

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Beneficios de los motoredutores de baja potencia, en máquinas de pivote central eléctricas

Benefits of the low power center drive gearbox, in electric center pivot machines

M.Sc. Esequiel Rolando Jiménez Espinosa¹, M.Sc. Zenén Placeres Miranda¹, M.Sc. Enrique Cisneros Zayas¹,
Ing. Josemar Zanette¹¹

¹Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

¹¹Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. La introducción masiva de máquinas de pivote central eléctricas en Cuba ha obligado a que se realicen en ellos estudios técnico-económicos con vista a evaluar su desempeño. Uno de los elementos que han afectado la calidad del riego, es la alta velocidad de marcha, provocada por motoredutores de alta potencia. El objetivo del presente trabajo es *comparar las ventajas de la utilización de motoredutores de baja potencia respecto a los de alta, desde el punto de vista técnico y económico*. Los estudios se realizaron en las provincias Artemisa y Mayabeque en 88 máquinas de riego donde se realizaron mediciones de velocidad máxima en la última torre para ser procesados por el software PIVOTE. Se tomó una muestra de 10 máquinas que abarcasen todas las longitudes para determinar los parámetros de explotación para dos valores de velocidad (2 y 3 m×min⁻¹) con hidromódulo de 1,3 L×s×ha⁻¹. Finalmente se realizaron cálculos económicos para comparar dos variantes: máquinas con todos los motoredutores estándar y máquinas con motoredutores de alta con la mitad más uno y el resto con motoredutores estándar. Los resultados arrojaron que la utilización de motoredutores estándar, trae beneficios técnicos en cuanto a la explotación, ya que la máquina trabaja con un mayor rango de velocidad en porcentaje en el temporizador, trayendo consigo funcionalidad estable del equipo. Desde el punto de vista económico, constituye un ahorro de un 51% de los costos del consumo de potencia, ya que se reduce la potencia instalada y el consumo de combustible.

Palabras clave: calidad del riego, motoredutores de alta potencia, alta velocidad de marcha.

ABSTRACT. The massive acquisition of electric center pivot machines in Cuba has forced to that technician-economic studies with view to evaluate their acting are carried out in them. One of the elements that have affected the irrigation quality is the high march speed, caused by high power center drive gearbox. The objective of the present work is *to compare the advantages of the use of low power center drive gearbox regarding those of high power center drive gearbox, in the technical and economic point of view*. The studies were carried out in the Artemisa and Mayabeque provinces in 88 watering machines where mensurations of maximum speed in the last tower to be processed by the PIVOTE software were carried out. Was took a sample of 10 machines that embraces all the longitudes to determine the parameters of exploitation for two values of speed (2 and 3 m×min⁻¹) with endowment of 1,3 L×s×ha⁻¹. Finally, economic calculations to compare two variants were carried out: machines with all low power center drive gearbox and machines with high power center drive gearbox with half more one and the rest with low power center drive gearbox. The results hurtled that the use of low power center drive gearbox, will result in technical profits as for the exploitation, because the machine works with a bigger range of speed by percent in the timer, full filling stable functionality of the machine. From the economic point of view it constitutes a saving of 51% of power consumption costs, because decreases the installed power and the fuel consumption.

Keywords: irrigation quality, center drive gearbox, benefit, high march speed.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es de vital importancia el aumento de la producción agrícola, dada la demanda creciente de alimentos por la población. Uno de los factores que incide en el incremento de la producción es el riego donde el 70% del agua disponible

se utiliza principalmente para esta actividad, y aun así es insuficiente en relación con las áreas potencialmente cultivables, (Ministerio de la Agricultura, 2005). Dentro de este contexto, se impone la introducción de nuevas tecnologías, que permitan

hacer un uso eficiente del recurso agua, cada vez más escaso en muchas zonas agrícolas.

En Cuba en la década del 70 se introdujeron los primeros pivotes centrales de accionamiento hidráulico, altos consumidores de agua y energía, hoy con el desarrollo, estos sistemas de riego se han ido perfeccionando hasta la última generación donde han pasado a ser de accionamiento hidráulico a eléctrico, es por ello que la reposición aplicada a esas máquinas de accionamiento hidráulico, es un hecho importante en la política de desarrollo del riego.

