6.7m de distancia
Constante de Longitud [m]	<5	6.7	< 5	n.e.
Exactitud	0.1%	N.E.	N.E.	0.11m/s (cal)+0.04m/s DAQ
<D> Dirección / Velea	Calibrado	No utiliza	Ideal: Calibrado	MetOne 020C – Excluye sectores 240° a 357°
Exactitud	+/-3°	No utiliza	Mejor que 5°	NE
<V,D> Ubicación	2D < 1 < 6D con D=Diámetro Aerog., Altura HH+/-10% (*)	Sobre la torre del Aero, a 1D por debajo del rotor.	2D < 1 < 4D , con exclusión de obstáculos de altura > que 0.5 (h-D/2), en un radio de 5(h-D/2)	Altura +/-2.5% de HH, a 6.7m en línea

Presión atmosférica (B) y Temperatura (T)	Suficiente exactitud para garantizar densidad de aire ρ con $e_{\rho} < 1\%$	Sólo corrige por Elevación y Temperatura	T: por lo menos a 10m sobre el suelo B: Cerca de HH, de lo contrario corregir con ISO2533	B: Vaisala PTB 101B T: MetOne T-200
Potencia / medición	Instrumentación de exactitud mejor que +/- 0.5% de Pnom (aero)	Trasductor de potencia Ohio Semitronics 0-50V / 0-100A, err < 1%	Trasductores de P, ó de V, I, clase 0,5 o mejor, para -50% < P < 200% Pn.	Trasductores OSI, separados para AC (activa/reactiva) y para VCC, Acc bus.
Ubicación de la carga	Carga ubicada en circuito de potencia, representativa de carga habitual	Sistema 24V: Limita Tensión máxima a 26.8V con regulador Pulse Tech y calefactor	Prueba a dos niveles de SOC (estado de carga): 0% -- 96% +/- 2% de Vb(nom), y 100% --- 112% +/- 2% de Vb(nom),. utiliza regulador shunt.	Mide en CC y luego de inversor Trace SW4024, en AC a red (curvas Cp AC y CC)
Cableado	Representativo de sistemas típicos	V(caída) < 10% Vnom a Pnominal. La Iac por fase es 0.7 a 0.85Icc.	L(cable) < 0.1 * V^2 / (Pn * V(caída)), V=Vnom, Pn=Pnom V(caída) s/ Tabla.	N.E.
Muestreo de datos	Mínimo fs=0,5Hz, T y B cada hora. TProm: 10min	TProm = 1 min fs = 1Hz	Tprom = 10 min, fs = 0,5Hz	fs = 1Hz
Logger	Precisión < 1%	SecondWind / Nomad adaptado	Precisión adecuada	Campbell CR21 o 23X
N(RPM)	Medir con $e_{rpm} < 1\%$	No mide	Recomienda	N.E.
Duración de la medición	Hasta que se llene: * 1 bin Pmax * 2 bin con P=0 * Cada bin con al menos 30min.	Bins con al menos 30min de datos	- Cada bin con al menos 30min de datos - 90h mínimo de medición con Aero disponible y V en rango.	3399 horas de datos disponibles. Fechas: 11/3/2000 a 21/5/2001. En: NWTN/NREL Boulder, CO / EEUU.
Ancho de los Bins	0,5m/s hasta Vn, para V > Vn se tolera 2m/s	0.5m/s	0.5m/s	0.5m/s, centro de bin a múltiplos enteros de 0.5m/s
Corrección por B, T	Stall: Ps = Pt (1.225/pt) Con: pt=1.225(To/T)(B/Bo) Para pitch: P < 0.7 * Pn - idem Stall P < 0.7 * Pn corregir Vs = Vt(pt/1.225)^1/3 (no corrige Ps)	Ajusta de acuerdo a altura y Temperatura, vía planilla XLS	Sugiere, pero no especifica.	Para equipo Furling (plegado) NREL utiliza (A): Vs = V10m(ρ10m/ ρsite)^1/3 Con ρsite = promedio de densidades (calculado).
Metodología	* Agrupar por Bins los pares (<V>, <P>) según su valor V. * En cada Bin, quedan ni pares (Vij, Pij) * Promediar según (B): $V_{pi} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} V_{ij}$ y $P_{pi} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} P_{ij}$ * Tabular y gráfico curva de potencia * Calcular AEO (energía)s/ Rayleigh.	* Procesar directamente con Winsite (Logger Secondwind)	* Sugiere utilizar Bin Method según IEC 61400-12. * Utiliza también cómputos de desvío Standard de las mediciones.	* Corrección de B por altura, fórmula ISO2553. * Hallar: ρ10m = (B10m / (R * T10m)) con R = 287.00J/kgK * Cómputo incremental de ρsitio con cada ρ10m * Calcular Vs según (A). * Halla promedios según B, agregando promedios de densidad y Temp. * Calcula la curva en función de Cp(V), como: $C_{pi} = \frac{P_{bin_i}}{0.5 \rho_o A V_{bin_i}^3}$ * Calcula AEO, idem

