



TRACTORES Y MÁQUINAS AGRÍCOLAS *TRACTORS AND AGRICULTURAL MACHINES*

ARTÍCULO ORIGINAL

Validación del modelo de cálculo de la potencia consumida por las picadoras de forraje del tipo de tambor con alimentación manual

Validation calculation model of the consumed power for the drum type forage chopper with hand feeding

Pedro A. Valdés Hernández¹, Arturo Martínez Rodríguez², Yoanis Valencia Orozco³ y Enrique Brito Díaz⁴

RESUMEN: La investigación realizada, presenta como objetivo exponer los resultados obtenidos durante la validación del modelo teórico de cálculo de la potencia consumida por 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 del consumo de potencia, con errores no superiores al 4,3%, para un ángulo de la rampa de alimentación entre 6, 14 y 25°, tanto para la potencia útil como la total, 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 una disminución en el consumo de potencia entre 22 y 23%. Siendo dicha modelación una valiosa herramienta de trabajo, que permite el perfeccionamiento del diseño de este tipo de picadora de forraje.

Palabras clave: picadora de forraje, potencia, modelación y momento de inercia.

ABSTRACT: The carried out investigation, it presents as objective to expose the obtained results during the validation calculation model of the consumed power for the drum type forage chopper 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. The physical-mathematics modelation of the process allows the prediction of the power consumption, with errors non superiors to 4,3%, for a feeding angle between 6 and 14°, so much for the useful power as the total, with a level of significance of 1%, for rational values of the moment inertia drum. The rationalization of the moment inertia in the forage chopper machines of national production model MF-IIMA EM-01 produced a decrease in the power consumption between 22 and 23%. Being this modelation a valuable work tool that allows the improvement of the design of this type forage chopper.

Keywords: forage chopper, power, modelation and moment inertia.

INTRODUCCIÓN

La producción ganadera en Cuba, así como la necesidad de resolver la base alimentaria del ganado sin una dependencia 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 Unidos hacia Cuba, cambiaron drásticamente las condiciones de producción (basada fundamentalmente en los pastos y

Recibido 27/09/10, aprobado 30/01/12, trabajo 16/12, 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. Mecanización Agrícola. Egresado de la UNAH. Cuba.

⁴ Ing. Mecanización Agrícola. 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.

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 (Ministerio de la Agricultura, 1997 y 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 (Instituto de Ciencia Animal, 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 (Martínez y Valdés, 1994; Martínez *et al.*, 1998a; Núñez y Puig, 2000 y 2001; Puig *et al.*, 2001; Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria, 2000 y 2002), predominando actualmente los equipos con órgano de trabajo del tipo de tambor con alimentación manual. 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 (ángulo de alimentación) del material procesado sobre la demanda de potencia, el cual no ha sido abordado con la suficiente profundidad.

Por tal motivo ha sido desarrollado un modelo teórico para la determinación racional de la potencia consumida por las máquinas picadoras de forraje con alimentación manual, propuesto por Martínez *et al.* (2004) y Valdés (2008), que considera las tres funciones (corte, succión e impulsión) del proceso tecnológico en la interacción masa-cuchilla-sufridera durante el procesamiento de tallos gruesos, relacionando las propiedades físico-mecánicas del material a procesar con los parámetros de trabajo del órgano del tipo de tambor, el cual se pretende validar en la presente investigación.

Asimismo no ha sido abordada la influencia del momento de inercia del tambor picador sobre el indicador de salida tal como: el requerimiento de potencia de estos equipos, lo cual constituye un dato esencial para su diseño racional.

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” ejecutado en el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) de la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), en coordinación con el Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria (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 (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 teórico para el cálculo de la demanda de potencia obtenido

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 propuesto por Valdés y Martínez (2011) elaborado en ambiente Mathcad 2000 profesional, estableciéndose la influencia del ángulo de succión ó alimentación del órgano de trabajo sobre la demanda de potencia realizada por la picadora, así como, la obtención de los valores racionales del momento de inercia para dicho órgano de trabajo, a través del modelo obtenido por Martínez *et al.* (2005) y Valdés (2008). Asimismo se comprueba la validez de la predicción realizada por el modelo, 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 1), 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.

