

ARTÍCULO ORIGINAL

Validación experimental del modelo de cálculo de la productividad de las picadoras de forraje del tipo de tambor con alimentación manual

Experimental validation calculation model of the productivity for the drum type forage chopper with hand feeding

Pedro A. Valdés Hernández¹, Arturo Martínez Rodríguez² y Yoanis Valencia Orozco³

RESUMEN. La investigación realizada, presenta como objetivo exponer los resultados obtenidos durante la validación experimental del modelo de cálculo de la productividad (capacidad de succión) de las máquinas picadoras de forraje de tallos gruesos del tipo de tambor con alimentación manual, derivado de la modelación físico-matemática previamente realizada de su proceso tecnológico, tomando como base para los experimentos la variedad de caña de azúcar C323-68, siendo la de mayor uso en Cuba para la alimentación del ganado. La modelación físico matemática del proceso permite la predicción de la productividad para los diferentes ángulos de la rampa evaluados, obteniéndose para un $\xi_r = 6, 14$ y 25° valores entre 19,04 y 4,4% para $C = 1$ y 3 tallos respectivamente, con un nivel de significación del 1%, para valores racionales del momento de inercia del tambor. La racionalización del momento de inercia en la picadora de forraje de producción nacional MF-IIMA modelo EM-01 produjo para los ángulos de la rampa de alimentación mayores, ligeros incrementos de la productividad y que esto se debe al logro de menores fluctuaciones en la velocidad angular del tambor.

Palabras clave: picadoras de forraje, productividad, ángulo de alimentación y momento de inercia.

ABSTRACT. The carried out investigation, it presents as objective to expose the obtained results during the experimental validation calculation model of the productivity (suction capacity), the forage chopper machines of thick shafts of the drum type with hand feeding, derived of the physical-mathematics modelation previously carried out of their technological process, taking like base for the experiments the variety sugar cane C323-68, being that of more use in Cuba for the livestock feeding. Does the mathematical physical modelation of the process allow the prediction the productivity for the angles different of the evaluated ramp, obtaining for a $\xi_r = 6, 14$ y 25° values between 19, 04 and 4, 4% for $C = 1$ y 3 shafts respectively, with a significance level 1%, for rational values of the moment inertia the drum. The rationalization of the moment inertia in the forage chopper of national production model MF-IIMA EM-01 produced for the angles of feeding ramp but high, slight increments of the productivity and that this is due to the achievement of smaller fluctuations in the angular speed of the drum.

Keywords: forage chopper, productivity, feeding angle and moment inertia.

INTRODUCCIÓN

La producción ganadera en Cuba, así como la necesidad de resolver la base alimentaria del ganado sin una dependen-

cia total de las importaciones de concentrados, ha adquirido en los últimos años una gran importancia. La desaparición del campo socialista y su mercado favorable a Cuba, así como el incremento del bloqueo económico y financiero de Estados

Recibido 18/06/11, aprobado 20/07/12, trabajo 49/12, artículo original.

¹ Dr. C., Prof. Auxiliar, UNAH, Facultad de Ciencias Técnicas, Autopista Nacional km 23 ½, Carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-✉: pvaldes@isch.edu.cu.

² Dr. Cs. Inv. Titular, Centro de Mecanización Agropecuaria, CEMA, UNAH, Cuba.

³ Ing., Egresado de la UNAH, Cuba.

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

Unidos hacia Cuba, cambiaron drásticamente las condiciones de producción (basada fundamentalmente en los pastos y forrajes apoyados en los subproductos de la industria azucarera y especializada con elevados insumos) y los resultados obtenidos hasta finales de los años 80, lo que conllevó a un completo replanteamiento de la producción pecuaria en todos los órdenes (Ponce, 2007).

Dada esta situación existente desde principios de la década del 90 en Cuba, ha sido necesario tomar medidas que cambien este panorama, por lo que desde entonces se orientó por parte del Ministerio de la Agricultura, establecer nuevas alternativas para la alimentación del ganado, como vía para enfrentar también los meses de seca, creándose el *Programa Nacional de Autosuficiencia Alimentaria en las unidades productivas de base*, el cual consiste en producir dentro de las áreas de la vaquería el alimento demandado por la masa ganadera (MINAG, 1997 y MINAG, 1998). Por lo que la estrategia utilizada en este caso se basa en el suministro al ganado de forrajes desmenuzados, los cuales proceden fundamentalmente de gramíneas tales como la caña de azúcar y el King Grass.