Según Mujica *et al.* (2014), 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 frecuente y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción.

Sin embargo González (2003), refiere que antes de 1998 los productores de papa en Cuba no estaban satisfechos con la calidad del riego de los pivotes centrales y que para lograr una uniformidad aceptable aplicaban dotaciones mayores a las necesarias.

Por otra parte, González y Méndez (2004) plantearon hacer énfasis en el diseño agronómico e hidráulico de estos nuevos sistemas y no cometer los errores del pasado, evitando el sobredimensionamiento del sistema de riego, razón por la cual, un gran por ciento de los equipos instalados consumen más agua y energía de la necesaria, además requirieron de una inversión superior a la demandada.

En las Empresas Agropecuarias de Artemisa y Mayabeque, la modernización tecnológica generada por la reposición, originó el problema relacionado con “*la entrega insuficiente de agua necesaria para los cultivos*”, siendo la velocidad de avance en la última torre la principal causa (Placeres, 2011).

Basado en esos estudios, Loaces (2012) rectificó la velocidad de avance en la última torre en las máquinas de dos empresas agropecuarias de la provincia Mayabeque, estableciendo nuevos parámetros de explotación. Por otra parte Jiménez *et al.* (2012), han estudiado la relación entre parámetros de uniformidad de riego en máquinas de pivote central.

Analizando los aspersores utilizados en el riego (Keller & Bliesner, 1990), y desde el punto de vista mecánico los motoredutores son los elementos motrices para el movimiento de las máquinas de riego de pivote central.

Con el objetivo de ser más eficientes en la protección de las máquinas contra huracanes, se estableció que estos equipos tuvieran la mitad más uno de motoredutores de alta potencia respecto a los de baja. Sin embargo esta decisión no ha dado resultado satisfactorio ya que la explotación requiere de mayor potencia instalada con esta variante, además de que crea problemas a la hora de aplicar dosis elevadas con alta velocidad de desplazamiento.

Por lo anteriormente señalado, el objetivo de este trabajo fue comparar la utilización de motoredutores de baja potencia respecto a los de alta potencia, desde el punto de vista técnico y económico.

MÉTODOS

El estudio se realizó en las provincias Artemisa y Mayabeque a un total de 88 máquinas de riego.

Para la determinación de la velocidad máxima de avance, se realizó una revisión técnica inicial de las máquinas, con el objetivo de determinar su estado de funcionamiento. Se calculó

dividiendo espacio entre tiempo, expresado en $m \cdot \min^{-1}$, posteriormente convertido en $m \times h^{-1}$. Este valor se introdujo en una hoja de cálculo en Excel (y con todos los datos del sistema, se recalcularon los parámetros de explotación. Las fórmulas que soportan dicha hoja de cálculo se muestran a continuación:

$$Db_m = \frac{3,6 \cdot Q \cdot (6,28 \cdot R_{TF}) \cdot 10\,000}{V_{mr} \cdot \pi \cdot R_r^2} \quad (1)$$

donde:

Db_m -dosis bruta mínima (m^3/ha);

Q -caudal de la máquina (L/s);

R_{TF} -radio hasta la torre final (m);

R_r -radio de riego (m);

V_{mr} -velocidad máxima de avance medida en el campo (m/h).

$$Db_{\%} = \frac{Db_m \cdot 100}{P} \quad (2)$$

donde:

$Db_{\%}$ -dosis bruta para un porcentaje de velocidad determinado (m^3/ha);

P -porcentaje de velocidad (%).

Para analizar el comportamiento de los porcentajes del temporizador de la pizarra de las máquinas, se tuvieron en cuenta las siguientes premisas:

- Se seleccionaron 10 máquinas que abarcaron todo el rango de longitudes desde 200 m hasta 460 m.
- Se estudió el comportamiento del grupo de máquinas seleccionadas, para las velocidades de 2 y 3 $m \times \min^{-1}$, en la satisfacción de una norma neta crítica de 250 $m^3 \times ha^{-1}$. Se procedió analizando:
- tiempo en dar una vuelta, al porcentaje de velocidad que se ubica en el *Timer*, y el tiempo en horas para regar un cuadrante mediante una hoja de cálculo de Excel para los dos valores de velocidad asumida.
- comparación del comportamiento del tiempo con ambas velocidades y en el tiempo establecido de riego diario.
- Se analizó para dichas velocidades, el hidromódulo de diseño actual de 1,3 $L \times s \times ha^{-1}$, (Ministerio de la Agricultura, 2012), utilizado para la solicitud de las máquinas.

