

SISTEMA DE MEDICIÓN Y APLICACIONES DE CONTROL DE INVERNADEROS UTILIZANDO ENERGÍA EÓLICA DE BAJA POTENCIA EN UBICACIONES PERIURBANA

Línea Temática [6]: Divulgación – Casos Prácticos; [7]: Instrumentación

*Rafael Oliva⁽¹⁾, Jacobo Salvador⁽²⁾, Néstor Cortez⁽¹⁾, Jorge Lescano⁽¹⁾, Patricio Triñanes⁽¹⁾, ,
Jonathan Quiroga⁽²⁾, Magdalena Flores⁽¹⁾, José Fidel González⁽³⁾*

(1) Área de Energías Alternativas / Instituto de Tecnología Aplicada UARG - UNPA - Avda Gregores / Piloto Lero Rivera Río Gallegos- Santa Cruz (Argentina) TE +54 (2966) 442317/19 – roliva@uarg.unpa.edu.ar

(2) Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral / CEILAP-CONICET e Instituto de Tecnología Aplicada UARG UNPA

(3) Area Energías Alternativas UNPA-UASJ – Puerto San Julián - Santa Cruz (Argentina)

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en el desarrollo e instalación de un sistema de medición específico para la medición convencional del recurso eólico, junto con el relevamiento de la performance de un sistema híbrido eólico- solar pequeño en el campus de la Universidad una zona cercana a Río Gallegos, Argentina. Este proyecto es parte de uno más amplio que combina mediciones convencionales con remotas utilizando LIDAR y que es liderado por el Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral, dependiente del CEILAP/CONICET. El Área Energías Alternativas (AEA) de las Unidades Académicas de Río Gallegos y Puerto San Julián viene desarrollando actividades de investigación aplicada sobre los recursos renovables eólico y solar disponibles en la Patagonia Austral y sus sistemas de captación desde hace dos décadas. En los últimos proyectos se trata fundamentalmente equipos eólicos y fotovoltaicos acoplados a sistemas aislados en escuelas o puestos rurales, o invernaderos de tipo educativo, y en la recopilación y tratamiento de datos de producción de energía a partir de dichos sistemas. Para este caso específico, se describe la construcción de un equipo de adquisición de datos basado en un datalogger Campbell CR1000 que toma información de viento a través de sensores Thies instalados cerca del aerogenerador, e información de corriente y tensión producida por el conjunto de paneles fotovoltaicos y aerogenerador, para la carga de un banco de baterías.

Palabras clave: sistemas de registro, adquisición de datos, energía solar, energía eólica, sistemas fotovoltaicos

SISTEMA INSTALADO – CONTEXTO Y DESCRIPCION

En el presente trabajo se describe un equipo de registro para un sistema eólico-fotovoltaico de uso didáctico, instalado en el Campus de la Universidad, cuyos componentes pueden apreciarse en la Figura 1. La energía producida se aplica a los consumos eléctricos de un invernadero de tipo educativo. Por tratarse de una zona cercana a la ciudad de Río Gallegos, se cuenta con disponibilidad de red de 220VCA para protección contra descarga excesiva de las baterías (sin necesidad de un motogenerador diésel, debido a los previsibles períodos de nubosidad y bajo viento en invierno). Asimismo, dado que el campus cuenta a una distancia inferior a 100 m con una antena difusora de WiFi, se instala un equipo Ubiquiti NSM5 con alimentación PoE independiente que se vincula al puerto Ethernet del Datalogger, a efectos de tener los datos disponibles y visibles en tiempo real.

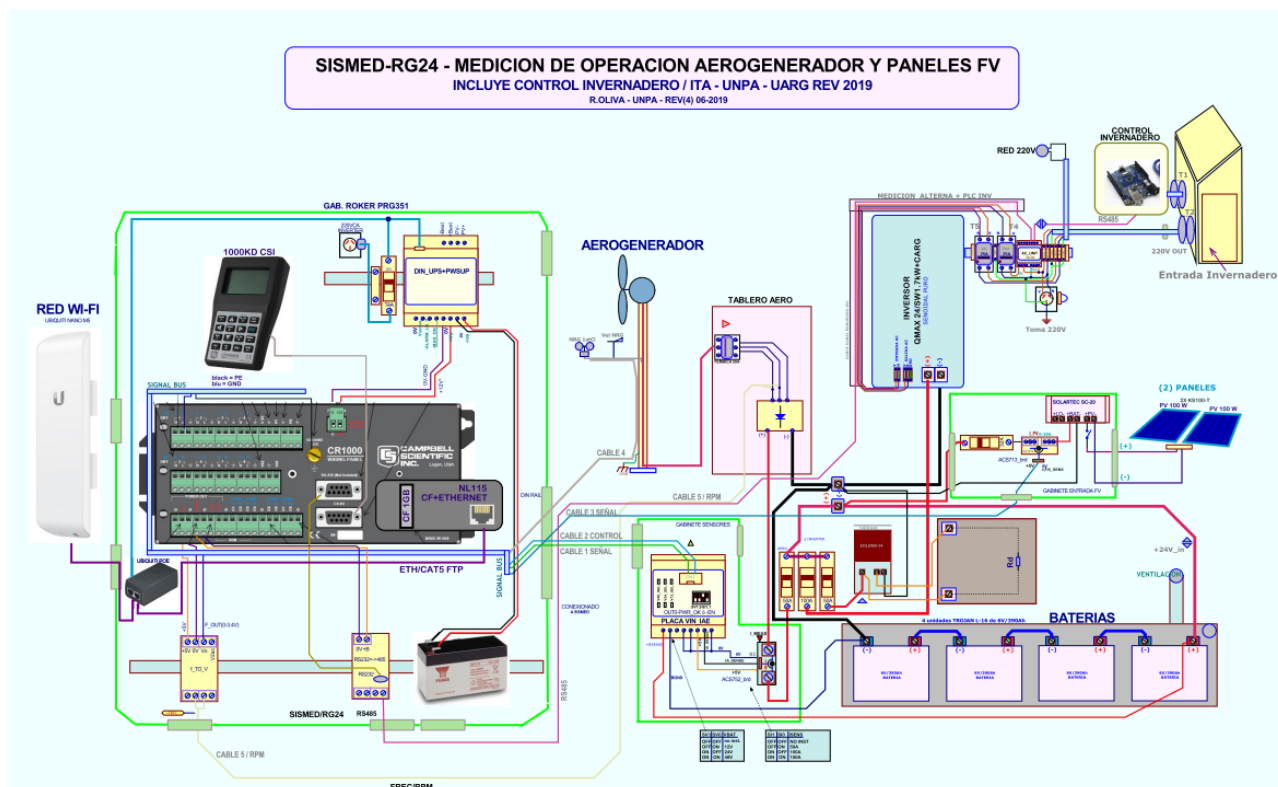


Figura 1.- Sistema – Diagrama general en UNPA-UARG

Como se observa en el diagrama de Figura 1, parte del desarrollo incluye un control simple para el invernadero basado en equipos educativos Arduino cuyos componentes fundamentales (temperatura, humedad, ventilación) estarán accesibles al datalogger principal a través de un enlace RS485. La foto de la instalación interna actual (noviembre 2019) se muestra en la Figura 2.

