



REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE UN PLUVIÓGRAFO A CANGILONES CON TELEINDICACIÓN VÍA GPRS

Cova, Walter J. D. ¹, Gutiérrez, Francisco G. ², Carrara Sergio D. ²,
Farchetto, Sergio J. ², Jazni, Jorge E. ²

¹ *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Rioja, Departam. Ingeniería Electrónica.
San Nicolás de Bari (E) 1100 – CP 5300 La Rioja, Argentina.
wcova.utn@gmail.com*

² *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba,
CUDAR - Centro Universitario de Desarrollo en Automación y Robótica. cudar@scdt.frc.utn.edu.ar*

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan los principios operativos de un pluviógrafo de cangilones con almacenamiento y transmisión de datos a demanda vía GPRS, se plantean los requerimientos funcionales y se describen algunos resultados experimentales obtenidos con los prototipos de subsistemas implementados.

El objetivo final del proyecto es producir un modelo de laboratorio de un instrumento que resulte funcionalmente compatible con los estándares de la WMO (World Meteorological Organization). El desarrollo ha sido abordado como un proyecto interfacultades con intervención de las Facultades Regionales Córdoba y La Rioja de la Universidad Tecnológica Nacional.

Metodológicamente se parte del planteamiento de un modelo físico-matemático para la dinámica de medición del pluviógrafo, en base a cuya simulación numérica quedan definidas las principales fuentes de errores sistemáticos y la capacidad de almacenamiento local requerida para datos, supuesta una operación inatendida de un semestre de duración. Fundado en el análisis precedente, se realiza el diseño conceptual de los subsistemas electrónicos asociados a la captura y almacenamiento de datos y su transmisión a demanda vía GRPS.

Paralelamente al instrumento en sí, cuya sensibilidad es ajustable, se considera la implementación de los dispositivos y procedimientos necesarios para su calibración en los diferentes rangos de precipitaciones admisibles. Asimismo se definen las prestaciones del sistema de recepción y procesamiento de los datos transmitidos, con vistas a su visualización en una página web.

Palabras Clave: Meteorología, Pluviógrafo, GRPS.

1. INTRODUCCIÓN

La medición de intensidades de precipitación de lluvia es una rama altamente desarrollada de las medidas meteorológicas [6], para la cuantificación de los recursos hídricos disponibles. La variación espacio-temporal de la intensidad de lluvia a escala local y regional es un dato fundamental para múltiples estudios [3], [5], incluyendo entre otros las prospecciones agroindustriales y la planificación y gestión tanto de sistemas de drenaje como de redes de telecomunicación de microondas. La integración de pluviógrafos en una red de monitoreo de variables ambientales, posibilita el registro de intensidades locales de precipitación destinadas a facilitar el accionar de los organismos de prevención de catástrofes.

Desde el primer pluviógrafo a cangilones construido por Sir Christopher Wren en 1662 [8] mucho se ha avanzado en la tecnología de estos instrumentos, pero tan sólo desde épocas recientes [4] se ha tenido en cuenta el carácter esencialmente dinámico de los errores de medición asociados a los mismos, destacándose la importancia de los procedimientos de calibración. Las precisiones standard de medición han sido establecidas por especificaciones de CIMO –Commission for Instruments and Methods of Observation– perteneciente a la World Meteorological Organization, y detalladas en [11]. El objetivo final perseguido por este trabajo es el desarrollo de un pluviógrafo a cangilones con almacenamiento y transmisión de datos a demanda vía GPRS, junto con los correspondientes dispositivos y procedimientos de calibración.

En la Sección 2 de este trabajo se presenta el modelo físico-matemático empleado, detallando las suposiciones y simplificaciones adoptadas y se discuten los resultados obtenidos mediante simulación numérica; se analiza además tanto los errores de medición, como un procedimiento destinado a su compensación. La Sección 3 se detallan los requerimientos de diseño emergentes para los diferentes subsistemas. Finalmente, en la Sección 4 se resumen los desarrollos en curso. A fin de evitar la necesidad de emplear engorrosos factores de escala, en este trabajo se ha empleado el sistema de unidades CGS.

2. MODELADO Y SIMULACIÓN

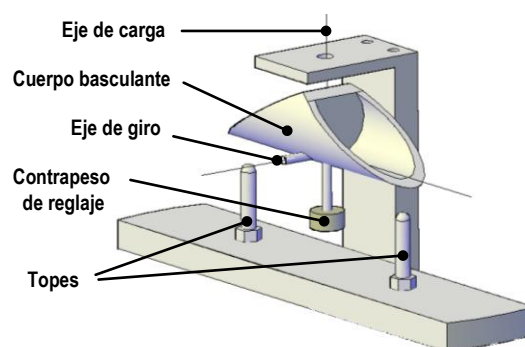


Figura 1. Esquema elemental del pluviógrafo.

