

# Evaluación de los indicadores hidráulicos de las máquinas de pivote central eléctrica

## *Assessment indicators machines hydraulic power pivot*

Dr.C. Albi Mujica Cervantes, Ing. Maiquel López Silva, M.Sc. Dayma Carmenates Hernández, Est. Claudia Mujica Lima, Ing. Angel Rodolfo Riveron Lima  
Universidad de Ciego de Ávila, Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba

**RESUMEN:** Se exponen los resultados obtenidos de la evaluación de máquinas de pivote central eléctricas producidas por la firma Otech-Irrimec. La evolución del conjunto bomba-motor se realizó conforme a lo establecido por la ABNT (1975). Fueron medidos la potencia del motor, el caudal y la presión a la salida de la bomba. La pérdida de carga en la succión fue determinada utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach y la carga manométrica de la bomba empleando la ecuación de Bernoulli. La medición del caudal se realizó utilizando un flujómetro y la presión se determinó por un manómetro instalado a la salida de la bomba. Finalmente la energía específica requerida en los componentes de la máquina resultó del orden de los 3.52 kWh/mm/ha.

**Palabras clave:** riego, métodos, mantenimiento, aspersión, bomba.

**ABSTRACT:** We present the results obtained from the evaluation of electric center pivot machines produced by the company Otech-Irrimec. The evolution of the pump-motor assembly was performed as established by ABNT. Were measured engine power, the flow and pressure at the pump outlet. The pressure loss in the suction was determined using the Darcy-Weisbach gauge and pump load using the Bernoulli equation. Flow measurement was conducted using a flowmeter and pressure are determined by a pressure gauge at the outlet of the pump. Finally, the specific energy required by the components of the machine resulted in the order of 3,52 kWh / mm / ha.

**Keywords:** irrigation methods, maintenance, spray pump, bomb.

## INTRODUCCIÓN

Las máquinas de riego han hecho fácil y muy eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de riego no son adecuados. Se pueden aplicar riegos más frecuentes y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción. Durante las últimas tres décadas, las máquinas de pivote central se han perfeccionado mucho Camacho (1998) y Broner (2005). Son mecánicamente muy fiables y simples de operar, aunque, como cualquier maquinaria, el mantenimiento rutinario y sistemático es imprescindible. Estos equipos permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas como la aspersión tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico Keller y Bliesner (1990). Gracias a los pivotes centrales y laterales móviles automáticos, es relativamente fácil manejar los niveles de riego en forma adecuada (González, 2006). El objetivo de este trabajo es evaluar los indicadores hidráulicos de las máquinas de pivote central eléctricas

## MÉTODOS

El área de estudios está ubicada al sur de la provincia de Ciego de Ávila, municipio Venezuela, en las coordenadas X-713500-720500 y Y-216000-221500. La velocidad de infiltración estabilizada para este suelo es de 96 mm/h lo que garantiza que no se produzcan encharcamientos.

El cultivo a beneficiar es la soya (*Glycine Wightii*) como cultivo principal, en rotación con maíz (*Zea Mays*, L) los cuales se pueden sembrar todo el año, no obstante la rotación orientada es de dos siembras de soya y una de maíz al año, estos cultivos son de ciclo corto aproximadamente 4 meses (120 días).

La máquina de pivote evaluada pertenece a la firma OTECH (Pivot ST168, 2001), y posee una longitud 451 m, con altura de pivote de 2,90 m y diámetro de 150 mm, las boquillas son Spray Nelson giratorias.

En la Tabla 1 se presentan la longitud, el caudal, el área bruta y neta que cubre la máquina y las coordenadas de ubicación de la misma.

**TABLA 1. Tipos de máquinas, longitud, caudal, área bruta y neta que abarca y localización**

Máquinas	Tipo	Longitud (m)	Gasto(L/s)	Área (ha)		Coordenadas	
				Bruta	Neta	X	Y
1	OTECH	451	76,94	63,9	63,26	718 895,999	218 928,089

Se realizaron dos ensayos de campo, para determinar la uniformidad de riego. La norma utilizada para los ensayos fue la NC ISO 11545: 2005 Bremod (1995). Dichas pruebas fueron efectuadas con emisores Spray Nelson D3000K y Spray IIRD colocados a 1 m de altura y espaciamiento entre emisores es de 2.0 m. Las variantes evaluadas fueron las siguientes:

- Evaluación 1 (con Spray Nelson, 1 m de altura, con regulador de presión.
- Evaluación 2 (Spray IIRD 1 m de altura, con regulador de presión.

