

# **RECICLADO POST INDUSTRIAL DE CASCARAS DE MANI**

POSIBILIDADES DE DESARROLLO DE MATERIALES NO CONVENCIONALES  
PARA LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS.



**MARIANA GATANI**

CORDOBA

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO

ISBN 978-987-8486-49-9



9 789878 486499

RECICLADO POST INDUSTRIAL DE CASCARAS DE  
MANI.

POSIBILIDADES DE DESARROLLO DE MATERIALES NO  
CONVENCIONALES PARA LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS.

**MARIANA PILAR GATANI**

Investigadora independiente del Consejo de  
Investigaciones Científicas y Tecnológicas - CONICET  
Docente de grado y posgrado de la Facultad de Arquitectura y  
Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba - FAUD UNC  
Directora de Especialización en Tecnología de la Arquitectura de  
la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Nacional de  
Córdoba - ETArq FAUD UNC

## **Comité asesor**

Dr. Arq. Horacio Berretta

Ing. José Luis Gómez

Arq. Eduardo Fernández

**Gatani, Mariana Pilar**

Reciclado post industrial de cáscaras de maní : posibilidades de desarrollo de materiales no convencionales para la construcción de viviendas / Mariana Pilar Gatani ; contribuciones de José Luis Gómez ; Eduardo Fernández. - 1a ed revisada. - Córdoba : Editorial de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8486-49-9

1. Viviendas. 2. Materiales de Construcción. I. Gómez, José Luis, colab. II. Fernández, Eduardo, colab. III. Título.

CDD 693.99

## **Dedicatoria**

A mis hijos, Virginia y Manuel,

A mi padre,



## Agradecimientos

Cada vez más un trabajo de investigación es un trabajo de equipo. Por ello quiero agradecer especialmente a las siguientes personas e instituciones que hicieron posible este trabajo:

Al Arq. Horacio Berretta por su orientación, a mis asesores Ing. José Luis Gómez y Arq. Eduardo Fernández por su acompañamiento

Al Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE), donde ha sido desarrollado gran parte de este trabajo de investigación, desarrollo e innovación

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)

A la Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica (ANPCYT). Fondo Nacional para Ciencia y Tecnología (FONCYT) por el apoyo financiero otorgado para la realización de los proyectos PICT 13-11608: "Reciclado de cáscara de maní. Estudio y análisis de utilización de componentes de construcción de viviendas" y PICT 33128 "Desarrollo de nuevos materiales sustentables para la construcción de viviendas de interés social utilizando PET postconsumo y cáscaras de maní."

Al Prof. Dr. Holmer Savastano Jr que me abrió las puertas del Laboratorio de Construcciones Rurales e Ambiente de la Universidad de San Pablo, donde buena parte de este trabajo fue desarrollado, escrito y revisado. Al Ing Zaqueu, Dra. Alessandra, Dr. Sergio, Mg Camila, y en especial al Dr. Gustavo Tonoli y al Dr Juliano Fiorelli, por su "parceria". Con todos ellos aprendí "portunhol", y compartí aprendizajes y experiencias.

Al Laboratorio de Ensayos de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Ing Patricia Irico y Sr. Marcelo Tisera

Al Taller de Investigación y Diseño Estructural, de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba

Al Laboratorio del Instituto de la Madera de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad de Santiago del Estero, en especial al Dr. Juan Carlos Medina, al Dr. Rolando Martínez, y al Ing. Ruiz

A la Dra. Marie Ange Arsene Université des Antilles et de la Guyane por sus valiosos aportes

Al Ing. Quím. Sebastian Sesin y al diseñador Pablo Leguizamon; a los próximos arquitectos Eugenia Sipowicz y Luciano Foururia, a la arq Josefina Lerda; a los diseñadores industriales Vico Granero y Dario Aravena

Al equipo de Nuevos Materiales del CEVE: Rosana Gaggino, Soledad Bustamante, Luis Sosa y Miguel González; y al Dr. en Química Orgánica Ricardo Argüello por su asesoramiento en este trabajo.

A la Acción de Coordinación de Proyectos Residuos Agroindustriales: Fuente sostenible de materiales de construcción de CYTED, en especial al Dr. Vicente Amigo, que me propuso representar a Argentina en esta área de conocimiento

Al Dr Normando Perazzo, por la paciente revisión del manuscrito

A la empresa Georgalos que proveyó de las cáscaras de maní utilizadas para la elaboración de las primeras experiencias.

Al Lic Gustavo Cattivelli y a la empresa AMENDOBRAS que nos proveyó de “cascas de amendoim”

A la familia Maglione y a su empresa, en especial al Lic Nicolás Maglione, por la confianza puesta en el trabajo de investigación y desarrollo, y sus posibilidades de transferencia tecnológica.

A mis abuelos Francisco y Margarita, porque nada ocurre por casualidad

A mi familia - Virgina, Manuel y Horacio -, que durante muchos años, ha cedido tiempo para dedicar a mi formación. A Horacio, que ha ejercido de padre y madre cuando no estuve en casa.

## Resumen

GATANI, M.- **Reciclado post industrial de cáscaras de maní. Posibilidades de desarrollo de materiales no convencionales para la construcción de viviendas.** 2009. Tesis (Doctorado) Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, 2009

El propósito de este trabajo consiste en el estudio de las condiciones de desarrollo de materiales de construcción y su consiguiente aplicación, utilizando cáscaras de maní como residuo de la industria manicera regional.

Diversas dosificaciones variando la granulometría, el tenor de contenido de cáscaras, y tratamientos posibles, así como técnicas de elaboración, son experimentados a fin de viabilizar el uso de cáscaras de maní en matrices cementicias y en matrices poliméricas. Diferentes técnicas de moldeo fueron empleadas a escala de probetas: vibración, compactación y también dispersión en agua, y moldeo por vacío seguido de presión.

Cáscaras de maní enteras y cáscaras de maní molidas fueron ensayadas en matrices de cemento. La relación cáscaras de maní – cemento se mantuvo constante en 1:6 v/v. En términos de masa, la relación de cáscaras de maní enteras y cemento era de 1: 0,76 y cáscaras de maní molidas y cemento: 1:1. Se elaboraron probetas de 100 mm x 200 mm, y se evaluaron propiedades físicas de densidad y absorción de agua, y propiedades mecánicas de tracción y compresión.

Probetas elaboradas con cáscaras de maní molidas demostraron mejores condiciones de trabajabilidad para ser utilizadas en argamasas. Sin embargo, el molido de las cáscaras no mostró mejoras significativas en las propiedades físicas y mecánicas. Probetas con cáscaras de maní molidas pre-impregnadas con cal resultaron con mayor densidad (0,69 g/cm<sup>3</sup> y 0,73 g/cm<sup>3</sup> cáscaras enteras y molidas respectivamente); aumento de la capacidad de absorber agua (20,7 % y 41,6 % cáscaras enteras y molidas respectivamente); leve aumento de la resistencia a tracción (0,16 MPa y 0,25 MPa cáscaras enteras y molidas respectivamente); y similar resistencia a compresión simple (0,15 Mpa y 0,13 MPa cáscaras enteras y molidas respectivamente).

Algunos tratamientos de las cáscaras de maní molidas resultaron con mejoras en las propiedades mecánicas de las probetas. En el caso del lavado previo de las cáscaras de maní, los valores de resistencia a compresión resultaron en 0,12 MPa y 0,21 MPa, cáscaras enteras y molidas respectivamente. Mientras que la aditivación química con silicato de sodio y sulfato de aluminio resultó mejor en las probetas con cáscaras enteras, con valores de compresión simple de 0,28 MPa y 0,17 MPa cáscaras enteras y molidas respectivamente.

Las propiedades físicas y mecánicas mejoraron cuando se disminuye la proporción de cáscaras de maní en la matriz de cemento, y cuando se aplica vacío y presión en el moldeo de placas. Se ensayaron placas variando la granulometría, el tenor de cáscaras, tratamiento químico, y adición de pulpa de celulosa. Con 4 % de adición de cáscaras de maní en la matriz de cemento, granulometría hasta 1,18 mm (tamiz N° 14), sin tratamiento químico y adición de 1 % de pulpa de celulosa las propiedades físicas resultaron en: densidad (1,8 g/cm<sup>3</sup>; absorción de agua 14,5 % y porosidad aparente 26,12 %. En las mismas condiciones, las propiedades mecánicas fueron: modulo de ruptura (MOR) 7,43 MPa, Energía específica (EE) 0,09 KJ/m<sup>2</sup>, limite de proporcionalidad (LOP) 6,65 MPa, y modulo elástico (MOE) 18122 MPa.

Los resultados alcanzados fueron aplicados en el moldeo de ladrillos, bloques y placas para techo. Placas moldeadas mediante la técnica de vacío y presión son propuestas para cerramientos verticales y horizontales.

También las cáscaras de maní son utilizadas en matrices poliméricas con diferentes resinas y en

distintas técnicas de moldeo y presiones variables. Probetas elaboradas con cáscaras de maní y resina poliéster con una relación 1:1 (en masa) y moldeadas con presión de 1 k/cm<sup>2</sup> resultaron con las siguientes propiedades físicas: densidad 0,245 g/cm<sup>3</sup>; permeabilidad al vapor de agua 0,19 g/mhkPa; coeficiente de conductividad térmica 0,12 W/mK. Las propiedades mecánicas fueron: Flexión de la placa 0,28 MPa, flexión del material 0,7 MPa, compresión simple 0,1 MPa y modulo elástico 99,16. Cáscaras de maní enteras y resina poliéster son utilizadas para la elaboración de paneles livianos, resultando un material poroso, rígido, de buena resistencia mecánica y con buenas propiedades de aislacion térmica. Los paneles livianos son experimentados en la construcción de cielorrasos. Algunos métodos de producción a escala piloto fueron desarrollados.

Cáscaras de maní y resina urea formaldehído, utilizando unan prensa hidráulica de alta presión (12 kg/cm<sup>2</sup>) y alta temperatura (100°C), produjeron tableros de densidad media (850 k/m<sup>3</sup>) con propiedades similares a los tableros de madera. Las propiedades físicas resultaron en densidad de 0,83 g/cm<sup>3</sup>, hinchamiento 0,16 % y absorción de agua 0,70 %. Las propiedades mecánicas fueron: MOR 4,37 Mpa y MOE 590 MPa. Estas propiedades resultaron superiores respecto de los tableros de partículas de madera aglomeradas.

Se seleccionaron los tableros livianos de cáscaras de maní para estudiar su viabilidad de inserción en el medio socio-productivo. Estudios de viabilidad económica fueron elaborados teniendo en cuenta variables tales como costos de materiales, organización de la mano de obra, e inversiones necesarias a escala de producción piloto. Se consideran componentes de referencia de propiedades similares presentes en el mercado local del sector. El costo de producción de los paneles se asemeja con las placas decorativas de revestimiento elaboradas con yeso y con tableros de madera del medio.

Análisis ambientales fueron llevados a cabo con objeto de medir el impacto ambiental de las emisiones de los compuestos de las matrices poliméricas. Los resultados mostraron menor emisión de volátiles en el caso del uso de resina urea formaldehído.

Palabras clave: materiales con cáscaras de maní, paneles con cáscaras de maní, materiales compuestos con agregados vegetales

## Abstract

GATANI, M.- **Post industrial recycling of peanut husks. Development possibilities of non conventional materials for housing construction.** 2009. Thesis (Doctorado) Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, 2009

The purpose of this research work is the study of development conditions of construction material using peanut husks as waste of peanut local industry, and therefore, the application of that.

Several dosifications varying the particle sizing, the content of shells under, and chemical treatments, such as elaboration techniques are experimented in order to viability the use of peanut husks in cementitious matrix and polimeric matrix. Diverse moulding techniques were employed at probe scale: vibration, compacting and dispersion in water, dewatering moulding following by pressing.

Whole peanut husks and ground peanut husks were tested on cementitious matrix. The peanut husks – cement relation was constant on 1:6 v/v. In term of mass, the relation between whole peanut husks and cement was 1: 0, 76, and ground peanut husks and cement, 1:1. Specimens were prepared of 100 mm x 200 mm, and evaluated physical properties of density and water absorption; and mechanical properties of tensile and compressive resistance.

Specimens made with crushed peanut husks showed better working conditions to be used in mortars. However, the grinding of the husks did not show significant improvements in physical and mechanical properties. Test tubes with ground peanut shells pre-impregnated with lime resulted in greater density (0.69 g/cm<sup>3</sup> and 0.73 g/cm<sup>3</sup> whole and crushed shells respectively), increasing the ability to absorb water (20.7% and 41.6% whole and crushed shells respectively), slightly increased the tensile strength (0.16 MPa and 0.25 MPa respectively, ground whole husks) and similar compressive strength (0.15 MPa and 0.13 MPa whole shells and ground respectively).

Some treatments of crushed peanut shells were improvements in the mechanical properties of the specimens. In the case of pre-washing of the peanuts shells, the compressive strength values were at 0.12 MPa and 0.21 MPa, respectively, ground and whole husks. While chemical additives with sodium silicate and aluminum sulfate is better in the test pieces with whole shells, with simple compression values of 0.28 MPa and 0.17 MPa respectively, ground and whole husks.

Physical and mechanical properties improve when the proportion of peanut shells in the cement matrix is reduced, and when applied vacuum and pressure on the molding plates. Plates were tested by varying the particle size, the tenor of shells, chemical treatment and addition of cellulose pulp. With 4% addition of peanut shells in the cement matrix, up to 1.18 mm particle sizing (sieve No. 14), without chemical treatment and addition of 1% of cellulose pulp resulted in physical properties: density (1.8 g/cm<sup>3</sup>, water absorption 14.5% and apparent porosity 26.12%. Under the same conditions, the mechanical properties were: modulus of rupture (MOR) 7.43 MPa, specific energy (EE) 0.09 KJ / m<sup>2</sup>, limit of proportionality (LOP) 6.65 MPa, and modulus of elasticity (MOE) 18122 MPa.

The results obtained were applied in the molding of bricks, blocks and sheeting for roof. Moulded plated by de watering and pressing are proposed for vertical enclosures.

Also peanut shells are used in polymeric matrices with different resins and different molding techniques and pressure variables. Specimens made with peanut shells and polyester resin with a relation 1:1 (by mass) and molded with pressure of 1 kg/cm<sup>2</sup> resulted with the following physical properties: bulk density 0.245 g/cm<sup>3</sup>, water steam permeability 0.19 g / mhkPa; and thermal conductivity coefficient 0,12 W / mK. The mechanical properties were: Flexion 0.28 MPa plate, flexion of 0.7 MPa material, and simple compression elastic modulus 0.1 MPa and 99.16. Whole peanut shells and polyester resin are used for the manufacture of lightweight panels, resulting in a porous, rigid, good mechanical strength and good insulation properties. The lightweight panels are

experienced in building ceilings. Some methods of pilot scale production were developed.

Peanut shells and urea formaldehyde resin, using hydraulic press join high pressure (12 kg/cm<sup>2</sup>) and high temperature (100 degrees C) produced MDF ( medium density fiberboard) with properties similar to wood panels. The physical properties resulted in density of 0.83 g/cm<sup>3</sup>, swelling 0.16% and 0.70% water absorption. The mechanical properties were 4.37 MPa and MOE MOR 590 MPa. These properties were superior on the boards of bonded wood particles.

Light panels were selected from peanut shells to study the feasibility of integration into the socio-productive medium. Economic feasibility studies were prepared taking into account variables such as costs of materials, organization of labor, and investments needed to pilot production scale. Components in question are considered similar properties costs than those panels present in the local market sector. The production cost of the panels is similar to the elaborate decorative plates coated with plaster and wood panels.

Environmental analysis was carried out in order to measure the environmental impact of emissions of compounds of polymeric matrices. The results showed less volatile issue in the case of the use of urea formaldehyde resin than poliester plates.

Key words: peanut husks materials, peanut husks boards, and vegetal fibre composite material.

## Lista de figuras

Figura 01: Situación forestal de la provincia de Córdoba en 1900 y en la actualidad

Figura 02: Basural a cielo abierto en la provincia de Buenos Aires

Figura 03: Esferas de sustentabilidad (Nijkamp, 1992)

Figura 04: Cuevas de pieles

Figura 05: Chozas de ramas

Figura 6a: Construcción japonesa en madera

Figura 6b: Obra de arq. Alvar Aalto en Finlandia

Figura 7a: Adobes secados al sol

Figura 7b: Mezquita de Djenne en Mali

Figura 8: Panteón romano,

Figura 9: Catedral de Albi, en el sur de Francia,

Figura 10: Vivienda en Ámsterdam

Figuras 11 a y b: Pirámide Kefren, en Giza

Figuras 12 a y b: Mampostería unida con piezas irregulares en la pirámide de Gizah, cerca de El Cairo

Figura 13: Puerta de Los leones en Micenas

Figura 14: Pórtico del Panteón Romano

Figura 15: Cúpula del Panteón

Figura 16: Molino de Lino diseñado por Benyon, Bage y Marshall (Inglaterra, 1796).

Figura 17: Torre Eiffel

Figura 18: Palm House de Kew, Londres –

Fig 19a. Vivienda contemporánea - Fig 19b Edificio de oficinas actual

Figura. 20 a Horno de ladrillos sobre la Av. de Circunvalación (ciudad de Córdoba).20b Horno de ladrillos en proximidades al aeropuerto Córdoba. 20c Horno de ladrillos en los alrededores de Córdoba

Figura 21 a: Horno de ladrillos en Santiago del Estero y Figura 21b: Trabajadores informales del horno

Figura 22: Representación esquemática del comportamiento a flexión de un compuesto sin fibras y de un material compuesto reforzado con fibras

Figura 23: Diagramas de Tensión x Deformación (a) Comportamiento frágil; (b) Comportamiento dúctil: 1- Módulo de ruptura y 2- Límite de proporcionalidad; (c) Área generada bajo la curva indica la energía específica del material

Figura 24 a: Tablero de viruta de madera y magnesita de poros abiertos y fibras gruesas (Heraklith C).  
Figura 24b: Tablero de viruta de madera y magnesita de poros cerrados y fibras finas

Figura 25: Placas Plycem

Figura 26 a: Colocación placas Superboard; Figura 26 b: Tipos de bordes según acabado; Figura 27c: modulo de las placas

Figura 27a. Panel WWCB de baja densidad – Fig 27 b: Aplicación como aislante de techo

Figura 28a. Panel WWCB de alta densidad – Fig 28 b: Aplicación como revestimiento vertical

Figura 29: Tablero aglomerado

Figura 30a: Tablero de virutas; Figura 30 b: Tablero de virutas orientadas

Fig 31: Tablero de fibras de densidad media

Fig. 32: Tablero de fibras duro

Fig 33 a: Catalogo Corlock; b: aplicaciones

Fig 34 a: Catalogo decoplacas; 34 b: aplicaciones

Fig 35 a y b: Aplicaciones guillermina MDF

Fig 36 a : Placas MAHS; Fig 36 b: Aplicaciones

Figura 37: Aparato Vicat

Figura 38: Prensa de Ensayo de Tracción Directa

Fig 39: Secuencia de lavado de las cáscaras de maní – 39a: Cascaras de maní en bolsas – 39 b: Inmersión en agua – 39 c; Agitación en agua – 39 d: Filtrado de agua

Fig 40: Molino manual. 40 a: Vista general – 40 b: Vista de la tolva

Fig 41: Molino de bolos

Fig 42: Molino de granos. 42a: Vista general – 42 b: Vista de las cuchillas

Fig 43: Molino de cuchillas. 43a: Vista general – 43 b: Vista de las cuchillas

Fig 44: Licuadora industrial. 44a: Vista general – 44b: Vista de las cuchillas

Fig 45: Secuencia de procesamiento mecánico de las cáscaras de maní. 45a. Licuado- 45b: Escurrimiento del agua – 45 c: Secado al sol - Fig 45 d y e: Temperatura natural de secado- 45 f y g: Secado en estufa. Vista exterior e interior

Fig. 46:..Secuencia de elaboración de las placas con pulpa

46 a: Vista general del agitador mecánico de partículas – 46b: Partículas en suspensión - Fig. 46 c Moldeo de la placa - Fig. 46 d: Bomba de vacío - Fig. 46 e: Placa después de la extracción de agua - Fig. 46f: Prensado - Fig. 46g: Placa moldeada - Fig. 46h: Curado en bolsa plásticas - Fig. 46i: Curado en cámara climática - Fig. 46 j, k y l: Placas resultantes de diferentes granulometrías de cáscaras de maní

Fig. 47: Secuencia de elaboración de las placas sin pulpa

47a: Insumos - 47 b: mezclado en argamasa - 47 c: Vista de la paleta mezclando

47 d: Moldeo de la placa - 47 e. Extracción de agua por vacío - 47 f: Placa resultante

Fig 47g: Prensado

Fig. 47 h: Curado en bolsa plástica

Fig. 48: Secuencia de impregnación de sales minerales. - 48a y b: Preparación de los aditivos químicos de impregnación - Fig 48c Impregnación con agitador magnético - Fig 48 d: Filtrado silicato de sodio de cáscaras impregnadas - 48e: Detalle del filtrado - 48f: Filtrado de sulfato de aluminio - Fig. 48g: Secado en estufa de cáscaras impregnadas

Fig 49a: Dosificación de cáscaras de maní

Fig 49b: Preparación de resina

Fig 49 c, d y e: Homogeneización de cáscaras y resina

Fig 49 f,g y h: Moldeo y compactación

Fig 50: Ensayo de compresión en probetas con cáscaras de maní y resina poliéster 50a: Prensa Versa Tester 30 M - 50b: Vista de los comparadores

Fig 51: Esquema de la forma de la probeta para ensayo de tracción

Fig 52: Ensayo de tracción en probetas con cáscaras de maní y resina poliéster - 52 a y b: Vista general de la prensa - 52c: Detalle de la probeta, aro y comparadores

Figura 53: Etapas de fabricación de los paneles

53a: Mezclador

53b: Prensa hidráulica con calentamiento

53c: Placa de cáscaras de maní y resina ureica

Fig 54: PROCESADO DE CASCARAS DE MANI. Fig 54 a: Mezcladora tipo perita, Fig 54b: Filtrado de las cáscaras de maní después del lavado, Fig 54c: Extracto obtenido del lavado

Fig. 55 Secado de cáscaras de maní después del lavado. Fig. 55a: Extracción total de agua y Fig 55b: Secado al sol

Fig 56: Procesado de cáscaras de maní y cemento para la elaboración de bloques y ladrillos- Fig 56a: Preparación de componentes Fig 56b: Dosificación de componentes Fig 56c: Moldeo

Fig. 57 a y b: Bloques de cáscaras de maní, arena y cemento

Fig 58: Bloques para techo de cáscaras de maní, arena y cemento

Fig 59: Ladrillos de cáscaras de maní, arena y cemento

FIG. 60: ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXION Fig 60 a. Esquema de ensayo y Fig 60b: Placas en condiciones de ensayo

Fig 61: Planta de maní. Fig 61 a : Esquema Fig 61b: Cultivo

Fig 62: Granos de maní en caja

Fig 63: Cosecha del maní

Fig 64: Procesamiento del maní en planta - Fig. 64 a: Secado del maní en caja, apenas llega a la planta - Fig 64 b: limpieza, eliminación de tierra - Fig 64 c y d: Silo de acopio del maní en caja - Fig 64 e y f: Interior del silo donde se observa el volumen de acopio y canaleta para ventilación - Fig 64 g: Ingreso de maní a la planta de procesado - Fig. 64 h: Separación de la cáscara - Fig. 64 i y j: Clasificación de los granos de maní - Fig. 64 k: Idem anterior - Fig. 64 l: Escáner de granos. - Fig. 64 m: Los granos de maní son conducidos a tolvas - Fig. 64 k: Idem anterior - Fig. 64 l: Escáner de granos. - Fig. 64 m: Los granos de maní son conducidos a tolvas - Fig 64 n: Idem anterior - Fig 64 ñ: Embolsado en big bags - Fig 64 o: Proceso de blanchado - Fig 64 p: Se separa el tegumento del grano - Fig 64 q: Control de los granos - Fig 64 r: Los granos de maní blanchados son embolsados Figg 64 s: Acopio de maní - Fig 64 t, u y v: Las cáscaras de maní son retiradas en camiones

Fig 65 a: Macro parte externa cáscara tostada tres granos

Fig 65 b: Macro parte interna cáscara tostada tres granos

Fig 66a: Macro parte externa cáscara tostada dos granos.

Fig 66b: Macro parte interna cáscara tostada dos granos

Fig 67: Variación del tamaño de las partículas

Figura 68. Cáscaras resultantes del proceso de descascarado

Fig. 69: Cáscara de maní natural, Fig 69 a: superficie externa x20 - Fig. 69 b: Cáscara de maní natural, red interna fibrilar x20 - Fig 69 c: Maní natural, cáscara interna x70

Fig 70a: parte externa cáscara tostada, x10

Fig 70 b: parte externa cáscara tostada, x10

Fig 70 c: parte interna cáscara tostada, fibras de la capa interior, x10

Fig 70 d: parte interna cáscara tostada, fibras de la capa interior en otra zona, x10

Fig 70 e: Corte transversal de la cáscara x10

Fig 70 f: Corte transversal de la cáscara x30

Fig 70 g: Corte transversal de la cáscara de mani x30

Fig 70 h: Cascaras de mani, corte transversal de la cáscara x30\_2

Fig 70 i Maní tipo 1, corte transversal de la cáscara x30\_1

Fig 70 j Maní tipo 1, corte trasversal de la cáscara x30\_2

Fig 71 a: Aspecto general de la cáscara de maní, 100x

Fig 71 b: Detalle de la estructura anterior, 1000x

Fig 71 c: Detalle de la estructura compactada 1000x.

Fig 71 d: Detalle en otra zona, 1000x

Fig 71 e: Estructura con compactación parcial, 1000x

Fig 71 f: Detalle de la zona con mayor porosidad con estructura peculiar. 1000x.

Fig 71 g: Aspecto general de la zona entre dos senos de la cáscara de maní, 250x.

Fig 71 h: Detalle del cuadro en la fotografía anterior, 1000x. Detalle

Fig 72 a y b: Granulometría ultrafina de cáscaras de maní

FIG 73 a y b: Granulometría fina de cáscaras de maní

FIG 74 a y b: Granulometría mediana de cáscaras de maní

FIG 75 a y b: Granulometría desfibrada de cáscaras de maní

Fig 76: Curvas granulométricas de las partículas molidas de cáscaras de maní

Fig. 77: Cáscara de maní con cemento, superficie externa

Figura 78: Tiempo de fragüe de probetas de cemento y extractos de cáscaras de maní

Fig 79: Resistencia a compresión de probetas de cemento y extractos de cáscaras de maní

Figura 80: Resistencia a Tracción Directa de morteros de cemento y cáscaras de maní enteras

Figura 81: Resistencia a Compresión Simple de probetas de cemento y cáscaras de maní enteras

Fig 82. Densidad comparada en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

Fig 83: Absorción de agua comparada en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

Figura 84: Resistencia a Tracción Directa de morteros de cemento y cáscaras de maní molidas

Figura 85: Resistencia a Compresión Simple de probetas de cemento y cáscaras de maní molidas

Fig 86. Densidad comparada en morteros de cáscaras de maní molidas y cemento

Fig 87: Absorción de agua comparada en morteros de cáscaras de maní molidas y cemento

Fig 88: Cruzamiento de datos de absorción de agua y densidad en probetas de morteros con cáscaras molidas

Fig 89: Cruzamiento de datos de compresión simple y densidad en probetas de morteros con cáscaras molidas

Fig 90: Diferentes granulometrías y texturas de placas de cáscaras de maní y cemento

Fig. 91 a: Vista espesor Muestra 1 y Fig 91b: Textura Muestra 1

Fig. 92 a: Vista espesor Muestra 2 y Fig. 92b: Textura Muestra 2

Fig. 93 a: Vista espesor Muestra 3 y Fig 93b: Textura Muestra 3

Fig. 94 a: Vista espesor Muestra 4 y 84 b: Textura Muestra 4

Fig 95: Propiedades físicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní y pulpa de celulosa de eucalipto. a) Absorción de agua; b) Densidad aparente; y c) Porosidad aparente

Figura 96: Curva de Tension – Deformacion en compuestos cementicios con cascaras de mani y pulpa de celulosa

Fig. 97: Propiedades mecánicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní y pulpa de celulosa de eucalipto. a) Modulo de ruptura (MOR); b) Energía específica (EE); c) Limite de proporcionalidad (LOP); y d) Modulo elástico (ME)

Fig 98: Propiedades físicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní sin pulpa de celulosa de eucalipto. a) Absorción de agua; b) Densidad aparente; y c) Porosidad aparente

Fig 99: propiedades mecánicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní sin pulpa de celulosa de eucalipto. a) Modulo de ruptura (MOR); b) Energía específica (EE); c) Porosidad limite de proporcionalidad (LOP); y d) Modulo elástico (ME)

Figura 100: Curva de Tension – Deformacion en compuestos cementicios con cascaras de mani sin pulpa de celulosa

Fig 101: Propiedades físicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní con pulpa de celulosa de eucalipto en diferentes tenores. a) Absorción de agua; b) Densidad aparente; y c) Porosidad aparente

Fig 102: Propiedades mecánicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní con pulpa de celulosa de eucalipto en diferentes tenores. a) Modulo de ruptura (MOR); b) Energía específica (EE); c) Porosidad limite de proporcionalidad (LOP); y d) Modulo elástico (ME)

Figura 103: Curva de Tension – Deformacion en compuestos cementicios con cascaras de mani con pulpa de celulosa y variacion en el tenor de cascaras de mani

Fig 104: Propiedades físicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní sin pulpa de celulosa de eucalipto con y sin tratamiento químico. a) Absorción de agua; b) Densidad aparente; y c) Porosidad aparente

Fig 105: Propiedades mecánicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní sin pulpa de celulosa de eucalipto con y sin tratamiento químico. a) Modulo de ruptura (MOR); b) Energía específica (EE); c) Porosidad limite de proporcionalidad (LOP); y d) Modulo elástico (ME)

Fig 106 Efecto de la pulpa de celulosa en densidad aparente

Fig 107 Efecto de la pulpa de celulosa en porosidad aparente

Fig 108: Efecto de la pulpa de celulosa en MOR

Fig 109: Efecto de la pulpa de celulosa en MOE

Fig. 110: Resultados de ensayo de compresión en compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster - a:muestra 1; b:muestra 2; c: muestra 3; d. muestra 4; e: muestra 5; f: muestra 6; g: muestra 7; h: muestra 8; i: muestra 9; j: muestra 10; k: muestra 11; l: muestra 12

Fig 111: Dispersión en ensayo de compresión de probetas de cáscaras de maní y resina poliéster (30%)

Fig 112: Dispersión en valor de modulo de elasticidad de probetas de cáscaras de maní y resina poliéster

Fig 113: Dispersión en valor de tracción directa de probetas de cáscaras de maní y resina poliéster (30%)

Fig. 114: Resultados de ensayo de compresión en compuestos de cáscaras de mani y resina poliéster - a:muestra 1; b:muestra 2; c: muestra 3; d. muestra 4; e: muestra 5; f: muestra 6; g: muestra 7; h: muestra 8; i: muestra 9; j: muestra 10; k: muestra 11; l: muestra 12

Fig 115: Dispersión en ensayo de compresión de probetas de cáscaras de mani y resina poliéster (50%)

116: Dispersión en valor de modulo de elasticidad de probetas de cáscaras de mani y resina poliéster (50%)

Fig 117: Dispersión en valor de tracción directa de probetas de cáscaras de mani y resina poliéster (50%)

Figura 118: Valores de hinchamiento y absorción de agua comparadas de probetas compactas de cáscaras de mani y resina ureaformaldehido

Figura 119: Diagrama tensión deformación del tablero con cáscaras de mani y resina ureica con y sin tratamiento preservante

Fig 120: Descripción grafica de bloques de 19 cm

Fig 121 a y b: Bloques de 19 cm producidos

FIG. 122. Densidad comparada de bloques

FIG. 123. Absorción de agua comparada de bloques

FIG. 124. RESISTENCIA A COMPRESION COMPARADA de bloques

Fig 125: Descripción grafica de bloques de techo

Fig 126: Bloques de techo elaborados

FIG. 127. DENSIDAD COMPARADA

FIG. 128. ENSAYO DE ABSORCION DE AGUA COMPARADA

FIG. 129. RESISTENCIA A COMPRESION COMPARADA de bloques para techo

Fig 130 a: Descripción grafica de ladrillos. Modelo A

Fig 130 b: Descripción grafica de ladrillos. Modelo B

Fig 131: Ladrillos de cáscaras de mani y cemento

FIG. 132. DENSIDAD COMPARADA de ladrillos

FIG. 133. ABSORCION DE AGUA COMPARADA de ladrillos

FIG. 134. RESISTENCIA A COMPRESION COMPARADA de ladrillos

Figura 135: Bloque de cáscaras de mani y resina poliéster

Fig 136: Paneles livianos de cáscaras de mani y resina poliéster. Fig 136a: Manipuleo y Fig 136b: Corte de los paneles

Fig 137: Detalle de la placa de cáscaras de mani y resina poliéster

Fig 138: Descripción de la colocación de cielorraso de paneles de cáscaras de mani. Fig 138 a: Planta, Fig 138b: Corte transversal, Fig 138c: Corte longitudinal, Fig 138d: Planta de cielorraso

Fig 139: Detalles de colocación de paneles de cascaras de maní y resina. Fig 139a: Encuentro inferior con muro. Fig 139b: Detalle tramo. Fig 139c: Encuentro cumbrera. Fig 139d: Encuentro transversal

Fig 140 Textura superficial de los paneles

Fig 141 a y b: Colocación de placas de cielorraso de cáscaras de maní

Fig 142: Vista resultante de las placas de cielorraso con cascaras de mani y resina poliester

Fig 143: Secuencia de tareas e ítems para el análisis de mano de obra para la producción de paneles livianos de cascaras de maní y resina

FIG 144: BIOMBOS DIVISORIOS Y MESAS DISEÑADOS CON CÁSCARAS DE MANÍ Y RESINA UREICA

FIG 145: MODULOS DE TAMAÑOS DIFERENTES CON CASCARAS DE MANI Y RESINA POLIESTER

FIG 146: MODULOS DE CASCARAS DE MANI Y RESINA POLIESTER ENMARCADOS POR PERFILES METALICOS

Fig 147 Plantas de la vivienda propuesta. Fig 147a: Planta Nivel Ingreso, Fig 147b: Planta 1º piso, Fig 147c: Planta 2º piso, Fig 147d: Planta de techos

Fig 148: Cortes Fig 148a: Corte transversal, Fig 148b: Corte longitudinal

Fig 152: Planta de selección y procesado de maní

Fig 153: Las Junturas Fig 153 a y b: Vistas del pueblo Fig 153 c: Planta de mani

FIG 154: SECUENCIA GRAFICA DE PRODUCCION DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI

FIG 155a: PRENSA DE MOLDEO DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI. PLANTA

FIG 155b: PRENSA DE MOLDEO DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI. VISTA SUPERIOR

FIG 155c: PRENSA DE MOLDEO DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI. MARCO

FIG 155d: PRENSA DE MOLDEO DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI. VISTA LATERAL

FIG 155e: PRENSA DE MOLDEO DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI. CORTE FRONTAL

Fig 156: Elaboración seriada de paneles de cáscaras de maní a escala piloto. Fig. 156a: Dosificación de resina. Fig. 156b: Homogenización de resina y cáscaras de maní. Fig. 156c: Traslado de la mezcla Fig 156 d, e y f: Colocación de mezcla e interfase Fig 156 g: Moldeo

Fig. 157a: Planta de galpón para la producción

Fig. 158b: Corte de galpón para la producción

Fig. 158c: Fachada de galpón para la producción

Fig 159: Elaboración experimental de tableros de cáscaras de maní en presa de platos calientes. Fig 159a: Dosificación de cáscaras de maní. Fig 159b: Dosificación de resina ureica Fig 159c: Homogenización de cáscaras de maní con resina. Fig 159d: Pre- moldeo de mezcla Fig 159e: Moldes de placas. Fig 159f: Colocación de moldes en prensa

## Lista de tablas

Tabla 1: Localizaciones y funciones de los componentes de los agregados vegetales

Tabla 2: Características de algunas fibras vegetales

Tabla 3: Propiedades de Heraklith C

Tabla 4: Especificaciones técnicas Tableros Corlock

Tabla 5: Especificaciones técnicas Decoplacas

Tabla 6: Especificaciones técnicas de Guillermina MDF

Tabla 7: Características físicas y mecánicas de Guillermina MDF

Tabla 8: Características MAHS

Tabla 9: Composición química de cemento CPF 40 MINETTI

Tabla 10: Propiedades químicas de cemento Minetti CPF40

Tabla 11: Propiedades físicas de cemento Minetti CPF40

Tabla 12: Propiedades mecánicas de cemento Minetti CPF40

Tabla 13: Composición química de cemento Portland OPC V y filler calcáreo.

