

FABRICACION DE BRIQUETAS CON ASERRIN BLANCO DE PINO. ANALISIS INMEDIATO Y OBTENCION DE SU PODER CALORIFICO.

V. Gallipoliti¹ ; P. Martina² , J. Corace², R. Aeberhardt³ E. García Sola⁴
Grupo de Investigación en Energías Renovables (GIDER) – Departamento de Termodinámica
Facultad de Ingeniería – UNNE
Av. Las Heras 750 – (3500) Resistencia – Chaco
Email: angelinag2@arnet.com.ar pablo@ing.unne.edu.ar

RESUMEN: Se informa las primeras experiencias llevadas a cabo en el Grupo de Investigación de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería de la UNNE sobre el aprovechamiento energético de *briquetas* fabricadas con aserrín de pino y almidón de mandioca como aglomerante. Se moldearon 24 briquetas de 10 cm de largo c/u aproximadamente. Se realizó el análisis inmediato de las muestras, obteniéndose valores bajos en cenizas y humedad lo que evita la generación de polvo y el retraso en el encendido del carbón. También se realizó la medición de su poder calorífico con la bomba de Mahler y luego se verificó este valor con fórmula de regresión lineal dado por bibliografía científica, lográndose valores muy próximos. Los excelentes resultados obtenidos en esta primera etapa alientan a la continuidad de los ensayos para optimizar la producción en la medida de lograr un producto de calidad, contribuir al cuidado del medio ambiente y brindar solución energética a poblaciones rurales.

Palabras clave: Briquetas – Poder calorífico – Aserrín – Residuos – Análisis inmediato – Aglomerante.

INTRODUCCION

Los métodos industriales de briquetado datan de la segunda parte del siglo XIX. Desde entonces el uso de las briquetas ha estado ligado a períodos de escasez de combustible y a épocas de crisis. Durante la II Guerra Mundial la fabricación de briquetas a partir de residuos de madera y otros desperdicios se encontraba muy extendida en Europa y América. Tras la guerra las briquetas fueron apartadas del mercado por los hidrocarburos baratos. De nuevo durante los períodos de alto precio de la energía, como los años 70 y principios de los 80, el uso de briquetas se revitaliza, principalmente en Escandinavia, los EEUU y Canadá. Actualmente la tendencia es producir briquetas de combustible de bajo coste económico, a partir de residuos no utilizados para otros usos de mayor valor (Ortiz, L. *et al*, 2003)

En la actualidad la utilización de los subproductos forestales tiene un alto grado de desaprovechamiento. El aserrín, viruta, despuntes, entre otros, se almacena en grandes espacios físicos o se quema en calderas, sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor. Una de las vías para utilizar los residuos madereros es convirtiéndolos en *pellets* o *briquetas*, conocidos también como *biocombustibles sólidos densificados*. Al fabricar y comercializar este tipo de combustibles, se disminuye considerablemente la cantidad de residuos, se reduce el volumen transportado, así como también se logra una combustión más limpia y eficiente.

Las *briquetas* o bloques sólidos son combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas. Es un producto 100% ecológico y renovable, ya que están hechas de desperdicios forestales tales como el aserrín, viruta, chips, ramas, restos de poda, raleo fino, etc., catalogada como bio-energía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas: poder calorífico similar, fácil y rápido encendido, baja humedad, alta densidad, ocupa menos espacio, homogéneas, fácil manipulación, sin olores, humos ni chispas y menor porcentajes de cenizas.

Se han estudiado los aprovechamientos de residuos forestales y su valoración energética en el empleo de procesos termoquímicos, combustión, gasificación y pirólisis (Goldstein, L.S., 1981; Soltes, E.J., 1980; Demeyer A. 1985; Rodríguez J.J *et al*, 1990) El aporte de investigadores de la Universidad de Málaga, España junto con la Universidad de Cuba (Marquez-Montesino, F. *et al*, 2001) denotan las posibilidades de aprovechamiento energético de diversos residuos forestales, carbonizados de aserrín preparados a escala de laboratorio y carbones vegetales preparados en horno de parva (*Pinus caribaea* Morelet var). En la Universidad de Talca, Chile se experimentó fabricando *pellets* de carbonilla, usando aserrín de *Pinus radiata* como material aglomerante, consiguiéndose una combinación óptima de los componentes y friabilidad que permite obtener una ganancia energética de 24,25 % con respecto a un *pellet* de 100 % de aserrín (Soto, G. y Núñez, M; 2008)

¹ Msc. Ing . Prof. Univ. Investigador FAU- UNNE

² Ing. Prof. Univ. Investigador Dpto. Termodinámica - GIDER -FI - UNNE.