La selección de la caña de azúcar como componente relevante en la alimentación animal es acertada, entre otros aspectos por la gran tradición de producción de este renglón en Cuba, así como por presentar propiedades excepcionales y una diversidad bastante amplia de derivados como alimento animal, que pueden ser utilizados, tanto como forraje, como en la preparación de piensos ó conglomerados. En el país actualmente se encuentran establecidas variedades utilizadas no solamente por la industria azucarera, sino también como forraje (ICA, 2006), dentro de las cuales se encuentra la variedad C323-68 objeto de estudio en este trabajo.

Teniendo en cuenta que las tecnologías de alimentación establecidas en Cuba desde finales de los 80, con el uso fundamental de la caña de azúcar demandan de la utilización de máquinas desmenuzadoras para que esta pueda ser utilizada con eficacia en la nutrición de los animales, el estado cubano invirtió cuantiosos recursos encaminados primeramente, al diseño y construcción de dichas máquinas y posteriormente a su perfeccionamiento, llevándose a cabo por parte de diferentes instituciones e investigadores la producción y desarrollo de prototipos de máquinas picadoras de forraje de tallos gruesos, predominando actualmente los equipos con órgano de trabajo del tipo de tambor con alimentación manual (Martínez y Valdés, 1994; Martínez *et al.*, 1998a; Núñez y Puig, 2000 y 2001; Puig *et al.*, 2001; IIMA, 2000 y 2002). No obstante, a pesar de haberse avanzado en esta dirección, el desarrollo de dichos modelos de picadoras de forraje se ha basado fundamentalmente en tomar las mejores experiencias de las picadoras existentes en el mercado, debido a que no se ha contado con una base teórica que permita abordar el diseño de éstas respondiendo a las exigencias específicas de Cuba. Debido a esto, los nuevos equipos desarrollados han presentado determinadas insuficiencias que están sujetos al perfeccionamiento si se aplican métodos de cálculo adecuados.

En este sentido resulta necesario señalar que los modelos teóricos presentes en la literatura especializada tanto a nivel nacional como internacional (Goriachkin, 1940; Rieznik,

1964; Martínez *et al.*, 1998b). No son lo suficientemente apropiados para ser aplicados al diseño de picadoras de forrajes de tallos gruesos, así como al caso de equipos de alimentación manual de la masa vegetal, existiendo fenómenos tales como el efecto de succión del material procesado, el cual no ha sido abordado con la suficiente profundidad.

Por tal motivo ha sido desarrollado un modelo teórico para la determinación de las condiciones de succión propuesto por Martínez *et al.* (2004) y Valdés (2008), que permite obtener la influencia del ángulo de alimentación constante y el momento de inercia sobre la capacidad de succión o productividad, así como su predicción, durante el perfeccionamiento de las máquinas picadoras de forraje de tallos gruesos del tipo de tambor con alimentación manual, el cual se pretende validar en la presente investigación. Dicho modelo permitió, además, determinar la influencia de dichos parámetros sobre el calibre de las partículas obtenido por Valdés *et al.* (2010).

Esta investigación ha estado enmarcada en el proyecto 2334 del Programa Ramal de Ciencia e Innovación Tecnológica “Mecanización” del Ministerio de la Agricultura de la República de Cuba denominado: “Desarrollo de una máquina para el procesamiento de masa verde” y que fue ejecutado en el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) de la Facultad de Ciencias Técnicas en la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), en coordinación con el Instituto de Investigaciones de la Mecanización Agrícola (IIMA), actualmente Instituto de Ingeniería Agrícola (IAGric).

MÉTODOS

Para la toma de las muestras se selecciona una parcela ubicada en la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Cuba – Nicaragua”, perteneciente al municipio San Nicolás de Bari al sur de la Provincia de La Habana. La selección de las muestras se llevó a cabo en pleno período agrotécnico de cosecha, entre los meses de Febrero y Marzo del 2007 para la variedad de caña C323-68, efectuándose una caracterización previa de la parcela seleccionada.

