

# DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO Y FORMA DE PARTÍCULAS DE CÁSCARAS DE MANÍ EN PANELES AGLOMERADOS

## Incidence of particle size distribution in peanut husks bonded panels

D.I Victoria Granero, Dra. Mariana Gatani, Dr. Ing. Juan Carlos Medina, Ing. Agustín Ruiz, Dr. Juliano Fiorelli, Dr. Jerónimo Kreiker, Arq. M. Josefina Lerda

### RESUMEN

El propósito de esta etapa de la investigación fue conocer la influencia de la variación del tamaño y de la forma de partículas cáscaras de maní en las propiedades de paneles aglomerados encolados con resina ureica. Se formularon paneles con cáscaras molidas (densidad de las partículas: de 81 Kg/m<sup>3</sup>), paneles con cáscaras enteras (densidad de las partículas: 200 Kg/m<sup>3</sup>) y dos combinaciones de las mismas.

Los resultados alcanzados demostraron que los paneles compuestos por partículas de cáscaras de maní molidas (finas) mejoraron las propiedades físicas y mecánicas respecto de las placas que incorporaron partículas de mayor tamaño. Los valores de densidad en paneles con partículas molidas fueron 628,67 Kg/m<sup>3</sup>; absorción de agua 65,3% y 79,75% a 2 h y 24 h respectivamente; e hinchamiento de 9,9% y 14,35% medidos a 2 h y 24 h respectivamente. En relación a la caracterización de propiedades mecánicas de flexión, los valores registrados en muestras elaboradas con partículas finas de cáscaras de maní resultaron en MOR: 3,58 MPa, LOP 2,26 MPa y MOE 627 MPa. Con respecto a tenacidad, el mayor valor fue observado en los tableros elaborados con partículas enteras de cáscaras de maní: 1,58 MPa.

Las propiedades caracterizadas se encuentran aun por debajo de las propiedades de las placas comerciales de madera de tipo MDF y aglomerados convencionales. Ajustes al proceso de elaboración de las placas de cáscaras de maní serán incorporados en futuros trabajos.

### PALABRAS CLAVES

Residuos Lignocelulósicos, Cáscaras de maní, Granulometrías, Paneles Aglomerados.

### Abstract

The purpose of this stage of the investigation was to determine the influence of varying the particle size and shape of peanut husks on the properties of panels made with urea resin. Panels were made with milled husks (density of the particles: 81 Kg/m<sup>3</sup>) and unmilled husks (density of the particles: 200 Kg/m<sup>3</sup>) and two combinations thereof.

The results obtained showed that the panels made with milled husks improved physical and mechanical properties with respect to the panels that incorporated unmilled particles. The density values in panels with milled particles were 628.67 Kg / m<sup>3</sup>; water absorption 65.3% and 79.75% at 2 and 24 hours respectively, and swelling of 9.9% and 14.35% measured at 2 and 24 hours respectively. Regarding the characterization of mechanical properties of bending, the values recorded in samples prepared with fine particles of peanut shells resulted in MOR: 3.58 MPa, LOP 2.26 MPa and MOE 627 MPa. With respect to toughness, the highest value was observed in particle boards made from unmilled peanut shells: 1.58 MPa.

The characterized properties are still below the properties of commercial wood panels MDF and OSB type. Adjustments to the process of preparing the peanut shells plates will be incorporated in future work.

### Key words

Lignocellulosic waste, peanut husks, particle size, lignocellulosic panels

## 1. INTRODUCCIÓN

Este artículo aborda el problema ambiental de la disposición de residuos agroindustriales cáscaras de maní, proponiendo su utilización y la consecuente mitigación del impacto ambiental que produce. Las plantas procesadoras de maní constituyen una fuente abundante de materia prima cáscaras mientras la industria manisera mantenga su activo nivel de producción. En la actualidad, Argentina es el principal proveedor de maní al mercado mundial, con casi 900.000 Tn/año de producción nacional. La cantidad total disponible de cáscaras de maní alcanza las 300.000 Tn/año y la mayor parte es utilizada como combustible de calderas. Entre 2.000 y 3.000 Tn/año se utilizan para la producción de carbón activado, una proporción menor se destinan como agregado en alimento balanceado y camada de aves, y en el caso de algunos productores las cáscaras se queman a cielo abierto, con la consiguiente inutilización de superficie de terreno apta para cultivos y la liberación a la atmósfera de cantidad de CO<sub>2</sub> y residuos de combustión. La utilización de las cáscaras de maní como combustible para las industrias, se presenta como una oportunidad limitada debido al menor calor de combustión y la gran cantidad de residuos de calcinación, entre ellos silicatos y vitrificación de las celdas de combustión, promovida por la tierra adherida a la superficie de las cáscaras.

El desarrollo de paneles aglomerados de cáscaras de maní aporta un producto adecuado para la elaboración de equipamiento del hábitat y envolventes en espacios interiores como alternativa de uso frente a la madera o paneles de aglomerado o MDF. Estos últimos están sujetos a incrementos en su valor dependiendo de la disponibilidad de la materia prima para su elaboración. Desde el punto de vista tecnológico y de aplicaciones en arquitectura, explora una nueva alternativa de materiales de construcción, con nuevo aspecto estético y con características interesantes en propiedades físicas y mecánicas. Desde el punto de vista económico y comercial, se estudia la viabilidad de inserción en el sector de la construcción de un nuevo tipo de material, con ventajas de producción por la utilización de una materia prima/ residuo proveniente de un proceso productivo. Se proyecta la inserción al sector de la construcción y del diseño de un material alternativo al uso de paneles industrializados de madera, con capacidad de producción en volúmenes importantes.

El objetivo específico del presente trabajo fue determinar la influencia de la utilización de diferentes tamaños y formas de partículas de cáscaras de maní y algunas combinaciones en la caracterización de propiedades físicas y mecánicas de placas compactas de cáscaras de maní.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Universales

Los impactos relacionados al uso intensivo de la madera tales como deforestación, erosión de suelos y disminución de la biodiversidad, buscan ser atenuados a partir del estudio de residuos lignocelulósicos agrícolas locales para su utilización como insumos alternativos en la producción de paneles. Estos desarrollos presentan además ventajas relacionadas con su aprovechamiento y disposición final, apuntando a evitar la deficiencia de materia prima que enfrenta la industria de los paneles de madera (Markessini, Roffael y Rigal, 1997).

Rijo (1988) estudia tableros de partículas elaborados con virutas de caña (*Chusquea culeou*) aglomerados con urea formaldehído, y analiza los efectos del aumento del porcentaje de resina y la densidad de los tableros. Los mismos fueron elaborados en una sola capa, con un espesor de 11 mm. Las densidades estudiadas correspondieron a 450; 550; 650 y 750 Kg/m<sup>3</sup>; el contenido de adhesivos estudiados fueron 6, 7, 8, 9 y 10%. A partir de los ensayos de las propiedades mecánicas y del análisis por regresión lineal, se encontró un alto grado de correlación entre las propiedades mecánicas estudiadas y la densidad. El efecto del adhesivo sobre la flexión fue significativo en los tableros de densidad superior a 600 Kg/m<sup>3</sup> y con niveles de adhesivo mayores a 8%. De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que esta materia prima

puede ser incluida en los tableros de partículas con densidades superiores a  $600 \text{ Kg/m}^3$  y con niveles de adhesivo superiores al 8%.