De acuerdo a la Fig. 1, se supone que la precipitación pluvial es canalizada hacia el medidor basculante a través de un embudo, siendo almacenada en uno de los cangilones hasta que la cupla producida por el agua hace bascular el sistema, con lo que se descarga el cangilón lleno y pasa a llenarse el que se encontraba vacío. El contrapeso de reglaje permite ajustar la sensibilidad del dispositivo para adaptarla al rango de lluvias a medir. Con el reglaje ajustado a 0.85 cm de distancia entre el contrapeso y el eje de giro, el volumen de accionamiento para cada cangilón es de 8 cm^3 . Ajustando el contrapeso a 3 cm, el volumen de accionamiento se reduce a 4 cm^3 .

La ecuación de movimiento del instrumento alrededor de su eje de giro está dada por

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = T, \quad (1)$$

siendo respectivamente θ, J, T los valores instantáneos del ángulo rotado, del momento de inercia y de la cupla actuante. La composición de la inercia y cupla está dada por:

$$\begin{aligned} J &= J_{\text{cuerpo}} + J_{\text{regl}} + J_{\text{liq}} \\ T &= T_{\text{cuerpo}} + T_{\text{regl}} + T_{\text{liq}} + T_{\text{exc}} + T_{\text{tope}} \end{aligned} \quad (2)$$

El significado de los subíndices empleados es el siguiente: J_{cuerpo} corresponde a valores constantes asociados al cuerpo del dispositivo; J_{regl} a valores dependientes del ajuste del reglaje; J_{liq} a aquéllos correspondientes al líquido almacenado en los cangilones; T_{exc} los originados por el excedente de líquido que se derrama por el borde del cangilón; mientras que T_{tope} corresponde a las reacciones de topes. Se supone aquí que el comportamiento del líquido es *sloshing-free*, es decir libre de choques, turbulencias y oscilaciones [2], considerándose además como despreciable la influencia de cuplas de fricción y efectos de viscosidad del líquido.

Los momentos de inercia y cuplas, Ec.(2), dependen tanto de la geometría del dispositivo como de la intensidad de precipitación medida.

2.1. Momentos de inercia

Los cálculos de los momentos de inercia ($J_{\text{cuerpo}}, J_{\text{regl}}$) del cuerpo y del reglaje respecto del eje de rotación no ofrecen dificultad; distinto es el caso del momento de inercia de la masa líquida contenida por cada cangilón (J_{liq}). Suponiendo que tal masa no sufre ni turbulencia ni agitación, la misma adoptará la forma geométrica interior del cangilón, conformando una cuña cilíndrica de base segmento-circular (ver Fig. 2).

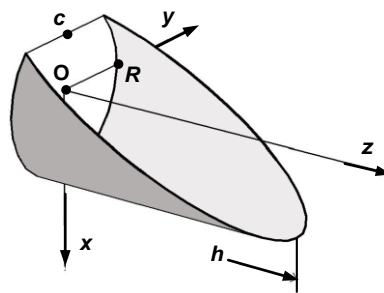


Figura 2. Cuña cilíndrica y sus parámetros referidos a coordenadas centradas en la base circular.

Las superficies laterales de la cuña líquida cambian con el ángulo de rotación (θ) del cangilón, mientras que su volumen (V) depende del aporte de líquido y no puede superar un límite máximo (V_{max}) para cada valor de θ . Como se demuestra en [1] el volumen máximo almacenable puede ser aproximado mediante la expresión:

$$V_{\text{max}} = a_1 \theta^{a_2} + a_3 \quad (3)$$

donde los coeficientes a_1, a_2 y a_3 dependen del reglaje adoptado.

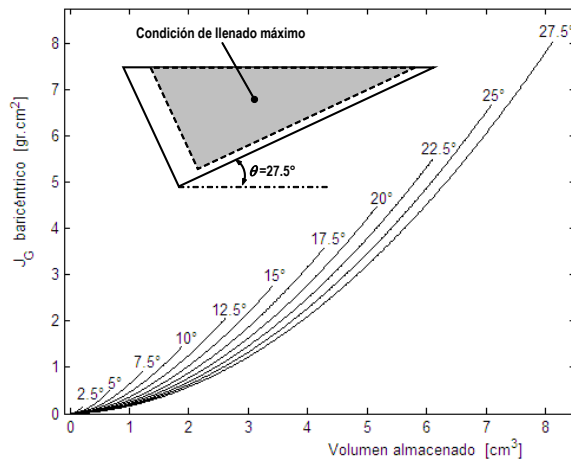


Figura 3. Momento de inercia respecto eje baricéntrico paralelo a Oy.
Parámetro: ángulo de inclinación θ .