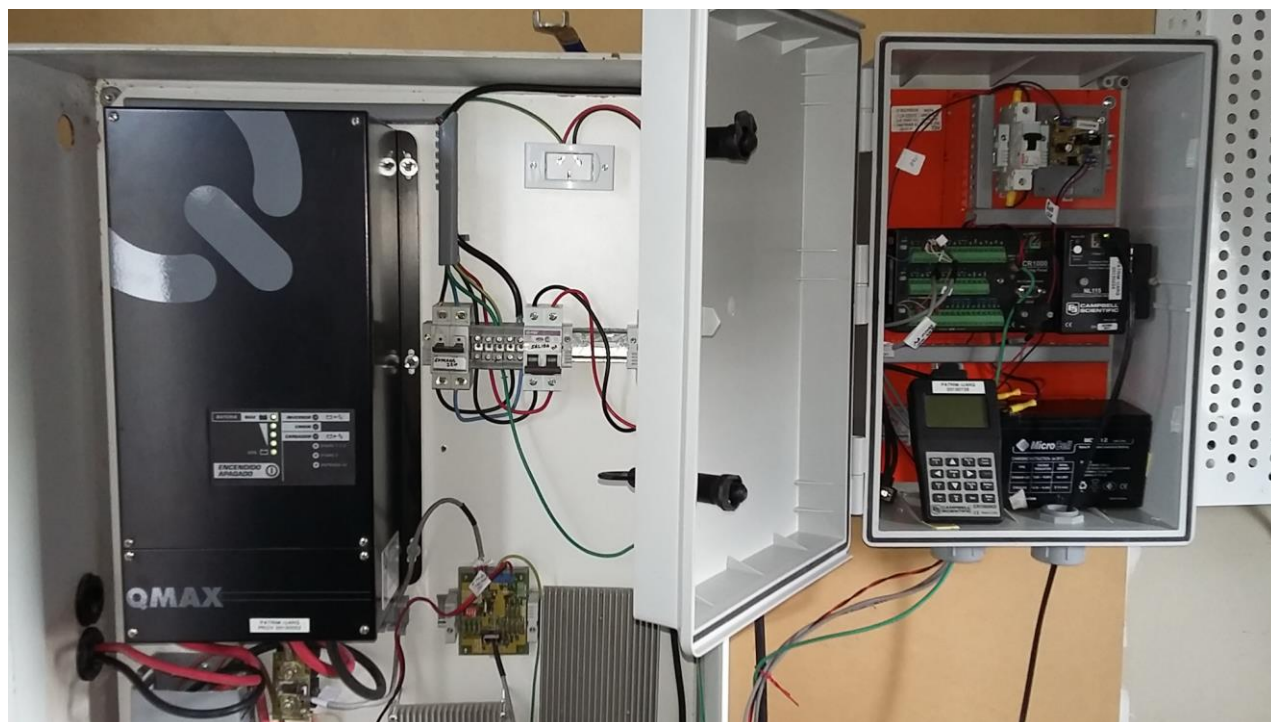


Figura 2.- Vista del sistema interno instalado y parcialmente cableado en UNPA-UARG – A la izquierda el inversor-cargador Qmax de 1.7kW, rectificador y regulador. A la derecha el datalogger.

En la parte izquierda de la Figura 3 se observa otra perspectiva del sistema ubicado en el interior del refugio, con vista del datalogger, al lado la resistencia fantasma de frenado del aerogenerador, abajo el regulador del sistema fotovoltaico (200 Wp), y el tanque de almacenamiento de agua del invernadero asociado. La parte externa (parte derecha de la Figura 3) se encuentra en funcionamiento aunque con algunos problemas en el freno manual del aerogenerador Eolux 1200 de 24V.



Figura 3.- (izq) Otra vista del sistema interno instalado, resistencia fantasma, regulador fotovoltaico y tanque de almacenamiento de agua para el invernadero UNPA-UARG y (der) vista del invernadero, los paneles fotovoltaicos y el aerogenerador

El banco de baterías instalado en el recinto, como se aprecia en el diagrama de la Figura 1, consta de 4 unidades de 6 V y 390 Ah, como se muestra en la Figura 4.

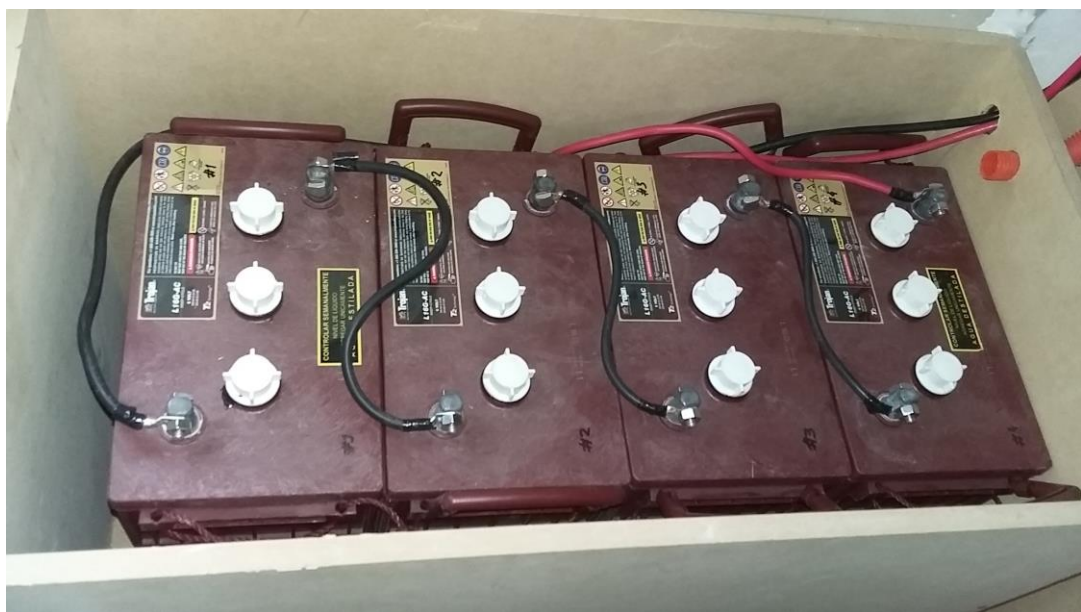


Figura 4.- Banco de baterías Trojan de 24 V, 390 Ah

Dicho banco, por tratarse de baterías de electrolito líquido, se monta en un recinto de material compuesto aislante, elevado, y con un ducto de ventilación para los escapes de H_2 que se observa como un tubo plástico arriba a la derecha de la Figura 4. Las unidades requieren un control periódico de nivel de agua, y al banco completo se lo monta con una tapa y una capa de aislante flexible, según se muestra en la Figura 5.

