

UN EQUIPO PARA MEDIDAS DE DESAGÜE Y MUESTREO DE ESCORRENTÍA EN PARCELAS EXPERIMENTALES

I. Llanos Triviño

IFAPA, CENTRO DE CORDOBA
Área de Producción Ecológica y Recursos Naturales
Apdo. 3092, 14080 Córdoba, España
ignacio.llanos@juntadeandalucia.es

Resumen: Se describe un sistema colector de muestras para la medida cualitativa de escorrentía superficial en pequeñas parcelas experimentales. El equipo permite complementar aforadores de tipo volumétrico con el fin de poder recoger muestras de vertido. El control de las operaciones de muestreo se realiza automáticamente por medio de un módulo, cuyo programa de ejecución en diagrama de bloques se detalla en el trabajo y con el que pueden realizarse de forma rápida y sencilla los ajustes de los parámetros de control (frecuencia de muestreo, volumen y número de muestras). El diseño utilizado permite almacenar hasta 16 muestras, con un tamaño mínimo de muestra de 15 ml para un volumen de basculación de 662 ml. Se describen a su vez, distintas alternativas de mejora tras un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de comportamiento. El sistema está alimentado eléctricamente por una batería de 12V en carga permanente por medio de un panel solar.

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre escorrentía y drenaje causados por la lluvia o el riego suelen utilizar aforadores volumétricos para medir la cantidad de agua escurrida o drenada. En ocasiones, interesa conocer, además de la cantidad del agua que el suelo es incapaz de almacenar, los efectos que ocasiona ese exceso (arrastre de suelo, lavado de abonos, herbicidas, etc.). En estos casos, es necesario complementar los equipos convencionales con sistemas de muestreo (Salehi *et al.*, 1997; Zhao *et al.*, 2001) mediante los cuales se puedan recoger periódicamente fracciones del agua escurrida para su posterior análisis. Con el equipo que se describe en este trabajo, se puede, de forma simultánea, medir el volumen de escorrentía y recoger muestras de la misma a lo largo de un episodio de control. El sistema diseñado toma como base un aforador volumétrico de tipo basculante similar al utilizado por otros anteriores (e.g. Khan y Ong, 1997), al que se le ha añadido los componentes de toma y de almacenamiento de muestras.

DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Un aforador de tipo basculante es un sistema equilibrado formado por dos recipientes iguales

unidos entre sí, soportado por un eje sobre el que bascula cuando en cada uno de ellos y de forma alternativa (proceso carga-descarga) se almacena un determinado volumen de agua procedente de la escorrentía o drenaje (Figura 1).

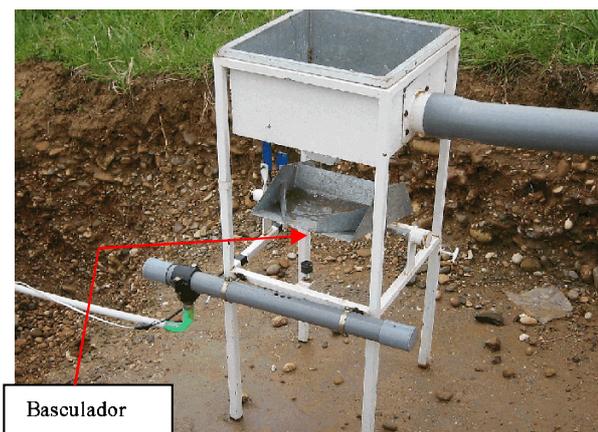


Figura 1. Mecanismo basculador con bandeja colectora

Mediante el conteo del número de basculaciones con un mecanismo sensor-contador (Figura 2), se deduce el volumen de escorrentía total. Si se hace un registro mediante un colector de datos se pueden conocer valores puntuales de dre-

naje o escorrentía en tiempo real. El esquema de una unidad básica de este tipo puede verse en la Figura 3.