³ Lic. en Física. Investigador Dpto. Termodinámica- GIDER-FI-UNNE

⁴ Ing. Prof. Univ. Director Proyecto - GIDER -FI - UNNE.

La Provincia del Chaco ha sido siempre una zona muy rica en recursos forestales. Su gran extensión y su suelo propicio, le han permitido desarrollar en el transcurso de los siglos una gran superficie de bosques, con una gran profusión de especies. Entre estas especies, se pueden destacar el algarrobo, el quebracho colorado y blanco, el pino, el urunday, el mistol, el vinal, el palo borracho, el lapacho, etc. Todas estas maderas, de gran valor comercial, se han utilizado desde el comienzo de la colonización chaqueña para su uso en muebles, tirantes, durmientes (ferrocarril), pisos, machimbres, aberturas, madera para la construcción, etc. También debe destacarse el uso de este recurso como proveedora de productos químicos para la industria de la curtiembre (el tanino) y también la utilización de restos de troncos, raigones, restos de maderas, costaneros, etc. para la fabricación de carbón en hornos de pirólisis (los típicos hornos media naranja tan abundantes en el interior chaqueño).

En la industria del mueble, en la que se procesa el tronco tal como viene desde el monte hasta que se transforma en tablas o en muebles, se producen grandes cantidades de aserrín, virutas, costaneros, desechos pequeños., etc, que se depositan en contenedores, formando grandes volúmenes que finalmente se queman, entierran o se abandonan en campos cercanos. Estos amontonamientos de madera resaca, tienen el peligro permanente de producir incendios, así como también de ser refugio para pequeñas alimañas, roedores, depósitos de basuras y enfermedades etc.

Si tenemos en cuenta que en toda la Provincia del Chaco existen innumerables aserraderos, carpinterías, mueblerías, carbonerías, taninerías, etc, el volumen de residuos producidos alcanza cifras de gran magnitud. Si consideramos solo algunas ciudades del Chaco, el número de carpinterías y aserraderos son considerables, a saber: Gran Resistencia 190, Presidencia de la Plaza 110, Machagai 230; Quitilipi 200; Presidencia Roque Sáenz Peña 140 y Castelli 90 establecimientos (PI SCyT-2011-1014 - UNNE)

Por todo lo expuesto surgió, la iniciativa de utilizar estos residuos madereros para lograr, una fuente de energía económica, no contaminante y fácil de usar. El trabajo se enmarca dentro del Proyecto Investigación *Combustibles alternativos a partir de residuos orgánicos de la región chaqueña: biogas y briquetas. Caracterización, propiedades y utilización sustentable* acreditado por la Secretaria de Ciencia y Técnica de la UNNE, iniciado en el año 2011. Se tuvo por objetivo la fabricación de briquetas con restos de aserrín de pino blanco más un aglomerante (ligue) de harina de mandioca, determinación de su análisis inmediato y medición del Poder calorífico de las muestras. Consecuentemente con ello, se espera establecer condiciones para lograr, en experiencias posteriores, parámetros y guías de su utilización para la industria y el comercio, como ser: rendimientos térmicos óptimos, poder calorífico, optimización de la producción, etc.

PROCEDIMIENTO

Las briquetas fueron preparadas usando residuos de madera (aserrín de pino blanco) de partícula fina. El residuo de madera se seca hasta aprox. un 6% de contenido de humedad antes de ser procesado; luego se procede a molerlo hasta formar harina de madera la cual es introducida en la briquetadora, junto con los otros ingredientes, comprimiéndolo manualmente con una masa como se muestra en la foto a continuación. Los elementos utilizados fueron: horno eléctrico a 105 °C, Mufla eléctrica y Balanza de precisión marca Mettler P1210 de 0,01 gr de apreciación, de procedencia Suiza, capacidad: 12000 gr.

Se midieron 500 ml de este aserrín en un vaso de precipitados, de la misma forma, se midieron unos 300 ml de aglomerante (almidón de mandioca) y agua a discreción. El almidón de mandioca es un elemento de consumo muy difundido en la región por sus cualidades culinarias. Se mezcló estos ingredientes hasta obtener una masa homogénea.