Youngquist, English, Spelter y Chow (1993) abordan diferentes posibilidades de utilización de materiales lignocelulósicos, tales como residuos de la cosecha de la caña de azúcar, cereales, maíz y cascarilla de arroz para la producción de placas. Las fibras de kenaf, lino y cáñamo han sido estudiadas como potenciales complementos e inclusive sustitutos de la madera en los tableros aglomerados (Lloyd y Seber, 1996). También han sido utilizados desechos de la cosecha de trigo y arroz para la producción de paneles (Markessini et al., 1997).

Cea Muñoz (2003) realiza una evaluación de las materias primas aserrín y astillas utilizadas para la elaboración de paneles aglomerados de madera en la planta MASISA (Valdivia). Con el objetivo de estudiar la influencia de las formas y tamaños de las partículas en la fabricación y las propiedades finales de los tableros, se determinaron las dimensiones y las composiciones porcentuales de los distintos grados de tamaño, como así también el porcentaje de corteza incluida.

Residuos de la cosecha de trigo han sido utilizados por las industrias de paneles. Agriboard Industries (E.E.U.U.) fabrica paneles extruidos bajo calor y presión. El material resultante es aplicado a la construcción de viviendas. Stramit Industries (E.E.U.U.), fabrica paneles livianos para construcción en seco. La materia prima es calentada, comprimida y transformada en un panel sin adición de aglomerantes (Hayes, 1998). La empresa PrimeBoard, Inc. (Dakota del Norte, E.E.U.U) produce paneles aglomerados aplicados en equipamiento interior (Hayes, 1998). Environ Biocomposites (Minnesota, E.E.U.U.) produce materiales para uso interior a partir de este recurso agrícola local. Doe Chemical Company (Canadá) produce placas para fabricación de equipamiento y otras aplicaciones no estructurales (Anderson, Young, Tanaka, 2005).

Ndazi, Tesha, Karlsson y Bisanda (2006) presentan y discuten resultados obtenidos de la producción de tableros compuestos con cascarilla de arroz y resina en base a taninos. Las dificultades de aglomeración encontradas, atribuidas al alto contenido de sílice de la materia prima fueron disminuidas a partir del molido de las cáscaras, obteniendo resultados superiores a los iniciales.

Kottas (2010) presenta un catálogo donde se encuentran, además de los tradicionales derivados de la madera, paneles de madera recuperada por métodos alternativos (Timbercrete, Iconic Panels). Presenta asimismo materiales elaborados a partir de insumos alternativos, tales como de cáscara de almendra (Duralmond), de bambú (Columbia Forest Products), de resina y elementos vegetales (Lumicor), entre otros.

## **2.2. Locales**

La elaboración de materiales poliméricos con partículas lignocelulósicos ha sido objeto de algunas experiencias locales. Granero y Aravena (2008) elaboraron un material a base de hojas secas urbanas, trituradas y combinadas con resina ureica. El resultado ha sido un material con densidad de  $940 \text{ Kg/m}^3$ , con 8,5% de hinchamiento a 24 h, módulo de ruptura de 1,1 MPa y módulo de elasticidad de 120 MPa.

Medina y Ambroggi (1994) establecen el antecedente inicial sobre el trabajo con partículas de cáscaras de maní para la elaboración de paneles aglomerados. En la experiencia de los investigadores, la adición de 70% de virutas de madera mezcladas con 30% de cáscaras de maní resultan en paneles con buenas propiedades físico – mecánicas obteniendo un hinchamiento del 49,1% y 59% a 2 y 24 h respectivamente, un MOR de 6,29 MPa, un MOE de 1136 MPa.

Más tarde, utilizando cáscaras de maní como único agregado, Gatani (2010) elabora probetas mezclando cáscaras de maní enteras con resina poliéster. El moldeo de las probetas en una prensa hidráulica con escasa presión ( $10 \text{ Kg/cm}^2$ ) y sin temperatura dio como resultado un material de baja densidad ( $225 \text{ Kg/m}^3$ ), escasa resistencia a

flexión ( $1 \text{ Kg/cm}^2$ ) y muy buenas propiedades de aislación térmica:  $\lambda 12 \text{ W/km}$ . El material ha sido empleado como revestimiento en cielorrasos.

El aumento de la presión de moldeo en mezclas formuladas con cáscaras de maní y resina ureica determinó un material con mayor peso específico y mejores propiedades mecánicas. Probetas elaboradas con una prensa hidráulica de 50 Tn sin temperatura, fueron caracterizadas con densidad de  $500 \text{ Kg/m}^2$  y resistencia a flexión de  $20 \text{ Kg/cm}^2$  (Gatani et al, 2008). Se demuestra así la mejora de propiedades mecánicas en relación al aumento de la densidad del material.

Gatani *et al.* (2010) relatan la elaboración de probetas de cáscaras de maní y resina ureica moldeadas con alta presión y temperatura, las cuales alcanzaron propiedades mecánicas comparables a las de tableros industrializados realizados con partículas de madera. Las propiedades físicas de paneles de cáscaras de maní enteras fueron caracterizadas con densidad de  $690 \text{ Kg/m}^3$ , hinchamiento de 0,16% y absorción de agua de 0,70%. Las propiedades mecánicas determinaron MOR de 4,37 MPa y MOE de 590 MPa. Se destaca además, al atractivo aspecto superficial de las placas elaboradas con cáscaras de maní sin triturar, dando una imagen de material natural en tonos ocres y pardos.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales

Para la elaboración de paneles aglomerados de cáscaras de maní se utilizaron los siguientes materiales:

- Cáscaras de maní de la empresa Maglione e hijos S.R.L., Provincia de Córdoba. Las mismas se utilizaron en dos tamaños, caracterizadas por la densidad aparente:  $81 \text{ Kg/m}^3$  (figura 1) y  $200,1 \text{ Kg/m}^3$  (figura 2). Se destaca la morfología de las cáscaras. Las partículas de menor tamaño corresponden a una geometría laminar, mientras que las partículas enteras tienen geometría volumétrica.

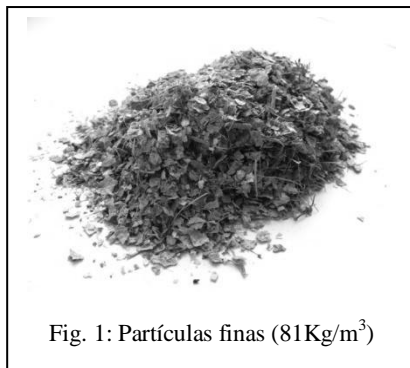


Fig. 1: Partículas finas ( $81 \text{ Kg/m}^3$ )

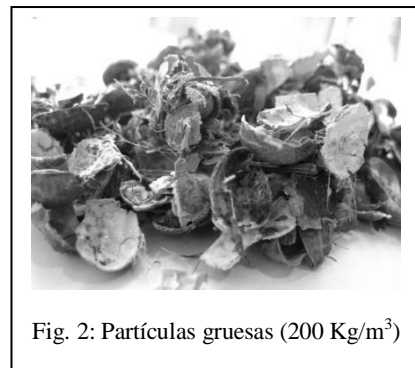


Fig. 2: Partículas gruesas ( $200 \text{ Kg/m}^3$ )

- Resina ureica, marca Cascamite, en una proporción del 10% en masa en relación a las cáscaras de maní.
- Catalizador para moldeo en caliente, marca Fortex, en proporción del 5% en masa en relación a la resina
- Agua corriente, en una proporción del 3% en masa, en relación a la resina.