Tabla 14: Descripción del adhesivo: Resina polial 340

Tabla 15: Características de resina urea formaldehído

Tabla 16: Análisis del agua cementicia o agua de poros

Tabla 17: Dosajes de elaboración de las muestras para el ensayo de Tiempo de Fraguado

Tabla 18: Relación cáscaras de maní – cemento según la granulometría de cáscaras de maní

Tabla 19: Dosificaciones utilizadas para determinación de pH en el líquido sobre nadante del agua de poros de cáscaras de maní aditivadas

Tabla 20: Dosificaciones utilizadas en morteros con cáscaras de maní enteras ( $P_e = 100 \text{ kg/m}^3$ )

Tabla 21: Dosificaciones utilizadas en morteros con cáscaras de maní molidas ( $P_e = 210 \text{ kg/m}^3$ )

Tabla 22: Descripción de las probetas de cáscaras de maní y cemento

Tabla 23: Tamices para la separación de las partículas de cáscaras de maní

Tabla 24: Contenido de humedad de las muestras de cáscaras de maní

Tabla 25: Cantidades de material para probetas de 6 mm de espesor:

Tabla 26: Dosificación para el moldeo de placas de cáscaras de maní y cemento sin pulpa de celulosa

Tabla 27: Cantidad de CPs y placas elaboradas

Tabla 28: Diferentes tenores para la elaboración de las probetas

Tabla 29: Dosificaciones para la elaboración de las probetas

Tabla 30: Dosificaciones según tratamiento para la elaboración de las probetas

Tabla 31a: Primera impregnación de cáscaras de maní con resina poliéster

Tabla 31b: Segunda impregnación de cáscaras de maní con resina poliéster

Tabla 32: Composición porcentual del maní en caja

Tabla 33: Composición química de las cáscaras de maní

Tabla 34: Composición granulométrica de las cáscaras de maní molidas

Tabla 35: Determinación de tiempo de fragüe de muestras de extractos de cáscaras de maní y cemento

Tabla 36: Relación a/c para morteros de cáscaras de maní enteras

Tabla 37: Determinación de pH de las diferentes formulaciones de morteros de cáscaras de maní

Tabla 38: Ensayo de Tracción directa en probetas con cáscaras enteras – cemento (con los valores medios y la precisión de los resultados)

Tabla 39: Ensayo de compresión directa en probetas cilíndricas con cáscaras enteras y cemento

Tabla 40: Densidad en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

Tabla 41: Absorción de agua en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

Tabla 42: Relación a/c para morteros de cáscaras de maní molidas y cemento

Tabla 43: Ensayo de Tracción directa en probetas con cáscaras enteras – cemento (con los valores medios y la precisión de los resultados)

Tabla 44: Ensayo de compresión directa en probetas cilíndricas con cáscaras molidas y cemento

Tabla 45: Densidad en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

Tabla 46: Absorción de agua en morteros de cáscaras de maní molidas y cemento

Tabla 47 Relación a/c en los compuestos según la granulometría de las cáscaras de maní con pulpa de celulosa

Tabla 48 Relación a/c en los compuestos según la granulometría de las cáscaras de maní sin pulpa de celulosa

Tabla 49: Relación a/c en los compuestos según varia el tenor de cáscaras de maní

Tabla 50: Relación a/c en los compuestos según el tratamiento de las cáscaras de maní

Tabla 51: Propiedades físicas y mecánicas de las probetas de morteros de cáscaras de maní

Tabla 52: Tensión máxima y modulo de elasticidad en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (30%)

Tabla 53: Resistencia a tracción directa en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (30%)

Tabla 54: Tensión máxima y modulo de elasticidad en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (50%)

Tabla 55: Resistencia a tracción directa en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (50%)

Tabla 56: Resistencia a Flexión del material ( $\sigma$  de rotura) en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (50%)

Tabla 57: Resistencia a Flexión de la placa ( $\sigma$  de rotura) en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (50%)

Tabla 58: Índice de propagación de llama de paneles de cáscaras de maní y resina poliéster

Tabla 59: Valores medios de densidad de tableros de cáscaras de maní y resina ureica

Tabla 60: Valores medios de hinchamiento y absorción de agua de tableros de cáscaras de maní y resina ureica

Tabla 61: Valores medios y desvío de MOR y MOE de tableros de cáscaras de maní y resina ureica

Tabla 62 – Resistencia a flexión de placas de cemento y cáscaras de maní

Tabla 63: Peso específico de materiales para cielorrasos

Tabla 64: Coeficiente de conductividad térmica de materiales para cielorrasos

Tabla 65: Descripción de metales pesados y sus contenidos máximos

Tabla 66: Calculo de estimación de impacto de VOCs en una habitación cerrada

Tabla 67: INVERSIONES para la producción piloto

Tabla 68: COSTOS VARIABLES DE PRODUCCION DE 15 PLACAS DE CASCARAS Y RESINA POLIESTER / DIA

Tabla 69: COSTOS VARIABLES DE PRODUCCION DE 12 PLACAS DE CASCARAS Y RESINA UREICA / DIA

TABLA 70: DEPRECIACIONES EN VALORES DE USO

TABLA 71: COSTOS FIJOS MENSUALES. Capacidad de producción: 240 placas mensuales

Tabla 72: Valores comparativos de materiales para cielorrasos



<b>Introducción</b>	33
Hipótesis	33
Objetivos	34
Motivaciones	34
Resultados esperados	35
Contenido de la tesis	35
<b>Capítulo 1: El problema ambiental. Antecedentes. Los materiales.</b>	
<b>Agregados Naturales y sus aplicaciones El problema ambiental</b>	37
Introducción	
1.1.- El problema ambiental del planeta: lo global y lo local	37
1.1.1.- Gases de efecto invernadero	37
1.1.2.- Desertificación	37
1.1.3. - Residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos industriales	38
1.2.- Sustentabilidad: un paradigma	39
1.3.- Los materiales de construcción y arquitectura.	
Por que nuevos materiales de construcción?	41
1.3.1. Impacto de materiales, técnicas y tecnologías	47
1.4.- Estrategias básicas generales para el tratamiento de residuos	49
1.5.- Antecedentes. Materiales en base a insumos reciclados	50
1.5.1.- Agregados vegetales.	51
1.5.1.1.- Composición	53
1.5.2.- Agregados vegetales en matriz cementicia	55
1.5.2.1.- Interfase cemento-fibras	55
1.5.2.2.- Durabilidad. Factores que afectan la compatibilidad química entre	

la biomasa vegetal y cemento	55
1.5.2.3.- Tratamientos para mejorar la durabilidad de los compuestos	57
1.5.2.4.- Comportamiento mecánico de la incorporación de partículas vegetales	57
1.5.3.- Antecedentes de materiales con agregados vegetales en matriz cementicia (o mineral).	59
1.5.4.- Antecedentes de materiales con agregados vegetales en matriz polimérica.	63
1.5.4.1.- Relevamiento del mercado local (Córdoba)	65
1.5.4.2.- Resinas aplicables a tableros de partículas aglomeradas	69
1.5.5.- Cáscaras de maní en materiales de construcción	71
1.5.- Conclusiones de la revisión bibliográfica	72

## **Capítulo 2: Metodología y estrategias básicas.**

<b>Métodos experimentales</b>	<b>73</b>
2.1. Metodología propuesta.	73
2.1.1.- Identificación de residuos de actividades industriales	73
2.1.2.- Estimación de cantidades	73
2.1.3.- Selección de un residuo a ser investigado	73
2.1.4.- Detalles de la disponibilidad de un residuo	74
2.1.5.- Costos asociados a los residuos	74
2.1.6.- Proceso de generación, tratamiento y gestión de los residuos	74
2.1.7.- Caracterización del residuo	74
2.1.8.- Desarrollo de alternativas de materiales y componentes	74
2.1.9.- Evaluación y Selección de aplicaciones según indicadores físico-mecánicos, ambientales y económicos	76
2.1.10.- Aplicación del producto o de los productos al diseño de equipamiento y componentes de construcción. Propuestas de diseño de arquitectura sustentable.	77
2.1.11.- Conclusiones y prospectiva	77

2.2. Planeamiento del trabajo experimental	77
2.2.1.- Materiales	77
2.2.1.1.- Cáscaras de maní	77
a. Granulometría	
b- Absorción de agua	
c. Análisis químico	
2.2.1.2. Ligante Cemento	79
2.2.1.3.- Ligante polimérico: Resina poliéster	81
2.2.1.4.- Ligante polimérico: Resina ureica	82
2.2.2.- Técnicas, Métodos y procesos experimentales	83
2.2.2.1.- Morteros de Cáscaras de maní en matriz cementicia	83
2.2.2.2.- Compuestos de cáscaras de maní – cemento con presión. Técnica de dispersión en agua, moldeo por vacío seguido de presión. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas.	91
2.2.2.3. Cáscaras de maní en matriz polimérica	102
2.2.3.- Aplicaciones	110
2.2.3.1.- Aplicación de los materiales de matriz cementicia	110
2.2.3.2.- Aplicación de los materiales de matriz polimérica	113
2.2.4.- Diseño aplicando componentes desarrollados	114
2.2.5.- Evaluación ambiental	114
2.2.6.- Evaluación económica	114
<b>Capítulo 3: El maní y la cáscara de maní</b>	<b>115</b>
3.1.- Producción	116
3.2.- Variedades	116
3.3.- Cosecha	116
3.4.- Producción y obtención de las cáscaras de maní en Córdoba (Argentina)	117

3.5.- Esquema tipo de flujos de recepción, selección, evaluación y procesado de maní en las plantas seleccionadoras	118
3.5.1.- Recepción y selección del maní	118
3.5.2.- Ejemplo de secuencia de procesado del maní en Córdoba	119
3.6.- Utilización de cáscaras de maní.	122
3.7.- Caracterización de la cáscara de maní	123
3.7.1.- Tamaño	123
3.7.2.- Densidad	124
3.7.3.- Estructura física de la cáscara	125
3.7.3.1.- Descripción morfológica	125
3.7.3.2.- Absorción de agua de las cáscaras.	129
3.8.- Composición química	129
3.9.- Granulometría	130
3.11.- Conclusiones preliminares. Propiedades físicas y químicas de las cáscaras de maní en relación al cemento	132
<b>Capitulo 4. Cáscaras de maní en matriz cementicia.</b>	<b>135</b>
4.1. Resumen	135
4.2. Interfase cáscaras de maní + cemento	135
4.2.1.- Determinación de interferencias en la interfase cemento- cáscaras de maní.	135
4.2.1.1.- Ensayo de tiempo de fragüe	136
4.2.1.2.- Resistencia a compresión de mezclas de cemento con extractos de cáscaras de maní.	137
4.3.- Morteros con cáscaras de maní enteras y cemento	138
4.3.1.- Relación agua-cemento (a/c)	138
4.3.2.- Determinación del pH en cada una de las muestras aditivadas.	139
4.3.3.- Propiedades mecánicas.	140

4.3.3.1.- Ensayo de tracción	140
4.3.3.2.- Ensayo de compresión	142
4.3.4.- Propiedades físicas	144
4.3.4.1.- Densidad	144
4.3.4.2.- Absorción de agua	145
4.4.- Morteros con cáscaras de maní molidas y cemento	146
4.4.1.- Relación agua-cemento (a/c)	146
4.4.2.- Propiedades mecánicas	147
4.4.2.1.- Ensayo de tracción directa	147
4.4.2.2.- Ensayo de Compresión simple	148
4.4.3.- Propiedades físicas	149
4.4.3.1.- Densidad	149
4.4.3.2.- Absorción de agua	150
4.5.- Comparación de morteros elaborados con cáscaras enteras y cáscaras molidas	151
4.6.- Placas con cáscaras de maní y cemento.	
Técnica de moldeo por vacío seguido de presión	154
4.6.1.- Muestras con cáscaras de maní + pulpa de celulosa	154
4.6.1.1.- Relación a/c	155
4.6.1.2.- Aspecto	155
4.6.1.3.- Propiedades físicas de los compuestos	157
4.6.1.4.- Propiedades mecánicas de los compuestos	158
4.6.2.- Muestras con cáscaras de maní sin pulpa de celulosa	160
4.6.2.1.- Relación a/c	160
4.6.2.1.- Aspecto	161
4.6.2.2.-Propiedades físicas	161
4.6.2.3.-Propiedades mecánicas	162
4.6.3.- Muestras de cáscaras de maní sin pulpa con diferente tenor de los compuestos	163

4.6.3.1.- Relación a/c	164
4.6.3.1.- Propiedades físicas	164
4.6.3.2.- Propiedades mecánicas	164
4.6.4.- Muestras de cáscaras de maní con tratamiento químico de las partículas	166
4.6.4.1.- Relación a/c	166
4.6.4.2.- Ensayos físicos	166
4.6.4.3.- Ensayos mecánicos	167
4.6.5.- Discusión de resultados	167
4.6.3.1.- Efecto de la granulometría en las propiedades físicas y mecánicas	167
4.6.3.2.- Efecto de la presencia de pulpa de celulosa en las propiedades mecánicas y físicas	170
4.6.3.3.- Efecto del tenor	171
4.6.3.4.- Efecto del tratamiento químico de las partículas	171
4.7. Conclusiones preliminares.	171
<b>Capítulo 5: Cáscaras de maní en matriz polimérica</b>	<b>175</b>
5.1.- Introducción	175
5.2.- Cáscaras de maní + resina poliéster	175
5.2.1.- Paneles de cáscaras de maní + resina poliéster. Compresión de moldeo 30%.	175
5.2.1.1.- Ensayo de Compresión simple	175
5.2.1.2.- Ensayo de tracción directa	178
5.2.2.- Paneles de cáscaras de maní + resina poliéster. Compresión de moldeo 50%	179
5.2.2.1.- Ensayo de compresión	179
5.2.2.- Ensayo de tracción directa	181
5.2.2.3.- Ensayo de flexión	182
5.2.2.4.- Otras propiedades	183
5.3.- Cáscaras de maní + resina ureica. Determinación de propiedades físicas y	

mecánicas.	184
5.3.1.- Tableros de cáscaras de maní	184
5.3.1.1.- Ensayos físicos	184
5.3.1.2. Ensayos mecánicos	185
5.4.- Conclusiones preliminares	186
<b>Capitulo 6: Aplicaciones de resultados. Componentes</b>	<b>189</b>
6.1.- Componentes cementicios con cáscaras de maní. Elementos de mampostería	189
6.1.1.- Bloques de 19 cm	189
6.1.1.1.- Ensayos físicos	190
6.1.1.2.- Ensayos mecánicos	191
6.1.2.- Bloques para techo	191
6.1.2.1.- Ensayos físicos	192
6.1.2.2.- Ensayos mecánicos	193
6.1.3.- Ladrillos	194
6.1.3.1.- Ensayos físicos	195
6.1.3.2.- Ensayos mecánicos	196
6.1.4.- Placas de cáscaras de maní y cemento.	197
Propiedades físicas y mecánicas	197
6.2.- Componentes poliméricos de cáscaras de maní	197
6.2.1.- Bloques	197
6.2.2.- Placas de cáscaras de maní y resina poliéster	198
6.2.2.1.- Aplicación de placas de cáscaras de maní y resina poliéster	199
6.3.- Análisis ambiental	203
6.3.1.- Tests de lixiviación y solubilización	203
6.3.2.- Análisis de emisión de volátiles	204
6.3.2.1.- Estimación de impacto en el volumen de una habitación	204

6.4.- Análisis económico	205
6.4.1.- Mano de obra	205
6.4.2.- Estimación de inversiones y costos	208
6.4.3.- Análisis comparativo con precios de cielorrasos	210
6.4.4.- Determinación analítica del punto de intersección de costos	211
6.5.- Conclusiones preliminares	211
<b>Capitulo 7: Propuestas de diseño. Conclusiones generales</b>	<b>213</b>
7.1.- Introducción	213
7.2.- Mobiliario diseñado con placas de cáscaras de maní y resina ureica	213
7.3.- Diseño de vivienda	214
7.4.- Conclusiones generales	221
7.4.1.- Evaluación y prospectiva técnica	221
7.4.2.- Evaluación y prospectiva ambiental	223
7.4.3.- Evaluación y prospectiva económica	224
<b>Prospectiva</b>	<b>227</b>
<b>Referencias Bibliograficas</b>	<b>235</b>
<b>Glosario</b>	<b>239</b>

## Introducción

Existe una cantidad importante de residuos de origen urbano, industriales o agroindustriales que podrían ser reutilizados. Por la escala de producción, y la capacidad de consumir materiales, el sector de la construcción es una alternativa válida para dar destino a residuos que no pueden volver al ambiente en forma sustentable. Ejemplos son los residuos de demolición, los residuos plásticos: polietilentereftalato (PET), polietileno (PE), polipropileno (PP) o sus mezclas; neumáticos fuera de uso, entre otros.

Los residuos de la agroindustria, por su ubicación, tienen escasa aplicación. Más de allá de ser utilizados como alimento de ganados, o camadas para aves, o combustible para calderas, no se han relevado aplicaciones rentables alternativas.

La valorización de un recurso considerado residuo promueve el paso de circuitos de producción lineales hacia circuitos productivos circulares, y su consecuente impacto ambiental conveniente.

También la generación de empleo es un desafío importante a vencer en épocas de crisis socio-económica. Teniendo en cuenta la componente económica de la cuestión, se evidencia el interés de obtener subsidios tecnológicos para viabilizar el fortalecimiento de la industria local.

Entonces, la combinación de tecnología adecuada, apoyo financiero y calificación de mano de obra local aparecen como una estrategia viable con significativas ventajas en las áreas social, ambiental y económica.

El foco principal de este trabajo es la exploración de alternativas tecnológicas para el sector de la construcción, a ser elaboradas con cáscaras de maní. La presente investigación ha sido desarrollada en el Área de Nuevos Materiales del Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE), en colaboración con otras instituciones académicas. El intercambio ha sido particularmente importante con grupos de investigación dedicados a la investigación, desarrollo e innovación de materiales formulados con fibras y partículas vegetales en general. Hasta el momento, se han desarrollado acciones que promueven a futuro, variadas líneas de investigación y desarrollo con posibilidades de transferencia tecnológica.

Con las consideraciones precedentes, este trabajo reciclando cáscaras de maní de la región, constituye un aporte, de muchos otros futuros, junto a profesionales arquitectos, diseñadores, ingenieros civiles e ingenieros en materiales, con quienes se podría continuar esta línea de trabajo para mayor desarrollo y mejoramiento de las condiciones de desempeño, producción y sostenimiento de los productos y procesos alcanzados.

La propuesta de este proyecto enfoca esta perspectiva: utilizar cáscaras de maní no valorizadas, de manera sustentable, con el objeto de contribuir para la superación de los obstáculos que atraviesa su desarrollo aplicado al sector de la construcción, la arquitectura y el diseño.

### Hipótesis

La pregunta que surge al inicio de la presente investigación es: ¿es posible desarrollar un material de construcción con cáscaras de maní? Nuevos interrogantes derivaron posteriormente: ¿Cuál es el rol de la cáscara: como árido o como alivianador? ¿Como agregado?; ¿Cuáles son los ligantes compatibles?; ¿Cuáles son las características del nuevo material? ¿Cuáles son las condiciones sustentables de la utilización de las cáscaras de maní?.

Con un andamiaje de información y conocimiento en construcción, la hipótesis fue:

*La cáscara de maní es un insumo utilizable para la producción de componentes de construcción de viviendas. Desde el punto de vista ambiental, su empleo promueve la sustentabilidad de la industria manisera proponiendo destino al residuo.*

Como hipótesis de trabajo se plantearon:

- ✓ La cáscara de maní es un insumo apto para la formulación de materiales nuevos: Sus condiciones de utilización dependen de la matriz a utilizar y del procedimiento de elaboración.
- ✓ La cáscara puede ser utilizada como agregado de mezclas de base cementicia o de adhesivos poliméricos.
- ✓ El tratamiento de las cáscaras debiera realizarse con aditivos químicos para promover compatibilidad de las cáscaras con matrices cementicias o poliméricas, o bien en base a películas protectoras que promuevan la interfase entre las mismas
- ✓ Las características específicas de los nuevos materiales estarían dadas por baja densidad, resistencia a compresión o flexión aceptables según corresponda la función, buenas condiciones de aislación térmica y estabilidad dimensional.

## **Objetivos**

El objetivo general es:

*Desarrollar conocimiento acerca de las posibilidades de producción de un material nuevo destinado a componentes de vivienda, a partir del uso de cáscaras de maní como agregado.*

Los objetivos particulares de la investigación son:

- ✓ Analizar posibilidades de uso sustentable de un recurso abundante – cáscaras de maní -, considerado un residuo de la agroindustria de la provincia de Córdoba.
- ✓ Experimentar mezclas aptas que utilicen la cáscara como agregado en presencia de ligantes alternativos: cementos, resinas poliméricas; con o sin aditivos.
- ✓ Analizar, medir y evaluar las probetas y prototipos obtenidos con relación a propiedades físicas y mecánicas.
- ✓ Evaluar los principales indicadores de viabilidad ambiental y económica
- ✓ Reconocer posibilidades de aplicación al diseño arquitectónico y limitaciones de aplicación tecnológica, y diseño de componentes para la construcción con el/los nuevo/s material/es resultante/s.

## **Motivaciones**

Bajo el enfoque teórico referencial que relaciona el desarrollo de **tecnología** para construcción, la **gestión** de insumos, **y** la preservación del **medio ambiente**, el tema a desarrollar responde al paradigma emergente de sustentabilidad tecnológica. Este nuevo paradigma en construcción vincula el desarrollo de tecnologías a los procesos económicos, sociales y naturales contextuales, entendiendo que la perspectiva medioambiental es el soporte sustentable para el desarrollo.

Se destaca el enfoque o marco teórico que caracteriza este trabajo de investigación y desarrollo, ya que es considerado original desde la perspectiva del proceso de desarrollo tecnológico. Está referido a la concepción de vivienda y su materialización dentro del contexto de sus externalidades sociales, económicas y ambientales.

Cabe reconocer que en el sector de la construcción de viviendas existe una larga tradición en desarrollos tecnológicos. Las tradicionales técnicas de construcción y las tecnologías de punta participan del mercado de la construcción.

La cuestión de la organización y gestión de los procedimientos aparece como una alternativa para apoyar procesos de desarrollo sociales. Las tecnologías propuestas estarían basadas en condiciones de baja inversión de capital, mano de obra intensiva y cuidado ambiental.

Por su parte, las cáscaras de maní son un insumo regional de la provincia de Córdoba (Argentina). Aquí se cultiva el 95 % de la producción nacional de maní, estimada en 700.000 tn/año (Ackerman, 2008). La tercera parte de esta cantidad corresponde a la cáscara o caja, que es separada en las plantas seleccionadoras y procesadoras de maní. Existe apenas una docena de estas plantas industriales de maní, de las cuales, solo una de ellas concentra el 50 % del total del maní cultivado en la provincia.

La disposición corriente mayoritaria de las cáscaras de maní es la incineración o la utilización como combustible de calderas. Semejante volumen de eliminación tiene un alto impacto: ambiental, debido a la combustión en el aire que produce y/o la degradación del suelo. Otro destino actual de las cáscaras de maní es como alimento de ganado, como aporte de fibras.

El impacto económico es también relevante, debido a los costos de transporte, acopio, y los específicos a la incineración. De manera que la disponibilidad de cáscaras de maní es en la provincia de Córdoba abundante, concentrada y sin aplicación rentable, que en consecuencia, constituye un potencial recurso para ser utilizado en materiales de construcción.

## **Resultados esperados**

Por lo expuesto, se detecta la oportunidad de dar destino sustentable a un recurso considerado deshecho para su aplicación en materiales para diseño y construcción de viviendas.

Se podría anticipar que las características del/ de los nuevo/s material/es estarían dadas por buenas propiedades físicas (densidad, absorción de agua y/o porosidad), aceptables propiedades mecánicas (compresión, flexión o tracción según corresponda a la función), buena capacidad de aislación térmica, y en consecuencia, aptitud para ser utilizado en paneles divisorios y de cerramiento horizontales y verticales.

Aplicaciones de las propiedades alcanzadas serán demostradas a fin de estudiar la viabilidad de uso en el diseño y elaboración de componentes de construcción.

## **Contenido de la tesis**

Es propósito del presente trabajo de investigación proponer acciones que demuestren las posibilidades del empleo de cáscaras de maní en nuevos materiales de construcción, amigables con el ambiente, económicamente viables y técnicamente eficientes. Estas consideraciones se describen en el capítulo I de la presente tesis.

En el segundo capítulo se expone una breve conceptualización del problema de la sustentabilidad, considerada una de las principales discusiones de esta primera parte del siglo XXI. Aquí se presenta también, una revisión de antecedentes sobre el tema de estudio a nivel local y en vinculación con grupos de investigación de otras Universidades en el país y en el exterior.

Se delinea la metodología general y las estrategias de investigación y desarrollo básicas empleadas en el desarrollo del capítulo 3.

- (a) selección del residuo a ser estudiado;
- (b) levantamiento de datos sobre la producción del residuo;
- (c) caracterización detallada del residuo,
- (d) inventario de alternativas de reciclaje;
- (e) selección de alternativa para investigación y desarrollo, a partir de aspectos de mercado, medio ambiente, técnicos y sociales;
- (f) desarrollo del producto;
- (g) evaluación del producto desde el punto de vista de su desempeño técnico y ambiental;
- (h) estudio de viabilidad económica

Métodos particulares de ensayos específicos son presentados en la segunda parte del capítulo 3.

En el capítulo 4 se describen las características y propiedades generales del maní y particulares de las cáscaras de maní, con específica referencia a la situación en Córdoba

Los capítulos 5 y 6 presentan los resultados alcanzados en materiales con cáscaras de maní en matrices cementicias y poliméricas respectivamente

En el capítulo 7 se presentan las aplicaciones más relevantes en componentes y diseños de viviendas.

Tras una breve discusión de los resultados de diseño alcanzados, en el capítulo 8 se propone una selección de los mismos. De estos, se analizan condiciones ambientales y económicas sobre una de las aplicaciones: paneles livianos de cáscaras de maní y resina

En el capítulo 9 se ubican los comentarios finales, conclusiones del trabajo y prospectiva de la investigación.

## Capítulo 1: El problema ambiental.

### Antecedentes. Los materiales. Agregados Naturales y sus aplicaciones

#### Introducción

En este capítulo se hace una revisión de las razones para investigar nuevos materiales de construcción, especialmente con insumos reciclados, así como un panorama del estado de avance de investigaciones realizadas en esta línea. Se entiende, que ayudaran a comprender los objetivos, técnicas, ensayos y aplicaciones desarrollados, y facilitara la interpretación de resultados obtenidos en los siguientes capítulos

#### 1.1.- El problema ambiental del planeta: lo global y lo local

La percepción es que la acción humana está causando efectos sobre la Tierra no previstos por la naturaleza. La ciencia viene reuniendo considerable cantidad de evidencias de que el calentamiento global, la desertificación y el inadecuado manejo de los residuos resultantes de las actividades del hombre son ejemplos de situaciones que deben ser revertidas. Son insuficientes los desarrollos tecnológicos a escala que reviertan estos problemas, y a menos que la tendencia cambie, la vida en el planeta será cada vez más difícil.

##### 1.1.1.- Gases de efecto invernadero

Existe cierto consenso sobre el aumento de la emisión antropogénica de gases de efecto invernadero (GEI). Según Vicente Barros, las formas de producción de bienes y servicios que nacieron del carbón en la era industrial primero, y el surgimiento de la llamada sociedad de consumo después, son los factores determinantes del nuevo mapa del ambiente que vislumbra consecuencias irreversibles. El aumento de GEI crece a un ritmo insostenible que compromete la vida de las personas de los próximos años. Aunque estamos ya asistiendo a las primeras manifestaciones. Según el mencionado especialista, “en 1840- 1850, la concentración de anhídrido carbónico en la atmósfera era de 280 partes por millón (PPM). Hoy esa cifra se ubica en 380 PPM. Hay bastante certeza de que el límite de 400 PPM va ser sobrepasado en 10 o 15 años. Y con las mismas actitudes, a fin de siglo podría medir 900 PPM. Es decir que el planeta se va a recalentar violentamente.” Si no se toman medidas hoy en la reducción de las emisiones, no habrá cambios en los siguientes 50 años. (Barros, 2002)

##### 1.1.2.- Desertificación

Un desastre evitable es la desaparición de las selvas, donde se aloja la mayor biodiversidad de especies animales y vegetales del planeta. Este no es un signo del futuro lejano. En El Chad, las lluvias vienen disminuyendo desde hace 50 años. Hombres, mujeres y niños abandonan sus tierras en busca de agua. Entran al noroeste de Sudán donde la situación no es mucho mejor. Las consecuencias se miden en miles de muertos.

Un poco más cerca, las inundaciones ocurridas en Santa Fe en 2003 dan cuenta de un fenómeno climático inusual: veinticuatro muertos, miles de viviendas destruidas, cientos de miles de

evacuados. El aumento de las precipitaciones intensas ha vuelto a ser noticia en las últimas semanas de marzo de 2007. El mismo fenómeno, el mismo lugar.

Según Barros (2002) el cambio climático se manifiesta en lluvias intensas que superan 150 ml, cada vez más frecuentes. El fenómeno se repite en China, en Estados Unidos, en Europa, en Sudáfrica, en Australia, en Brasil.

La tala de bosque nativo es consecuencia de situaciones de escala regional. La Fig 01 muestra la situación de la provincia de Córdoba. A fines del siglo XIX había una extensión de 13 millones de hectáreas de bosques autóctonos. El avance de la frontera agropecuaria, la tala para la provisión de durmientes, la fabricación de carbón para la industria y los incendios redujeron la superficie boscosa a 500 mil hectáreas.

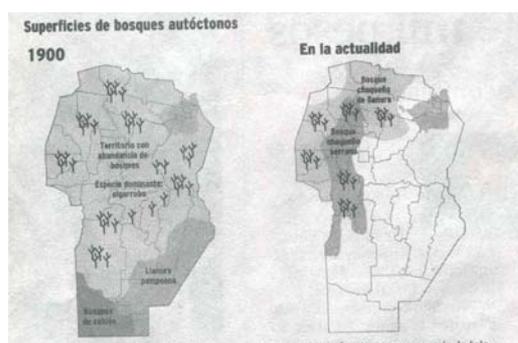


Figura 01: Situación forestal de la provincia de Córdoba en 1900 y en la actualidad

### 1.1.3. - Residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos industriales

La generación de residuos es otro de los aspectos clave de la contaminación ambiental. La generación de residuos es un indicador de los niveles de consumo de una sociedad. Los RSU constituyen una de los mayores desafíos que deben enfrentar las urbes de todo el mundo. El destino tradicional son los vertederos urbanos. Algunos municipios disponen los residuos en entierros sanitarios. Sin embargo los rellenos sanitarios no alcanzan, y los vertederos clandestinos se multiplican.

En Argentina, se generan 36 millones de kilos de basura/día. Según un informe del Diario La Voz del Interior de 2006 revela que, casi la mitad de la basura se entierra en rellenos sanitarios controlados por el Estado. Aunque el resto de la basura generada se arroja en basurales a cielo abierto. Son de resaltar sus efectos altamente contaminantes para la población marginal que vive en los alrededores. El escaso valor de las tierras aledañas, promueve la ocupación de los terrenos con precarias casitas, cuyos habitantes encuentran en el basural una fuente de recursos. Primero llegan los rellenos, y luego los asentamientos marginales. Entonces los nocivos efectos de la contaminación se multiplican. Se contamina el aire, el agua y el suelo, además del olor a podredumbre, las nubes de insectos y la invasión de roedores. Fig 02

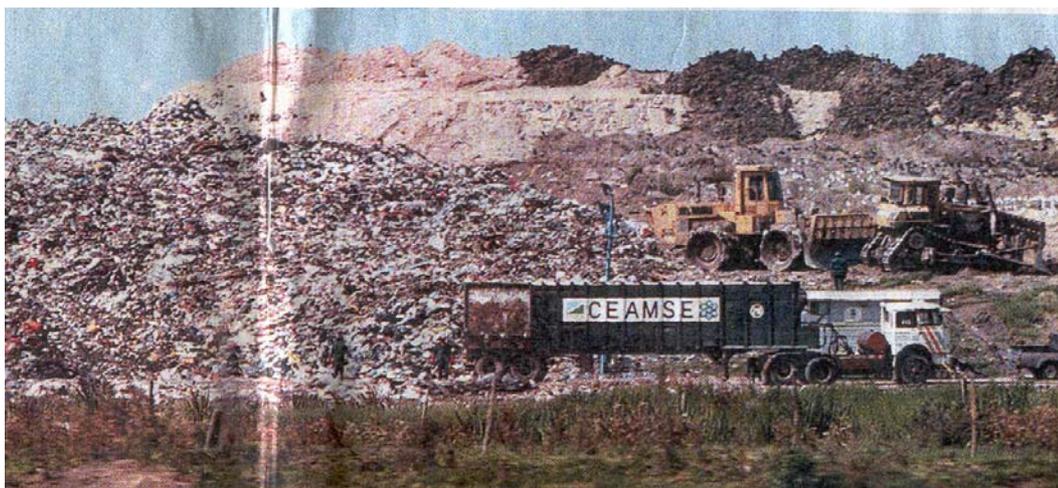


Figura 02: Basural a cielo abierto en la provincia de Buenos Aires

La opción del relleno sanitario por sobre la de basural a cielo abierto es una alternativa viable, aunque no permanente. A diferencia del vertedero clandestino, la basura se compacta y se tapa con una capa de 20 cm. de tierra. El relleno se instala sobre un terreno impermeabilizado con una base de polietileno de alta densidad, para evitar filtraciones de los líquidos lixiviados que generan los residuos. Además, posee equipos de extracción y tratamiento de esos líquidos, tubos de ventilación de gases y control de suelo, aire y aguas subterráneas a través de muestreos. Aún así, muchos de estos residuos no son degradables, con lo que los predios de enterramientos se transforman en praderas de débiles pastizales, sin permitir el aprovechamiento de estas tierras para cultivo, ni fundaciones para construcciones.

La disposición de los residuos industriales es tan variada como los desechos de cada una de las fábricas. Algunas industrias generan gran contaminación por la polución de los gases contaminantes. Otras en tanto, destinan sus residuos en contenedores que aumentan los ya abundantes volúmenes de los vertederos de enterramientos sanitarios urbanos y periurbanos.

Uno de los residuos agroindustriales de carácter regional de mayor impacto en el sector existe en la provincia de Córdoba de manera abundante. Es el producido por las plantas seleccionadoras y procesadoras de maní: las cáscaras de maní. En el caso del residuo de la industria manicera local, se produce un desequilibrio entre la cuantiosa producción de cáscaras de maní y la ausencia de destino rentable a las mismas.

## 1.2.- Sustentabilidad: un paradigma

Desarrollo sostenible es reparto equitativo de los recursos, y debe reorientar la tecnología “para reducir las tensiones que puedan existir entre el medio ambiente y el crecimiento” (Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo, 1987). A partir de la Cumbre sobre Medio Ambiente en Río de Janeiro de 1992, el desarrollo sustentable ha sido considerado paradigma del desarrollo. Desde entonces, el enfoque del cuidado, manejo y conservación de recursos naturales, económicos y sociales se plantea como alternativa viable para enfrentar los problemas graves y crecientes de América Latina, tales como el inadecuado manejo y conservación de los recursos naturales, la creciente miseria y exclusión de gran parte de la población, los problemas de salubridad y alojamiento, particularmente de los habitantes urbanos informales de las grandes ciudades, entre otros. En uno de los documentos base de la mencionada Conferencia y en la proposición de la Agenda Local 21, P. Nijkamp alude a tres esferas de sustentabilidad: económica, social y ecológica. (Fig. 03)



Figura 03. Esferas de sustentabilidad  
Fuente: Niikamp. 1992

El Centro Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD) define el desarrollo sustentable como “ un proceso de transformación en el cual la explotación de recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y la transformación institucional se armonizan y refuerzan el potencial presente y futuro, a fin de atender las necesidades humanas” (TENDER.IGCE.UNESP/2000)

El requerimiento de recursos naturales debiera ser considerado principal indicador del desarrollo de los países. El aspecto de cómo se utilizan los recursos naturales, particularmente los no renovables, impone reflexionar sobre la necesidad de su conservación, cuidado y uso; de manera de garantizar la disponibilidad de los mismos para las generaciones venideras.

El requerimiento de los recursos naturales está aumentando, pudiendo llegar al agotamiento de sus reservas. Las causas de esta demanda creciente pueden ser atribuidas al aumento de la población. Pero esta no es la única razón. Otra razón importante es el afán de alcanzar niveles de consumo elevado. Comprar, usar y consumir más impacta como consecuencia en mayor demanda de los recursos, y un aumento de la presión ejercida sobre el medio natural por el incremento del volumen de residuos generado.

En relación al desarrollo de tecnología, el concepto de sustentabilidad implica concebir el desarrollo tecnológico más allá de los aspectos técnicos, para considerar prioritarios la preservación del ambiente, eficiencia económica y consideración socio-cultural sobre el medio donde la tecnología será inserta.

Se observa además que, frecuentemente un residuo sin problemas se convierte en insostenible cuando aparece en grandes volúmenes, cuando se presenta donde no debe estar, cuando se mezcla o se asocia con lo que no debe o cuando está en el momento que no debe. (Seoáñez Calvo, 2002).

El aspecto de la sostenibilidad de los procesos tecnológicos debiera estar garantizado por la atención de los agentes públicos, y también por los actores privados. El sector industrial ha crecido importantemente en las últimas décadas. El sector alimenticio y el sector de la construcción son considerados pilares de la economía del desarrollo. A gran escala, la relación de la industria con el manejo y cuidado del ambiente ha tenido escasa consideración en las décadas precedentes. Afortunadamente, la atención del impacto que el sector industrial ejerce sobre el medio natural está creciendo en importancia.

### 1.3.- Los materiales de construcción y arquitectura. Por que nuevos materiales de construcción?

La historia de la arquitectura es la historia del hábitat humano. La manera en que el hombre tuvo la necesidad de refugiarse de las inclemencias del tiempo y de la agresión de animales y tribus fue determinando, en un principio, la manera en que construyó su hábitat. Las técnicas y los materiales de construcción mucho influyeron en la respuesta arquitectónica que el hombre dio en cada tiempo y en cada lugar. Inicialmente, y por varios siglos, fueron los materiales naturales los que dieron forma, la técnica y la calidad del hábitat construido. El hombre echó mano a los materiales del lugar, y en la forma en que le eran provistos por la naturaleza. Se trate de paja, madera o tierra, eran usados sin mediar ninguna técnica de tratamiento ni para su obtención, ni para su puesta en servicio.

Las cuevas de origen natural formadas al cavar en la piedra o en la tierra, eran la forma más simple de alojamiento humano. Las chozas aparecieron a medida que las sociedades primitivas decidieron establecerse. Entonces, fueron elaborando cada vez más sus viviendas. En la época de recolectores, muy vinculados a la naturaleza, los primeros habitantes comenzaron a construir chozas con ramas de árboles, que cubrían con barro, hojas y con pieles de animales. Fig. 04 y 05



Figura 04 : Cuevas de pieles  
Fuente: Weston, 2003



Figura 05 : Chozas de ramas  
Fuente: Weston, 2003

Posteriormente, el descubrimiento del fuego, la rueda y el desarrollo del conocimiento humano permitieron el uso de los mismos materiales naturales, pero con técnicas perfeccionadas. Así apareció la arquitectura de mayores dimensiones, y más tarde, la incorporación del metal en las técnicas de construcción.

La madera es uno de los materiales mas nobles y, aunque algunos historiadores consideran la construcción con troncos como una de las formas mas primitivas de construcción con madera, cierto es que estuvo limitada a gran parte de la zona de coníferas de zonas templadas donde abundan árboles rectos.

Uno de los principales ejemplos de la arquitectura de madera se encuentra en Japón donde se han desarrollado las técnicas de construcción en madera más respetuosas de la naturaleza y eficientes en habitabilidad. Fig 6a. Considerando la complejidad de los sismos en la isla, la destreza de los artesanos ha mostrado una gran habilidad.

En Noruega, se encuentran hoy cabañas y graneros que son construcciones sobresalientes. En el resto de Europa y gran parte de América, la arquitectura reserva algunas partes para el empleo de madera. Principalmente utilizada en techos y revestimientos interiores, la madera es imagen de robustez y color en la arquitectura de interiores. Fig 6b. Muchos de los avances más significativos en el uso de madera tienen que ver con el aprovechamiento integral de las secciones, a la vez que el desarrollo de adhesivos y elementos de unión. Actualmente existe toda una gama de

tableros contrachapados y reconstituidos, que amplían el abanico de posibilidades de construcción con madera.



Figura 6a: Construcción japonesa en madera  
Fuente: Weston, 2003



Figura 6b : Obra de arq. Alvar Aalto en Finlandia  
Fuente: Weston, 2003

La tierra es el único material de construcción más universal que la madera. Apisonada, seca o cocida, la tierra es el componente principal de la mayor parte de la construcción mundial. Se calcula que entre un tercio y la mitad de las personas todavía viven en alguna forma de construcción de vivienda de tierra.

La construcción rara vez está a la vanguardia de la innovación tecnológica, y los primeros ladrillos cocidos fueron producidos en Mesopotamia 3000 años aC., junto con la alfarería. Los primeros ladrillos pudieron formarse de manera casi natural, dados forma con las manos a la tierra agrietada que quedaba cuando el barro inundaba las riberas del Nilo, el Tigris o el Eufrates. Los ladrillos secados al sol y al aire, llamados adobe, se han empleado en todo el mundo donde el suelo y el clima lo permitían, tanto en la escala doméstica cuanto a escala monumental. Fig 7a y 7b



Figura 7a: Adobes secados al sol  
Fuente: Weston, 2003



Figura 7b: Mezquita de Djenne en Mali  
Fuente: Weston, 2003

Las primeras pirámides de Egipto contaban con núcleos de ladrillo. A menudo es posible encontrar paredes de mampostería revestidas con yeso o piedra. Los ladrillos del Panteón (Fig. 08) están detrás de los revestimientos de piedra, al igual que muchos edificios romanos.

