

RESPUESTA DE LAMINADO DE SOJA A ENSAYOS DE COMPRESION PARA EL DISEÑO DE UN EXTRUSOR.

MAROTO, B. G.^{a,b}; MONTOYA, P. A.^b; GRASSO, F. V.^b; CAMUSSO, C. C.^{a,b}.

a- Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.

Avenida Valparaíso S/N. C. C. 509 . C. P. 5000. Córdoba. T. E. (0351)4334116, FAX (0351) 4334105.

bmaroto@agro.uncor.edu.ar

b- Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.

1. Resumen

La extrusión es una operación de transformación, en la cual un material particulado se transforma en una fase homogénea. Para diseñar u optimizar un extrusor es necesario conocer los fenómenos que se producen dentro del mismo. Los ensayos de Compresión Uniaxial Confinada permiten identificar el comportamiento del material con respecto a su reordenamiento y deformación plástica frente a fuerzas de compresión y se puede definir su compresibilidad.

Teniendo en cuenta la utilización de extrusores y expanders en la industria aceitera, se estudió el comportamiento de laminado de soja con distintos contenidos de humedad, sometido a dos velocidades de presión aplicada.

El mayor valor de compresibilidad se obtuvo en la muestra con mayor contenido de humedad a la mayor velocidad de compresión. Se utilizó para la descripción de los fenómenos el modelo de Jones.

2. Introducción

En la tecnología de materiales particulados, es de gran interés el desarrollo de estos materiales bajo fuerzas de compresión. Uno de los procesos de transformación es la extrusión, donde un material particulado es compactado, se transforma en una mezcla aglomerada y finalmente se obtiene la fase homogénea. Esta es conducida por el extrusor, a la zona es más activa del equipo (Barron y col., 2001).

La literatura se focaliza principalmente en la calidad del producto final y sobre los cambios fisicoquímicos experimentados por ciertos componentes durante el proceso, pero poca atención ha sido puesta en el proceso en sí. Para diseñar un extrusor u optimizar sus condiciones de operación, es necesario identificar los fenómenos que se producen en el material y obtener un modelo adecuado para su descripción. (Le Roux y Vergnes, 1995).

Así, es necesario el conocimiento del flujo del particulado, los mecanismos de compactación (que dependen de las interacciones de contacto entre las partículas) y la formación de enlaces que dan resistencia al compacto.

El movimiento del particulado resulta de la combinación de varios factores tales como: distribución de tamaño de partículas, morfología, composición del material y densidad; condiciones de operación como temperatura, humedad, carga estática (Salman y col., 2007).

Los ensayos de compresión se utilizaron extensamente en los campos: cerámica, farmacéutica, metalurgia, ingeniería civil y productos alimenticios para el estudio de algunas propiedades físicas, relacionadas con sus procesos, manejos y operaciones de almacenamiento. (Hong y Barbosa-Cánovas, 2001).

3. Objetivos

Durante la extrusión, un particulado es sujeto a alta presiones y temperaturas cambiando a masa homogénea y transformándose en un fluido. La transformación depende de las características del material y del equipo.

Las condiciones de manipulación que marcan el cambio de un estado a otro se pueden obtener a través de un ensayo de reometría, donde se identifican los cambios en la fuerza de deslizamiento en función de la fuerza axial aplicada. Los cambios en el coeficiente de fricción pueden mostrar el valor de presión a la cual, una muestra disgregada debe ser sometida y pasa a ser una muestra homogénea.

Para obtener las presiones axiales de trabajo se deben realizar preliminarmente ensayos de compresión, que caractericen la compresibilidad del material y definan la presión a la cual el material pasa de un estado de reagrupamiento a un estado de deformación. (Le Roux y Vergnes, 1995).

Este trabajo tiene como objetivo identificar el comportamiento de laminado de soja (obtenido de la industria aceitera) sometido a ensayos de compresión. Estos estudios se aplicarán para comprender los fenómenos de transformación que se producen en un extrusor o un expander, equipos normalmente utilizados en el proceso de extracción de aceite de soja.

Se estudian además los efectos que producen la variación del contenido de humedad del laminado y la variación de la velocidad de compresión en los fenómenos que se producen durante el ensayo.

