

CONSUMO ENERGÉTICO EN MÁQUINAS DE RIEGO DE PIVOTE CENTRAL ELÉCTRICAS URAPIVOT Y RKD

ENERGY CONSUMPTION IN ELECTRIC CENTER PIVOT IRRIGATION MACHINES TYPE URAPIVOT AND RKD

Autores: Leonel Duarte Naranjo¹

Elena Pla Rodríguez²

Leonel Duarte Pla³

Institución: Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

Correo electrónico: leoneld@unica.cu

elenapla@unica.cu

leoneldp@sma.unica.cu

RESUMEN

El trabajo se realizó en la empresa militar Cuba Soy, de la provincia de Ciego de Ávila, (EAMP-C.A), empresa que cuenta con diversas tecnologías de riego en explotación, su objetivo evaluar el consumo energético en las máquinas de pivote central eléctricas URAPIVOT y RKD en el riego del frijol, teniendo en cuenta factores hidrológicos, hidráulicos y de suelos. Se evaluaron en dos momentos: para 9 vueltas y para la vuelta número 15, determinándose la penetración de las ruedas en el suelo y el consumo total de energía que en la máquina de riego URAPIVOT es 73 834 kWh y en la RKD alcanzó 188 303,9 kWh. Se observó que a medida que la máquina da un número mayor de vueltas las ruedas penetran más en el suelo ocasionando un mayor consumo de energía, en la máquina RKD el consumo unitario de energía por producción se eleva debido a la disminución de los rendimientos por problemas en el riego y el tipo de suelo que en la penetración de las ruedas de la máquina.

Palabras clave: Consumo de energía, Penetración de las ruedas, Potencia.

ABSTRACT

The work was carried out in the military enterprise Cuba Soy, Ciego de Ávila province, (EAMP-CA), this enterprise uses various irrigation technologies. The paper objective is to evaluate the electrical energy consumption in the central pivot machines URAPIVOT during the irrigation of beans, and the RKD, taking into

¹ Ingeniero en Riego y Drenaje. Profesor Auxiliar

² Ingeniera en Mecanización Agropecuaria. Profesora Auxiliar. Dr.

³ Licenciado en Lengua Inglesa con Segunda Lengua Francesa. Instructor

account hydrological, hydraulic and soil factors. The machines were evaluated in two moments: for 9 laps and for lap number 15, the penetration of the wheels in the ground and the total energy consumption in the irrigation machine URAPIVOT 73 834 kWh and RKD 188 303.9 kWh were determined. It was observed that as the machine gives a greater number of turns the wheels penetrate more into the ground causing a greater energy consumption. In the RKD machine the energy consumption per production unit rises because of the yield decrease due the irrigation problems and the type of soil.

Keywords: Energy consumption, Power, Wheel penetration.

INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la población humana incrementa la demanda de alimentos y esto influye en la disponibilidad de agua para regar los cultivos y satisfacer esta creciente demanda (Tornés... *et al.*, 2016). La mayor parte de los expertos reconocen que los recursos naturales serán afectados, y el agua es quizás el primero de ellos, que en los últimos años ha sufrido efectos provocados por el cambio climático.

Chaterlán y Rodríguez (2017) refieren en su trabajo que las tierras de regadío producen el 40 % de los alimentos en el mundo triplicando la productividad de las de secano; bajo riego (18 %), mientras que secano el 60 %; por lo que el buen uso y el dominio del agua resultan indispensables para los principales productores agrícolas. El riego moderno posibilita un ahorro de aproximadamente el 55 % del agua. Camejo (2016) refiere que en la agricultura se están introduciendo tecnologías de riego con alta eficiencia, como riego localizado, tanto superficial como subterráneo; máquinas de pivote central eléctricas; riego por aspersión y riego superficial tecnificado que conlleven al menor uso del agua y la energía, electrificando los sistemas de bombeo. Los sistemas de riego de pivote central han alcanzado una alta automatización que ahorra agua, mano de obra y energía eléctrica y a su vez, facilita la gestión de la explotación, pudiendo obtener datos sobre el desarrollo del riego (Kranz ... *et al.* Conference: 6th National Decennial Irrigation Conference Proceedings, Phoenix Conve, 2012.