El cocido en hornos liberó a la producción de ladrillos de las limitaciones de un clima adecuado. La artesanía de fabricación de ladrillos se extendió con las legiones romanas y se instaló en toda Europa. El primer gran impacto fue el de las construcciones religiosas en la Edad Media (Fig. 09)

En Holanda, el ladrillo dominó por encima del resto de los materiales (Fig. 10). Además, utilizados como lastres por los barcos que recorrieron las colonias de los países de Europa, los ladrillos holandeses llegaron hasta África, Asia y América en cantidades importantes, lo que llevó a afirmar que “es probable que ninguna industria de material de construcción haya tenido nunca una distribución tan amplia de sus productos”. (Weston, 2003)

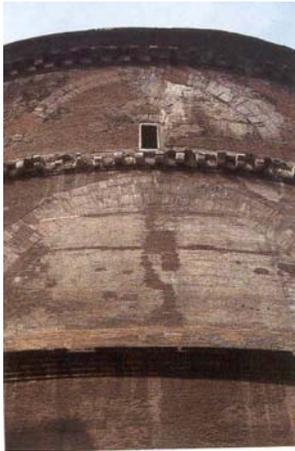


Figura 8: Panteón romano  
Fuente: Weston, 2003

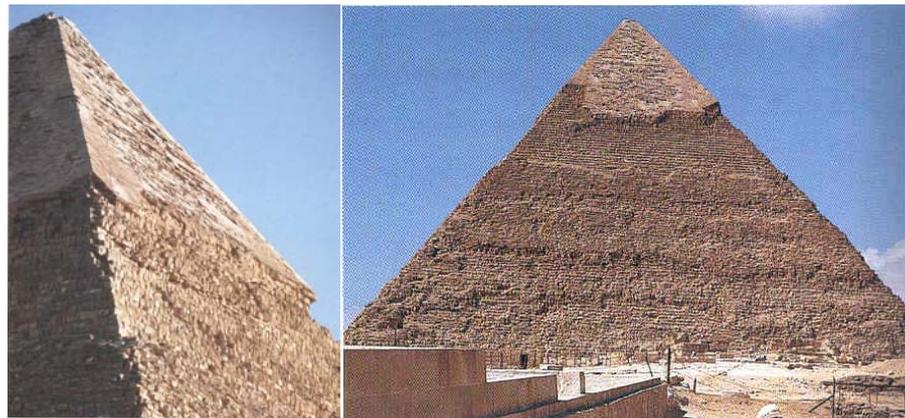


Figura 9: Catedral de Albi, en el sur de Francia,  
Fuente: Weston, 2003



Figura 10: Vivienda en Ámsterdam  
Fuente: Weston, 2003

El antiguo Egipto era rico en piedras. Alrededor del año 2700 AC. comenzó la construcción con piedra labrada. Las formas egipcias pre existentes en ladrillos, se pasaron directamente a piedra. Actualmente, algunas pirámides (Fig. 11 a y b) se encuentran despojadas de los revestimientos de caliza pulida o granito rosado, y en consecuencia, apenas dan una idea de su aspecto original. Conseguir la precisión necesaria requería habilidades de mampostería de gran exactitud.

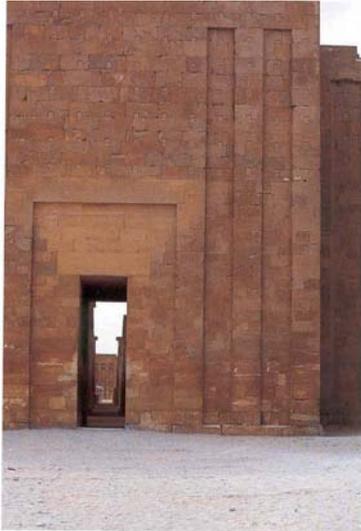


a

b

Fig 11a y b: Pirámide Kefren, en Giza  
Fuente: Weston, 2003

El paisaje de Grecia no ofrecía la variedad de piedras que tenían los arquitectos egipcios. Sin embargo, sí tenían “una abundante fuente de piedra con la que se construyeron los altares y los templos más bellos, y las estatuas de los dioses más hermosas”. (R. Weston, 2003). Como en Egipto, a los bloques se les daba forma en las canteras (Fig. 12 a y b), antes de ser transportados al lugar de construcción



a



b

Fig 12 a y b: Mampostería unida con piezas irregulares en la pirámide de Gizah, cerca de El Cairo.  
Fuente: Weston, 2003

En la puerta de Los Leones en Micenas, los dinteles de piedra de una pieza eliminaban la necesidad de arcos. (Figura 13). El pórtico del Panteón, terminado en el año 128, consistía en 8 columnas de granito sin estrías de 14 m. de altura extraídas y acabadas en Egipto. Las enormes piezas se transportaron en barco a Roma, donde se añadieron los capiteles corintios, tallados en mármol pentélico griego. (Figura 14)



Figura 13: Puerta de Los leones en Micenas  
Fuente: Weston, 2003



Figura 14: Pórtico del Panteón Romano  
Fuente: Weston, 2003

Las grandes civilizaciones produjeron materiales artificiales. En Egipto se fabricaba yeso, en Grecia cal y en la arquitectura romana se encuentra el primer antecedente del uso de hormigón. Usado en el Panteón, el hormigón llegó a la arquitectura y a la construcción de canales, acueductos y puentes para no retirarse. El Panteón ofrece una visión de lo que estaba por venir. La cúpula de 43,2 mt de diámetro fue hecha casetonado de madera y cubierta con materiales puzolanicos, aunque muy diferente de los hormigones actuales (Figura 15)



Figura 15: Cúpula del Panteón  
Fuente: Weston, 2003

Después de la caída del Imperio Romano la tecnología del hormigón se perdió. Posteriormente al descubrimiento del cemento Pórtland se volvió a fabricar concreto. El concreto resultante entonces es bastante diferente del concreto de cemento actual. Su uso se generalizó recién en la segunda mitad del siglo pasado, y es hoy un material casi siempre presente en la arquitectura institucional y habitacional. El éxito del hormigón se debe probablemente a las propiedades del material: versátil, sólido y de alta resistencia mecánica

La producción de hierro a gran escala comenzó en Inglaterra a principios del siglo XVIII. El hierro irrumpió como un material para la construcción industrial, principalmente en elementos estructurales (Figura 16). En la exposición universal de Paris de 1889 aparecieron estructuras de hierro impresionantes. La Torre Eiffel, mostrada en la Figura 17, se construyó con hierro forjado.

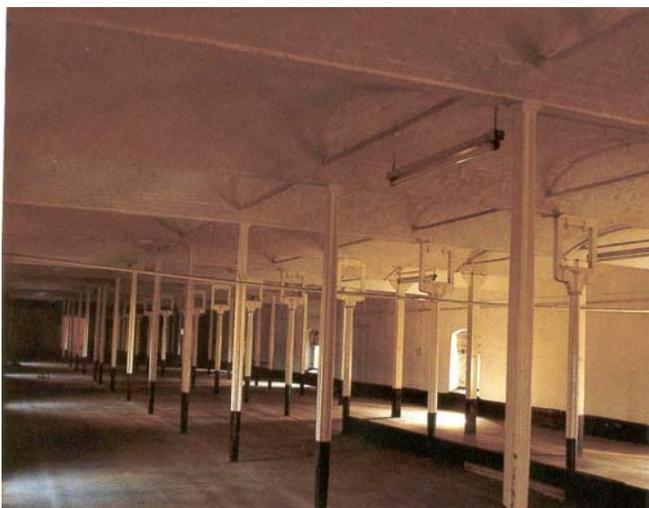


Figura 16: Molino de Lino diseñado por Benyon, Bage y Marshall (Inglaterra, 1796)  
Fuente: Weston, 2003



Figura 17: Torre Eiffel  
Fuente: Weston, 2003

La revolución industrial introduce en el sector de la construcción el acero y el vidrio. Son materiales artificiales, resultado de la industrialización de materiales de origen natural (sílice en el caso del hierro, y hierro + carbono en el caso del acero).

La liviandad del hierro demostró una nueva manera de hacer arquitectura. El diseño de grandes superficies con mínima presencia de elementos estructurales, pronto dio lugar a la aparición del vidrio. El vidrio permitió hacer posible el cerramiento de grandes superficies de manera de mantener la imagen filar de la arquitectura de hierro (Figura 18).

El desarrollo industrial del sector ha permitido la evolución de estos materiales convirtiéndolos en protagonistas de la arquitectura de este tiempo. Además está decir que uno de los mayores inconvenientes del vidrio es su fragilidad. Hoy la industria ha desarrollado los más variados vidrios y su uso es sinónimo de arquitectura moderna, como se puede ver en las figuras 19 a y b.



Fig 18: Palm House de Kew, Londres –  
Fuente: Weston, 2003



a  
Figura 19a: Vivienda contemporánea -  
actual  
Fuente: Weston, 2003



b  
Figura 19b: Edificio de oficinas  
Fuente: Weston, 2003

Los materiales sintéticos irrumpen en el escenario de la construcción en la segunda mitad del siglo pasado. La incorporación de materiales sintéticos tales como plásticos, es frecuente encontrarla en mobiliario, cortinas y accesorios, sin estar totalmente desarrollado su uso en paneles y elementos de resistencia mecánica.

En la industria de la construcción existe un atraso tecnológico, respecto de la producción de otros bienes de consumo. Al respecto I. Paricio (1995) sostiene: “La construcción suele ser considerada un sector atrasado que tiene pendiente todavía su revolución tecnológica.....Esa industrialización debería tener dos efectos fundamentales: detener el incremento de costos y garantizar la calidad de los elementos constructivos. Para los que creen en la inminencia de esa revolución, la construcción no puede seguir repercutiendo en el precio final, los incrementos de coste de la mano de obra, ni puede esperar que la calidad venga garantizada por la habilidad y responsabilidad de un artesano en desaparición. “

La construcción civil debiera enfrentar el desafío de proponer y desarrollar programas que reduzcan significativamente el impacto ambiental de la actividad constructiva. El uso de materiales renovables o reciclables es poco común en la industria de la construcción. De los países desarrollados llegan algunas sugerencias aplicables al sector de la construcción. A propósito de la situación española, I. Paricio (1995) plantea: “La construcción se transforma, atacada desde múltiple frentes: los materiales ligeros, la invasión de la química, una red de pasos cada vez más compleja y con necesaria accesibilidad (económica)“.

### 1.3.1. Impacto de materiales, técnicas y tecnologías

La evolución de las técnicas y los materiales se ha desarrollado de modo paralelo a la conservación de técnicas y materiales pasados. Así, materiales y técnicas de evolución conviven en el repertorio de la construcción junto a aquellas más primitivas, con una larga lista de matices intermedios. Se puede reconocer que a pesar del tiempo transcurrido desde las sociedades primitivas hasta hoy, todavía se usan técnicas y materiales desde tiempos remotos. Materiales de construcción tradicionales como madera, tierra cocida, piedra y metales - ya empleados en las civilizaciones antiguas- , se siguen usando. El sector de la construcción puede resultar conservador y tradicional si se lo compara con otros sectores de la producción.

Los medios de producción han cambiado, se han introducido materiales nuevos como el acero y el hormigón, y otros como el vidrio se producen en tamaños antes inimaginables. Las condiciones de producción, su escala e impacto son notables. En las sociedades urbanas, la predominancia de los materiales industrializados del siglo XIX es una tendencia.

Algunas tecnologías de producción presentan ciertas características que merecen ser citadas para motivar su análisis (N. Barbosa, 2005). Algunas de estas características poco convenientes se listan a continuación:

- ✓ Emisión de gas carbónico y otros poluentes como resultado del proceso de fabricación de materiales industrializados que consumen oxígeno y liberan anhídrido carbónico, y muchos otros poluentes responsables de las lluvias ácidas que dañifican la tierra.

La fabricación de cemento Pórtland es uno de los mayores emisores de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Esta emisión está implícita en su proceso de fabricación. En términos resumidos, el cemento Pórtland proviene de la calcinación de arcilla con caliza (carbonato de calcio). Durante esa quema, ocurre la descarbonatación de la cal según la reacción:



- ✓ El consumo de energía de los materiales industrializados es alto. Es el caso del acero, la industria cerámica, y el aluminio.

Para producir acero, es preciso tener temperaturas por sobre 1800°C. Se calcula que la energía insumida en la producción de una varilla de 12,5 mm sea del orden de 80 kWh, que es el consumo de una familia modesta en una semana.

El aluminio exige 20 veces más de energía para producir la misma sección.

Una bolsa de cemento de 50 k necesita de 55 kWh. La temperatura de los hornos llega a 1450°C.

Para producir azulejos y revestimientos cerámicos son exigidos potentes equipamientos para el moldeo, secado y cocción de estos materiales. Tiene lugar a temperaturas superiores a 1200°C

Así, si se tiene en cuenta la enorme cantidad de estos materiales producidos en el mundo moderno (la producción de acero está por sobre los 800 millones de t anuales), se puede tener una idea del consumo desenfrenado de energía exigido para la fabricación de materiales industrializados.

- ✓ Generación de residuos. La fabricación de materiales de construcción convencionales produce enorme cantidad de residuos.

La producción de acero causa una gran cantidad de escoria, sólo en parte aprovechada por la industria del cemento

La industria de la cerámica roja genera descartes de volúmenes importantes durante el propio proceso de producción, comercialización y transporte.

Los métodos constructivos tradicionales producen gran cantidad de escombros, difíciles de ser reincorporados a la Naturaleza. Habitualmente, son dispuestos irregularmente en terrenos baldíos, en enterramiento clandestino, o depositados en la vía pública. Esto último, a riesgo de provocar inundaciones, y la proliferación de roedores e insectos.

- ✓ Otros problemas ambientales.

El panorama se agrava con las consideraciones regionales. Una importante cantidad de suelo cultivable, moldeado y cocido, conforma buena parte de nuestras ciudades. Córdoba y gran parte de la región pampeana de nuestro país exhibe una mayoritaria construcción con ladrillos de tierra cocida. En la región de la pampa húmeda se producen 30 millones de ladrillos de barro cocido al mes.

En las Figuras 20 a, b y c se muestran imágenes satelitales tomadas en los alrededores de la Ciudad de Córdoba. Allí se observa el área de tierra que ocupan los cortaderos de ladrillos en plena área de cultivos.

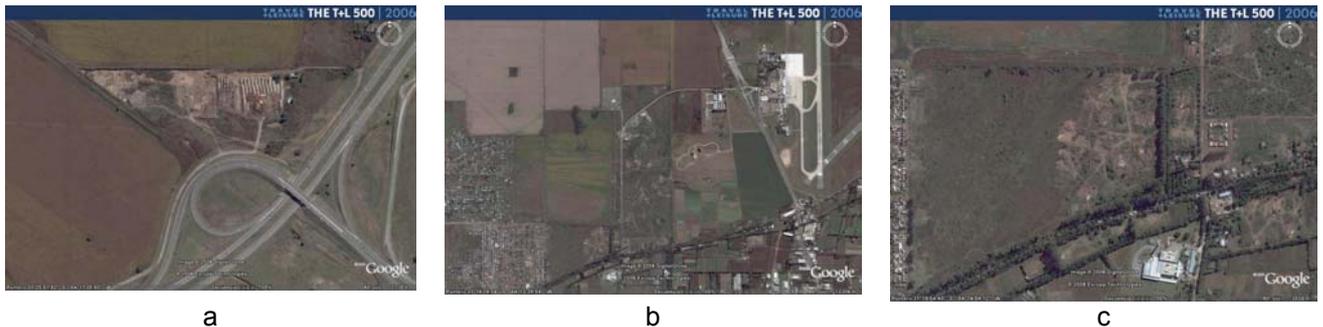


Figura 20 Producción de ladrillos de tierra cocida. Fig. 20a: Horno de ladrillos sobre la Av. de Circunvalación (ciudad de Córdoba). Figura 20b: Horno de ladrillos en proximidades al aeropuerto Córdoba, y Figura 20c: Horno de ladrillos en los alrededores de Córdoba  
Fuente: Google earth, 2008

Los tradicionales ladrillos son el resultado del moldeado y horneado de suelo fértil mezclado con desechos orgánicos. Su forma de producción, a partir de la extracción de tierra vegetal (humus), y luego quema en hornos a cielo abierto constituye un problema ambiental que se puede corregir y evitar debido a desertificación del suelo, contaminación atmosférica por el humo y gases generados, uso de bosque nativo talado en las proximidades de los cortaderos de ladrillos para la generación de energía calórica de cocción de ladrillos y empleo de mano de obra informal y mal remunerada. Fig. 21 a y b



a



b

Figura 21: Producción informal de ladrillos de tierra cocida. Fig. 21 a : Horno de ladrillos en Santiago del Estero y Figura 21b: Trabajadores informales del horno

Fuente: archivo personal

Además, en la producción de ladrillos de tierra cocida, las consecuencias ecológicas son severas: se utiliza sólo la capa superficial del suelo de la región más fértil del país. Según el biólogo R. Montenegro (2005), los ladrillos comen tanto suelo como los viveros y las fábricas de cerámicos. En ambientes templados y tropicales, la formación de 25 mm. de suelo demanda entre 700 y 1100 años. En algunos ambientes, la formación de 1 cm. de suelo requiere 10 000 años de trabajo eco sistémico. En realidad una actividad consuntiva, agrega Montenegro, debería hacerse en tanto garantice, vía algún mecanismo, que el sistema neutralice, o digiera, el impacto.

#### 1.4.- Estrategias básicas generales para el tratamiento de residuos

Hoy podemos decir que el panorama se esta ampliando, y que existen materiales no convencionales (en desarrollo y por desarrollar) cuya técnica necesita evolucionar. Los materiales tradicionales, y aquellos que siendo tradicionales son usados de manera no tradicional, podrían ser reemplazados por materiales nuevos que incorporen insumos considerados deshechos en otros sectores industriales. Así, no solo se resolvería la disposición de los residuos sino que además podrían ser procesados con técnicas no contaminantes para el ambiente, y uso intensivo de mano de obra.

Para la minimización de los residuos industriales, Seoanez Calvo (2002) propone:

- Prohibición de la producción. Es aplicable en los casos en que la peligrosidad del producto o el residuo que genera, su persistencia, o la causa que sea, suponen un daño al ambiente suficientemente grave. Puede ocurrir en los casos en que lo residuos evolucionan hacia formas perjudiciales para el medio. Tal el caso de:

- ✓ Mercurio: que se transforma en formas metiladas (metil, dimetil-mercurio, etc)
- ✓ Piraleno ( PCB): se transforma en furanos y dioxinas, por descomposición térmica a menos de 700 °C
- ✓ Plaguicidas organoclorados: se transforman en metabolitos más o menos contaminantes
- ✓ Residuos urbanos: provocan olores, gases tóxicos, lixiviados, y generan albergues para toda clase de roedores e insectos.

- Reciclado y utilización: Es una de las vías básicas para la gestión exitosa de los residuos. Las líneas de actuación son:

- ✓ Disposición final de residuos: incineración con producción de energía; tratamiento físico-químico con posible recuperación de productos; tratamiento biológico con posible aprovechamiento de lodos;
- ✓ Aprovechamiento energético y recuperación de materiales: métodos químicos para la

- ✓ producción de combustibles; métodos bioquímicos; y métodos termoquímicos
- ✓ Producción de materias primas: materias primas minerales metálicas y no metálicas; y materias primas orgánicas de origen natural y de origen sintético.
- ✓ Producción de materiales: productos cerámicos, vidrio, aglomerantes, plásticos, caucho, celulosa, papel, materia orgánica (compost y fertilizantes)
- ✓ Gestión medioambiental: materiales para depuración de gases ( filtros); materiales para depuración de aguas residuales (filtros de porcelana, carbón activo)
- ✓ Materiales para estabilizar otros residuos: aglomerantes, plásticos, papel, cartón.

- Innovación tecnológica: Esta estrategia se basa en dos pilares: instalación de nuevos procedimientos de fabricación que generan menos residuos o residuos menos contaminantes reciclables; y sustitución de materias primas por otras menos contaminantes, que generan residuos menos contaminantes o menos residuos.

De modo que, una de las razones más importantes para la innovación tecnológica sustentable está justificada en la sustitución de materias primas no renovables por otras más abundantes que no tienen una disposición final sustentable. El agregado de insumos considerados residuos en otras áreas de producción, constituye un recurso de producción sustentable que da destino a importante cantidad de desechos que son reutilizados. Así, alivia la acumulación y el tratamiento de los mismos por procedimientos perjudiciales con impacto ecológico negativo, tales como la quema a cielo abierto o el enterramiento sanitario. La consideración de tecnologías ecológicamente eficientes promueven el paso de sistemas de producción /consumo lineales a circulares.

### **1.5.- Antecedentes. Materiales en base a insumos reciclados**

Insumos tradicionalmente considerados desechos son utilizados para el desarrollo de nuevos materiales de construcción.

El uso de escombros de construcción y de demolición como agregado en la compactación de rellenos es bastante difundido. Sin embargo, el mayor desafío es el uso del hormigón de demolición como agregados de nuevos hormigones estructurales. Al respecto, se estudian sus propiedades mecánicas y su comportamiento estructural (Hamassaki et al, 1997; Positieri et al 2009, entre otros).

Cenizas volantes, un subproducto de la combustión de carbón, ha sido utilizada como filler, agregado del cemento. Al respecto se destacan los trabajos de uso de cenizas de cáscara de arroz de G. Silveira y L. R. Prudencio Junior (2003), entre muchos otros.

La materia residual resultante del procesamiento de metales es conocida como escorias metálicas. Las escorias de altos hornos son empleadas en forma mayoritaria para la elaboración de cemento utilizado en la construcción de pavimentos en caminos. (J. Pera, 1996)

Residuos plásticos son utilizados en el Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE), para el desarrollo elementos constructivos. Films plásticos, residuos de una empresa de envoltorios de alimentos, son convertido en agregados de mezclas cementicias y moldeados con forma de ladrillos (Gaggino, Gatani, Arguello, Berretta, 2005)

PET post consumo, proveniente de plantas procesadoras y seleccionadoras de residuos urbanos o de la gestión diferenciada en los lugares de consumo doméstico, es utilizado para la elaboración de elementos constructivos tales como ladrillos y bloques. El ligante utilizado es cemento.

(Berretta, Gatani, Gaggino, Arguello, 2008)

Fibras vegetales son empleadas en la elaboración de componentes y materiales para la construcción, más o menos elaborados. Alfombras y revestimientos utilizan fibras vegetales en estado natural. Tableros de madera procesan las fibras y partículas de una manera industrial. Además existe amplio conocimiento desarrollado acerca del uso de fibras vegetales como refuerzo de matrices de cemento.

### 1.5.1.- Agregados vegetales.

En buena parte de los países tropicales y subtropicales de AL existen importantes cantidades de fibras vegetales posibles de ser usadas en materiales de construcción. Sin embargo, es necesario reconocer que las características físicas y químicas de las fibras vegetales dependen del clima y del suelo donde crecen, el proceso de separación de las fibras, e incluso del periodo del año de la cosecha. Así, no todas las fibras disponibles son aptas para ser usadas en materiales de construcción, especialmente si la matriz es cemento. En función de este criterio, Agopyan (1988) describe algunas fibras vegetales y sus aplicaciones principales:

- **Bambú:** Es una planta muy común en AL que crece magníficamente en países como Brasil y Colombia. En sus dos variedades *Bambusa vulgaris* y *B guada* es muy aplicada en usos arquitectónicos, aun estructurales. El tronco consiste en conjuntos de fibras fuertemente ligadas por lignina. Las fibras representan el 60-70% del peso del bambú, y están concentradas en la parte externa del tronco. Es muy difícil separar las fibras, razón por la que el bambú es muy usado en columnas y vigas.

Quizás su aplicación más conocida es como refuerzo de construcciones de tierra y/o cementicias. Bahareque, quincha, o tapia son nombres dados a compuestos en base a tierra (y también cemento) donde el esqueleto es una malla de bambú para la construcción de envolventes laterales y superiores de viviendas populares en Perú, Bolivia, Colombia, Brasil, México.

Es posible hoy que su uso sea mas extendido en los países donde es producido. En la PUC Rio existen desarrollos de compuestos, paneles, tablas parquet de bambú, y muchas otras aplicaciones (Ghavami, 2007). Colombia también es uno de los países donde ha alcanzado alto desarrollo el empleo de bambú como material estructural. (Hidalgo, 1974)

La industria de la pulpa y el papel también consumen bambú, debido a que sus fibras son relativamente largas (2,5 a 3,5 mm). Se destaca también que el comportamiento del bambú en medio alcalino es bueno.

- **Yute:** No es una planta típica de AL, pero actualmente Brasil la produce en gran escala. Esta planta crece fácilmente en áreas húmedas y calidas, y puede ser cortada 130 días después que es plantada.

Es una fibra de buena resistencia que puede alcanzar varios metros de longitud. Estas fibras presentan baja performance en evaluaciones de durabilidad.

- **Sisal:** Brasil es el mayor productor mundial de sisal, donde se producen 250 000 T métricas. También se produce en la mayoría de los países de AC, de donde es originaria.

La fibra se obtiene de las hojas, y es muy usada en la industria de alfombras. La fibra de sisal también es usada en la industria de la pulpa y del papel.

Tests de durabilidad de las fibras de sisal demostraron que disminuye su resistencia a tensión, en

presencia de medio alcalino (pH 12).

- Coco: El cocotero es una planta típica de las zonas tropicales, cuya producción es muy abundante. Sus principales productos provienen del fruto (coco deshidratado, jugo de coco, aceite). La parte externa, la cáscara es un abundante residuo.

Las fibras se degradan en medio alcalino, aunque menos que las fibras de sisal. El composite fibra de coco-cemento ha sido extensamente estudiado en San Pablo. Savastano Jr. (1987) es uno de los precursores. IPT ha incorporado fibras de coco en morteros hasta un porcentaje de 1 a 6 %, obteniendo los mejores resultados en adición de 4 % de volumen de fibra del total de la matriz de cemento. Ghavami y Hombeek (1984) han producido tejas aplicando este material. Los autores destacan las buenas propiedades como aislante térmico (20 % más que las similares de asbesto).

✓ Aserrín de madera: En el empleo de aserrín de madera es conocido que la presencia de azúcares libres y otros compuestos orgánicos producen el retardo del fraguado y del endurecimiento del cemento. Algunos trabajos proponen tratamientos alternativos. En la Universidad Nacional de Singapur se realizaron ensayos con un pretratamiento consistente en sumergir y lavar el aserrín antes del mezclado con cemento (Portland Cement and Concrete Association of Australia, 1995). El mismo grupo de investigación realizó ensayos con la adición de cal en una proporción desde 1/6 a 1/3 del volumen de cemento, como tratamiento previo de mezclado con el mismo.

✓ Cáscara de arroz: El Dr. Ing. Ind. Salas Serrano (1987) y su equipo de investigación en el Inst. Torroja, desarrollaron bloques de cemento para cerramientos verticales, incorporando cáscaras de arroz como agregados vegetales, “mineralizadas” con cal.

También en Brasil y en Cuba se estudian las propiedades de compuestos de cáscaras de arroz, donde se reduce la densidad de los paneles, debido a la incorporación de las fibras.

✓ Bagazo de caña de azúcar: En Cuba, el Centro Técnico para la Construcción y los Materiales ha desarrollado paneles cementicios con bagazo de caña de azúcar, similares a aquellos producidos con chips de madera ligados con cemento. Paneles de alrededor de 1,20 m<sup>2</sup> fueron producidos para construcción. Sosa (1984) también ha descrito el uso de paneles prensados con bagazo de caña de azúcar para la producción de paneles y cubiertas, con adiciones de 4,5 % de fibras. La autora también describe que en Venezuela se utiliza el bagazo ligado con resinas.

Entre los autores que estudian la incorporación de fibras de bagazo se señala además el trabajo de Cecilia Ramírez Sarmiento (1996), de la Universidad de Campinas, Brasil sobre morteros reforzados con fibras de bagazo. En este caso, el tratamiento de las fibras es realizado con Silicato de Na y Sulfato de Al.

✓ Viruta de eucalipto: En Brasil, Beraldo (2004) ha desarrollado experiencias con el uso de residuos provenientes del procesamiento de eucalipto, para la producción de compuestos a base de cemento Portland. Según el autor, los compuestos biomasa vegetal – cemento (CBVC) presentan gran potencial de aplicación debido a características tales como: disponibilidad de materia prima renovable, buena resistencia a agentes deterioradores, facilidad de moldeo, transporte, corte, uniones, resistencia a impacto, buen aislamiento termo acústica y alta resistencia a la acción de la humedad.

Partículas mineralizadas de madera constituyen quizás una de las tecnologías más exitosas en la aplicación de fibras naturales y cemento. En Brasil, España y Francia, paneles cementicios con fibras mineralizadas aptos para cerramientos y tabiques divisorios son comercialmente producidos actualmente. El proceso industrial no es conocido. Los paneles son normalmente de 5 cm de espesor, con densidad aparente de 440 kg/m<sup>3</sup>, y conductividad térmica de 0,037 W/mK, según datos comerciales.

- ✓ Papel de diario: Cuando se analizan las fibras vegetales para refuerzo de matrices cementicias, las fibras de celulosa son consideradas con muy alto potencial. Sin embargo, exigen procesamiento de las mismas para la obtención de celulosa que encarece el proceso. En esta dirección, la pulpa de celulosa obtenida de la desintegración de papel de diario podría ser una buena opción. El papel para imprenta (donde se imprimen los periódicos) es un tipo de papel obtenido por el procesamiento mecánico químico de la pulpa de madera, normalmente pino o eucalipto. En general, la calidad del papel es pobre, con baja resistencia y durabilidad respecto de otros tipos de papel. Las fibras son muy cortas. Aunque respecto de otros tipos de papel presenta una gran ventaja para su uso como refuerzo cementicio, no posee aglomerantes y en consecuencia se degrada fácilmente en agua.

El papel de diario es muy abundante, aun en los países en desarrollo, y aunque existen otros destinos de reciclaje para papel, la demanda del sector de materiales se mantiene en bajo porcentaje del total producido.

### 1.5.1.1.- Composición

La composición botánica de las fibras y partículas naturales merece ser considerada cuando se elaboran mezclan con adhesivos que puedan producir reacciones de naturaleza química. El análisis centrado en la composición de fibras vegetales puede resumirse en la presencia de 3 componentes mayores celulosa, hemicelulosa y lignina; y de algunos menores tales como extractivos y cenizas (Arsene, 2006).

- Celulosa

La celulosa es un glúcido (polisacárido). Al igual que el almidón y el glucógeno son polímeros. Los polímeros son macromoléculas (moléculas muy grandes) formadas por la unión de muchas moléculas más pequeñas. En el caso de los polisacáridos mencionados, los polímeros resultan de la unión de numerosas moléculas idénticas de glucosa, se dice un homopolímero. Esta característica determina ciertas propiedades de los compuestos que hace que, por ejemplo, la celulosa no pueda ser digerida por el organismo humano, y sí por los herbívoros. Los polisacáridos tienen dos tipos de funciones biológicas:

- ✓ función de reserva: por ej., almidón es el polisacárido de reserva en los vegetales , y el glucógeno es el de reserva en animales
- ✓ función estructural: celulosa, es el principal componentes de la pared celular de los vegetales. Las largas moléculas de polímeros reticuladas con puentes hidrogeno forman fibrillas cristalizadas. La celulosa puede ser amorfa o ser más o menos cristalizada. El nivel de cristalinidad varia con el porcentaje de puentes hidrogeno. Esas fibrillas de celulosa se orientan de manera particular en las distintas paredes de las fibras. Tiene una estructura lineal o fibrosa. Sus moléculas se disponen de tal manera que forman largas fibras que le sirven de sostén a los

vegetales.

En las cáscaras, constituye el material reticular formado por delgadas fibrillas compuestas por moléculas de cadena larga que se mantienen unidas por la lignina que actúa como ligante y soporte. Su estructura hace de la celulosa una sustancia virtualmente insoluble en solventes comunes, en particular el agua. (Manrique y Lajolo, 2001).

- Hemicelulosa

La hemicelulosa es la porción de polisacárido que se hidroliza fácilmente. La distinción entre celulosa y hemicelulosa depende del tipo de los monómeros que constituyen la macromolécula. La hemicelulosa consiste en una cadena principal de homoglucano (D- xilanos y D- mananos) con otros residuos de azúcares que aparecen en general como cadenas laterales. Según la bibliografía, la hemicelulosa comprende un conjunto de polisacáridos estructurales que pueden variar de acuerdo al tipo de celulosa de la que provengan y que poseen la capacidad de ligarse a las fibrillas de celulosa mediante puentes de hidrógeno. No puede extraerse mediante agua, siendo necesario para ello soluciones alcalinas entre 1 y 4 Molar que consiguen eliminar la fuerza cohesiva de los puentes de hidrógeno que la mantienen unida.

- Lignina

La lignina es una sustancia estructural no polisacárido y es uno de los principales macrocomponentes en las plantas. Está íntimamente formada e infiltrada a través de la celulosa de la pared celular, constituyendo una dura y rígida matriz de gran fuerza. Formada por polímeros fenólicos que le confieren resistencia y rigidez a la pared celular de la plantas. Es insoluble en agua, pero puede ser degradada por soluciones alcalinas.

Siendo un elemento aglutinante de las fibras, la estructura química no ha sido establecida porque las ligninas son polímeros naturales muy complejos, con composiciones variables. La mayoría de las ligninas contienen cantidades variables de ciertos ácidos carboxílicos aromáticos en forma de éster. Los principales grupos funcionales encontrados en la lignina son metoxilos (-OCH<sub>3</sub>) e hidroxilos (-OH). Valores característicos de la composición química de la lignina son aproximadamente: Carbono (60 %), Hidrógeno (6 %), Oxígeno (34 %). (Crivelaro, 2004)

En síntesis, celulosa, hemicelulosa y lignina son estructuras insolubles en agua al pH neutro (pH=7). Localizaciones y funciones son resumidas en la Tabla 1

Tabla 1: Localizaciones y funciones de los componentes de los agregados vegetales

Componente de la fibras y partículas vegetales	Localización	Funciones
Celulosa	Pared celular	Estructural
Hemicelulosa	Pared celular + espacio intercelular	Estructural
Lignina	Pared celular + Espacio intercelular	Estructural

Fuente: <http://www.Fibra-salud.com>

El contenido de estas sustancias depende del grado de maduración de la planta. Puede decirse que el porcentaje de celulosa aumenta con la maduración y lo contrario ocurre con la hemicelulosa. La lignificación representa el envejecimiento de la planta.

### 1.5.2.- Agregados vegetales en matriz cementicia

En virtud de su bajo costo, las fibras vienen siendo estudiadas como refuerzo de matrices de cemento. Por otro lado, su desempeño en matrices frágiles ha sido experimentado abundantemente, pues necesitan de un aumento de adherencia con la matriz y mejora de durabilidad en medio alcalino y humedad. (Savastano Jr., 1992). Las fibras presentan gran cantidad de poros permeables, y en consecuencia, gran capacidad de absorber agua, y masa específica aparente bastante inferior a la real, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Características de algunas fibras vegetales

	Peso específico real (k/m <sup>3</sup> )	Absorción de agua (%)
Bambu	1158	145
Yute	30	214,1
Sisal	1270	239
Coco	1177	117-171

Fuente: Agopyan, V. Vegetable fibre reinforced building materials – developments in Brazil and other Latin American countries en Concrete Technology and Design. Ed RN Swamy.

La resistencia y otras propiedades del material fibroso en células individuales puede ser mayor que la fibra entera (Tonoli, 2006). Además, la hidratación y cura de la matriz cementicia puede ser retardada por varios componentes orgánicos, en especial azúcares y lignina presentes en las fibras. Como lo sugiere Toledo Filho (1997) muchos estudios y experiencias todavía son necesarios, tanto para la caracterización de las materias primas fibras cuanto para el desarrollo de nuevos productos y procesos de producción.

#### 1.5.2.1.- Interfase cemento-fibras

La interfase es la región de íntimo contacto entre la fibra y la matriz. Los vínculos pueden ser químicos, físicos o una combinación de ambos. Vínculos muy fuertes entre fibra y matriz resultan en un compuesto frágil con gran resistencia, en tanto ligas débiles resultan en materiales menos resistentes y mayor energía específica. El desempeño mecánico del compuesto está directamente relacionado con las propiedades de interfase fibra-matriz. (Coutts, 1988; Savastano, 1992). A su vez, puentes de hidrógeno son las principales ligas entre las fibras entre sí, y entre las fibras y el cemento (Coutts, 1988). Entonces, el efecto de la humedad desempeña un papel importante en el desempeño de los compuestos fibrocementicios con fibras celulósicas. Está demostrado que cuando se aumenta la humedad del compuesto, la resistencia a flexión disminuye y aumenta la energía específica. Esta afirmación se sustenta en que los puentes de hidrógeno son las principales ligas y responsables del desempeño mecánico de los compuestos. (Coutts, 1982)

Como consecuencia de su estructura, las fibras vegetales presentan elevada capacidad de absorber agua e hinchamiento. Esto afecta la resistencia de la fibra y su adherencia con la matriz. Para controlar este tipo de comportamiento, Coutts y Warden (1992) sugieren que el compuesto sea moldeado bajo presión, con la consecuente disminución de la relación agua-cemento. Una vez retirada la presión, la fibra porosa devuelve a la matriz parte del agua absorbida, que ayuda a mantener la interfase más densa. (Tonoli, 2006)

#### 1.5.2.2.- Durabilidad. Factores que afectan la compatibilidad química entre la biomasa vegetal y cemento

Existe, sin embargo, cierta incompatibilidad química y física entre morteros y materiales de origen vegetal. Experiencias desarrolladas con compuestos cementicios reforzados con fibras naturales han demostrado desempeño mecánico aceptable en las primeras edades. No obstante, frente al

envejecimiento natural, los compuestos presentan disminución de las propiedades mecánicas, atribuido principalmente al ataque alcalino de la matriz cementicia. Para lo cual, se estudia el comportamiento de las fibras en su interfase con la matriz cementicia, así como los posibles tratamientos que tengan por finalidad proteger el comportamiento de los componentes esenciales de las fibras: celulosa, hemicelulosa y lignina. Se trata pues, de preservar las propiedades naturales de las fibras en matrices artificiales.

En la interacción entre cemento y madera, una parte de hemicelulosa comienza a solubilizar y retarda la adhesividad del cemento (Simatupang, 1986; Simatupang et al., 1988). El ataque sufrido por la madera por la acción de álcalis del cemento puede convertir parcialmente hemicelulosas en sus monómeros o en polímeros de menos peso como los polímeros de azúcar, y provocar problemas en la adhesión de cemento. Resinas u otras sustancias químicas hidrosolubles en medio alcalino pueden migrar para la superficie de la madera durante el período de secado de la madera. La formación de una película, considerada hidrófuga, reduce los puentes de hidrógeno entre la madera y el cemento, que sin duda, implica una reducción de la resistencia de la interfase (Miller y Moslemi, 1991).