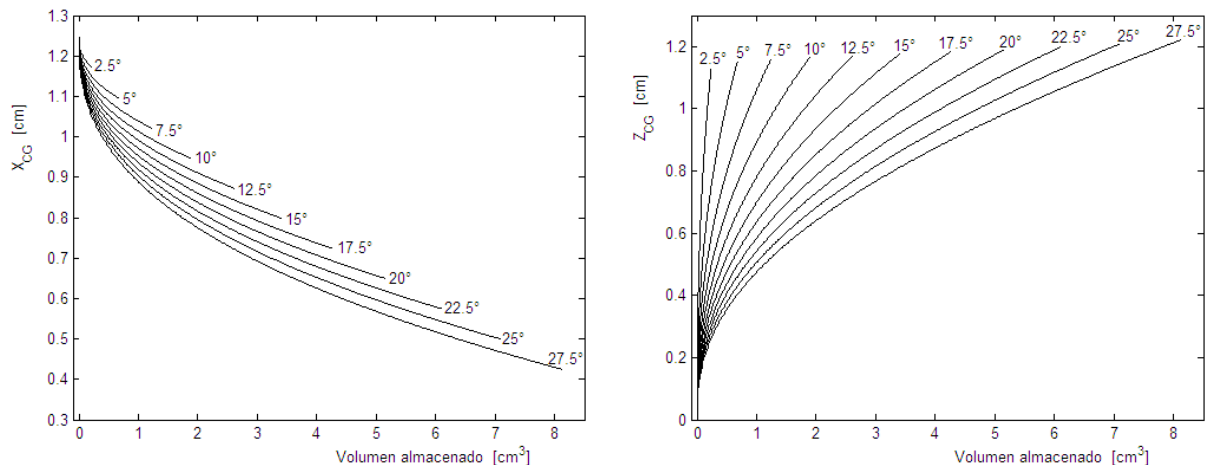


Figura 4. Cuña líquida: coordenadas del centro de gravedad.
Parámetro: ángulo de inclinación θ .

Si bien existen fórmulas cerradas para el cálculo del volumen de una cuña cilíndrica cualquiera [10], ello no ocurre para su momento de inercia. Debido a ello se han debido calcular numéricamente tanto los momentos de inercia como la posición que adopta el centro de gravedad de la cuña líquida, en función del ángulo de inclinación θ . La Fig. 3 muestra los valores calculados del momento de inercia, mientras que los gráficos de la Fig. 4 corresponden a la posición del centro de gravedad de la cuña líquida, como función de su volumen e inclinación. Estos valores, con las correcciones aportadas por el teorema de Steiner, permiten generar tablas utilizables en las simulaciones numéricas.

2.2. Cuplas

Las cuplas T_{cuerpo} , T_{regl} al ser originadas por componentes de geometría constante, dependen exclusivamente del ángulo de inclinación del dispositivo y no ofrecen dificultades para su cálculo. Se supone que el ingreso de líquido proveniente del embudo captor, es según un eje vertical que interseca al eje de rotación del pluviógrafo, por lo que no genera cupla de basculamiento.

En la (2) T_{liq} corresponde a la cupla originada por el líquido almacenado en cada cangilón, la que se calcula en base al volumen instantáneo almacenado y la correspondiente posición del centro de gravedad (Fig. 4):

$$T_{liq} = \rho g V \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ (x_o - x_{CG}) & 0 & (z_o - z_{CG}) \\ \cos \theta & 0 & \sin \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

donde

ρ es la densidad del líquido,

g la aceleración de la gravedad,

V el volumen del líquido almacenado,

x_o, z_o coordenadas del origen de la terna de la Fig. 2 respecto de la terna centrada en el eje de pivotamiento, cuyos vectores unitarios son $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$,

x_{CG}, z_{CG} baricentro del líquido (Fig.4), habiéndose definido previamente los restantes símbolos.

Durante el proceso de basculamiento, se vierte por el borde del cangilón el exceso de líquido almacenado. A los efectos de la simulación no se consideran efectos de viscosidad del líquido durante el transitorio de escurrimiento, sino solamente el momento ejercido por el peso del líquido que se derrama desde el extremo del cangilón (T_{exc}).

