

Determinación de la fuerza y potencia requerida en la compresión de los tallos de caña panelera

Alexander Díaz PhD¹, Gabriel Calle PhD¹ y Ciro Iglesias PhD²

¹Profesores Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, alexdiaz@utp.edu.co, gcalle@utp.edu.co

²Universidad Agraria de la Habana, Cuba, ciro@unah.edu.cu

Resumen– El presente trabajo reporta los resultados de la investigación teórico-experimental para la determinación de la fuerza y potencia requerida en la compresión de los tallos de caña por medio de rodillos cilíndricos con fines de extracción de su jugo. Se utiliza un modelo teórico, que involucra las particularidades del proceso y se realiza la validación experimental del modelo teórico, obteniéndose resultados altamente satisfactorios con coeficientes de determinación de 0,95 y 0,99 en la valoración de la fuerza y potencia requerida respectivamente.

Palabras clave – caña panelera, extracción de jugo, propiedades físico-mecánicas, compresión de caña, panela.

I. INTRODUCCIÓN

Se conoce como *panela* al producto de cualquier forma o presentación proveniente de la evaporación del jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) sin centrifugar, que mantiene sus elementos constitutivos como sacarosa, glucosa, fructosa y minerales y que no proviene de la reconstitución de sus elementos (azúcares) [1].

La industria panelera se caracteriza por poseer procesos artesanales en la mayoría de las fábricas de los países productores [2]. El sistema empleado para la extracción de jugo en la industria panelera es la compresión, la que se realiza en molinos de rodillos cilíndricos, cuya producción carece totalmente de procedimientos de cálculo de base científica. En la literatura no se conocen expresiones analíticas, experimentales y/o empíricas para la determinación de la fuerza y potencia requerida en el proceso [3].

En este trabajo se reporta los resultados la determinación teórica de la fuerza y potencia requerida en la compresión de los tallos de caña por medio de rodillos cilíndricos utilizando un modelo matemático que considera las particularidades del proceso [4,5,6], se realiza la validación del modelo en una maqueta experimental diseñada y construida para tal fin.

II. METODOLOGÍA

Propiedades Físico-mecánicas

El análisis del proceso de compresión de los tallos de caña con fines de extracción de su jugo permite la identificación de las propiedades físico-mecánicas de los tallos de caña involucradas en el proceso [5]. El resultado de la determinación de las propiedades físico mecánicas con los procedimientos y aditamentos diseñados y construidos para tal objetivo se muestran en la Tabla 1.

TABLA I
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS VARIEDADES DE CAÑA

Propiedad	Variedades de caña		
	POJ 28-78	CO 421	CC 84-75
Coefficiente de compresión (λ_H)	0,52	0,43	0,44
Coefficiente de expansión (λ_I)	1,16	1,19	1,17
Coefficiente deformación transversal (ϵ)	0,41	0,35	0,26
Coefficiente de resistencia (K), MPa	1,03	1,10	1,22
Coefficiente de endurecimiento (n)	2,52	2,73	2,20
Coefficiente de fricción dinámico (f_k)	0,25	0,24	0,21

Modelo teórico

El modelo usado para la determinación teórica de la fuerza normal (F_N) y su línea de acción (α_N) se realiza con (1) y (2) respectivamente [4], las cuales se obtienen del análisis físico y matemático del esquema generalizado de compresión del tallo de caña entre un par de rodillos cilíndricos, Fig. 1. El cual considera las características dinámicas y geométricas de los cilindros y las propiedades físico-mecánicas de los tallos de caña.

$$F_N = K \cdot \frac{D}{2} \int_{\alpha_e}^{\pi/2} e^{n \cdot \epsilon_v} \cdot b_o \cdot d\alpha, \text{ kN} \quad (1)$$

$$\alpha_N = \frac{1}{2} \cdot \text{arc sen} \left(\frac{D \cdot K}{2 \cdot F_N} \cdot \int_{\alpha_e}^{\pi/2} e^{n \cdot \epsilon_v} \cdot b_o \cdot \text{sen } 2\alpha \, d\alpha \right), \text{ rad} \quad (2)$$

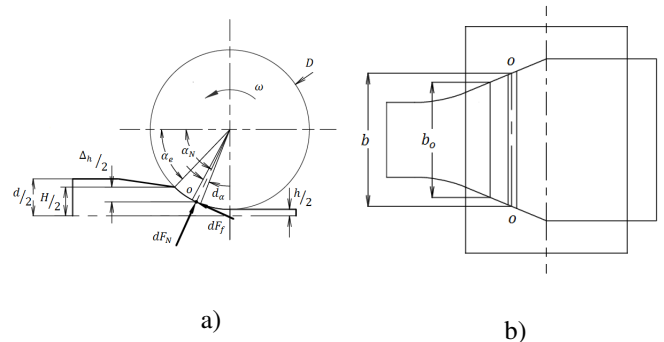


Fig.1 Esquema de fuerzas generadas
a) Vista lateral; b) Vista superior

La fuerza y potencia requerida para la compresión de los tallos de caña por medio de un par de cilindros, se determinan con (3) y (4) respectivamente.