(*) HH = "Hub Height" o altura de rotor

1.3 Carga :

La medición de curvas de potencia de aerogeneradores de baja potencia presenta desafíos especiales, en comparación con los esquemas tradicionales de medición de curvas de máquinas eólicas conectadas a red. En un sistema típico, la capacidad de

almacenamiento de las baterías es finita, y cuando éstas alcanzan su tope de carga el regulador desconecta el aerogenerador o deriva potencia a una carga fantasma, dependiendo de la configuración. En el caso del PERMER, se utiliza ésta última configuración ya que el sistema es con regulador shunt.

El estado de carga (SOC / “State Of Charge”) del banco de baterías se vincula, entre otras cosas, con la tensión que presentan las mismas, y en un sistema típico la tensión varía constantemente. Como complicación adicional, la performance de los aerogeneradores es parcialmente función de la tensión de baterías, tendiendo a mejorar con menor tensión [H.Piggot / P.Gipe]. Para los generadores de imán permanente, la velocidad de giro es variable y la velocidad de viento de “cut-in” es menor si la tensión de baterías es menor. Por lo tanto, hay un consenso general en que la tensión de baterías debe ser mantenida aproximadamente constante durante las pruebas de performance:

En el caso de AWEA- Propuesta Americana – Se sugiere que “tanto la carga como el cableado deben ser representativos de sistemas de usuarios típicos”, y deben ser suficientemente grandes como para mantener la potencia de salida del aerogenerador “dentro de límites de operación aceptables”. Gipe pone como ejemplo un sistema de 24VCC nominales, cuyo equipamiento para carga de baterías debe ser lo suficientemente grande como para limitar la tensión a menos de 28.2VCC.

En el caso de IEA – Norma Europea propuesta – Se sugiere medir a dos tensiones de banco: 112% (26.9VCC ó 13.45VCC) lo cual representaría una batería completamente cargada y 96% (23.05VCC ó 11.55VCC) representando una batería fuertemente descargada. La tensión debería mantenerse a efectos de la prueba, dentro de un rango de +/-2% de esas tensiones, según se muestra en la siguiente tabla:

Límites Admisibles:		Variaciones dentro de los límites:	
Superior:	112.00%	Por encima:	2.00%
Inferior:	96.00%	Por debajo:	-2.00%

Tensión nominal	112%			96%		
	VM(Min)	VM(cent)	VM(Max)	Vm(Min)	Vm(cent)	Vm(Max)
12V	13.17	13.44	13.71	11.29	11.52	11.75
24V	26.34	26.88	27.42	22.58	23.04	23.50
48V	52.68	53.76	54.84	52.68	53.76	54.84

2. ENSAYO PROPUESTO:

2.1 Consideraciones generales

Las pruebas propuestas incorporan una combinación de estándares AWEA / IEA con elementos nuevos que parten de sugerencias de Paul Gipe (Windworks.org), adaptados a la realidad a evaluar en el caso del PERMER.

Los ensayos se realizarán con el equipo maestro PWRC-12 y el Meteo/FrEnd (esclavo) instalados. 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 $L= 10m$ del aerogenerador (la mayoría de las normas coinciden en recomendar una distancia de $6D$ como máximo, con $D =$ diámetro del rotor, aunque esto es revisable para el caso de aerogeneradores pequeños). 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. – Ver Figura 1.