La cupla de tope T_{tope} , solamente se ejerce cuando el ángulo de inclinación es igual a $\pm\theta_{max}$ y la suma de las restantes cuplas actuantes tiende a hacer $\theta > \theta_{max}$ en valor absoluto. A todos los efectos se considera que el tope absorbe toda la energía cinética del cangilón en el instante del choque, suponiendo por lo tanto nulo el coeficiente de restitución de energía.

2.3. Distribución de la precipitación

La precipitación que fluye hacia los cangilones no conmuta instantáneamente de una a otra cubeta, sino que se distribuye según una función continua que depende del radio de salida (r) del embudo y su distancia (D_E) respecto del eje de pivotamiento, actuando la cresta (o unión de cangilones) como divisor de aguas entre recipientes.

La función de distribución (referida a un cangilón) que muestra la Fig. 5 ha sido calculada para $r = 3$ mm y $D_E = 35$ mm y es una curva sigmoide. Justamente en esta figura se evidencia una fuente de error de medición, ya que en la posición $\theta = 0^\circ$, donde el cangilón debiera encontrarse totalmente descargado, sigue fluyendo al mismo el 50% de la precipitación captada, la que debiera estar contribuyendo al llenado del cangilón opuesto, supuesto un funcionamiento ideal.

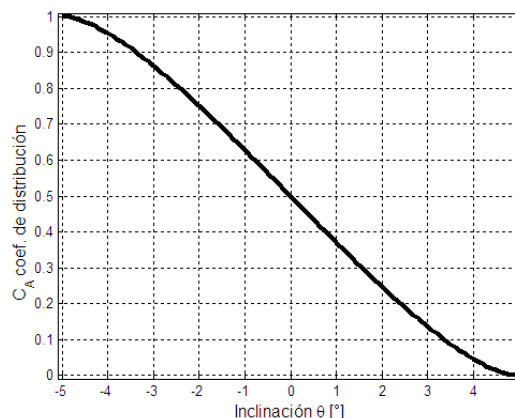


Figura 5. Coeficiente de distribución de líquido.

2.4. Simulaciones numéricas - Errores sistemáticos

Sobre la base del modelo de comportamiento discutido, se realizaron simulaciones numéricas Simulink® [7]. A título informativo se mencionará que, simulando una precipitación de 40 mm/h y ajustando el reglaje a $d_E = 0.85$ cm, se pudo determinar [1] que la duración del transitorio de basculamiento es de unos 0.8 segundos.

Por lo que hace a los errores de medición inducidos por la dinámica del dispositivo, si el instrumento fuera ideal, el basculamiento de los cangilones se produciría en forma instantánea y toda la lluvia captada se almacenaría en las cazoletas para producir el movimiento. Siendo finita la duración del desplazamiento angular, una parte del agua se pierde y no es “contada” por el instrumento. Para cuantificar este efecto se llevó a cabo un conjunto de simulaciones para diferentes regímenes de lluvia, a fin de determinar en cada caso el volumen real de agua asociado a una cangilonada y el intervalo de tiempo entre cangilones sucesivos, cuyos resultados se muestran en la Fig. 6.

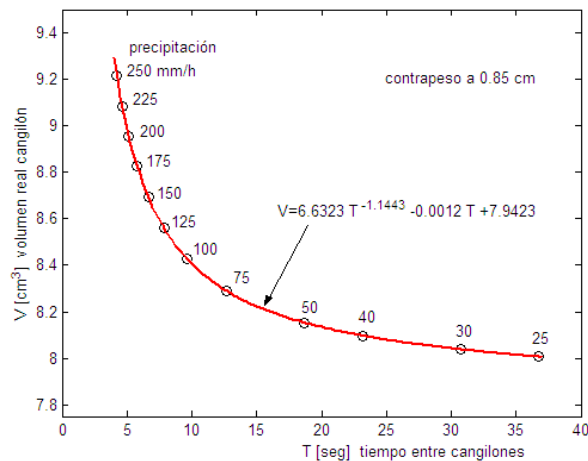


Figura 6. Volumen trasegado vs tiempo entre cangilones.