Los experimentos se desarrollaron en el laboratorio del CEMA de la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), creándose las condiciones y medios necesarios para este fin, bajo una temperatura atmosférica promedio de 23,5 °C; una presión atmosférica de 100,42 kPa; humedad relativa del 74% y una humedad de las muestras de 64,96% y un contenido de materia seca de 22,13 g.

En éste trabajo se aplica el método de investigación teórico-experimental y se determinan aplicando los métodos de la mecánica clásica de Beer y Russell (1984), las interrelaciones entre los parámetros constructivos y de explotación de los órganos de trabajo y las propiedades físico-mecánicas del material procesado (Valdés *et al.*, 2008). A través del modelo para el cálculo de la capacidad de succión ó productividad propuesto por Martínez *et al.* (2004) y Valdés (2008), el cual constituye una valiosa herramienta para el perfeccionamiento del órgano de corte del tipo de tambor de las picadoras de forrajes de tallos gruesos con alimentación manual para las condiciones de Cuba. Asimismo las evaluaciones teóricas del modelo

obtenido, se realizan a través del software RACPIC obtenido por los autores Valdés y Martínez (2011) elaborado en ambiente Mathcad 2000 profesional, estableciéndose la influencia del ángulo de succión ó alimentación y los valores racionales del momento de inercia del órgano de trabajo (obtenidos a través de la Figura 1), sobre la productividad de dicha máquina. Asimismo se comprueba la validez de la predicción realizada por la modelación, comparando los valores obtenidos teóricamente con los obtenidos durante la fase experimental.

En este caso particular el ángulo de succión ó alimentación determinado por la modelación constituye un “ángulo constante” (Figura 2), el cual se logra con una longitud de la sufridera ($L_f=0$), con el que se garantiza, bajo un régimen de flujo instantáneamente variable, un calibre medio de las partículas desmenuzadas (ΔL) que se producirá cuando los tallos

alcancen, a medida que se cortan, la mitad de su longitud.

O sea, cuando los tallos se introducen en la zona de corte, al presentar toda su longitud, su masa resulta máxima, produciéndose una velocidad de alimentación (V_{al}) menor y por ende un calibre de las partículas cortadas (ΔL) menor. A medida que el tallo se va consumiendo, su longitud y masa van disminuyendo, aumentando paulatinamente la velocidad de alimentación y el calibre de las partículas cortadas, para un valor en este caso de la componente de la fuerza de corte-succión (P_{cor}) en la dirección de alimentación, constante. Nótese que es posible aumentar o disminuir dicha fuerza, solamente cuando se aumenta o disminuye el ángulo de la rampa de alimentación (ξ_p), el cual determina en definitiva el ángulo de succión (α) ya que para este caso particular $\alpha = \xi_r + \alpha_f$ y $\Phi_f = \xi_r$ (Figura 2), obtenido por Valdés (2008).

