



ARTÍCULO ORIGINAL

Dinámica del proceso de extracción de jugo a compresión de la caña de azúcar para la producción de panela

Dynamics of the sugar cane juice extraction process by compression for the panela production

Alexander Díaz¹, Ciro E. Iglesias²

RESUMEN. El presente trabajo reporta los resultados obtenidos en el proceso de compresión uniaxial y no confinada de tallos de caña de azúcar, en el proceso de extracción de jugo para la producción de panela. Se caracteriza experimentalmente el proceso de compresión, la cual se efectuó con tres superficies diferente, utilizando una maquina universal de ensayos. Se obtienen los valores de carga en función de la deformación de la caña, se identifican y analizan las diferentes etapas del proceso.

Palabras clave: caña de azúcar, compresión uniaxial, extracción de jugo.

ABSTRACT. This paper refers to the results of the compression process on the sugar cane juice extraction for the *panela* production. Such compression process was tested on three different areas by using a universal test machine. Load values depend on the sugar deformation. The different process stages are identified and analyzed.

Keywords: sugar cane, uniaxial compression, juice extraction.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar es una actividad agrícola de gran importancia socioeconómica en el mundo. En Colombia, dentro de los cultivos permanentes, ocupa el segundo lugar en extensión con 249 384 hectáreas, después del café (Mina-gricultura, 2004). Del área total cultivada, el 61% se dedica a la producción de panela; el 32% a la producción de azúcar, y el 7% a mieles, guarapos y forrajes. La producción de panela es una de las principales actividades agrícolas de la economía colombiana, entre otras razones por su participación significativa en el producto interno bruto (PIB) 7,3% agrícola, porque es fuente de ingresos para más de 70 000 familias de productores de caña de azúcar y por la generación de empleo rural una vez vincula cerca de 350 000 personas.

El método de extracción de jugo usado en Colombia es

el de la compresión, la que se realiza con molinos de rodillos cilíndricos, en el cual al comprimir la caña se disminuye su volumen, la presión interna aumenta y el jugo es separado y extraído de la fibra. La eficiencia en la extracción (e) de jugo se mide en relación a la masa de jugo extraído (m_j) por masa de caña molida (m_c), la literatura existente considera satisfactorias extracciones entre 58...63%, no obstante investigaciones de campo, indican que estos valores son fácilmente alcanzados con equipos en condiciones de desgaste elevado. No se conocen estudios previos que justifiquen los límites en los valores de extracción de jugo, pero en términos prácticos se relacionan con los límites de resistencia de los equipos (pandeo de ejes, rotura de masa y apoyos) y el consumo de potencia, se cree empíricamente que para valores de extracción mayor se verá afectada la calidad del jugo.

Pese a la importancia socioeconómica del producto, en

Recibido 24/02/11, aprobado 30/01/12, trabajo 29/12, artículo original.

¹ M. Sc., Prof., Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. E-✉: alexdiaz@utp.edu.co

² Dr. C., Prof. Titular Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

Colombia se carece de fundamentación teórico experimental, relacionada con el proceso de compresión de tallos de caña para la extracción de jugo. En el proceso de compresión las tareas principales se pueden enunciar como: aplicación de carga hasta la rotura de la corteza y la fibra, aumentar la carga hasta alcanzar el límite elástico de la caña y por último extraer el jugo contenido en ella, la característica principal del proceso relaciona la carga aplicada y la deformación de la caña. La caracterización y conocimiento de este proceso permitirá conocer la respuesta mecánica a la compresión, se obtendrán los valores de carga y deformación de la caña, de gran importancia en la fundamentación del diseño de molinos de mayor eficiencia para la extracción de jugo.

La obtención experimental de modelos matemáticos que relacionen la dependencia entre la carga aplicada y la deformación de material vegetal durante el proceso de compresión, ha sido estudiada por diferentes autores Maikovcki (1964), Makhov (1969) y Muller (1964).

Algunos autores Adapa (2009), Mani (2004), Mazzu (2007) y Nehru (2010), han realizado investigaciones experimentales de la dinámica del proceso de compresión de masas vegetales, evaluando los requerimientos energéticos y confrontados diferentes modelos utilizados para representar el proceso.

En la última década Britton (2003), Kannapiran (2003), Lougram (2002) y Plaza (2002), han reproducido y mejorado los experimentos de compresión de caña preparada, realizados por Noel Derr a comienzos del Siglo pasado.

MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Tecnológica de Pereira, Republica de Colombia. Se utilizaron muestras de caña de la variedad POJ 28-78, tomadas en la finca la Floresta Vereda Tribunales Consota de la ciudad de Pereira-Colombia. Se recolectaron muestras de cañas en óptimo estado de madurez, se cortaron probetas de nudo y entrenudo de 80 mm de longitud y diámetros promedio de 30 mm.

Las pruebas de compresión uniaxial se realizaron en una máquina universal de ensayos IBERTEST Mod. UMIB-60-SW, se utilizaron tres superficies de compresión: superficie lisa (SL), superficie ranurada (SR), superficie en V (SV) (Figura 1). Los aditamentos fueron construidos en acero A36. Los ensayos se realizaron a una velocidad de avance de 1,67 mm/s, se comprimieron cañas enteras en dirección perpendicular a la fibra.

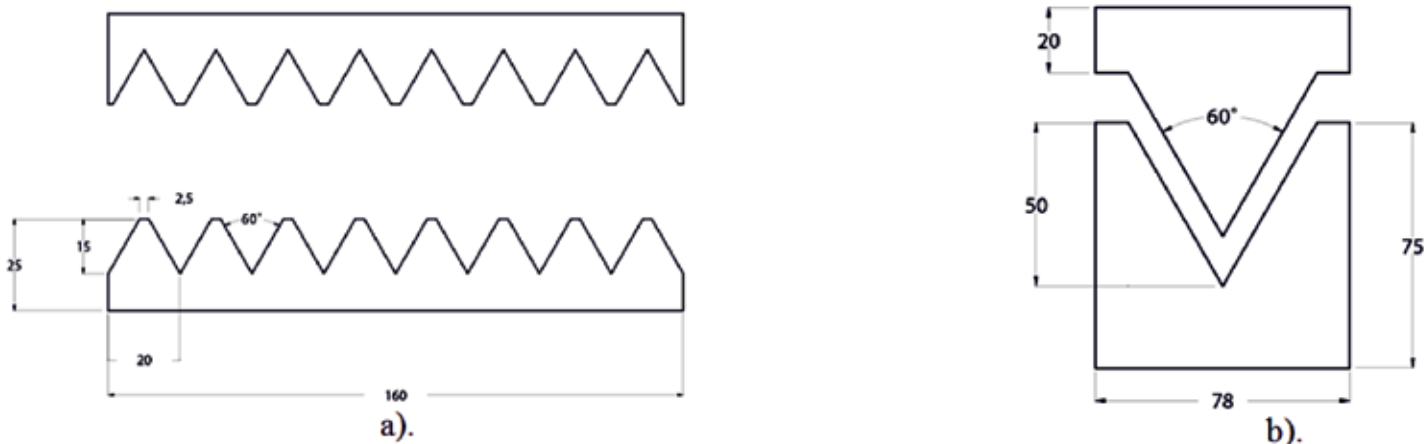


FIGURA 1. Aditamentos para compresión de la caña.

a). (Superficie ranurada, SR; b). Superficie en V, SV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La realización de los ensayos de compresión uniaxial con las superficies de compresión definidas, se identificó cuatro etapas existentes en el proceso:

- Etapa de deformación elástica I;
- Etapa de fractura continua;
- Etapa de deformación elástica II;
- Etapa de deformación plástica.

Etapa de deformación elástica I:

Esta etapa se caracteriza por la elasticidad de la corteza de la caña, la relación entre la carga y la deformación es lineal (Figura 2). Carece de variación volumétrica y no se presenta extracción de jugo. Es una zona de bajo requerimiento energético, la deformación elástica es inferior a 2 mm y la carga no supera los 1,6 kN.