Para la determinación de los parámetros de la calidad del riego fueron utilizados los coeficientes de uniformidad de Heermann y Hein (1968):

$$CU_h = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n D_i |C_i - M_c|}{\sum_{i=1}^n C_i D_i} \right] \cdot 100(\%) \tag{1}$$

donde:

n – número de colectores;

C<sub>i</sub>- cantidad recogida por el colector (con i variando entre 1 y n);

D<sub>i</sub>-área regada por el colector i o distancia del centro del pivote al colector i;

M<sub>c</sub>- media ponderada de las cantidades recogidas por los n colectores y se determina por la exp. 2:

$$M_c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n C_i D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \tag{2}$$

Se utilizó además el coeficiente de uniformidad de variación según Bremond y Molle (1995), para lo cual fue utilizada la siguiente expresión 3:

$$CU_v = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{\sum C_i D_i}{D_i}} \cdot \sqrt{\frac{\sum (C_i - \sum C_i D_i)^2 \cdot D_i}{\sum D_i}} \right] \cdot 100(\%) \tag{3}$$

La uniformidad de distribución (UD) fue determinada mediante la siguiente expresión 4:

$$UD_{25\%} = \frac{Lá\ min\ a\ media\ en\ el\ 25\% \ del\ área\ menos\ regada}{Lá\ min\ a\ media\ de\ toda\ el\ área} \cdot 100(\%) \tag{4}$$

Para clasificar la calidad del riego, a partir del rango de valores del porcentaje de área regada adecuadamente (ARA), se utilizaron los siguientes indicadores:

1. Área regada adecuadamente (ARA)-CU<sub>h</sub>
2. ARA-CU<sub>v</sub>
3. ARA-UD<sub>25%</sub>

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos, para la determinación del coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein (CU<sub>h</sub>) cuyo valores variaron entre 71,2% y 82,3%, resultando el mayor valor para la variante en la que se utilizó la “boquilla difusora producida por IIRD y colocada a 1,0 m de altura, sin utilizar regulador de presión”. Los valores encontrados se aproximan al rango establecido de 85-90%, que de acuerdo con lo señalado por Tarjuelo (2005) en sus investigaciones que en estas condiciones las parcelas ha sido bien regada. Debemos además, señalar que el CU<sub>h</sub> de la variante mencionada coincide con los resultados obtenidos por Cárdenas (2000) quien alcanzó valores de 82,8%, pero con un espaciamiento menor entre emisores, señalando dicho autor que a esta variante le era posible un mayor espaciamiento. También el citado autor obtuvo los mayores valores de este parámetro con los

emisores ubicados a 1,0 m de altura. Otros autores como Tarjuelo (2005) señalan que disminuyendo la altura del emisor al suelo, pueden disminuirse las pérdidas por evaporación y arrastre, sin afectar los parámetros de calidad de riego.

En relación con la uniformidad de distribución (UD<sub>25%</sub>) se obtuvieron valores elevados como puede observarse en la variante 2 evaluada, donde el porcentaje de la lámina media del 25% del área menos regada, resultó ser uno de los que más se aproxima a la lámina promedio en toda la máquina, con valores de un 68,1%. Estos resultados también se asemejan a los obtenidos por Tarjuelo (2005) y por Montero *et al.*, (1997).

Con respecto al Coeficiente de uniformidad de variación (CU<sub>v</sub>), también la evaluación 2 posee el valor más alto con un 77,5%. Este parámetro estadístico, según Bremond y Molle (1995), está basado en el coeficiente de variación, por lo que es más sensible a las variaciones extremas de la lámina recogida por los colectores que el CU<sub>h</sub>.

Debemos señalar que un elemento importante ha considerar, es que se trabajó con una máquina de pivot central donde la pendiente del terreno es pequeña por lo que las variaciones de presión no son altas, lo que lógicamente justifica el hecho de poder obtener buenos resultados en la variante donde no se colocaron los reguladores de presión.