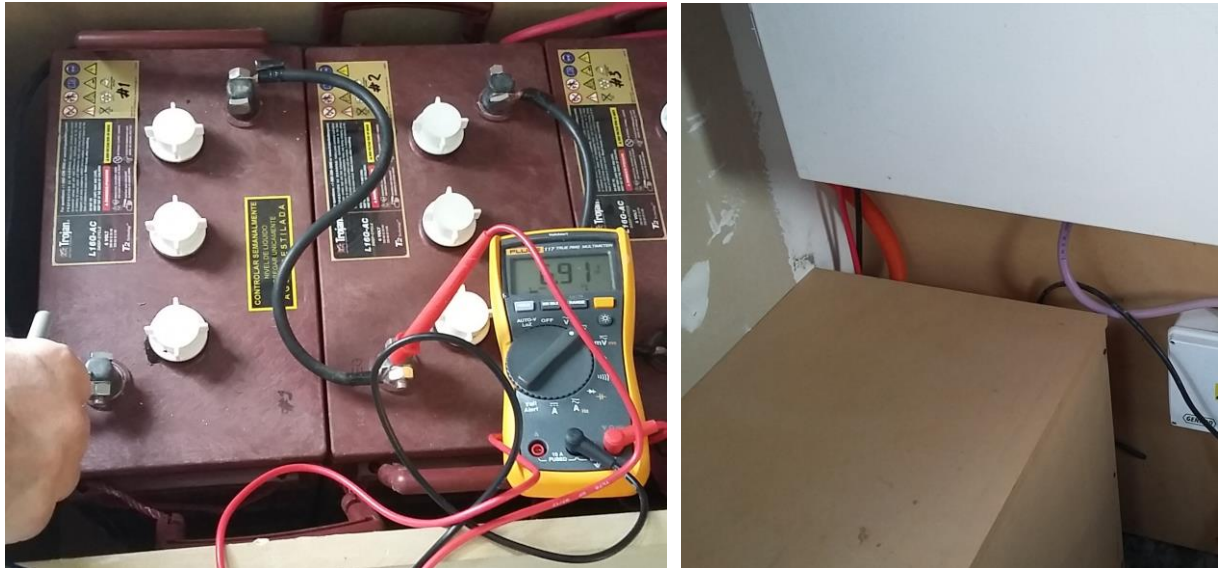


Figura 5.- Relevamiento de baterías Trojan de, medición individual de 6 V, 390 Ah, recinto protector

DETALLES DE IMPLEMENTACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL DATALOGGER

El sistema de relevamiento instalado, que se muestra en el Diagrama de la Figura 1, incluye un datalogger de alta capacidad (Campbell Scientific CR1000) equipado con una interfase NL115 que contiene el acceso a una tarjeta de memoria CF industrial, y una conexión Ethernet 10/100 convencional. Los sensores van cableados a las borneras del lado izquierdo, según se muestra en la Figura 6.

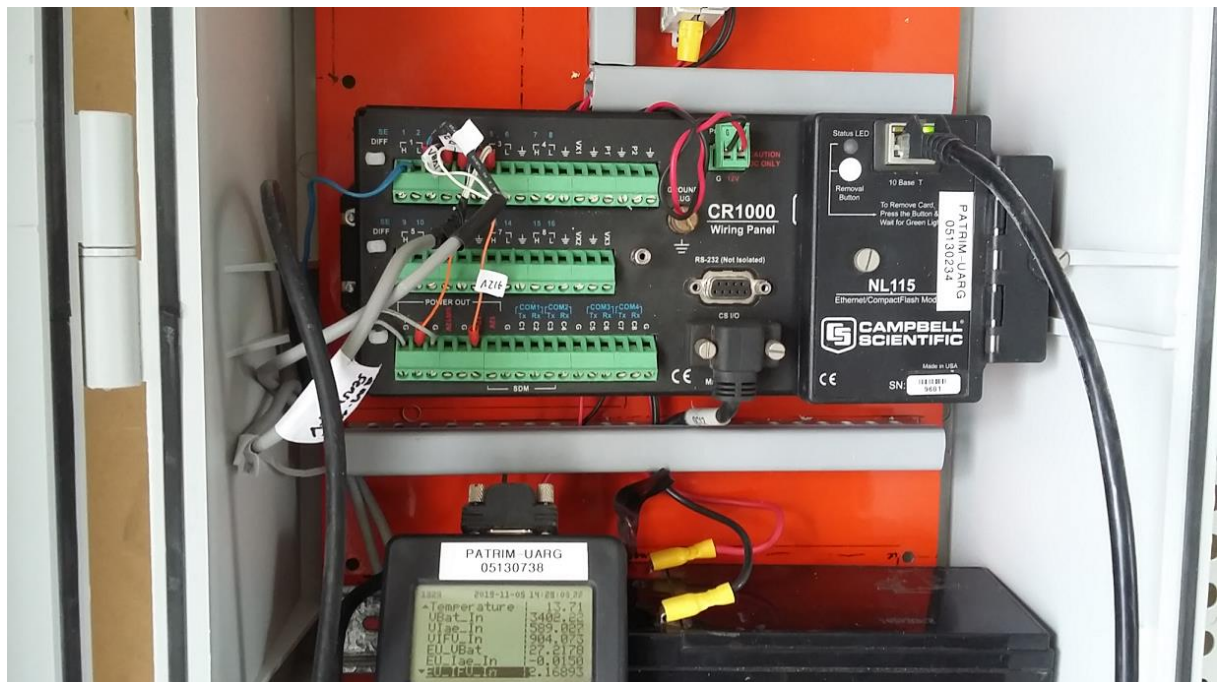


Figura 6.- Datalogger CR1000 con cableado parcial y conexión a internet operativa 11-2019

Dicho equipo cuenta además con un teclado y display KD1000 de la misma firma, el cual se conecta al puerto CS/IO a través de un cable de 9 conductores. Este display, como se muestra también en la Figura anterior, permite la visualización de los datos registrados por el programa. La alimentación del datalogger se realiza a través de una batería convencional de 12 V, 7 Ah, que es cargada vía un regulador a partir del banco de 24 V con una corriente máxima limitada a 0.3 A

Configuración de canales

El sensado de la tensión de batería se realiza a través de una placa *Vin_Iae* de L&R Ing. que se muestra en la Figura 7 (divisor resistivo al 0.1%), que a la vez tiene incorporado el ingreso de la señal de corriente del sensor Allegro ACS-755 050U de corriente de salida del aerogenerador, montado sobre una placa del mismo origen, justo debajo del Inversor QMax en dicha figura. También se observan el rectificador y el regulador del aerogenerador Eolux.