La producción de granos de frijol en particular, se ha incrementado en los últimos años, siendo Brasil el mayor productor mundial con más de tres millones de toneladas (Campos, 2016). En Cuba donde tradicionalmente la producción del frijol

estaba en manos de los campesinos, se desarrollan importantes inversiones para el cultivo del grano bajo riego. López ...*et al.* (2017b) plantean que a demanda creciente por el recurso hídrico en el sector de la agricultura acentúa la necesidad de su manejo cada vez más racional, por lo que se deben operar adecuadamente los sistemas de riego.

La estrecha relación que existe entre ahorro de agua y ahorro de energía viene recibiendo una atención creciente, el ahorro energético es muy dependiente del lugar del ciclo en el que se racionaliza el uso del agua. López ...*et al.* (2017c) concluyen que el consumo energético en la actividad de riego con máquinas eléctricas de pivote central, está sujeto a factores que propician su incremento. El manejo de la programación de riego, no ajustado al balance agro meteorológico.

Pacheco (2006); Kranz ... *et al.* (2012) refieren que las máquinas de pivote trabajan según las necesidades hídricas requeridas por el cultivo y las normas de riego se establecen por fase de desarrollo.

Sandoval ... *et al.* (2017) por su parte afirman que gran parte de los problemas de la administración del agua radica en la deficiencia de controles del caudal en los sistemas de riego.

Al referirse a la muy utilizada técnica de riego por aspersión con máquinas de pivote central eléctricas, Carmenates ... *et al.* (2017) afirman que las características hidráulicas y mecánicas de los emisores (básicamente curva caudal-presión, y relación caudal-temperatura) constituyen parámetros fundamentales para poder realizar un adecuado diseño y manejo de los sistemas de micro irrigación.

La baja eficiencia en la operación de los sistemas de riego constituye uno de los problemas más agudos que afectan a las áreas bajo riego en Cuba por tal razón, Cueto ... *et al.* (2017) destacan al respecto la importancia del control de la humedad del suelo y destaca que en sus estudios de riego del frijol común debía obtenerse 0,0013 t de frijol por cada m³ de agua y, sin embargo, al analizar el agua regada se obtuvo un indicador de 0,0006 t/m³.

Es por ello que toda metodología o recomendación que tienda a la optimización en el aprovechamiento de los recursos hídricos y energéticos y a la conservación del medio ambiente, adquiere un valor considerable para las zonas bajo riego.

Uno de los principales motores de desarrollo y transformación económica es la energía, considerándose un bien básico para el conjunto de la economía. Conocer los factores que ocasionan un mayor consumo energético en el riego es trascendental para establecer estrategias de ahorro energético en el riego (Camacho, ... *et al.* (2010).

Las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua en base a ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo (NC ISO 11545: 2004 Oficina Nacional de Normalización) y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego. Con estos cambios se puede conseguir ahorrar agua, mano de obra, energía, suelo, etc.; así como una mejora de los rendimientos de los cultivos (Tarjuelo, 2010); (Tarjuelo, Carrión, y Valiente, 1994). A pesar de la diversa tecnología con que cuenta la empresa agropecuaria militar Cuba Soy (EAMP- C.A) se observa que resulta insuficiente el nivel de gestión energética.

Objetivo. Evaluar las máquinas de pivote central eléctricas URAPIVOT y RKD desde el punto de vista energético teniendo en cuenta factores hidrológicos, hidráulicos y del suelo, en la Empresa Agropecuaria Militar Cuba Soy de la provincia Ciego de Ávila.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Empresa Agropecuaria Militar Cuba Soy donde se encuentran ubicados en Sanguily y la Teresa los 2 pozos a los cuales están instaladas las máquinas de riego RKD y URAPIVOT que serán objeto de estudio. La zona pertenece al sector hidrológico CA-II-1 de la cuenca Sur en la provincia de Ciego de Ávila.