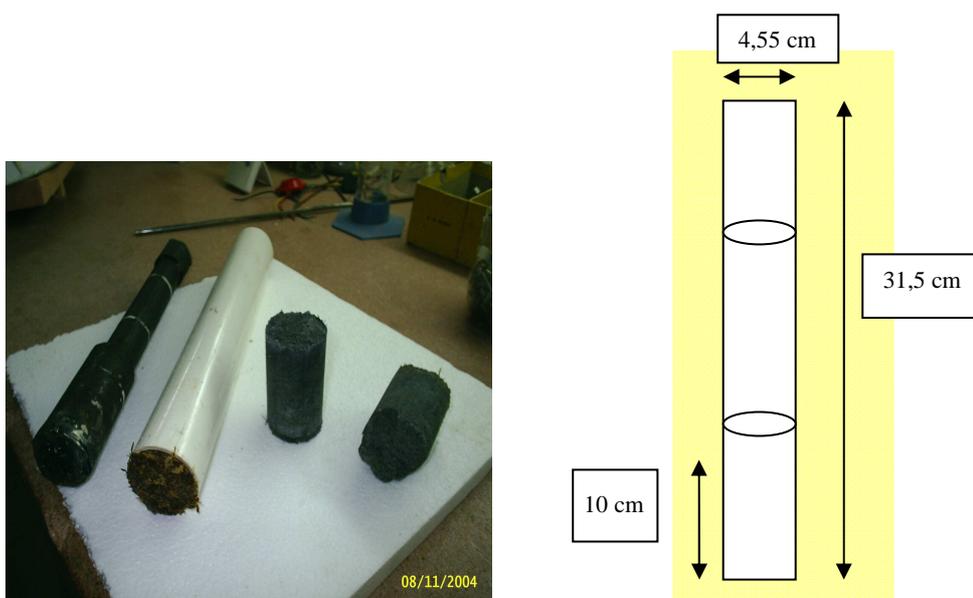


Figura N° 1: Foto de los elementos de fabricación de las briquetas, algunas de ellas y esquema de la briquetera empleada



Figura N° 2: Imágenes de briquetas fabricadas y balanza de precisión Mettler P1210

A continuación se introdujo la mezcla dentro de un tubo de PVC de 31,5 cm de largo y 45,5 mm de diámetro interior, con separadores internos de plástico cada 10 cm aproximadamente. Se compactó la muestra dentro del tubo ejerciendo presión. La compactación del material se consiguió mediante el golpeteo, producido sobre la mezcla, por un pistón accionado manualmente, escurriéndose el resto del agua y dando lugar a cilindros cuyas dimensiones fueron de 10 cm de largo por 45 mm de base, aproximadamente. Se lograron 8 tandas de carga de la briquetera, que constituyeron unas 24 briquetas.

Análisis Inmediato

El análisis inmediato es un ensayo rápido que permite predecir el comportamiento de un combustible en ciertos casos. Se trata de una simple separación de los compuestos del combustible en función de sus diferentes volatilidades, proporcionando los contenidos en peso de las fracciones de cenizas, materias volátiles y carbono fijo. Se consultaron las normas IRAM 17.005 carbones y coque. Método de determinación de humedad – IRAM 17.007 carbones y coque. Método de determinación de materiales volátiles – IRAM 17.006 carbones y coque: método de determinación de cenizas – ASTM D3172 – D3173 Y D3174 – ISO 1171 Y 562

Después de desmoldadas las muestras, se pesó (peso húmedo) una cantidad determinada, para obtener su peso verde o inicial. Luego se lleva la muestra a horno eléctrico a 105 °C por aproximadamente 24 hs. para obtener su peso libre de agua. Con estos valores se pudo calcular el contenido de humedad de la muestra con la fórmula de diferencia de peso (1).

$$CH = \frac{P \text{ inicial} - P \text{ seco}}{P \text{ seco}} * 100 \quad (1)$$

Donde:

CH: contenido de humedad de la muestra

P.inicial: peso húmedo

P.seco: peso final después de 24 hs. en estufa a 105°C

Valor hallado: **CH = 12,3 %**

Las materias volátiles son desprendimientos gaseosos de la materia orgánica durante el calentamiento exigido por la norma (ASTM 3175, ISO 562) y están constituidas por hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, sulfuros de hidrógeno, metano, amoníaco, benceno, naftaleno, tolueno y vapores alquitranes. La muestra se llevó a mufla eléctrica a 550 °C (p550) hasta peso constante y luego calcinación a 780 °C (p780) . Como regla general se puede afirmar que carbones con alto contenido de volátiles combustionan mas fácilmente y con llama larga.