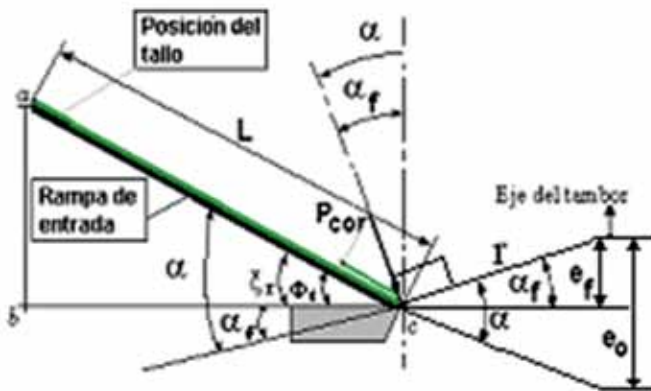


FIGURA 1. Representación del proceso de alimentación con α constante y $L_f = 0$.

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_r), el cual determina en definitiva el ángulo de succión (α) ya que para este caso particular $\alpha = \xi_r + \alpha_f$ y $\Phi_i = \xi_r$ (Figura 1), propuesto por Valdés (2008). Finalmente la fuerza media de corte-succión e impulsión obtenida, determina la potencia útil a consumir por el órgano de trabajo.

Procedimiento 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 como fuente energética, con alimentación manual y órgano de trabajo de tambor (Figura 2).



FIGURA 2. 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) y se determina como variable de salida para este caso la demanda de potencia para cada tratamientos (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 3 tallos de caña alimentados (C) simultáneamente a la picadora.

TABLA 1. Combinación de tratamientos

Tratam. Variables	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
$\xi_r, ^\circ$	6	14	25	6	14	25
$I, \text{kg m}^2$	0,791	0,791	0,791	1,117	1,117	1,117

Determinación de la demanda de potencia de la picadora (N, W). Se toman mediciones para cada muestra en la línea de alimentación del motor eléctrico, de la tensión y el consumo de la intensidad de corriente eléctrica, trabajando el equipo en vacío y con carga. La potencia se obtiene por los métodos convencionales conocidos.

Determinación de la influencia del ángulo de alimentación sobre la demanda de potencia 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 3).

Determinación de la influencia del momento de inercia del tambor sobre la demanda de potencia. Se realiza

la evaluación del modelo teórico (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, al cual corresponde un momento de inercia del órgano picador de $1,117 \text{ kg m}^2$. Los platos son atornillados al tambor según la Figura 4. Los ensayos experimentales se realizan utilizando la maqueta de la Figura 3.



FIGURA 3. a) Rampa de alimentación diseñada, b) Acoplada a la picadora.



FIGURA 4. 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. Los errores de predicción del modelo teórico con respecto a los resultados obtenidos experimentalmente se determinan según Berberena y Rodríguez (1998). Para el procesa-

miento 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).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia del ángulo de alimentación sobre la demanda de potencia

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 Figura 5, se representa la comparación de los resultados obtenidos de la evaluación de los modelos teóricos según Martínez *et al.* (2004) y Valdés (2008), a través del Software RACPIC (Valdés y Martínez, 2011). Y los valores experimentales, en función del ángulo de la rampa de alimentación (ξ_r), apreciándose que existe la misma tendencia entre los resultados teóricos y experimentales ya que al aumentar el ángulo ξ_r , aumenta tanto la potencia útil como la total. Sin embargo los errores de la predicción de los modelos teóricos para la potencia total (N_t) y útil (N_{ut}), resultan relativamente altos, con valores entre 18,98 y 27,6 % respectivamente, aunque para el caso de la potencia total (N_t) todavía se encuentran dentro de los límites admisibles.

Estos errores de predicción relativamente altos al igual que en el caso del calibre de las partículas determinados por Valdés *et al.* (2010), están relacionados con las fluctuaciones instantáneas de la frecuencia de rotación (n) del tambor de la picadora, debido al bajo momento de inercia del tambor, lo que provoca un incremento en la demanda de potencia, en este

caso requerida para restablecer la velocidad angular nominal del tambor.