Los suelos en el área de evaluación de la Empresa "Juventud Heroica" donde se encuentra la máquina RKD-126 son Ferralíticos Rojos. En la máquina URAPIVOT - 226 ubicada en el área de "La Teresa" los suelos predominantes son Vertisuelos. En Tabla 1 se muestran las características técnicas de las máquinas.

Tabla 1. Características técnicas de las *máquinas RKD y URAPIVOT*. RKD Irrigación S. L. (2011) y Grupo Charmartin S.A. (2016)

Modelo de máquina	RKD	URAPIVOT
-------------------	-----	----------

Número de torres	8	6
Longitud máxima (m)	450	333
Superficie total regada (ha)	63	35
Altura de la máquina (m)	4,0	3,5
Presión de trabajo (mca).	3.6	2.9
Caudal (L/s).	75	45
Modelo de las bombas	Ideal	Caprari.
Energía de la bomba (kWh).	105	63

Pacheco (2006); Kranz , W; Evans, R; Lamm , F; (2012) refieren que las máquinas de pivote trabajan según las necesidades hídricas requeridas por el cultivo y las normas de riego se establecen por fase de desarrollo.

La determinación del consumo de energía en el motoreductor de la máquina de pivote central se realiza tomando el tiempo de trabajo ($t_{T15min.}$) y tiempo de parada ($t_{p15min.}$) en 15 minutos de tiempo de trabajo limpio de cada motoreductor precisándose en la vuelta que se realiza.

➤ Cálculo de los consumos de energía en los motoreductores

1. La máquina de pivote trabaja según las necesidades hídricas requeridas por el cultivo para aplicar la norma de riego colocando el reloj porcentual en el porcentaje requerido para aplicar la norma.
2. Se determina el tiempo de trabajo (t_{T15min}) y tiempo de parada (t_{p15min}) en 15 minutos de cada motoreductor de la máquina precisándose en la vuelta que se realiza.
3. Determinar tiempo de trabajo de cada motoreductor en una hora (T_{tm}).

$$T_{tm} = t_{T15min} \cdot 4$$

4. Determinar tiempo de trabajo en la campaña de riego (T_{TC}).

Datos necesarios para el cálculo.

- a. Horas por vueltas dadas por la máquina para la regulación establecida según la necesidad del cultivo (T_{nl}).
- b. Número de vueltas en la campaña para regar el cultivo (N_{vc}).

$$T_{TC} = T_{nl} \cdot N_{vc}$$

5. Determinar el consumo total de energía en cada motoreductor durante la campaña (C_{mo} , kW).

$$C_{mo} = T_{TC} \cdot C_{mR}$$

Donde:

C_{mR} - Consumen de los motorreductores de las máquinas 0,56 kWh.

- Cálculo de la penetración de las ruedas en el terreno medida en la vuelta evaluada.
(m)

➤ Cálculo del consumo energético en el bombeo

Cálculo del consumo energético del motor (COp , kWh).

$$COp = Trp \cdot Pap$$

Donde:

Pap - potencia suministrada por el motor a la bomba para el punto de funcionamiento, kW;

Trp - tiempo de riego, h.

➤ Cálculo de la potencia suministrada por el motor a la bomba

$$Pap = \left(\frac{Pu}{\eta} \right) \cdot 100$$

Donde:

Pap - energía consumida por el motor en el bombeo, kWh.

➤ Cálculo de la potencia útil o potencia desarrollada por la bomba

$$Pu = 9,81 \cdot Q_{p1} \cdot HB_c$$

Donde:

Q_{p1} - caudal de la bomba, m³/s;

HB_c - carga total de trabajo de la bomba, m;

Pu - potencia útil desarrollada por la bomba, kW.

➤ Cálculo de la energía total consumida por las máquinas (Et).

$$Et = COp + Cmo$$

Donde:

COp - consumo del equipo de bombeo en el ciclo del cultivo, kWh;

Cmo - consumo en los motoreductores en el ciclo del cultivo, kWh.