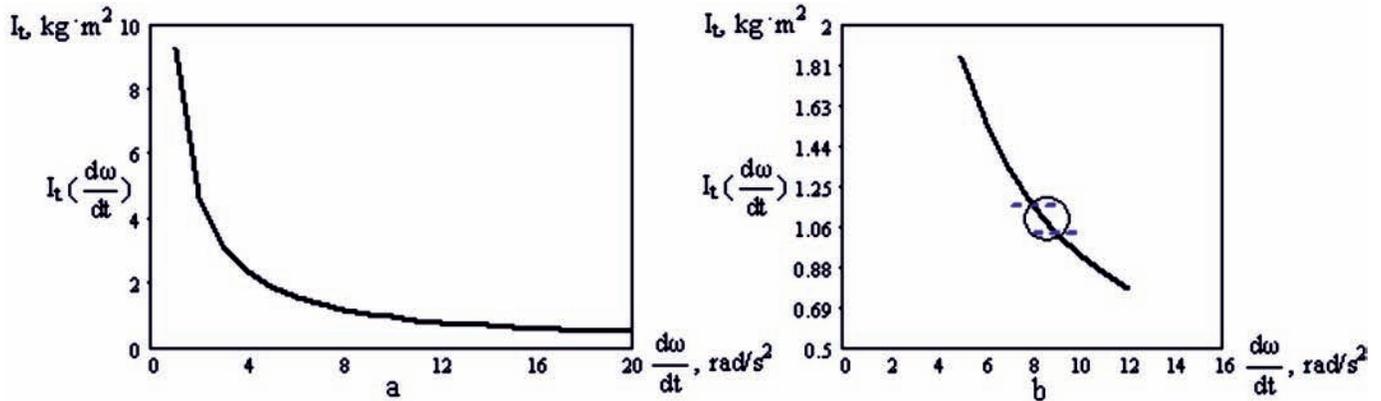


FIGURA 1. Evaluación teórica del modelo del momento de inercia en función de la aceleración angular. a) 0...20 rad/s² y b) 5...12 rad/s².

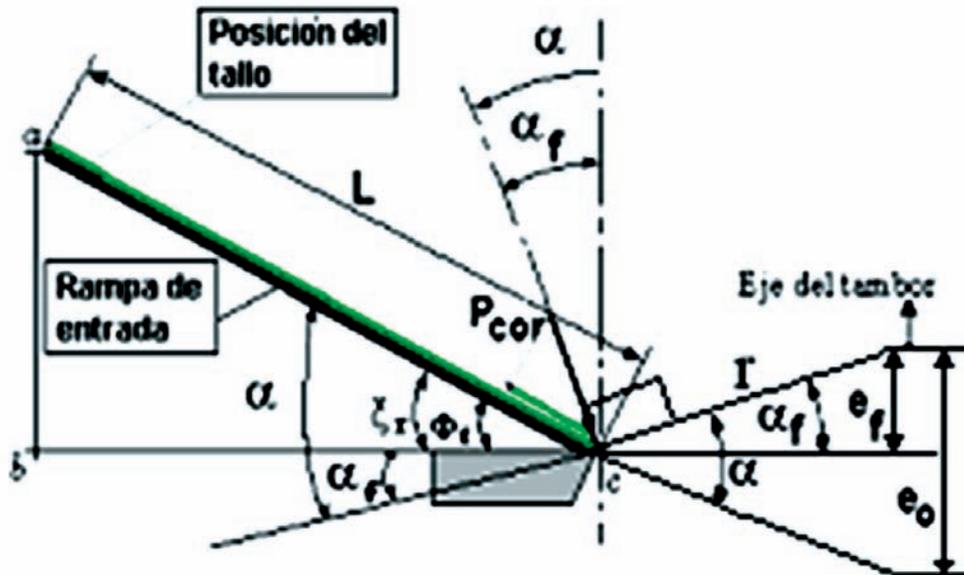


FIGURA 2. Representación del proceso de alimentación con α constante y $L_f=0$.

Procedimiento de la fase experimental

Durante la fase experimental se toma como maqueta experimental la picadora de forraje MF modelo IIMA EM-01, con una productividad nominal de 0,55 kg/s y con un motor eléctrico de 7,5 kW como fuente energética, con alimentación manual y órgano de trabajo de tambor (Figura 3).



FIGURA 3. Vista general de la picadora original.

Para la realización de los experimentos se realiza una combinación de tratamientos de naturaleza factorial según la tabla 1, tomando como factores de entrada el ángulo de la rampa de alimentación (ξ_r) y el momento de inercia del tambor (I_r) y se determina como variable de salida la productividad o capacidad de succión, para cada tratamiento (picadora con momento de inercia original T_1 , T_2 y T_3 y con momento de inercia modificado T_4 , T_5 y T_6). Los ensayos se realizan con grupos de 1 y 3 tallos de caña alimentados (C) simultáneamente a la picadora.

TABLA 1. Combinación de tratamientos

Tratamientos Variables	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
ξ_r , grado (°)	6	14	25	6	14	25
I_r , kg·m ²	0,791	0,791	0,791	1,117	1,117	1,117

Determinación de la productividad en tiempo limpio (q, kg/s)

Se toman las muestras siendo introducidas por la rampa de alimentación, el tiempo del comienzo y final del proceso de desmenuzado (t), de cada ensayo se mide con el software para edición de videos Pinnacle Estudio 9 con 0,0333 s (30 cuadros/s) de precisión. La masa (m) de cada muestra procesada, se midió con una balanza convencional, obteniéndose la productividad dividiendo ambos parámetros medidos.