#### 3.2. Métodos.

##### 3.2.1. Formulación

Se elaboraron cuatro tipos de tableros aglomerados según el esquema representado en la figura 3:

- Placas de Partículas Finas: Se elaboraron con partículas trituradas en molino.
- Placas de Partículas Finas – Gruesas – Finas: Se elaboraron a partir de la combinación de partículas, colocando en las capas exteriores las finas y en la capa interior las gruesas.

- Placas de Partículas Gruesas – Finas – Gruesas: Se elaboraron a partir de la combinación de partículas, colocando en las capas exteriores las gruesas y el la capa interior las finas.
- Placas de Partículas Gruesas: Se elaboraron a partir de partículas sin tratamiento de molienda, obtenidas directamente de la industria, con un tratamiento de zarandeado para la remoción de polvo

FINO	FINO – GRUESO – FINO	GRUESO – FINO – GRUESO	GRUESO
(100%)	(30%-40%- 30%)	(30%-40%- 30%)	(100%)

Fig. 3: Esquema de combinación de tamaño de partículas

El espesor de los tableros aglomerados fue de 15 mm.

### 3.2.2. Elaboración de muestras

Las placas fueron elaboradas en el laboratorio del Instituto Tecnológico de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Santiago del Estero, según las siguientes condiciones:

- Preparación de las partículas: Las partículas de cáscaras de maní fueron trituradas en molino de aspas (CONDUX) (figura 4) y posteriormente tamizadas para la eliminación del polvo y partículas finas. Se desecho una cantidad de partículas finas y material polvoriento de 34% de la cantidad de material inicial.
- Dosificación (figura 5): Las partículas, el aglomerante y los aditivos fueron pesados en una balanza digital, según formulación prevista.
- Encolado (figura 6): El mezclado y la homogeneización se realizó, durante 10 minutos, en encoladora de tambor rotatorio, con aplicación del aglomerante por aspersión.
- Conformado (figura 7): La mezcla se colocó en un molde abierto de madera, soportado sobre una base metálica, ubicando cuando correspondiere las capas de diferentes tamaños de partículas. Posteriormente, se realizó un pre-prensado a temperatura ambiente (30 bar: 6,1 Kg/cm<sup>2</sup>), durante 1 minuto. Se retiró el molde de madera, y se colocó el colchón de partículas en la prensa para su prensado final.



Fig. 4: Partículas en molino



Fig. 5: Dosificación



Fig. 6: Mezclado de las partículas



Fig. 7: Conformado del pre-moldeo

- El prensado final (figura 8) se realizó con una temperatura de 100 °C, durante 10 minutos, con una presión máxima de 24,5 Kg/cm<sup>2</sup>. El espesor estuvo dado por dos varillas laterales de contención de 21 mm, y dos placas de aluminio de 3 mm (superior e inferior), lo que otorgó a la placa de cáscaras de maní un espesor final aproximado de 15 mm (figura 9).



Fig. 8: Prensado de las partículas

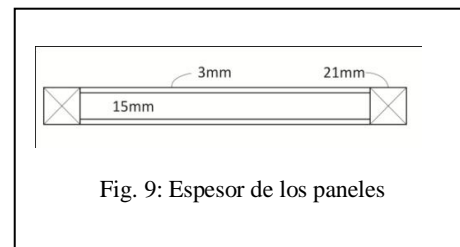
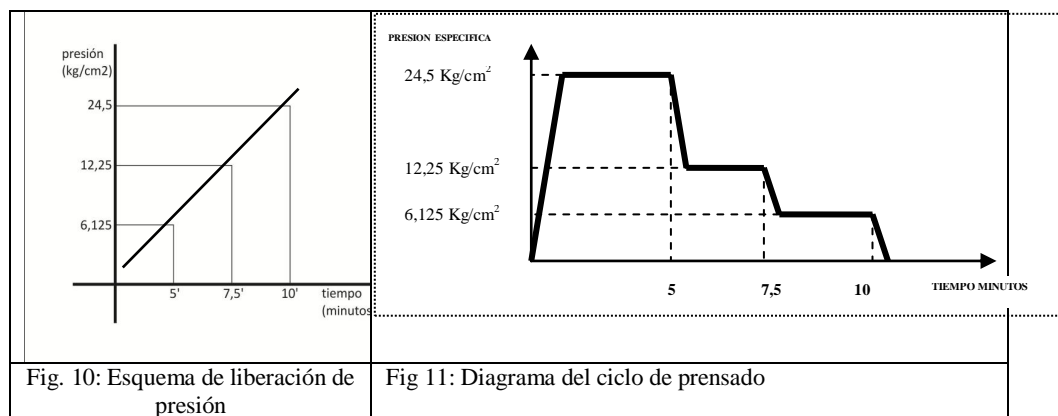


Fig. 9: Espesor de los paneles

La presión aplicada se liberó progresivamente, según la figura 10.



### 3.2.3. Ensayos

Los ensayos fueron realizados según la norma brasilera ABNT NBR 14810-3 en el Laboratorio de Construcciones y Ambiente de la Facultad de Zootecnia e Ingeniería de Alimentos de la Universidad de San Pablo, Brasil.

#### ▪ Ensayos Físicos

- Determinación de densidad: De la placa de 52 cm x 53 cm x 1,6 cm se extrajeron 10 cuerpos de prueba de 5 cm x 5 cm. Sus dimensiones (ancho,

largo y espesor) fueron tomadas con calibre digital y se determinó el peso en balanza digital. Se informa el promedio de 10 determinaciones.

La densidad se determinó según la norma ANSI A208.1:1999.

- Determinación de absorción de agua e hinchamiento: Se extrajeron 6 cuerpos de prueba de 2,5 cm x 2,5 cm. Las mismas fueron colocadas en un recipiente con agua corriente, a temperatura ambiente, de manera que todas sus caras quedaron sumergidas. Se realizaron mediciones a 2 h y 24 h y se informa el promedio de 6 determinaciones.
- Ensayos Mecánicos:
  - Flexión
    - Se caracterizaron 10 cuerpos de prueba, de 25 cm x 5 cm x 1,6 cm, ensayados en una prensa EMIC a tres puntos, con una distancia entre apoyos de 220 mm. Se determinó MOR, MOE, LOP y Tenacidad.

### 3.2.4. Análisis de los datos

Los datos fueron analizados estadísticamente con el programa InfoStat 2.0.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Paneles Obtenidos

Se elaboraron cuatro tipos de paneles, los cuales variaron su composición según el tamaño y forma de sus partículas. Los paneles resultantes se presentan en cara y canto en la figura 11.