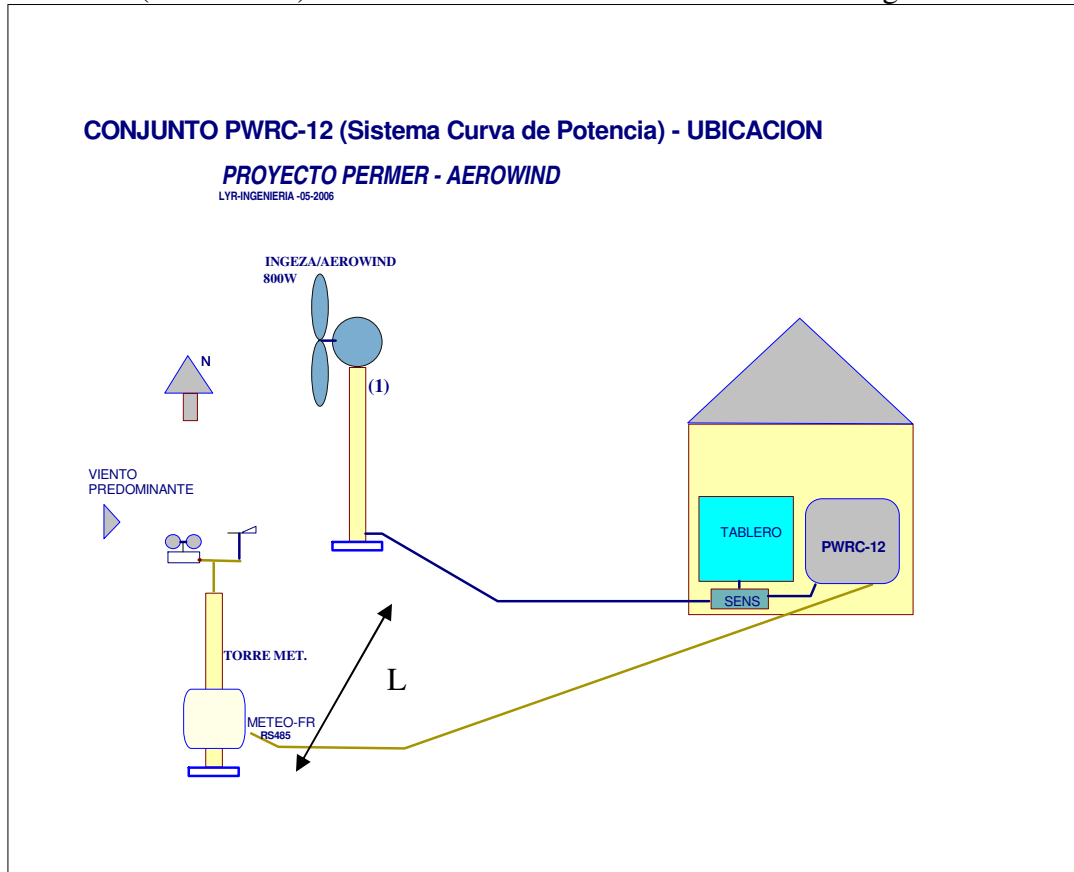


Figura 1 – Sólo se excluirán los vientos del NE (poco probables) por pasar primero por el aerogenerador.

En cuanto a los Niveles de tensión, si se adopta la normativa propuesta por ITPower, el control “hacia arriba” es realizable utilizando los reguladores Trace ya instalados, ajustando a valores menores el umbral de corte, o agregando reguladores Trace C40 adicionales en paralelo. Por otro lado, la tensión de baterías debe medirse para determinar la no viabilidad (por software) de los datos en caso de descarga excesiva “hacia abajo”, por debajo de los valores sugeridos.

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).

Se observa como opcional el agregado de un regulador adicional TraceC40 conectado como “Diversion Load” a una tensión ajustable según el ensayo (ej. 96% y 112% de $V_b(\text{nom})$ según especificación IEA), si es que se quiere evitar el ajuste del Regulador Principal. Además se ha agregado el requerimiento de acceso vía USB en lugar de RS232, según lo solicitado por CREE los últimos días de Mayo 2006.