El procedimiento de cálculo que se utiliza en una hoja de Excel, para determinar lo planteado en las premisas es:

Perímetro que recorre la última torre de la máquina

$$P = 2 \cdot \pi \cdot R \text{ (m)} \quad (3)$$

donde:

R - distancia del pivote a la última torre (m).

Velocidad angular de cada una de las máquinas

$$W = \frac{V}{r} \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-1}\text{)} \quad (4)$$

donde:

V -velocidad lineal en la última torre ($m \times s^{-1}$).

Área que riega cada máquina

$$A = \pi \cdot r^2 \text{ (ha)} \tag{5}$$

donde:

r –longitud total de la máquina (m).

Desde el punto de vista económico, de las 88 máquinas se contaron un total de 477 motoredutores, y se realizaron los cálculos para dos variantes:

- Máquinas con todos los motoredutores estándar (total 477).
- Máquinas con motoredutores de alta y motoredutores estándar con el concepto de la mitad más uno, (la mitad de los motoredutores de las torres más un motoredutor, son de alta, del centro hacia la última torre, los restantes son estándar). (motoredutores estándar 172 y motoredutores de alta 305 para un total de 477).

Los indicadores que se determinaron para realizar la comparación entre las dos variantes se describen a continuación:

Potencia instalada

$$P_i = Q_M \cdot P_M \text{ (kW)} \tag{6}$$

donde:

Q_M - cantidad de motoredutores;

P_M - potencia del motoredutor (kW).

Potencia consumida en 16h

$$P_{16h} = P_i \cdot T_C \text{ (kW)} \tag{7}$$

donde:

T_C - tiempo en un cuadrante (16 h);

Potencia consumida en seis meses

$$P_{6meses} = 180 \cdot P_{16h} \text{ (kW)} \tag{8}$$

Litros diesel necesarios para un consumo de potencia de 6 meses

$$L_{6meses} = P_{6meses} \cdot L_{1kW} \text{ (L)} \tag{9}$$

donde:

L_{1kW} - litros diesel para generar 1kW (0,13) (Ministerio de la Agricultura, 2012).

Costo del consumo de potencia en 6 meses

$$C_{6meses} = P_{6meses} \cdot C_{1kW} \text{ \$ (peso)} \tag{10}$$

donde:

C_{1kW} - costo para generar 1kW, \$ (peso): \$ 0.29 (peso) (Ministerio de la Agricultura, 2012)

Costo del combustible para consumo de potencia en 6 meses

$$Cc_{6meses} = P_{6meses} \cdot Cc_{1kW} \text{ \$ (peso)} \tag{11}$$

donde:

Cc_{1kW} - costo de combustible para generar 1kW, \$ (peso): \$ 0.15 (peso) (Ministerio de la Agricultura, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los valores medios de velocidad por empresa obtenidos a partir de las mediciones realizadas. Dichos valores oscilan entre 4–5 m×min⁻¹, donde en este sentido Allen *et al.*, (2000), Uribe *et al.*, (2001) y Tarjuelo (2005), plantean que velocidades de 4,3 a 4,5 m×min⁻¹, son solo para casos específicos tales como suelos arenosos ó agrietados ó máquinas de gran longitud.

En los suelos de Mayabeque y Artemisa, en su mayoría Alíticos y Ferralíticos según Cid *et al.* (2012), se encuentra el grueso de las máquinas pivotes, donde no se recomiendan estas velocidades.

La Tabla 2 muestra el comportamiento de parámetros de explotación de las máquinas a las velocidades de 2 y 3 m×min⁻¹ para un hidromódulo 1,3 L×s×ha⁻¹.

Se ha obtenido que el mejor comportamiento en la entrega de las normas y los mejores resultados obtenidos, hayan sido con velocidades de avance por debajo de los 3 m×min⁻¹ ya que se aplica la dosis de 250 m³×ha⁻¹ sin bajar del 10% de velocidad por el temporizador (timer) de la máquina. Estas velocidades se obtienen con motoredutores estándar (36 rpm y 0,45 kW).