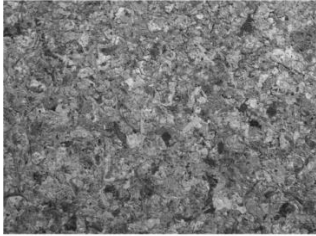
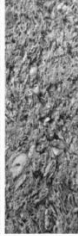
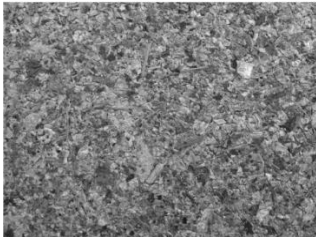

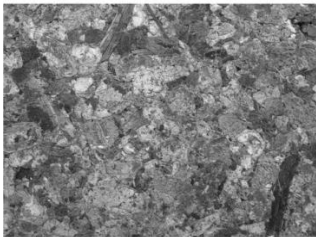
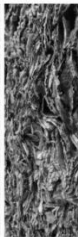


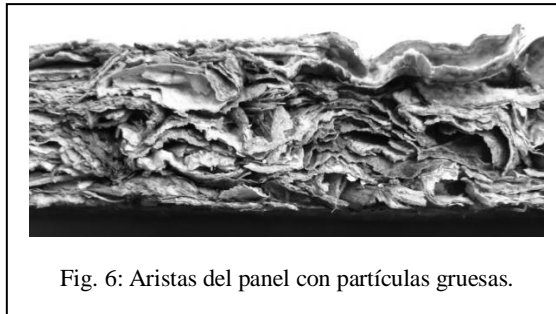
		Panel con partículas finas (F)
		Panel con partículas finas en superficie, y gruesas en el medio (F-G-F)
		Panel con partículas gruesas en superficie y finas en el centro (G-F-G)
		Panel con partículas gruesas (G)

Fig. 11: Imagen de superficie y sección de los paneles

Cabe destacar un aspecto particular de los paneles que contienen partículas molidas: la precipitación de las partículas más finas hacia la cara inferior del moldeo. La figura 12 corresponde a una de las muestras con la formulación G-F-G. Se muestran las aristas superior e inferior del panel que originalmente fueron moldeadas con capas de partículas gruesas. Se observa la característica descrita, demostrada en una arista inferior más definida y la arista superior con mayor irregularidad.



#### 4.2. Densidad

Todos los paneles resultantes se pueden clasificar como “Paneles de Baja Densidad” según la norma ANSI A208.1:1999. La figura 13 muestra gráficamente los valores de densidad obtenidos. Del análisis estadístico se establecen dos grupos diferenciados: paneles elaborados exclusivamente con partículas finas y paneles que incorporan partículas sin molienda.

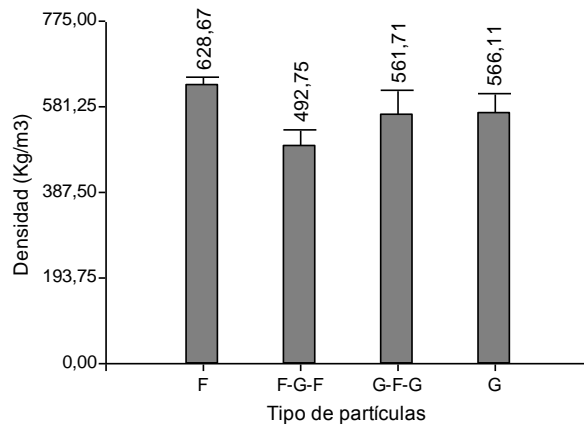


Fig. 13: Valores de densidad de las placas

Mediante un test de comparación de medias LSD (Low Significant Diference) para  $\alpha=0,05$ , se puede inferir que los paneles F-G-F; G-F-G y G se comportan de manera similar y difieren de los paneles con partículas finas. Se demuestra claramente que los valores de densidad resultantes son mayores en aquellas probetas elaboradas con menor tamaño de partículas. Las probetas elaboradas con mayor tamaño de partículas resultan con menor densidad.

Se ha verificado que existen algunas variaciones en la densidad de las probetas según la posición en las placas de moldeo de la que fueron extraídas. De una placa de 52 cm x 53 cm se han extraído muestras de 5 cm x 5 cm. Así muestras centrales tienen mayor densidad que las muestras perimetrales, ocurriendo mayores variaciones dentro de las ultimas. Existe una diferenciación que es notoria en las figuras 14, 15,16 y 17.



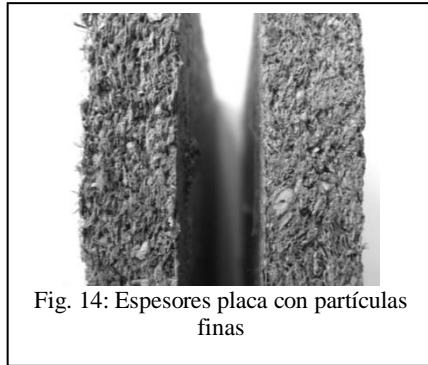


Fig. 14: Espesores placa con partículas finas

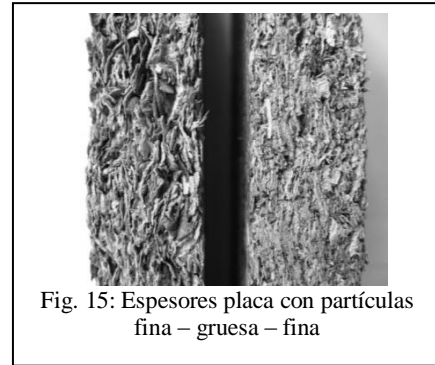


Fig. 15: Espesores placa con partículas fina – gruesa – fina

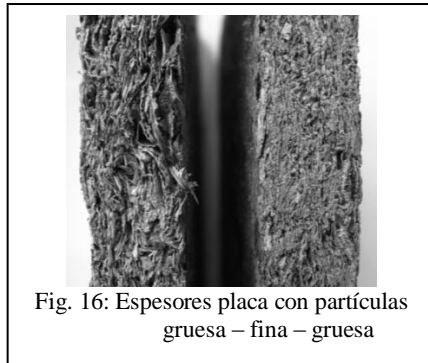


Fig. 16: Espesores placa con partículas gruesa – fina – gruesa

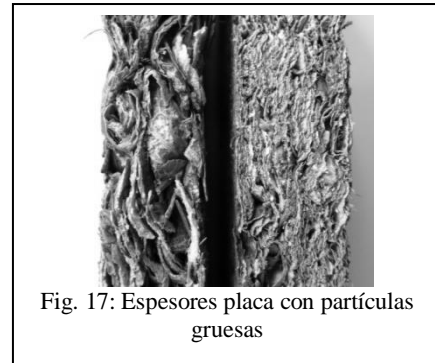


Fig. 17: Espesores placa con partículas gruesas

Las placas que en su conformación participan en forma total o parcial cáscara de maní enteras resultaron presentar espesor mayor, esto se puede observar en la Tabla N° 1 que resume los espesores de los tableros según su composición. La explicación se encuentra en que las partículas no laminares presentan concavidades en las cuales la cola no puede penetrar en la medida esperada y por lo tanto al ser prensadas, si bien hacen contacto con las adyacentes, no se pegan correctamente. Quitada la presión ejercida durante el prensado, estas partículas no laminares recuperan parcialmente su forma, conllevando al aumento del espesor de las placas. Así es como el espesor final de las muestras aumenta con el aumento de la cantidad de partículas de cáscaras de maní sin molido.

Tabla 1: Espesores de las placas según el tamaño de partículas

Tamaño de partícula	Espesores en mm
Finas	16,03 ± 1,29
F.G.F	16,37 ± 0,90
G.F.G	16,20 ± 1,34
Gruesas	16,78 ± 1,37

Se observa que con igual molde, igual presión, temperatura y tiempo de prensado, las placas resultan con mayor espesor en aquellas con mayor cantidad de partículas grandes.

#### 4.3. Absorción de agua e Hinchamiento

Los resultados obtenidos (figura 18) permiten inferir que los paneles elaborados con partículas finas presentan un porcentaje de absorción de agua menor que los paneles elaborados con partículas gruesas.