Por cierto, a cada reglaje del contrapeso corresponderá una curva particular. Para determinar una relación empírica entre volumen real (V , cm^3) y tiempo entre cangilones (T , s), se ajustó una función no lineal de la forma

$$V = b_1 T^{b_2} + b_3 T + b_4 \quad (5)$$

que para el caso particular de la Fig.6 vale:

$$V = 6.6323 T^{-1.1443} - 0.0012 T + 7.9423 \quad (6)$$

Registrando el tiempo de ocurrencia de cada basculamiento, resulta posible calcular por diferencia el intervalo entre cangilones y, aplicando la (5), deducir el volumen real de agua correspondiente, al igual que la intensidad de precipitación promediada en el intervalo. Para evaluar la efectividad de este procedimiento, se diseñó un conjunto de experimentos de simulación consistentes cada uno en generar un proceso de lluvia con una ley de variación conocida, para contrastar el volumen real de lluvia (obtenido por integración) con el volumen indicado (calculado en base al conteo de cangilones nominales) y el volumen corregido de acuerdo a los tiempos de ocurrencia empleando las expresiones empíricas (5) y (6).

La Tabla 1 ejemplifica los resultados obtenidos en uno de los experimentos de simulación (lluvia de intensidad elevada), que resultan indicativos de la bondad de la compensación de errores propuesta. Sus valores fueron calculados para una discriminación de 1ms en el registro de tiempo. No se verificaron modificaciones apreciables en los resultados que se obtuvieron truncando el registro de los eventos en la décima de segundo. Observaciones totalmente concordantes se realizaron para diversos regímenes de lluvia simulados.

Tabla 1. Simulación de lluvia

Item	valor	error
Tiempo total de lluvia simulada	3600 s	
Volumen de precipitación total simulado	5105.44 cm ³	0%
Número de cangilones contados	580	
Volumen nominal de cangilón	8 cm ³	
Volumen de precipitación nominal indicado	580×8 = 4640 cm ³	-9.1%
Tiempo medio e/ cangilones (3600/580)	$T_m = 6.207$ seg	
Volumen de cangilón corregido según (6)	$V_m = 8.756$ cm ³	
Volumen de precipitación corregido por V_m	8.756×580 = 5078.0 cm ³	-0.53%
Volumen total corregido aplicando (6) al tiempo entre cangilones sucesivos	5102.2 cm ³	-0.06%

3. REQUERIMIENTOS Y DISEÑO CONCEPTUAL

La Fig. 7 muestra a nivel de diagrama de bloques funcionales el diseño del pluviógrafo. Se diferencian claramente el instrumento mecánico de medición, la electrónica de adquisición, almacenamiento y transferencia de datos, y un dispositivo externo manual de inicialización y recolección de datos.

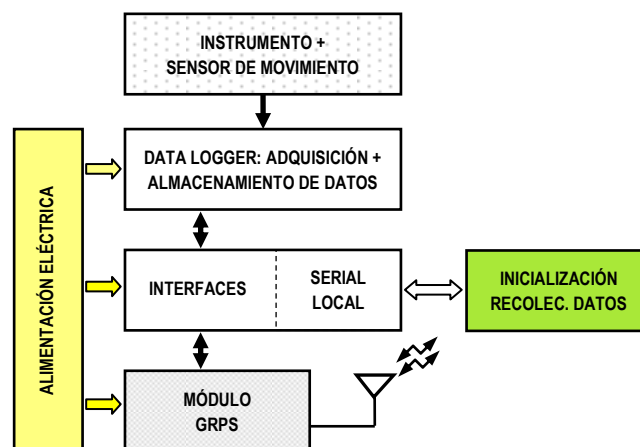


Figura 7. Diseño conceptual en bloques.



3.1. Instrumento de medición

Los requerimientos aplicables a los aspectos mecánicos del pluviógrafo, están claramente definidos por la WMO en el documento de la referencia [11]. Una resolución de 0.1 mm/hora de precipitación corresponde a una cangilonada de 4 cm³ para una apertura de captación standard de 400 cm². Además deberá ser calibrable (vía contrapeso) para lluvias mínimas de 0.2 mm/m²/hora es decir cangilonadas 8 cm³ con el objeto de determinar lluvias de elevada intensidad. El sensor de movimiento no deberá necesitar de suministro de energía para su funcionamiento (pasivo, tipo reed-switch).

3.2. Data-logger

Por lo que hace a la electrónica de captura y almacenamiento de datos asociada al pluviógrafo, es necesario destacar un requerimiento esencial: los elementos componentes empleados en su implementación (microcontroladores, memorias, interfaces, transmisores, etc.) deberán ser de muy bajo consumo, a fin de satisfacer el objetivo de que el instrumento pueda funcionar sin atención humana en localizaciones remotas durante períodos no menores de 6 meses.