**TABLA 2. Parámetros técnicos y de calidad del riego, de la máquina eléctrica de Pivote Central OTECH-IRRIMEC**

Parámetros	UM	Evaluación	
		1	2
Lámina real obtenida	mm	5,9	<b>18,4</b>
Lámina del 25% de menor Pluviometría.	mm	3,7	<b>12,5</b>
Coefficiente de uniformidad (CuH)	%	71,2	<b>82,3</b>
Coefficiente de uniformidad de variación (CUV)	%	63,3	<b>77,6</b>
Uniformidad de distribución (UD25%)	%	63,3	<b>68,1</b>
Presión de trabajo	kPa	120,0	<b>160,0</b>
Velocidad del viento	km/h	7,2	10,4

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en relación al caudal, tiempo en dar una vuelta en hora, coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación del pivote evaluado.

Debemos mencionar que el efecto provocado por las pérdidas de evaporación que son causadas por el viento y los volúmenes de agua perdidos por percolación profunda debajo de la zona radicular del cultivo han sido las causas principales que han proporcionados la relativamente baja eficiencia de aplicación 78,6%. Debemos señalar que a pesar del desgaste y del uso de los emisores fuera de las especificaciones el coeficiente de uniformidad de Herman y Hein alcanzó valores de 82,3%.

**TABLA 3. Evaluación de algunos parámetros de los pivotes centrales**

Caudal, (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo de una vuelta (h)	Lámina bruta, mm	CUh, %	Eficiencia de aplicación, %**
0,077	92,0	27,2	82,3	78,6

\*\*Par 80% del área adecuadamente regada.

**CONCLUSIONES**

- De las variantes estudiadas el mejor funcionamiento se obtuvo para las condiciones de estudio con la: “boquilla difusora IIRD a 1,0 m de altura, sin regulador de presión”,

y esto lo demuestra los valores obtenidos del coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein (CUh), uniformidad de distribución (UD25%) y coeficiente de uniformidad de variación (CUV).

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. CÁRDENAS, J. F.: Estudio del uso de la boquilla difusora cubana en las máquinas de riego de pivote central, **Tesis en opción al título de Master en Riego y Drenaje**, La Habana, Cuba, 2000.
2. CAMACHO, E.; M. MARTÍNEZ y J. ROLDÁN: "Diseño hidráulico de máquinas de riego", En: *XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Oaxaca, México, 1998.
3. BREMOND, B.; B. MOLLE: "Characterization of rainfall under center pivot: influence of measuring procedure", *J. Irrig. Drain. Eng.*, 121(5): 347-353, 1995.
4. BRONER: *Center-pivot irrigation systems. [en línea]* Fort Collins (Colorado): Colorado State University Cooperative Extension, Disponible en: [www.ext.colos-tate.edu/pubs/crops/04704.html](http://www.ext.colos-tate.edu/pubs/crops/04704.html) [Consulta: mayo 18 2005].
5. GONZÁLEZ, P.: *Mejoramiento del uso y explotación de los difusores de baja presión y bajantes, en las maquinas de riego por aspersión*, Informe final. Proyecto 22-18, IIRD, La Habana, Cuba, 2006.
6. KELLER, J. & R.D. BLIESNER: *Sprinkler and trickle irrigation*. AVI Book, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
7. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *NC ISO 11545-2001: Máquinas agrícolas para riego–Pivotes centrales y máquinas de avance frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores-determinación de la uniformidad de distribución del agua*, Vig. Julio 2005.
8. MONTERO, J.; M. TARJUELO; L. TEBAR; F. LOZANO: "Análisis de la distribución de agua en riegos con equipos pivot". En: *XV Congreso Nacional de Riegos*, pp. 481-490, Lleida, España, 1997.
9. OTECH: *Nomenclatures, Píivot ST168*, Groupe IRRIMEC, Paris, France, 2001.
10. TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, 569pp., Ed. Mundi-Prensa, Tercera edición, Madrid, España, 2005.

**Recibido:** 2 de septiembre de 2012.  
**Aprobado:** 5 de septiembre de 2013.

*Albi Mujica Cervantes*, Profesor Titular, Universidad de Ciego de Ávila, Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba, Correo electrónico: [albi@ingenieria.unica.cu](mailto:albi@ingenieria.unica.cu)

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.