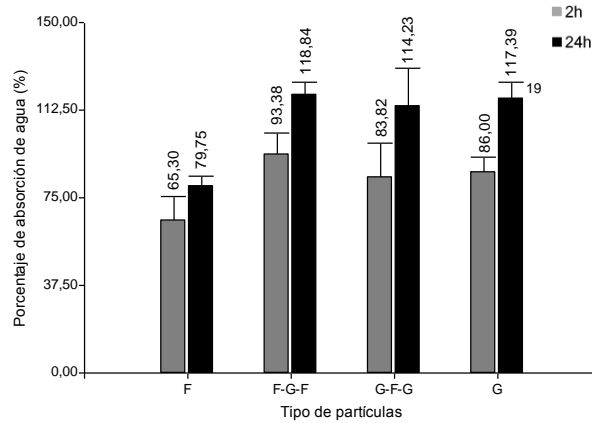


Fig. 18: Valores de absorción de agua a 2 h y 24 h

El test de comparación de medias LSD para un  $\alpha=0,05$  arroja un valor similar para los paneles F-G-F; G-F-G y G en la medición de 2 h y 24 h, y un comportamiento diferente para los paneles con partículas finas. Se observa además que todos los tipos de paneles presentan una relación entre porcentaje absorción a 2 h y porcentaje de absorción a 24 h ( $a2/a24$ ) similar y en el orden del 80%, lo que indica que durante las primeras dos horas absorben la mayor cantidad de agua.

Los resultados de hinchamiento a 2 h y 24 h se observan en la figura 19, y muestran menor hinchamiento en las placas de granulometrías finas y finas – gruesa - finas. El test de medias LSD con un  $\alpha=0,05$  para los valores de absorción a 2 h permite inferir un comportamiento similar para los paneles F y F-G-F, y diferentes para G-F-G y G, los cuales también difieren entre sí. El mismo test, realizado sobre los valores de hinchamiento a 24 h permite agrupar a los paneles en dos grupos de medias similares: F y F-G-F por un lado y a G-F-G y G por otro.

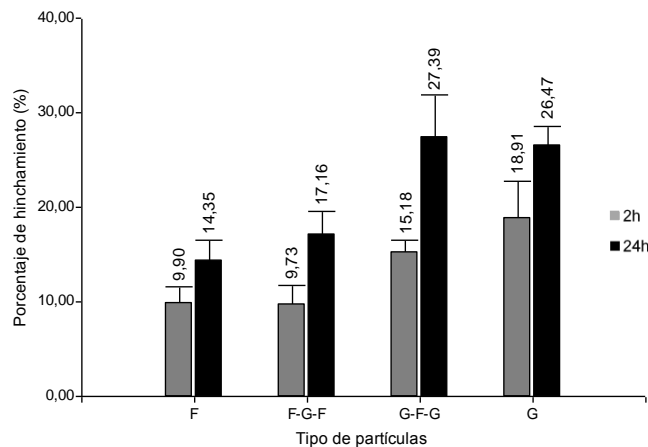


Fig. 19: Valores de hinchamiento a 2 h y 24 h

Estos resultados, absorción de agua e hinchamiento son también indicadores de que las partículas gruesas afectaron la calidad del encolado con lo que ofrecieron menor dificultad para la penetración del agua y el consecuente hinchamiento.

Respecto de la relación porcentual de hinchamiento a 2 h y a 24 h ( $h2/h24$ ), se observa un comportamiento que agrupa a los paneles de partículas mezcladas F-G-F y G-F-G por un lado y a los paneles con partículas homogéneas F y G por otro, con porcentajes cercanos al 56% y 70%, respectivamente. Estos resultados se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2: relaciones entre % absorción en hinchamiento a 2 y 24 h.

relación	F	F-G-F	G-F-G	G
a2/a24	81,7 <sub>a</sub>	78,7 <sub>a</sub>	73,3 <sub>a</sub>	73,3 <sub>a</sub>
h2/h24	68,9 <sub>b</sub>	56,6 <sub>c</sub>	56,0 <sub>c</sub>	71,0 <sub>b</sub>

Ref: Letras iguales corresponden a comportamiento similar para un test de comparación de medias LSD con  $\alpha=0,05$ .

Este resultado parecería indicar que los paneles homogéneos (solo partículas finas o solo partículas gruesas) se deforman de manera más predecible, aunque con valores bien diferenciados. Y mayores variaciones ocurren cuando se trata de composición compuesta del panel en relación al tiempo de inmersión.

#### 4.4. Ensayo mecánico a Flexión

Los valores de MOR, LOP y MOE alcanzados se encuentran en directa relación con los valores de densidad de las probetas. Así se establece una relación directa entre aquellas probetas caracterizadas con mayor densidad y las que alcanzaron mayores valores de resistencia mecánica a flexión. Se observan un mejor comportamiento en los paneles con partículas finas, los cuales tienen un valor mayor de MOR, MOE y LOP, pero menor valor de tenacidad. Los resultados obtenidos para el comportamiento mecánico de los paneles se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3: Comportamiento mecánico de paneles de cáscaras de maní.

Propiedad	F	F-G-F	G-F-G	G
MOR, MPa	3,58 <sub>a</sub>	2,01 <sub>b</sub>	3,29 <sub>a</sub>	2,86 <sub>a,b</sub>
MOE, MPa	627,7 <sub>c</sub>	417,8 <sub>d</sub>	588,9 <sub>c,d</sub>	480,7 <sub>c,d</sub>
LOP, MPa	2,26 <sub>e</sub>	1,22 <sub>f</sub>	1,88 <sub>e</sub>	1,84 <sub>e,f</sub>
Tenacidad, KJ/m <sup>2</sup>	0,69 <sub>g</sub>	0,702 <sub>g</sub>	1,11 <sub>h</sub>	1,58 <sub>i</sub>

Ref: Letras iguales corresponden a comportamiento similar para un test de comparación de medias LSD con  $\alpha=0,05$

En los ensayos mecánicos de MOR, LOP y MOE, el test de comparación de medias LSD para un  $\alpha=0,05$  distingue dos grupos con diferencias estadísticas significativas. Un grupo de desempeño conformado por paneles F y G-F-G, y otro grupo conformado por los paneles F-G-F. El grupo de paneles G comparte propiedades con ambos.

El hecho de que los tableros denominados F y G-F-G sean los mejores indica que la explicación de este resultado debe ser explicado al menos por dos variables que interactúan entre sí. De acuerdo con Chen et al (1992) el MOR y el MOE son controlados principalmente por las capas externas de los tableros pero, estos valores son afectados fuertemente por la capa interna cuando el encolado es inadecuado. Con esta aseveración y teniendo en cuenta que, lo que ya anticipamos, las partículas finas encolaron mejor que las gruesas tendremos la explicación porque el tablero F resultó mejor y la placa F-G-F la de menor resistencia. Teniendo además en cuenta las afirmaciones de Canadido et al (1988) respecto a que el MOR y el MOE aumentan al aumentar el largo de las partículas podremos explicar porque el tablero G-F-G resultó estar entre los mejores. En el caso del panel G que resultó ser el peor resultó determinante en mal encolado que influyó negativamente en todo su espesor.

Las curvas de flexión a tres puntos se observan en la figura 20. Tal como ha sido observado en paneles cementicios reforzados con fibras naturales (Savastano *et al.*, 2000) la presencia de fibras vegetales largas aportan al material compuesto mayor energía específica o tenacidad. Esto es, mayor capacidad de deformación antes de la ruptura frente a esfuerzos de tensión, aun con pérdida de resistencia mecánica.