Ocurre a veces que, en estudios de este tipo, interesa conocer lo que la lluvia o riego excesivo arrastra consigo: partículas de suelo en suspensión, fertilizantes, pesticidas, herbicidas, etc. En estos casos, el sistema clásico de control volumétrico debe complementarse con un componente que permita tomar y almacenar muestras para su posterior análisis.

En la Figura 4 se representa el esquema de un sistema colector desarrollado en este trabajo, en el que cabe destacar los siguientes aspectos:

1. Se ha optado por un soporte de recipientes de muestras estático, al contrario de

otros modelos (Allen *et al.* 1976) siendo la parte móvil del equipo el distribuidor de muestras.

2. Se utiliza un solo conducto de distribución en vez de un conducto por envase de muestreo (Salehi *et al.*, 1997).
3. Un módulo programador controla las operaciones de los distintos componentes, simplificando el conexionado de elementos y permitiendo el ajuste de forma rápida y precisa de los parámetros de ejecución (número y volumen de muestras e intervalo de muestreo).
4. La energía eléctrica necesaria procede de una batería de 12 V alimentada por un panel solar.



Figura 2. Basculador con sensor de proximidad

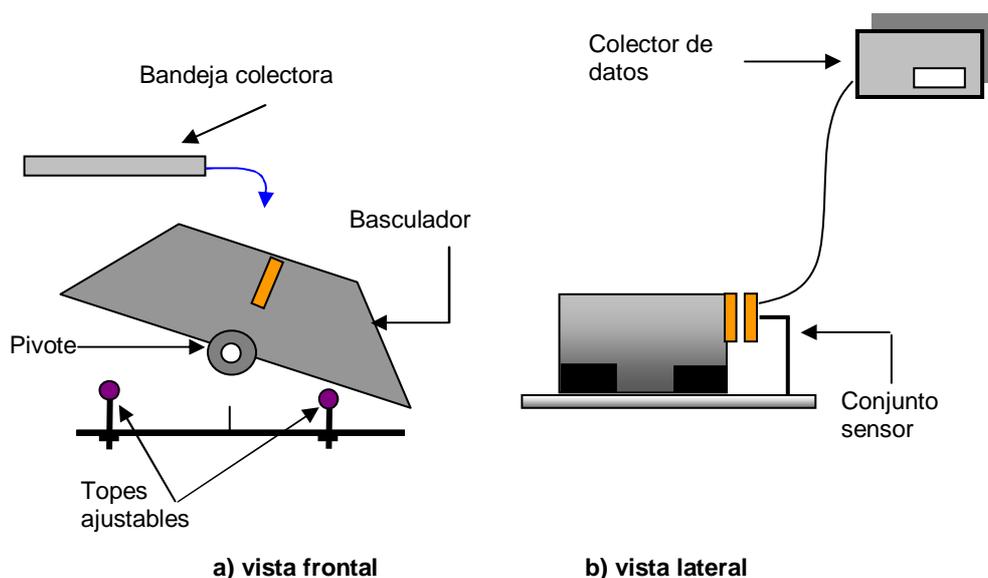


Figura 3. Esquema de un medidor basculante de escorrentía (dibujo sin escala)