Aunque no se refleje en dicha tabla, en las máquinas con motoredutores de alta (68 rpm y 1,12 kW), se aplican dosis de riego irregulares por debajo del 10%, siendo un problema en la funcionalidad del temporizador que no tiene la precisión necesaria por debajo del porciento anterior.

Retomando el tema del hidromódulo, González *et al.* (2002), obtuvieron para las condiciones de Cuba valores de 1,2 L×s×ha⁻¹, para el riego con pivotes sembrados de papa en suelos ferralítico rojo, coincidiendo con los valores planteados por Sherer (1998).

TABLA 1. Relación de los valores de velocidad máxima en la última torre en máquinas de pivote central en diferentes Empresas de Artemisa y Mayabeque

Empresa Agropecuaria	Promedio de velocidad de máquinas evaluadas (m×min ⁻¹)
Valle Rojo, San José	4,59
Miguel Soneira	4,19
Batabanó	4,25
19 de Abril	4,6
Güira de Melena	4,52
Melena del Sur	4,62
Alquízar	4,92
San Antonio	4,64
Artemisa	4,21
Nueva Paz	4,62

TABLA 2. Comportamiento de los porcentajes del temporizador de la pizarra de las máquinas para las velocidades de 2 y 3 m×min⁻¹ (con motoreductores estándar)

No.	10 máquinas Longitud hasta la última torre (m)	Velocidad de 2 m×min ⁻¹			Velocidad de 3 m×min ⁻¹		
		Tiempo mínimo una vuelta (h)	Porcentaje velocidad del temporizador para 250 m ³ ×ha ⁻¹	Tiempo de riego un cuadrante (h)	Tiempo mínimo una vuelta (h)	Porcentaje velocidad del temporizador para 250 m ³ ×ha ⁻¹	Tiempo de riego un cuadrante (h)
1	205,30	10,74	16,2%	16,5	7,16	11%	16,3
2	218,80	11,45	17,2%	16,6	7,63	11%	16,3
3	246,60	12,91	19,5%	16,4	8,60	12%	16,5
4	307,60	16,10	24,1%	16,6	10,73	16%	16,7
5	329,20	17,23	25,8%	16,0	11,49	17%	16,8
6	334,90	17,53	26,2%	16,6	11,68	18%	16,2
7	372,60	19,50	27%	16,0	13,00	20%	16,3
8	383,60	20,08	29,9%	16,6	13,38	20%	16,7
9	451,00	23,60	35,3%	16,5	15,73	24%	16,4
10	443,90	23,23	34,9%	16,6	15,49	23%	16,6

En la Tabla 3 se muestran los resultados de las máquinas con todos los motoreductores estándar y motoreductores de alta con la mitad más uno y el resto motoreductores estándar. Estos favorecen al primer caso, mostrando todos los indicadores con valores significativamente menores, logrando un ahorro de \$170673.12 (peso) en los costos del consumo de potencia, representando el 51% en un período de 6 meses con la muestra representativa de 88 máquinas.

TABLA 3. Comparación de indicadores técnico-económicos entre máquinas de riego (88 máquinas) con motoreductores estándar y motoreductores de alta en la mitad más uno

Indicadores	Máquinas con motoreductores estándar y alta en la mitad +1		Total de la mitad +1	Máquinas con todos los motoreductores estándar (36 rpm y 0,45 kW)	Diferencia
	Estándar (36 rpm y 0,45 kW)	Alta (68 rpm y 1,12 kW)			
Cantidad de motoreductores	172	305	477	477	-
Potencia instalada (kW)	77,4	341,6	419	214,65	204,35
Potencia consumida en 16 h (kW)	1238,4	5465,6	6704	3434,4	3269,6
Potencia consumida en seis meses (kW)	222912	983808	1206720	618192	588528
Litros diesel necesarios para un consumo de potencia de 6 meses.	28978,56	127895,04	156873,6	80364,96	76508,08
Costo del consumo de potencia en 6 meses, \$ (peso).	64644.48	285304.32	349948.8	179275.68	170673.12
Costo del combustible para consumo de potencia en 6 meses, \$ (peso).	33436.8	147571.2	181008	92728.8	88279.2