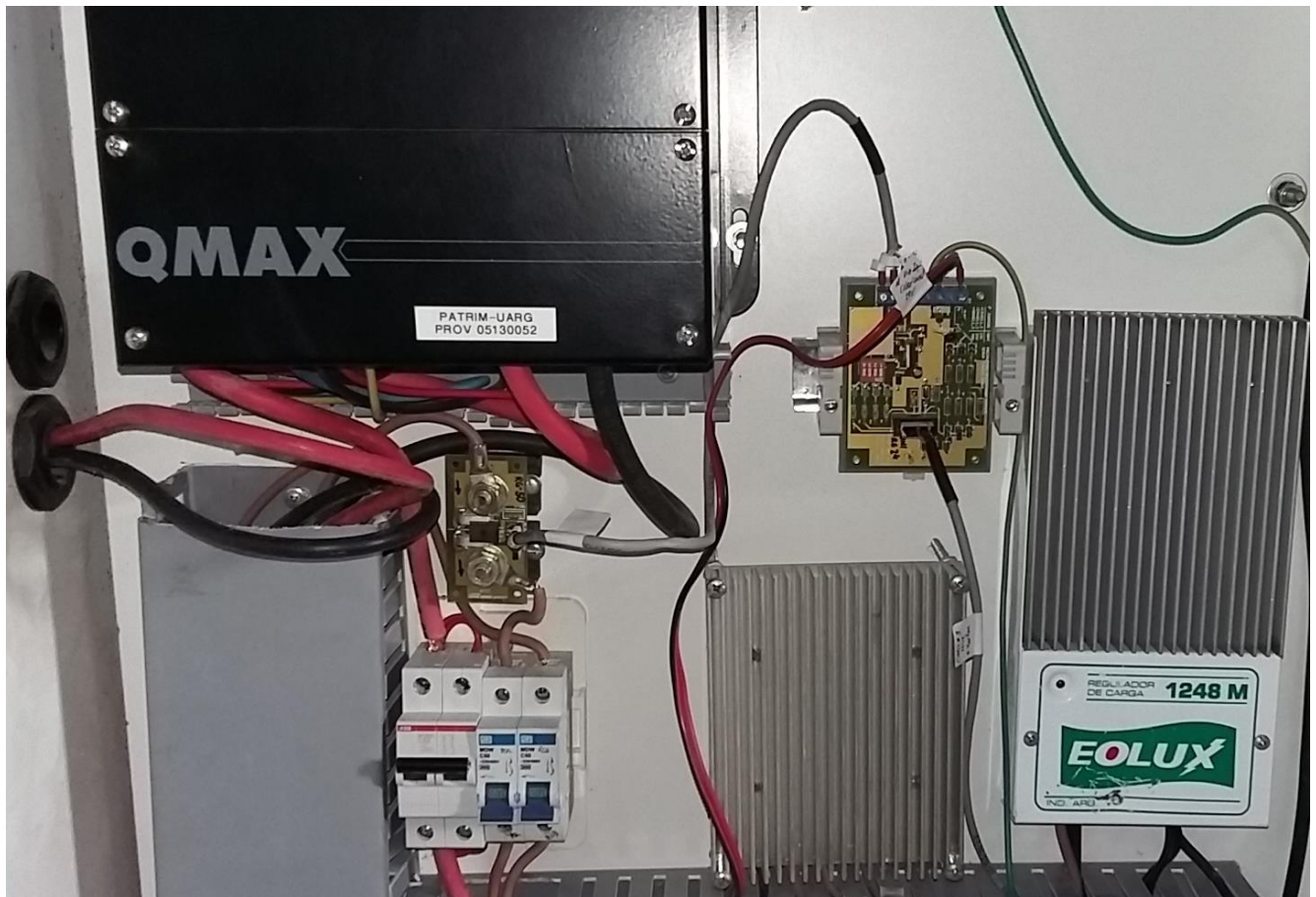


Figura 7.- Sensores de corriente de aerogenerador (izq., Allegro ACS 755U 50 A) y de tensión Vbat (de 0 a 40 V) a través de la placa *Vin_Iae* (derecha) UNPA-UARG

El sensado de la corriente inyectada por los paneles fotovoltaicos a las baterías se realiza a través de una placa con un sensor ACS713-E20, ubicada en el interior del gabinete del regulador fotovoltaico, como se muestra en la Figura 8. A la fecha del presente trabajo se encuentran cableados esos tres sensores: tensión de batería, Corriente Aerogenerador y Corriente de Paneles Fotovoltaicos. En el display del datalogger (Figura 9, izq.) esos valores se presentan como EU_Vbat, EU_Iae_In, EU_IFV_In, ya en unidades de ingeniería y con la calibración correspondiente cargada. Asimismo, algunos de los valores instantáneos son copiados a una Tabla Modbus TCP para acceso público, que permitirá la realización de gráficas en tiempo real de dichos valores.