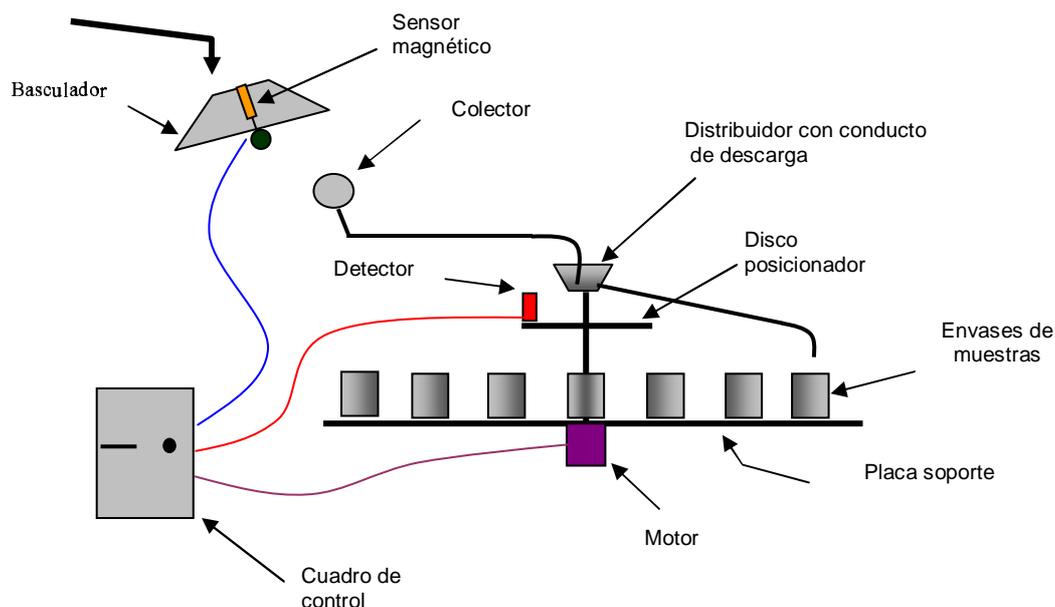


Figura 4. Equipo de muestreo (dibujo sin escala)



Figura 5. Vista general del sistema colector

La Figura 5 muestra un detalle del equipo. En el centro se pueden apreciar las placas posicionadoras (pintadas en azul) sobre un disco de metacrilato.

FUNCIONAMIENTO

Cada vez que el agua de escorrentía o drenaje recogida en uno de los compartimentos del basculador alcanza un volumen determinado, que depende del tamaño de los mismos y del ajuste del ángulo de giro (α en Figura 6), se produce

una basculación. Parte del volumen volcado es recogido por un colector de muestras formado por un tubo de PVC de 40 cm de longitud y 5 cm de diámetro (Figura 7) al que se le han practicado, en este trabajo, tres orificios de 10 mm de diámetro en la parte superior. Las fracciones de la escorrentía recogidas por el colector, cuyo volumen depende del número y diámetro de los orificios, se envían por medio de un distribuidor giratorio a una serie de envases de muestras para su almacenamiento. Los recipientes, de 200

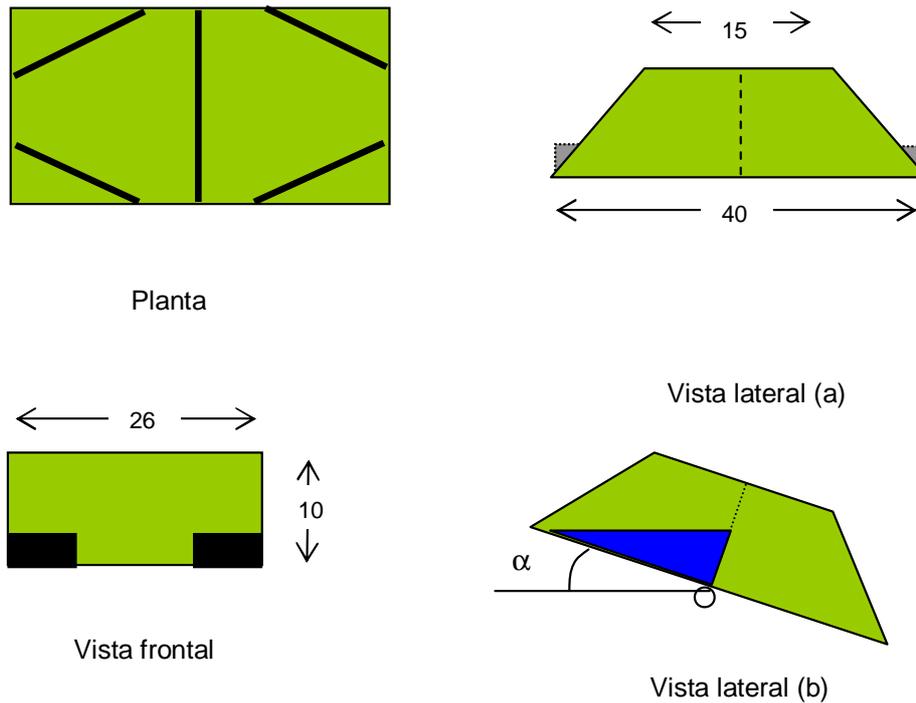


Figura 6. Geometría del aforador (medidas en cm)