Determinación de la influencia del ángulo de alimentación sobre la productividad ó capacidad de succión del órgano picador

Para este caso se diseña y construye una rampa de alimentación con posibilidad de hacer variar el ángulo de inclinación de la rampa ($\xi_r = 6, 14$ y 25°) y la longitud de la sufridera (L_r) (Figura 4).

Determinación de la influencia del momento de inercia del tambor sobre la productividad o capacidad de succión

Se realiza la evaluación del modelo teórico de Martínez *et al.* (2005), a través del software RACPIC propuesto por Valdés y Martínez (2011), para los valores de la aceleración angular recomendada por el autor Goriachkin (1940). Siendo mayor este último, se determina experimentalmente las masas necesarias a ubicar en el tambor (dos platos laterales de 7,5 kg cada uno) para la obtención de un momento de inercia del tambor lo más cercano posible al valor teórico racional obtenido, según Figura 1, al cual corresponde un momento de inercia del órgano picador de 1,117 kg·m². Los platos son atornillados al tambor según la Figura 5. Los ensayos experimentales se realizan utilizando la maqueta de la Figura 4.



a



b

FIGURA 4. a) Rampa de alimentación diseñada, b) Acoplada a la picadora.



FIGURA 5. Platos laterales atornillados al tambor.

Procedimiento estadístico

El número de muestras para la realización de los diferentes ensayos experimentales, se determina a partir de un pre-experimento según el autor Luyarati (1997), tomando un nivel de confianza del 90% y un error máximo permisible de la media del 10% para todos los casos.

Se realiza un análisis descriptivo de los datos experimentales, determinando la media aritmética (\bar{X}) de cada parámetro medido, el error relativo (Δ_R) y el p-valor del análisis de varianza. Los errores de predicción del modelo teórico con respecto a los resultados obtenidos experimentalmente se determinan según Berberena y Rodríguez (1998). Para el procesamiento de dichos datos se emplean los programas (Estatgraphic plus, versión 5.1 (en español), la hoja de cálculo Excel 2003 y el Mathcad 2000 profesional).

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Influencia del ángulo de alimentación sobre la productividad (capacidad de succión) de la picadora

Para este caso se procede a la corrida de los tratamientos T_1 , T_2 y T_3 (Tabla 1) bajo dichas condiciones.

En la Tabla 2 se muestran los valores medios de las productividades obtenidas experimentalmente, atendiendo a los tratamientos T_1 , T_2 y T_3 (Tabla 1) y para una alimentación de 3 tallos simultáneamente ($C = 3$).

De la tabla se aprecia que la productividad (q_{exp}), aumenta a medida que lo hace el ángulo de inclinación de la rampa de alimentación (ξ_r), obteniéndose para 6, 14 y 25°, productividades de 0,67; 1,08 y 2,13 kg/s respectivamente. Del análisis de varianza se obtiene el p-valor del test F menor a 0,05, lo que arroja una diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios analizados para cada ángulo de la rampa, utilizando la prueba de Duncan con un nivel de confianza del 95%, lo que se corrobora a partir del análisis de los errores experimentales, ya que la menor diferencia de 0,417 kg/s entre

los valores de productividad resulta 4,98 veces mayor que el mayor error relativo ($\Delta_R = 3,92\%$).

TABLA 2. Resultados de las productividades experimentales para diferentes ángulos de la rampa (ξ_r) y para $C=3$ tallos

Tratam	I_r , kgm ²	ξ_r , °	q_{exp} , kg/s	Δ_R , %	p-valor
T_1	0,791	6	0,67	3,278	
T_2	0,791	14	1,086	2,499	0,000
T_3	0,791	25	2,133	3,921	

En la Tabla 3, se comparan los valores medios de las productividades obtenidas experimentalmente (q_{exp}) con los derivados de la evaluación del modelo (q_{teor}), según Martínez *et al.* (2004) y Valdés (2008), empleando el software RACPIC propuesto por Valdés y Martínez, (2011), apreciándose que la productividad (q_{exp}), aumenta a medida que lo hace el ángulo de inclinación de la rampa de alimentación (ξ_r). Los errores de pronóstico del modelo teórico durante la predicción de la productividad para los diferentes ángulos de la rampa evaluados, presentan valores de 26,42, de 0,31 y 2,39%, para $\xi_r = 6, 14$ y 25° respectivamente, apreciándose aceptables errores de predicción, aunque en el caso de $\xi_r = 6$ resultó relativamente alto.