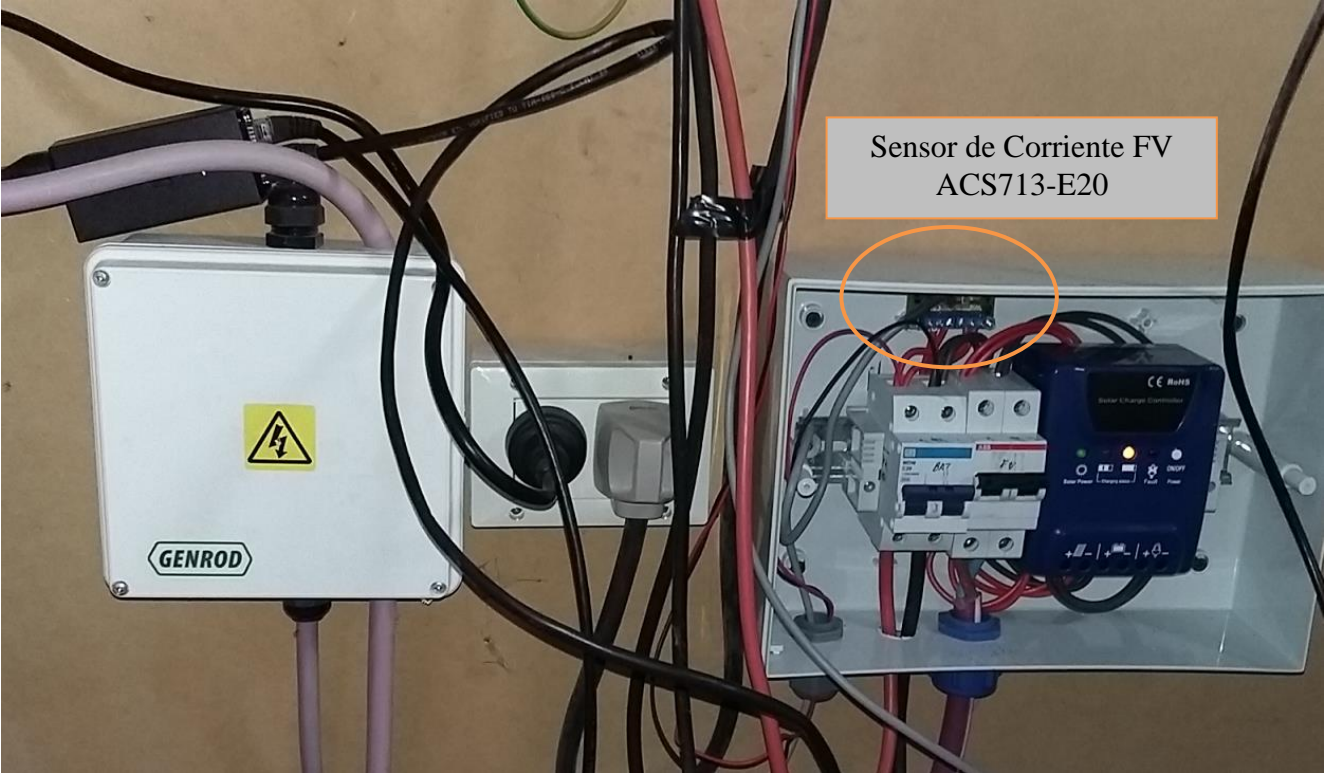


Figura 8.- Vista interna del gabinete del regulador fotovoltaico de 24V, en la parte superior se observa la placa con el sensor de corriente ACS713-E20 que inyectan los paneles a la batería.

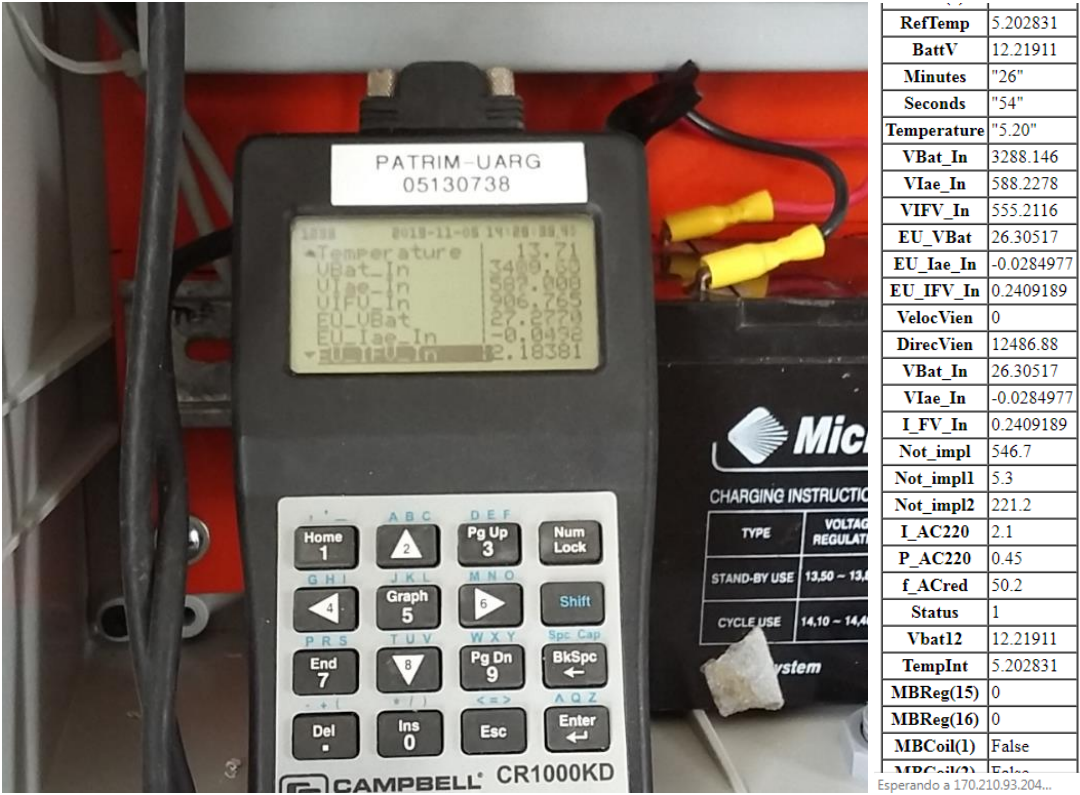


Figura 9.- Detalle de los valores medidos, publicados en la tabla accesible via Web. A la vez, los valores EU son copiados a una tabla para acceso Modbus TCP.

Programación y acceso externo del datalogger

La línea CR1000 de Campbell Scientific puede programarse en forma gráfica a través de una aplicación gratuita denominada ShortCut, y para mayor complejidad se utiliza el compilador propietario CRBasic. Este último es un dialecto del lenguaje Basic tradicional con agregado de funciones de alto nivel que facilitan el acceso a las funciones internas del datalogger. Un sistema operativo de tiempo real (RTOS), transparente al usuario, se encarga de llevar adelante las tareas de temporización, conversión A/D, acceso a la tarjeta de memoria, display y comunicaciones. El programador tiene la tarea de identificar los canales a medir, las constantes de calibración los tiempos de “scan” en los cuales se realiza el lazo de muestreo, las variables a utilizar, los cálculos estadísticos a realizar y configurar las comunicaciones requeridas. La carga del programa (que se almacena en NVRAM dentro del datalogger) y el acceso a configuraciones detalladas se realiza a través del programa gratuito Device Configuration Utility (DCU), también descargable desde el sitio web de Campbell Scientific.

A modo de ejemplo, se muestra como primer paso de configuración de un canal de medición la calibración realizada del sensor destinado al canal fotovoltaico, un ACS713 de efecto Hall de Allegro Microsystems [10]. Este tipo de sensor tiene una característica de salida casi lineal, aunque con un offset de aproximadamente 0.5 V con 0 A circulando, y salida de aproximadamente 4 V para 20 A. Los valores medidos son los mostrados en la Figura 10, y se grafican en la Figura 11. Aún con los ejes cambiados, se observa una adecuada coincidencia con lo que exhibe la hoja de datos del dispositivo.