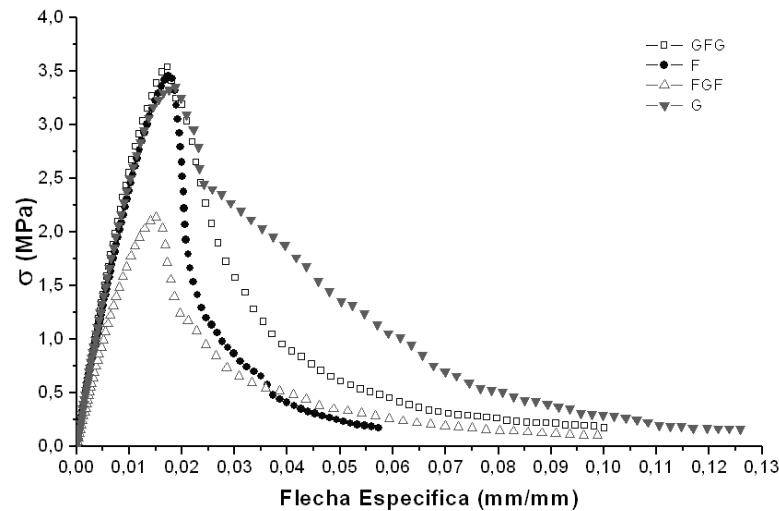


Fig. 20: Curvas de flexión a tres puntos

## 5. CONCLUSIONES

De los resultados alcanzados queda demostrada la oportunidad de desarrollo de tableros con partículas con cascaras de maní, como una alternativa viable para la aplicación en arquitectura y diseño.

Los resultados obtenidos permiten clasificar a los paneles obtenidos, según la norma ANSI 208.1 (1999) como LD-1 Door core (Baja Densidad, Tipo 1), con valores entre 490 y 630  $\text{kg/m}^3$ . Los valores elevados de absorción de agua e hinchamiento sugieren el uso en aplicaciones en espacios interiores, protegidos de la humedad natural y lluvias.

Los valores de resistencia a flexión alcanzados se encuentran entre 2,01 y 3,58 MPa (MOR), 417,8 y 627,7 MPa (MOE), 1,22 y 2,26 MPa (LOP) y 0,69 y 1,58  $\text{KJ/m}^2$ , donde la presencia de partículas más pequeñas y planas caracteriza propiedades del compuesto de mayor densidad y mayor resistencia a flexión en comparación con paneles elaborados con partículas más grandes y con mayor volumetría. Hecho atribuido a problemas de encolados de las partículas mayores.

Mejoras en el proceso de elaboración de los paneles deberán ser incorporadas a fin de alcanzar medias más próximas a las propiedades de los paneles de madera industrializados. No obstante, este trabajo sugiere resaltar el atractivo aspecto superficial otorgado por la presencia de partículas grandes de cáscaras de maní en superficie, que pese a no alcanzar los mayores valores en propiedades físicas y mecánicas, son aquellas que resultan más estéticas y diferenciadas de otros paneles de madera

## 6. BIBLIOGRAFÍA

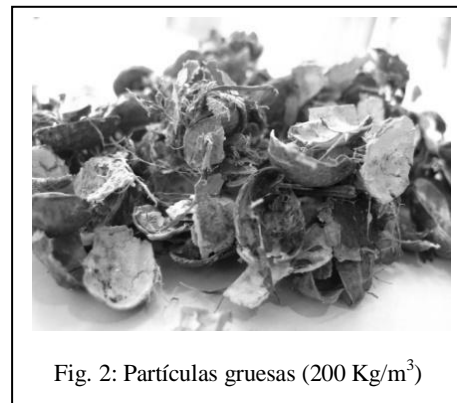
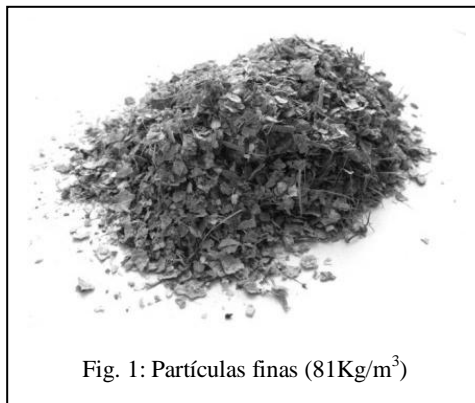
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 14810-3: "Chapas de madeira aglomerada. Parte 3: Métodos de Ensaio". Rio de Janeiro, 2006.
- American National Standard - ANSI A208.1. "Particleboard". Composite Panel Association: E.E.U.U., 1999.
- Anderson, A.; Yung, A. and Tanaka, T. (2005). "Eco- friendly alternatives to wood- based particleboard". Documento en línea, disponible en <http://www.stolaf.edu/> Acceso: febrero, 2011.
- Canadido, L.S.; Saito, F.; Suzuki, S. (1988). "Effect of particle shape on the orthotropic properties of oriented strand boards". *Mokuzai Gakkaishi*, 34 (1) p 21:27. Japón.
- Cea Muñoz, H. R. (2003). "Caracterización de astillas y aserrín para una planta de tableros de partículas en Valdivia". Tesis de Grado. Carrera Ingeniería en Maderas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Chen, Y.; Popowitz, B. A.; Gertjens, R. O.; Ritter, D. C. (1992) "Paper birch as a core material for aspen oriented strand board and wafwrboard". *Forest Products Journal*, January 1992, 42 (1) p. 21:24. Madison, USA.
- Gatani, M. (2008). "Nuevos materiales, nuevas prácticas. Una mirada sobre la gestión de tecnología, la sustentabilidad ambiental y el desarrollo local". En Segundas Jornadas de Diseño para el Desarrollo Local Córdoba, Argentina: Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño.
- Gatani, M. (2010) "Reciclado Post Industrial de Cáscara de Maní. Posibilidades de desarrollo de materiales no convencionales para la construcción de viviendas". Tesis de doctorado no publicada. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Gatani, M., Fiorelli, J., Medina J.C., Martínez R., Ruiz, A., Do Nascimento, M. F. et al. (2010). "Propiedades físico-mecánicas de paneles de partículas a base de cáscara de maní en matriz polimérica". En II Simposio Aprovechamiento de residuos agro-industriales como fuente sostenible de materiales de construcción. Valencia.
- Granero, A. V. y Aravena, D. R. (2008). "Material Aglomerado de Hojas Secas". Disertación de tesis de grado no publicada. Carrera Diseño Industrial. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina.
- Hayes, M. (1998). "Agricultural residues: A promising alternative to virgin wood fiber". En *Issues in Resource Conservation*, Briefing Series N° 1. Disponible en: <http://www.rca-info.org/alts/meghanhayes.html>
- Infostat. 2002. *Infostat/Estudiantil*, versión 2.0. Grupo Infostat/FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Ed. Brujas, Córdoba, Argentina.
- Kelly, M. W. (1977). "Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard". General Technical Report. Forest Products Laboratory. Forest Service. Department of Agriculture. U.S.
- Lehmann, W. (1970). "Resin efficiency in particleboard as influenced by density, atomization, and resin content". *Forest Products Journal* 20(1): 48-54.
- Lloyd, E.H. and Seber, D. (1996). "Bast Fiber Applications for Composites". In *Proceedings of the 30° International Particleboard Composite Materials Symposium*. Pullman: Washington.
- Markessini E., Roffael E., Rigal L. (1997). "Panels from annual plant fiber bonded with urea-formaldehyde resins". In *Proceedings of the 31th International Particleboard Composite Materials Symposium*. Pullman: Washington.
- Medina, J. C. y Ambrogi, A. (1994). "Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados". *Quebracho* 2: 47-53.
- Ndazi, B., Tesha, J. V., Karlsson, S. and Bisanda, E. T. N. (2006). "Production of rice husks composites with Acacia mimosa tannin-based resin". *Journal of Material Science* 41(21):6978-6983.