4. Metodología

Para los ensayos de Compresión Uniaxial Confinada, se utilizó una celda cilíndrica de acero inoxidable de 62,39mm de diámetro interno y 24,05mm de altura. Se utilizó laminado de soja producido por la Aceitera Bunge S. A. (Tancacha-Córdoba).

Considerando las variables, se realizó un diseño bifactorial: (A) velocidad de carga aplicada (mm/s) con dos niveles y (B) humedad (% p/p) con cuatro niveles (tabla 1).

TABLA 1. Diseño Factorial

HUMEDAD VELOCIDAD	6,37%	20%	30%	40%
1mm/s				
4mm/s				

El primer valor de humedad corresponde al contenido del laminado producido en la aceitera el cual se obtuvo por la técnica de secado Carter-Simon (5g muestra a 155°C por 15 minutos). El resto de los valores de humedad y los de velocidades se tomaron teniendo en cuenta datos bibliográficos (Sánchez-Girón y col., 1998) (Le Roux y Vergnes, 1995) (Levy y Kalman, 2001).

El contenido de humedad se ajustó por sprayado uniforme de agua destilada al laminado, antes de realizar la compresión. Se cargó la celda con cada muestra y se registró el peso.

Los ensayos se realizaron aplicando la carga a través de una platina sobre la superficie superior libre de la muestra, por triplicado en una máquina universal de ensayo INSTRON – modelo 4486 con capacidad máxima de 300kN y equipada con celda de carga de 50kN, a temperatura ambiente.

Se registraron los valores de desplazamiento en función de carga aplicada, hasta un valor máximo (teniendo en cuenta una variación de desplazamiento no significativa).

Los diagramas de compresión correspondientes a cada muestra se obtuvieron comparando densidad de la muestra (g/cm^3) en función de presión aplicada (kPa).

5. Resultados

Los diagramas de compresión muestran la forma característica de este tipo de ensayo (Sánchez-Girón y col., 2001).

En la figura 1 se puede observar el comportamiento para los distintos grados de humedad y velocidad de compresión de 1mm/s. En la figura 2 se comparan a la velocidad de compresión de 4mm/s.

FIGURA 1. Diagramas de compresión a velocidad 1mm/s

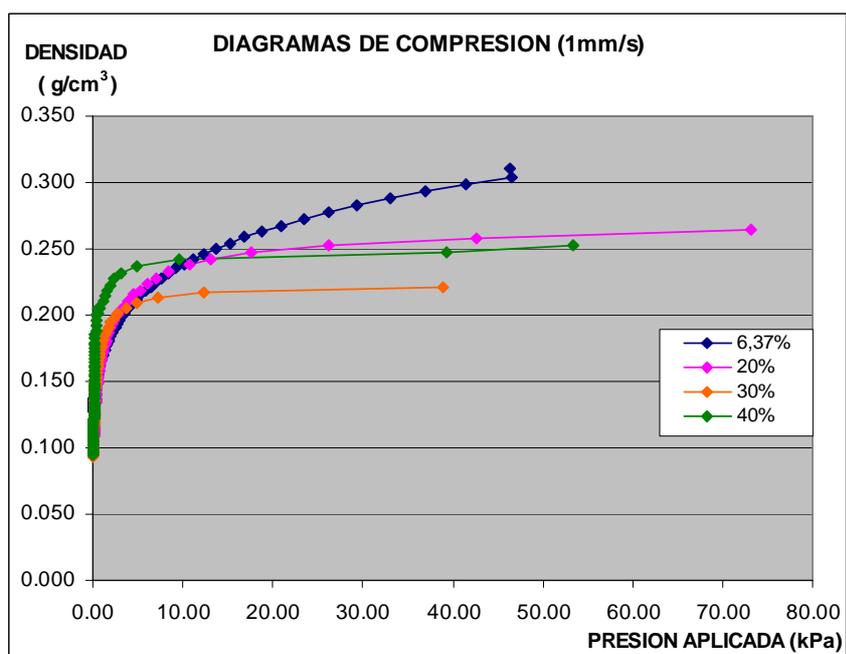
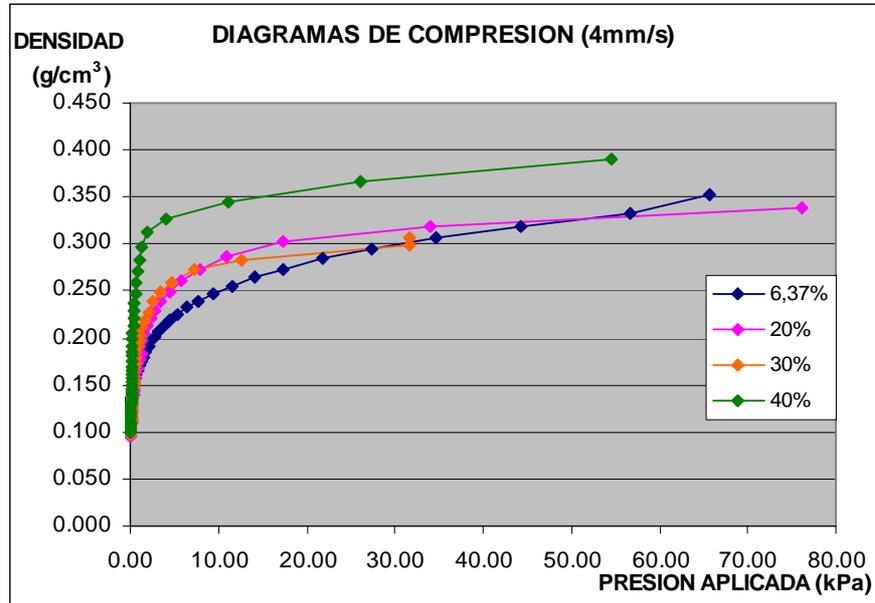