El requerimiento mencionado en último término, además de acotar el rango energético de los componentes elegibles para la aplicación, conduce a diferenciar tres posibles condiciones de operación: a) el pluviógrafo se integra como uno más de un conjunto de instrumentos de una estación meteorológica, o bien forma parte de una red hietográfica urbana, en ambos casos con alimentación independiente; b) el instrumento posee una ubicación fácilmente accesible, siendo atendido periódicamente por un operador humano que recupera los datos acumulados mediante una interface local; c) el pluviógrafo requiere de teleindicación y telecomando por encontrarse emplazado en una ubicación remota, difícilmente accesible a un operador humano y debe ser alimentado con baterías recargables. Se hace aquí evidente que el módulo GRPS y su subsistema de alimentación deben considerarse como opcionales aplicables únicamente para el caso de telemedición en localizaciones de difícil acceso. De las tres situaciones expuestas, la c) corresponde al peor caso y será tomada como condición de diseño para la electrónica.

Por lo que hace a la capacidad de almacenamiento del circuito de adquisición de datos, ella debe resultar compatible con las mayores precipitaciones anuales que se desean medir. Así, para la provincia de Misiones (noreste de Argentina), donde las precipitaciones pueden alcanzar los 2500 mm anuales, la capacidad de memoria debería exceder los 25000 eventos. Cada evento deberá almacenarse en el formato mínimo *AA-MM-DD-hh-mm-ss-cc* para tener disponible la centésima de segundo, lo que impone un requerimiento a las prestaciones del reloj de tiempo real a emplear, el que por cierto deberá ser estable, sincronizable y de muy bajo consumo.

Entre las prestaciones a implementar en el módulo de adquisición se requiere el monitoreo periódico del nivel de su tensión de alimentación y si se detecta un nivel bajo se registrará fecha y hora de medición, junto con un código de error. El microcontrolador asociado ha de poseer muy bajo consumo y debe permitir el acceso/reseteo de los datos almacenados, ya sea a través de una interface serial local, o a requerimiento del módulo GPRS.

Todos los componentes electrónicos deberán tener rango de temperatura industrial (-40°C a +85°C), para garantizar el funcionamiento sin inconvenientes a la intemperie.

3.3. Módulo de teleindicación

Por lo que respecta al módulo de telecomunicaciones GPRS, el requerimiento de bajo consumo es mandatorio; deberá seleccionarse un motor de celular con modo de ahorro de energía (SLEEP), del cual podrá ser despertado por llamado desde la central colectora de datos, por alarma de baja batería (ya sea en el módulo GPRS, o en el módulo de adquisición), o bien porque la memoria disponible para registro de eventos sea inferior al 20% de la memoria total instalada.



Se deberá implementar un protocolo de intercambio de datos vía GPRS que preserve su integridad. El módulo GPRS solamente podrá comandar el reseteo de la memoria de eventos a pedido de la central de monitoreo.

Los datos transmitidos serán procesados y analizados en la central de monitoreo, en la que se encontrarán disponibles los parámetros de calibración (b_1, b_2, b_3, b_4) de la expresión (5), al objeto de recuperar los volúmenes e intensidades de precipitación registrados por el instrumento.

3.4. Dispositivo auxiliar de inicialización y recolección manual de datos

Una vez instalado el pluviómetro en el lugar de medición deseado, es necesario realizar la configuración inicial del registrador de eventos. Los datos a ingresar serán un código de identificación del instrumento, su ubicación geográfica y lo más importante, una referencia temporal o la fecha y hora para la medición de los eventos. Como se pretende construir una red de pluviómetros, e incluso integrar otros instrumentos, es de gran importancia contar con un instrumento que brinde referencia temporal y sincronización de precisión entre los diferentes dispositivos para asegurar la congruencia en los posteriores análisis de datos.

El dispositivo externo de inicialización y recolección de datos se concibe con la doble función de instrumento auxiliar para la instalación de los pluviómetros y a la recolección de datos adquiridos, en aquellos casos donde no se justifique emplear teleindicación. Se empleará un módulo GPS para obtener la ubicación exacta en la que se instala el pluviómetro y almacenarla como referencia en el registrador. Además, a través del GPS se obtendrá la información sobre el tiempo universal para sincronizar el reloj del sistema de adquisición. El sistema de posicionamiento global posee una precisión de un nanosegundo, siendo mucho más que suficiente para esta aplicación.