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

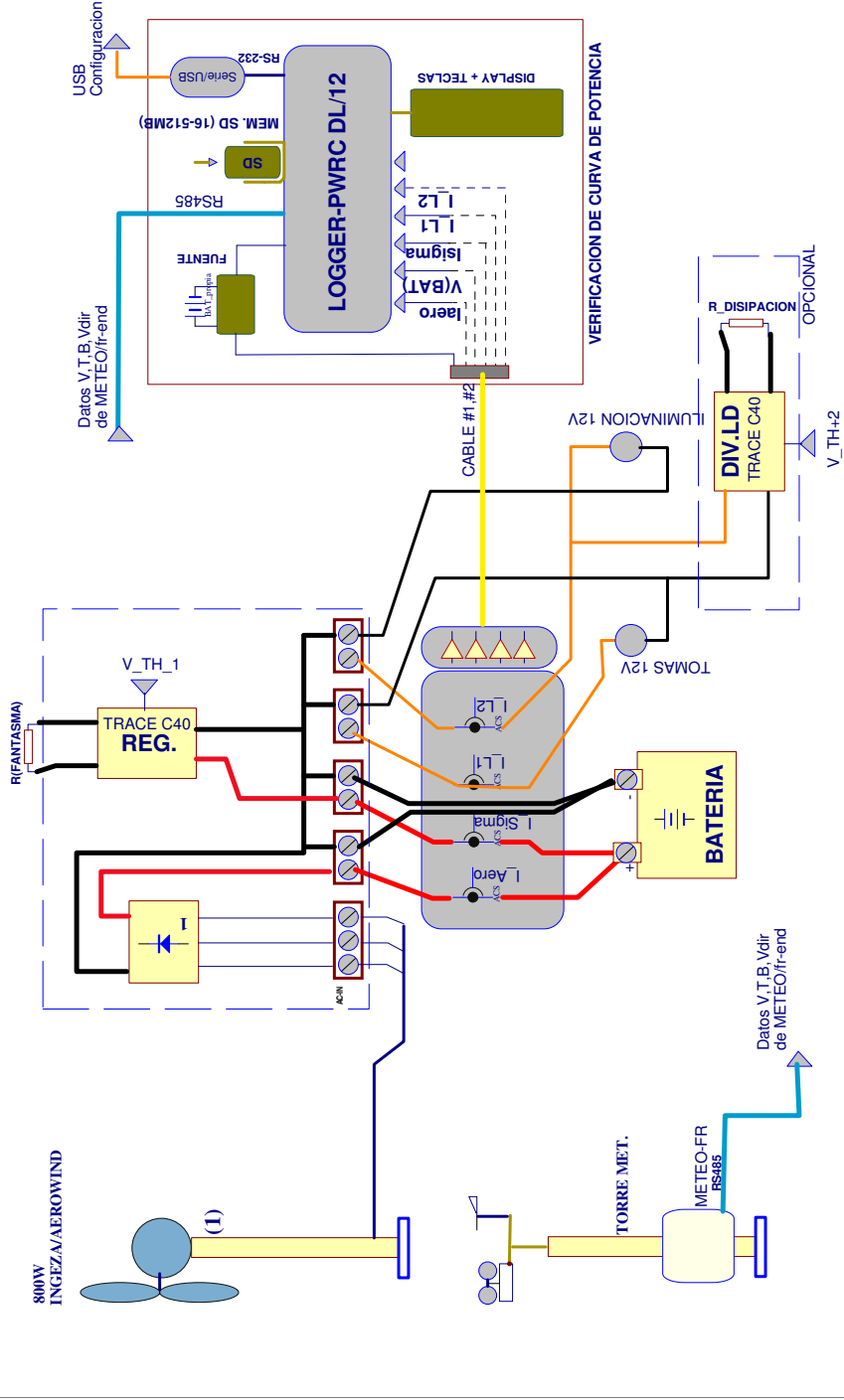


Figura 2 – Esquema del Circuito de medición propuesto PWRC / PERMER.