Calibración Alto Nivel

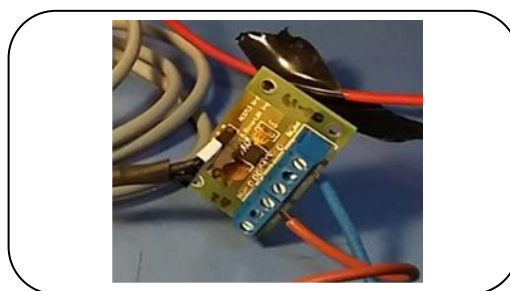
CALIBRADOR / CW10 + F189+ FUENTE POHA/ cables cortos

ACS713-ELC020A de SISMED-RG24

05.11.2019

Codigo de placa: #2 08-17

	Vi F189	IT Yokogawa CW1	
	0,512	0,00	CALIB OFF
	0,5331	0,18	CALIB ON (BURDEN)
	2,3245	9,89	
	3,841	18,47	



NOTAS:

Calculo Recta ajustada:

$$y = 5,52659x - 2,82751 \quad R^2 = 0,999893$$

En el gráfico, seleccionar Label parameters, Numero, e incrementar a 6 decimales para ver con mas precisión

Salida Teórica	c/G_UI; K_UI
Vo [V]	I_MED [A]
0,500	-0,06
1,000	2,70
2,000	8,23
3,000	13,75
4,000	19,28
4,800	23,70

Figura 10.- Tabla de datos de Calibración (con pinza Yokogawa CW10, y multímetro Fluke 189) y foto de la placa con el sensor ACS713 EC20.

Al inicio del programa CRBasic, las constantes de calibración se declaran del modo siguiente, precedidas por comentarios (indicados por comillas):

```
' 1.a.5) EU_IFV_In = VIFV_In*G_IFV_IN+K_FV_IN
' SE5 ACS713 RG24 con ELC020A
Const G_IFV_IN = 5.5265904 ' Gain SE5 Reading, Calib -RG24 5.11.19 ver XLS
Const K_IFV_IN = -2.8275081 ' Calib Offset SE5 Reading Work_LyR/2019
```

Debido a la facilidad de modificación, es conveniente ubicar las constantes al inicio. Asimismo, es posible programar el display para que al inicio del programa se ingresen determinadas constantes en caso de ser necesario.

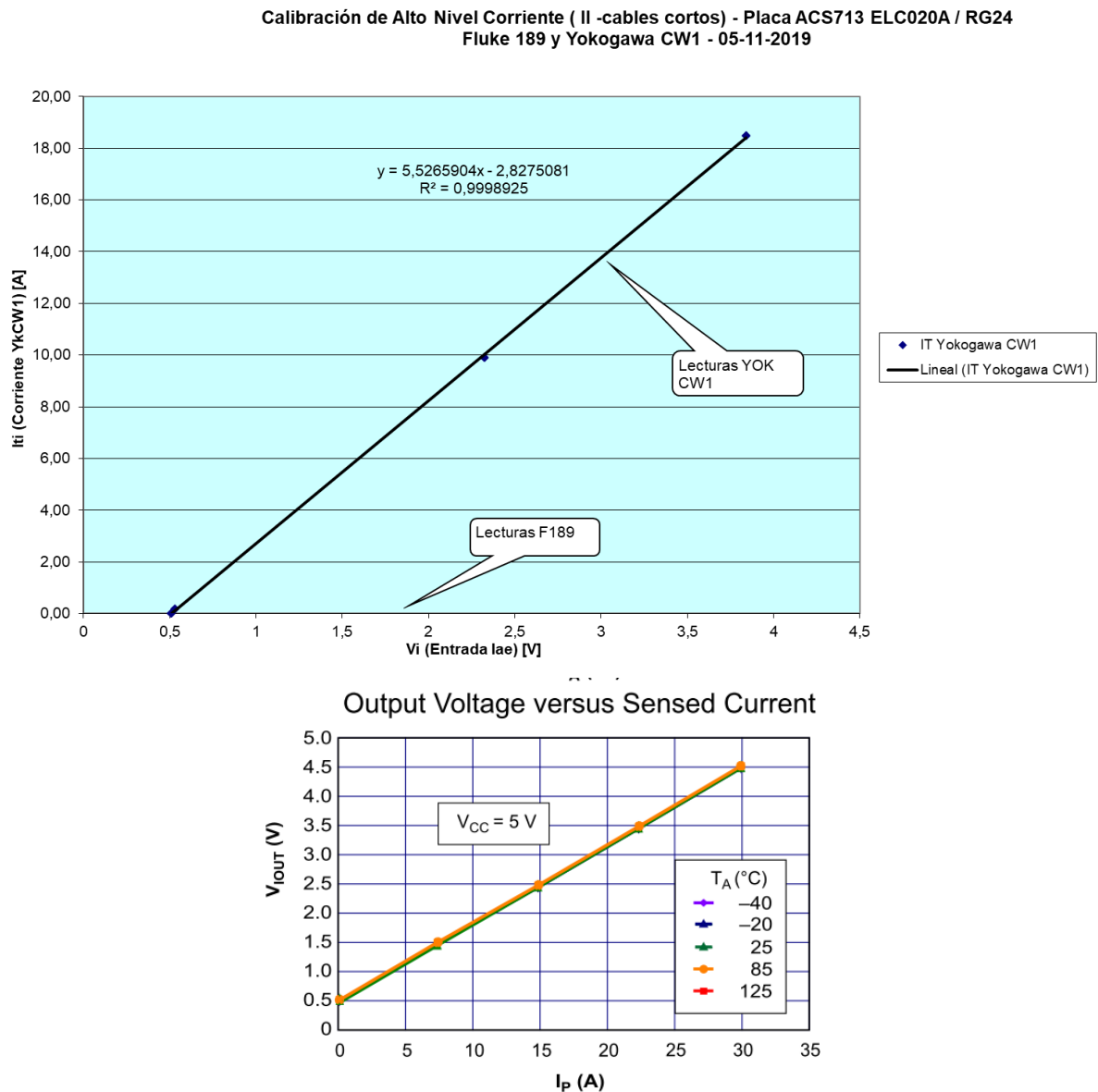


Figura 11.- Grafica de los datos de la Calibración realizada y diagrama obtenido de la hoja de datos [10] del sensor ACS713ELCTR-20A-T (2017).