3.4. Central de recepción de datos y monitoreo

En la central de monitoreo los datos serán recibidos, verificados en su integridad y almacenados en disco rígido, sin procesar. Cada archivo de precipitaciones tendrá el mismo número de código de identificación que el pluviómetro que lo origina. El sistema contará con una tabla de pluviómetros que contendrá código de identificación de cada aparato, ubicación geográfica y sus constantes de calibración y período de vigencia de las mismas, con el objeto de facilitar el procesamiento y compensación de los datos crudos almacenados. El software de procesamiento permitirá calcular y visualizar lluvias instantáneas, precipitaciones acumuladas y demás estadísticas hietográficas

3.5. Calibración

El modelo expuesto en la Sección 2 y su simulación numérica han permitido caracterizar la influencia de la principal fuente de errores sistemáticos del instrumento. Se estableció asimismo la utilidad de un procedimiento de compensación fundado en una fórmula empírica, cuya determinación práctica requiere el empleo de un dispositivo de calibración de laboratorio que proporcione caudales de agua regulados al pluviógrafo, dentro de su rango de medición. Preferentemente el calibrador de laboratorio deberá funcionar automática o semiautomáticamente. Paralelamente, para controles de campo, se implementará un calibrador portátil del tipo de recipiente con orificio calibrado.

4. DESARROLLOS EN CURSO

Para analizar los resultados que pueden alcanzarse utilizando elementos de bajo costo, se ha realizado el prototipado del circuito data-logger, tal como se informa en [9], implementando el diagrama funcional de la Fig. 8.

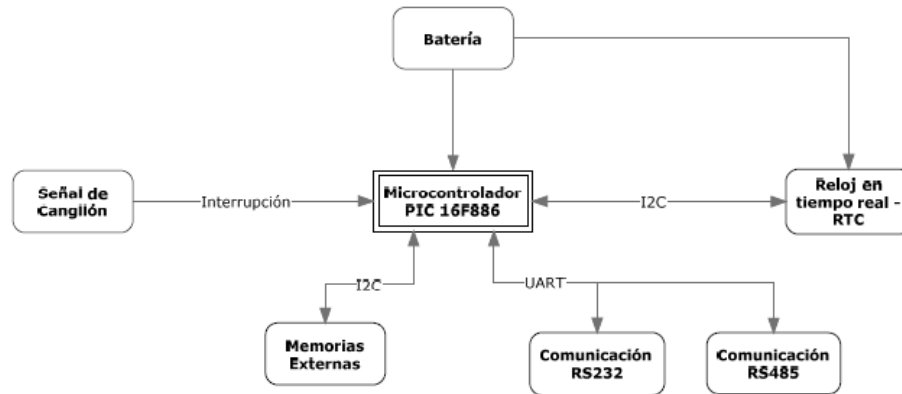


Figura 8. Diagrama en bloques del data-logger.

El módulo se diseñó alrededor de un microcontrolador de tecnología nanoWatt (Microchip PIC16F886) que posee un modo operativo de bajo consumo SLEEP o POWER DOWN. Se utilizó un reloj M41T81S (ST Microelectronics) que cuenta según lo requerido centésimas de segundo, con un modo de consumo reducido de $0.6 \mu\text{A}$. La memoria de datos se implementó utilizando circuitos 24LC512 de tecnología I²C.

Para la comunicación con el dispositivo portátil, se investigó el método de comunicación inalámbrica de corto alcance y baja potencia basado en los sistemas RFID que se comunican por acoplamiento inductivo. El prototipo desarrollado utilizó el circuito integrado EM4095 de EM-Microelectronic Marin que funciona como transceptor para estaciones base de RFID en 125kHz. Se determinó experimentalmente que la máxima tasa de transferencia alcanzable mediante este método era demasiado baja para lograr tiempos de descarga de datos aceptables, con lo cual se descartó la comunicación inalámbrica de este tipo. Se verificó que otras tecnologías, como bluetooth o zigbee, incrementaban en exceso la demanda energética del sistema. Finalmente se decidió implementar una interfaz RS232, utilizando componentes de bajo consumo, para obtener tasas de transferencia aceptables sin incrementar el consumo general del registrador de eventos.

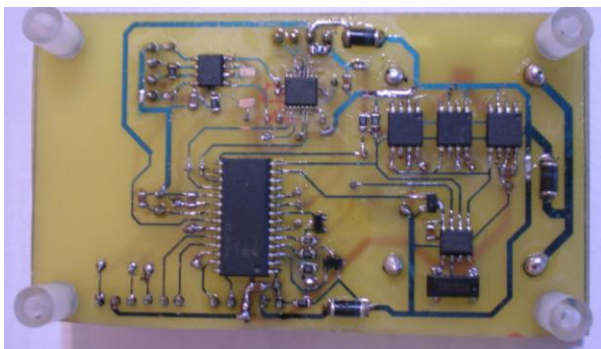


Figura 9. Vista inferior.