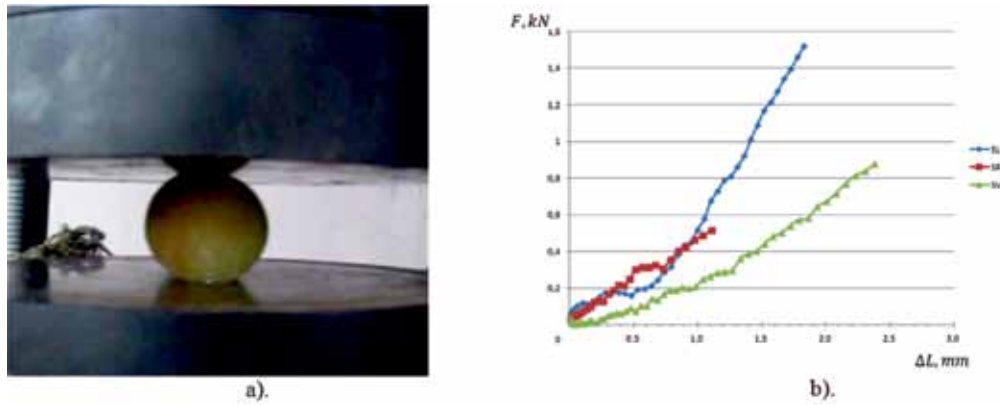


FIGURA 2. Compresión en la etapa de deformación elástica I.

a). Compresión entre superficie lisa; b). Carga en función de la deformación, etapa elástica I.

Etapa de fractura continua

Superado el límite elástico la corteza se fractura y la carga decrece, iniciando una fractura sucesiva de la caña debido a la rotura de los enlaces de las fibras que la constituyen, ocasionando inestabilidad en la carga aplicada, la deformación de la caña aumenta sin incremento considerable de la carga (Figura 3). Es la zona de mayor deformación de la caña, no se presenta cambio volumétrico ni extracción de jugo, la caña se reorganiza en trozos más pequeños.

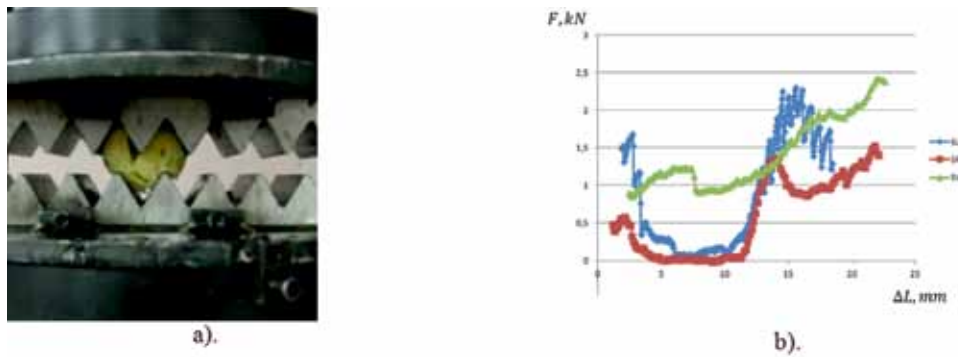


FIGURA 3. Compresión en la etapa de fractura.

a). Compresión entre superficie ranurada; b). Carga en función de la deformación, etapa de fractura.

Etapa de deformación elástica II

Una vez se reorganizan los trozos de caña, termina la zona de fractura y esta adquiere nuevamente la capacidad de oponerse a ser deformada, la carga crece linealmente con respecto a la deformación (Figura 4). La presión interna de la caña aumenta debido a la resistencia del jugo a ser separado de la fibra, la variación volumétrica y la extracción de jugo son prácticamente nulas, el aumento de carga es cercano a los 6 kN.

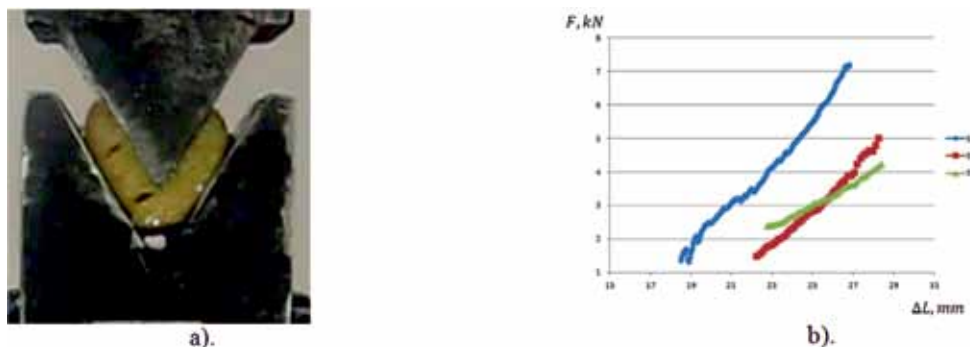


FIGURA 4. Etapa de deformación elástica II.

a). Compresión entre superficie en V; b). Carga en función de la deformación, etapa elástica II.