Valor hallado: **MV = 60,9 %**

Las cenizas, si la combustión ha sido completa, son exclusivamente inorgánicas. Su conocimiento es importante ya que forma depósito en las paredes de los hornos y normalmente cuando están en gran cantidad se deben extraer del carbón. El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. Las cenizas reducen el poder calorífico del combustible y el rendimiento térmico de un horno por interferir en la transferencia de calor; además, su eliminación de los hogares de combustión supone un encarecimiento del proceso. En este estudio la muestra seca, luego de haber pasado por la mufla a 550 °C, se dejó enfriar en desecador, y luego se registro el peso (cenizas).

Valor hallado: **CEN = 1,9 %**

El carbono fijo es la parte que no es volátil y que quema en estado sólido. Se encuentra en el residuo de coque que queda en el crisol luego de determinadas las materias volátiles. Si a este residuo se le restan las cenizas se obtiene el carbono fijo, por lo que generalmente el porcentaje de carbono fijo no se obtiene pesando el residuo, sino por diferencia una vez conocidas la humedad, las cenizas y las materias volátiles. Es importante para calcular la eficiencia en equipos de combustión.

$$\text{CF} + \text{CEN} + \text{MV} = \text{SS o ST Sólidos secos o sólidos totales} = 100 \%$$

$$37,2 \% + 1,9 \% + 60,9 \% = 100 \% = \text{SS}$$

La muestra tenía 12,3 % de contenido de humedad, o se que: 12,3% + 87,7% de sólidos secos o sólidos totales = 100%

En la observación de estos resultados del análisis inmediato podemos verificar un bajo contenido de cenizas, dato importante a tener en cuenta para su utilización como fuente de energía directa, ya que un alto contenido en materia inorgánica disminuye el poder calorífico (Raveendran, K. y Ganesh, A. 1996), además de limitar otras aplicaciones como materia prima para otros procesos (metalurgia o preparación de carbones activos) Las briquetas obtenidas se han preparado a temperaturas de 780°C con tiempo de carbonización de 2 horas aproximadamente.

DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO DE LA MUESTRA

Se determinó el poder calorífico de la muestra con la bomba calorimétrica de Malher con protocolos según norma IRAM 17016 y ASTM D2015 UNE-EN 1860-2. El proceso en ella se realizó con la quema del combustible a volumen constante. Se introduce la muestra a analizar y la cantidad de oxígeno necesario para la combustión, que se inicia mediante ignición por medio de un conductor eléctrico en cortocircuito. La energía liberada se determina teniendo en cuenta la diferencia de temperaturas del agua del calorímetro, la masa del combustible, la masa de la bomba calorimétrica, y aplicando factores de corrección.



Figura N° 2: Briquetas fabricadas y Bomba calorimétrica de Malher utilizada para hallar el Poder calorífico de las muestras de briquetas

Valor hallado: **Poder calorífico = 4289,4 kcal/kg**

De la bibliografía consultada (Cordero T. *et al*, 1989) se consideró interesante la aplicación de una ecuación que relaciona el poder calorífico de diversos materiales biomásicos con sus contenidos en materia volátil y carbono fijo, a través de un análisis de regresión lineal múltiple. Esta ecuación se ha mostrado válida para residuos agroforestales húmedos, secos o carbonizados, por lo que se considera válida su aplicación a carbones vegetales obtenidos.

$$\text{HV} = 0.3563 \text{ Cf} + 0.1755 \text{ Mv} \quad (2)$$

Donde:

HV. Poder calorífico en KJ / g

Cf: porcentaje en carbono fijo

Mv: material volátil, ambos sobre base seca.

Esta ecuación surge de la regresión lineal múltiple de los datos de poder calorífico experimental frente a contenido en volátiles y contenido en carbono fijo. La validez de la regresión esta dada por el valor $R^2 = 0.999$ y el elevado porcentaje en que la regresión es válida y la ecuación reproduce francamente bien los valores de los poderes caloríficos experimentales.