CONCLUSIONES

- Las máquinas de riego de pivote central con todos los motoreductores estándar, cuyas características son de 36 rpm, 0,45 kW y velocidades de 2 a 3 m×min⁻¹, favorecen la explotación en cuanto a la aplicación de las dosis de riego, debido a que el régimen de trabajo del temporizador es mayor al 10% de la velocidad de

- desplazamiento y no genera problemas de funcionamiento.
- La sustitución de motoreductores de alta (68 rpm y 1,12 kW) por motoreductores estándar, reduce el consumo de combustible, representando un ahorro considerable desde el punto de vista de consumo energético de \$170 673 (peso).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; SELLER, J., & MARTIN, D.: *Center pivot design. The irrigation association, [en línea] 2000, Disponible en: <http://www.irrigation.org> [Consulta: enero 18 2014].*
- CID, G.; LOPEZ, T.; GONZALEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M.E.: “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, Vol. 2(2): 25-31, 2012.
- GONZÁLEZ, P.: “Avances del riego en el cultivo de la papa en Cuba: Las máquinas de pivote central”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, Vol. 12(4): 39-43, 2003.
- GONZÁLEZ, P.; MENDEZ, M.: “Panorama del riego en Cuba”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, V. 14 (2): 51-54, 2004.
- GONZÁLEZ, P.; STINCER, J.; ROQUE, R.: “Algunas consideraciones para el diseño, explotación y adquisición de máquinas de pivote central”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, Vol. 11(1): 47-53, 2002.
- JIMÉNEZ, E. E.R., P. GONZÁLEZ y M. DOMÍNGUEZ: Relación entre parámetros de uniformidad de riego en máquinas de pivote central, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, Vol. 21(3): 18-22, 2012.
- KELLER, J. & BLIESNER, R. D.: *Sprinkler and trickle irrigation*, AVI Book, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- LOACES, P.O.: *Evaluación de la velocidad de avance, durante la explotación de las máquinas de pivote central ubicadas en los municipios de Güines y Quivicán*. Tesis (presentada en opción al título de Especialista en la explotación de sistemas de Riego y Drenaje), UNICA-IAgric, La Habana, Cuba, 2012.
- MINISTERIO DE LA AGRICULTURA: *Índices de consumo de combustible*. Ed. MINAG, Departamento de Energía, La Habana, Cuba, 2012.
- MINISTERIO DE LA AGRICULTURA: *Programa para el enfrentamiento y mitigación de la sequía en el sistema productivo del Ministerio de la Agricultura*, Ed. MINAG, La Habana, Cuba, 2005.
- MUJICA, A.; LÓPEZ, M.; CARMENATES, D.; MUJICA, C.; RIVERON, A.R. “Evaluación de los indicadores hidráulicos de las máquinas de pivote central eléctrica”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -2071-0054, Vol. 23(1): 53-55, 2014.
- PLACERES, Z.: *Determinación de los parámetros de explotación en las máquinas de pivote central que inciden en los rendimientos de la papa en las provincias Artemisa y Mayabeque*. Tesis (presentada en opción al título de Máster en Ciencias del Riego y Drenaje), UNICA-IAgric, La Habana. Cuba, 2011.
- SHERER, T.: *Selecting a Sprinkler Irrigation System*, Extension Service: North Dakota State University, USA, 1998.
- TARJUELO MARTIN-BENITO J. M.: *Sistemas Autopropulsados de riego por aspersión*, Capítulo 5, El Riego por Aspersión y su tecnología, pp. 239-268, 3ra. Edición Mundi Prensa, Madrid, Barcelona, México, 2005.
- URIBE, H.C.; LAGOS, L.O.; HOLZAPHEL, E.: *Pivote Central, Comisión Nacional de Riego, Corporación de Fomento de la Producción. Chile, [en línea] 2001, Disponible en: <http://www.cnr.gob.cl> [Consulta: enero 18 2014].*

Recibido: 22 de enero de 2014.

Aprobado: 9 de julio 2014.

Esequiel Rolando Jiménez Espinosa, Ing., Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar, km 2 ½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, Tel.: (53) (07) 645-1731; 645-1353. Profesor Asistente, Universidad Agraria de La Habana. Autopista Nacional km 23 ½ y Carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, Correo electrónico: dptoriego4@iagric.cu.