Se constató también que respecto de la compatibilidad entre la biomasa vegetal y el cemento, que no sólo se debe considerar la cantidad de extractivos, sino también el tipo de extractivos (ácidos grasos, taninos, carbohidratos y otros). Sustancias solubles en agua presentan un efecto más pronunciado sobre la inhibición de la adherencia del cemento (Hachmi y Moslemi, 1989)

No obstante, según Pimienta et al (1994), ninguna teoría, por más completa que sea, puede ser aplicada universalmente a explicar el efecto de todos los azúcares en presencia de todos los componentes del cemento.

Las propiedades de los compuestos biomasa vegetal – cemento (CBVC) o CWPW (cement wood particleboard) dependen estrictamente del origen de la materia prima vegetal que lo constituye (Beraldo, 1994). Además, otros factores como el proceso de elaboración o el tratamiento de las fibras pueden definir las propiedades del compuesto (Arsene, 2007).

Según Metha y Monteiro (1994), la presencia de humedad esta asociada a alguna forma de degradación, tanto que en sólidos porosos la permeabilidad del material es un indicador de la tasa de deterioro. Escasa durabilidad es disminución de la resistencia y de la energía específica en poco tiempo. Muchas experiencias de morteros y argamasas han resultado con escasa durabilidad (2-4 años) debido a la alta alcalinidad del agua presente en los poros de la matriz cementicia, con pH entre 12 y 13, que ocasiona una rápida descomposición de la lignina y hemicelulosa, responsables de la adhesión entre fibras. En el caso de los países tropicales, las altas temperaturas provocan una aceleración del proceso de descomposición de las fibras (Agopyan, 1991; Savastano, 2000)

El ataque alcalino debilita las fibras, y disminuye la resistencia al arrancamiento a causa de la mineralización sufrida por ellas y la variación de volumen por humedad. La “petrificación” de las fibras, sumado a los ciclos de mojado y secado, son favorables a la degradación y lixiviación de lignina, presentes en las fibras, debilitándolas y reduciendo el rol de las mismas como refuerzo de la matriz. (Toledo Filho, 2000)

También se identifica un proceso de carbonatación de los compuestos fibras –cemento por reacción química entre componentes del cemento Portland ocurrida durante el proceso de hidratación del cemento.

Estas consideraciones importan al momento de selección de la técnica de elaboración de los compuestos. Savastano, Wooden y Coutts (2003) proponen la técnica de moldeo con bomba de vacío seguido de presión, para así eliminar toda la cantidad de agua excedente disponible en la mezcla cementicia. Resultados evaluados con pulpa de sisal, fibras de banana, y pulpa residual de eucalipto fueron satisfactorios.

### **1.5.2.3.- Tratamientos para mejorar la durabilidad de los compuestos**

Existen algunos tratamientos para los agregados vegetales, que mejoran las propiedades de las fibras en el medio alcalino. Estos consisten en promover la adhesión de las fibras y la matriz, protegiéndolas y/o repeliendo el agua, sellando los poros, modificando el tenor alcalino de la matriz, o combinando funciones. El resultado de estas aplicaciones es un aumento de la durabilidad de los compuestos, previniendo la mineralización de las fibras (Delvasto, 2004; Motta, 2006)

Existen tratamientos químicos para los agregados vegetales en orden de mejorar la compatibilidad con cemento. Son de naturaleza ácida o básica. Es conocido que tratamientos básicos promueven la modificación estructural de los principales componentes botánicos de los agregados vegetales (extractos solubles, celulosa, hemicelulosa y lignina). Todos ellos son susceptibles de reaccionar sobre su estructura química. La magnitud de estas alteraciones depende de la naturaleza alcalina, del tiempo y de la temperatura empleada. Los efectos de los tratamientos ácidos sobre las fibras vegetales varían con la naturaleza y la concentración del ácido, y de la temperatura de la experiencia.

Una de las propuestas para evitar retardar la mineralización de las fibras es reducir el tenor alcalino de la matriz de cemento. John (1995) trabajó con adición de escoria de alto horno, encontrando buenos resultados en morteros de fibras de coco.

Agentes de cobertura o impregnación de las fibras son empleados como repelentes de agua. Tal es el caso de la utilización de PVA, pinturas, resinas como agentes protectores de las fibras.

Los silanos son estructuras orgánicas, que provocan una modificación química en la superficie de la celulosa, así se mejora la adhesión entre celulosa y matriz, y también se ejerce la función de protección como hidrofugante. (Delvasto, 2004, Herrera, 2008)

Sánchez Sarmiento utiliza silicato de sodio y sulfato de aluminio como agentes de tratamiento de las fibras de bagazo de caña de azúcar en la producción de morteros. Encuentra resultados mecánicos satisfactorios en relación a morteros que utilizaron las mismas fibras sin tratamiento. (Sánchez Sarmiento, 2004)

La impregnación por autoclave de fibras de coco con alcohol furfúrico es utilizado con aceptables resultados en la investigación de Motta (2006) en la elaboración de compuestos cementicios.

Fibras de hojas de banano y fibras de bagazo de caña de azúcar son tratadas con pirólisis por Arsene y Bilba (2005) con mejoras en las propiedades de las mismas.

### **1.5.2.4.- Comportamiento mecánico de la incorporación de partículas vegetales**

Morteros y hormigones sin armaduras son susceptibles de fisuras. La propagación de las fisuras bajo tensión aplicada es consecuencia de baja resistencia a tracción del material. Inicialmente se consideró que la resistencia a tracción por flexión del material podría ser aumentada por la incorporación de fibras próximas unas de otras, las que podrían enfrentar la propagación de microfisuras, retardando por tanto el aumento de las fisuras y aumentando la resistencia a tracción del material. No obstante, estudios experimentales demostraron que la incorporación de fibras no mejora necesariamente las propiedades de flexión del material, en comparación con las correspondientes mezclas sin fibras. En tanto, recientes investigaciones encontraron considerables mejoras considerando la energía específica, posibilitando el trabajo post fisura y

confiriendo propiedades de aislación térmica aceptable. Queda claro entonces, que la presencia de refuerzo con fibras aumenta la versatilidad del mortero, promoviendo mejoras de sus características frágiles. (Tonoli, 2006) Fig. 22

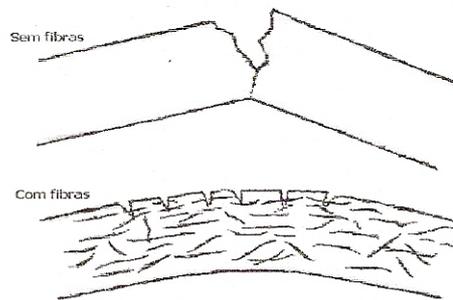


Figura 22: Representación esquemática del comportamiento a flexión de un compuesto sin fibras y de un material compuesto reforzado con fibras (Adaptado por Tonoli, 2006 de MEHTA; MONTEIRO; 1994)

Compuestos tradicionales sin fibras rompen repentinamente con un comportamiento frágil cuando la deformación por resistencia a tracción por flexión fue superada. En tanto, un material reforzado con fibras continúa resistiendo cargas considerables, aun con deformaciones superiores a la deformación de fractura del compuesto convencional (Metha, Monteiro, 1994), originando grandes energías específicas.

Durante la carga del material, la tensión necesaria para la aparición de la primera fisura (final de la fase elástica) aumenta con la adherencia y con la relación longitud/diámetro y concentración de las fibras (Gray, 1984). El compuesto soportara cargas cada vez mayores, después de su límite de proporcionalidad (LOP), si la resistencia de las fibras al arrancamiento de la primera fisura fue mayor que su carga. En una sección fisurada, la matriz no resiste más a tracción y las fibras soportan toda la carga del compuesto. (MOR) Fig 23

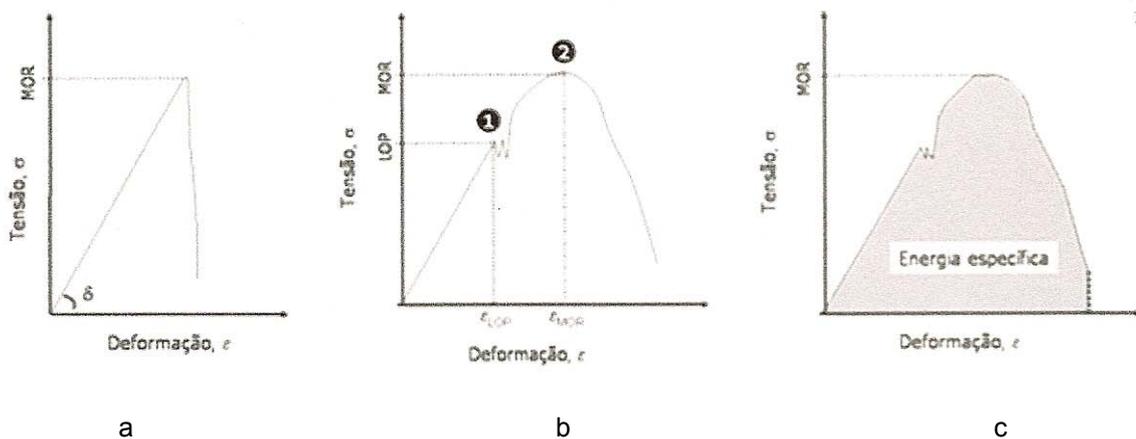


Figura 23: Diagramas de Tensión x Deformación (a) Comportamiento frágil; (b) Comportamiento dúctil: 1- Modulo de ruptura y 2- Limite de proporcionalidad; (c) Área generada bajo la curva indica la energía específica del material (Adaptado por Tonoli, 2006; de Mehta y Monteiro, 1994)

La energía específica o tenacidad es una propiedad importante de los compuestos, pues resiste la evaluación de resistencia a impacto, ya que evita la ruptura frágil durante el transporte o montaje debido a esfuerzos dinámicos involucrados. Se busca así situaciones óptimas que compatibilicen energías específicas elevadas y resistencias aceptables. (Tonoli, 2006)

### **1.5.3.- Antecedentes de materiales con agregados vegetales en matriz cementicia (o mineral).**

Fibras naturales utilizadas como refuerzo de matrices frágiles cementicias han despertado gran interés en los países en desarrollo, debido a su abundancia, bajo costo, economía, de energía y también por cuestiones ambientales. (Macvicar; Matuana; Balatinecz, 1999).

El Fibre Composites Group do Forest and Forestry products (FFP), Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Australia, aparece como el instituto de investigación precursor en el estudio de materiales cementicios reforzados con pulpa de celulosa, comercializados partir de la década del `80. (Coutts, 1986)

No es casual que países como Brasil lideren la investigación de compuestos cementicios reforzados con fibras naturales en reemplazo de fibras de asbesto. Allí se encuentran las mayores industrias productoras de fibrocemento de AL: 160 millones de m<sup>2</sup>/año de chapas para cubiertas y 1,5 millones/año de tanques de reserva de agua. En diversos países, inclusive en Brasil, existe una creciente tendencia en revisar la utilización de amianto como refuerzo de matrices de cemento, que todavía representa el 74 % de fibrocemento producido en America del Sur y Central, principalmente para elementos de cubierta. (Heinricks et al., 2000). Como fundamento de esta tendencia, se aducen importantes problemas de salud causadas a los trabajadores, por la inhalación de las fibrillas.

A comienzo de los `70, esfuerzos globales fueron comenzados con legislaciones para la eliminación de amianto como refuerzo en una gama grande de productos. El mercado de fibrocemento es el mayor consumidor de amianto, y por este motivo, en esta clase de materiales de construcción, nuevas alternativas para refuerzo de fibras están siendo estudiadas para la sustitución de amianto (Coutts, 2005).

Particularmente en Brasil, fibras de coco y de sisal son consideradas recursos naturales estudiados para su aplicación en la producción de paneles de techo, en reemplazo de las fibras de asbesto. En este sentido , a lo largo de tres décadas, caben citar las experiencias en el Instituto Torroja, en el Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), y en la Escola Politécnica de la Facultad de Ingeniería y en el laboratorio de Construcciones rurales y ambientales de la Faculdade de Zootecnia e Engenaria de Alimentos (FZEA) de la Universidad de Sao Paulo (USP- Brasil) para la sustitución de fibras de amianto por fibras naturales como refuerzo en matrices cementicias, así como las técnicas mas adecuadas para su procesamiento. En la Escola Politecnica de Engenharia de la USP se estudio el aporte de fibras de coco en mezclas cementicias para la fabricación de placas de techo (Motta, 2006).

Los equipos de los Dres. V. Agopyan, V. John y H. Savastano Jr. han realizado importantes aportes en el tratamiento de fibras de coco, sisal, cáscaras de arroz, bagazo de caña, pulpa de celulosa de eucalipto, entre otros. El uso de fibras vegetales en nuevos materiales de construcción ha sido estudiado como refuerzo de matrices cementicias en porcentajes de 2 – 12% p/p. Los resultados de estas investigaciones demostraron la posibilidad de dar destino a gran producción y disposición de estos materiales residuales de origen vegetal. Las características de estos materiales nuevos están dadas por menor peso específico, y también valores satisfactorios de resistencia a tracción e impacto, mayor control de fisuración, y mejor comportamiento dúctil a la ruptura. Por otro lado, algunos aspectos de desempeño de estas fibras tienden a ser menos satisfactorios en comparación con las fibras industrializadas, tales como reducida adherencia con la base cementicia y baja durabilidad en presencia de medio alcalino y humedad. (Agopyan, Savastano Junior, 1997; John, Agopyan, 1993; Savastano Junior, Dantas, Agopyan, 1994; Devito, 2003; Pimentel, 2000; Savastano Junior et al, 1999; Savastano Junior, 2002, Toledo, 2000; Toledo, 2003; Bilba et al, 2003).

Según Agopyan (1988), la incorporación de fibras naturales para la elaboración de materiales de construcción no debe ser solo considerada como una vía de reemplazo de asbesto en placas de

poco espesor. Otro enfoque es la producción de compuestos para nuevos tipos de componentes de construcción, no solo de aquellos libres de asbesto. El comportamiento de estos nuevos materiales podría demostrar nuevas propiedades para los compuestos, y su propósito principal es constituir una alternativa a los materiales y componentes tradicionales. En este sentido, cuando son consideradas las propiedades de los nuevos compuestos de fibras, es importante tener en cuenta los costos. Baja inversión de capital, uso intensivo de mano de obra, y bajo consumo energético son variables clave a ser observadas.

Existen algunos ejemplos de placas que se producen y comercializan en el sector de la construcción con éxito técnico y comercial, en Europa y en algunos países de América.

Uno de ellos son las placas Heraklith. Están compuestas por virutas finas de fibras largas de madera ligadas mediante magnesita natural. Las placas tienen 70 % de aire lo que proporciona propiedades de absorción acústica a la placa. La magnesita es un mineral natural que se obtiene en explotaciones mineras y constituye el ligante ideal para la madera, sin perjudicar su naturaleza. La magnesita recubre la madera.

Las dimensiones de las placas van desde 600 x 600, 1200 x 600, 625 x 625, 1250 x 625 mm. La línea de productos comprende placas formadas por virutas finas o gruesas, con poros finos o poros gruesos. Estas placas están indicadas para revestir techos o paredes interiores (Figuras 24 a y b); con buenas propiedades acústicas y termoaislantes



Figura 24 a: Tablero de viruta de madera y magnesita de poros abiertos y fibras gruesas (Heraklith C).  
 Figura 24b: Tablero de viruta de madera y magnesita de poros cerrados y fibras finas ( Heradesigns – Herakustic Micro)

Las principales propiedades de las placas Heraklith son resumidas en la Tabla 3.

Tabla 3: Propiedades de Heraklith C

Espesor	Peso Kg/m <sup>2</sup>	Densidad	Resistencia térmica m <sup>2</sup> K/W	Conductividad térmica ( ) w/mK	Resistencia flexo tracción MPa	Tensión Compresión Mpa
15	7,0	466	0,15	0,9	1,7	0,20
25	9,0	360	0,28	0,9	1,0	0,20
35	12,0	343	0,39	0,9	0,7	0,20
50	16,5	330	0,56	0,9	0,5	0,15
75	22,5	300	0,83	0,9	0,4	0,15
100	27,5	275	1,11	0,9	0,4	0,15

Fuente: Elaboración propia a partir de información brindada por el fabricante en [www.heraklith/es/heraklith/es](http://www.heraklith/es/heraklith/es)

Otro ejemplo de placas de fibrocemento son las denominadas Plycem. El fibrocemento Plycem es un producto constructivo que está compuesto por cemento, fibras orgánicas mineralizadas y otros aditivos inorgánicos. Tal composición resulta en un material liviano con las cualidades constructivas del cemento y, al mismo tiempo, con la trabajabilidad de la madera.

La trabajabilidad permite solucionar requerimientos de paredes interiores y exteriores, techos, bases de techos, cielorrasos, entrepisos, molduras, precintas y fachadas, y sistemas completos sismo –resistentes. Son placas resistentes a la intemperie, plagas, la humedad y el fuego. Se consideran también tecnologías constructivas livianas, versátiles, rápidas, limpias y eco-eficientes, protectoras del ambiente. Figura 25

Sus dimensiones varían según el producto:

- tablas de 300 x 2400 x 11 mm;
- Paredes Interiores 1200 x 2400 x 11mm;
- Paredes Exteriores 1200 x 2400 x 14 y 17 mm;
- placas de cielorraso de 1200 x 2400 x 14 y 17 mm;
- placas para entepiso de 1200 x 2400 x 20, 22, 25 y 50 mm.

Se caracterizan por alta resistencia a la flexión, el bajo peso, la rapidez de instalación, la versatilidad y funcionalidad



Figura 25: Placas Plycem

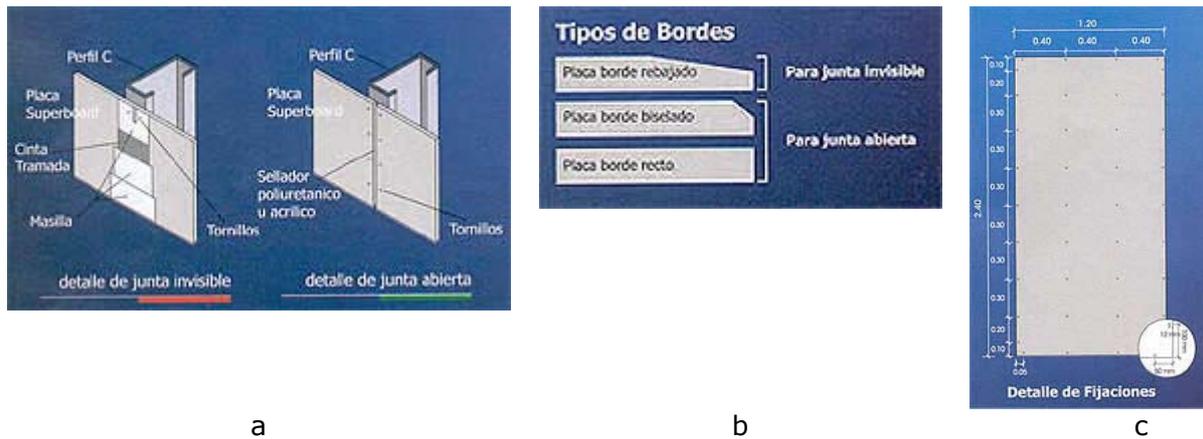
Superboard es una placa compuesta por una mezcla homogénea de cemento, cuarzo y fibras de celulosa. No contiene asbestos, son dimensionalmente estables, producto de realizar el fragüe del cemento en un horno de autoclave. Superboard es un material inalterable, resistente a golpes e impactos, impermeable, versátil, de fácil trabajabilidad e incombustible.

Dadas sus características, Superboard es un sistema desarrollado para resolver aplicaciones en fachadas y cerramientos. La posibilidad de obtener superficies moduladas y estéticas se adaptan a los diversos estilos arquitectónicos.

Sus Medidas son: 1,20 x 2,40 m., 1.20M X 1.20M y 0.60M X 0.60M (con espesores de 6, 8, 10, 15 mm). Los espesores varían según la función: 6 mm. (cielorrasos exteriores, zonas húmedas), 8 mm. (revestimientos, bajo techos), 10 mm. (revestimientos, cerramientos, fachadas) y 15 mm. (entrepisos).

El acabado superficial puede ser resultado con Junta Invisible: borde rebajado, masilla acrílica y cinta para realzar cerramientos de superficie continua y pareja; o Junta Abierta: borde recto o biselado a 45° y sellador poliuretánico para realizar cerramientos modulados logrando una estética

distintiva. Figura 26 a-c



Placas cementicias de virutas de madera son producidas pro Eltomation (Holanda) Son tableros denominados Wood Wool Cement Board (WWCB) cuyas principales características son:

Resistencia al fuego B1 según Norma DIN 4102

Resistente a la humedad para uso en locales húmedos, ya que la presencia de cemento en la composición mineraliza las partículas de madera y las hace estables

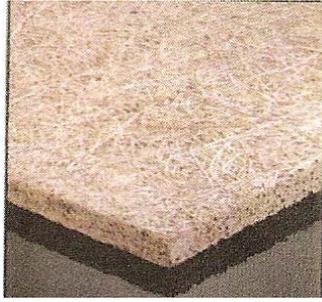
- Conductividad térmica: 0,09 W/mK
- Aislante acústico debido a la estructura superficial abierta que permite la absorción del sonido
- Dimensiones: 2000 mm / 2400 mm/ y 2440 mm
- Ancho: 600 mm
- Espesor: 15 / 25 / 35 / 50 / 75 / 100 mm
- Densidades:
 

15 mm	570 kg/m <sup>3</sup>
25 mm	460 kg/m <sup>3</sup>
35 mm	415 kg/m <sup>3</sup>
50 mm	390 kg/m <sup>3</sup>
- Resistencia a flexión: 1,7 – 0,4 kg/cm<sup>2</sup>

Dos de las placas Eltomation y sus principales aplicaciones pueden ser observadas en Fig 27 y 28



Fig 27a. Panel WWCB de baja densidad – Fig 27 b: Aplicación como aislante de techo



a



b

Fig 28a. Panel WWCB de alta densidad – Fig 28 b: Aplicación como revestimiento vertical

#### 1.5.4.- Antecedentes de materiales con agregados vegetales en matriz polimérica.

##### Tableros de madera

La industria de aglomerados se parece a la industria de la celulosa ya que utiliza como materia prima madera de baja calidad, desperdicio de los aserraderos, y por el proceso de triturado, ambas se caracterizan por ser empresas de capital intensivo. Se distinguen así del resto de las industrias del sector forestal.

La actividad del aglomerado permite valorizar maderas de baja calidad pero de rápido crecimiento (álamo, pino y eucalipto). Los tableros de partículas de bajo espesor son utilizados para embalajes, muebles, fondos de cajones; mientras que los de mayor espesor son destinados a la fabricación de muebles y revestimientos (70%) y en la construcción (30 %).

Actualmente existen en Argentina 7 fabricas productoras de tableros de partículas, entre las que se destacan Masisa, Faplac, y Cuyo placas. Insumen totalmente madera de bosque implantado, y su producción se destina a carpintería de obra, construcción, envases y aberturas.

Respecto de los tableros de fibras, comprende los de alta densidad o hard board, y los de densidad media. Los primeros son fabricados por una sola empresa – Fitoplasto – en la provincia de Buenos Aires, con madera de eucalipto. Sus principales mercados son la industria automotriz, la de muebles y la de la construcción.

En relación a los tableros de media densidad son producidos por dos empresas – Guillermina y Masisa-. La primera se abastecía tradicionalmente con madera de bosque nativo (algarrobo, vira pita), pero en los últimos años se ha reconvertido, utilizando madera de bosque implantado. Masisa utiliza totalmente madera de plantaciones, y control actualmente cerca del 45 % del mercado total de tableros y cerca de 60-70 % de tableros de MDF. El mercado de los tableros de fibras es la industria del mueble, y la construcción. (Bercovich, 2000)

Tablero de madera es una denominación genérica que abarca a varios tipos de productos fabricados con madera con diferentes propiedades y aplicaciones. Tablero de madera es una pieza donde predomina la longitud y el ancho sobre el espesor, y que el elemento principal que lo constituye es la madera. Los tableros se dividen en dos grupos diferentes en referencia a su constitución física: tableros de madera maciza y tableros derivados de la madera.

Considerados antecedentes relevantes de la presente investigación, los tableros derivados de la madera, de partículas o aglomerados, se definen como aquellas formadas por partículas de madera de variada dimensión, impregnadas de resinas sintéticas (adhesivos industrializados) y naturales (tanino), prensadas bajo la acción de calor. La madera utilizada en la producción de tableros puede ser de media o baja densidad. La fabricación de tableros considera la humedad, la temperatura, la presión y la resistencia mecánica, y su aplicación, interna o externa (Nascimento,

2003)

La materia prima puede ser:

- Material forestal proveniente de la poda
- Residuos industriales gruesos resultantes del procesamiento de madera
- Residuos industriales fino, tales como polvo de madera de aserrado
- Virutas de madera provenientes de la industria del mueble y las carpinterías
- Otros materiales ligno celulósicos, como bagazo de caña, cáscaras de arroz, y otros residuos agrícolas

Según su acabado superficial se clasifican en tableros de partículas a la vista o tableros recubiertos- con chapas de madera, PVC, poliéster, lacas o barnices-.

Los tableros de partículas a la vista a su vez, se clasifican según los tratamientos específicos que hayan recibido. Pueden ser: resistentes a la humedad, ignífugos, tratados contra agentes biológicos, con contenido en formaldehído, o combinación de las características mencionadas. (Fig. 29).

- Tableros de virutas (waferboard) (Fig. 30a):

Las virutas no tienen una orientación predeterminada, de manera que su resistencia a flexión es la misma en cualquier dirección del tablero. Su uso es más restringido que los tableros de virutas orientadas

- Tablero OSB (oriented strand board): o de viruta orientada (Fig. 30b):

Esta conformado por virutas de madera de especies poco resistentes, y así se aprovecha casi en su totalidad.

La resistencia del OSB proviene de la orientación de sus virutas, paralelas a la longitud del tablero en las capas exteriores, mientras que las interiores son perpendiculares, consiguiéndose de esta manera obtener la resistencia natural de las fibras en ambos sentidos.

El OSB compite con el tablero contrachapado. El formato comercial es de 1,22 x 2,44 m con espesores de 10, 12, 15, 19 y 22 mm. según la norma europea.



Fig 29: Tablero aglomerado



a



b

Fig 30a: Tablero de virutas; Figura 30 b : Tablero de virutas orientadas

- Tableros de fibras ( Fig. 31)

Se construyen con fibras de madera con adhesivos naturales o sintéticos, aplicando presión y formando un material estable y homogéneo. En los tableros de fibras de densidad media MDF (Medium Density Board), las fibras se encolan con un adhesivo de resina sintética. Tiene estructura uniforme y textura lisa.

- Tableros de fibra duros ( Fig. 32)

Fabricados con fibras húmedas a alta presión y a elevada temperatura que se unen empleando las resinas naturales contenidas en las mismas. Son inestables en presencia de humedad.

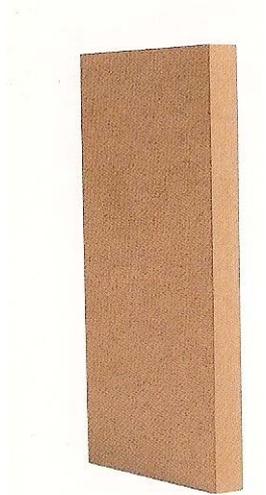


Fig. 31: Tablero de fibras de densidad media

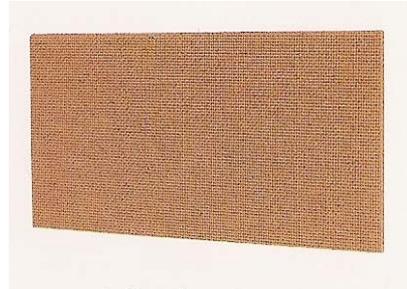


Fig. 32: Tablero de fibras duro

#### 1.5.4.1.- Relevamiento del mercado local (Córdoba)

En Córdoba, conforma el sector de la madera un conjunto de empresas dedicadas a la comercialización de maderas y sus derivados (tableros, chapas, muebles) así como los productos asociados (colas, adhesivos, herrajes). Un relevamiento del sector ha permitido identificar algunos productos producidos bajo el nombre de maderas artificiales. Son los correspondientes a tableros y placas, reconocidos por sus nombres comerciales. Un listado de los más representativos se presentan a continuación:

Tableros **Corlock** (Fig. 33 a, b y c). Son tableros elaborados con madera de eucaliptos. El tronco de eucaliptos es convertido en microfibras que luego son convertidas en placas de fibra de madera de máxima densidad, mediante un proceso de presión y temperatura, sin empleo de aditivos químicos. Sus principales características son: resistencia a los golpes, rayaduras y el desgaste; se colocan mediante obra seca, pegadas sobre la pared o sobre bastidores; en superficies rectas o curvas. Características técnicas son descriptas en Tabla 4.



a

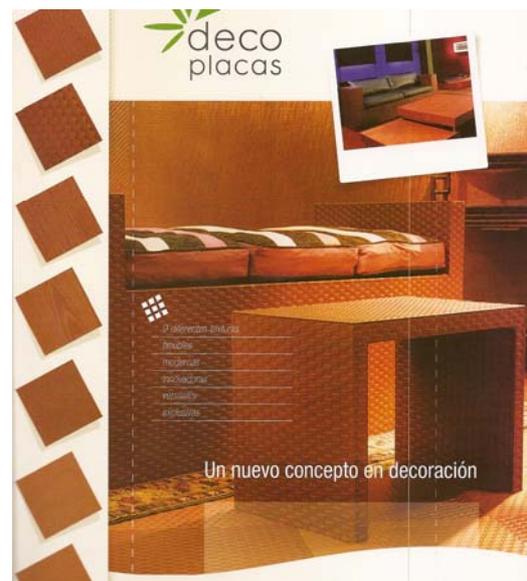
b

Fig 33 a: Catalogo Corlock; b: aplicaciones

Tabla 4: Especificaciones técnicas Tableros Corlock

Espesor medio	4,8 mm
Medidas	1,22 x 2,75 m
Peso promedio	5 k/m <sup>2</sup>
Densidad	900- 1100 k/m <sup>3</sup>

**Decoplacas.** (Fig. 34 a y b). Son láminas para revestimiento de puertas, muebles, paredes, cielorrasos o pisos. Están fabricadas con fibras de madera de eucaliptos prensadas a altas temperaturas. Se fabrican por un proceso húmedo, donde no intervienen componentes químicos, ya que el único ligante de las fibras es la lignina propia de la madera. La alta densidad alcanzada en este proceso permite una mayor resistencia del producto a golpes, rayaduras, desgaste y humedad. El revestimiento decoplacas – de 3 mm de espesor - se aplica con adhesivo de doble contacto. Sus características técnicas son descriptas en Tabla 5.



a

b

Fig 34 a: Catalogo decoplacas; 34 b: aplicaciones

Tabla 5: Especificaciones técnicas Decoplacas

Características	Valores
Espesor medio	3,2 mm
Medidas	1,22 x 2,75 m
Peso promedio	3,2 k/m <sup>2</sup>
Densidad	1000 k/m <sup>3</sup>
Absorción (sumergido en agua 24 h)	20 %

**Guillermina MDF.** (Fig. 35 a, b y c). Son tableros de fibra de madera de media densidad. Su nombre se debe a la ubicación de la planta de elaboración: Villa Guillermina (Prov. de Santa Fe). La principal materia prima utilizada es madera de pino.

Este tipo de tableros se caracteriza por buenas propiedades para el corte, maquinado y pintado. Sus principales características son: superficie suave, calidad optima de moldurado, color claro y uniforme, perfil de densidad equilibrado, baja abrasividad, buenas propiedades físico- mecánicas y calibración de espesores, limitada absorción de pintura.

Tabla 6: Especificaciones técnicas de Guillermina MDF

Características	Valores
Ancho	1830 mm
Largo	3660 mm
Peso promedio	3,2 kg/m <sup>2</sup>
Densidad	650 kg/m <sup>3</sup>
Humedad	11 %

El tablero es utilizado en trabajos de carpintería, paneles ranurados, instalaciones comerciales, aberturas, juguetes, tabiques interiores, estantes, pisos deportivos y entrepisos, gabinetes de audio y TV, puertas, molduras, zócalos, contramarcos, cenefas, cornisas, cajones , cielorrasos, balustros, peldaños, pasamanos y todo tipo de muebles. Sus propiedades se describen en Tabla 7

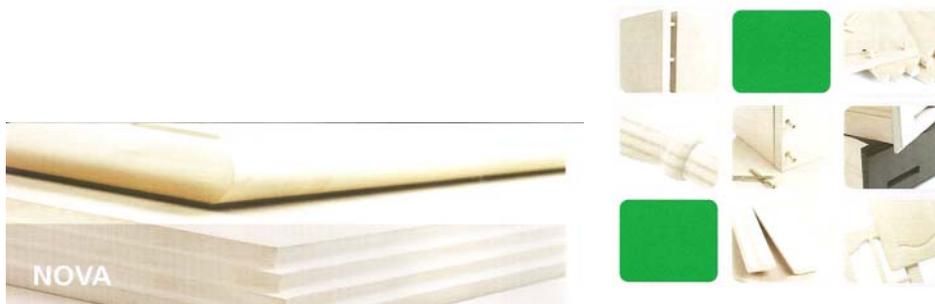
Las variedades son:

**Nova:** MDF de densidad estándar y fabricado con madera de pino

**Nova MDF RH:** estable a la humedad para uso en interiores, según el fabricante. Esta formulado para una mejor estabilidad dimensional, respecto de los paneles normales.

**Fibromadera HDF,** es un panel de fibra de alta densidad con resistencia a la humedad aumentada, desarrollado para su aplicación en pisos flotantes interiores

**Tempora** es un panel de densidad estándar, con buenas cualidades para el maquinado, y costo accesible



a b  
Fig 35 a y b: Aplicaciones guillermina MDF

Tabla 7: Características físicas y mecánicas de Guillermina MDF

Espesor	mm	9	12	15	18	22	25	30
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	760	740	740	740	720	700	700
Tracción perpendicular a caras	N/mm <sup>2</sup>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Flexión	N/mm <sup>2</sup>	42	42	40	38	38	32	32
Arranque de tornillos en caras	N	---	---	2000	2200	2200	2200	2200
Arranque de tornillos en cantos	N	---	---	1700	1800	1800	1800	1800
Hinchamiento 24 hs.	%	12	12	10	9	8	8	7

**Placas con hojas secas trituradas.** En la Universidad Nacional de San Juan, dos Diseñadores industriales – Victoria Granero y Darío Aravena-, desarrollaron un nuevo material a partir de hojas secas caídas y resina sintética, llamado MAHS – material aglomerado de hojas secas. (Fig. 36 a y b).

El trabajo propone un destino para el importante volumen de hojas que se caen de los árboles urbanos en época otoñal, en la región de cuyo. Están aglomeradas con resina sintética

Las propiedades del nuevo material son: densidad media, estructura semicompacta, buena adherencia y aptitud para el clavado y el aserrado. La textura superficial es levemente áspera, y color marrón, según las especies de árboles que intervengan.

Las propiedades se describen en Tabla 8.

Tabla 8: Características MAHS

Densidad	Media
Resistencia a la compresión	alta
Modulo de Elasticidad 18 mm	Bajo
Tensión de rotura max 18 mm	Medio
Resistencia a la extracción de tornillos en 18 mm cara y canto	satisfactorio
Hinchamiento por inmersión (24 hs)	3,62 y 8,50 %



a



b

Fig 36 a : Placas MAHS; Fig 36 b: Aplicaciones

#### 1.5.4.2.- Resinas aplicables a tableros de partículas aglomeradas

El término “adhesivo” es aplicado a una sustancia que puede mantener unidos a dos o mas cuerpos por contacto superficial, de modo que las piezas resistan esfuerzos físicos y mecánicos. La unión incluye aspectos mecánicos, y aspectos físicos y químicos ([www.quiminet.com/pr1/Adhesivos.htm](http://www.quiminet.com/pr1/Adhesivos.htm))

Composición de los adhesivos:

- Componente principal: material que actúa de ligante. Actualmente se corresponden con productos orgánicos de síntesis.
- Endurecedores: sustancias que se añaden para acelerar su fraguado.
- Cargas: sustancias que se agregan para mejorar las características del adhesivo. Pueden ser productos insecticidas, fungicidas, ignífugos.
- Solventes: vehículo en que va disuelto el adhesivo. Pueden ser acuosos, orgánicos, hidrodispersables, espumas.

Existen varias maneras de clasificar los adhesivos. Una de ellas es:

- Reactivos: donde el curado se realiza después de su aplicación: epoxi, siliconas, cianoacrilatos, anaeróbicos, poliuretanos.
- No reactivos: polimerizados antes de su aplicación: colas y adhesivos de contacto, PVC, colas blancas, cintas adhesivas.

Otra clasificación es según su comportamiento:

- adhesivos termoplásticos: se ablandan hasta la fluencia, como ventaja para aplicaciones de sellado. Resistencia al despegue entre buena y moderada. (acetato de polivinilo –PVA-, y policloruro de vinilo –PVC-.)
- Adhesivos elastómeros: vulcanizados o con enlaces cruzados, dan mejores valores a la resiliencia, presentan menos fluencia y tiene mayor resistencia al calor que los termoplásticos. Se destacan por su resistencia a flexión
- Adhesivos termoestables: están formados por polímeros que experimentan por curado una transformación física y química irreversible que los hace infusibles e insolubles. Las reacciones de curado pueden ser por condensación o por adición. Tienen buena resistencia a la fluencia, alto modulo de elasticidad y mayor resistencia a la temperatura que los otros

Nascimento (2003) y Olmos (1992) clasifican los adhesivos en dos grupos básicos según su origen:

- Adhesivos de origen **natural animal** (almidón, caseína, albúmina). Son preparados a partir del colágeno de los mamíferos, proteína principal del cuero, huesos y tendones. La caseína es obtenida de la leche desnatada por precipitación con ácido sulfúrico, clorhídrico o láctico). Los adhesivos de origen **vegetal** (mamona o tanino) son solubles o dispersables en agua. Extraídos de material primas naturales por procesos simples. Los almidones, que constituye la principal fuente de adhesivos pueden extraerse de raíces, medulas y tubérculos de las plantas.
- Adhesivos de origen **sintético**. Son los obtenidos industrialmente mediante síntesis orgánica. Son termoestables los adhesivos de urea, resorcinol, fenol, melamina, polivinilo y poliéster

Los adhesivos sintéticos se dividen en:

- A prueba de agua: fenol formaldehído, resorcinol formol formaldehído, melamina formaldehído, isocianato y poliéster
- Resistente al agua: urea formaldehído, acetato de polivinil modificado
- No resistente al agua: acetato de polivinil

## **Adhesivos y sus características**

Fenolformaldehido (FF)

- Fragua con temperaturas entre 130 °C y 160 °C
- Resiste la exposición prolongada al calor y a ciclos de secado y humedad
- Resiste el ataque biológico (hongos e insectos)
- Resiste la acción química de grupos agresivos, como álcalis, preservantes de madera y aceites
- Debe controlarse la humedad
- Se infiltra en las partículas de madera fina y porosa
- Coloración oscura

Resorcinol Formol Formaldehído (RF)

- Posee las características de resistencia del FF y puede ser utilizado a temperatura ambiente
- Costo elevado
- Coloración fuerte

Melamina formaldehído

- Alta durabilidad
- Coloración clara
- Fortalece al adhesivo a base de resina ureaformaldehido
- Costo elevado
- Temperatura de fragüe superior a 125 °C

Isocianato

- Esta indicado para colados
- Son materiales de fragüe lento (de 50 a 100 minutos)

- Una vez aplicado, los materiales deben ser unidos mediante presión uniforme y constante en toda la superficie.
- Se utilizan prensas de platos fríos, de platos calientes o de vacío
- La aplicación mediante pistola requiere la utilización de productos de dos componentes.

