



Empleo de sumadores electrónicos en lisímetros de pesada de varias de células de carga

Laura Ávila-Dávila¹, Manuel Soler-Méndez², Leandro Ruiz-Peñalver², Carlos F. Bautista-Capetillo¹, José M. Molina-Martínez²

¹ Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Autónoma de Zacatecas, Campus UAZ Siglo XXI, Carretera Zacatecas-Guadalajara Km. 6, Ejido la Escondida, C.P. 98160 Zacatecas, México;

laura_14avila@uaz.edu.mx; baucap@uaz.edu.mx

² Grupo de I+D+i Ingeniería Agromótica y del Mar. Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Ángel s/n Ed. ELDI, 30202 Cartagena, España; manuel.ia@agrosolmen.es; josem.molina@upct.es

Resumen: Los lisímetros de pesada son los equipos más precisos que existen en la actualidad para conocer el consumo de agua de los cultivos. Hasta el momento, estos equipos solo han estado disponibles en centros de investigación, ya que eran muy costosos y requerían de una gran infraestructura. Mediante modelos matemáticos y sensores calibrados a partir de los datos proporcionados por estos equipos, se ha intentado extrapolar los datos para ayudar a los agricultores a estimar las necesidades de agua de sus cultivos, aunque en la mayoría de los casos suelen diferir de las necesidades reales. En los últimos años, se han realizado enormes avances que están permitiendo incorporar esta tecnología en parcelas comerciales. Para ello, ha sido necesario reducir el tamaño de los equipos, además de abaratar enormemente los costes para que se amortice en poco tiempo. La medida del peso se lleva a cabo con células de carga. Cuando se pretende compensar la temperatura, las células de carga emplean cuatro galgas extensiométricas, las cuales se ubican a ambos lados del bloque metálico para conocer su deformación. La deformación producida es proporcional al peso aplicado, la cual se transforma en una señal eléctrica medible, conectando las galgas dentro de un puente de Wheatstone. Los cuatro hilos obtenidos del puente, dos de alimentación y dos de señal de salida, pueden conectarse directamente a un datalogger con suficiente resolución o a un indicador de pesada. El recipiente donde se aloja el cultivo, se apoya sobre 4 células de cargas, lo que implica disponer de: a) varios datalogger, b) un datalogger con multiplexor o c) 4 indicadores de pesada conectados a un datalogger. En los tres casos se realizaría la medida de forma individual y la suma por software. Otra forma de conocer el peso global del cultivo, utilizando un único datalogger o indicador de pesada, es mediante el empleo de un sumador electrónico. En los sumadores electrónicos se conectan todas las células de carga en paralelo y se regulan mediante potenciómetros de precisión. De esta forma conseguimos sumar todos los pesos y utilizar un único canal para la medida global del recipiente de cultivo (RC). Este sistema ha permitido resolver de una forma más económica y con la misma precisión, la medida del peso del RC.

Palabras clave: adquisición de datos, datalogger, conexión de dispositivos

1. Introducción

Un conocimiento preciso de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), requerimiento hídrico del cultivo, es el punto de partida para mejorar la eficiencia del uso del agua y la optimización de la producción del cultivo [1, 2, 3]. Sin embargo, determinar la ET_c de manera directa es complejo y difícil, por lo que métodos numéricos han sido desarrollados basados en información climática

y agronómica, como el método estándar establecido en la publicación no. 56 de la FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) que involucra el cálculo de ET_c de una superficie de referencia (ET_o) basado en variables climáticas para conocer la demanda de evaporación de la atmosfera y ajustar este valor con un coeficiente de desarrollo del cultivo (K_c), el cual representa el resumen de las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de cultivo de referencia [4].

Estos métodos algunas veces son mejorados con ayuda de estaciones agroclimáticas y sensores de suelo (midiendo temperatura, humedad y conductividad) para determinar modelos de riego más exactos. Esto ha permitido el monitoreo directo o indirecto los proceso involucrados en la ET del cultivo, midiendo las necesidades de agua de un grupo de plantas y extrapolándolas a la planeación del riego del cultivo entero [5]. Otra forma de lograrlo es a través del uso de lisímetros, considerado como la herramienta estándar de medición directa del requerimiento hídrico del cultivo [6].

