

Adquisidor de Datos Remoto

Federico Blanco, Pablo Massafiero, Sebastián Torterolo, Nicolás Antonello y Juan Pablo Oliver

Resumen—Este proyecto consistió en el diseño y la implementación de un adquisidor de datos remoto y multipropósito. La funcionalidad implementada es la de medición de velocidad y dirección del viento, con capacidad de acceso remoto a los datos, gestión del sistema y manejo de alarmas vía una red celular GPRS.

El equipo fue diseñado para ser instalado en lugares de difícil acceso, cumpliendo con las siguientes características principales: autonomía energética, acceso a los datos en forma remota, gestión y configuración remota, envío de alarmas, protección frente a descargas atmosféricas y protecciones contra filtraciones de agua y polvo de acuerdo a los estándares establecidos.

El sistema consta de un procesador con una versión adaptada del sistema operativo Linux además de varias entradas y salidas en diferentes estándares, como ser interfaz USB, interfaz serie RS-232 e interfaz I2C entre otras, lo cual brinda flexibilidad para conectar diferentes transductores y posibilita la utilización del equipamiento para prácticamente cualquier aplicación de adquisición de datos.

Palabras claves – Anemometers, data acquisition, mobile communication.

I. INTRODUCCIÓN

EL presente trabajo describe el proceso de diseño de un Adquisidor de datos para registrar velocidad y dirección de viento en lugares remotos con la finalidad de relevar el potencial eólico de un determinado lugar. Si bien estos fueron los requisitos iniciales, en la primera especificación del diseño se incorporó que el adquisidor fuera genérico y pudiera servir para otras aplicaciones de adquisición remota de datos. Es por eso que en el capítulo donde se describe el adquisidor se hace en forma genérica sin referirse a la aplicación para la cual va a ser utilizado.

Otro aspecto que cabe destacar es que se incorporaron funcionalidades de administración y configuración remota minimizando los costos de operación y viajes a la zona de instalación del equipo.

El adquisidor cuenta con las siguientes características: bajo consumo, acceso a los datos en forma remota, gestión y

configuración remota, envío de alarmas, protecciones contra descargas atmosféricas y protecciones contra filtraciones de agua y polvo. Utiliza la red de telefonía celular para el envío de datos y alarmas, y la gestión remota a través de un módem GSM/GPRS [1-4]. Posee una computadora embebida [5-7] con sistema operativo Linux y varias entradas y salidas en diferentes estándares, tanto analógicas como digitales. Esto brinda una flexibilidad que permite usar el dispositivo para diversas aplicaciones. En particular se calibró para ser utilizado en la medición de velocidad y dirección de viento

II. ADQUISIDOR DE DATOS

En los siguientes párrafos se muestra de forma general las funcionalidades y características, el hardware y software, el análisis de incertidumbre y pruebas de campo.

A. Características y funcionalidades

- Tensión de alimentación entre 6V y 18V
- Consumo en stand by 32mA @ 12V. Consumo en modo de adquisición continua 110mA @ 12V
- 5 entradas analógicas 12 bits, configurables entre 0-5V y 0-2.5V
- 8 entradas digitales 0-5V
- 4 salidas digitales 0-3.3V
- Bus i2c
- 1 salida relay AC/DC 60V 300mA
- 5V para alimentación de sensores
- 2 puertos RS-232
- 1 puerto USB host
- Protecciones contra sobretensiones, cortocircuitos y sobrecorrientes

El equipo desarrollado puede adquirir datos de señales analógicas con una resolución de 12 bits, y posee entradas digitales específicas para medir frecuencias de hasta 1 KHz (señales de velocidad de viento). Además tiene un puerto serie RS-232 en donde se puede conectar un transductor que posea este tipo de interfaz que envíe datos para ser almacenados.

Se programaron dos estrategias para la toma de datos. La primera almacena un dato por hora. Para obtener dicho dato se realiza un promedio de las muestras tomadas durante un cierto tiempo durante la hora. El resto de la hora el adquisidor permanece en estado de bajo consumo. En la segunda estrategia se toman datos de forma continua y se guardan sin realizar promedios.