Se procedió a calcular el Poder calorífico con nuestros valores hallados anteriormente y la formula (2). Luego se procedió a realizar la comparación con el valor medido en la bomba de Malher.

$$HV = 0,3563. 24,9 \% + 0,1755. 60,9\% = 19,55 \text{ KJ/ g}$$

Realizando la conversión de unidades en base a 1 Joule = 0,239 cal, se obtiene un valor de Poder calorífico calculado de:

$$HV = 4672,45 \text{ Kcal/ kg}$$

Por otro lado el valor hallado con la bomba de Malher: Poder calorífico experimental = **4289,4 kcal/kg**

Se observa valores bastante próximos en los resultados de los poderes caloríficos medidos experimentalmente y el calculado con la formula (2) de regresión lineal hallada por los autores anteriormente citados. Esto valida los procedimientos y proporciones utilizadas en la fabricación de las briquetas, y nos brinda información para la valoración energética de las mismas.

Los valores obtenidos de poder calorífico, tanto el calculado como el medido experimentalmente, están dentro del intervalo de poderes caloríficos que se presentan en la bibliografía para los materiales biomásicos (Jiménez y González, 1991; Cordero *et al*, 1989; Raveendran y Ganesh, 1996)

RESULTADOS

En el cuadro que se muestra se realizó un resumen de los valores hallados en el análisis inmediato y poderes caloríficos

Muestra/Propiedad	Contenido de Humedad CH	Materiales volátiles MV	Cenizas CEN	Sólidos secos SS o ST	Carbono fijo CF	Poder calorífico PC medido Kcal/kg	Poder calorífico PC calc Kcal/kg
Briquetas	12,3%	60,9%	1,9 %	75,1 %	24,9 %	4289,4	4672,45

Tabla N° 1: Resumen de los valores hallados del análisis inmediato y Poder calorífico de las briquetas fabricadas.

CONCLUSIONES

- La fabricación de briquetas a partir de residuos forestales procedente de carpinterías y aserraderos en la provincia del Chaco constituye una importante fuente energética y contribuye positivamente al cuidado del medio ambiente y desarrollo sostenible de la región. Esta primera experiencia permitió obtener briquetas con bajo contenido de cenizas y bajo de contenido de humedad, lo que evita la generación de polvo, evita el retraso en el encendido del carbón, y permite pensar en la continuidad de los ensayos para optimizar la producción y constituir una actividad rentable en la medida de lograr un producto de calidad.
- La información requerida para la valoración energética de las briquetas fabricadas pudo constatarse con la aplicación de una ecuación sencilla que permitió calcular el poder calorífico a partir del análisis inmediato.
- No se realizaron pruebas de friabilidad* ya que las muestras obtenidas resultaron con una buena compactación y tampoco se realizó el análisis elemental (% C, % H, % N y % O), lo que se podría realizar en etapas siguientes y con el instrumental necesario.
- Considerando que la materia prima de este producto logrado tiene un contenido de humedad entre 8 a 12 %, obteniendo una eficiencia energética de 4672,45 Kcal/kg como poder calorífico superior, en consecuencia la combustión de briquetas contribuye a disminuir las concentraciones de CO₂, SO_x y NO_x causantes del efecto invernadero y el cambio climático.
- La fabricación de estos combustibles sólidos contribuye a solucionar varios problemas de la región Nordeste, por un lado reutilizar la inmensa cantidad de desechos madereros que se acumulan en grandes espacios al aire libre, linderos a los aserraderos y brindar a la comunidad un combustible alternativo principalmente a las poblaciones rurales que viven alejadas de los centros de provisión de combustibles convencionales.
-

* Friabilidad: porcentaje entre briquetas iniciales y las que quedan enteras al final del ensayo, luego de haberlas arrojadas al suelo para verificar en cuantas partes se rompe (Marcos y Camps, 2002)

- Dada la cantidad de ventajas de este producto es sumamente importante probar en Laboratorio nuevos tipos de briquetas y diferentes aglutinantes. Este es el único modo de obtener y comparar los datos técnicos de las variadas opciones existentes en nuestra región. El equipo de ensayo no es demasiado costoso, y es fácil de construir.