Los lisímetros pueden ser volumétricos y de pesada, el primero calcula la ET como un residuo de la medición de otros componentes del balance hídrico del suelo incluyendo las entradas de agua (en forma de precipitación y de riego), salidas (en forma de agua drenada y por ET) y cambios en el almacenamiento suelo-agua de un perfil de suelo contenido en un recipiente. En cambio, el lisímetro de pesada mide directamente las variaciones de masa de un perfil de suelo en tiempos cortos y destaca por su exactitud, precisión y fácil operación [1, 5, 10, 12, 13, 14]. La variación de la masa es recolectada en forma de señales eléctricas por el sistema de adquisición de datos desde las células de carga [7].

Este instrumento ha sido usado para verificar métodos de ET_o en áreas locales, procedimientos de balance de energía, el desarrollo de funciones para el K_c en cultivos específicos y evaluar otros métodos directos de mediciones de ET [6, 8]. Esto no significa que estén libres de errores por lo que deben ser sometidos a un proceso de calibración y hacer una correcta representación de las condiciones de campo donde será instalado [1, 2, 7, 12, 13] para evitar interpretaciones inconsistentes en los valores de ET y lograr una fácil operación, especialmente en tiempos cortos [15].

Una alta resolución en las mediciones de las variaciones mínimas de la masa en los lisímetros de pesada requiere de una buena interacción entre el área del lisímetro, sistema de pesado y sistema de adquisición de datos, por lo que es necesario el uso de dispositivos mecánicos, circuitos eléctricos y hacer un mantenimiento regular [16, 17]. Todo esto implica un alto costo en términos de compra, operación y mano de obra. Avances tecnológicos en la electrónica, en equipos de adquisición de datos y células de carga han permitido cambiar el tamaño, costo, exactitud y confiabilidad de los lisímetros [1].

El recipiente donde se aloja el cultivo, se apoya sobre 4 células de cargas, lo que implica disponer de: a) varios datalogger, b) un datalogger con multiplexor o c) 4 indicadores de pesada conectados a un datalogger. En los tres casos se realizaría la medida de forma individual y la suma por software. Otra forma de conocer el peso global del cultivo, utilizando un único datalogger o indicador de pesada, es mediante el empleo de un sumador electrónico. En los sumadores electrónicos se conectan todas las células de carga en paralelo y se regulan mediante potenciómetros de precisión. De esta forma conseguimos sumar todos los pesos y utilizar un único canal para la medida global del recipiente de cultivo (RC). Sin embargo, al hacer uso de dataloggers y multiplexores para la recopilación de datos puede afectar la precisión y resolución de las células de carga [14, 17].

Al respecto, Payero e Irmak (2008) y Misra et al., (2011) al evaluar sus respectivos lisímetros encontraron que la resolución global de los lisímetros puede variar considerablemente dependiendo de la capacidad del sistema de adquisición de datos elegido. De igual manera, Amaral et al., (2018) evaluaron diferentes sistemas de medición de peso de un lisímetro encontraron que los errores e incertidumbre más bajos fue cuando las células de carga eran

conectadas a un sumador electrónico y ésta última a un módulo indicador en una configuración de 6 hilos. El peor sistema fue cuando las células fueron conectadas directamente al datalogger.

El objetivo de este estudio fue evaluar los diferentes sistemas de conexiones posibles entre las células de carga donde se apoya el recipiente de cultivo en un lisímetro y el dispositivo de adquisición de datos y determinar cuál es el que presenta una mejor relación calidad/precio para la recolección de datos.

2. Materiales y métodos

En esta sección se presenta una descripción y caracterización de herramientas que poder ser utilizadas en los diferentes sistemas de conexiones para hacer la adquisición de datos de las células de carga. Además, de metodología para la calibración de las mismas.

2.1. Descripción herramientas utilizadas

En la siguiente Tabla (1) son mostradas las características de dispositivos usados en los diferentes sistemas de conexión. La caja de suma considerada, corresponde al modelo 89053 de la marca UTILCELL de plástico hermética de hasta 4 células, que permite la conexión en paralelo de las células, consigue sumar todos los pesos y utilizar un único canal para la medida global del recipiente. Además, cuenta con un ajuste fino en las esquinas (potenciómetros de precisión).

Tabla 1. Características de los dispositivos utilizados en la adquisición de datos.