Rijo, C. (1988). "Influencia del aumento de la densidad y nivel de adhesivo en las propiedades mecánicas de tableros de partículas de chusquea culeou, aglomerados con urea formaldehído". Revista Bosque 9:53-59.

Savastano Jr., H.; Warden, P.G. and Coutts, R.S.P. (2000). "Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites". Cement and Concrete Composites, 22, pp.379-384.

Youngquist J.A., English B.E., Spelter H. and Chow. P.(1993). Agricultural fibers in composition panels. In Maloney, Tomas M., ed. Proceedings of the 27th International particleboard/ composite materials symposium.1993 March 30-31; April 1; Pullman, WA: Washington State University; 133- 152.

**GRAFICOS**



FINO  (100%)	FINO – GRUESO – FINO  (30%-40%-30%)	GRUESO – FINO – GRUESO  (30%-40%-30%)	GRUESO  (100%)
--------------------	---	---	----------------------

Fig. 3: Esquema de combinación de tamaño de partículas





Fig. 6: Mezclado de las partículas



Fig. 7: Conformado del pre-moldeo



Fig. 8: Prensado de las partículas

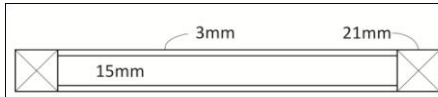


Fig. 9: Espesor de los paneles

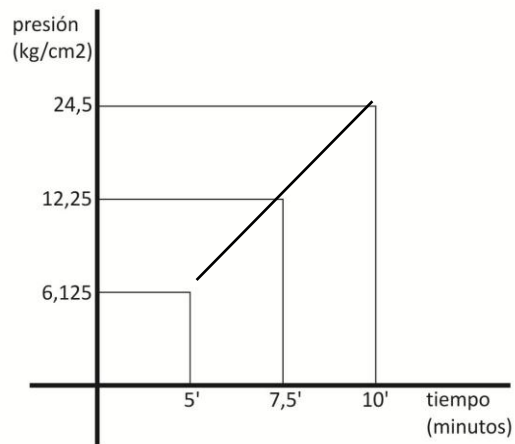
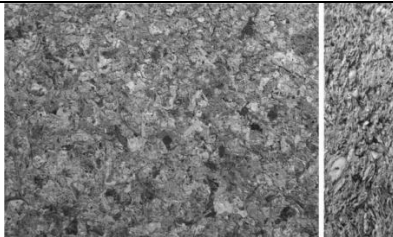


Fig. 10: Esquema de liberación de presión



Panel con partículas finas (F)

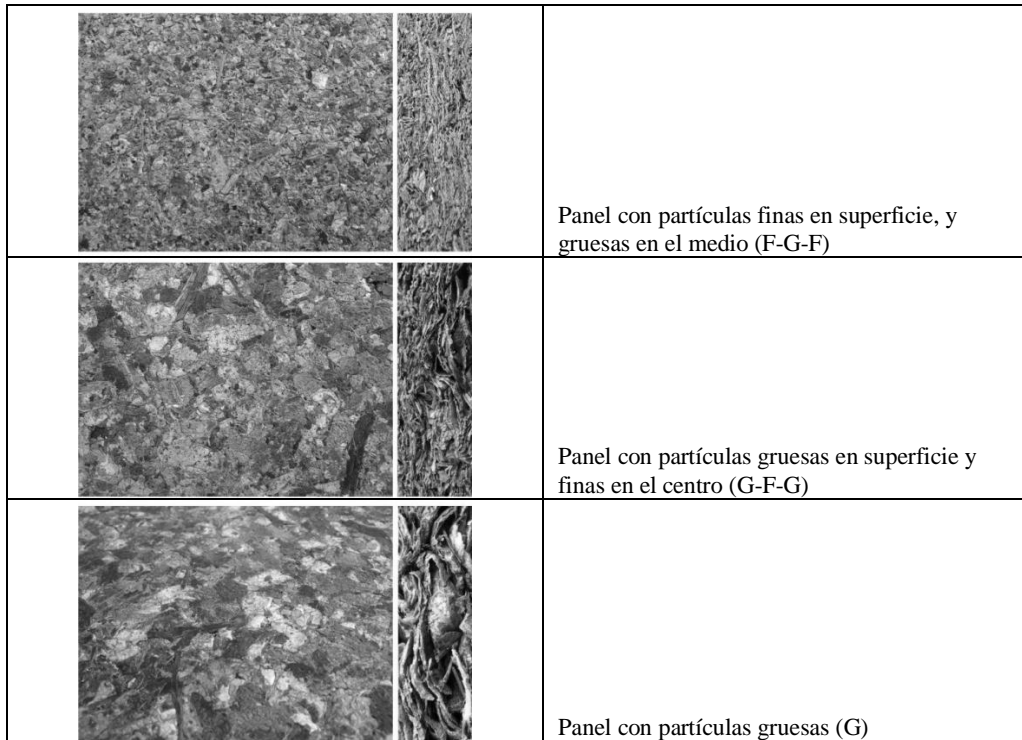


Fig. 11: Imagen de superficie y sección de los paneles

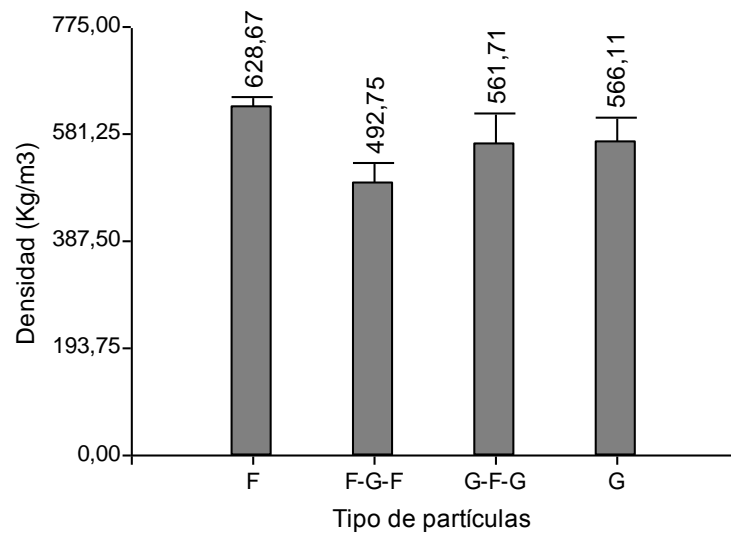
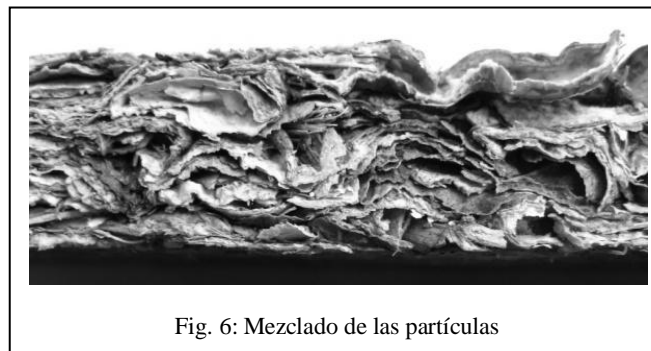