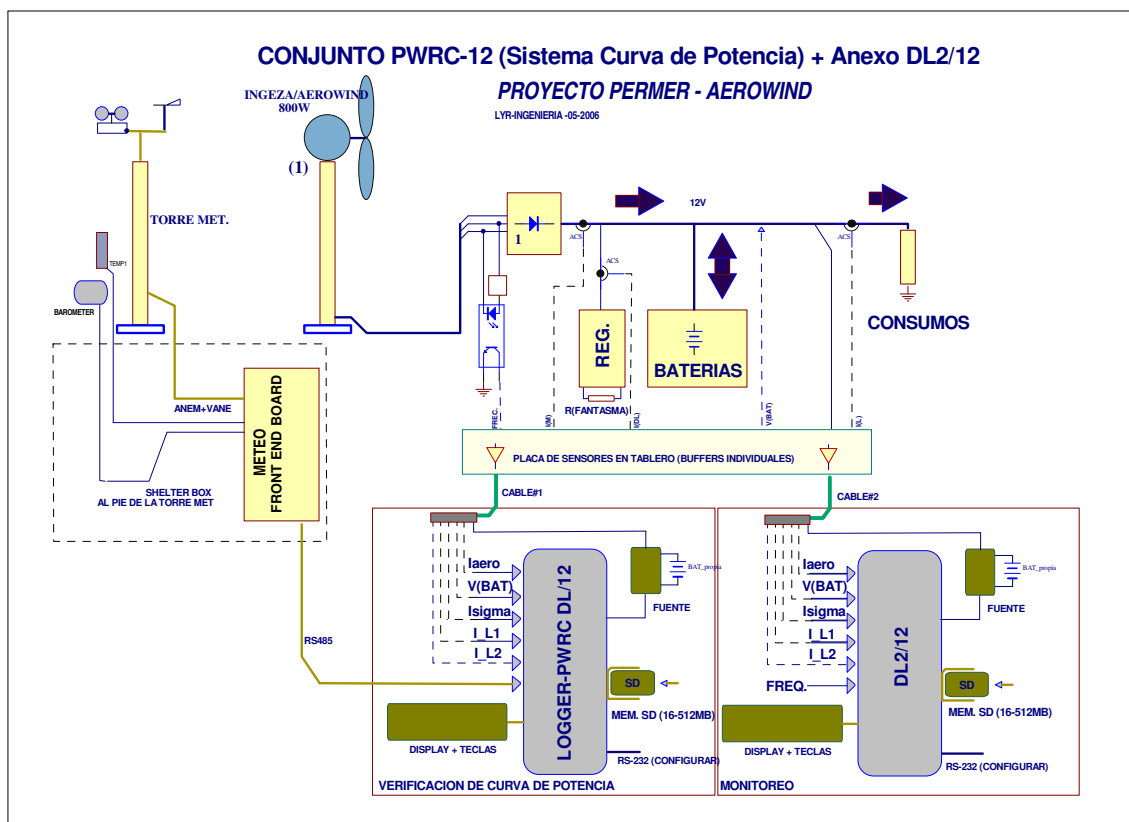


Figura 3 – PWRC con DL2/12 agregado/ PERMER según la distribución original

2.2 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:

1. Pasos Previos - Fijación de las características del Ensayo:

- 1.1 Definir si se hará para dos niveles de SOC (Estado de carga) o para un único nivel.
- 1.2 Determinación de Valores Min / Max de Tensión de batería admisibles en cada nivel, si corresponde.
- 1.3 Definir si se realizará con el regulador Trace C40 del equipo (variando su umbral de regulación V_{th1}) o se conectará temporarily un C40 adicional o unidad tipo “diversion load controller”, variando V_{th2} como se indica en Figura 2.
- 1.4 Asegurar la instalación de una batería nueva y en buen estado, de características adecuadas (ciclo profundo).
- 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 $I_{ca} = 0,8 \cdot I_{cc}$.
- 1.6 Definir ubicación de sensores de intensidad y dirección de viento, presión atmosférica y temperatura. En la normativa propuesta se utiliza una torre separada, ubicando anemómetro y veleta a la altura del rotor y sensores de aire en la base. En los ensayos de windworks.org / Paul Gipe, se utiliza la misma torre del aerogenerador, ubicando los medidores de

viento (anemómetro y veleta) en soportes ubicados a D metros por debajo del rotor. La ubicación del modulo Meteo respecto al logger maestro PWRC/12 definirá la extensión del cable RS485, que debe prepararse especialmente para cada medición.

- 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 simultanea, 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.
- Para 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 máx) en muestreos almacenados cada 1 minuto o menos.
- 1.8 La frecuencia de Muestreo $f_s = 0,5\text{Hz}$ en coincidencia con la mayoría de las normas. Las muestras pueden promediarse a intervalos de 1min, 5min, 10min ó 15min, aunque la tendencia para ensayo de máquinas pequeñas es de 1min.
- 1.9 Ancho de “bin” para confección de histograma y promedios: 0,5m/s (en coincidencia con normativas).
- 1.10 Duración de la prueba: Se mantendrán contadores de valores almacenados en cada “bin”, y la prueba se considerará en principio finalizada cuando se acumulen al menos 30 minutos de datos en cada bin. (se podrá consultar por Display o vía USB).
- 1.11 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.
- 1.12 Potencia desde la batería o “potencia Suma”. Es la tomada por el Sensor indicado como “Isigma” 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 $I_{\text{dump}} = I_{\text{sigma}} - I_{L_1} - I_{L_2}$. La corriente neta hacia/desde la batería con su signo surge de $I_{\text{bat}} = I_{\text{aero}} - I_{\text{sigma}}$. Estos valores son registrados por DL2/12, no se utilizan en la curva de potencia.