El adquisidor tiene la posibilidad de convertir los datos antes de ser almacenados mediante una recta de calibración configurable.

Para poder extraer fácilmente los datos, se almacenan en una memoria FLASH extraíble. De esta forma, cuando se

Este proyecto fue financiado en parte por el instituto IMFIA.

F. Blanco es estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República (e-mail: pipob@adinet.com.uy).

P. Massafiero es estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República (e-mail: pmassafiero@gmail.com).

S. Torterolo es estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República (e-mail: sebastianortorolo@gmail.com).

J. P. Oliver es el Jefe del Departamento de Electrónica del Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay (e-mail: jpo@fing.edu.uy).

N. Antonello es docente del Departamento de Potencia del Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República (e-mail: nantonio@fing.edu.uy).

necesita descargar los datos del adquisidor se desconecta el dispositivo FLASH y se conecta a donde se requiera descargar.

Cuenta con capacidad de realizar transferencias de datos a través de Internet. El adquisidor envía los datos diariamente a un sitio FTP. De esta forma, accediendo al sitio FTP, el usuario obtiene los datos adquiridos hasta el día anterior.

Adicionalmente mediante una solicitud SMS se puede obtener la medida actual de los sensores en menos de 3 minutos.

El adquisidor se puede configurar tanto local como remotamente. La configuración local se realiza a través de un programa. Este programa guía al usuario impidiendo el ingreso de valores erróneos. La configuración remota se realiza desde un sitio Web con una interfaz amigable para el usuario. Luego se envía al adquisidor un mensaje de texto para pedirle que actualice su configuración con la información del sitio Web. Por último, se puede pedir al adquisidor mediante un mensaje de texto que mande la configuración que se encuentra en uso al sitio FTP.

Se puede acceder al adquisidor localmente conectando un cable al puerto serie, abriendo una consola mediante el protocolo RS232. Además, esto mismo puede hacerse a través de Internet mediante el protocolo SSH. De esta forma se logra control del adquisidor en forma remota.

El sistema permite configurar valores límites inferiores y superiores para cada sensor. En el caso que los datos adquiridos excedan estos límites, se lanza una alarma, la cual se configura para enviarse a través de e-mail, SMS o FTP.

También es posible consultar el valor actual de la fuente de alimentación mediante un mensaje de texto. El adquisidor devuelve con un mensaje de texto el valor de la fuente en aproximadamente 3 minutos.

B. Hardware

El diseño de hardware se dividió en cuatro partes: la placa de adquisición, la placa de protecciones eléctricas, la alimentación y el gabinete (ver Fig.1).

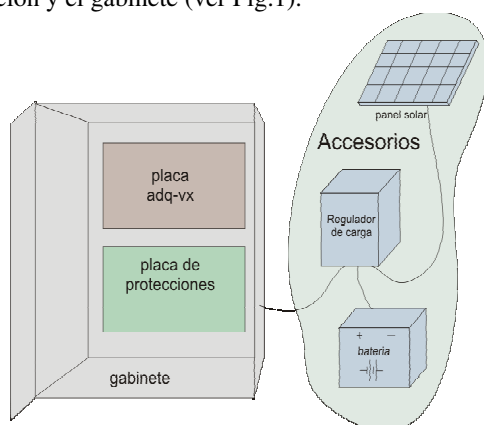


Fig. 1 División del Hardware

La placa de adquisición está compuesta por una computadora embebida, un módem GSM/GPRS y un conjunto de periféricos que permiten la interacción con el usuario y los

sensores.

La placa de protecciones está constituida por elementos que dan un camino de baja impedancia a perturbaciones eléctricas. Además cuenta con fusibles que protegen el circuito frente a sobrecargas y cortocircuitos. Su diseño se basó en una implementación ya utilizada previamente [8].

La alimentación está compuesta por una batería, un regulador de carga y un panel solar.

El gabinete está compuesto por una caja estanco y un conjunto de accesorios de fijación. Contiene al adquisidor, la placa de protecciones, la batería y el regulador de carga.