Posteriormente se declaran las variables requeridas. Por defecto, aquellas declaradas como Public son del tipo *float32*. La variable de lectura cruda (0-5000mV) leída por el dispositivo se almacena en `VIFV_In`. La variable de lectura en unidades de ingeniería (A) se denomina `EU_IFV_In`. Si dicha variable se asocia a un valor en una tabla Modbus, se puede declarar un Alias.

```
Public VIFV_In      ' SE5 Reading, 0.6-5V ACS713 PV current 0-20A
Public EU_IFV_In    ' I_PV in 0-20A units
Alias MBReg(5) = I_FV_In      ' MB_Ch5 Corriente FV 0-20A
```

Dentro del lazo de operación (scan), se realiza la operación de lectura del canal y escalado de acuerdo a las constantes de calibración definidas, con instrucciones similares a la que se muestra en lo siguiente:

```
'VoltSE( Dest,Reps,Range,SEChannel,MeasOFF,SettT,Integ,Mult,Offset)
```



```

VoltSe(VIFV_In,1,mV5000,5,False,0,_50Hz,1.0,0.0)
' Calculate in EU - V_IN_AC, v1D scale to V
' EU_IFV_In = VIFV_In*G_IFV_IN+K_FV_IN
EU_IFV_In = (VIFV_In/1000.0)*G_IFV_IN + K_IFV_IN

```

Previa a la ejecución del lazo, el CRBasic requiere la definición de una tabla de datos, con una cierta periodicidad de almacenamiento (en nuestro caso, 1 minuto, a la tarjeta CF). Por ejemplo para indicar el almacenamiento de promedios de la variable EU_IFV_In en dicha tabla se define de la manera siguiente:

```

' EU_IFV_In
Average (1,EU_IFV_In, FP2, False)

```

En el caso de requerir una página HTTP interna distinta de la definida por defecto, que se publique a través del puerto Ethernet, el CRBasic cuenta con instrucciones especiales para definir dicha página utilizando comandos HTML como se muestra en el listado siguiente:

```

'Default HTML Page
WebPageBegin ("default.html",Commands)
HTTPOut("<html>")
HTTPOut ("<style>body {background-color: oldlace}</style>")
HTTPOut ("<body><title>UNPA-UARG EolicoFV Campus CR1000 Datalogger </title>")
HTTPOut ("<h2>Bienvenido a UNPA UARG EolicoFV Campus (v05.11.19 - ModbusTCP reales):</h2>")

```

Acceso a internet del datalogger

Como se indicó, resultaba de importancia obtener un monitoreo en tiempo real del equipo CR1000 de Campbell, como se muestra en la Figura 12. El acceso WiFi implementado en todo el Campus UARG a través de una antena difusora central, permitió la utilización de una unidad Ubiquiti Nano M5 [11] , aunque se requirió una secuencia extensa de ensayos previos (Figura 13, izq) para configurar el acceso correctamente, primero a la red interna del Campus y luego hacia el exterior. El montaje de la unidad se realiza desde un cable dual para alimentación PoE, y un cable FTP más extenso (15 m) hasta la torre del aerogenerador (Figura 13, der), para tener una adecuada captación de la señal.



Figura 12.- Otra vista del sistema interno instalado, resistencia fantasma, y acceso al mini-sitio web generado por UNPA-UARG



Figura 13.- Ensayos de conexión Ubiquiti Nano M5 e instalación en la torre del Aerogenerador, 5-11-2019

TRABAJO EN CURSO Y FUTURO

Se avanza en la reparación del sistema de freno del aerogenerador, sumamente importante debido a que el mismo se ubica en una zona de elevado tránsito de docentes y alumnos, y en caso de tormenta o períodos de receso debe dejarse frenado para evitar cualquier eventualidad o accidente. Por otro lado, se encuentra en realización un sistema de ensayo del mini-control para el invernadero utilizando una placa Arduino Mega, que simplemente relevará los parámetros de humedad y temperatura interna del sistema, más un accionamiento de sistema de ventilación. Dicha placa ha sido adquirida con sensores de bajo costo T,H y dos conversores RS485 a RS232/TTL que permitirán conectar al puerto RS232 libre del CR1000, y por otro lado al COM2/TxRx (TTL) del Arduino Mega a 9600 baudios, utilizando una biblioteca pública de Modbus RTU en modo Esclavo y programada a través del Arduino IDE. El acceso desde el CR1000 configurado como maestro se incorpora en forma muy sencilla a través del CRBasic.

En cuanto al sensado de viento convencional, se han adquirido a través del programa PEI (Mejoramiento de actividades de Investigación) dos sensores de referencia Thies (Anemómetro FC con calibración MEASNET, Figura 14 arriba, Veleta potenciométrica, Figura 14 inferior) para la medición de viento que se instalarán en la torre en soportes adecuados. La conexión de la primera, con optoacoplador interno, se realiza configurando el puerto P1 del CR1000, mientras que para la segunda se utiliza un canal SE acoplado a una salida de excitación VX1, extensamente ensayada en trabajos anteriores.





Figura 14.- Sensores de referencia Thies FC (arriba) y veleta potenciométrica (abajo) a instalar

Trabajos de comparación de medición convencional con mediciones remotas (LIDAR)

El grupo Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral / CEILAP-CONICET, que participa del presente trabajo, viene desarrollando desde 2005 trabajos sobre LIDARes atmosféricos destinados a la medición de la capa de ozono [2], para lo cual la Patagonia sur resulta una ubicación privilegiada. A través de la vinculación establecida entre dicho grupo, la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) y la UNPA se planteó cooperar en la aplicación de dicho instrumental y la comparación en condiciones locales con instrumental convencional a baja altura en un proyecto PIO/CONICET aprobado a mediados de 2018. La técnica LIDAR está basada en sistemas láser que operan con un principio similar al radar (*RADio Detection And Ranging*) o al sonar (*SOund Navigation And Ranging*). En el caso del LIDAR un pulso de luz es emitido hacia la atmósfera. La luz del láser es luego dispersada en todas las direcciones por las moléculas y partículas con las que va interactuando el haz de luz. Luego una porción de esa luz es retrodispersada en la dirección opuesta al envío del haz. Dicha luz es recolectada por un telescopio donde convenientemente se coloca un detector constituido generalmente por un fotomultiplicador (FMT), que mide en conjunto con una adecuada electrónica de control la intensidad de la señal en función de la distancia. En la Figura 15, se muestra el esquema básico de un LIDAR para mediciones atmosféricas (adaptado de [14]).