Figura 7. Colector de muestras

ml de capacidad y en número de 16, están repartidos a lo largo del perímetro de una plataforma circular de 75 cm de diámetro. El giro del distribuidor se realiza por medio de un pequeño motorreductor cuya velocidad angular se ajusta por medio de un regulador. Cuando se alcanza un volumen de muestra en un envase, fijado en función del número de pulsos de basculación (para un diámetro y número de orificios determinados del colector), el distribuidor gira un ángulo fijo

para situarse sobre el envase siguiente.

Cuando todos los envases han recogido muestras, el distribuidor permanece en reposo hasta que el sistema operativo sea reiniciado. La situación del tubo de descarga del distribuidor sobre el envase correspondiente se realiza por medio de la detección con un sensor de proximidad de tipo inductivo de una serie de placas metálicas (tantas como envases de muestras) situadas sobre un disco de material plástico y de 25 cm

de diámetro, solidario al eje del motorreductor (Figura 5).

Las medidas del basculador utilizado se indican en la Figura 6 y fue desarrollado en un trabajo anterior (Prieto, 2003). Sus dimensiones están en relación con los caudales estimados de vertido, de tal forma que el tiempo entre basculaciones esté por debajo del minuto (Tabla 1) para evitar sedimentación de partículas finas (Barfield *et al.*, 1986). Para facilitar el arrastre de sólidos en cada basculación, se aumenta la velocidad de salida estrechando la boca de salida de cada compartimiento mediante dos láminas convergentes. Los caudales de vertido dependerán del tipo de suelo, pendiente, estado previo de humedad, intensidad y duración de la lluvia o riego.

El calibrado del equipo muestra una relación lineal ($r^2 = 0,96$) entre el volumen de basculación y el caudal de vertido según la ec.(1) (Prieto, 2003):

$$Vb = 662.87 + 0.03167 * Q \quad (1)$$

siendo Vb , volumen de basculación en ml y Q , caudal de vertido en $\text{ml} \cdot \text{s}^{-1}$.

Descripción de la secuencia operativa

Todo el proceso operativo se controla por medio de un programador Siemens 0BA5-12/24RC, siguiendo las instrucciones de un programa lógico en diagrama de bloques que se muestra en la

Figura 8 y cuya secuencia operativa se describe a continuación.

Con cada basculación se produce un pulso que se envía a la entrada $I1$ del programador y es almacenado en un *contador* (B01). Cuando se alcanza el número de pulsos establecidos (5 en el programa mostrado), por medio de la función *Set-Reset* (B03) y la lógica *OR* (B07) se pone en marcha el motor por medio de la salida $Q1$ del programador. Mediante la salida $Q3$ se envía un pulso a un colector de datos. Cuando el sensor de posición detecta la siguiente placa en el disco posicionador se genera un pulso en la entrada $I2$ de 0,05 s de duración que se envía a su vez a la entrada *Reset* del *contador de basculaciones* (B01) con lo que se detiene el motor, y a las entradas de datos de los *contadores* B02 y B06. Cuando el *contador* B02 alcanza el número de 16, a través de la función *OR* (B05) se envía una señal permanente a la entrada *Reset* de la función *Set-Reset* (B03). En esta situación, el sistema permanece en reposo hasta que mediante la entrada $I3$ se envíe una señal de *Reset* a los *contadores de envases*. Cuando se completan todos los envases, el sistema queda estacionario.