La división entre placa de adquisición y de protecciones fue realizada por motivos económicos. En primer lugar, en caso de no utilizar todas las entradas y salidas del adquisidor, se puede fabricar una placa de protecciones con menos componentes y superficie de impreso, disminuyendo los costos de producción considerablemente. En segundo lugar, si algún elemento de la placa de protecciones se dañara, es posible recambiar la placa de protecciones y no dejar fuera de servicio el adquisidor. De esta forma disminuye el costo de mantenimiento y explotación y mejora la seguridad operacional del equipamiento. Por último, la tecnología requerida para la fabricación del impreso del adquisidor es superior y más costosa que la necesaria para la placa de protecciones. Con esta división cada placa está fabricada con la tecnología mínima necesaria. La Fig. 2 muestra el equipo completo dentro del gabinete, la placa inferior es de protecciones y la superior la de adquisición.



Fig. 2 Foto del equipo

C. Software

El software se dividió en tres módulos: el módulo de adquisición, el módulo de comunicación y el módulo de gestión de la aplicación. El módulo de adquisición se encarga de adquirir y almacenar los datos de los sensores. El módulo de comunicación se encarga del envío y recepción de información. El módulo de gestión de la aplicación ejecuta los programas de adquisición, comunicación, tareas de rutina y maneja el modo de bajo consumo.

Se desarrolló además una interfaz amigable para configurar el adquisidor de forma local y un sitio Web para la configuración remota.

Además de los programas utilizados por los módulos anteriormente mencionados se crearon programas que permiten al usuario tener acceso al Hardware de forma sencilla y segura.

Finalmente, para facilitar la reproducción del sistema, se creó una imagen que incluye el sistema operativo, los programas utilizados y las aplicaciones programadas.

III. APLICACIÓN: MEDIDA DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DE VIENTO

Existen varios tipos de transductores de velocidad de viento [9], los más utilizados son los de copelas giratorias o cazoletas, que tienen como salida una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de viento. Es por esto que el adquisidor tiene una entrada especialmente pensada para realizar medidas de frecuencia (se utilizan frecuencias bajas que en general no superan los 100Hz).

El otro tipo de transductor utilizado es ultrasónico, pero en ese caso el transductor entrega la velocidad en forma digital a través de una interfaz serie RS-232.

Para las veletas, se utilizaron del tipo potenciométricas, es decir que la parte giratoria está solidaria a un potenciómetro. Para realizar esta medida se alimentó el potenciómetro con una tensión conocida y se realizó una medida de voltaje con un conversor analógico digital.

Las estrategias de medición, tiempos de adquisición, frecuencias de muestreo, etc., son seleccionables por el usuario y ya fueron detalladas en el Capítulo I.

A continuación se presentan las incertidumbres teóricas para ambas medidas y los resultados de la calibración en túnel de viento.

A. Incertidumbre

1) Incertidumbre en la medida de frecuencia

Para evaluar la incertidumbre de la medida de frecuencia se considera el caso de una onda cuadrada con frecuencia constante (Fig. 3).

El método de medida de frecuencia consiste en contar los flancos de subida y bajada de la señal dentro de una ventana de tiempo fijo. Dado que el tiempo de la ventana es independiente de la señal, se introduce un error aleatorio.

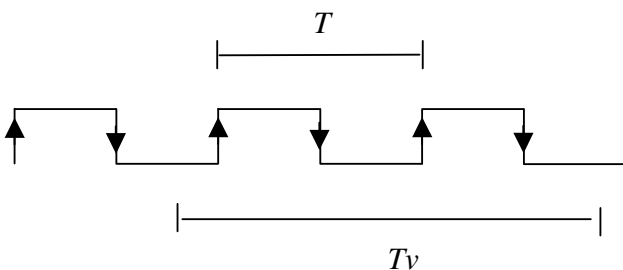


Fig. 3 Incertidumbre en la medida de frecuencia

T_v es el tiempo de la ventana de muestreo, T es el período de la señal a medir y k es la cantidad de flancos de subida y

bajada sumados durante el tiempo T_v . Se miden kT flancos durante T_v si se cumple la siguiente condición:

$$(k-1)\frac{T}{2} < T_v < (k+1)\frac{T}{2} \quad (1).$$

Se define la variable aleatoria δ de la siguiente manera:

$$\delta \frac{T}{2} = T_v - k \frac{T}{2}$$

El hecho de que el instante en que comienza el muestreo es independiente de la señal a medir hace de δ una variable aleatoria con distribución uniforme.