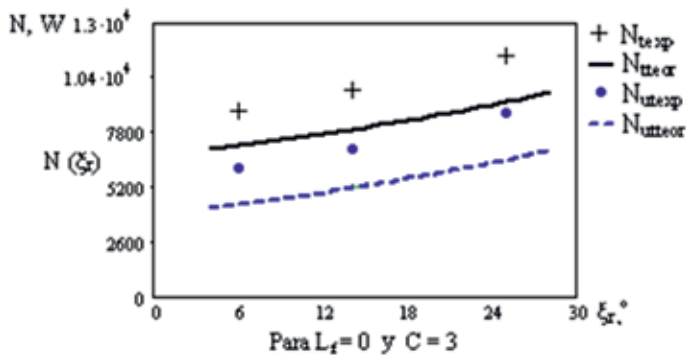


FIGURA 5. Comparación de la potencia teórica con la obtenida experimentalmente en función de ξ_r para $C = 3$ tallos.

Influencia del momento de inercia del tambor sobre la demanda de potencia

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 2, se muestran los resultados del consumo de potencia útil, obtenido por vía experimental (N_{uteexp}) a partir de la diferencia del consumo total y el consumo en vacío de la

picadora, el consumo de potencia total medido experimentalmente (N_{teexp}), así como los obtenidos evaluando los modelos teóricos según Martínez *et al.* (2004), (N_{utteor} y N_{tteor}), para diferentes ángulos ξ_r alimentando 3 tallos. Del análisis de la tabla se aprecia una disminución del consumo de potencia total (N_{teexp}), con relación al obtenido en los tratamientos T_1 , T_2 y T_3 sin modificación del momento de inercia (Figura 5), obteniéndose reducciones de potencia entre 2 y 2,6 kW, lo que equivale a un 23 y 22,4% respectivamente, algo similar ocurre con el componente útil, obtenido por vía experimental (N_{uteexp}).

La medición experimental del consumo de potencia en vacío arrojó un valor de 2 200 W, obteniéndose una reducción de 550 W en comparación con la obtenida sin modificación del momento de inercia durante la caracterización de la máquina original.

En dicha Tabla 2, se muestran, además, los errores del modelo teórico durante la predicción de la potencia tanto total (N_t) como útil (N_{ut}), para el tambor con momento de inercia modificado, apreciándose altos niveles de correspondencia, con errores no superiores al 4,3% para la predicción de la potencia útil (N_{ut}) e inferiores al 3% en el caso de la potencia total (N_t), mejorando la predicción en 22,7% para la potencia útil y de 16,4% para la potencia total, con relación a los resultados obtenidos con el momento de inercia original (Figura 5).

TABLA 2. Errores del modelo teórico en la predicción de la potencia. $C = 3$ tallos

$\xi_r, ^\circ$	N_{uteexp}, W	N_{utteor}, W	Error, %	N_{teexp}, W	N_{tteor}, W	Error, %
6	4 588	4 391	4,294	6 788	6 591	2,902
14	5 384	5 164	4,086	7 584	7 364	2,9
25	6 672	6 488	2,758	8 872	8 688	2,074

En las figuras 6 y 7, se representan la comparación de los resultados obtenidos de la evaluación teórica del modelo y los valores experimentales, para $C = 1$ y 3 tallos alimentados respectivamente, en función del ángulo de la rampa de alimentación (ξ_r), corroborándose que existe una plena correspondencia entre los resultados teóricos y experimentales, para un nivel de significación del 1%, cuando se garantiza una selección adecuada del momento de inercia del tambor, lo que provoca una mayor estabilidad de su trabajo.

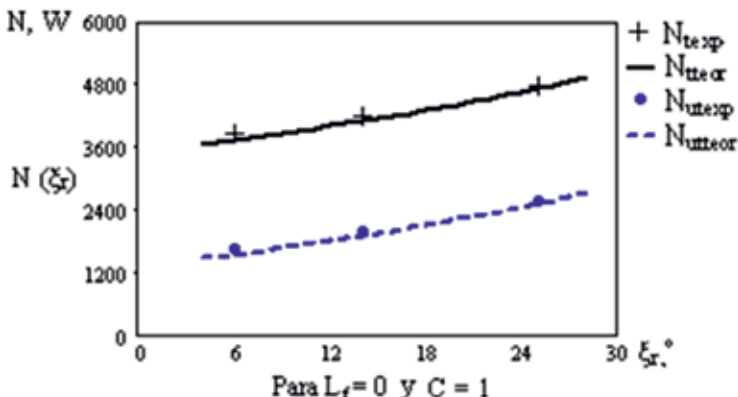


FIGURA 6. Comparación de la potencia teórica con la obtenida experimentalmente en función de ξ_r para $C = 1$ tallo.