Puede ocurrir que un episodio de control no alcance el llenado de todos los recipientes. En este caso, el posicionamiento en origen del distribuidor para el siguiente muestreo se realiza manteniendo activada por medio de un pulsador la entrada $I4$ del programador, y a través

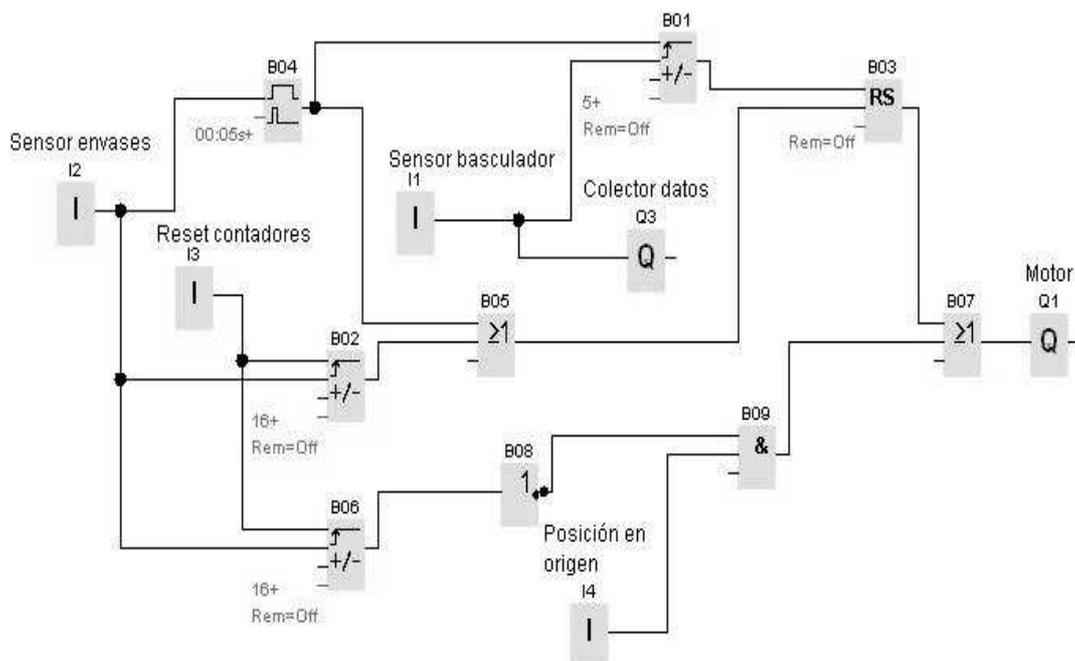


Figura 8. Programa operativo

de las puertas *AND* (B09) y *OR* (B07) se fuerza su desplazamiento, generando pulsos en *I2*. El desplazamiento continúa hasta que el *contador de envases* (B06) totalice 16 pulsos. En ese momento la función *NOT* (B08) anula la salida *AND* (B09) y por consiguiente el desplazamiento. Pulsando *I3*, se ponen a 0 los *contadores de envases*. Las operaciones de manejo se reducen a la comprobación periódica del estado de carga de la batería. Al comienzo de cada control se harán las siguientes operaciones:

1. Pulsar y mantener activa la entrada *I4* hasta situar el distribuidor de muestras al origen.
2. Pulsar *I3* para poner a cero los *contadores de envases*.

RESULTADOS

Se han realizado ensayos sobre una parcela rectangular de 5 m de anchura y 10 de fondo

en el sentido de la pendiente (15%), con suelo franco arenoso cubierto por ligera vegetación y con una lluvia simulada de $0,27\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. (Figura 9). El volumen medio por basculación con el basculador de la Figura 7 y un ángulo de basculación de 40° ha sido de 662 ml.

El colector de muestras con tres orificios de 10 mm separados entre sí 80 mm, ha recogido un volumen medio de muestreo de 15 ml, un 2,26 % del total vertido en cada basculación.