REFERENCIAS

- Ortiz, L. Tejada, A.; Vázquez, A.; Piñeiro, G. 2003. Aprovechamiento de la Biomasa Forestal producida por la Cadena Monte-Industria. Parte III: Producción de elementos densificados (en línea). Galicia, España. http://www.cismadera.com/downloads/biomasa_iii.php.
- Goldstein, L.S., 1981; Soltes, E.J., 1980; Demeyer A. 1985; Rodríguez J.J *et al*, 1990, citado por Márquez Montesino, F. *et al* 2001 en “Estudio del potencial energético de biomasa *Pinus Caribaea Moretet var. Caribaea (PC)* y *Pinus Tropical Morelet (PT)*; *Eucalyptus Saligna Smith (ES)*, *Eucalyptus Citriodora Hook (EC)* y *Eucalyptus...*” Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, año/Vol. 7, numero 001- Universidad Autónoma Chapingo, México pp.83-89
- Márquez -Montesino, F.; Cordero Alcántara, T.; Rodríguez Mirasol J.; Rodríguez Jiménez J. J.; 2001 en “Estudio del potencial energético de biomasa *Pinus Caribaea Moretet var. Caribaea (PC)* y *Pinus Tropical Morelet (PT)*; *Eucalyptus Saligna Smith (ES)*, *Eucalyptus Citriodora Hook (EC)* y *Eucalyptus...*” Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, año/Vol. 7, numero 001- Universidad Autónoma Chapingo, México pp.83-89
- Soto, G. y Núñez, M; 2008 Fabricación de Pellets de Carbonilla, usando aserrín de *pinus radiata* (D. Don), como Material aglomerante. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. Talca, Chile. ISSN 0717-3644
- Proyecto acreditado de la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste:
Combustibles alternativos a partir de residuos orgánicos de la región chaqueña: biogas y briquetas. Caracterización, propiedades y utilización sustentable (2011-2014)
- Normas IRAM 17.005 carbones y coque. Método de determinación de humedad – IRAM 17.007 carbones y coque. Método de determinación de materiales volátiles – IRAM 17.006 carbones y coque: método de determinación de cenizas – ASTM D3172 – D3173 Y D3174 – ISO 1171 Y 562
- Normas (ASTM 3175, ISO 562)
- Raveendran, K. y Ganesh, A. 1996, Fuel, 75(15), 1715 citado por Márquez Montesino, F. *et al* 2001 en “Estudio del potencial energético de biomasa *Pinus Caribaea Moretet var. Caribaea (PC)* y *Pinus Tropical Morelet (PT)*; *Eucalyptus Saligna Smith (ES)*, *Eucalyptus Citriodora Hook (EC)* y *Eucalyptus...*” Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, año/Vol. 7, numero 001- Universidad Autónoma Chapingo, México pp.83-89
- Normas IRAM 17016 y ASTM D2015 UNE-EN 1860-2: aparatos, combustibles sólidos y sustancias de encendido para el asado en barbacoas. parte 2: carbón vegetal y briquetas de carbón para barbacoas sept de 2005. Norma paRa determinación del poder calorífico de combustibles sólidos mediante bomba calorimétrica de mahler: IRAM 17016 – NORMA ASTM D2015: medición de poder calorífico – IRAM 17016: carbones: método de determinación del poder calorífico
- Cordero, T.; García Herruzo, F.; Gómez Lahoz, C.; Rodríguez, 1989, J.J. ; An. Qui. 85(3), 445.
- Jiménez, L. y González, F. 1991. Fuel, 70(8), 947.
- Marcos, F.; Camps, M. 2002. *Biocombustibles Sólidos Densificados*. Madrid, España. Mundi-prensa. 154 p.

AGRADECIMIENTOS Se agradece la colaboración de la Lic Patricia Brest del INTA de Castelar, provincia de Bs. As.

SUMMARY: It is reported the first experiments carried out in the Group Renewable Energy Research, Faculty of Engineering UNNE on the energy use of briquettes made from pine sawdust and cassava starch as a binder. 24 were molded briquettes approximately 10 cm long. Immediate analysis was performed of the samples, obtaining a low ash values and humidity which avoids the generation of dust and the ignition delay coal. We also performed the measurement of their heat pump with Mahler and this value is then verified with linear regression formula given by scientific literature, achieving values close. The excellent results obtained in the first step to encourage the continuation of trials to optimize production to the extent of achieving a quality product, contribute to environmental care and energy solution to provide rural populations.

Keywords: Briquettes - Calorific - Sawdust - Waste - Immediate analysis - Binder.