TABLA 3. Errores del modelo teórico en la predicción de la productividad

ξ_r , °	q_{exp} , kg/s	q_{teor} , kg/s	Error, %
6	0,67	0,493	26,428
14	1,086	1,09	0,311
25	2,133	2,082	2,39

En la Figura 6, se representa en forma gráfica la comparación de los resultados de la evaluación teórica del modelo y los obtenidos experimentalmente, pudiendo apreciarse el nivel de correspondencia entre los valores experimentales y la evaluación teórica, para un nivel de significación del 1%.

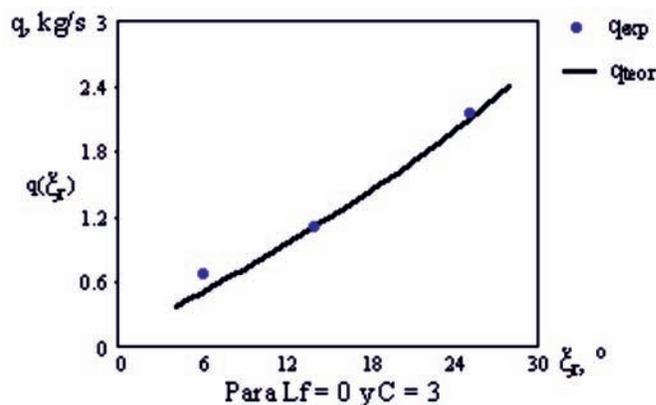


FIGURA 6. Comparación de la productividad obtenida experimentalmente y la evaluada del modelo teórico en función del ángulo ξ_r para $C = 3$ tallos.

Influencia del momento de inercia del tambor sobre la productividad de la picadora

En este caso se procede a la corrida de los tratamientos T_4 , T_5 y T_6 (Tabla 1) bajo las nuevas condiciones.

En la Tabla 4, se presenta una comparación de los valores medios de las productividades obtenidas experimentalmente ($q_{exp,1t}$ y $q_{exp,3t}$) con los derivados de la evaluación del modelo teórico obtenido por Martínez *et al.* (2004) y Valdés (2008), a través del software RACPIC realizado por Valdés y Martínez (2011), ($q_{teor,1t}$ y $q_{teor,3t}$), para $C = 1$ tallo y $C = 3$ tallos alimentados simultáneamente.

Dichos resultados comparados con los obtenidos en la Tabla 3, con momento de inercia original de la picadora, se puede apreciar que para los ángulos (ξ_r) mayores se obtienen ligeros incrementos de la productividad con el momento de inercia modificado y que esto se debe al logro de menores fluctuaciones en la velocidad angular del tambor.

En dicha tabla se presentan además, los errores de pronóstico del modelo teórico durante la predicción de la productividad para los diferentes ángulos de la rampa evaluados, obteniéndose para un $\xi_r = 6, 14$ y 25° valores de 12,35; 8,89 y 8,05%, para $C = 1$ y de 19,04; 5,7 y 4,4% para $C = 3$ respectivamente, lo cual es aceptable, para un nivel de significación del 1%.

TABLA 4. Errores del modelo teórico en la predicción de la productividad

$\xi_r, ^\circ$	$q_{exp,1t}, \text{kg/s}$	$q_{teor,1t}, \text{kg/s}$	Error, %	$q_{exp,3t}, \text{kg/s}$	$q_{teor,3t}, \text{kg/s}$	Error, %
6	0,259	0,227	12,355	0,609	0,493	19,048
14	0,551	0,502	8,893	1,156	1,09	5,709
25	1,043	0,959	8,054	2,178	2,082	4,408

En la Figura 7, se representa la comparación de los resultados de la evaluación teórica del modelo y los obtenidos experimentalmente para $C = 1$ y 3 tallos alimentados, observándose que se ratifican la tendencia y la correspondencia entre los valores experimentales y la evaluación teórica realizada del modelo con una ligera mejoría en esta última, comparando los resultados con los obtenidos con el momento de inercia original de la picadora, (Figura 6) para $C = 3$ tallos, lo que indica una mayor estabilidad del tambor de la picadora.