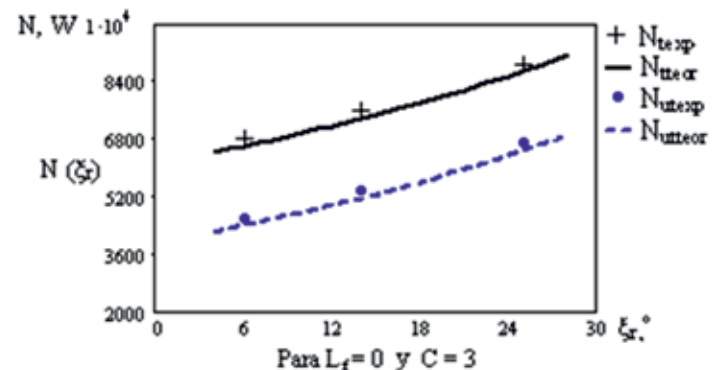


FIGURA 7. Comparación de la potencia teórica con la obtenida experimentalmente en función de ξ_r para $C = 3$ tallos.

CONCLUSIONES

- La comparación de los resultados obtenidos de la evaluación teórica del modelo físico-matemático, elaborado para el cálculo de la potencia y los obtenidos experimentalmente, arrojó una alta correlación entre los resultados teóricos y experimentales cuando se realiza una selección adecuada del momento de inercia del tambor;
- Se obtuvo que, tanto teórica como experimentalmente la demanda de potencia del proceso tecnológico, se incrementa a medida que lo hace el ángulo de alimentación;

- 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 demanda de potencia no superiores al 4,3% para la predicción de la potencia útil e inferiores al 3% en el caso de la potencia total mejorando la predicción en 22,7% para la potencia útil y de 16,4% para la potencia total, con relación a los resultados obtenidos con el momento de inercia original, 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;
- La modificación del momento de inercia en la máquina picadora de forraje objeto de estudio, sobre la base de los cálculos emanados del modelo teórico, produjo una disminución en el consumo de potencia entre 22 y 23%, todo lo cual es resultado de una mayor estabilidad de la velocidad angular del tambor, debido a la reducción de las fluctuaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEER, F. P y E, RUSSELL: *Mecánica Vectorial para Ingenieros, Estática y Dinámica* 536pp., Tomo I y II. Edición Revolucionaria, La Habana, 1984.
- BERBERENA, V y D. RODRÍGUEZ: *Formación de investigadores*, 320pp., Apuntes para un libro de texto. Edición Electrónica. Universidad Politécnica de Valencia, España, 1998.
- GORIACHKIN, V.P.: *Obras Completas*, Tomo IV. Editorial MIR, Moscú, (en ruso), 1940.
- INSTITUTO DE CIENCIA ANIMAL: *Informe final del proyecto de investigación: Estudio del potencial forrajero de las variedades comerciales de caña de azúcar en Cuba*, La Habana, Instituto de Ciencia Animal, 2006.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA: *Informe de prueba Molino Forrajero MF IIMA modelo EM-01. (s.c.)*, La Habana, Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria, 2000.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA: *Informe de prueba Molino Forrajero MF IIMA modelo EM-01. (s.c.)*, La Habana, Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria, 2002.
- LUYARATI, D.N.: *Econometría*, 597pp., Ediciones ENPES, 2da edición, La Habana, 1997.
- 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.
- MARTÍNEZ, A; P. VALDÉS y J. NÚÑEZ: Instructivo resumen de las modificaciones del molino forrajero de producción nacional, En: **III Encuentro de transferencia de tecnología**, ICA, marzo 1998, La Habana, 1998.
- 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, 1998.
- MARTÍNEZ, R. A.; P. VALDÉS, J. DÍAZ, Y. MATURELL y D. VEGA: "Modelo matemático racional para el cálculo de la potencia consumida en molinos forrajeros de tambor", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(4): 9-14, 2004.
- 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.
- MINISTERIO DE LA AGRICULTURA: *Medidas principales de la ganadería vacuna en el año 1997*, Área de Ganadería, La Habana, Cuba, 1997.
- 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.
- NÚÑEZ MANTILLA, 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.
- NÚÑEZ MANTILLA, 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.
- 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.
- PUIG, A; J. NUÑEZ; E. NUÑEZ 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.
- RIEZNİK, N. E.: *Combinadas Silo cosechadoras, Teoría y Cálculo*, Editorial MIR, Moscú, (en ruso), 1964.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.