FIGURA 2. Diagramas de compresión a velocidad 4mm/s



Comparando el efecto de la velocidad de compresión, para un mismo contenido de humedad, la mayor velocidad aplicada produce mayor compresión.

FIGURA 3. Diagramas de Compresión de laminado con 6,37% de humedad para las dos velocidades de carga

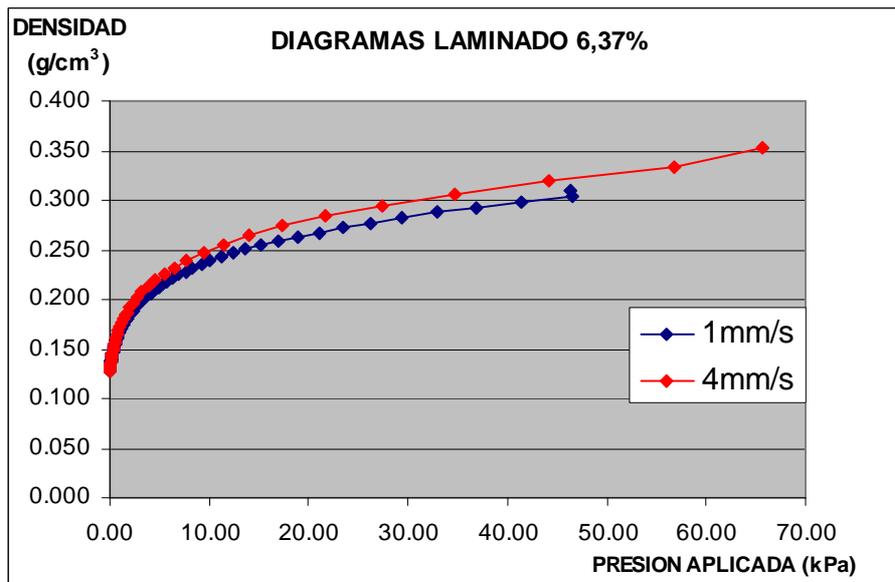
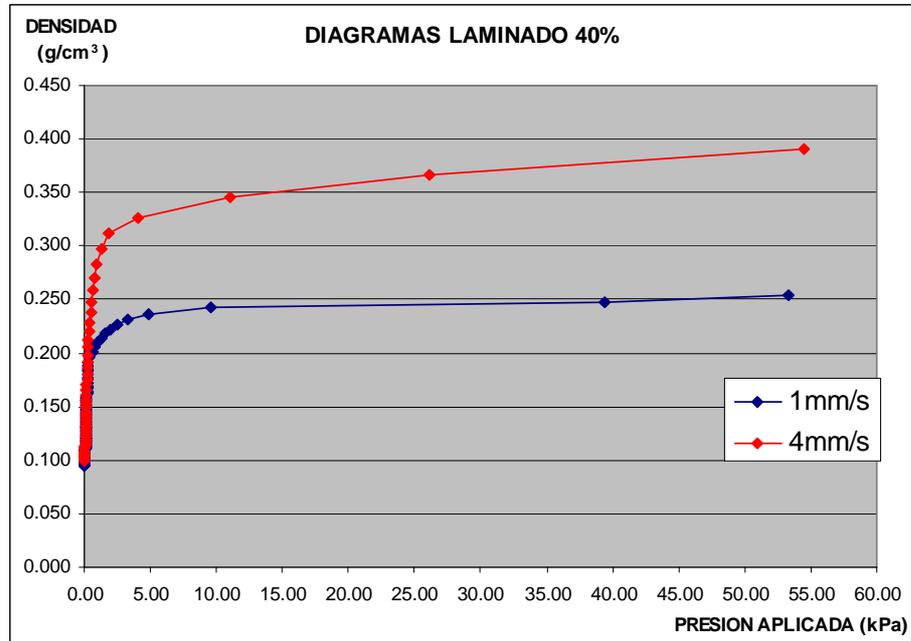