Además por la ecuación (1) se tiene que $T_v > k \frac{T}{2} - \frac{T}{2}$

por lo que $T_v - k \frac{T}{2} > -\frac{T}{2}$ entonces $\delta > -1$.

También se cumple que:

$$T_v < k \frac{T}{2} + \frac{T}{2}$$

Entonces:

$$T_v - k \frac{T}{2} < \frac{T}{2} \text{ y } \delta < 1.$$

Se concluye que $\delta \sim U[-1, +1]$

Luego

$$\delta \frac{T}{2} = T_v - k \frac{T}{2} \therefore T_v = \frac{T}{2} (k + \delta) \therefore T = \frac{2T_v}{(k + \delta)}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{k + \delta}{2T_v} = \frac{k}{2T_v} + \frac{\delta}{2T_v}$$

$$f = \frac{k}{2T_v} \pm \frac{1}{2T_v}$$

Por lo que la incertidumbre en la medida es inversamente proporcional al tiempo de la ventana de muestreo. A modo de ejemplo la incertidumbre de una medida de frecuencia para una ventana de un minuto es aproximadamente $\pm 0.0083 \text{ Hz}$.

El error relativo de la frecuencia es:

$$\text{error}_{\text{relativo}} = \frac{1}{2T_v f}$$

En la Fig. 4 se presenta el error relativo de la medida de frecuencia para $T_v = 1 \text{ min}$. Se puede ver como para frecuencias inferiores a 3Hz el error relativo supera el 1%.

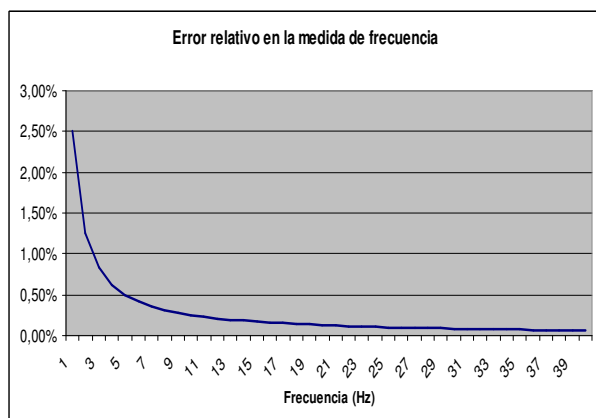


Fig. 4 - Error relativo en la medida de frecuencia

2) Incertidumbre en la medida de señales analógicas

Se presentan en este capítulo los valores de la incertidumbre de las entradas analógicas según el fabricante del conversor analógico-digital.

TABLA I
ESPECIFICACIÓN DE ERROR ADS7828

PARAMETER	Typ	Max
Integral Linearity error	± 1.0	± 2.0
Differential Linearity error	± 1.0	
Offset error	± 1.0	± 3.0
Offset error match	± 0.2	± 1.0
Gain error	± 1.0	± 4.0
Gain error match	± 0.2	± 1.0

Para probar las entradas analógicas se realizaron una serie de medidas con el adquisidor y el generador de señales HP 3245A del Instituto de Ingeniería Eléctrica. Los resultados obtenidos se muestran a continuación (Tabla 2 y Fig. 5)