Fig. 13: Valores de densidad de las placas



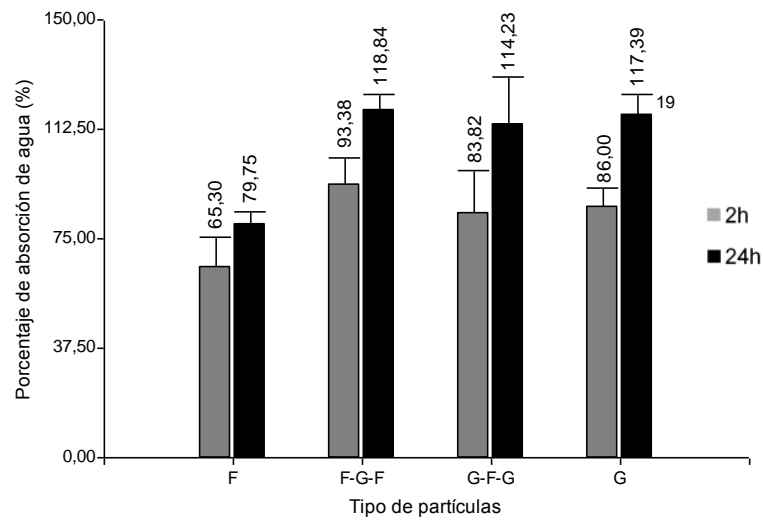
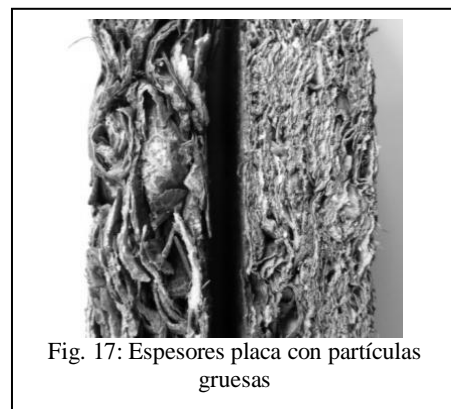
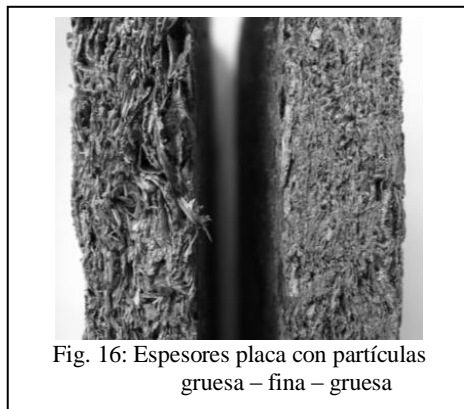
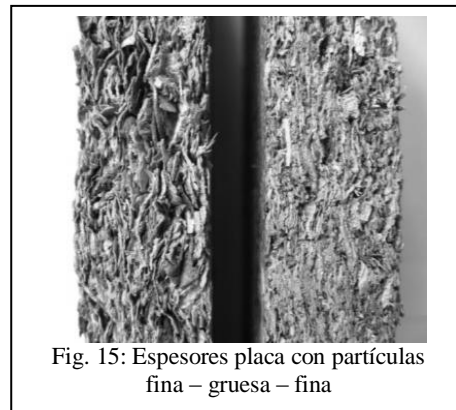
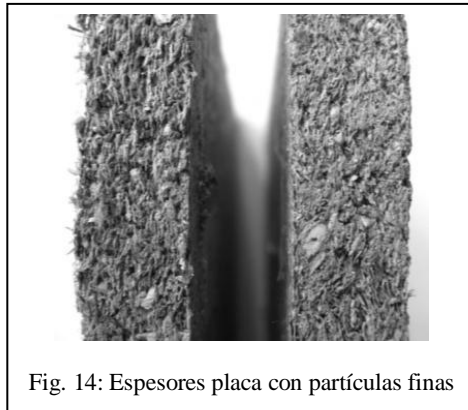
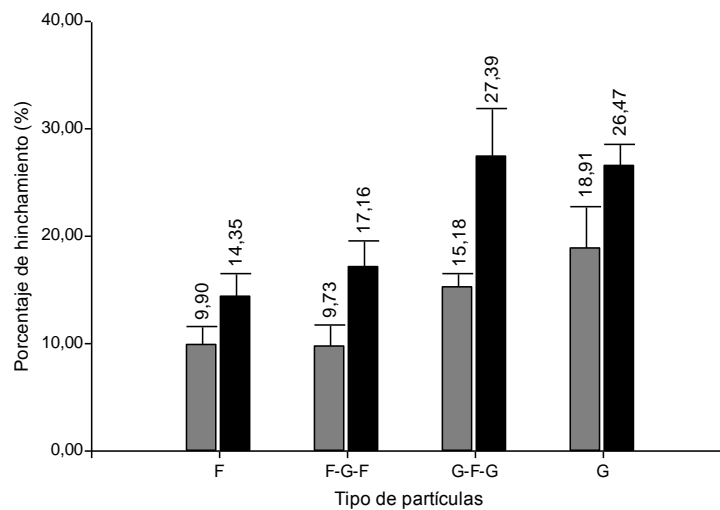


Fig. 18:  
de  
de agua a



Valores  
absorción  
2 h y 24 h

■ 2h  
■ 24h

Fig. 19: Valores de hinchamiento a 2 h y 24 h

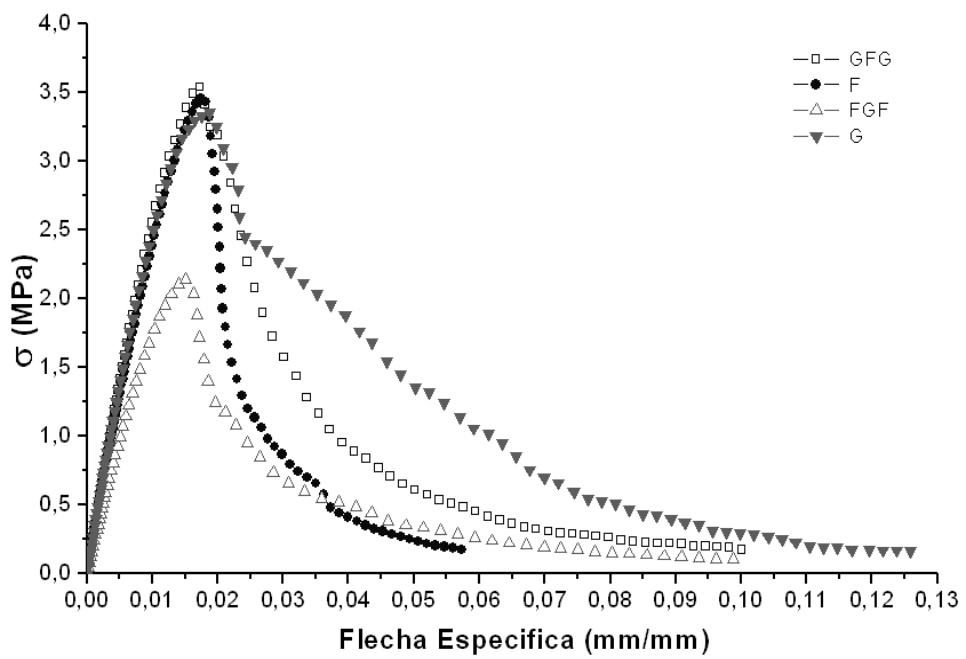


Fig. 20: Curvas de flexión a tres puntos