FIGURA 4. Diagramas de Compresión de laminado con 40% de humedad para las dos velocidades de carga



Diferentes modelos de compresión han sido propuestos para materiales alimenticios y no alimenticios. Estos relacionan la variación de volumen de la muestra con la variación de la presión aplicada como el modelo de Walker utilizado por Adapa (Adapa y col., 2002) o la relación entre la densidad relativa de la muestra con la fuerza normal aplicada utilizada por Barbosa-Cánovas (Barbosa-Cánovas y col., 1987). En general todos los métodos poseen sus ventajas y limitaciones y una relación podría no proveer una descripción adecuada para el proceso de compactación completo.

En este estudio, para identificar el comportamiento del laminado de soja frente a la presión con variación en su velocidad de aplicación y evaluar también el efecto del agua, se eligió utilizar el modelo de Jones que sugiere una relación lineal entre la densidad de la muestra y la presión aplicada (Emami y Tabil, 2007).

$$\ln \rho_b = m \ln P_b + b \quad (1)$$

Donde ρ_b es la densidad de la muestra; P_b es la presión compresiva; m y b son constantes del modelo. La constante m es la compresibilidad.

Se obtuvieron los siguientes valores por Regresión Lineal (tabla 2).

TABLA 2. Parámetros del modelo de Jones

HUMEDAD VELOCIDAD	6,37%	20%	30%	40%
1mm/s	m = 0,1130 b = -1,7207 R ² = 0,93	m = 0,1526 b = -1,8136 R ² = 0,97	m = 0,1483 b = -1,7845 R ² = 0,96	m = 0,1700 b = -1,6532 R ² = 0,83
4mm/s	m = 0,1311 b = -1,7032 R ² = 0,95	m = 0,1833 b = -1,7411 R ² = 0,96	m = 0,1883 b = -1,7000 R ² = 0,95	m = 0,2163 b = -1,4533 R ² = 0,88

6. Conclusiones

Un cierto número de estados pueden identificarse durante la compactación de un material particulado: luego del llenado de la celda, el particulado se encuentra en un estado de empaquetamiento libre. Las partículas son capaces de trasladarse y rotar unas con respecto a otras desarrollando un empaquetamiento denso, el cual se considera terminado cuando el reordenamiento ha finalizado. El próximo paso de densificación se produce por el contacto e interacción entre partículas vecinas. Algunos materiales pueden deformarse y romperse durante el proceso. El contacto entre partículas es cerrado y se forman poros aislados. Durante este proceso la densidad aumenta y se utiliza usualmente para definir el estado del material y la compactación ocurre por interacciones ente partículas vecinas. Hay también una contribución al cambio en el mecanismo de compresión con el procedimiento de compresión, la rapidez de la compactación hace que el material sea más fácil de fracturar.

Un proceso de compactación en el cual no se aplican presiones extremadamente altas, nunca producirá un compacto que es libre de poros.