#### Poliéster

- Es una material estructural, no exclusivamente ligante
- Coloración clara
- Rápido fragüe a temperatura ambiente
- Costo elevado

#### Urea formaldehído (UF)

- Buena resistencia a humedad
- Costo bajo en relación a otros adhesivos
- Fragüe a temperatura ambiente o alta temperatura ( 90°C a 130 °C)
- Coloración clara
- No resiste ambientes húmedos y/o altas temperaturas
- En estado líquido, su vida útil es limitada (90 días a temperatura ambiente). Se prolonga en ambientes fríos

#### Acetato de polivinil (PVA)

- baja resistencia a la humedad y a temperaturas superiores a 50 °C
- son adecuados como ligante de materiales no sujetos a cargas
- se promueve la cura a través de la evaporación del solvente (agua) en forma rápida a temperatura ambiente
- es un adhesivo de coloración clara y baja abrasión

### 1.5.5.- Cáscaras de maní en materiales de construcción

Existen numerosos trabajos sobre la utilización de desechos agrícolas en mezclas cementicias, aunque sobre la utilización específica de cáscaras de maní se ha encontrado escasa bibliografía.

En la India se han realizado proyectos para la incorporación de distintos desechos en la fabricación de productos cementicios, entre ellos las cáscaras de maní (Rai, 1978).

En materiales de construcción, es conocido el uso alternativo de cáscara de maní como agregado de cenizas para aditivar cementos puzolánicos.

Ching-Ming Chen (School of Forestry. University of Georgia) ha patentado un procedimiento para el uso de cáscara de maní para la extracción de una sustancia química sustituto parcial de resinas fenólicas, que es ampliamente usada como adhesivo (Woodroof, 2003).

Un trabajo desarrollado en la Universidad Nacional de Río Cuarto (Córdoba – Argentina) y en la Universidad de Santiago del Estero (Santiago del Estero – Argentina) describe paneles aglomerados desarrollados con virutas de maderas y adición parcial de cáscaras de maní, usando adhesivo fenólico. Los resultados de la experiencia determinaron que la proporción óptima de agregado cáscaras de maní era el 30 % sobre el total de partículas. (Medina, Ambroggi, 1999)

### **1.5.- Conclusiones de la revisión bibliográfica**

Es abundante la información bibliográfica encontrada acerca del uso de fibras naturales en matrices cementicias. Existen trabajos de gran interés sobre la aplicación de fibras de coco, de sisal, de bagazo de caña de azúcar, de pulpa de celulosa, entre otras.

La técnica recomendada para el moldeo de placas y tejas cementicias combina tratamiento sobre los agregados vegetales, moldeo por vacío y presión dando por resultado placas de buenas propiedades físicas y mecánicas.

El empleo de fibras naturales en matrices poliméricas, ha tenido resultados muy aplicados. El ejemplo más popular es el uso de partículas de madera en la elaboración de tableros que son comercializados ampliamente.

Por su parte resinas poliéster son popularmente empleadas para el moldeo de toda clase de objetos.

Sin embargo, hasta el momento no se han encontrado antecedentes particulares sobre el uso de cáscaras de maní utilizadas como agregados en materiales de construcción y sus aplicaciones. En consecuencia, matrices cementicias y matrices poliméricas muestran ser adecuadas para el empleo con agregado de cáscaras de maní.

## **Capítulo 2: Metodología y estrategias básicas.**

### **Métodos experimentales**

Una metodología de desarrollo de materiales sustentables debe incorporar aspectos ambientales, de desempeño del producto, durabilidad en el tiempo, interacción con la industria generadora del residuo, como así también aspectos sociales. (John, 2004). Según este trabajo, las actividades de investigación y desarrollo difícilmente siguen una secuencia lineal de actividades; no obstante ello, la planificación de las actividades normalmente responde a una secuencia lineal.

En el caso de la presente investigación, la secuencia es una matriz, por momentos cíclica, que obliga a volver a etapas previas para retomar premisas y validaciones. Es también una secuencia interactiva, ya que toma información del contexto en forma permanente y es influida por ella.

#### **2.1. Metodología propuesta.**

##### **2.1.1.- Identificación de residuos de actividades industriales**

La detección del residuo industrial para la investigación y desarrollo de procesos de reciclaje e innovación tecnológica se realizó en base a un relevamiento de las industrias regionales, y una selección posterior en función de la disponibilidad y de la factibilidad de los procesos.

El área de estudio fue delimitada a la provincia de Córdoba.

##### **2.1.2.- Estimación de cantidades**

Para la determinación de las cantidades disponibles del residuo se realizó el relevamiento de los principales destinos de las cáscaras de maní en algunas empresas maniceras. En una de ellas, se relevó el proceso de selección y procesado de maní, las condiciones de acopio del grano y cáscara, el momento de separación de las cáscaras, periodos estacionales, volúmenes disponibles de cáscaras de maní, destinos temporales y permanentes de las cáscaras, así como algunos probables usos no constructivos, de carácter regional.

##### **2.1.3.- Selección de un residuo a ser investigado**

Diferentes criterios para la selección del residuo para ser investigado, que pueden ser considerados aisladamente o en combinación, fueron:

- Riesgo de contaminación ambiental
- Aspectos sociales, como la generación de empleo
- Cantidad en masa o volumen
- Facilidad u oportunidad de reciclaje
- Costo elevado de la disposición
- Interés del generador de residuos,
- Posibilidad de desarrollo de un producto de mayor valor agregado, entre otros.

Se revisaron las condiciones de uso de las cáscaras de maní, según cada uno de los indicadores descriptos.

#### **2.1.4.- Detalles de la disponibilidad de un residuo**

La disponibilidad del residuo no solo fue cuantificada, sino también cruzada con su disponibilidad regional y estacional. La cantidad del residuo generado en forma anual o mensual es vinculada a quien lo produce, cuantas son las empresas en la misma condición, y cual es la situación de acopio del residuo. La disponibilidad del residuo es un dato importante para:

- Determinación de la estructura necesaria para reciclar
- Definición de la tecnología viable para el reciclaje en función de la escala de producción
- Estimación de una producción máxima del nuevo material

#### **2.1.5.- Costos asociados a los residuos**

Se estima el costo estimado de disposición de los residuos, además de costos de tratamientos del residuo, y transporte.

#### **2.1.6.- Proceso de generación, tratamiento y gestión de los residuos**

Esta etapa del relevamiento de información incluye:

- Descripción del proceso industrial que genera el residuo
- Manejo del residuo

#### **2.1.7.- Caracterización del residuo**

Los siguientes indicadores fueron medidos para la clasificación del residuo cáscara de maní:

- a) análisis químico del producto
- b) características físicas como densidad aparente, características morfológicas y granulometría

Esta etapa fue interactiva con las etapas siguientes en la medida que los nuevos productos desarrollados demandaron información sobre el insumo.

#### **2.1.8.- Desarrollo de alternativas de materiales y componentes**

A efectos de la presente tesis se consideran aplicaciones orientadas a componentes de construcción. La investigación se concentra en las alternativas más viables a ser consideradas en términos de desempeño técnico primero, de impacto ambiental, y de viabilidad económica finalmente.

Desde el punto de vista técnico es posible reconocer algunas propiedades de los residuos en función de su posible aplicación. El reciclaje como agregado es una de las formas más comunes y flexibles. Algunas condiciones de reciclaje para agregados son:

- presentar forma granular o poder ser transformado en forma granular, preferentemente cúbica o esférica
- presentar estabilidad dimensional embebido del aglomerante a lo largo del tiempo y durante los ciclos de mojado y secado
- presentar baja solubilidad en agua
- resistir los esfuerzos de la mezcla

Las características del material resultante dependen de las características del agregado: granulometría, forma, porosidad, densidad, trabajabilidad, resistencia mecánica.

En este sentido se elaboraron y ensayaron probetas cilíndricas de cáscaras de maní con diferentes tratamientos en mezclas cementicias. Se tomó como referencia la formulación de cáscaras en estado natural, enteras y molidas. Ambas granulometrías fueron testeadas con el tratamiento de lavado, adición de cal viva, aditivación con silicato de sodio, aditivación con sulfato de aluminio, y también la incorporación de ambos aditivos juntos. Se realizaron ensayos mecánicos de tracción y compresión. También se realizaron ensayos físicos de densidad y absorción de agua. Tras el cruce de indicadores y según los resultados alcanzados, se seleccionaron las formulaciones más aptas para la aplicación en elementos de mampostería: ladrillos y bloques. Se ensayaron las propiedades mecánicas de compresión de los mampuestos, y también propiedades físicas de densidad y absorción de agua. Los datos resultantes se compararon con sus similares para bloques de concreto, bloques cerámicos, ladrillos de tierra cocida y bloques de techo de poliestireno expandido.

El reciclaje como refuerzo de materiales compuestos plantea características diferentes:

- Tratamiento mecánico del residuo vegetal en forma de partículas o fibras
- Compatibilidad con la matriz.
- Resistencia mecánica inicial y propiedades físicas

Como refuerzo de materiales compuestos las cáscaras de maní fueron experimentadas en matriz cementicia. En este caso, los tenores de incorporación de las fibras fueron menores que en el caso de los agregados. Se utilizaron porcentajes de 25 y 50 % en el caso del moldeo de paneles cementicios de 26 x 46 x 6 cm, moldeados con presión en una prensa de 30 T. Se midieron las propiedades mecánicas de flexión.

Compuestos cementicios con incorporación de fibras hasta 10 % fueron elaborados según la técnica de moldeo por vacío seguido de presión. Los resultados alcanzados, en términos de propiedades físicas (densidad aparente, absorción de agua y porosidad aparente) y comportamiento mecánico módulo de ruptura (MOR); límite de proporcionalidad (LOP); energía específica (EE) y módulo elástico (ME) resultaron interesantes.

Una tercera y cuarta alternativas fue desarrolladas incorporando cáscaras de maní en matriz polimérica, usando dos tipos de resina: resina poliéster y resina urea formaldehído.

Resina poliéster fue empleada como ligante de cáscaras enteras en estado natural para la elaboración de probetas con prensa en frío y baja presión (entre 0,10 y 0,1 k/cm<sup>2</sup>). Las formulaciones utilizadas fueron 2:1 p/p y 1:1 p/p. Se ensayaron cuerpos de prueba de 5 x 5 x 10 cm a flexión y compresión en el Laboratorio de Ensayos del Taller de Investigación y Diseño Estructural (TIDE) de la Facultad de Arquitectura de la UNC, con una prensa Universal.

Con las mejores formulaciones se elaboraron paneles de 43 x 1,65 x 3,5 cm. Estos fueron

caracterizados en cuanto a Peso por unidad, densidad, Resistencia característica a la flexión ( $\sigma$  de rotura) de la placa y del material, Permeabilidad al vapor de agua, Índice de propagación de llama (I), y conductividad térmica. Para la evaluación de la puesta en obra, los paneles livianos de cáscaras de maní y resina poliéster fueron aplicados en el cielorraso de 12 m<sup>2</sup> de un prototipo experimental. Se evaluó así condiciones de trabajabilidad, traslado, y montaje, y acabado estético. Se evaluó también allí la durabilidad frente a la presencia de agentes bióticos de degradación, tales como hongos o insectos.

Probetas elaboradas con cáscaras de maní y resina ureica fueron moldeadas con baja presión en frío, con presiones de hasta 1 kg/cm<sup>2</sup>. Fueron elaboradas con relación resina: cáscaras 1: 1 en masa. Los cuerpos de prueba fueron testeados en ensayos de emisión de volátiles (VOCs), para comparar el impacto ambiental del uso de las resinas poliéster y ureica. Estos ensayos fueron realizados en el laboratorio del Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ), de la Universidad Tecnológica Regional, Facultad Regional Córdoba. Los ensayos de los cuerpos de prueba fueron realizados a edad inmediata de moldeo, a 15 días, 1 mes, 2 meses, y 6 meses de elaboradas

Probetas elaboradas con prensa de platos calientes fueron elaboradas con relación de resina: cáscaras al 10 % en masa. Las probetas fueron realizadas en prensa universal en el Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Los cuerpos de prueba elaborados con cáscaras enteras en estado natural y resina ureica fueron testeados en cuanto a densidad aparente y absorción de agua, y se realizaron ensayos mecánicos de flexión, determinando MOR y ME.

### **2.1.9.- Evaluación y Selección de aplicaciones según indicadores físico-mecánicos, ambientales y económicos**

Los resultados de los ensayos físicos y mecánicos de las alternativas de materiales desarrollados, fueron sistematizados y discutidos en función de las propiedades resultantes. Este corpus de información conformo el primer nivel o estadio de evaluación y selección de los materiales con mejores propiedades en pos de su aplicación al diseño arquitectónico.

Las probetas seleccionadas según indicadores técnicos fueron aquellas de mejor comportamiento térmico y mecánico.

El segundo estadio de análisis fue realizado desde el punto de vista ambiental. Seleccionadas las formulaciones de mejor comportamiento mecánico, para el análisis ambiental fue considerada la determinación de la concentración de solventes en material destinado a construcción.

Ensayos ambientales fueron realizados en placas de cáscaras de maní en matriz polimérica: paneles livianos con resina poliéster y con resina ureica.

El tercer estadio de análisis fue desde el punto de vista económico o viabilidad de mercado. El criterio de **viabilidad de mercado** considera aspectos cuantitativos y cualitativos, a nivel académico. Vale decir, la determinación del costo de producción (aspecto cuantitativo) depende de las condiciones de producción del componente o producto, su escala y las condiciones de comercialización (aspecto cualitativo). Por tratarse de un trabajo de carácter científico académico, se estudiaron las condiciones de producción del componente a escala piloto, para poder cuantificar algunas variables económicas tales como: costo de materiales, costo de mano de obra, amortización de equipos, inversión necesaria en infraestructura y su correspondiente amortización, como los principales indicadores.

Finalmente el costo resultante fue comparado con productos referenciales del mercado local.

### **2.1.10.- Aplicación del producto o de los productos al diseño de equipamiento y componentes de construcción. Propuestas de diseño de arquitectura sustentable.**

Siguiendo la metodología propuesta, se considera que el desarrollo de un producto, en general, comprende tres etapas:

- a) investigación de laboratorio para el desarrollo de tecnología básica
- b) desarrollo de tecnología aplicada que contiene el proceso de producción y herramientas de producción y de control de calidad.
- c) Una etapa de pre-producción o producción en escala piloto para el ajuste del producto
- d) Testeo de las propiedades del producto en condiciones de diseño arquitectónico

Se enfatiza que el desempeño técnico de un producto no es el único indicador de aceptación social, o éxito de mercado. El producto, debe adecuarse a objetivos funcionales y estéticos vinculado a su puesta en uso. Para validar estas consideraciones, los materiales que fueron seleccionados en la etapa anterior, fueron testeados en la aplicación de componentes de construcción: ladrillos, bloques y placas cementicias y poliméricas, tal como fue anticipado en la etapa 3.1.8.-

Para avanzar sobre propuestas de diseño arquitectónico, materiales y componentes fueron desarrollados y así, generar alternativas de diseño como elementos esenciales en la definición de los espacios. Dos propuestas de viviendas fueron desarrolladas para demostrar las posibilidades de diseño. .

### **2.1.11.- Conclusiones y prospectiva**

Las conclusiones en el orden técnico, ambiental y económico son presentadas, enfatizando los aspectos sobresalientes de cada etapa metodológica.

Finalmente, futuras líneas de investigación surgidas a partir del desarrollo del presente trabajo son sugeridas

## **2.2. Planeamiento del trabajo experimental**

### **2.2.1.- Materiales**

#### **2.2.1.1. Cáscaras de maní**

Por tratarse de un residuo novedoso para ser aplicado en materiales de construcción, el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las cáscaras de maní constituye un apartado del trabajo experimental, desarrollado en el capítulo 3.

Las cáscaras de maní empleadas son provistas con una composición variada, que llega desde las plantas de acopio del grano. Es destacable la presencia de humus o tierra vegetal, e insectos que son incorporados durante el momento de la cosecha y /o transporte del maní. Ver composición en 3.7 y 3.9

Se utilizaron muestras consistentes en cáscaras en su estado natural, sin triturar, tal como salen de las plantas de procesado en forma de residuo, con desmenuzamiento propio del proceso de

descascarado.

Las propiedades físicas de tamaño, geometría, y composición fueron determinadas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones Metal Mecánicas (CIMM), Delegación Córdoba y Laboratorio de Ciencias de Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia. Estas determinaciones consistieron en observaciones a través de lupa trinocular y observación por Scanning Electronic Microscopy (SEM).

La morfología de la cáscara de maní fue observada con una lupa trinocular de aumento 20 x y registradas con cámara fotográfica digital incorporada en uno de los oculares. Las muestras fueron observadas con luz visible normal no polarizada

### **a. Granulometría**

Para la realización de las experiencias se utilizaron dos tipos de granulometría de cáscaras identificadas por su Peso específico: 100 kg/m<sup>3</sup> para cáscaras enteras y 210 kg /m<sup>3</sup> para cáscaras molidas.

Las cáscaras de maní enteras fueron utilizadas como llegan de las plantas seleccionadoras y procesadoras de maní. Particularmente las muestras de cáscaras enteras están compuestas por distintos tamaños de partículas. Durante el proceso de descascarado, algunas cáscaras se parten al extraer el grano, por lo que las mismas llegan con granulometría variada.

Las cáscaras molidas fueron procesadas en un molino, diseñado y construido por encargo, compuesto por una tolva, un sistema de cuchillas rotativas montadas sobre un sistema de “porta cuchillas” intercambiables que se encuentran adosadas a un motor estriado de acero. En sus laterales posee dos cuchillas fijas regulables para efectuar cortes por cizalla. Las cuchillas son de acero “Bora” de alta resistencia. La zaranda vinculada al sistema descrito, es intercambiable y define la granulometría del producto esperado. Tiene un tamaño de 40 x 20 cm. La zaranda utilizada es una malla metálica con perforaciones circulares de 0.5 cm. de diámetro. El equipo se encuentra provisto por un motor trifásico blindado de 1400 r.p.m. y 10 HP de potencia

### **b. Absorción de agua**

Se usó el método propuesto por Pire (2003). Consiste en el uso de porómetros, cilindros o secciones de caño de PVC de 11 cm. de diámetro y 15 cm. de longitud. En uno de los extremos se fija una tapa plástica en la cual están perforados cuatro orificios de 5 mm. de diámetro en forma equidistante a lo largo de su borde perimetral. Para operar, este dispositivo se coloca en forma vertical con la tapa perforada hacia el fondo.

Se utilizaron cuatro muestras por cada granulometría propuesta. Las muestras de maní se colocaron dentro del porómetro hasta su máxima capacidad, permitiendo su asentamiento.

Los cilindros con las muestras eran colocados en un recipiente con agua cuyo nivel alcanzaba justo debajo del borde superior, de forma de forzar el humedecimiento de la muestra desde los orificios del fondo, permitiendo la salida del aire por la cara superior. A los fines de evitar que el material (cáscaras) no escape por flotación, se coloca en la parte superior un film de polietileno con pequeñas perforaciones y sujeto por una brida a los bordes de la probeta.

Posteriormente cada cilindro era sumergido totalmente en agua por algunos minutos, repitiendo la operación un par de veces para permitir la saturación total de la muestra. Luego de 30 minutos se

colocaron tapones en cada uno de los orificios del fondo y la muestra se extrajo del agua. Posteriormente, se colocan los porómetros sobre un recipiente graduado, se quitan los tapones y se mide el volumen de agua (Va) drenado por espacio de 10 minutos. Se extrae la muestra húmeda de los tubos y se mide su peso (PH); y luego se coloca en estufa a 105 °C para obtener el peso seco (PS). El procesamiento de cada muestra fue repetido 5 veces.

Se realizaron el siguiente cálculo para la determinación de:

$$\text{Capacidad de retención de agua (\% volumen)} = \frac{\text{PH} - \text{PS}}{\text{Pa} \times \text{Vc}} \times 100$$

Donde:

- Va: Volumen drenado (cm<sup>3</sup>)
- PH: peso húmedo de la muestra (g)
- PS: Peso seco de la muestra (g)
- Pa: peso específico del agua (1g/cm<sup>3</sup>)
- Vc: volumen del tubo o cilindro (cm<sup>3</sup>)

### c. Análisis químico

El análisis experimental de la cáscara de maní objeto de este estudio fue llevado a cabo en el Laboratorio de Química Biológica de la facultad de Ciencias Agropecuarias (UNC), mediante análisis de DQO. Celulosa, Hemicelulosa. Fibras insolubles (celulosa + lignina) y solubles (hemicelulosas) fueron determinadas por el método gravimétrico enzimático (Asp et al. 1983), y lignina mediante separación de la celulosa a partir de las fibras insolubles por lavado con ácido sulfúrico (72%) (Van Soest et al. 1980), concentración de C soluble por digestión humedad de Walkley & Black (Nelson & Sommers 1982)

#### 2.2.1.2. Ligante Cemento

Para la elaboración de las probetas cilíndricas para ensayo de compresión y tracción, el aglomerante utilizado fue cemento Pórtland con filler calcáreo CPF 40, marca MINETTI, que se describe en la Tabla 9

Tabla 9: Composición química de cemento CPF 40 MINETTI

Compuesto	Proporción (% masa)
	Mínimo - máximo
CaO	58 - 66
SiO <sub>2</sub>	18 - 26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4 - 12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	1 - 6
MgO	1 - 3
SO <sub>3</sub>	0.5 - 2.5
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	≤1

El cemento fillerizado es el producto que se obtiene de la molienda de clinker Pórtland y material calcáreo, con la adición de pequeñas cantidades de yeso (SO<sub>4</sub>Ca.2H<sub>2</sub>O) como regulador del fraguado. El contenido de material calcáreo, está limitado por Norma IRAM 50.000 a 20 %.

Sus características son descriptas según el protocolo de análisis físicos, químicos y mecánicos del Cemento Pórtland con "Filler" Calcáreo Minetti CPF40 origen Planta CD Sur (Malagueño)<sup>1</sup> Sus propiedades son descriptas en Tablas 10, 11 y 12

Tabla 10: Propiedades químicas de cemento Minetti CPF40

ANALISIS QUIMICOS		UNIDAD	VALOR MEDIO	REQUISITOS IRAM 50000
Pérdida por calcinación	(IRAM 1504)	%	5.60	≤12,00
Residuo insoluble	(IRAM 1504)	%	2.59	≤ 5,00
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	(IRAM 1504)	%	2.70	≤ 3,50
Óxido de magnesio (MgO)	(IRAM 1504)	%	3.26	≤ 6,00

Tabla 11: Propiedades físicas de cemento Minetti CPF40

ENSAYOS FISICOS		UNIDAD	VALOR MEDIO	REQUISITOS IRAM 50000
Retenido tamiz 75μ	(IRAM 1621)	%	4.27	≤ 15,00
Superficie específica Blaine	(IRAM 1623)	m <sup>2</sup> /k	355	≥ 250
Expansión en autoclave	(IRAM 1620)	%	0.16	≤ 1,00
Tiempo de fraguado (IRAM 1619)	Inicial	minutos	146	≥ 45
	Final	horas	05:02	≤ 10

Tabla 12: Propiedades mecánicas de cemento Minetti CPF40

ENSAYOS MECANICOS		UNIDAD	VALOR MEDIO	REQUISITOS IRAM 50000
Resistencia a la compresión (IRAM 1622)	2días	MPa	21.71	≥ 10
	28días	MPa	41.83	≥ 40 y ≤ 60

Fuente: Minetti (2007)

Compuestos cementicios con pulpa de celulosa de eucalipto refinada y sin pulpa de celulosa fueron realizados. En la elaboración de los cuerpos de prueba moldeados por la técnica de vacío seguido de presión obtenidas de placas prensadas, la matriz fue preparada con Cemento Portland Normal marca Caue tipo CPV ARI (cemento de alta resistencia inicial, NBR-5733, ABNT, 1991) Este tipo de cemento contiene reducida cantidad de adiciones minerales. La matriz cementicia fue adicionada con filler calcáreo marca Itau, Brazil). La composición de cemento Pórtland y filler calcáreo son presentados en la Tabla 13.

<sup>1</sup> Planta Córdoba tiene certificado su Sistema de Aseguramiento de la Calidad bajo ISO 9001: 2000 para toda su línea de cementos.

**Tabla 13:** Composición química de cemento Portland OPC V y filler calcáreo.

Componente	Cemento tipo OPC V	Filler calcareo
	Contenido (% en masa)	
Analisis en cenizas	3.5	40.90
SiO <sub>2</sub>	18.5	7.30
CaO	60.1	27.90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.4	1.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.6	1.10
MgO	5.2	19.10
Cão libre	1.8	-
residuo Insoluble (IR)	0.7	-
alkalis Equivalencia	0.6	-
Na <sub>2</sub> O	-	0.02
K <sub>2</sub> O	-	0.40
SO <sub>3</sub>	3.3	0.50
Total	100	99.0

Fuente: Laboratorio de Caracterizacão Tecnológica, Escola Politécnica, USP, Brazil

### 2.2.1.3.- Ligante polimérico: Resina poliéster

La resina poliéster es un polímero insaturado que reacciona por entrecruzamiento con estireno y es "activada" por la acción de un catalizador y un acelerante. La resina polial 340 es una resina poliéster insaturada, ortoftálica, de elevado peso molecular, de mediana reactividad, no acelerada, de muy baja absorción de agua, y elevada resistencia a los agentes químicos.

Como reactivos, se usa peróxido de metil etil cetona (MEK) y Octoato de Cobalto (Co). Estos dos reactivos cuando son incorporados reaccionan con la resina y el estireno para provocar una reacción de entrecruzamiento (cross-linking) que da como producto final un material termorígido. El endurecimiento es una cuestión de tiempo y temperatura. En estos casos el empleo más frecuente de la resina es en laminados reforzados con fibra de vidrio, en la construcción de piezas de alta sollicitación mecánica

Así, el ligante utilizado es un compuesto de resina polial 340, monómero de estireno, perly-ox-101 (peróxido de metil etil cetona), y acelerador OC al 2,5 % (octoato de cobalto). Todos los componentes fueron provistos por Poliresinas San Luis SA. Cabe destacar que la resina fue obtenida realizando reciclado químico de PET (polietileno tereftalato) como insumo principal para su fabricación, según datos del fabricante. Tabla 14

La resina poliéster se provee en tambores de 220 kg. o fraccionada. Las resinas poliéster insaturadas se deben almacenar a temperaturas de 25 °C o menor.

Tabla 14: Descripción del adhesivo: Resina polial 340

Propiedades físico - químicas			
	Norma	Unidades	Valores
Aspecto			Líquido color amarillento levemente turbio
Viscosidad	TM-002-2	cPs	1100 - 1400
Valor ácido	TM-004-1	mgKOH/gr	10-25
Densidad	TM-001-1	Gr/cm <sup>3</sup>	1,11-1,15
Tiempo de Gel	TM-003-1	minutos	09-17
Temperatura pico exotérmico	TM-003-1	°C	160-190
Tiempo al exotérmico	TM-003-1	minutos	17-26

Estabilidad en estufa a 80°C	TM-042-1		Mayor que 72 hs.
Estabilidad a 20°C a la oscuridad			Mayor que 6 meses
Concentración de Estireno	TM-005-1	%	42-47
Concentración Linear	TM-007-1	%	1,9-2,2
Color Gardner	TM-041-1		Menor que 5

Nota: Para tiempo de Gel y Temperatura pico exotérmico,

acelerador Octoato de Cobalto 2,5 %	0,5 %
Catalizador Butanos M50	1,5 %
Temperatura	30 °C

Propiedades mecánicas de la resina sin refuerzos			
	Normas	Unidades	Valores
a) Tracción Resistencia	ASTM D 638	Kg/cm <sup>2</sup>	350 ± 50
Modulo	ASTM D 638	Kg/cm <sup>2</sup>	37800 ± 3000
Elongación	ASTM D 638	%	1,7 ± 0,2
b) Flexión Resistencia	ASTM D 790	Kg/cm <sup>2</sup>	1050 ± 100
Modulo	ASTM D 790	Kg/cm <sup>2</sup>	37200 ± 3500
Elongacion	ASTM D 790	%	3,3 ± 0,3
c) Temp. deflexion bajo carga	ASTM D 648	°C	70 ± 5

Estos resultados fueron determinados en el Laboratorio Poliresinas San Luis S.A.

Fuente: Poliresinas San Luis (2007)

#### 2.2.1.4.- Ligante polimérico: Resina ureica

Adhesivo urea formaldehído es usual en el medio industrial para la producción de tableros de partículas. Según la industria Alba Química Ltda., el adhesivo denominado Cascamite PB-2346 es una resina a base de urea-formaldehído, en solución acuosa. Esta resina ha sido desarrollada especialmente para la fabricación de tableros de partículas de madera aglomeradas.

Los tableros de partículas de madera aglomeradas producidas con Cascamite PB\_ 2346 normalmente presentan emisión de formol, clasificada en la categoría E-2. La composición de Cascamite PB- 2346 con Cascamite FS-2045 reduce sensiblemente la emisión de formol. La resina urea formaldehído presenta las siguientes características como muestra la Tabla 15.

Tabla 15: Características de resina urea formaldehído

Urea formaldehído – Cascamite PB - 2346	
Apariencia	Liquida, blanco, lechoso
Tenor de sólidos (0,5 g/3h/105 °C)%	66-60
Viscosidad (Broofield LVF, 2/30/25 °C)cP	200-300
pH (25 °C)	7,8 – 8,2
Densidad (25 °C) – g/cm <sup>3</sup>	1.275 – 1.298
Forml libre , % (despues 24 h d eproduccion)	Maximo 0,2
Tiempo de gel (BWG)* 5g de mezcla : 100 g de resina + 2 g	

\* de sulfato de amonio PA

Fuente: Alba Química (2002)

La formulación de Cascamite como ligante prevé la incorporación de un catalizador (solución acuosa de sulfato de amonio o cloruro de amonio) y aditivos (emulsión de parafina, amoniaco, agua). La aditivación dependerá del equipamiento utilizado, condiciones de prensado, y propiedades físicas deseadas de los paneles.

## **2.2.2.- Técnicas, Métodos y procesos experimentales**

### **2.2.2.1.- Morteros de Cáscaras de maní en matriz cementicia**

#### **a.- Determinación de interferencias en la interfase cemento- cáscaras de maní.**

El estudio de las propiedades resultantes de la elaboración de materiales con cáscaras de maní y cemento constituye el capítulo 3. Inicialmente fueron testeados comportamientos de las cáscaras de maní en estado natural y cemento, y luego fueron estudiadas reacciones de tiempo de fragüe y resistencia mecánica en pastas elaboradas con extractos de cáscaras de maní en diferentes condiciones y cemento. El objeto de estas experiencias era simular (y registrar) qué fenómenos ocurrían en el interior de las mezclas cuando las cáscaras de maní eran adicionadas con agua en presencia de cemento.

Los análisis consistieron en determinación de tiempo de fragüe y análisis de resistencia a compresión, llevados a cabo en el Laboratorio del Departamento de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

#### **a.1.- Ensayo de tiempo de fragüe**

Con el propósito de explicar la interferencia en el endurecimiento del cemento en presencia de agregado de cáscaras de maní, se realizó el ensayo de determinación en el tiempo de fraguado, según Norma IRAM 1619. El propósito del ensayo era la determinación de los tiempos de fragüe de las pastas cementicias en presencia de extractos solubles de cáscaras de maní.

Se realizó la determinación de 4 tiempos de fraguado de pasta de cemento: una pasta patrón de cemento y agua, y tres reemplazando el agua por tres extractos líquidos vegetales de cáscaras de maní. La pasta de consistencia normal correspondiente fue determinada previamente.

Para la obtención de los extractos solubles se tomaron tres muestras de cáscaras de maní de 300 gr. cada una, inmersas en un litro de agua. Cada una de ellas, fue sumergida en agua en tres diferentes condiciones, a temperatura ambiente por espacio de 48 h. Las primeras dos muestras fueron denominadas limpias debido al bajo contenido de tierra (materia orgánica) adherida en las paredes de las cáscaras. La tercera muestra tenía un gran contenido de tierra vegetal adherido en las cáscaras, por efecto de las condiciones de humedad ocurridas en el momento de la cosecha. Las tres soluciones fueron obtenidas según el siguiente detalle:

- ✓ Solución 1 : Agua + cáscaras de maní
- ✓ Solución 2 : Agua en contacto por 24 h. con cemento, con medición pH 12, + cáscaras de maní

La obtención de una solución bajo condiciones de pH 12 fue elegida para coincidir con el pH del sistema de agua cementicia existente en las primeras edades de fraguado de los morteros con agregados cáscaras. En condiciones reales, la obtención de extractos solubles de la cáscara de maní se realiza bajo las mismas condiciones de agua cementada o agua de poros.

En un análisis realizado por el Centro de Química Aplicada (CEQUIMAP) de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Córdoba, los principales elementos encontrados en la composición química del agua cementada se describen en la Tabla 16

Tabla 16: Análisis del agua cementicia o agua de poros

Parámetro ensayado	Resultado	Unidad de medida
Hierro	< 0,28; LQ;LD:0,10	mg/l
Aluminio	No pudo determinarse	
Calcio	649	mg/l
Magnesio	0,34	mg/l

Donde:

LQ: Límite mínimo para la cuantificación

LD límite de detección

Se observó que se encuentran diferentes iones metálicos provenientes del cemento, principalmente calcio, aluminio y magnesio. No se evaluó la presencia de iones sodio (Na) y potasio (K) en la muestra, pues su presencia en la composición química en un cemento Pórtland tipo I es inferior al 1 %.

- ✓ Solución 3: Agua + cáscaras de maní sucias ( cáscaras con abundante cantidad de tierra adherida sobre la superficie de sus paredes)

Transcurridas 48 hs., las cáscaras fueron separadas de sus extractos y mezcladas con cemento para obtener las muestras del ensayo de tiempo de fraguado

La Norma IRAM 1619, denominada Tiempo de fragüe del cemento Portland fue utilizada como referencia para el ensayo. La Norma permite la medición del tiempo de fraguado en relación a diferentes cementos, no obstante, la misma fue utilizada a efectos de un análisis comparativo. Así, el endurecimiento de las pastas cementicias realizadas con cemento y extractos de cáscaras de maní pudo ser determinada a ciertos intervalos.

La pasta modelo de cemento y agua limpia fue utilizada como referencia (muestra 0). En los otros tres casos, el agua pura fue reemplazada por los extractos líquidos vegetales de cáscaras de maní. Las pastas ensayadas fueron elaboradas según las características descriptas en la Tabla 17

Tabla 17: Dosajes de elaboración de las muestras para el ensayo de Tiempo de Fraguado

Identificación de las muestras	Cemento ( gr)	% de agua respecto de cemento
0	500	25.5
1	500	26
2	500	26
3	500	26

En todos los casos, fue determinada la consistencia normal de las pastas. El ensayo fue realizado con un aparato Vicat descrito en la Norma IRAM 1612. Consiste en un soporte con una aguja que mide la penetración de la misma en las pastas de cemento a intervalos regulares. La pasta se coloca en estado fresco en un molde con forma de anillo tronco cónico cuya base mayor mide 70 mm., la base menor 60 mm. y 40 mm. de altura. Se apoya sobre una placa cuadrada de vidrio de 100 mm. de lado aproximadamente.

El procedimiento consiste en la preparación de las pastas con la mezcladora en posición de

marcha, donde se vuelca el agua en el recipiente, se agregan 500 gr. de cemento y se deja 30 s en reposo. Se mezcla durante 30 s a velocidad lenta. Luego se remueve la pasta y la adherida en el recipiente, y se mezcla durante 1 minuto a velocidad rápida.

Para la determinación de la consistencia, se coloca el molde con su base mayor apoyada sobre la placa de vidrio y se llena rápidamente con espátula. Esta operación se realiza cuidando de no comprimir la pasta.

Se hace bajar la aguja de la barra móvil hasta que establezca contacto con la placa de vidrio, fuera del molde. Se toma la lectura inicial. Luego se lleva el conjunto del molde debajo del aparato Vicat (Fig 37), se centra debajo del vástago, se hace descender el mismo hasta que el extremo de la sonda tome contacto con la superficie de la pasta, e inmediatamente se suelta la barra. Se repite esta operación cada 15 min., en puntos separados entre sí, hasta obtener una penetración que diste 5 mm. o más de la placa de vidrio. Se registran los resultados de todas las operaciones en todas las penetraciones 30 s. después de soltar la barra.

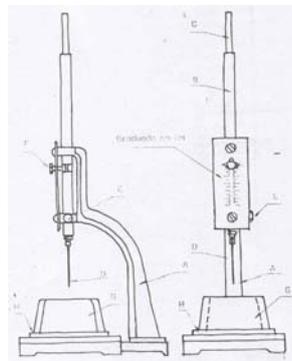


Figura 37: Aparato Vicat

Se considera iniciado el fraguado, o fraguado inicial, cuando 30 s después de soltar la barra, la aguja queda retenida a 5 mm. de la placa de vidrio. Se registra entonces el tiempo transcurrido desde que se agregó el agua al cemento y se expresa como tiempo de fraguado inicial. Se considera completado el fraguado, cuando la aguja no produce impresión apreciable en la superficie de la probeta, realizando esta verificación en ambas caras de la probeta. Se registra entonces el tiempo transcurrido desde que se agregó el agua al cemento y se expresa como tiempo de fraguado final.

#### **a.2.- Ensayo de determinación de resistencia a compresión de mezclas de cemento con extractos de cáscaras de maní.**

Los ensayos se realizaron según Norma IRAM 1622, en base a las probetas obtenidas en el ensayo de determinación de tiempo de fragüe. El método consiste en la determinación de las resistencias a la compresión en probetas prismáticas, de medidas 40 mm x 40 mm x 160 mm. Las probetas se fabrican con un mortero plástico, compuesto de una parte de cemento y tres partes de arena normalizada, en masa, y con una relación agua/cemento de 0,50. El mortero se prepara por mezclado mecánico y se compacta en un molde utilizando una compactadora mecánica. El molde que contiene las probetas se conserva en cámara húmeda durante 24 h. y las probetas desmoldadas se sumergen en agua hasta el momento de realizar los ensayos de resistencia.

Se realizaron 4 ensayos de resistencia de mortero de cemento. Uno de cemento y agua, y tres fórmulas diferentes reemplazando el agua por tres extractos de cáscaras de maní. Se obtuvieron 2 muestras de cada fórmula, y se determinó la resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días.

En todos los casos se utilizó cemento Pórtland y arena silícea para la elaboración de las probetas.

Se utilizó la prensa Ibertest, capaz de aplicar cargas de hasta 10 kN, y con una velocidad de carga de 2400 N/s  $\pm$  200 N/s. La prensa está provista de un dispositivo indicador, construido de forma que el valor indicado en el momento de la rotura de la probeta permanece fijo después que la máquina de ensayo ha sido descargada.