Características	Dispositivos		
	Datalogger CR300 (Campbell Scientific®)	Multiplexor AM1632 (Campbell Scientific®)	Indicador y transmisor de alta velocidad, SWIFT (UTILCELL)
Entradas análogas	6 individuales o 3 diferenciales	16 a 33	
E/S digitales	7		3
Convertidor analógico-digital	24 bits		24 bits
Voltaje de alimentación	16 a 32 Vdc	9.6 a 16 Vdc	12 a 24 V
Voltaje de entrada	-100mV a +2500mV		±3,9 mV/V
Protocolos de comunicación	PakBus, Modbus, DNP3, SDI-12, TCP, entre otros.		Mobdus RTU, ASCII, Profibus, Profinet

2.2 Descripción de los sistemas de conexión

Las diferentes conexiones posibles para la adquisición de datos de las cuatro células de carga necesarias son:

- SC1, cuatro células de carga + dos datalogger
- SC2, cuatro células de carga + cuatro indicadores de pesada + datalogger.
- SC3, cuatro células de carga + multiplexor + datalogger.
- SC4, cuatro células de carga + una caja suma + datalogger.

2.3 Procedimiento de calibración

La calibración de las células de carga puede ser realizada con base al método de los seis puntos, el cual demostró ser el más preciso en [17]. El procedimiento consiste en medir la señal de salida en mV V⁻¹ contra la carga en g con aumento de carga a partir de cero y disminución de carga a partir de la carga máxima y obteniendo la ecuación de calibración lineal. De aquí es conocido la pendiente única de las células de carga (sensibilidad) y el coeficiente de ajuste (coeficiente de determinación). Los aumentos de carga deben ser realizados con pesas de valor conocido.

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis de costos

La Tabla 2 muestra el costo total por tipo de conexión que puede ser realizada para la adquisición de datos de las cuatro células de carga del lisímetro de pesada.

Tabla 2. Tabla de costos.

Sistema de conexión	Dispositivos utilizados	Costo total
SC1	2 datalogger CR300	2.600 € +IVA
SC2	1 datalogger CR300 4 indicadores SWIFT	2.100-2.500 € +IVA
SC3	1 datalogger CR300 1 multiplexor AM1632	1.900-2,100 € +IVA
SC4	1 datalogger CR300 1 caja suma	1.330-1,360 € +IVA

Analizando las ventajas e inconvenientes de los posibles sistemas de conexión de las células al dispositivo de adquisición de datos, puede ser notado que utilizar una caja de suma es más económico que usar dos o más datalogger o indicadores SWIFT y después ir directamente al datalogger. Además, como la caja de suma trabaja en paralelo sumando todas las células de carga entrantes y cuya única salida es de seis hilos, así que no hay caída de tensión por lo que las mediciones de pesaje no son afectadas en precisión. Como la caja suma cuenta con potenciadores, se puede ir calibrando una célula de carga a la vez y hacer un ajuste fino del peso medido, debido a los desajustes de sensibilidad entre las células.

El usar dos o más datalogger e indicadores es por el limitante número de canales análogos de entrada con los que cuentan, si se desea adquirir un dispositivo con más canales disponibles supone un costo más elevado. Así que la solución más viable económicamente es el uso de un sumador electrónico, como la que es propuesta aquí.

La segunda opción más económica es el uso de un multiplexor, que al igual que la suma de caja tiene varias entradas, en las que es posible conectar las cuatro células de carga del lisímetro de pesada y tener una única salida de las mismas. La ventaja de este dispositivo es que, si es posible disponer de los datos individuales o en conjunto de las células de carga, según se elija.

4. Conclusiones

Existen diferentes configuraciones para llevar a cabo la medición del conjunto de células de cargas que soportan el recipiente de cultivo de los lisímetros de pesada. Aunque existen pequeñas diferencias en la precisión de las medidas, atendiendo a la relación calidad/precio se recomienda el empleo de sumadores electrónicos. Además, gracias a los potenciadores con lo que cuenta la

caja de suma se puede hacer un ajuste fino de las células de carga una a una, por lo que se puede compensar la precisión de medición en comparación con los otros sistemas de conexión. Uno de los inconvenientes de este sistema cabe destacar que no es posible disponer de los datos individuales de cada célula de carga, si se pretende realizar un seguimiento individualizado.