➤ Costo total de la energía consumida por las máquinas en \$.

$$Vet = 0,062 \cdot Et$$

Donde:

Vet - valor de la energía total consumida, \$;

0,062 - precio de un kWh. Según el Ministerio de Finanzas y Precios.

➤ Consumo de energía por kg de cosecha (Cec).

$$Cec = \frac{Et}{Pro.}$$

Donde:

Pro. – Cosecha recolectada en el área de la máquina, kg

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el caso de estos modelos evaluados URAPIVOT y RKD, en CubaSoy, la diferencia en el consumo de energía en las máquinas, entre la primera y la segunda evaluación muestra diferencia de penetración de las ruedas de la máquina en el campo, lo cual incrementa la fuerza de tracción requerida para la traslación del sistema lo cual coincide con lo referido por López ...*et al.* (2017 b) cuando evaluó el consumo energético de las máquinas de pivotes centrales eléctricas en la empresa cultivos varios la Cuba provincia Ciego de Ávila, estos autores refieren la tendencia al crecimiento del consumo energético con la fuerza de tracción de la máquina en la medida en que se incrementa la penetración de las ruedas.

Por otra parte los consumos de energía por kg de producción, en la máquina RKD son mayores que en la máquina URAPIVOT, lo cual está relacionado con los rendimientos obtenidos en la producción aspecto que coincide con los palnteamientos de (Tarjuelo, 2010).

El tipo de suelo influye en la penetración de las ruedas de la máquina, en los suelos plásticos penetra más e influye en el aumento del consumo de energía.

En la Tabla 2 se observa cómo se comportó el consumo energético de las máquinas de pivote RKD y URAPIVOT con el bombeo por meses en la campaña de frijol. El consumo de la máquina RKD durante la campaña de riego fue de 188 303,9 kWh. El consumo de la máquina URAPIVOT durante la campaña de riego fue de 73 824 kWh. El consumo es más alto en la RKD por tener una mayor longitud.

Tabla 2. Consumo energético de la *máquina 126, RKD y URAPIVOT*

Meses de siembra del frijol	Consumo de energía, <i>RKD</i> (kWh)	Consumo de energía, <i>URAPIVOT</i> (kWh)
febrero	62 726,4	24 533,2
marzo	62 791,7	24 653,8

abril	62 785,8	24 649,9
<i>Total</i>	<i>188 303,9</i>	<i>73 834</i>

En las Figuras 1 y 2; se muestran los consumos de energía por motoreductor de la máquina URAPIVOT, se puede apreciar que son mayores en la segunda evaluación cuando la máquina ha dado 15 vueltas y hay una mayor penetración de las ruedas, esto se muestra en las tablas 3 y 4.

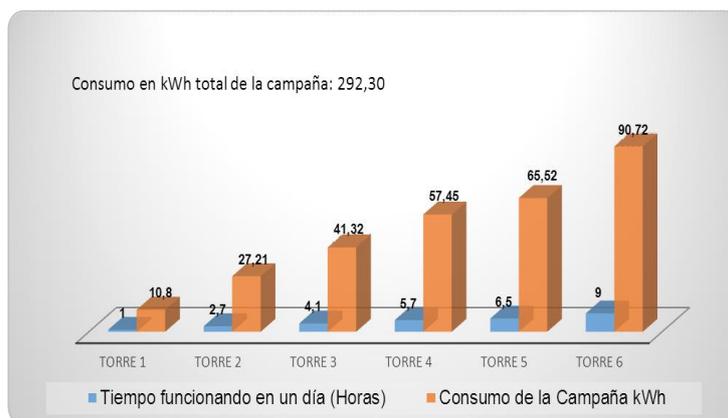


Figura 1. Primera evaluación. Máquina 221 URAPIVOT. Regulación: 30%. Día 29 de marzo del 2019