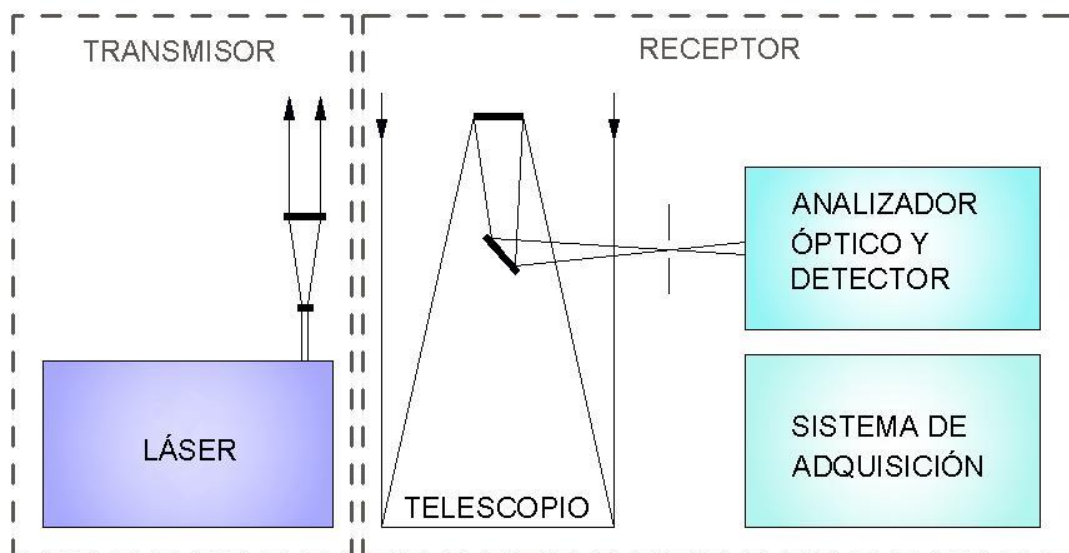


Figura 15.- Esquema básico de un LIDAR para aplicaciones atmosféricas. Adapt. Weitkamp, 2004[14].

Entre los métodos LIDAR de detección de viento existen dos métodos: Detección coherente (Doppler) y directa (Correlación). La mayoría de los equipos comerciales (Windcube[13], Zephyr[14]) utilizan el primer método. El método de correlación es un método de implementación más sencilla para la estimación de vientos

en la capa límite atmosférica (ABL) utilizando el movimiento relativo de las columnas de aerosol mediante la detección directa de la retrodifusión detectada por interacción de la partícula en suspensión con la luz láser. La viabilidad de esta técnica fue investigada y mejorada en [3] y [4]. La propuesta de desarrollo y aplicación que se enmarca en el citado proyecto PIO se basa en la construcción de un LIDAR multiángulo infrarrojo para el estudio de velocidad de viento mediante técnica de scanning en diferentes ángulos de elevación siguiendo el esquema de la Figura 15. La reducción de costos en las tecnologías de sensado remoto (RDS) y en especial el LIDAR las ha llevado a un punto de competencia con las técnicas convencionales, en particular en países desarrollados. Esto ha llevado a la incorporación de las mediciones remotas y el tratamiento de sus incertidumbres asociadas en las normas actualizadas (IEC61400-12-1 - 2017). En este marco, se plantea el trabajo futuro de intercomparación utilizando equipamiento en carácter de prototipo en combinación con mediciones convencionales como se exhibe en la Figura 16.



Figura 15.- Combinación del prototipo LIDAR con Aerogenerador y mediciones convencionales

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de la Patagonia Austral y al Instituto de Tecnología Aplicada, además de Hector Soto y Osiris Sofía del Departamento de Informática para la configuración del acceso externo del equipo, y al OAPA/CEILAP/CONICET. Además agradecen al CIEMAT y al coordinador del Proyecto REGEDIS /CYTED Dr. Ignacio Cruz, por la posibilidad de participar del presente encuentro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oliva, R. (1997)(a) "Results after First Year of Automated Wind Measurements in Santa Cruz, Southern Patagonia" Wind Engineering, UK, ISSN 0309-524X, Vol.21, N°2, pp.113-124 – June 1997

- [2] Salvador Jacobo, (2011) “Estudio del comportamiento de la capa de Ozono y la radiación UV en la Patagonia Austral y su proyección hacia la comunidad”. PhD thesis, Universidad Tecnológica Nacional FRBA.
 - [3] Schols, J. L., and E. W. Eloranta, (1992): “The calculation of area-averaged vertical profiles of the horizontal wind velocity from volume imaging LIDAR data” J. Geophys. Res., 97, 18 395–18 407, doi:10.1029/92JD01051.
 - [4] Wagner R., Antoniou I., Pedersen S.M., Jørgensen H.E (2007), “Wind profile influence on turbine performance”, submitted to the Wind Energy Journal.
 - [5] Oliva, R., Alborno, C (2003) “Operation and Two-year production data report of a wind-powered rural school in South Patagonia”, Proceedings of 2nd World Wind Energy Congress, Cape Town, South Africa, 23-26 November 2003.
 - [6] Oliva, R y Cortez, N. (2007) "A METEOROLOGICAL FRONT-END DATA TRANSMISSION UNIT FOR A SMALL WIND TURBINE - POWER CURVE EVALUATION SYSTEM" XII RPIC (REUNION DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN Y CONTROL), UNPA Rio Gallegos, Argentina. Proceedings/CD - ISBN 978-987-1242-23-8, Volumen 12 , pp 259 - Octubre de 2007
 - [7] Lescano, J., Oliva, R., Cortez, N., Triñanes, P., Lescano, I. (2013) "Diseño e implementación de estrategias para el uso eficiente de la energía solar en aplicaciones fotovoltaicas en sitios aislados de la Provincia de Santa Cruz- Avances" Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 1, pp. 08.71-08.78, 2013 - ISBN 978-987-29873-0-5
 - [8] Lescano, I., López, M., Oliva, R. (2009) “SISTEMA DE MEDICIÓN SISMED/C GLENCROSS PARA SITIO AISLADO” Comunicación ASADES 2009 – Rio Cuarto ISSN 0329-5184; vol 13.
 - [9] Oliva, R; Samela, A; Lescano, J; González, L; Ibarreta F., L.; González, J.F.; Tomassi, C. (2018) "ENSAYOS DE ANEMÓMETROS DE BAJO COSTO PARA APLICACIONES DE EOLICA DE BAJA POTENCIA" (UNPA-UARG/UTN-FRSC) Acta de la XLI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 6, pp. 04.97-04.107, 2018 - ISBN 978-987-29873-1-2.
 - [10] Allegro MicroSystems [11-2019] <https://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS713-Datasheet.ashx>
 - [11] Ubiquiti Inc. [11-2019] <https://www.ui.com/airmax/nanostationm/>
 - [12] Weitcamp, C. Ed.- (2004) Lidar: Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere, Springer ISBN 978-0-387-25101-1
 - [13] <https://www.leosphere.com/products/windcube-vertical-profiler/>
 - [14] <https://www.zxlidars.com/wind-lidars/zx-300/>
-