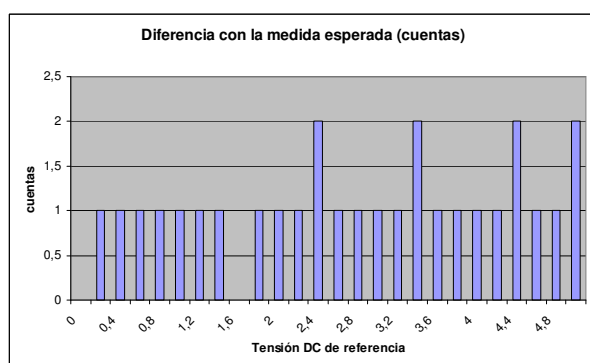


Fig. 5 Diferencia en la medida analógica

TABLA II

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE LAS ENTRADAS ANALÓGICAS

Tensión de referencia HP 3245A	Medida del adquisidor (cuentas)	Medida esperada (cuentas)	Diferencia
0	0	0	0
0,2	163	164	1
0,4	327	328	1
0,6	490	491	1
0,8	654	655	1
1	818	819	1
1,2	982	983	1
1,4	1146	1147	1
1,6	1310	1310	0
1,8	1473	1474	1
2	1637	1638	1
2,2	1801	1802	1
2,4	1964	1966	2
2,6	2128	2129	1
2,8	2292	2293	1
3	2456	2457	1
3,2	2620	2621	1
3,4	2783	2785	2
3,6	2947	2948	1
3,8	3111	3112	1
4	3275	3276	1
4,2	3439	3440	1
4,4	3602	3604	2
4,6	3766	3767	1
4,8	3930	3931	1
5	4093	4095	2

B. Calibración

Como se mencionó en la introducción, como aplicación se implementó la medición de velocidad y dirección de viento. La calibración del adquisidor se realizó en el Túnel de Viento de la Facultad de Ingeniería (UDELAR) con el apoyo del IMFIA.

El Túnel de Viento, que es utilizado para la investigación de fenómenos relacionados al viento atmosférico mediante la modelación física, tiene una zona de trabajo de 17 metros de largo y una sección de 2,25x1,80 metros. El ventilador de 2,5 metros de diámetro, está acoplado al eje de un motor de 750rpm que mediante el accionamiento de un variador de frecuencia genera vientos de hasta 30 m/s [10] (Figs. 6 y 7).

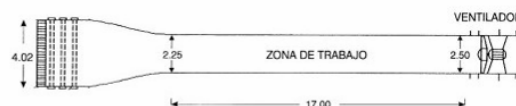


Fig. 6 Layout túnel de viento



Fig. 7 Foto túnel de viento

Para calibrar el anemómetro se realizó una tabla de calibración, registrando los valores de frecuencia medidos por el adquisidor y los valores necesarios para el cálculo de la velocidad del viento (diferencia de presión en un tubo Pitot, presión atmosférica y temperatura del aire dentro del túnel).

Se tomó como referencia de funcionamiento del túnel la frecuencia de alimentación del motor tomando una serie de valores cada 5hz desde 5 hasta 35hz, 7 valores aumentando la velocidad y 6 valores disminuyéndola, para evaluar una posible histéresis.

Los valores de frecuencia fueron medidos en ventanas de 60 segundos, mientras que el valor de diferencia de presión fue el promedio de 6 valores tomados cada 10 segundos. Los valores de temperatura y presión atmosférica corresponden a una única medida realizada en el mismo intervalo.

Para el cálculo de la velocidad del viento se utilizó la siguiente fórmula:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{\text{aire}}}, \text{ donde la altura del aire es}$$

$$H_{\text{aire}} = \frac{\rho_w \cdot H_{H_2O}}{\rho_a}, \text{ siendo } \rho_w \text{ la densidad del agua,}$$

$$\rho_a \text{ la densidad del aire y } H_{H_2O} \text{ la diferencia de presión}$$

medida en el tubo pitot por el micromanómetro. Para el cálculo de la densidad del aire se supone $\rho \cdot P \cdot T = cte$ y se utilizan los valores medidos de presión y temperatura, y la densidad del aire en condiciones normales (0°C y 1 atm).

En la Fig. 8 se presenta el gráfico de la curva de calibración obtenida, que relaciona la velocidad calculada y la frecuencia medida con el anemómetro BAPT.

Para la calibración de la veleta se la posicionó sobre un papel con las líneas marcadas de las 16 posiciones de la rosa de los vientos y se registraron las lecturas del adquisidor para cada posición. Para no introducir errores de cálculo en la medida se registró directamente la lectura del ADC de 12 bits en cuentas (0 a 4095). Los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 9.