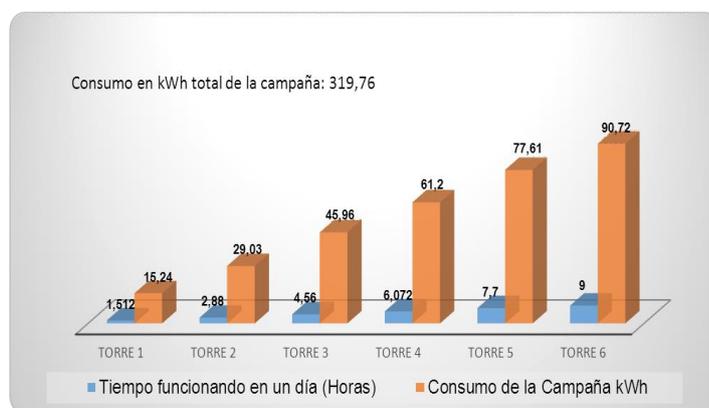


Figura 2. Segunda evaluación. Máquina 221 URAPIVOT. Regulación: 30%. Día 24 de abril del 2019

Tabla 3. Máquina URAPIVOT, día 29 de marzo 2019, 9 vueltas

Torres	Consumo en la campaña en cada motoreductor, kWh	Penetración de las ruedas, cm
1	10,08	10
2	27,21	10
3	41,32	10
4	57,45	5

5	65,52	5
6	90,72	0

Tabla 4. Máquina URAPIVOT, día 24 de abril 2019, 15 vueltas

Torres	Consumo en la campaña en cada motoreductor, kWh	Penetración de las ruedas, cm
1	15,24	17
2	29,03	17
3	45,96	15
4	61,20	8
5	77,61	8
6	90,72	0

En las Figuras 3 y 4; se muestran los consumos de energía por motoreductor de la máquina RKD, se puede apreciar que son mayores en la segunda evaluación cuando la máquina ha dado 15 vueltas y hay una mayor penetración de las ruedas, esto se muestra en las tablas 5 y 6.



Figura 3. Primera evaluación. Máquina: 126 RKD. Regulación: 30 %. Día 23 de marzo del 2019

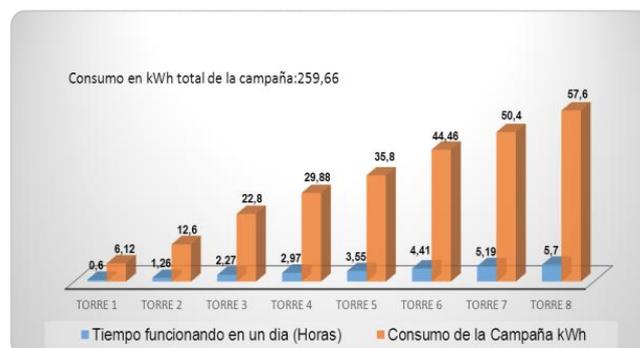


Figura 4. Segunda evaluación. Máquina: 126 RKD. Regulación: 30 %. Día 24 de abril del 2019

Tabla 5. Máquina RKD, día: 23 de marzo del 2019, 9 vueltas

Torres	Consumo en la campaña en cada motoreductor, kWh	Penetración de las ruedas, cm
1	6,84	10
2	12,9	10
3	18,9	10
4	27,5	8
5	35,1	8
6	38,7	7
7	43,5	7
8	54,3	5

Tabla 6. Máquina: RKD, día: 24 de abril del 2019, 15 vueltas

Torres	Consumo en la campaña en cada motoreductor, kWh	Penetración de las ruedas, cm
1	6,12	11
2	12,6	11
3	22,8	13
4	29,8	10
5	35,8	10
6	44,4	8
7	50,4	8
8	57,6	7

En la Tabla 7, se muestran los consumos de energía por kg de producción, se observa que en la máquina RKD son mayores que en la máquina URAPIVOT, lo cual está relacionado con rendimientos obtenidos en la producción.

Tabla 7. Consumo de energía por kg de cosecha

Modelo de máquina	Área por máquina, ha	Rendimiento kg/ha	Consumo total energético, kWh	Consumo de energía por producción, kW/kg
RKD	63	1000	188 303,94	2,98
URAPIVOT	45	900	73 834	1,85

CONCLUSIONES

La diferencia en el consumo de energía en las máquinas URAPIVOT y RKD, entre la primera y la segunda evaluación muestra diferencia de penetración de las ruedas de la máquina en el campo, lo cual incrementa la fuerza de tracción requerida para la traslación del sistema.