Etapa de deformación plástica

La relación carga deformación crece rápidamente a medida que la caña es deformada, la presión al interior de la caña se incrementa, el jugo es separado y extraído de la fibra. Se observa una disminución acelerada del volumen de la muestra debido a la extracción del jugo, se presenta un comportamiento de deformación plástica de la caña y la carga crece abruptamente (Figura 5).

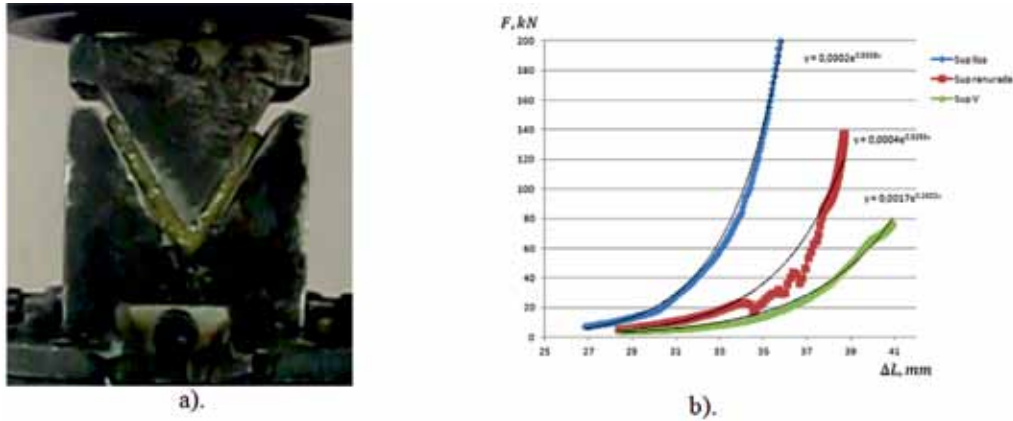


FIGURA 5. Etapa de deformación plástica.

a). Compresión en etapa de deformación plástica; b). Carga en función de la deformación, plástica.

Siendo la extracción de jugo un proceso volumétrico, se construyó un gráfico de deformación en función del tiempo (Figura 6). Lo que muestra la existencia del punto límite de deformación, punto a partir del cual el cambio volumétrico y la extracción de jugo es mínima en comparación con el incremento de carga.

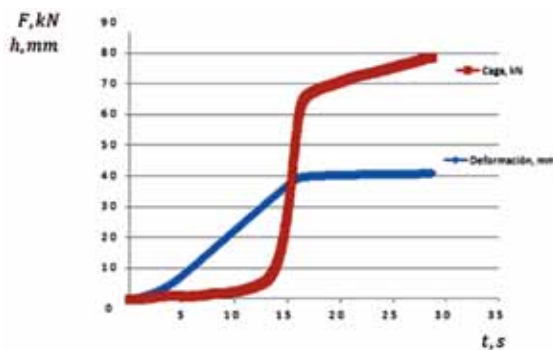


FIGURA 6. Carga F y deformación h , en función del tiempo.

La Figura 7, muestra el porcentaje de energía consumida en cada una de las etapas de compresión. El mayor consumo de energía se presenta en la etapa de deformación plástica, la

energía restante es consumida por las otras restantes del proceso, en lo que se puede denominar etapas de preparación de la caña, consistente en la exposición de la fibra para extracción del jugo.

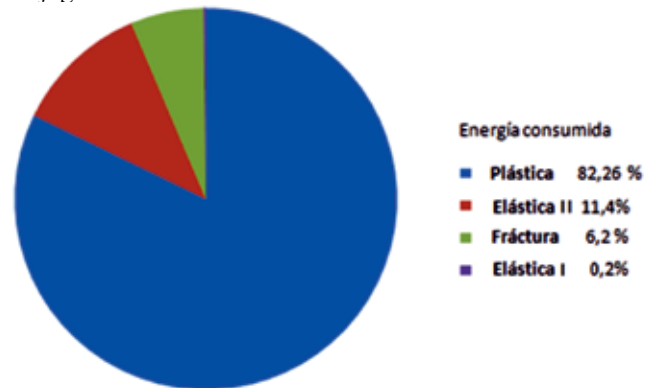


FIGURA 7. Energía consumida por etapas en la compresión.