Cuando se grafica la densidad como función de la presión de compactación, la curva muestra un número de regiones distintivas. A bajas presiones ocurre un reagrupamiento de partículas; la segunda porción corresponde a las modificaciones en la densidad por remoción de poros interaglomerados. (Salman y Hounslow 2007).

El comportamiento del laminado de soja, concuerda exactamente con la descripción bibliográfica sobre materiales particulados. En cada diagrama se identifican claramente los dos estados del material: reordenamiento y deformación plástica. Es destacable el comportamiento del laminado sin ajuste de humedad, donde la densidad aumenta con el aumento de la presión aplicada, sin llegar a un valor máximo por la presencia de poros, que permiten un acomodamiento del material por fragmentación. En las muestras con mayor contenido de agua y a las dos velocidades ensayadas, se observan las zonas de reordenamiento y deformación. Cuanto mayor es el contenido de humedad, la zona de reordenamiento requiere menor presión. Esto se produce porque el agua ocupa los poros de las láminas y modifica las condiciones del material de tal forma que en la medida que aumenta la presión, hay deformación plástica en lugar de fragmentación desapareciendo también los poros intergranulares.

La muestra con 20% de humedad, se comporta con un reagrupamiento similar a las muestras de 30% y 40%, pero su deformación plástica es baja y sufre fragmentación similar a la muestra con 6,37% de humedad debido a que esta cantidad de agua no es suficiente para modificar el material. Esto se aprecia en la densidad de las mismas que llegan o superan los valores de densidad de las muestras conteniendo 40% de humedad.

El efecto de la velocidad de carga aplicada es tal que a la velocidad de 4mm/s se consiguen mayores densidades que a 1mm/s.

La linealidad en la aplicación del modelo de Jones a las curvas obtenidas por los ensayos de compresión, demuestra la validez de este modelo.

Si se consideran materiales estudiados por otros investigadores, las láminas poseen alta compresibilidad; para harina de garbanzo, su fracción de almidón y su fracción proteica sus valores son $2,68 \times 10^{-3}$, $2,55 \times 10^{-3}$ y $2,32 \times 10^{-3}$ respectivamente (Emami y Tabil, 2007).

Estos valores obtenidos son de gran valor para caracterizar o para optimizar el funcionamiento de un expander en la industria aceitera. El primer tramo del tornillo del equipo debe tener un diseño tal que genere un valor de presión de deformación plástica en una longitud reducida y el fenómeno de reagrupamiento no afecte la capacidad del equipo.

7. Bibliografía

- Adapa, P.; Tabil, L.; Schoenau, G.; Crear, B.; Skhansanj, S. (2002) Compression characteristics of fractionated alfalfa grinds, Powder Handling and Processing. The International Journal of Sorting, Handling and Powder 14, 252-259.
- Barbosa-Cánovas, G.; Malavé, J.; Peleg, M. (1987). Density and compressibility of the selected food powder mixtures. Journal of Food Process Engineering 10, 1-19.
- Barron C. y col.(2001) Estructural modifications of low hydrated pea starch subjected to high thermomechanical processing. Carbohydrate Polymers 43, 171-181.
- Emami, S.; Tabil, L. (2007). Friction and compression characteristics of chickpea flour and components. Powder Technology. 175, 14-21.
- Hong, Y.; Barbosa-Cánovas, G. (2001) Density changes in selected agglomerated food powders due to high hydrostatic pressure. Lebensmittel-Technologie, 34, 495-501.
- Le Roux, D.; Vergnes, B. (1995) A thermomechanical approach to pasta extrusion. Journal of Food Engineering 26, 351-368.
- Levy, A.; Kalman, H. (2001) Handbook of Conveying and Handling of Particulate Solids. Publisher: Elsevier
- Salman, A.D.; Hounslow, M.J.; (2007). GRANULATION. Elsevier Science.
- Sánchez-Girón, V.; Andreu, E.; Hernanz, J. (1998) Response of five types of soil to simulated compaction in the form of confined uniaxial compression tests. Soil & Tillage Research 48, 37-50.
- Sánchez-Girón, V.; Andreu, E.; Hernanz, J. (2001) Stress relaxation of five different soil samples when uniaxially compacted at different water contents.. Soil & Tillage Research 62, 85-99.