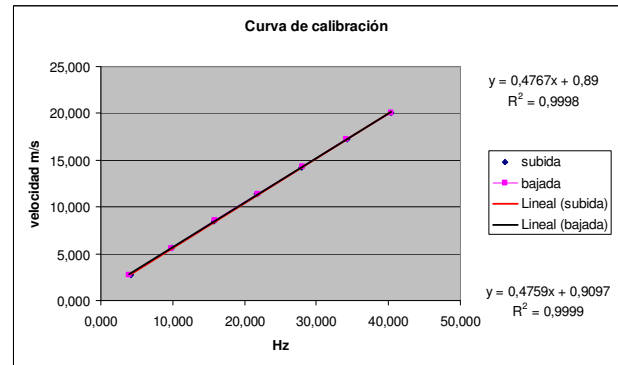


Fig. 8 Gráfico de los datos de la calibración del anemómetro BAPT

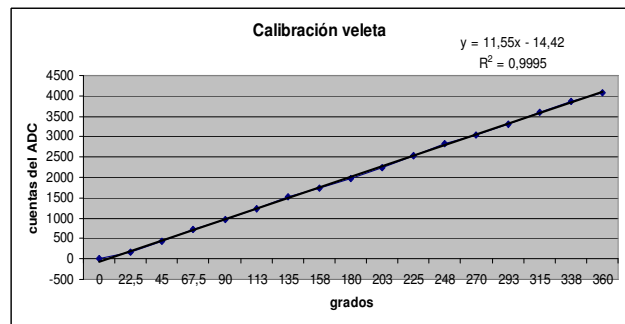


Fig. 9 Resultados de la calibración de la veleta BAPT

Se detectó que al comenzar el movimiento de la veleta, la lectura mínima fue de 5 cuentas en lugar de ser 0 y este valor se mantuvo por algunos grados. Asimismo, se detectó que al llegar a 4087 cuentas el valor permaneció constante por algunos grados en torno a 360.

Si se considera la resistencia de los cables utilizados (cables de cobre de 15.4 metros por 0.5mm de diámetro), el divisor resistivo que implementa la veleta queda representado por la

siguiente ecuación: $V = V_{cc} \cdot \frac{R \cdot x + R_c}{R + 2 \cdot R_c}$, donde V es la

tensión en la entrada analógica, R la resistencia total de la veleta, Vcc la alimentación de la veleta, x la posición porcentual de la resistencia variable y Rc la resistencia del cable. Utilizando esta fórmula y con $R=1K \Omega$ y $R_c=1,3 \Omega$ se obtiene para $x=0$ una tensión de 6,5mV que equivale a 5 cuentas y para $x=1$ una tensión de 4,9935V que equivale a 4089 cuentas. Esto explicaría los máximos y mínimos registrados en la prueba.

Este tipo de veleta presenta una banda muerta (ver Fig. 10-11) que, en este caso, se puede calcular utilizando la pendiente obtenida de 11,55 cuentas/grado y el rango de 4082 obtenido en la práctica para el recorrido del 100% de la resistencia variable. El cálculo de la banda muerta es entonces el

$$\text{siguiente: } \text{banda}_{\text{muerta}} = 360 - \frac{4082}{11,55} = 6.6$$