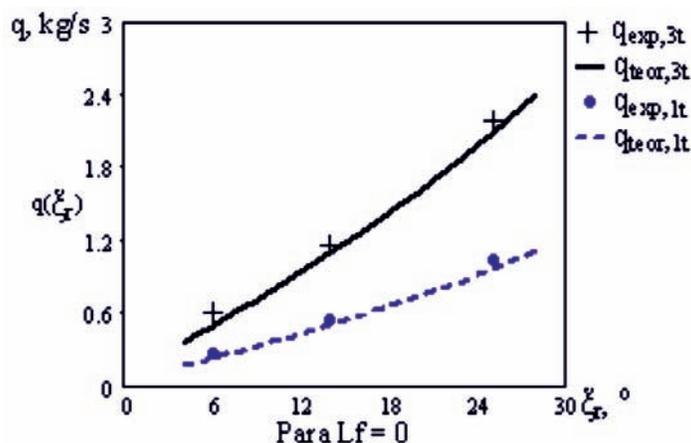


FIGURA 7. Comparación de la productividad evaluando el modelo teórico y la obtenida experimentalmente en función de ξ_r , para $C = 1$ y 3 tallos alimentados.

CONCLUSIONES

- De los resultados obtenidos se aprecia que la productividad, aumenta a medida que lo hace el ángulo de inclinación de la rampa de alimentación;
- Se comprueba tanto desde el punto de vista teórico, como experimental, que el efecto de succión de la masa vegetal procesada por las picadoras objeto de estudio, es provocado por la componente de la fuerza de corte-succión en la dirección de la alimentación, por lo que variando ésta, es posible controlar la capacidad de succión (productividad) y por ende el flujo de material, lo que se corrobora a partir de la obtención por vía experimental de un flujo entre 0,259 y 1,043 kg/s para $C=1$ tallo y de 0,609 y 2,178 kg/s, para $C=3$ tallos, haciendo variar al ángulo de la rampa entre

$\xi_r = 6$ y 25° respectivamente;