En la Tabla 1 se recogen los datos de un muestreo de escorrentía con lluvia simulada de $0,27\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ sobre suelo desnudo y ligera labor superficial. Puede verse como el ritmo de basculación, a partir de la estabilización del sistema en el minuto 126, se ha mantenido en el entorno del minuto tal y como se recomienda para evitar sedimentaciones en el basculador. El volumen de muestra se ha mantenido estable con una media de 75 ml, lo que equivale a 15 ml por unidad de muestreo.



Figura 9. Parcela de ensayo con equipo en la base

No. basculaciones acumuladas	Tiempo min	Intervalo entre muestras (min)	Volumen de muestra (ml)	Sólidos en muestras (g)	Concentración de sólidos (g/l)
10	69	69	71,28	0,60	8,4
20	99	30	81,19	0,66	8,1
30	110	11	78,17	0,99	12,7
40	126	16	67,58	1,24	18,4
50	136	10	79,96	1,21	15,1
60	146	10	83,69	1,59	19,0
70	154	8	74,65	1,27	17,0
80	164	10	72,83	1,20	16,5
90	173	9	72,01	1,18	16,4
100	183	10	69,20	1,13	16,3

Tabla 1. Datos de ensayo de muestreo de escorrentía con una intensidad de lluvia simulada de $0,27\text{m}/\text{s}^{-1}$

En general, todas las funciones secuenciales, desplazamiento y actuación de los componentes de detección han operado correctamente. No obstante, se han encontrado algunos aspectos que merecen ser comentados:

1. El sensor de posición ha tenido, aunque muy raramente, fallos en la detección de alguna de las placas del disco posicionador, lo que ha ocasionado el salto en vacío de algún envase de muestra.
2. La precisión de posicionamiento del distribuidor se ha visto afectada ligeramente a partir del cuarto envase, pero sin que la muestra se haya vertido en ninguna ocasión fuera del envase correspondiente. Pudiera ocurrir que por acumulación tras varios ensayos, el distribuidor vuelque la muestra fuera del envase.
3. El número de envases de muestra puede resultar pequeño en algunas situaciones de control.

Como solución al primer punto, se puede adoptar la de sustituir el elemento sensor por un microinterruptor mecánico conmutado por levas en sustitución de las placas. De esta forma se elimina el sensor inductivo, componente electrónico cuya distancia de captación puede verse afectada por ligeras deformaciones del disco de placas a causa de factores ambientales.

Respecto al segundo punto, la causa del desvío es la inercia de giro. Para evitar esto, es conveniente que los ajustes de velocidad del micro motor con el variador se realicen con la batería a plena carga de forma que quede fijada la velocidad de giro máxima para un funcionamiento preciso sin inercias apreciables. Antes de proceder

a un ensayo se debe comprobar el centrado del distribuidor sobre los envases. De ser necesario, se puede ajustar aflojando la tuerca de fijación del embudo distribuidor al eje del motorreductor.

En lo referente al tercer punto, pueden adoptarse dos soluciones:

1. Aumentar el número de envases de muestras, bien disminuyendo su tamaño, bien aumentando las dimensiones de la plataforma soporte. Esta solución tiene la ventaja de su fácil realización pero a costa de disminuir el volumen por muestra, o de aumentar las dimensiones del equipo, haciendo más complicado su manejo y transporte.
2. Añadir una segunda serie de envases de muestras en el interior de la serie original (Figura 10). Esta solución obligaría a modificar el distribuidor de muestras pasando a tener tres conductos, dos de ellos para enviar las muestras a cada una de las dos series de envases y un tercero como aliviadero. El llenado de una u otra serie se decide por medio de dos electroválvulas con solenoide tipo latch (cambio de estado por impulso) para minimizar el consumo de energía. El envío de las señales eléctricas a las electroválvulas se realiza por medio de un conector giratorio de tres anillos (común y señales). En el inicio del control una de ellas estaría cerrada y la otra abierta. Cuando se completa el llenado de una de las series de envases, las dos electroválvulas cambian de estado de forma simultánea.