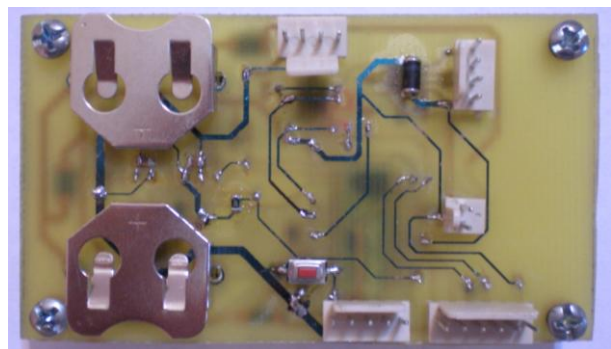


Figura 10. Vista superior del data-logger prototipo.

Se implementó un prototipo funcional del data-logger, que se muestra en las Figuras 9 y 10; este prototipo se utiliza para el desarrollo y verificación de los distintos módulos de software involucrados en el sistema. Paralelamente, se están realizando ensayos sobre un prototipo del módulo GRPS. En este caso el diseño se realiza alrededor de un motor de celular QUECTEL M-10 gobernado por un

Tercer Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica

III CAIM 2012



microcontrolador ARM de 32 bits, cuya selección ha sido motivada por un criterio exclusivamente académico.

Finalmente, se está completando el software de interrogación, procesamiento y presentación de datos pluviométricos en página web para la central de monitoreo, habiéndose ya realizado algunas pruebas de funcionamiento.

5. REFERENCIAS

- [1] Cova W.J.D., Carrara S.D. et al, 2010: "Modelado y Simulación de un Pluviógrafo a Cangilones". *AADECA 2010 – Semana del Control Automático – XXII° Congreso Argentino de Control Automático*. 31 de Agosto al 2 de Septiembre de 2010 – Buenos Aires, Argentina.
- [2] Dodge F.T., 2000: *The New "Dynamic Behavior of Liquids in Moving Containers"*. Southwest Research Institute. San Antonio, Texas.
- [3] Houghton D. D., 1985: *Handbook of Applied Meteorology*. John Wiley and Sons. New York.
- [4] Humphrey M.D., Istok J.D., Lee J.Y., Hevesi J.A. y Flint A.L., 1997: "A New Method for Automated Dynamic Calibration of Tipping-Bucket Rain Gauges". *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. Vol. 14, pp. 1513-1519.
- [5] Potter T. D., Colman B. R., editors 2002: *Handbook of Weather, Climate and Water: Atmospheric Chemistry, Hydrology and Societal Impact*. Wiley-Interscience. En especial Cap. 24 (Rainfall) y Parte III (Societal Impact).
- [6] Práger T., Van der Meulen J.P, 2006: *Instrument Development Inquiry, 7th Ed.* World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, Report 93, pp 48-51. Geneva, Switzerland.
- [7] Simulink® es marca registrada por The Math Works Inc., Natick, Massachussets USA.
- [8] Tinniswood A., 2001: *His Invention so Fertile: The Life of Christopher Wren*. Oxford University Press.
- [9] Vasallo C., Rubio A. et al., 2011: "Desarrollo de Pluviógrafo a Cangilones: Sistema de Adquisición". *EnIDI 2011 - Sexto Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería*. Los Reyunos, San Rafael, Mendoza, Argentina, 10 a 13 de Mayo de 2011.
- [10] Weisstein E.W., 2009: "Cylindrical Wedge". From *MathWorld* –a Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/CylindricalWedge.html>.
- [11] WMO, 2008: *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. WMO-No. 8, Seventh edition. World Meteorological Organization Ginebra, Suiza. ISBN 978-92-63-10008-5. *Annex 1.B. Operational measurement uncertainty requirements and instrument performance*. pp. I-1.19 a I-1.24.

Reconocimientos

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto Interfacultades código IFN-1278, financiado por la Universidad Tecnológica Nacional, en el que intervienen las Facultades Regionales La Rioja y Córdoba. Los autores agradecen la colaboración de los Ingenieros Carlos L. Britez, Rafael G. Bustos y Humberto E. Marinelli y a los alumnos Andrés Cozzolino, Pablo Sonzini, César Vasallo, Agustín Rubio y Juan Bolzetta, por los aportes realizados en diferentes áreas del proyecto.

C-003 enviado por sistema 01/06/2012 hora 01:45