5. Agradecimientos

Al Proyecto de Investigación y Desarrollo con referencia IDI-20190146, titulado “Desarrollo e implantación de un equipo de ferticontrol por lisimetría de pesada para uso en agricultura intensiva”, en colaboración con la empresa AGROSOLMEN, S.L., cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Operativo Plurirregional de España 2014-2020.

Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP) y al Centro Regional de Estudios del Agua (CREA), por su colaboración para realizar esta investigación.

Referencias

1. Fisher, D. K. Simple weighing lysimeters for measuring evapotranspiration and developing crop coefficients. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2012, 5(3), 35-43.
2. Lorite, I. J., Sants C., Testi L., and Ferers E. Design and construction of a large weighing lysimeter in an almond orchard. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2012, 10(1), 238-250. ISSN 2171-9292.
3. Ruiz-Peñalver, L., Vera-Repullo, J., Jiménez-Buendía, M., Guzmán, I., Molina-Martínez, J. Development of an innovative low cost weighing lysimeter for potted plants: Application in lysimetric stations. *Agricultural water management*. 2015, 151, 103-113.
4. Allen R G, Periera L S, Raes D, Smith D. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. United Nations Food and Agriculture Organization. 1998.
5. Jiménez-Buendía, M., Ruiz Peñalver, L., Vera-Repullo, J. A., Intrigliolo-Molina, D. S., Molina-Martínez, J. M. Development and assessment of a network of water meters and rain gauges for determining the water balance. New SCADA monitoring software. *Agricultural Water Management*. 2014, 151.
6. Libardi, L.G.P., de Faria, R.T., Dalri, A.B., Rolim, G.D., Palaretti, L.F., Coelho, A.P., Martins, I.P. Evapotranspiration and crop coefficient (Kc) of pre-sprouted sugarcane plantlets for greenhouse irrigation management, *Agricultural Water Management* 2019, 212: 306-316.
7. Amaral, A. M., Cabral Filho, F. R., Vellame, L. M., Teixeira, M. B., Soares, F. A., & dos Santos, L. N. Uncertainty of weight measuring systems applied to weighing lysimeters. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018, 145, 208-216.
8. Jiménez-Carvajal, C., Ruiz Peñalver, L., Vera-Repullo, J.A., & Jiménez-Buendía, M., Antolino-Merino, A., Molina-Martínez, J.M. Weighing lysimetric system for the determination of the water balance during irrigation in potted plants. *Agricultural Water Management*. 2017, 183, 78-85.
9. Payero, J.O. & Irmak, S. Construction, installation, and performance of two repacked weighing lysimeters. *Irrig Sci*. 2008, 26, 191-202.
10. Benli, Bogachan, Kodali, Suleyman, Ilbeyi, Adem and Ustun, Haluk. Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. *Agricultural Water Management*. 2006, 81: 358-370.
11. Liu, Xiaoying, Xu, Chunying, Zhong, Xiuli, Li, Yuzhong, Yuan Xiaohuan and Cao, Jingfeng. Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. *Agricultural Water Management*. 2017, 184: 145-155.
12. Allen, R. G., & Fisher, D. K. Low-cost electronic weighing lysimeters. *Transactions of the ASAE*. 1990, 33(6), 1823-1833.
13. Iael Raij, Alon Ben-Gal, and Naftali Lazarovitch. Soil and irrigation heterogeneity effects on drainage amount and concentration in lysimeters: A numerical study. *Agricultural Water Management*. 2018, 195, 1-10, ISSN 0378-3774.
14. Evett SR, Mazahrih NT, Jitan MA, Sawalha MH, Colaizzi PD, Ayars JE. A weighing lysimeter for crop water use determination in the Jordan valley, Jordan. *Transactions of the ASABE*. 2009, 52: 155-169.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

15. Mariano, Daiane de Cinque, Faria, Rogério Teixeira de, Freitas, Paulo Sérgio Lourenço de, Lena, Bruno Patias, and Johann, Andre Luiz. Construction and calibration of a bar weighing lysimeter. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2015, 37(3), 271-278.
16. Bello, Z.A., and Van Rensburg, L.D. Development, calibration and testing of a low-cost small lysimeter for monitoring evaporation and transpiration. *Irrigation and Drainage*. 2017, 66 (2): 263-272.
17. Misra R.K., Padhi J., Payero J.O. A calibration procedure for load cells to improve accuracy of mini-lysimeters in monitoring evapotranspiration. *Journal of Hydrology*. 2011, 406, 113-118.