2) Ensayo:

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.

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.

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 surgieron durante la medición. Fotografiar las ubicaciones y equipos, adjuntando las fotos al informe.

2.4 El registro se hará a través del PWRC/12 utilizando un archivo de loggeo tipo PWddmmaa.csv, donde ddmmaa indica la fecha de inicio. El formato utilizado será el remitido para los ensayos iniciales, realizados en Puerto Madryn en conjunto con CREE y la empresa Aerowind / Procast S.A.

3) Post-Procesamiento:

Para el post-procesamiento de los datos y obtención de la curva final P(V) o Cp(V), existen dos alternativas que deben ser presupuestadas:

- a) Construcción de planillas XLS.
- b) Módulo de software adicional para la obtención de la curva de potencia.

El procedimiento consiste en lo siguiente:

- Lectura de los archivos crudos CSV.
- Separación de registros con valores de Dirección (entre WDIRm y WDIRM) que implican sombra de medición sobre el anemómetro.
- Separación de registros con valores promedio de Batería por debajo de VMin. Este valor dependerá del SOC elegido para el ensayo. Si se trata de un SOC único, será también un VMin único.
- Corrección de Valores por densidad o “normalización”. Por tratarse de máquinas que utilizan “furling” o plegado para limitar potencia, NREL recomienda utilizar la normalización indicada para el ensayo indicado (columna 4, Whisper H40, 2001), que consiste en ajustar los valores de velocidad de viento (y no las potencias), según:

$$V_s = V_{10m}(\rho_{10m} / \rho_{site})^{1/3}$$

Con ρ_{site} = promedio de densidades del sitio de medición (calculado).

Los valores de densidad para períodos de 10min se calcularán como sigue:

$$\rho_{10m} = (B_{10m} / (R * T_{10m}))$$

con R= 287.00J/kgK

El software deberá agrupar 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 la fórmula (B) en la columna IEA’90:

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

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

Esto nos proporciona el par “i” de la tabla $P(V_i)$, que puede construirse en forma tabular o de gráfico.

En caso de requerirse la curva normalizada como $C_p(V)$ en lugar de $P(V)$, es necesario obtener la tabla según el siguiente cómputo.

$$C_{pi} = \frac{P_{bin_i}}{0.5\rho_o AV_{bin_i}^3}$$

La estimación de Energía de Salida Promedio anual, para un sitio en el que se conoce la velocidad media anual V_{pr} , y utilizando la simplificación de considerar una distribución de Rayleigh ($k=2$), en base a los valores de la tabla, se obtiene con:

$$ESP_{anual} = N_h \sum_{i=1}^N [F(V_i) - F(V_{i-1})] \left(\frac{P_{i-1} + P_i}{2} \right)$$

donde se ha utilizado:

ESP_{anual} Energía [kWh] de Salida Promedio

N_h Horas anuales (8760)

V_i, V_{i-1} Velocidad de viento normalizada y promediada, bins i e $i-1$

P_i, P_{i-1} Potencia promediada, bins i e $i-1$

$$F(V) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{V_{pr}}\right)^2\right) \quad \text{Distribución de Rayleigh acumulada.}$$

Revisión: 5.6.2006

Referencias:

1. www.windworks.org (Paul Gipe) – «Testing the Power Curves of Small Wind Turbines», Set. 2000.
2. ITPower 1998 “Standardising Performance Claims for Wind Turbine Systems - Draft Methodology” ITP/97573/98603
3. IEA-RISO 1990 Draft Std. “Recommened Practices for Wind Turbine Testing – Power Performance Testing” – 2. Edition 1990, S. Frandsen (RISO) y B.M.Pedersen (TUD)
4. T. Forsyth (NREL-NWTC) “Wind Turbine Generator System – Power Performance Test Plan for the Whisper H40” – Junio 29, 2001.
5. T. Forsyth, A. Huskey (NREL-NWTC) “Wind Turbine Generator System – Power Performance Test Report for the Whisper H40” – Diciembre 18, 2001.