CONCLUSIONES

- Se evidenció la existencia de cuatro zonas en el proceso de compresión de caña con extracción de jugo, las cuales son independientes del tipo de superficie utilizada. El proceso se divide en dos fases: una primera fase de preparación que agrupa las etapas de deformación elástica I, fractura y elástica II y una segunda fase de extracción constituida por la etapa plástica. La energía consumida en la etapa de extracción de jugo es mucho mayor que la energía requerida para romper las fibras,
- La energía consumida en el proceso se ve afectada por el tipo de superficie de compresión, lo cual se evidencia en los gráficos de carga en función de la deformación en donde se observa que para un mismo valor de deformación, la carga requerida es mayor para la compresión con superficie lisa SL y menor para las superficies ranurada SR y en V SV, encontrándose la justificación de esto a la semiconfinación de la caña en estas dos superficies,
- Se obtiene el punto límite de deformación, a partir del cual la disminución volumétrica de la caña es prácticamente nula. Incrementos de carga superiores a este punto producen pérdidas de energía y sobrecarga en los equipos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAPA P., TABIL L., SCHOENAU G: *Compression Characteristics of Selected Ground Agricultural Biomass*. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript 1347. Vol. XI. June, 2009.
- BRITTON, P.F: *Application of image measurement and continuum mechanics to measuring the large strain kinematic behavior of prepared sugsr cane and bagasee*. Queensland. 148 h. Thesis. For the degree of Doctor of Philosophy. James Cook University. 2003.
- HUGOT, E: *Handbook of Cane Sugar Engineering*, 3th edition, ELSEVIER Francia,1986.
- KANNAPIRAN, A: *Computational and experimental modeling of the crushing of preparedsugar cane*. Queensland. 267 h. Thesis for the degree of doctor of Philosophy. James Cook University. 2003.
- LOUGRAM, J.G; KANNAPIRAN A: *Finite element modeling of the crushing of prepared cane on bagasse*, Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol. Cairns. 2002.
- MAIKOVCKI I.A.: *Bases teóricas de laminado de las plantas agrícolas*. Memorias del consejo científico. VISJOM. Moscú 1964.
- MAKHOV.I.M, MOZHAROV.B.P, ZHUKOV.V.G: *Investigaciones teóricas del proceso de recolección del lino dolgunets*. Investigaciones teoricas y experimentales de las propiedades físico mecanicas de los terrenos, abonos y plantas. VISJOM. Moscú 1969.
- MANI, TABIL, SOKHANSANJ: *Evaluation of compaction equations applied to four biomass species*, Canadian Biosystems Engineering Volume 46 2004.
- MAZZU, A: *Study, design and prototyping of an animal traction cam based press for biomass densification*, Mechanism and Machine Theory 42 (2007) 652–667, ELSEVIER 2007
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, OBSERVATORIO AGROCADENAS COLOMBIA. *Costos de producción de caña de azúcar en Colombia*. Documento de trabajo N.º 47. Bogotá, Colombia. 2004.
- MULLER A.G: *Investigación del aparato de aplastamiento de la máquina de aplastar heno*. Memorias del consejo científico.VISJOM, Moscú 1964.
- NEHRU CH, ALVIN R. W, VENKATA S.P, C. IGATHINATHANE B, YUECHUAN T. YANG, PETRE I. MIU A, SHAHAB SOKHANSANJ: *Bulk density and compaction behavior of knife mill chopped switchgrass, wheat straw, and corn stover*, Bioresource Technology 101 (2010) 207–214, ELSEVIER 2010.
- PLAZA, F: *Measuring, modelling and understanding the mechanical behaviour of bagasse*. Queensland. 343 h. thesis. for the award of Doctor of Philosophy. University of Southern Queensland. 2002.

Logos representativos
de las diferentes secciones
que usted encontrará en la
**Revista Ciencias Técnicas
Agropecuarias**



Máquinas a Prueba

Mecanización Pecuaria



Explotación y Procesos Mecanizados

Tracción Animal



Agricultura de Precisión

Reparación y Tecnología Mecánica



Tractores y Máquinas Agrícolas

Electrificación y Construcciones Rurales



Utilización de la Energía en la
Agricultura

Computación y Matemática Aplicada



Suelo y Agua

Docencia y Capacitación



Oleohidráulica

Agricultura Conservacionista



Postcosecha

Suscríbase