## **b.- Compuestos de cáscaras de maní – cemento sin presión.**

### **Determinación de propiedades mecánicas - tracción y compresión – y propiedades físicas – densidad y absorción de agua -.**

Se realizaron ensayos de tracción simple y de compresión simple a fin de comparar la eficiencia de diferentes tratamientos incorporados al compuesto cáscaras de maní – cemento.

El ensayo de tracción simple tenía el propósito de medir la propiedad de cohesión del aglomerante. Bajo la hipótesis que una probeta rellena de algún agregado liviano, tal como perlas de poliestireno expandido podía ofrecer alguna resistencia a compresión, pero ninguna resistencia a tracción, se consideró que el ensayo de tracción fuera elegido para la caracterización de las propiedades cohesivas de las diferentes mezclas. Luego se compararon los resultados provenientes del ensayo de compresión simple de probetas idénticas.

## **b.1.- Dosificaciones de las mezclas**

### **b.1.1. Relación agregado- aglomerante**

Para la realización de las probetas se utilizó la relación constante 1:6 v/v cemento- cáscara de maní. La misma dosificación fue empleada utilizando cáscaras de maní enteras y cáscaras de maní molidas. Medida en peso, esta relación agregados – ligante no es constante, ya que los tratamientos previos realizados en las cáscaras, particularmente la adición de cal, modifican el Pe del agregado al momento de la dosificación. No obstante, medidas las cáscaras en estado natural, ambas granulometrías presentan los ratios cáscaras – cemento (g/g) descriptos en Tabla 18:

Tabla 18: Relación cáscaras de maní – cemento según la granulometría de cáscaras de maní

	Ratio cáscaras /cemento (g/g)
Cáscaras enteras	0,76
Cáscaras molidas	1,06

### **b.1.2. Aditivaciones**

Seis diferentes aditivaciones de cáscaras de maní fueron ensayadas a fin de conocer el comportamiento de fragüe y endurecimiento de las cáscaras en presencia de cemento. Los aditivos fueron incorporados según los siguientes criterios: lavado, saturación con cal viva (óxido de calcio) o incorporación de sales minerales:

- ✓ Condición 1: Cáscara de maní natural
- ✓ Condición 2: Cáscara de maní natural lavada con agua

Se sumergió la cáscara de maní en agua pura, en cantidad necesaria hasta que el agua la cubra totalmente y se mantuvo por 1/2 hora. Posteriormente se eliminó el agua dejando escurrir el

sobrante. Esta operación se repite dos veces más. Se deja secar al exterior, durante 96 h.- a temperatura ambiente de 22 °C

- ✓ Condición 3: Cáscara de maní pre tratada con cal

Se humedece la cáscara con agua hasta saturarla. Por cada k de cáscara se utiliza 1,4 l. de agua. Posteriormente se impregna la cáscara humedecida con 0,75 k de cal viva molida (OCa). Se dejó en envase herméticamente cerrado durante 48 h., para que la cal se apague con la humedad de las cáscaras. Las cáscaras mas agua más cal quedan en bolsas herméticamente cerradas en forma previa a la incorporación de cemento. Las relaciones cáscaras – cal viva se mantienen constantes p/p, en forma independiente a las granulometrías adoptadas.

- ✓ Condición 4: Incorporación de silicato de sodio al 2,5 % en el agua de amasado p/p
- ✓ Condición 5: Incorporación de silicato de sodio al 2,5 % y sulfato de aluminio al 2,5 % en el agua de amasado p/p

Para lograr la impregnación con silicatos insolubles, se procedió experimentalmente en dos etapas. Se trabajo con dos sales solubles que al ser puestas en contacto unas con otras se produce la precipitación de silicato insoluble, lográndose esta intra “mineralización” que lleva a mejorar la compatibilidad como ligante del cemento con las cáscara de maní.

La primera impregnación se realizó utilizando silicato de sodio al 2,5 %, el cual fue agregado a la cáscara del maní hasta lograr que el material absorba toda la solución (sin excedentes). Logrado esto, se procedió al agregado de una solución de sulfato de Al al 2,5 % para que reaccione con el silicato anteriormente agregado.

- ✓ Condición 6: Incorporación de sulfato de aluminio al 2,5 % en el agua de amasado

b.1.3. pH del líquido sobrenadante del agua de poros en cada una de las muestras aditivadas.

El objeto del ensayo era conocer si la presencia de aditivos en las mezclas cementicias varían de manera significativa el pH de los compuestos. Para ello se prepararon las soluciones respetando las formulaciones en peso. Se prepararon 6 muestras que representaban la combinación del ligante usado, cemento Pórtland y aditivos utilizados en las probetas (tabla 19).

Se tomó medición del pH de las muestras aditivadas en las cuales cada una contenía las proporciones de ligante y aditivos usadas en cada una de las probetas de morteros de cáscaras de maní para ensayos. Después de haberla agitado en un breve intervalo de tiempo y dejado decantar. Se tomaron mediciones a tiempo 0, a las 3 horas y a 24 horas.

Se usaron tiras de papel indicador de pH con sensibilidad de  $\pm 1$  unidad de pH, marca Macherey – Nagel (MN)

Tabla 19: Dosificaciones utilizadas para determinación de pH en el líquido sobre nadante del agua de poros de cáscaras de maní aditivadas

Serie de tubo de ensayo	Cemento (gr)	Agua (cm <sup>3</sup> )	aditivo
1	6	50	sin
2	6	50	sin
3	6	50	Cal: 4,5 g
4	6	50	Silicato Na al 2,5 %: 6,37 cm <sup>3</sup>
5	6	50	Silicato Na al 2,5 %: 6,37 cm <sup>3</sup> Sulfato Al: 0,160 g
6	6	50	Sulfato Al: 0,160 g

#### b.1.4. Relación agua / cemento (a/c)

La relación agua cemento no se fijó como una variable constante, dada la propiedad de elevada absorción de agua de las cáscaras de maní en estado natural. La cantidad de agua utilizada para cada mezcla dependió de las condiciones de las cáscaras según los pre tratamientos y aditivos empleados, y fue variando según cada dosificación. La relación a/c se describe en la Tablas 19 y 20.

### b.2.- Preparación de los compuestos cementicios

#### b.2.1.- Compuestos de cáscaras de maní enteras

Probetas cilíndricas fueron elaboradas con cáscaras de maní enteras y cemento con idénticos dosajes en volumen, y según las aditivaciones que se describen en la Tabla 20

Tabla 20: Dosificaciones utilizadas en morteros con cáscaras de maní enteras (Pe= 100 kg/m<sup>3</sup>)

Serie de probetas	Cáscara de maní		Cemento		Agua (l)	Relación a/c	Aditivo
	V (dm <sup>3</sup> )	P (k.)	V (dm <sup>3</sup> )	P (k.)			
1	30	4,50	5	5,90	10	2	No contiene
2	30	4,50	5	5,90	8,60	1,72	No contiene
3	30	9,19 (3)	5	5,90	5,4	1,08	cal viva: 3,36 kg relación v/p 12 %
4:	30	4,50	5	5,90	8	1,6	Silicato de Na al 2,5 % (6370 cm <sup>3</sup> )
5	30	4,50	5	5,90	8	1,6	Silicato de Na ( 160 g) y (SO) <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (160 g)
6	30	4,50	5	5,9	10,5	2,1	Sulfato de Al al 2,5 %: 160 g.

- (1) Cáscaras de maní naturales + cemento
- (2) Cáscaras de maní lavadas + cemento. En las cáscaras lavadas, 3.13 l quedan absorbidos durante la etapa de lavado, a los que se agregan 5.47 l de agua en la etapa de amasado de la mezcla
- (3) Para la preparación de las cáscaras pre impregnadas con cal, las cáscaras son humedecidas previamente para que la cal viva reaccione con la humedad aportada por las cáscaras. Parte de esa cantidad de agua se convierte en cal apagada (hidróxido de calcio) y el resto permanece disponible para la posterior reacción con cemento. Para la impregnación con cal se emplearon 6 lts de agua, 3,6 L reaccionaron con cal, y quedaron disponible 2,4 L, a los que se agregaron 2 L más de agua.
- (4) Se agrega una solución de 6,37 l de silicato de sodio (silicato de Na) al 2,5 %. En el momento de mezcla se agregan 1,65 l más de agua (100cm<sup>3</sup>/25 g por cada l)
- (5) Se agrega una solución de 3 l de silicato de Na al 2,5 % y otra solución de 3 L de Sulfato de Al al 2,5 %, a los que se incorporan 2 l de agua.
- (6) El sulfato de Al se disuelven en 4 l de agua, a lo que le agrega 6,5 l de agua en el momento del amasado. ( 25 g/l)

#### b.2.2.- Compuestos con cáscaras de maní molidas

Probetas cilíndricas fueron elaboradas con cáscaras de maní molidas y cemento con idénticos dosajes en volumen, y según las aditivaciones que se describen en la Tabla 21

Tabla 21: Dosificaciones utilizadas en morteros con cáscaras de maní molidas (Pe= 210 kg/m<sup>3</sup>)

Serie de probetas	Cáscara de maní		Cemento		Agua (l)	a/c	Aditivo
	V (dm <sup>3</sup> )	P (k)	V (dm <sup>3</sup> )	P (k)			
1	30	6,30	5	5,90	12	2,4	No contiene
2	30	8.05	5	5,90	6,76	1,32	No contiene
3	30	10.82	5	5,90	8,5	1,7	cal viva: 3,36 kg relación v/p 12 %
4:	30	6,30	5	5,90	15	3	Silicato de Na al 2,5 %: 5,25 lt
5	30	6,30	5	5,90	15	3	Silicato de Na (160gr) y (SO) <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (160 gr)

- (1) Cáscaras de maní naturales + cemento
- (2) Cáscaras de maní lavadas + cemento. En la etapa de lavado, quedan absorbidos 2,05 l de agua, y se agregan 4,71 l de agua en el momento del amasado: 6,76 l de agua en total.
- (3) Se humedecieron las cáscaras molidas con 6,5 l. de agua, de los cuales 1,5 reacciona con oxido de calcio y 5 l quedan libres. En el momento del mezclado con cemento se agregan 3,5 l más.
- (4) Se incorporan 5,25 l de silicato Na al 2,5 %. Al momento de la mezcla se agregan 9.6 l más.
- (5) Cuando se utilizan juntos silicato de Na y Sulfato de Al se respetan las cantidades de droga activa de ambos componentes (160 g) y en ambos casos, las sustancias son llevadas a un volumen final de 3 l de solución cada una. A la mezcla se agregó 9 l de agua.

### b.2.3.- Elaboración de las probetas con los morteros cementicios con cáscaras de maní

Se moldearon 9 probetas cilíndricas de 100 mm. de diámetro y 200 mm. de altura (785 cm<sup>3</sup>) por cada mezcla propuesta.

El mezclado fue realizado en mezcladora mecánica de eje horizontal, y las probetas fueron moldeadas en moldes cilíndricos con compactación manual. Se curaron por 7 días en condiciones de humedad constante, y 28 días en cámara con condiciones de atmósfera controlada, a una temperatura estimada en 20°C.

Para la realización del ensayo de tracción se utilizaron 4 probetas cilíndricas de 100 mm. de diámetro y 200 mm. de altura (Norma IRAM 1541).

Se analizaron 4 muestras a la edad de 28 días para ensayos de resistencia a compresión.

Una probeta adicional de cada muestra fue empleada para la determinación de densidad y absorción de agua.

### b.3.- Ensayo de resistencia a tracción simple

A fin de estudiar la interfase cemento- cáscara se ensayaron las probetas, para determinar la resistencia a tracción directa. De esta manera se establecen valores que miden la cohesión del ligante con el agregado de cáscara de maní.

Se elaboraron 6 series de 4 probetas cada una para el ensayo, para cada granulometría de cáscara de maní. Cada serie se corresponde con la dosificación y aditivos descriptos.

El método consiste en la elaboración de probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura, según las dosificaciones descriptas, y luego curadas durante 28 días. Posteriormente se

realizo el encabezado cementicio con cemento-arena 1:2 en ambos extremos, a fin de fijar una inserto metálico de  $\varnothing$  4.2 mm., desde donde se toma la mordaza de la prensa, para vincular la probeta y la mordaza del equipo de tracción. Fig. 38

Las probetas se ensayaron en prensa universal modelo Ibertest UIB – 60, con mordazas de tracción de carga controlada (la carga en el tiempo se aplica constante). Las probetas se ensayaron a tracción directa hasta la rotura de las mismas.

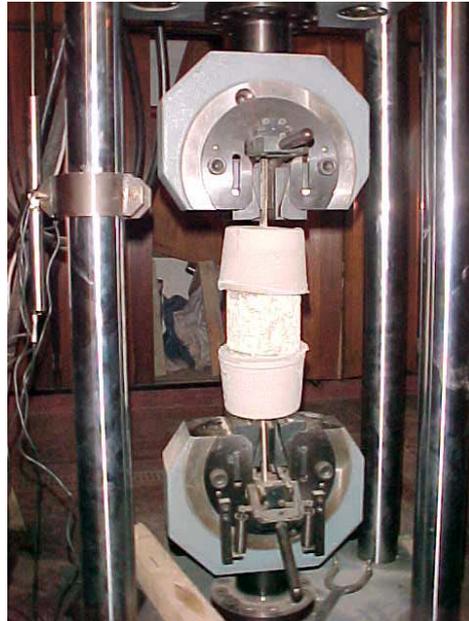


Figura 38: Prensa de Ensayo de Tracción Directa

#### **b.4.- Resistencia a compresión simple**

El ensayo consiste en someter probetas de 100 mm de diámetro x 200 mm. de altura según Norma IRAM 1541. Se ensayaron 4 probetas por cada aditivación, a la edad de 28 días. Cabe destacar, que no se realizaron tests de resistencia a los 7 días debido al retardo en el tiempo de fragüe del cemento en las mezclas con agregados cáscaras sin aditivos, cuya resistencia era muy escasa.

Las probetas fueron ensayadas en una prensa Hibertest UIB 60 con 6000 kg de capacidad máxima. La escala utilizada fue de 1/10

Las probetas se ensayaron encabezadas con mortero cementicio 1:2 (cemento-arena) en los primeros 2 cm. de altura de la probeta de cada lado. Además se agregó una placa de poliestireno expandido de 20 mm. de espesor a fin de asegurar el reparto homogéneo de las cargas.

#### **b.5.- Densidad**

La determinación de densidad de las probetas fue determinada por el método de Arquímedes sobre muestras secas en forma natural. Las probetas fueron moldeadas en un molde de 100 mm de diámetro interno, y en estado seco son descriptas en la Tabla 22

Tabla 22: Descripción de las probetas de cáscaras de maní y cemento

Identificación de probetas	Edad (días)	Dimensiones			Volumen cm <sup>3</sup>
		Diámetro 1	Diámetro 2	Altura	
1 (N)	28	104	105	148	1272
2 (L)	-	-	-	-	-
3 (Ca)	28	105	102	170	1433
4 (Na)	28	103	105	158	1342
5 (Na + Al)	-	-	-	-	-
6 (Al)	28	102	104	163	1358

Nota: Al momento de realización del ensayo no se habían elaborado las probetas correspondientes a cáscaras de maní lavadas y cáscaras de maní tratadas con silicato de sodio y sulfato de aluminio

### b.6.- Absorción de agua

El ensayo de absorción de agua fue realizado sobre peso seco determinado sobre la muestra en estado natural. Se tomó el peso saturado sobre superficie seca con probeta sumergida en agua a 22 °C durante 24 h y escurrimiento durante 1 hora.

Las probetas fueron moldeadas en un molde de 100 mm de diámetro interno, y en estado seco son descritas en la Tabla 19

### 2.2.2.2.- Compuestos de cáscaras de maní – cemento con presión. Técnica de dispersión en agua, moldeo por vacío seguido de presión. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas.

Placas prensadas elaboradas con la técnica de vacío y presión fueron elaboradas con y sin refuerzo de pulpa de celulosa refinada. Pulpa de celulosa sin refinar con concentración de fibras de 5.3 g/L en agua fueron sometidas a un proceso de dilución y posteriormente refinadas mediante varias pasadas a través de un disco refinador de 300 mm de diámetro hasta alcanzar un grado de refinamiento de CSF 210 ml. La pulpa refinada mejora el procedimiento de manufactura de las placas de fibro cemento mediante técnica de succión de agua seguida de prensado (Savastano Jr. et al., 2000).

Se experimentó la técnica de moldeo por vacío seguido de compresión para la elaboración de compuestos. Esta consiste en la elaboración de placas 200 – 200 mm, de donde se obtienen cuerpos de prueba para la determinación de ensayos físicos (absorción de agua, densidad y porosidad aparente) y mecánicos (ensayo de flexión, LOP; MOR, EE y ME).

Esta etapa de trabajo fue realizada en el laboratorio de Construcciones Rurales e Ambientales de la Facultad de Zootecnia e Ingeniería de Alimentos de la Universidad de San Pablo

En la etapa 1 se ensayaron diferentes técnicas para el tratamiento mecánico de las partículas de cáscaras de maní y la preparación de las probetas.

En la etapa 2 se definieron tres aproximaciones de trabajo:

- a. determinación de la **granulometría** de las cáscaras de maní
- b. Determinación del **tenor** de las cáscaras de maní
- c. Determinación del **tratamiento químico** de las cáscaras de maní

## a.- Tratamiento de las cáscaras de maní

### a.1.- Lavado

Inicialmente, las cáscaras fueron lavadas con agua corriente por 4 veces, agitadas por 10 minutos, filtrado de agua y posteriormente secadas en estufa a 60 °C por 24 h. (Fig. 39 a-d)



Fig. 39: Secuencia de lavado de las cáscaras de maní –39a: Cáscaras de maní en bolsas – 39 b: Inmersión en agua – 39 c; Agitación en agua – 39 d: Filtrado de agua

### a.2.- Molido de las cáscaras de maní

Se ensayaron diferentes opciones para el tratamiento mecánico de molido de las cáscaras de maní (Fig. 40 a 44):

- molino manual
- Molino de bolas
- Molino de cuchillas
- Molino de granos
- Licuadora industrial

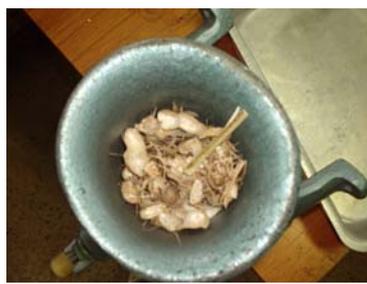


Fig. 40: Molino manual. 40 a: Vista general – 40 b: Vista de la tolva



Fig. 41: Molino de bolas



a



b

Fig. 42: Molino de granos. 42a: Vista general – 42 b: Vista de las cuchillas



a



b

Fig. 43: Molino de cuchillas. 43a: Vista general 43 b: Vista de las cuchillas



a



b

Fig 44: Licuadora industrial. 44a: Vista general – 44b: Vista de las cuchillas

El molino manual resulto dificultoso, lento, de bajo rendimiento.

El molino de bolas, usado por 2 horas, resulto en un agregado laminar, que mantenía el tamaño inicial de partículas

El molino de cuchillas, sin criba, resulto en agregado muy grande en la primera pasada y exceso de polvo con una segunda pasada

El molino de granos, de molienda mas intensa, produjo una alta proporción de polvo.

Se selecciono el tratamiento mediante licuadora que permitió obtener fibras mayores. El tratamiento mecánico de desfibrado por licuidificacion exige medio acuoso, por lo que se trabajó con 1 parte de cáscaras y 1 parte de agua. El tratamiento de licuadificacion consistió entonces en:

- Desfibrado de una parte de cáscaras de maní en una parte de agua durante 5`
- Filtrado por 5` en malla metálica por 5`
- Centrifugado
- Secado al sol por 5 h a 32 °C aprox.
- Secado en estufa a 60 ° hasta alcanzar peso constante (aproximadamente por 24 h.)

El procedimiento es descripto en las Figuras 45 a-g

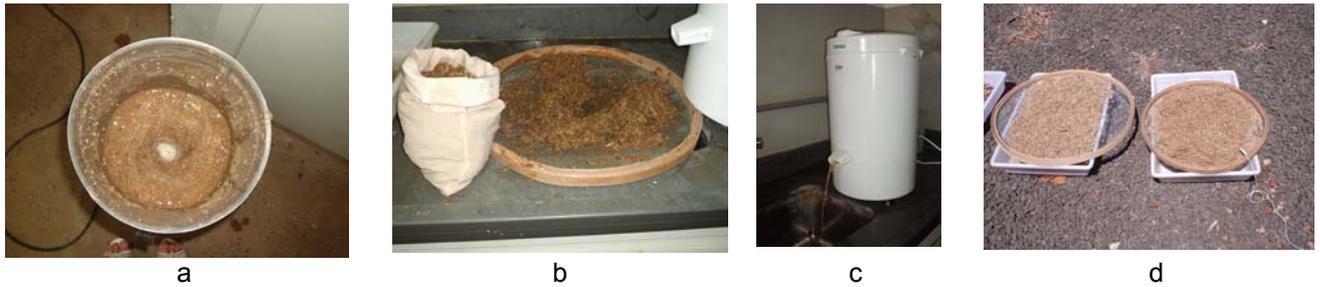


Fig 45: Secuencia de procesamiento mecánico de las cáscaras de maní. 45a. Licuado- 45b: Ecurimiento del agua – 45 c: Secado al sol

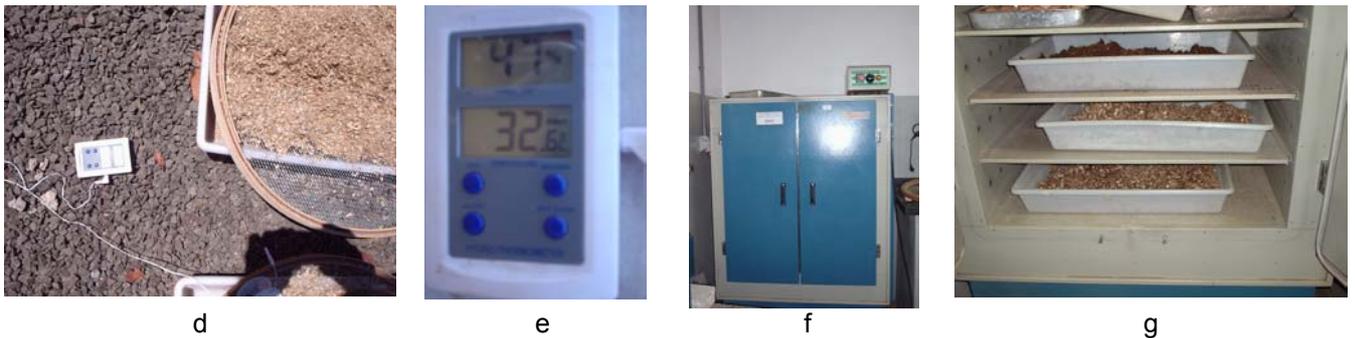


Fig 45 d y e: Temperatura natural de secado- 45 f y g: Secado en estufa. Vista exterior e interior

## b. Elección de la granulometría

### b.1.- Tamizado

A fin de determinar la granulometría mas adecuada se tamizaron las partículas de cáscaras de maní molidas con un agitador mecánico de tamices durante 5 `por cada muestra. En la Tabla 23 se describen los tamices empleados para la caracterización de las diferentes granulometrías:

Tabla 23: Tamices para la separación de las partículas de cáscaras de maní

	Abert en mm	ABNT/ASTM	TYLER / MESH
Gr 1	300	50	48
Gr 2	600	30	28
Gr 3	1.18	16	14
Gr 4 ( granulometrías previas juntas)	1.18	50 + 30 +16	

Por tener un tamaño de partículas muy grandes se descartaron:

	Abert en mm	ABNT/ASTM	TYLER / MESH
Gr 5	2.36	8	8
Gr 6	4.75	4	4

### b.2- Secado

Para la dosificación, se considera el peso seco de las cantidades de sólidos. Para la determinación del coeficiente de humedad, las muestras de fibras de cáscaras de maní de diferentes granulometrías fueron secadas en estufa, a fin de eliminar contenido de humedad. Las

muestras fueron introducidas en estufa a 105 ° por 2 h. hasta alcanzar peso constante. Luego, fueron determinados nuevamente los pesos de las muestras de cáscaras en función de la granulometría, para la elaboración de las placas. Tabla 24

Tabla 24: Contenido de humedad de las muestras de cáscaras de maní

	P i (inicial) gr.	P f ( final) gr.	H (%)
Muestra 1	2,53	2,40	5,14
Muestra 2	2,61	2,47	5,36
Muestra 3	4,57	4,36	4,59
Muestra 4	4,64	4,42	4,74

### b.3.- Preparación de las probetas con pulpa de celulosa de eucalipto

Se realizaron 4 placas con 5 % de adición de partículas de cáscaras de maní y pulpa de celulosa para las 4 granulometrías descritas en c.2.2.A fin de determinar las respectivas adiciones se considero el contenido de humedad de cada una. (Tabla 21)

Se elaboró 1 placa por cada granulometría, con idénticas dosificaciones. Para ello se utilizo aproximadamente 396 gr. de masa, compuesta de la siguiente manera: 5 % de fibras (4% de fibras de cáscaras de maní + 1 % de pulpa de celulosa de eucalipto blanqueado), 80 % de cemento CP V, y 15 % de adición calcárea. Cada placa fue elaborada con las siguientes cantidades, según se describe en Tabla 25

Tabla 25: Cantidades de material para probetas de 6 mm de espesor:

	Con pulpa		
	%	Gr x placa	
Cáscaras de maní	4	15.84	16,65
			16,69
			16,57
			16,59
Pulpa de celulosa	1	3.96	15,84
Cemento CP V	80	316.8	
Adición calcárea	15	59.4	
Agua		-	
		75,88	A/C 0,24
		66,94	A/C 0,21
		76,6	A/C 0,24
total	100	396	

El mezclado y moldeado de las placas fue realizado con la siguiente metodología:

Se mezclaron las cantidades de sólidos determinadas en la tabla 22, con 1,500 l de agua. Las partículas de cáscaras fueron dispersadas en un agitador mecánico marca Fisaton a 1000 rpm por 4 min. Posteriormente, la mezcla fue moldeada en un molde metálico con bomba de vacío para extraer el excedente de agua. Luego, se aplico presión de 15 T a la placa con prensa hidráulica por 5 `.

Las placas fueron curadas en bolsas plásticas durante 48 hs. a temperatura ambiente y luego curadas en una cámara climática marca Thermotron con humedad de 90 % y temperatura de 60°C durante 5 días mas. La secuencia de elaboración de las placas con la técnica de dispersión de las partículas en agua, extracción de agua por vacío seguida de presión se muestra en la Figuras 46 a – l



a



b



c

Fig. 46: Secuencia de elaboración de las placas con pulpa  
46 a: Vista general del agitador mecánico de partículas – 46b: Partículas en suspensión - Fig. 46 c Moldeo de la placa



d



e



f

Fig. 46 d: Bomba de vacío

Fig. 46 e: Placa después de la extracción de agua

Fig. 46f: Prensado



g



h



i

Fig. 46g: Placa moldeada

Fig. 46h: Curado en bolsa plásticas

Fig. 46i: Curado en cámara climática



j



k



l

Fig. 46 j, k y l: Placas resultantes de diferentes granulometrías de cáscaras de maní

Se realizaron ensayos mecánicos de los cuerpos de prueba (CP) en estado seco. Para ello las muestras fueron secadas en estufa a 60 °C durante 24 h, antes de someter los CP al ensayo de flexión.

Al cabo de 7 días se realizaron los ensayos de caracterización mecánica de flexión: LOP; MOR, energía específica; y ensayos de caracterización física: absorción de agua, densidad aparente y

porosidad aparente.

#### b.4.- Preparación de probetas sin pulpa de celulosa de eucalipto

La técnica de preparación de las placas fue modificada, debido al comportamiento de las partículas de cáscaras de maní. Al ser mezcladas en un medio acuoso, con abundante cantidad de agua, las partículas de cáscaras de maní flotaron, especialmente las mas pequeñas, debido a la baja densidad de las partículas. En consecuencia, el aspecto de las placas resulto en dos fases bien diferenciadas en cada una de las caras: una cementicia sin partículas; y otra fase con textura superficial de partículas de cáscaras a la vista.

Con objeto de evitar la separación de las fases, se modifico el proceso de mezclado de las partículas y el cemento. Esta vez se uso una mixturadora de argamasa, de paletas, con menor cantidad de agua a fin de lograr mayor homogeneidad con la dispersión de las partículas. Para ello se repitió el contenido de fibra, cemento y adición calcárea, aunque se elimino la incorporación de pulpa de celulosa. Se adicionó 10 % de contenido de masa a fin de absorber posibles pérdidas de material durante el mezclado. Las dosificaciones y cantidades de cada uno de los materiales se describen en Tabla 26

Tabla 26: Dosificación para el moldeo de placas de cáscaras de maní y cemento sin pulpa de celulosa

Insumos	%	Gr x placa 6 mm	Gr x placa 6 mm + 10 %		
Cáscaras de maní	5	19.8	20,82	22,5	23,65
			20,86		23,70
			20,71		23,53
			20,74		23,56
Pulpa de celulosa	-	-	-		
Cemento CP V	80	316.8	360		
Adición calcárea	15	59-4	67,5		
Agua			<b>68,145</b>	A/C 0,19	
			<b>64,72</b>	A/C 0,18	
			<b>79,36</b>	A/C 0,22	
			<b>84,66</b>	A/C 0,235	
total	100	396	450		

Primero fueron mezclados los componentes secos en orden de cemento, calcáreo, y fibras de cáscaras de maní por 4`. Posteriormente se incorporo el agua suficiente para ser mezclados todos los componentes durante 4` más. Posteriormente se agrego agua en cantidad suficiente para permitir el amasado de la mezcla.

Para ello se utilizo una mixturadora mecánica de paleta rotatoria marca Metal Cairo. La mezcla fue moldeada en placas de 200 mm x 200 mm, empleando un molde metálico con bomba de vacío para la eliminación del exceso de agua, seguido de prensado mecánico según describe Savastano Jr. (2002), y colocadas en bolsas plásticas durante los dos primeros días de edad. Los siguientes 5 días, los CP fueron curados en agua. El procedimiento de elaboración se describe en las Figuras 47 a – h.



a



b



c

Fig. 47.: Secuencia de elaboración de las placas sin pulpa

47a: Insumos - 47 b: mezclado en argamasa - 47 c: Vista de la paleta mezclando



d



e



f

47 d: Moldeo de la placa - 47 e. Extracción de agua por vacío - 47 f: Placa resultante



g



h

Fig 47g: Prensado

Fig. 47 h: Curado en bolsa plástica

A los 7 días de edad fueron realizados los ensayo físicos: absorción de agua, densidad aparente, y porosidad aparente; y ensayos mecánicos de Flexión: LOP, MOE; MOR, y energía específica, en condición saturada. Resumiendo, 4 placas con pulpa de celulosa de eucalipto y 4 placas sin pulpa de celulosa de eucalipto fueron moldeadas, de 19 cm x 19 cm. Con cada una de ellas se elaboraron 4 CPs, de 160 mm x 40 mm x 6 mm, según Tabla 27.

Tabla 27: Cantidad de CPs y placas elaboradas

Tipo de granulometría	Cantidad de CP para ensayos a 7 días		Cantidad de placas para ensayos a 7 días	
	Con pulpa	sin pulpa	Con pulpa	sin pulpa
Gr 1	4	4	1	1
Gr 2	4	4	1	1
Gr 3	4	4	1	1
Gr juntos	4	4	1	1
Sub Total	16	16	4	4
Total	32		8	

### b.5.- Determinación de propiedades físicas

Los CPs secos son colocados en un horno a  $105 \pm 5$  °C durante un período mínimo de 24 horas. Luego, se dejan enfriar en un desecador y se registra el peso en seco de cada muestra en gramos.

Posteriormente, se sumergen las muestras en agua limpia durante un período mínimo de 24 horas. Se registra la masa inmersa en gramos de cada muestra, en suspensión en agua limpia.

Inmediatamente después de la eliminación del agua superficial con un paño absorbente, se registra la masa saturada de cada muestra en gramos.

El calculo de densidad, absorción de agua y porosidad aparente se realiza de la siguiente manera:

Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ): masa en seco / volumen

Absorción de agua (% p/p):  $(\text{masa saturada} - \text{masa en seco}) \times 100 / \text{masa en seco}$

Porosidad aparente (% v/v):  $(\text{masa saturada} - \text{masa en seco}) \times 100 / (\text{masa saturada} - \text{masa inmersa})$

### b.6.- Determinación de propiedades mecánicas. Ensayo de flexión

Para la caracterización mecánica de los CPs, se utilizo una prensa de ensayos universal EMIC DL-30,000 equipada con una celda de carga de 1 kN. Cuatro puntos de apoyo fueron configurados para la determinación de modulo de ruptura (MOR), limite de proporcionalidad (LOP), modulo de elasticidad (MOE) y tenacidad o energía especifica (EE). Luz ente apoyos de 135 mm y un rango de de flexión de 1,5 mm/min, fueron adoptados para el ensayo de flexión. Las ecuaciones 1 y 2 definen MOR y MOE respectivamente:

$$\text{MOR} = \frac{P:L}{b.h^2} \quad (1)$$

$$\text{MOE} = \frac{276.Ly^3.(P)}{1296.b.h^3} \quad (2)$$

Donde P es la carga máxima. Ly es la separación mayor entre apoyos, b y h son ancho y espesor respectivamente, y  $\delta$  es la deformación del compuesto. El límite de proporcionalidad (LOP) fue descrito como el stress correspondiente al máximo punto de la porción lineal de la curva de stress – strain (tensión - deformacion).

Tenacidad (3) fue definida como la energía absorbida durante el ensayo de flexión y dividida por la sección de la muestra.

$$\text{Tenacidad} = \frac{\text{energía absorbida}}{b.h} \quad (3)$$

### c.- Elección del tenor

Elegida la granulometría mas adecuada, se estudian las proporciones de fibras a adicionar en la matriz cementicia. Se mantiene la metodología de mezclado de los sólidos secos en la argamasa y se agrega la cantidad de agua suficiente para el amasado. Se mantiene también la técnica de moldeo por medio de vacío y presión. Tabla 28

Tabla 28: Diferentes tenores para la elaboración de las probetas

contenidos	% de agregado
T1	5
T2	7,5
T3	10

#### c.1.- Preparación de las placas

Se elabora 1 placa por cada tenor, variando las dosificaciones. Cada placa fue elaborada con las cantidades e insumos descritos en Tabla 29.

Tabla 29: Dosificaciones para la elaboración de las probetas

Insumos	% 5		% 7,5		% 10	
	%	Gr x placa	%	Gr x placa	%	Gr x placa
Cáscaras de maní	5	23,56	7,5	35,44	10	47,25
Pulpa de celulosa						
Cemento CP V	80	360	78,75	354,37	77,5	348,75
Adición calcárea	15	67,5	13,75	61,88	12,5	56,25
Agua		<b>84,66</b> A/C 0,235		77,1 A/C 0,22		87,34 A/C 0,25
total	100	450	100	450	100	450

Se realizan posteriormente ensayos físicos (densidad aparente, absorción de agua y porosidad aparente); y ensayos mecánicos (ensayo de flexión: modulo de ruptura, límite de proporcionalidad, energía específica y modulo elástico)

### d.- Elección del tratamiento

#### d.1.- Tratamiento con silicato de sodio y sulfato de aluminio

Las cáscaras de maní recibieron tratamiento mecánico (molido) para mejorar su interacción con la matriz cementicia, y tratamiento químico (silicato de sodio y sulfato de aluminio) para conocer si cambios en la durabilidad de las fibras dentro de la matriz de cemento pueden ser manejados.

El método utilizado fue adaptado de Sánchez Sarmiento (1996). El tratamiento químico de las fibras vegetales de bagazo de caña de azúcar con silicato de sodio y sulfato de aluminio mejora las propiedades de las fibras, y en consecuencia, su incorporación a morteros cementicios mejora las propiedades del mismo en ensayos de envejecimiento. La metodología empleada, fue tomada de Furuno et al. (1991). El tratamiento original consiste en la impregnación de las fibras en una solución de silicato de sodio al 5 % por 24 h, escurrimiento por 1 h, y posteriormente la segunda impregnación con sulfato de aluminio al 30 % por otras 24 hs, para finalmente escurrir durante una hora, y secar en estufa a 60 °C por 24 h. Antes de su empleo, las fibras habían sido guardadas al

vacío.

El procedimiento ya había sido simplificado por Sánchez Sarmiento, con inmersión de silicato de Na al 5 % por 1 h, dejado escurrir por 5 ` , y luego inmersión por otra hora en sulfato de Al. Escurrimiento por 5 ` más, y secado en estufa a 60 °C por 24 h.

En una primera aproximación, 25 gr. de fibras de cáscaras de maní, separadas por tamiz N° 16, fueron impregnadas en una solución de silicato de sodio al 5 %, en cantidad de 500gr (25 gr. de silicato de Na y 475 gr. de agua destilada). Las fibras fueron incorporadas a la solución y agitadas por agitador magnético durante 1 h. Al cabo de ese tiempo, se escurrió el exceso de solución mediante filtrado y vacío durante 5 ` - La secuencia de tratamiento químico con silicato de sodio y sulfato de aluminio se describe en Fig. 48 a- g

Posteriormente las fibras de cáscaras de maní, impregnadas de silicato de Na, fueron inmersas en la solución de sulfato de aluminio preparada con 25 gr. de sulfato de aluminio y 100 gr. de agua destilada por 1 h. Posteriormente, el exceso de solución fue retirado por filtrado y vacío.



a



b



c

Fig. 48: Secuencia de impregnación de sales minerales.  
48a y b: Preparación de los aditivos químicos de impregnación

Fig. 48c Impregnación con agitador magnético



d



e



f

Fig 48 d: Filtrado silicato de sodio de cáscaras impregnadas - 48e: Detalle del filtrado - 48f: Filtrado de sulfato de aluminio



Fig. 48g: Secado en estufa de cáscaras impregnadas

## d.2.- Preparación de las probetas

Se elaboraron placas con cáscaras de maní sin tratamiento y placas con cáscaras de maní con tratamiento de silicato de Na y sulfato de Al. Las dosificaciones se describen en Tabla 30

Tabla 30: Dosificaciones según tratamiento para la elaboración de las probetas

Insumos	%	Gr x placa 6 mm sin tratamiento		Gr x placa 6 mm con tratamiento	
		P seco	P con humedad natural	P seco	P con humedad natural
Cáscaras de maní	5	22,5	23,56	22,5	34,04
Pulpa de celulosa	-	-	-	-	-
Cemento CP V	80	360	-	360	-
Adición calcárea	15	67,5	-	67,5	-
Agua					
total	100	450		450	

Se repite el procedimiento de preparación de los cuerpos de prueba descritos, y de evaluación mediante ensayos físicos y mecánicos.

### 2.2.2.3. Cáscaras de maní en matriz polimérica

Ligantes de tipo polimérico fueron ensayados para adherir las partículas de cáscaras de maní. Se seleccionaron algunas de las resinas estudiadas en base a dos indicadores principales: disponibilidad en el mercado local y menor costo. Resina poliéster primero y resina ureica después fueron empleadas para adherir las cáscaras de maní.

#### a.- Compuestos de cáscaras de maní – resina poliéster con baja presión. Determinación de propiedades mecánicas y propiedades físicas

Para la elaboración de las primeras mezclas con cáscaras de maní y resina poliéster fueron moldeadas probetas con escasa presión en moldes metálicos de forma manual. Probetas así resultantes fueron ensayadas a compresión, tracción y flexión. También se midió la capacidad de aislación térmica de las mismas.