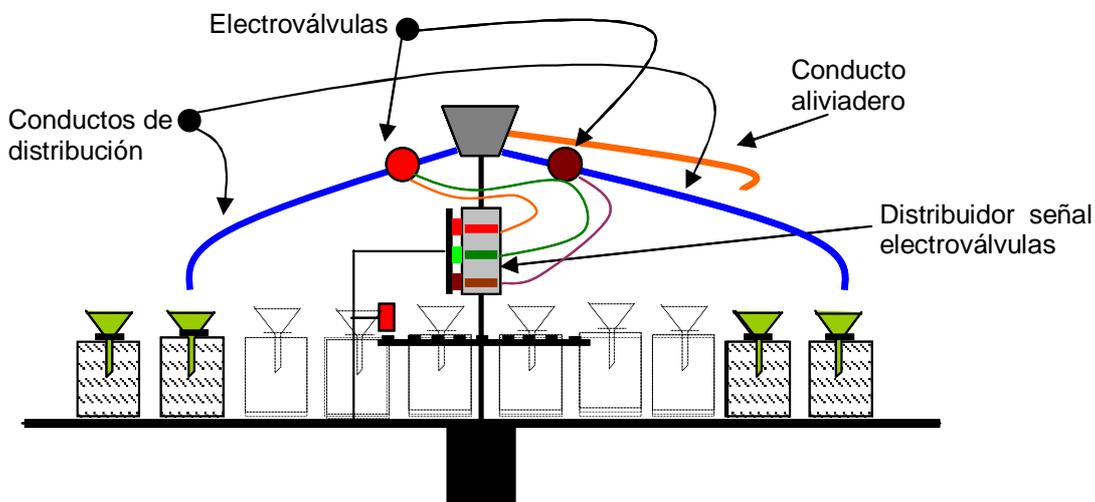


Figura 10. Detalle del sistema de doble anillo de muestras

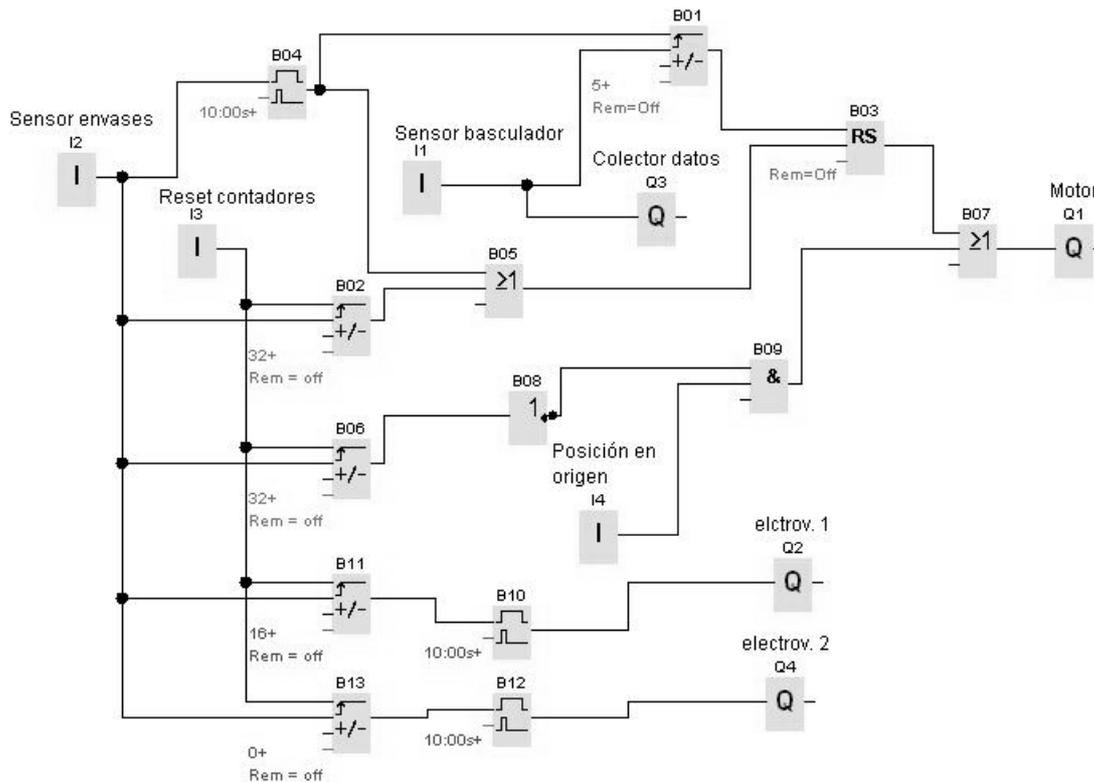


Figura 11. Programa de función para el sistema colector de doble anillo

Cuando se completa el llenado de la segunda serie el sistema queda en reposo evacuando el agua vertida en el distribuidor por un conducto aliviadero si fuese necesario. Con este diseño, el programa de función es distinto al tener que ejecutar nuevas operaciones secuenciales añadidas:

- Detección del envase final de la serie inicial.
- Cierre de la electroválvula del conducto de la salida correspondiente a la serie inicial de envases.
- Apertura de la electroválvula del conducto de salida correspondiente a la serie final de envases.
- Detección del último envase de la serie final.
- Cierre de la electroválvula del conducto de salida para la serie final.

En la Figura 11 puede verse el nuevo programa. Las secuencias lógicas añadidas son las siguientes: Los *contadores* B02 y B06 se reajustan a 32 pulsos de entrada (o tantos como envases totales entre las dos series). Se añaden dos *contadores de envases*, el B11 ajustado a 16 pulsos

de entrada, que activarán, al completar el conteo, las salidas Q2 y Q4 durante 100 ms por medio del *disparador de flanco* B10 y B12. Estas salidas enviarán el pulso de señal a las electroválvulas correspondientes del distribuidor de muestras cambiando su estado y redirigiendo el flujo de la muestra.

CONCLUSIONES