Los consumos de energía por kg de producción, en la máquina RKD son mayores que en la máquina URAPIVOT, lo cual está relacionado con los rendimientos obtenidos en la producción.

El tipo de suelo influye en la penetración de las ruedas de la máquina, en los suelos plásticos penetra más e influye en el aumento del consumo de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMACHO, E... [et al.] (2010). Ahorro de energía en el regadío. *Revista Agropecuaria*. La Habana, Vol. X, No.3, p.454-457.
- CAMEJO, L. (2016). Diseño agronómico en máquinas de pivote central, rendimientos, ahorro de agua y energía. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, La Habana, Vol.XVI, No.4, p.14-22.
- CAMPOS, R. (2016). Bean grain hysteresis with induced mechanical damage. *Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Brasil. Vol. XX, No.10, p.930-935.
- CARMENATES, D... [et al.] (2017). Evaluación mecánica e hidráulica de emisores en sistemas de riego en Ciego de Ávila. *Revista Ingeniería Agrícola*, La Habana. Vol. VII, No 4, p.17-22.
- CHATERLÁN, Y. y RODRÍGUEZ, Y. (2017). Propuesta para mejorar la explotación de los sistemas de riego en una Cooperativa de Producción Agropecuaria. *Revista Ingeniería Agrícola*. La Habana, Vol. VII, No 1, p.22-7.
- CUETO, O. ... [et al.], (2017). Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric cambisol . *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. La Habana, Vol. XXVI, No.1, p.70- 77.
- GRUPO CHARMARTIN S.A. (2016). Catálogo general URAPIVOT SISTEMAS. p. 28-33.
- KRANZ, W., EVANS, R. y LAMM, F. (2012). Conference: 6th National Decennial Irrigation Conference Proceedings, Phoenix Conve. *Review of Center Pivot Irrigation Control and Automation Technologies*. DOI.10.13031/2013.35832

- LÓPEZ, E... [et al.] (2017a). Factores que incrementan el consumo energético en las máquinas de riego de pivote central. *Revista Ingeniería Agrícola*. La Habana, Vol. VII, No.4, p. 41-46.
- LÓPEZ, M..... [et al.] (2017b). Evaluación del consumo energético de las máquinas de pivotes centrales eléctricas en la empresa cultivos varios la Cuba provincia Ciego de Ávila. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuaria*. La Habana, Vol. XXI, No. Especial., diciembre, p. 30-34.
- LÓPEZ, M... [et al.] (2017c). Operación del pivote central evaluando la dinámica de humedad en el suelo con TRD. *Revista Ingeniería Agrícola*. La Habana, Vol. VII, No.3, p.10-21.
- NC ISO 11545: 2004 Oficina Nacional De Normalización (2004). Vigente. Máquinas agrícolas y forestales- Máquinas agrícolas para riego- pivotes centrales y Máquinas de avance. La Habana.
- PACHECO, J. (2006). Riego y Drenaje. 1ra ed. La Habana: Ed. Félix Varela.
- RKD IRRIGACIÓN S. L. (2011). Catálogo general pivote central RKD. Valladolid.
- SANDOVAL, L... [et al.] (2017). Modelos matemáticos para la estimación del caudal en vertedores Sutro utilizados en sistemas de riego. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, La Habana, Vol.VI, No.2, p. 30-38.
- TARJUELO, J. (2010). El riego por aspersión. 3ra ed. Madrid: Ed.Mundi-Prensa, 230 p.
- TARJUELO, J., CARRIÓN, P. y VALIENTE, M. (1994). Simulación de la distribución del riego por aspersión. *Revista de Investigación Agrícola*, La Habana, Vol.II, No.9, 255-271.
- TORNÉS, N. ... [et al.]. (2016). Maximización física y económica del agua de riego en la producción del cultivo del frijol. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. La Habana, Vol.XXV, No.2, p. 35-38.