##### a.1. Procedimiento de elaboración de las probetas

Para cada muestra realizada se utilizaron los siguientes materiales y se siguió el procedimiento que se describe a continuación.

- **Zarandeado:** Se zarandearon las cáscaras de maní con la finalidad de eliminar las partículas más finas y el material polvoriento. Se utilizó una zaranda de 3,5 mm de malla. El porcentaje de material fino fue de 13 % p/p. El material zarandeado presentó un nuevo Peso específico de  $96,5 \text{ k/m}^3$ .
- **Impregnación:** La impregnación se realizó en dos etapas. La primera impregnación fue realizada según se describe en Tablas 31 a y b.

Tabla 31a: Primera impregnación de cáscaras de maní con resina poliéster

Material	Cantidad
Cáscaras de maní	3 kg (30 l)
Resina	2,1 kg
Estireno	0,21 lt
Peróxido	0,030 lt
Acelerador:	0,010 lt

Tabla 31b: Segunda impregnación de cáscaras de maní con resina poliéster

Material	Cantidad
Cáscaras de maní previamente impregnadas	30 l
Resina	2,1 kg
Estireno	0,21 lt
Peróxido	0,030 lt
Acelerador:	0,010 lt

Este material fue guardado en bolsa plástica cerrada por 48 h a una temperatura aproximada de 30 °C

Para ambas etapas de impregnación se utilizó una mezcladora de eje horizontal marca CAYCA a paletas rotativas y descarga inferior. La resina fue aplicada con un sprayadora impulsada por compresor.

- **Moldeo:** Obtenidos 30 l de material impregnado en dos etapas, fue homogéneamente distribuido en un molde de 165 cm x 42,5 cm x 5 cm, y prensado con baja presión (0,01 k/cm<sup>2</sup> aproximadamente) durante 24 h. La presión se estimó sobre el volumen final del material resultante disminuido 30 % respecto del volumen inicial de la mezcla.

Una vez retirado el molde se dejó fraguar por 24 h.

El espesor final de la placa fue de 5 cm. y de 3,5 cm., según la presión de moldeo (0,01 k/cm<sup>2</sup> y 0,10 k/cm<sup>2</sup> respectivamente).

Cabe destacar que el procedimiento seleccionado se basó en los criterios de uso de equipamiento sencillo, en condiciones ambientales de temperatura y humedad.

Se utilizaron cáscaras de maní enteras sin tratamiento mezcladas con resina poliéster.

El procedimiento de elaboración de los paneles se describe en las figuras 49 a – h.

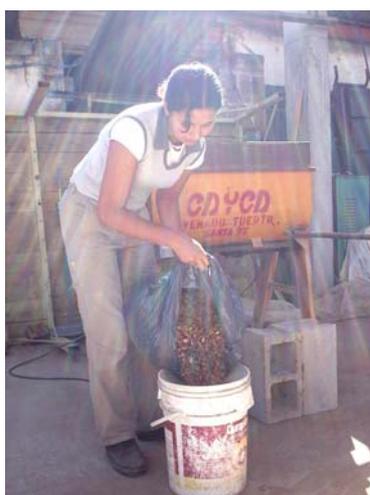


Fig 49a: Dosificación de cáscaras de maní



Fig 49b: Preparación de resina



Fig 49 c, d y e: Homogeneización de cáscaras y resina



Fig 49 f,g y h: Moldeo y compactación

## a.2- Determinación de propiedades mecánicas

### a.2.1.- Ensayo de Compresión

Se ensayaron 12 probetas de 5 x 5 x 15 cm. aproximadamente. Se tomaron dimensiones y se determinó  $P_e$ . Con estas probetas además se realizaron tests de resistencia mecánica a compresión a fin de conocer tensión y módulo de elasticidad del material. Fueron ensayadas en una prensa marca Versa Tester 30M de Soiltest INC en el Laboratorio del Taller de Investigaciones de Diseño Estructural (TIDE) de la Facultad de Arquitectura (FAUDi) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

En los extremos de las probetas se sujetaron dos comparadores a fin de llevar el registro de las variables deformación / presión. Fig. 50



a



b

Fig 50: Ensayo de compresión en probetas con cáscaras de maní y resina poliéster 50a: Prensa Versa Tester 30 M – 50b: Vista de los comparadores

### a.2.2.- Ensayo de tracción

12 probetas elaboradas con cáscaras de maní y resina poliéster fueron ensayadas a tracción según se describen en la figura 51, en el laboratorio de TIDE con la prensa descrita en el apartado anterior. La prensa fue complementada con un aro y comparadores para efectuar el ensayo. Fig. 52 a, b y c.

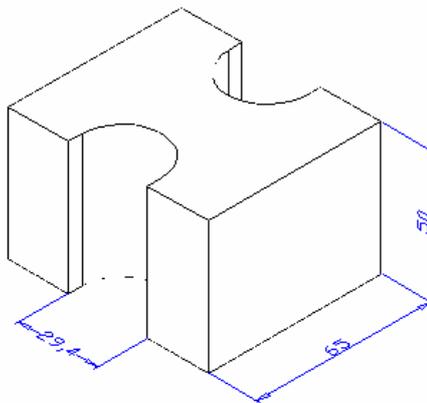


Fig 51: Esquema de la forma de la probeta para ensayo de tracción

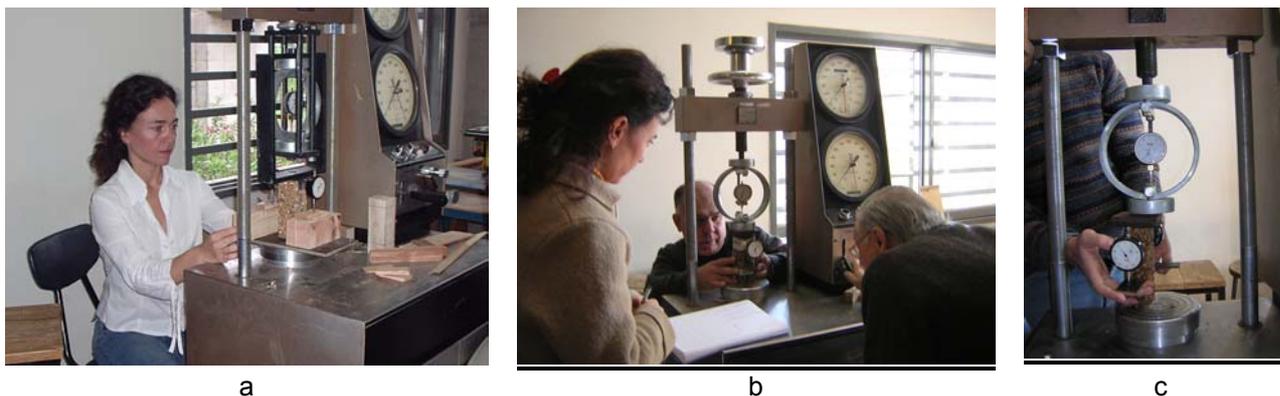


Fig 52: Ensayo de tracción en probetas con cáscaras de maní y resina poliéster  
52 a y b: Vista general de la prensa – 52c: Detalle de la probeta, aro y comparadores

### a.2.3.- Ensayo de flexión

Se determinó resistencia a flexión del material en 4 probetas de 40,5 cm. x 5,8 cm. x 12 cm. , con separación entre apoyos de 37 cm. Se determinó resistencia a flexión de la placa en 2 probetas: una de 47 cm. x 26,5 cm. x 3,25 cm., y otra de 46 cm x 26.5 x 2.1 cm. La separación entre apoyos para el ensayo fue de 42 cm.

El ensayo fue realizado en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC. La carga dada por una prensa Ibertest se materializó a través de dos fuerzas linealmente distribuidas en el ancho de la muestra y ubicadas a los tercios de la luz entre apoyos, interponiendo dos tiras de caucho para absorber las imperfecciones de planitud de las muestras.

### a.3.- Determinación de propiedades físicas

#### a.3.1.- Densidad aparente

Para la determinación de la densidad aparente, se moldearon dos placas de distinto tamaño, simulando una situación real de puesta en uso. Las medidas de las placas fueron:

160 cm. x 43 cm. x 3,60 cm., y

150cm x 50 cm. x 3,5 – 5 cm.

#### a.3.2.- Conductividad térmica

La medición de la conductividad térmica del material suministrado se efectuó de acuerdo al método de ensayo de las propiedades de transmisión del calor en régimen estacionario mediante el medidor de caudal térmico, siguiendo la Norma ISO 8302, ASTM C 177 e IRAM 11559, en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial - Centro de Investigación y Desarrollo en Construcciones.

Las mediciones fueron efectuadas a intervalos sucesivos de una hora, durante un periodo de cuatro horas, luego de haberse establecido el régimen permanente de temperaturas. La superficie sobre la que se efectuó la medición fue 0,36 m<sup>2</sup>, con orientación horizontal de la probeta, la

dirección de la transferencia de calor fue vertical.

El valor determinado fue el correspondiente al promedio de las mediciones efectuadas sobre dos probetas de ensayo. Las condiciones ambientales promedio del Laboratorio de ensayo fueron: Temperatura Ambiente: 23 °C, Humedad Relativa: 55 %; y Presión Atmosférica: 101,2 kPa.

### **a.3.3.- Permeabilidad al vapor de agua**

El método del ensayo de permeabilidad o permeancia al vapor de agua fue realizado según los lineamientos establecidos en las normas ASTM E-96 e IRAM 1735, en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial - Centro de Investigación y Desarrollo en Construcciones. Las condiciones de ensayo fueron las siguientes:

- Método de ensayo: Campo seco utilizando disecante
- Sustancia giroscópica: Gel de sílice
- Disposición de la probeta: Normal a la dirección del flujo de vapor
- Sentido del flujo de vapor: Entrante por la cara superior de la probeta
- Posición de la probeta: Horizontal
- Incertidumbre de la balanza:  $\pm 0,01$  g

Se midieron de 3 probetas, de 0,058 m<sup>2</sup> de superficie y espesor de 0,018 m

### **a.3.4.- Propagación de llama**

El ensayo de propagación superficial de llama fue realizado de acuerdo a la Norma IRAM 11910-3 – 1994-, (que coincide con la norma NBR 9442/1986 y ASTM E162) , en el Laboratorio de la UT Fuego, del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

## **b.- Compuestos de cáscaras de maní – resina ureica con presión.**

### **Determinación de propiedades mecánicas y propiedades físicas**

#### **b.1. Procedimiento de elaboración de las probetas**

Los paneles de partículas a base de cáscaras de maní fueron elaborados en el Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Madera (ITM) de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Santiago del Estero.

Por cada placa se emplearon 3, 5 k de cáscaras de maní, y resina ureica para prensa en caliente marca CASCO. La dosificación fue del 10 % (en masa) en relación a la cantidad de cáscaras. 0,35 k de resina ureica fueron catalizados con 17,5 g de catalizador C28 (5 %). Para diluir se utilizaron 200 cc de agua.

El proceso inicio con el acopio de las cáscaras de maní, en estado seco. Para la homogenización de las cáscaras con la resina se utilizo un mezclador planetario. Las cáscaras de maní fueron mezcladas con resina catalizada por espacio de 10 minutos, aplicada mediante un rociador mecánico mientras se hacían girar las cáscaras. Esta técnica permitió la correcta homogenización de las cáscaras con resina ureica.

Posteriormente, la mezcla fue colocada en un molde y llevada a la prensa. Se utilizó una prensa hidráulica con platos calientes, capacidad de carga de 100 t. La aplicación de presión fue gradual, a temperatura de 110 °C. Se realizó un preformado de la placa inicialmente aplicando una presión de 20 bar a la cantidad de cáscaras + resina contenidas en un molde 53 cm x 53 cm x 11,5 cm. Se aplicó una presión de 20 bar por 20 segundos para pre-prensado, y posteriormente se quitó el molde. La placa así preconformada fue introducida nuevamente en la prensa y se aplicaron 80 bar (13 k/m<sup>2</sup>) durante 8 minutos como presión de moldeo. Finalmente la presión fue quitada en forma gradual: 50 bar durante 2 minutos, 30 bar durante 2 minutos, y 20 bar durante 2 minutos finales.

Fueron elaboradas 4 placas de partículas, con dimensiones de 40 x 40 cm. De cada una de estas placas fueron cortados 12 cuerpos de prueba para cada ensayo físico y mecánico realizado. Las figuras 53 a – c ilustran las etapas de fabricación de las placas a base de cáscaras de maní.

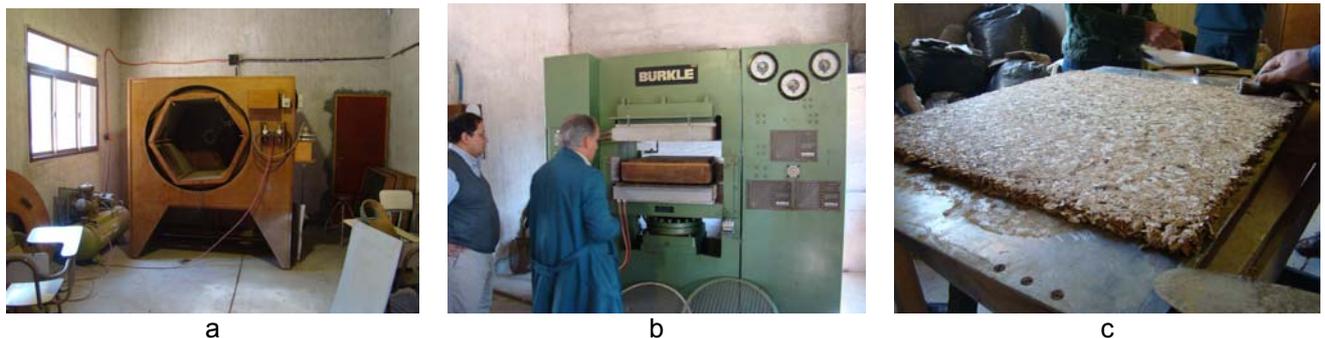


Figura 53: Etapas de fabricación de los paneles  
 53a: Mezclador rotatorio      53b: Prensa hidráulica con calentamiento      53c: Placa de cáscaras de maní y resina ureica

Se tomaron por referencias las normas NBR 14.810:2002 e ASTM D 1037:1996, para los ensayos físicos y mecánicos. Los ensayos de caracterización física y mecánica (densidad, absorción de agua, hinchamiento y flexión estática), fueron realizados en el Laboratório de Construções e Ambiência da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, FZEA/USP/Pirassununga, siguiendo la norma de referencia.

## b.2.- Determinación de propiedades físicas

Los ensayos de hinchamiento y absorción fueron evaluados en cuerpos de prueba con revestimiento externo impermeabilizante constituido por una pintura con resina bi-componente a base de óleo de mamona. Otro de los paneles fue tratado con un preservante para madera – fungicida e insecticida marca TERSUAVE-, elaborado a base de cipermetrina y tcmtb, con el fin específico de verificar los efectos del producto en la preservación del panel y en las propiedades físico- mecánicas del compuesto.

### Hinchamiento y absorción de agua

ASTM 1037:1996, ítem 100: Water Absortion and Thickness Swelling – Absorción de agua y variación de espesor

$$\text{Hinchamiento} = \frac{\text{Insaturado} - \text{Inicial}}{\text{Inicial}} \times 100$$

Inicial

$$\text{Absorción} = \frac{\text{Afinal} - \text{Ainicial}}{\text{Ainicial}} \times 100$$

Ainicial

Las dimensiones de los CPs ensayados fueron:

- Largo: 15,2 cm
- Ancho: 7,6 cm
- Espesor: 1 cm

### **b.3.- Determinación de propiedades mecánicas**

A los nueve meses de edad de las probetas, se evaluaron las propiedades del material, para medir simultáneamente las condiciones de durabilidad.

Los ensayos de caracterización física y mecánica (densidad, absorción de agua, hinchamiento y flexión estática), fueron realizados en el laboratorio de Construções e Ambiência da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, FZEA/USP/Pirassununga, siguiendo la normativa NBR-14810. En los ensayos de hinchamiento y absorción, fueron evaluados los cuerpos de prueba con revestimiento externo impermeabilizante constituido de una capa de resina bicomponente a base de aceite de mamona.

La Norma ASTM D 1037:1996 (American Society for Testing Materials) fue tomada de referencia.

#### **Flexión estática**

Las dimensiones de los 5 CPs utilizados fueron:

- Largo: 26 cm
- Ancho: 7,6 cm
- Espesor: 1 cm

Se definió:

- Modulo de ruptura (**MOR**) como  $R = \frac{3Pl}{2bd^2}$ , donde

R: modulo de ruptura

P: fuerza de ruptura

b. largo de CP

d: espesor de CP

- Tensión del límite de proporcionalidad (**LOP**) como  $Spl = \frac{3P_1l}{2bd^2}$ , donde

Spl: Tensión del límite de proporcionalidad

P<sub>1</sub>: fuerza del límite de proporcionalidad

l: separación entre los apoyos de CP

b: largo CP

d: ancho CP

- Modulo aparente de elasticidad (**ME**) como

$$E = \frac{P_1 l^3}{4bd^3 y_1}, \text{ donde}$$

E: modulo aparente de elasticidad

P<sub>1</sub>: fuerza del límite de proporcionalidad

b: largo CP

d: espesor CP

y<sub>1</sub>: deformación central correspondiente a la fuerza del límite de proporcionalidad

l: separación entre apoyos de los cuerpos de prueba

### 2.2.3.- Aplicaciones

Los resultados alcanzados en los tests de probetas, tanto de matriz cementicia cuanto de matriz polimérica fueron aplicados en componentes de construcción a escala de viviendas.

#### 2.2.3.1.- Aplicación de los materiales de matriz cementicia

Materiales resultantes de cáscaras de maní y cemento fueron aplicados en el moldeo de ladrillos, bloques para muros, tabiques y techo; y placas compactas. En mampuestos, se determinaron sus propiedades físicas densidad y absorción de agua, y propiedades mecánicas de compresión. Posteriormente se compararon con sus similares: ladrillos de tierra cocida, bloques no portantes cerámicos y de concreto, y bloques de concreto y de poliestireno en el caso de bloques para techo.

##### a.- Materiales

La formulación de las mezclas de cáscaras de maní y cemento fue adicionada con arena debido a la poca estabilidad de la masa obtenida para ser moldeada en los moldes de bloques convencionales. El tratamiento elegido para las cáscaras de maní fue el lavado previo a la adición de la mezcla con cemento.

##### b.- Métodos

Moldeo de bloques y ladrillos

El procesado del agregado cáscaras de maní consistió en el lavado con agua de cáscaras de maní molidas, en busca de disminuir la cantidad posible de extractables presentes en las cáscaras y así reducir los efectos de retardo en el fragüe del cemento.

Para esto se utilizó una mezcladora tipo perita, agua, una bolsa arpillera, alambre, una malla metálica, una manguera, una chapa de zinc, dos caballetes, herramientas y maquinas corrientes en la producción de bloques de concreto.

En la realización de dicha experiencia se colocaron aproximadamente 140 l (14 k aproximadamente) de cáscaras de maní molida en una mezcladora tipo perita, se agregó agua en un volumen 3 veces mayor, y se mezcló por un par de minutos. Luego se colocó paño de filtro en la boca de la mezcladora para depurar la mezcla. Fig 54



Fig. 54: PROCESADO DE CASCARAS DE MANI. Fig 54 a: Mezcladora tipo perita, Fig 54b: Filtrado de las cáscaras de maní después del lavado, Fig 54c: Extracto obtenido del lavado

Al filtrarse el agua del lavado, resultó con color pardo oscuro (lo cual daba indicios de una buena extracción de solubles). Fueron 6 lavados en total. Las cáscaras de maní fueron colocadas sobre una malla metálica, se dejó escurrir y se dispersaron sobre una chapa de cinc para su secado. El secado requirió aproximadamente dos días. Fig. 55



Fig. 55 Secado de cáscaras de maní después del lavado. Fig. 55a: Extracción total de agua y Fig 55b: Secado al sol

Con las cáscaras lavadas se realizaron distintas mezclas. Para elaborar los componentes constructivos se utilizaron una mezcladora tipo perita, una bloquera de bloques de pared de 20, una bloquera de bloques de techo, una bloquera de ladrillos, una carretilla, palas y baldes.

Se moldearon bloques con tres formulaciones: 1:2:5, 1:4:4, 1:2:4 y 1:3:3 (cemento, arena y cáscaras de maní respectivamente), medidas en volumen.

El procedimiento típico era colocar las cáscaras de maní lavadas en la mezcladora tipo perita, colocar una parte de arena, mezclar, colocar el cemento Pórtland, mezclar, y agregar lentamente el agua. La mezcla se colocó en una carretilla y se trasladó hasta las bloqueras, donde se moldearon los ladrillos y bloques. Fig 56 a-c, Fig 57 a y b, Fig 58 y Fig 59

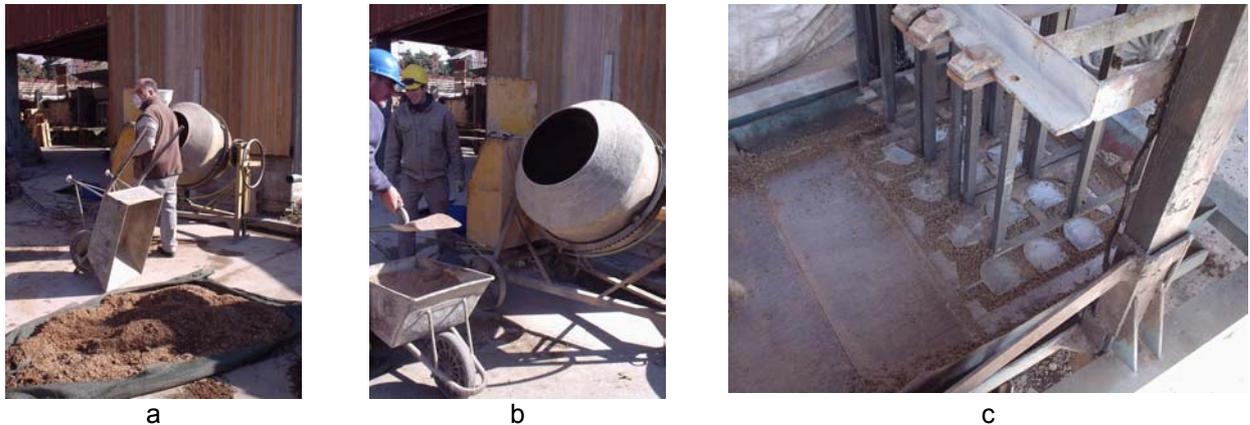


Fig 56: Procesado de cáscaras de maní y cemento para la elaboración de bloques y ladrillos- Fig 56a: Preparación de componentes Fig 56b: Dosificación de componentes Fig 56c: Moldeo

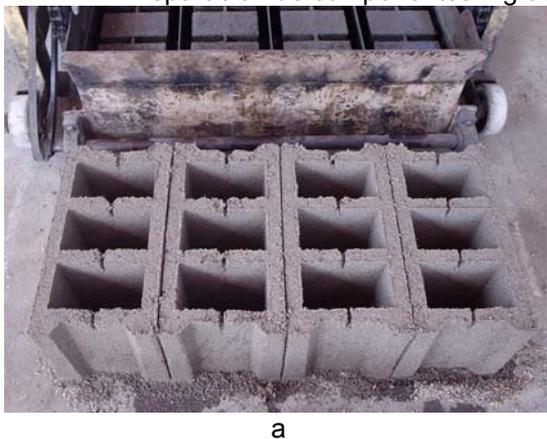


Fig. 57 a y b: Bloques de cáscaras de maní, arena y cemento



Fig 58: Bloques para techo de cáscaras de maní, arena y cemento



Fig 59: Ladrillos de cáscaras de maní, arena y cemento

### Proceso de la Elaboración de Placas

Placas cementicias moldeadas con presión fueron elaboradas con cáscaras de maní sin arena. Se propusieron placas de reducido espesor, sometidas a presión y con una relación cemento/cáscaras de maní mayor a las formuladas anteriormente: 1:0,5 y 1:0,25.

Cáscaras de maní previamente lavadas y cemento fueron empleados para el moldeo de las placas compactas. Se elaboraron 3 placas con y 3 sin refuerzo metálico, con idénticas formulaciones

cáscaras de maní – cemento.

El mezclado de cemento y cáscaras de maní fue realizado en una mezcladora de paleta horizontal. Se agregó agua lentamente a la mezcla. Posteriormente se colocó la mezcla en un molde metálico y se le aplicó  $11 \text{ kgf/cm}^2$  con prensa. Se desmoldó a los 2 días obteniendo placas de  $46 \text{ cm} \times 26 \text{ cm} \times 2.4$  a  $2.6 \text{ cm}$ .

### Ensayo a Flexión

Placas con y sin refuerzo metálico se ensayaron a flexión pura en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. La metodología de ensayo se basó en la norma "Losetas Aglomeradas con Cemento" IRAM N°11563. El esquema de ensayo se describe en la figura 60

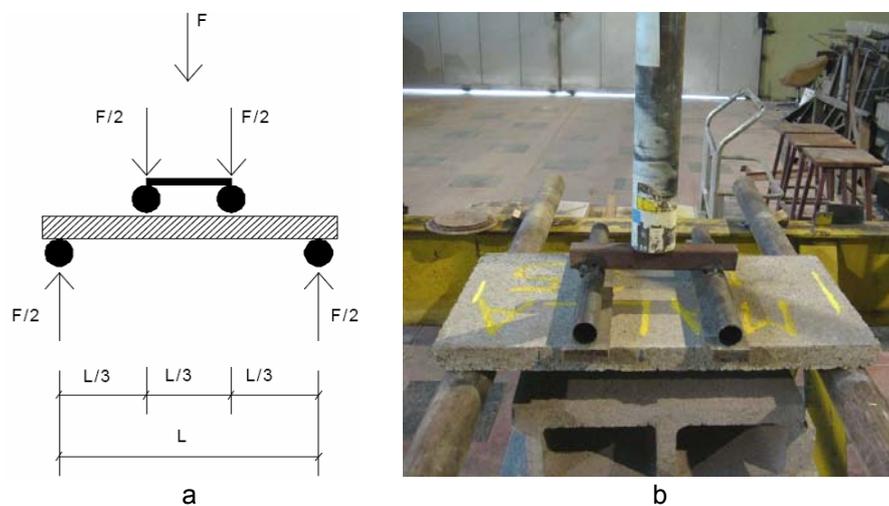


FIG. 60: ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXION Fig 60 a. Esquema de ensayo y Fig 60b: Placas en condiciones de ensayo

### 2.2.3.2.- Aplicación de los materiales de matriz polimérica

Materiales resultantes de cáscaras de maní y matriz polimérica fueron aplicados según la naturaleza de la resina y en relación a la técnica moldeo de los materiales. Cáscaras de maní y resina poliéster fueron utilizadas en el moldeo de paneles livianos de  $43 \times 160 \text{ cm} \times 0,035 \text{ cm}$ , con moldeo manual y baja presión de compactación: entre  $0,1$  y  $1 \text{ k/cm}^2$ . Estos fueron utilizados en el montaje de un cielorraso de una oficina de  $3 \times 4 \text{ m}$  de superficie. La estructura de soporte fue realizada con perfiles metálicos. Allí se evaluó su aspecto estético, y su comportamiento térmico a través del cálculo y verificación del coeficiente de transmitancia térmica ( $K$ ).

Cáscaras de maní y resina ureica fueron moldeadas con prensa con temperatura con presiones de moldeo entre  $3$  y  $12 \text{ kg/cm}^2$ .

Para el moldeo de tableros con prensa en frío, dos prensas de  $30 \text{ T}$  fueron adaptadas con moldes de  $1,50 \times 50 \times 0,03 \text{ m}$ .

Tableros con prensa de platos calientes fueron moldeados en tamaños de  $50 \times 50$  en una prensa de tamaño  $1,3 \times 3,0 \text{ m}$ . Estos tableros fueron aplicados en el revestimiento de un muro interior.

#### **2.2.4.- Diseño aplicando componentes desarrollados**

Dos viviendas fueron diseñadas con la utilización de los componentes y materiales desarrollados-Una de las viviendas fue una nueva versión de la “vivienda semilla”, donde paneles y tableros fueron empleados como revestimientos interiores de la vivienda.

Otro diseño desarrollado fue en el proyecto de una vivienda periurbana, con utilización de concepto de sustentabilidad constructiva en el desarrollo de envolventes laterales y superior. También se aplico principios de sustentabilidad en el diseño de provisión de energía, evacuación de fluidos y acondicionamiento interior.

#### **2.2.5.- Evaluación ambiental**

La evaluación del impacto ambiental de los componentes resultantes se efectuó en base a la reutilización del residuo, la posibilidad de re utilización del material producido, y mut vinculado al uso de matrices poliméricas especialmente, el análisis de emisión de volátiles (VOCs) o determinación de la concentración de solventes en material destinado a construcción.

##### **Determinación de la concentración de solventes en material destinado a construcción**

Las determinaciones de solventes se realizaron utilizando la técnica de cromatografía gaseosa y la cuantificación mediante la técnica denominada head-space.

El equipo utilizado fue un equipo de ionización de llama modelo Shimadzu GC9A. La columna analítica fue OV101 5%, operada desde los 50 °C hasta los 300°C. La temperatura de inyector y detector era de 300 °C.

La técnica de head space se efectuó a 6 °C termostatzado durante 1 hora. El volumen tomado para cada inyección fue de 0,5 ml. La mezcla utilizada para la cuantificación ha sido tolueno con estireno.

Se tomo como referencia la legislación laboral (Ley 19587 y su Decreto 351/79).

#### **2.2.6.- Evaluación económica**

La evaluación económica se determino sobre el desarrollo de paneles livianos de cáscaras de maní y resina poliéster, en comparación con similares procedimientos y dosificaciones de cáscaras de maní y resina ureica.

Se simulo una producción seriada a escala piloto donde se evaluaron costos de producción, y costos de amortización de infraestructura y equipamiento.

Los costos resultantes fueron comparados con productos de similar función existentes en el mercado local

## Capítulo 3: El maní y la cáscara de maní

El maní, llamado también peanuts o groundnuts en inglés, amendoim en portugués, cacahuate en los países tropicales, es denominado en forma científica como *Arachis hypogaea*.



a  
b  
Fig 61: Planta de maní. Fig 61 a : Esquema Fig 61b: Cultivo

La provincia de Córdoba aporta el 95 % de la producción nacional de maní. La recolección se realiza con la vaina, y ésta es separada en las plantas seleccionadoras: allí se concentran miles de toneladas de cáscaras que tienen que ver con la producción estacional.

Anualmente se producen en Argentina alrededor de 700 mil toneladas de maní en caja. La tercera parte de esta cantidad corresponde a la cáscara o caja, que es separada en las plantas seleccionadoras y procesadoras de maní.

Hasta hace poco tiempo, el deshecho de la cáscara se quemaba a cielo abierto como único destino final, circunstancia que provocaba alteraciones ecológicas en la zona manisera, por la producción de gases tóxicos durante el procedimiento de eliminación; además de la necesidad de disponer grandes superficies exclusivas para la quema<sup>1</sup>. Semejante volumen de eliminación tiene alto impacto negativo sobre el medio: combustión y agresión al suelo que implica además, incidencia en costos de traslado, acopio, y los específicos de incineración

Hoy la utilización de las cáscaras de maní más conocida es como combustible de calderas. Aún así, la generación de gases tóxicos es importante. De manera que la disponibilidad de cáscaras de maní es en la provincia de Córdoba abundante, concentrada, sin aplicación rentable conocida hasta el momento, y constituye un potencial recurso para ser utilizado en materiales de construcción.

<sup>1</sup> Según el Lic. Gustavo Cativelli<sup>1</sup>: “una planta seleccionadora y procesadora de maní de 40000 tn/año, dispone de un campo de aproximadamente 2 ha. para la quema permanente y constante de la cáscara que se elimina en el establecimiento”

### 3.1.- Producción

Países como Argentina, junto a India y USA, aportan el mayor volumen manisero al mercado mundial<sup>2</sup>. Actualmente, Argentina es el principal proveedor al mercado mundial de maní y también productor líder por la calidad de maní que produce.<sup>3</sup>

Por las condiciones de clima, EEUU es uno de los mayores productores de maní, y también uno de los países que registra mayor consumo de maní y sus derivados: aceite, manteca, turrone. Europa no es productor de maní, pero sí un gran consumidor. Argentina vende su producción principalmente a Europa y a Estados Unidos.

La provincia de Córdoba tiene una importante producción de maní. Es ésta, junto con la de soja, una de las principales áreas de actividad económica agraria en la provincia.<sup>4</sup> En la provincia de Córdoba (Argentina) también se producen los productos derivados del maní tales como aceite, manteca, o maní confitado. El procesamiento de maní es una de las industrias de la provincia con mayor capacidad exportadora<sup>5</sup>: El 95 % de la producción se exporta, reservándose solo el 5 % para el consumo interno.

### 3.2.- Variedades

En Argentina se cultivan tres variedades de maní: runners, spanish (red skin) y manfredi, siendo comercializado como maní entero natural, tostado, o mayoritariamente repelado tostado (plancheado).

Existen calidades diferentes de maní. Ésta se mide por el calibre de sus granos. Existen 7 calibres. Estos varían entre 38/40 a 100/120. Los valores determinan el número de unidades por onza. El calibre más frecuentemente obtenido es 40/50.

Por su color, se clasifican en colorado y reumar, de color rosado. En Argentina no hay maní transgénico, es decir, que no está manipulado genéticamente.

### 3.3.- Cosecha

La zona manicera de la provincia de Córdoba es el suroeste. El rendimiento de maní es de 15/20 quintales /ha. Ello significa 1,5 t /ha. En el mercado internacional de granos, a Jul 2008, el precio de la tonelada de maní es U\$ 700 aproximadamente.

Comparado con la soja, la cotización en mercado del maní es significativamente superior. El precio de la tonelada de soja ha fluctuado, entre \$ 300 y \$ 500. El rendimiento del cultivo de la soja es de 20 quintales /ha, mucho menor que le rendimiento del cultivo de maní, estimado en 60 quintales /ha. Sin embargo la producción de maní es más laboriosa y costosa. El cultivo manicero

---

<sup>2</sup> Según Adriana Urquía, presidente de la Cámara Argentina del maní: "Después de India y Estados Unidos, Argentina es el tercer exportador mundial de maní y la excelencia de sus manufacturas es lo que ha dado prestigio internacional a nuestra industria. El maní confitería argentino y sus derivados son apreciados y demandados en los mercados más exigentes del mundo" Publicado en el diario La Voz del Interior, 23 de Junio 2002. Córdoba. Argentina

<sup>3</sup> <http://www.tradar.com.ar>

<sup>4</sup> En la campaña 2003/2004, la superficie sembrada fue de 172 mil hectáreas, con rindes promedio de 25 quintales de maní en caja por hectárea. El resultado es una producción próxima a las 300 mil toneladas de maní descascarado. Publicado en La Voz del Interior, 20 Agosto 2004. Córdoba. Argentina

<sup>5</sup> "...la industria manicera argentina estuvo exportando alrededor de 200 / 220 000 TN de maní por año y generando para la economía de Córdoba y del país un ingreso de divisas del orden de los 250 millones de dólares" (Cámara Argentina del Maní, 2002)

requiere más agregado de agroquímicos, lo que lo convierte en un cultivo de mayor costo que la soja.

En el hemisferio Norte el período de cosecha se extiende entre septiembre y octubre, y corresponden al hemisferio Sur los meses de abril a junio. En Córdoba, el régimen de cosecha de maní es de mayo a diciembre. La siembra se realiza en septiembre, para comenzar a cosechar en abril. En las plantas procesadoras de maní, la compra de la cosecha se realiza entre abril y julio. A partir de allí, las industrias están activas hasta diciembre.

### **3.4.- Producción y obtención de las cáscaras de maní en Córdoba (Argentina)**

Las cáscaras de maní son un deshecho que se produce durante el proceso de separación e industrialización del grano de maní. Del total de maní cosechado, aproximadamente entre el 25 y el 30 % corresponde a la cáscara o caja. En la provincia de Córdoba, actualmente se cultivan aproximadamente 700.000 t al año, de las cuales se extraen aproximadamente 250.000 t de cáscara.

La recolección se realiza con la vaina, y ésta es separada en las plantas seleccionadoras: allí se concentran importantes toneladas de cáscaras relacionadas a la producción estacional.



Fig 62: Granos de maní en caja



Fig 63: Cosecha del maní

La producción del deshecho cáscaras de maní se caracteriza por estar particularmente concentrada en unas pocas industrias procesadoras. Existe apenas una docena de estas plantas industriales de maní, de las cuales, solo una de ellas concentra el 50 % del total del maní cultivado en la provincia.

La mayor planta de procesamiento de maní en la provincia de Córdoba es Aceitera General Deheza (AGD). Su volumen de producción se estima en 100 000 t/año de maní con caja. Plantas de maní de menor tamaño procesan entre 15.000 y 50.000 t de maní en caja/año.

Los datos muestran que la producción de cáscara del maní corresponde aproximadamente al 30 % del total del volumen de la cosecha. No obstante, debido que estos agromateriales no son estructuras compactas, su contribución en volumen es mucho mayor que el peso dentro del conjunto.

La disposición final más frecuente de las cáscaras es la incineración, o su empleo como combustible de calderas. Semejante volumen de eliminación tiene alto impacto: combustión imperfecta, por la liberación de gases contaminantes durante la quema y agresión al suelo que implica, además, incidencia en costos de traslado, acopio, y los específicos de incineración.

Actualmente, una importante cantidad de cáscaras de maní son destinadas a alimento de ganado por su aporte en fibras, aunque sin valor proteico.

De manera que la producción de cáscara de maní es en Argentina: abundante, concentrada en unas pocas fuentes – las plantas seleccionadoras y descascaradoras-, y en un área geográfica limitada de la provincia de Córdoba.

### **3.5.- Esquema tipo de flujos de recepción, selección, evaluación y procesamiento de maní en las plantas seleccionadoras**

#### **3.5.1.- Recepción y selección del maní**

La recepción del maní se realiza por muestreo para constatar la calidad de la carga que ingresa a la planta. Consiste en un análisis físico que mide las condiciones de separación de la cáscara y el grano, la humedad, la presencia de hojas y demás residuos así como el porcentaje de daño. Es un procedimiento que lleva entre 30' y 45' por camión. El rendimiento de cada carga que ingresa se vincula al valor de la misma.

El proceso de recepción y caracterización del maní se compone de los siguientes pasos:

1°- Preparación de la muestra

2° - Determinación de la humedad. Determinación de la presencia de aflatoxina.

3°- Análisis del rendimiento: tamañado; separación de la tierra, palo, desgranamiento o descascarado de la vaina.

4° - Peso: Determinación de la cantidad de grano de maní apto para ser procesado.

El contenido de humedad de la carga de maní que ingresa es particularmente importante, porque la presencia de humedad se asocia con la posibilidad de contenido de aflatoxina por fluorescencia en la carga. Aflatoxina es un hongo que produce una toxina.

El maní debe ser almacenado limpio, sano y seco. El contenido máximo de humedad permitido es de 9 %.

Para la determinación de las condiciones de la carga de maní se analiza una muestra de entre 25 y 30 kg. Se toman 8 muestras por camión.