El conjunto del sistema ha tenido un buen comportamiento en general, con algunos aspectos mejorables. El dispositivo diseñado y comentado en este trabajo puede ser de gran utilidad para aquellos estudios de escorrentía en los que interese evaluar, la cantidad de los excedentes de lluvia o riego en parcelas experimentales y los efectos que ocasiona su exceso en términos de pérdida de suelo, lavado de abonos, herbicidas, etc.

REFERENCIAS

- Allen, P., Welch, N.H., Rhoades, E.D., Edens, C.D. y G.E. Miller, (1976). The modified Chickasha sediment sampler. Agricult. Research Service, U.S. Depart. Agric., ARS-S-107.

- Barfield, B.J. y M.C. Hirschi, (1986). Tipping bucket flow measurements on erosion plots. *Transaction of the ASAE* 29(6), 1600–1604.
- Khan, A.H. y C.K. Ong, (1997). Design and calibration of tipping bucket system for field runoff and sediment quantification. *J. Soil Water Conserv.*, 52(6), 437–439.
- Prieto, C., (2003). Diseño construcción e instalación de un aforador de caudal para parcelas experimentales de lluvia, escorrentía y erosión. Trabajo Profesional fin de Carrera, ETSIAM, Córdoba.
- Salehi, F., R. Lagacé y A.L. Pesant, (1997). Construction of a year-round operating gauging station for sediment and water quality measurements of small watersheds. *J. Soil Water Conserv.*, 52(6), 431–436.
- Zhao, S.L., E.C. Dorsey, S.C. Gupta, J.F. Moncrief y D.R. Huggins, (2001). Automated water sampling and flow measuring devices for runoff and subsurface drainage. *J. Soil Water Conserv.*, 56(4), 299–306.