$$F = F_N \cdot (\text{sen } \alpha_N + f_k \cos \alpha_N); \text{ kN} \quad (3)$$

$$N_c = f_k \cdot F_N \cdot D \cdot \omega, \text{ W} \quad (4)$$

Validación experimental

La validación del modelo teórico se realizó en una maqueta experimental diseñada y construida para tal fin de acuerdo al esquema de la Fig. 2. La cual permite la variación de los parámetros de trabajo: velocidad angular de los cilindros ω , (s^{-1}) y separación entre los cilindros h , (mm). La maqueta consta con un dispositivo (6) para la determinación de la velocidad angular de los cilindros, una celda de carga (7) para la determinación de la fuerza de reacción del motorreductor y un par de celdas de carga (4) para la determinación de las reacciones en los apoyos del cilindro conducido (fuerza de compresión).

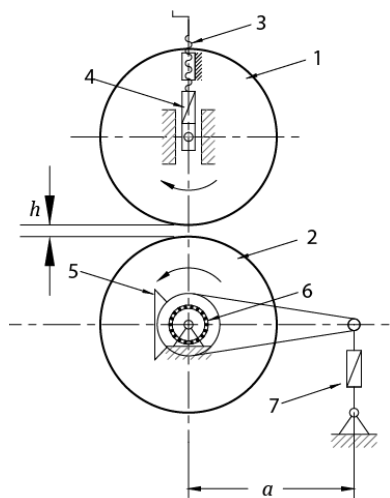


Fig.2 Representación esquemática de la maqueta experimental

1) Cilindro conducido; 2) Cilindro conductor; 3) Tornillo de regulación de la distancia h ; 4) Celda de carga fuerza de compresión; 5) Motorreductor; 6) Dispositivo para la medición de la velocidad angular; 7) Celda de carga fuerza de reacción del motorreductor.

III. RESULTADOS

La Tabla II muestra los resultados teóricos y experimentales de la fuerza de compresión obtenidos con el modelo matemático y la maqueta experimental para ocho variantes experimentales.

TABLA II
VALORES DE LA FUERZAS DE COMPRESIÓN TEÓRICAS Y EXPERIMENTALES

Variante	Fuerza de compresión teórica, N	Fuerza de compresión experimental, N	Error, %
V1	9 175,57	8 129,82	-12,86
V2	3 913,61	3 493,42	-12,03
V3	9 175,57	9 544,94	3,87
V4	3 913,61	3 598,90	-8,74
V5	14 370,96	12 875,94	-11,61
V6	7 373,68	6 658,50	-10,74
V7	14 370,96	11 296,74	-27,21
V8	7 373,68	5 890,56	-25,18

El coeficiente de determinación entre los resultados teóricos y los resultados experimentales para la determinación de la fuerza de compresión de los tallos de caña, arrojan un valor de 0,95.

La Tabla III muestra los resultados teóricos y experimentales de la potencia obtenidos con el modelo matemático y la maqueta experimental.

TABLA III
VALORES DE LA POTENCIAS TEÓRICAS Y EXPERIMENTALES

Variante	Potencia teórica, W	Potencia experimental, W	Error, %
V1	683,87	718,31	5,04
V2	291,70	309,58	6,13
V3	1 408,78	1 473,89	4,62
V4	600,96	651,07	8,34
V5	1 069,66	1 029,92	-3,71
V6	548,41	533,02	-2,81
V7	2 202,15	2 190,92	-0,51
V8	1 129,85	1 065,97	-5,65

El coeficiente de determinación entre los resultados teóricos y los resultados experimentales para la determinación de la potencia requerida en la compresión de los tallos de caña, arrojan un valor de 0,99.

IV. CONCLUSIONES

Se desarrolló el modelo matemático para la determinación teórica de la fuerza y potencia requerida en el proceso de compresión de los tallos de caña por medio de rodillos cilíndricos, el cual fue validado en una maqueta experimental diseñada y construida para tal fin. Se comprobó la alta adecuación del modelo matemático obteniéndose coeficientes de determinación de 0,95 y 0,99 en la valoración de la fuerza y potencia respectivamente.

REFERENCIAS

- [1] FAO/OMS. "Programa conjunto sobre normas alimentarias: Procedimiento sobre el Anteproyecto de Norma del Codex para la Panela". Comisión del Codex Alimentarius, Roma, Italia, 2012.
- [2] Castellanos, D. Torres, P. Flórez, M. "Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la panela y su agroindustria en Colombia". Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia 2010.
- [3] CIMPA. "Manual para la Selección, Operación y Montaje de equipos de Molienda para la Producción de Panela". Barbosa, Colombia, 1991.
- [4] Díaz, A. Iglesias, C. "Bases teóricas para la fundamentación del proceso de extracción de jugo de caña de azúcar para la producción de panela". Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 21(1) 53-57, 2012.
- [5] Díaz, A. Iglesias, C. "Determinación de las propiedades físico-mecánicas de la caña de azúcar como objeto de la extracción de su jugo para la producción de panela". Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 23(2) 18-22, 2014.
- [6] Díaz, A. Iglesias, C. "Dinámica de extracción de jugo a compresión de la caña de azúcar para la producción de panela". Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 21(2) 81-85, 2012.