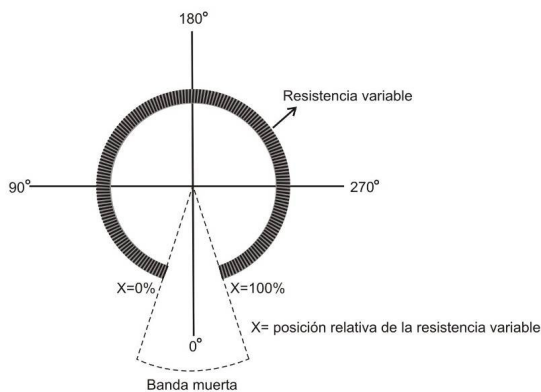


Fig. 10 Veleta BAPT

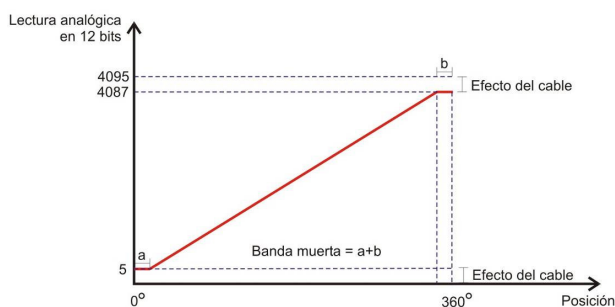


Fig.11 Gráfico de calibración de la veleta

IV. CONCLUSIONES

Luego del desarrollo del software y de realizadas las pruebas, se concluye que se alcanzaron los objetivos planteados. Se consiguió un adquisidor de datos genérico y robusto con todas las funcionalidades requeridas. Se logró una arquitectura flexible que posibilita la incorporación de nuevas funcionalidades realizando pequeñas modificaciones en el software. Esto permite utilizar el adquisidor en otras aplicaciones con un esfuerzo mínimo.

La posibilidad de obtener los datos, administrar y configurar el adquisidor en forma remota abre un abanico de posibles aplicaciones sin involucrar costos de traslados.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de los institutos IMFIA y del IIE de la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.

VI. REFERENCIAS

- [1] GM862-QUAD Hardware User Guide, Telit Communications, Revisión 5, Setiembre 2007. [Online]. Available: www.roundsolutions.com/techdocs/docs
- [2] GM862-QUAD Software User Guide, Telit Communications, Revisión 3, Octubre 2007. [Online]. Available: www.roundsolutions.com/techdocs/docs

- [3] GM862-QUAD AT Commands Reference Guide, Telit Communications, Revisión 4, Noviembre 2007. [Online]. Available: www.roundsolutions.com/techdocs/docs
- [4] HOELKE, Ben, Embedded Internet – Easy GPRS, Julio 2003. [Online]. Available: www.roudsolutions.com/pdf/Telit/RS-Easy-GPRSv2.pdf
- [5] Gumstix, Home Page, [Online]. Available: www.gumstix.com
- [6] Gumstix Developer Site, Home Page, [Online]. Available: www.gumstix.net
- [7] Gumstix Support Wiki, Home Page, [Online]. Available: <http://docwiki.gumstix.org>
- [8] Oliver, J. P., *Diseño y construcción de un registrador de velocidad y dirección de viento para la evaluación del potencial eólico*, XIV Jornadas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, julio 1993 [Online]. Available: iie.fing.edu.uy/jpo/papers/quito4.pdf
- [9] H. Fernandes y M. Thaub, "Instrumentos para el monitoreo de las estaciones meteorológicas," presentado en el curso Nociones Generales de Energía Eólica, Santiago de Cuba, Cuba, 2002. [Online]. Available: www.fing.edu.uy/imfia/rige/cur_pas/material/Cuba/Cap6.pdf
- [10] Cataldo, J., *La Ingeniería del viento al servicio de la construcción y del confort urbano*, IMFIA, [Online]. Available: www.fing.edu.uy/imfia/eolodinamica/tunel.html

VII. BIOGRAFÍAS

Federico Blanco es estudiante avanzado de Ingeniería Eléctrica en la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Actualmente trabaja en la industria del plástico.

Pablo Massafferro es estudiante avanzado de Ingeniería Eléctrica en la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Actualmente trabaja en la industria siderúrgica.

Sebastián Tortorolo es estudiante avanzado de Ingeniería Eléctrica en la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Actualmente trabaja en la industria siderúrgica.

Nicolás Antoniello recibió su título de Ingeniero Electricista en la Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay, en 2004. Actualmente es docente del Departamento de Potencia en el Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Trabaja en el área de Telecomunicaciones, en el centro de operaciones de ANTELDATA, en la empresa estatal ANTEL. Es docente responsable del curso de Redes de Datos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad ORT, para la carrera de Licenciatura en Sistemas. Sus áreas de interés incluyen energías renovables, redes de datos y sistemas de medidas eléctricas.

Juan P. Oliver recibió su título de Ingeniero Electricista y de Magíster en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay, en 1989 y 2007, respectivamente. Actualmente es Profesor Agregado y Jefe del Departamento de Electrónica en el Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Sus áreas de interés incluyen diseño digital, dispositivos lógicos programables, sistemas embebidos.