- Durante el proceso de validación del modelo se obtuvo, dentro del rango de valores experimentados, para la variedad de caña objeto de estudio y empleando un momento de inercia racional del tambor, errores de pronóstico en la predicción de la productividad entre 4 y 19,04%, para un nivel de significación del 1%, lo cual corrobora la validez de la modelación realizada como una valiosa herramienta para el perfeccionamiento del diseño de estos equipos;
- Comparando los resultados obtenidos, con momento de inercia original de la picadora, se puede apreciar que para los ángulos de inclinación de la rampa (ξ_r) mayores se obtienen ligeros incrementos de la productividad con el momento de inercia modificado y que esto se debe al logro de menores fluctuaciones en la velocidad angular del tambor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEER, F. P Y RUSSELL, E. *Mecánica Vectorial para Ingenieros. Estática y Dinámica*, 536pp. Tomo I y II. Edición revolucionaria. Habana. 1984.
2. BERBERENA, V Y RODRÍGUEZ, D. *Formación de investigadores*, 320pp. Apuntes para un libro de texto. Edición Electrónica. Universidad Politécnica de Valencia, España, 1998.
3. GORIACHKIN, V.P. *Obras Completas*. Tomo IV. Editorial MIR. Moscú. (en ruso). 1940.
4. INSTITUTO DE CIENCIA ANIMAL: *Informe final del proyecto de investigación: Estudio del potencial forrajero de las variedades comerciales de caña de azúcar en Cuba*, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, 2006.
5. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA: *Informe de prueba Molino Forrajero MF IIMA modelo EM-01. (s.c.)*, Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria, La Habana, 2000.
6. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA: *Informe de prueba Molino Forrajero MF IIMA modelo EM-01. (s.c.)*, Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria, La Habana, 2002.
7. LUYARATI, D.N. *Econometría*, 597pp. Ediciones ENPES. 2da edición, La Habana, 1997.
8. MARTÍNEZ, A y P. VALDÉS: Influencia de los parámetros de diseño y cinemáticos en el consumo energético de la desmenuzadora de forraje de producción nacional. En: **MECA'94**, Marzo de 1994, Ciego de Ávila, Cuba, 1994.
9. MARTÍNEZ, A; P. VALDÉS y J. NÚÑEZ, J. Instructivo resumen de las modificaciones del molino forrajero de producción nacional, En: **III Encuentro de transferencia de tecnología**, ICA, marzo 1998, La Habana, 1998a.
10. MARTÍNEZ, A; J. NÚÑEZ y P. VALDÉS: “Modelos para el cálculo de molinos desmenuzadores de tallos gruesos de tipo disco”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 7(1): 1-7, 1998b.
11. MARTÍNEZ, R. A.; P. VALDÉS, J. DÍAZ, Y. MATURELL y D. VEGA: “Determinación de las condiciones de succión de la masa vegetal en los molinos desmenuzadores de tallos”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(4): 3-7, 2004.
12. MARTÍNEZ, R. A.; P. VALDÉS, J. DÍAZ, Y. MATURELL y D. VEGA: “Cálculo del momento de inercia requerido en un molino forrajero para garantizar un régimen de trabajo estable del rotor”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(1): 1-4, 2005.
13. MINISTERIO DE LA AGRICULTURA: *Medidas principales de la ganadería vacuna en el año 1997*, Área de Ganadería, La Habana, Cuba, 1997.
14. MINISTERIO DE LA AGRICULTURA: *Situación de la alimentación del ganado y metodología de elaboración del balance forrajero para lograr la autosuficiencia alimentaria en las unidades ganaderas*. Informe interno, La Habana, Cuba, 1998.
15. NÚÑEZ, M. E y A. PUIG: *Desarrollo e investigación del molino forrajero MF IIMA modelo EM - 01*. Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria, La Habana, Cuba, 2000.
16. NÚÑEZ, M. E y A. PUIG: Empleo de molinos forrajeros móviles con órgano de trabajo de tambor en la alimentación animal. IIMA, En: **Agromec 2001**, La Habana, Cuba, 2001.
17. PONCE, P.: *Activación del sistema Lactoperoxidasa un nuevo enfoque para la conservación de la leche cruda en el trópico americano*, 162pp., **Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias)**, Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA) La Habana, Cuba, 2007.
18. PUIG, A; J. NÚÑEZ; E. NÚÑEZ y A. MARTÍNEZ: *Perfeccionamiento de los parámetros constructivos, técnicos y tecnológicos de los molinos forrajeros*. Proyecto 0449, Informe final de la etapa 01: Caracterización del parque de molinos forrajeros existentes en Cuba, IIMA-CEMA, La Habana, Cuba, 2001.
19. RIEZNIK, N. E.: *Combinadas Silo cosechadoras, Teoría y Cálculo*, Editorial MIR, Moscú, (en ruso), 1964.
20. VALDÉS, P. A y A. MARTÍNEZ: “RACPIC-Software para la determinación racional de los parámetros de trabajo de las picadoras de forraje del tipo tambor con alimentación manual”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 80-85, 2011.
21. VALDÉS, P. A; D. GONZÁLES y A. MARTÍNEZ: “Determinación experimental de propiedades físico-mecánicas de la caña de azúcar para su procesamiento en picadoras de forrajes”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2): 1-6, 2008.
22. VALDÉS, P. A.: *Modelación físico-matemática del proceso tecnológico del órgano de corte de tambor en las picadoras de forraje con alimentación manual*. 186pp., **Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias)**, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), La Habana, Cuba, 2008.
23. VALDÉS, P. A; A. MARTÍNEZ; Y. VALENCIA y E. BRITO: “Influencia del momento de inercia y de diferentes ángulos de alimentación constante sobre el calibre de las partículas de las picadoras de forraje del tipo de tambor con alimentación manual”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3): 69-77, 2010.