El valor promedio de cada componente de la muestra suele variar entre las cantidades determinadas en Tabla 32.

Tabla 32: Composición porcentual del maní en caja

Composición	%
Tierra	2
Palo	1
Grano	70 - 75
Cáscara	25 - 30

Una vez superada la admisión, el grano de maní es conservado con caja en carros de 5000 kg aproximadamente cada uno. Estos carros pasan por un proceso de secado para eliminar el contenido de humedad. Una vez secos, se almacenan en celdas. Las celdas son grandes silos que albergan unas 9000 t de maní. Por último, y justo antes de ser procesado, se retira la cáscara, en planta. El procedimiento de separación es mecánico, con cribas que trabajan a razón de 9 / 10 t por hora.

### 3.5.2.- Ejemplo de secuencia de procesado del maní en Córdoba

Se describe en este apartado uno de los procesos de tratamiento del maní en una planta procesadora en Córdoba.

Una vez recepcionada la entrega de maní en caja, la carga es estacionada en contenedores cerrados protegidos de la humedad, para posteriormente ser acopiada en silos cerrados, pasando por un proceso de eliminación de tierra que estuviera incorporada en el cargamento. (Figuras 64 a

y b). En las figuras 64 c y d se observa el silo donde el maní es acopiado en caja hasta el momento de su procesamiento. En las figuras del ejemplo se trata de un silo de 100 m de largo por 30 m de ancho aproximadamente.

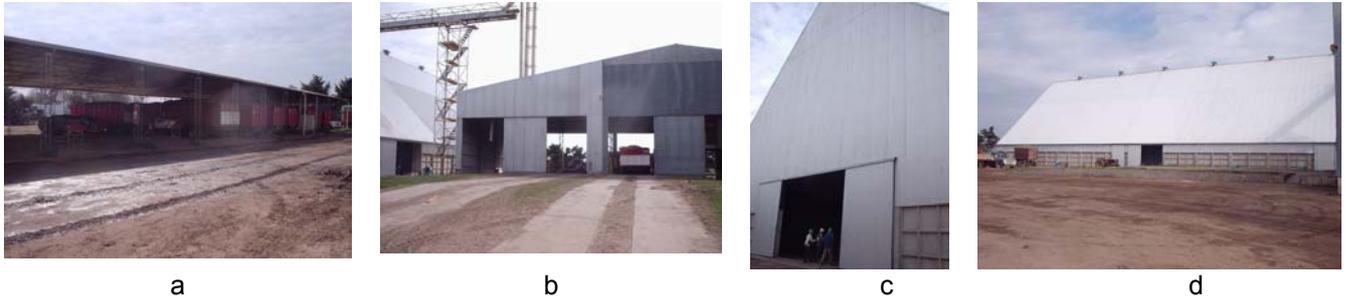


Fig 64: Procesamiento del maní en planta - Fig. 64 a: Secado del maní en caja, apenas llega a la planta  
Fig 64 b: limpieza, eliminación de tierra - Fig 64 c y d: Silo de acopio del maní en caja

Dentro del silo (Fig. 64 e y f), el maní y su cáscara es conservado hasta el momento en que el grano entra a la planta de tratamiento. Allí es cuidadosamente controlado de la presencia de humedad, a través de canaletas de ventilación.

Cuando el maní entra en la planta de procesado (Fig. 64 g), es inmediatamente separado de la cáscara mediante unos martillos mecánicos que desmenuzan la cáscara sin afectar al grano (Fig. 55h). El grano, que conserva el tegumento rojizo es transportado por cintas mecánicas, donde las cribas clasifican los granos según tamaño (Fig. 64 i, j y k).



Fig 64: Procesamiento del maní en planta - Fig 64 e y f: Interior del silo donde se observa el volumen de acopio y canaletas para ventilación - Fig 64 g: Ingreso de maní a la planta de procesado - Fig. 64 h: Separación de la cáscara - Fig. 64 i y j: Clasificación de los granos de maní

Posteriormente cada grano es escaneado, para detectar si alguno no cumple con normas de color y/o humedad, y entonces, será separado del procesamiento. Los granos escaneados son conducidos a tolvas, y luego se embolsan según tamaños.



k



l



m

Fig 64: Procesamiento del maní en planta - Fig. 64 k: Idem anterior - Fig. 64 l: Escáner de granos. - Fig. 64 m: Los granos de maní son conducidos a tolvas

Separados según tamaño, los granos de maní son “plancheados” o blanqueados, es decir, se separa el tegumento rojizo del grano (Fig 64 ñ y o). Finalmente, y una vez que se controla que todos los granos se encuentren en perfectas condiciones (Fig. 64 p), los granos son nuevamente embolsados en big bags (Fig 64 q), ya listos para su comercialización al exterior. Las bolsas menores son destinadas al mercado interno (Fig. 64 r y s).



n

ñ



o



p

q

r



s

Fig 64: Procesamiento del maní en planta - Fig 64 n: Idem anterior - Fig 64 ñ: Embolsado en big bags - Fig 64 o: Proceso de blanchado - Fig 64 p: Se separa el tegumento del grano - Fig 64 q: Control de los granos - Fig 64 r: Los granos de maní blanqueados son embolsados Figg 64 s: Acopio de maní

El volumen de producción de cáscaras de maní es regular durante la época de procesado. El volumen de tratamiento de la planta permite que la planta trabaje todo el año, independiente de la época de cosecha del maní.

En proceso normal de tratamiento de maní, la producción de cáscaras es a razón de dos camiones con acoplado por día, que representan aproximadamente 22.000 k/día. (Fig. 64 t, u y v)



Fig. 64: Procesamiento del maní en planta - Fig. 64 t, u y v: Las cáscaras de maní son retiradas en camiones

### 3.6.- Utilización de cáscaras de maní.

Las cáscaras son difícilmente degradables en su exposición al exterior, debido al alto contenido de lignina; bajo contenido de nitrógeno, y existencia en grandes volúmenes. Estas condiciones ofrecen pocas posibilidades para actuar como abono o mejoradores de suelos (Woodroof, 1983)

Cabe señalar la presencia de mantillo o tierra vegetal e insectos en la extracción del maní, de manera que en la separación de la cáscara permanecen restos, que no son exclusivamente maniceros.

Actualmente, parte de las cáscaras de maní existentes son aprovechadas para distintos usos. Entre los usos que se encuentran en la bibliografía se puede enumerar:

- ✓ Alimento para animales
- ✓ Absorbentes industriales (particularmente líquidos)
- ✓ Combustible en distintas industrias
- ✓ Fabricación de briquetas
- ✓ Fabricación de carbón activado (clarificación de jarabes, vino y para la industria farmacéutica)
- ✓ Fabricación de papel (a partir de la celulosa de la cáscara)
- ✓ Obtención de derivados de la celulosa ( celulosa microcristalina, fibras dietéticas)
- ✓ Carga para la fabricación de plásticos

El principal uso de la cáscara de maní, tanto en USA como en la Argentina, es como combustible de calderas. Quemadores especiales deben ser empleados para reducir la cantidad de humo y cenizas volantes que genera la combustión de la cáscara. Sin embargo, con semejantes cantidades de cáscaras disponibles, su aplicación como combustible es reducida a cantidades parciales.

Existe un reducido mercado para las cáscaras de maní. Es utilizada como camada de aves, o como alimento de porcinos, con escaso proteico. También se utiliza como protección para el cultivo de hongos, como vehículo para el uso de pesticidas y fertilizantes, o simplemente como protección para las plantas.

O.E. Taiwo y F.A.O. Osinowo (2001) aplicaron agroresiduos para la fabricación de jabón negro. Si bien el estudio avanza sobre posibles destinos de agroresiduos, no elimina la incineración como procedimiento para el tratamiento de los insumos. Allí, los autores proponen el empleo de cenizas de las vainas de cacao y de residuos de palmas en primer orden, y cenizas de cascarillas de sorgo y de cáscaras de maní en segundo orden, por la presencia de sodio y potasio en las

referidas cenizas. Junto a grasa y aceites vegetales, el carbonato de potasio y de sodio son las materias primas de la producción de jabones negros.

Localmente, existen antecedentes de trabajos de investigación referidos a la industrialización de la cáscara del maní. En el Centro de Excelencia en Productos y Procesos de Córdoba (CEPROCOR) se desarrolló un proyecto de base tecnológica para la conversión del deshecho de maní en carbón activado, un producto de alto valor agregado para la industria alimenticia, vitivinícola, farmacéutica y el tratamiento del agua.

### 3.7.- Caracterización de las cáscaras de maní

#### 3.7.1.- Tamaño

Las vainas del maní son aproximadamente cilíndricas, de forma cóncavo convexa. Pueden ser separadas fácilmente de los granos. La longitud de las cáscaras enteras varía según la cantidad de granos que aloje, entre 3 y 5 cm. (Fig. 65 a y b) y (Fig. 66 a y b).

Durante el proceso de descascarado, las cáscaras son friccionadas entre sí para la extracción del grano, y en consecuencia, la mayoría de las cáscaras son obtenidas en partículas de diferentes tamaños, dependiendo del proceso (Fig. 65). La medición ha sido realizada con calibre marca Mauseur con escala 0-16 cm y sensibilidad de 1  $\mu$ .



a

Fig 65 a: Macro parte externa cáscara tostada tres granos



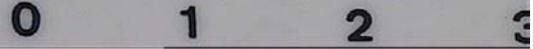
b

Fig 65 b: Macro parte interna cáscara tostada tres granos



a

Fig 66a: Macro parte externa cáscara tostada dos granos.



b

Fig 66b: Macro parte interna cáscara tostada dos granos.



Fig 67: Variación del tamaño de las partículas

### 3.7.2.- Densidad

La cáscara de maní es muy liviana. Las muestras consistentes en cáscara sin triturar, tal como llegan de las plantas de procesado, son de tamaño variado. Su peso específico,  $P_e$  es aprox.  $90-12 \text{ g/cm}^3$  o  $90-12 \text{ kg/ m}^3$ . Esta variación importante depende de la variedad de maní y su tamaño, y del método de descascarado empleado por la planta descascaradora, que influye en mayor o menor desmenuzamiento de las cáscaras. Fig 68



Figura 68. Cáscaras resultantes del proceso de descascarado

### 3.7.3.- Estructura física de la cáscara

#### 3.7.3.1.- Descripción morfológica

La superficie externa de la cáscara natural de maní es rugosa con estructura de celdas. Está multifacetada como si fueran “casquetes de fútbol”. La textura superficial externa se parece a una superficie vitrificada, muy delgada y frágil, que se desprende con facilidad (Fig. 69a). Por debajo de ella existe una red, a modo de armadura o malla que constituye el soporte de la primera capa. Se trata de una red interna fibrilar o de refuerzo (Fig. 69b), conformada por una malla hiperbólica con estructura ramificada, que le aporta rigidez estructural a la caja. Esta estructura de fibras está adherida a la capa interna, sobre la que deja surcos impresos. La última capa (Fig. 69c), la interna, es de aspecto más poroso, y de composición más homogénea que la capa externa. Presenta en un análisis microscópico x20 un aspecto más compacto.



a

b

c

Fig. 69: Cáscara de maní natural, Fig 69 a: superficie externa x20 - Fig. 69 b: Cáscara de maní natural, red interna fibrilar x20 - Fig 69 c: Maní natural, cáscara interna x20

Las imágenes 70 a- j fueron obtenidas en la Universidad Politécnica de Valencia, en el Instituto de Tecnología de Materiales<sup>6</sup>. Muestran una descripción física de las cáscaras de maní observadas al aumento X10 y X30.

Se observa una lámina muy delgada, facetada, en forma de casquetes, de forma cóncava. Esta vitrificada en superficie



1 mm

Fig 70a: parte externa cáscara tostada, x10



1 mm

Fig 70 b: parte externa cáscara tostada, x10

<sup>6</sup> Gentileza del Dr. Vicente Amigó Borrás



**1 mm**

Fig 70 c: parte interna cáscara tostada, fibras de la capa interior, x10



**1 mm**

Fig 70 d: parte interna cáscara tostada, fibras de la capa interior en otra zona, x10



**1 mm**

Fig 70 e: Corte transversal de la cáscara x10



**300 µm**

Fig 70 f: Corte transversal de la cáscara x30



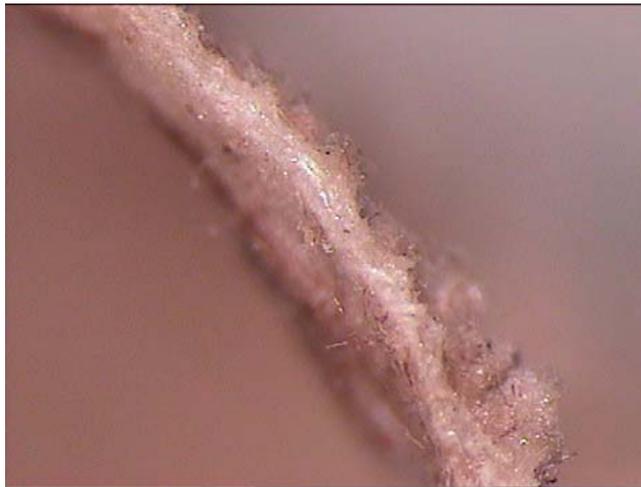
**300 µm**

Fig 70 g: Corte transversal de la cáscara de maní x30



**300 µm**

Fig 70 h: Cáscaras de maní, corte trasversal de la cáscara x30\_2



300 μm

Fig 70 i Maní tipo 1, corte transversal de la cáscara x30\_1



300 μm

Fig 70 j Maní tipo 1, corte transversal de la cáscara x30\_2

Cabe destacar la presencia de sistemas macrocristalinos de sales diversas en el recubrimiento superficial, posiblemente silicatos provenientes del suelo de cultivo que se cristalizaron por efecto del tostado.

Las figuras 71 a – h muestran las imágenes obtenidas por SEM de las cáscaras de maní. Se observa una atractiva estructura, muy porosa, deformable por presión de compactación.

Se observa también la composición axial o en ejes de la orientación de las fibras.

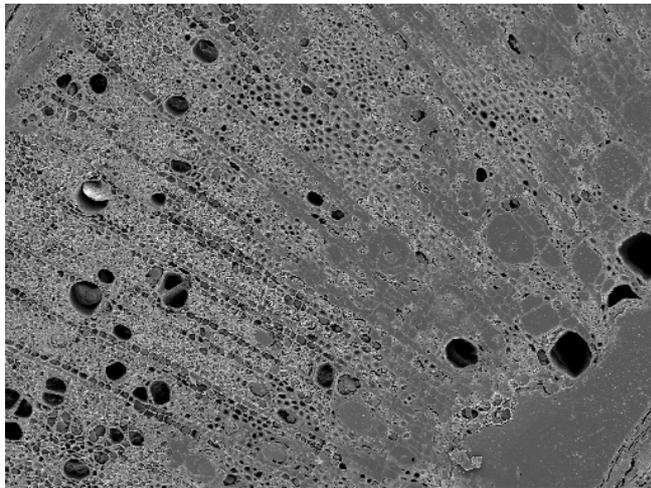


Fig 71 a: Aspecto general de la cáscara de maní, 100x.

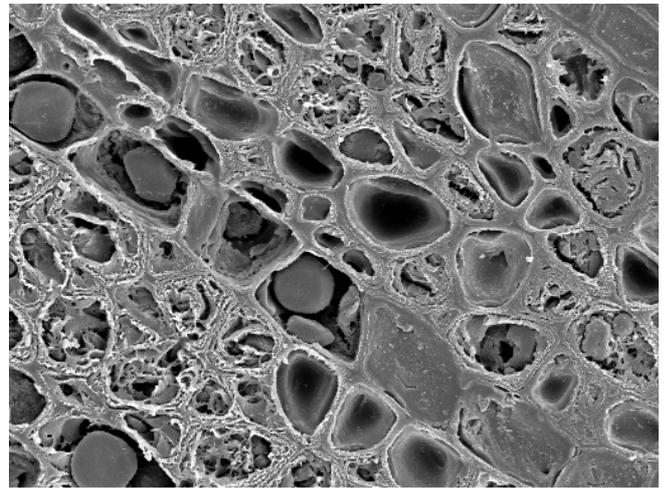


Fig 71 b: Detalle de la estructura anterior, 1000x

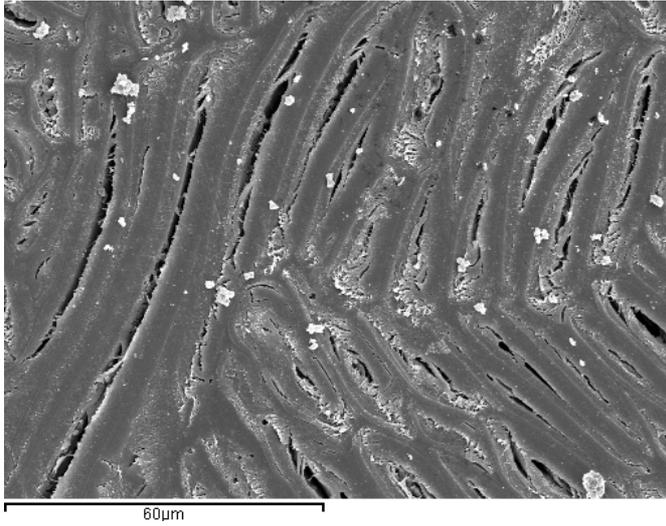


Fig 71 c: Detalle de la estructura compactada 1000x.

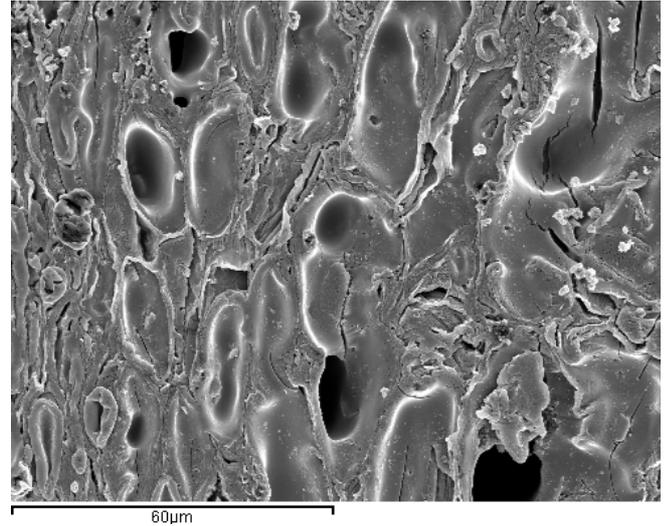


Fig 71 d: Detalle en otra zona, 1000x.

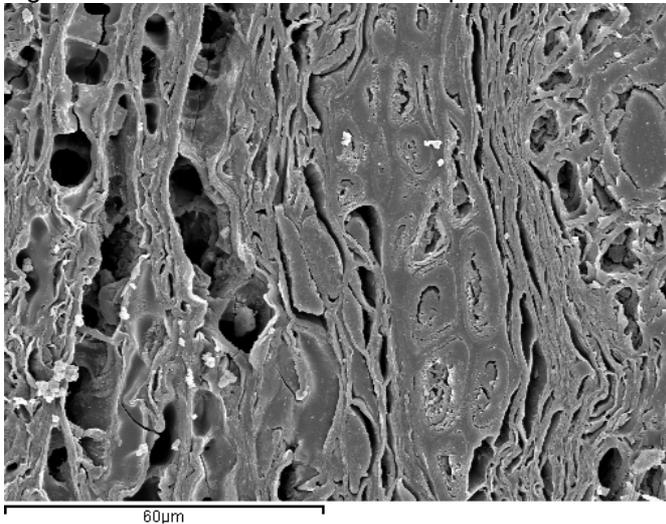


Fig 71 e: Estructura con compactación parcial, 1000x

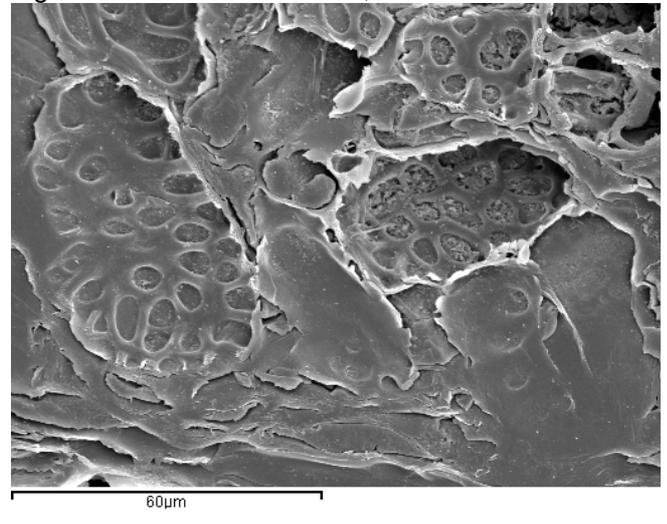


Fig 71 f: Detalle de la zona con mayor porosidad con estructura peculiar. 1000x.

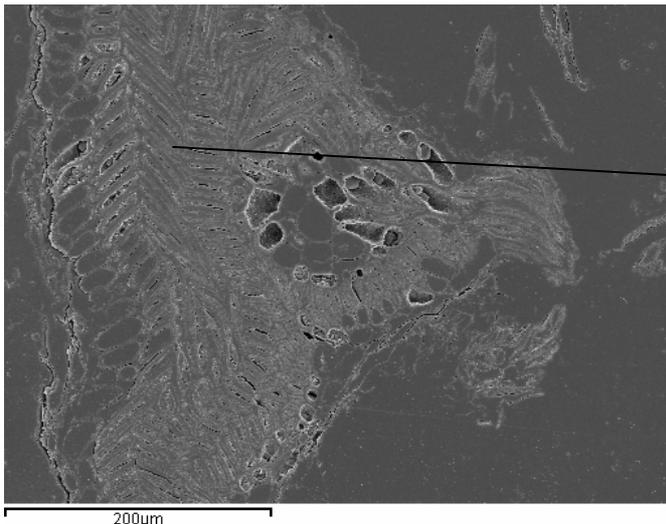


Fig 71 g: Aspecto general de la zona entre dos senos de la cáscara de maní, 250x.

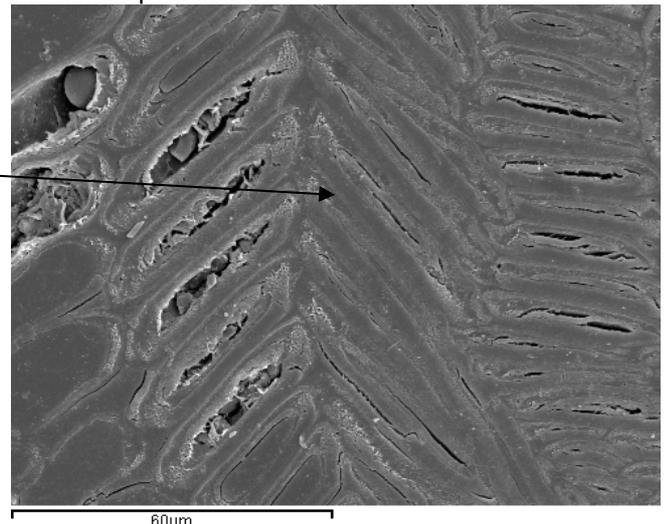


Fig 71 h: Detalle del cuadro en la fotografía anterior, 1000x. Detalle

### **3.7.3.2.- Absorción de agua de las cáscaras.**

Capacidad de absorción de agua es el volumen de agua que se retiene después de su drenaje, para un volumen dado de material, y depende del tamaño de partículas y su distribución. (Pire, 2000). Con la finalidad de determinar la capacidad de absorción de agua de las cáscaras de maní en función de su granulometría (grado de molienda), se efectuó el ensayo correspondiente.

Los resultados promedios obtenidos son los siguientes:

Cáscara entera: 34,21 %

Cáscaras molidas: 51,47 %

Esto significa que a determinada masa de cáscaras de maní enteras, 30 % de su peso podrá ser absorbido de agua por las mismas. Mientras que para cáscaras trituradas, podrá absorber hasta la mitad de su peso en agua. Se observa que la capacidad de absorción de agua es alta en ambos casos, acentuada cuando se trabaja con cáscaras trituradas debido a que son partículas más pequeñas y mayor presencia de material polvoriento.

Podemos anticipar que debido a la alta capacidad de absorción de las cáscaras de maní, su utilización como agregado en mezclas cementicias demandará una importante cantidad de agua. A diferencia de un mortero con agregado pétreo (arena), cuya capacidad de absorción de agua es muy inferior aún dependiendo del origen del mismo, la relación agua/ cemento (W) en un mortero con cáscaras aumentará.

### **3.8.- Composición química**

En términos generales, la composición química de un agregado vegetal depende de la variedad, la región que se cultiva y muy importantemente de la técnica empleada para su análisis composicional. Según el método de análisis se tienen en cuenta diferentes componentes macro moleculares o sus derivados. Según Woodroof (1983), la composición química varía con la variedad y condiciones de descascaramiento. Además, la región y el clima influyen de manera decisoria. Existen variedades de maní, lo que influye en la diversidad y variación porcentual de algunos de los componentes químicos de las cáscaras de maní.

Autores como Woodroof (1983) y Yeboah et al (2003) han descrito la composición química de las cáscaras de maní. La bibliografía que muestra la composición química de la cáscara de maní difiere en los compuestos y sus porcentajes presentes en el análisis, formada principalmente por lignina y celulosa, y contiene además otros polisacáridos, lípidos, proteínas, minerales, azúcares libres, resinas.

La cáscara libre de humedad está formada aproximadamente por 95 % de materia orgánica y 5% de minerales presentes en las cenizas (generalmente Si, Ca, Mg, K, Al, P, S, Cl). Análisis composicional bibliográfico y análisis experimental de laboratorio son mostrados en forma comparativa en la Tabla 33.

Tabla 33: Composición química de las cáscaras de maní

	Análisis bibliográfico	Análisis experimental
Contenido	Cantidad %	<b>Cantidad %</b>
Humedad	8 – 10 %	<b>5 %</b>
Proteína cruda	6 -11 %	
Grasa	1 - 2 %	
<b>Celulosa</b>	<b>35 – 45 %</b>	<b>54.47 %</b>
<b>Hemicelulosa</b>	<b>23 – 30 %</b>	<b>2.1 %</b>
<b>Lignina</b>	<b>27 – 33 %</b>	<b>27.8 %</b>
Ceniza	2 – 4 %	
<b>Extractivos</b>	<b>14 %</b>	<b>4.53 %</b>

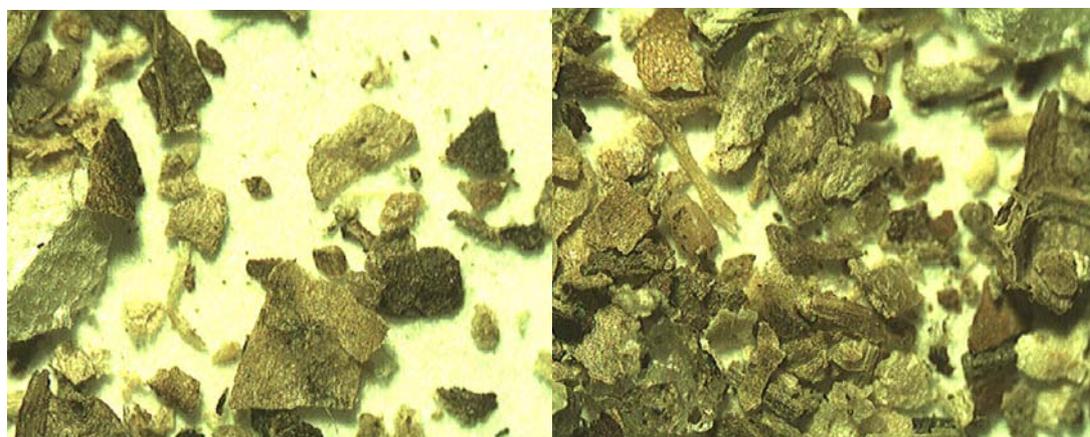
En el análisis de la composición química de las cáscaras de maní, se destaca la presencia de extractivos. En el análisis químico bibliográfico no se menciona la presencia de taninos, debido quizás a la metodología de análisis químico. Sin embargo tenemos evidencias que existe tanino en la composición química de las cáscaras de maní, debido a dos indicadores sugeridos:

- ✓ el color marrón oscuro del extracto. Este presenta un denso color amarillo amarronado (tabaco).
- ✓ reacción  $Fe^{3+}$  (solución cloruro ferrico) con el tanino, que forma el característico color azul oscuro (Test de Estimación Visual Rápida empleado por Price, M and Butler, L, 1977)

### 3.9.- Granulometría

Inicialmente, las cáscaras de maní fueron utilizadas enteras, tal como vienen de las plantas procesadoras, y así evitar una etapa en el proceso de elaboración. Sin embargo, más adelante se comparan experiencias realizadas con cáscaras enteras y cáscaras molidas a fin de evaluar el impacto de la morfología de las partículas de cáscaras en las características y comportamiento de los compuestos cáscaras – cemento. Se analizaron muestras de diferente granulometría a través del microscopio Fig 72 a y b, Fig 73 a y b; Fig 74 a y b; Fig 75 a y b.

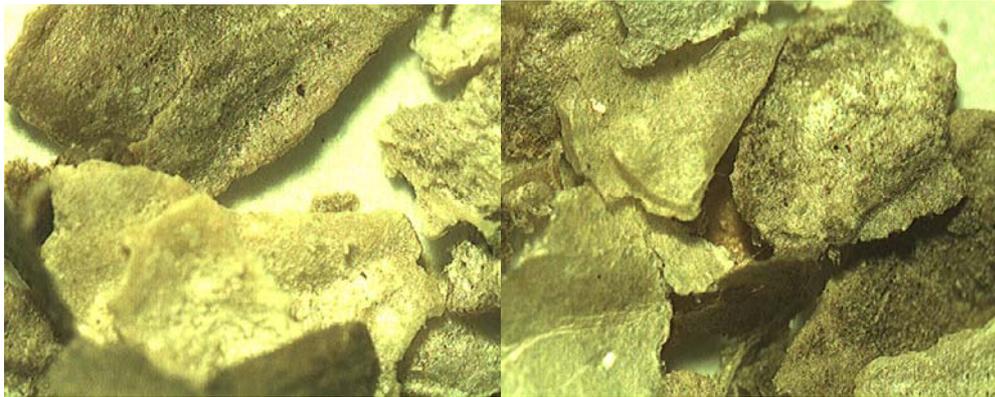
#### Ultrafino



**10 mm**

Fig 72 a y b: Granulometría ultrafina de cáscaras de maní

## Fino



10 mm

FIG 73 a y b: Granulometría fina de cáscaras de maní

## Mediano



10 mm

FIG 74 a y b: Granulometría mediana de cáscaras de maní

## Desfibrado



10 mm

FIG 75 a y b: Granulometría desfibrada de cáscaras de maní

Las diferentes curvas granulométricas fueron determinadas utilizando una serie de tamices tipo TYLER, tal como se describe en Tabla 34 y graficadas en la Fig 76.

Tabla 34: Composición granulométrica de las cáscaras de maní molidas

		Tamiz mm				
		Total	4,76	2	1	0,105
<b>Cáscara</b>	g	55,3	5,67	32,07	10,77	6,76
	%	100	10,25	57,99	19,47	12,22
<b>Cáscara Fina</b>	g	76,55	0,52	52,35	17,22	6,46
	%	100	0,679	68,38	22,49	8,43
<b>Cáscara Ultrafina</b>	g	99,71	0,13	8,84	46,1	44,64
	%	100	0,13	8,86	46,2	44,8
<b>Cáscara Desfibrada</b>	g	98,16	0	43,1	42,25	12,9
	%	100	0	43,9	42,9	13,2

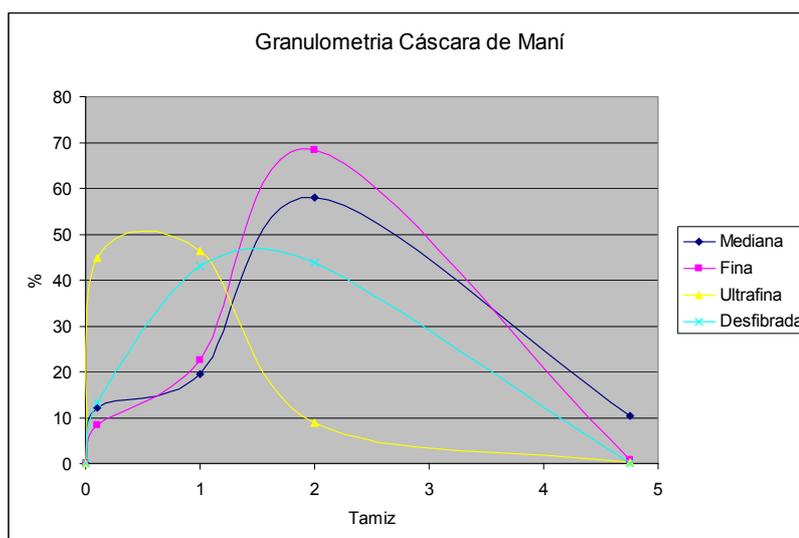


Fig 76: Curvas granulométricas de las partículas molidas de cáscaras de maní

Nota:

Tamiz 1: 4,76 mm

Tamiz 2: 2,0 mm

Tamiz 3: 1,0 mm

Tamiz 4: 0,105 mm

Pudo observarse que en la granulometría correspondiente a “desfibrado” se encuentran muchas fibras largas, lo que no se observan en las otras muestras.

### 3.11.- Conclusiones preliminares. Propiedades físicas y químicas de las cáscaras de maní

Las cáscaras de maní constituyen un recurso regional sobre abundante para ser investigado en

cuanto a sus posibilidades de ser considerado insumos para materiales de construcción. Hasta el momento, no existen aplicaciones rentables a escala de la disponibilidad del recurso.

La determinación de sus propiedades físicas orienta acerca de su composición morfológica. Resulta atractiva su observación en lupa y en microscopio. La abundancia de celdas de aire puede significar buen comportamiento como agregado de materiales aislantes térmicos.

Existe una cantidad de tierra adherida a la superficie de las cáscaras que puede interferir en el proceso de fragüe del cemento. Otra característica importante es el desprendimiento de la piel superficial de la cáscara promovida por la fricción al ser mezcladas con cemento.

En términos químicos, la presencia importante de lignina y hemicelulosa en las cáscaras de maní podrían ser responsables de interferencias de fragüe con el cemento.



## Capítulo 4. Cáscaras de maní en matriz cementicia.

### 4.1. Resumen

Este apartado desarrolla la utilización de cáscaras de maní como agregado en mezclas de cemento. El objeto es conocer las propiedades obtenidas respecto de: la acción de cemento utilizado como ligante, tipos de aditivaciones empleadas y granulometría del agregado, para la producción de materiales de construcción.

Para conocer las condiciones de fragüe de cemento en presencia de extractos de agregados vegetales, se describe el ensayo de tiempo de fragüe. Se determina así retardo en los tiempos de fragüe y endurecimiento. También se presentan los resultados obtenidos en compuestos de cáscaras de maní y cemento ensayadas a tracción simple, a fin de determinar las diferencias de cohesión encontradas entre las partículas del agregado según diferentes aditivaciones y granulometrías. Los ensayos de tracción demostraron mejoras en las propiedades mecánicas de las probetas realizadas con granulometría menor tratadas previamente con cal viva.

También se realizan ensayos de compresión simple para conocer la capacidad de resistencia mecánica comparada, según granulometría, de los diferentes tratamientos. Los ensayos de compresión demostraron mejoras en el comportamiento mecánico de las mezclas de cáscaras de maní y cemento aditivadas con Silicato de Sodio y Sulfato de Aluminio y mezclas cementicias con cáscaras lavadas.

También son presentadas experiencias realizadas con placas prensadas de cáscaras de maní y cemento, y moldeadas con la técnica de vacío seguido de presión (para quitar todo exceso de agua). Las propiedades resultantes se exponen según ensayos físicos de densidad aparente, absorción de agua y porosidad aparente; y ensayos mecánicos de flexión, con la determinación de modulo de ruptura, limite de proporcionalidad, modulo elástico y energía específica.

Los primeros resultados mostraron una atractiva combinación de propiedades físicas y de flexión. Las muestras de placas realizadas con cemento y cáscaras presentaron arriba de  $8 \text{ N/mm}^2$  de valor de modulo de ruptura, densidad aparente alrededor de  $1900 \text{ k/m}^3$  y absorción de agua de 13,6 % en masa.

### 4.2. Interfase cáscaras de maní + cemento

#### 4.2.1.- Determinación de interferencias en la interfase cemento- cáscaras de maní.

Se observa inicialmente que existen interferencias de fragüe entre las cáscaras de maní y el cemento, a través de falta de cohesión de las mezclas, donde las partículas se desprenden fácilmente. Al individualizar una partícula de cáscara de maní se registra desprendimiento de las capas externas, que aunque impregnadas con cemento, no ligan entre si, tal como se observa en la Figura 67.

Las cáscaras de maní y el cemento tiene particulares incompatibilidades. Ciertas interferencias existen en relación a su estructura física, y ciertas interferencias existentes en relación a la composición química de las cáscaras de maní.

En términos físicos, es posible que la humedad de la pasta cementicia sea absorbida primeramente por la delgada superficie externa de la cáscara. Debido a la elevada porosidad de las cáscaras de maní, la humectación causa el desprendimiento de la piel exterior, acentuada por la fricción que se produce durante el procedimiento de mezclado. Desprendida la piel externa y

absorbida gran parte de la humedad de la pasta cementicia, la mayor parte de la cáscara compuesta por los filamentos y la piel interna no llegan a ser impregnadas por el aglutinante cemento, y consecuentemente no se produce la impregnación del agregado en forma homogénea. Esto es evidente en una observación directa obtenida con una lente de aumento de 10 x. En la figura 77, la piel superficial impregnada con cemento se desprende con facilidad. Se observa una estructura micro granular y multiforme, y no presenta adherencia con el resto de la cáscara, aun con un recubrimiento cementicio.



Fig. 77: Cáscara de maní con cemento, superficie externa

#### 4.2.1.1.- Ensayo de tiempo de fragüe

Partiendo de la suposición que algunos de los componentes solubles de las cáscaras de maní pueden interferir en el fragüe y endurecimiento de los morteros con agregados cáscaras, fue realizado el ensayo de tiempo de fraguado de cemento tipo Pórtland. Se midió el tiempo de fragüe de extractos de las cáscaras de maní en diferentes condiciones. Se reconoce que la capacidad extractiva de los líquidos en materiales solubles vegetales depende de la naturaleza del solvente del pH y de la temperatura, entre otros.

Los resultados obtenidos del análisis de las condiciones de extracción son los siguientes:

- ✓ Solución 0: agua + cemento
- ✓ Solución 1: agua - pH 7
- ✓ Solución 2: Agua en contacto con cemento por 24 h. con pH 12.
- ✓ Solución 3: agua + cáscaras con suelo.

Los resultados del ensayo de tiempo de fragüe se presentan en la Tabla 35 y en la Figura 78

Tabla 35: Determinación de tiempo de fragüe de muestras de extractos de cáscaras de maní y cemento

IDENTIFICACION DE MUESTRAS	TIEMPO DE FRAGÜE	
	INICIAL h - min	FINAL h - min
0	02:28	05:59
1	03:30	06:54
2	03:32	06:42
3	03:28	06:34

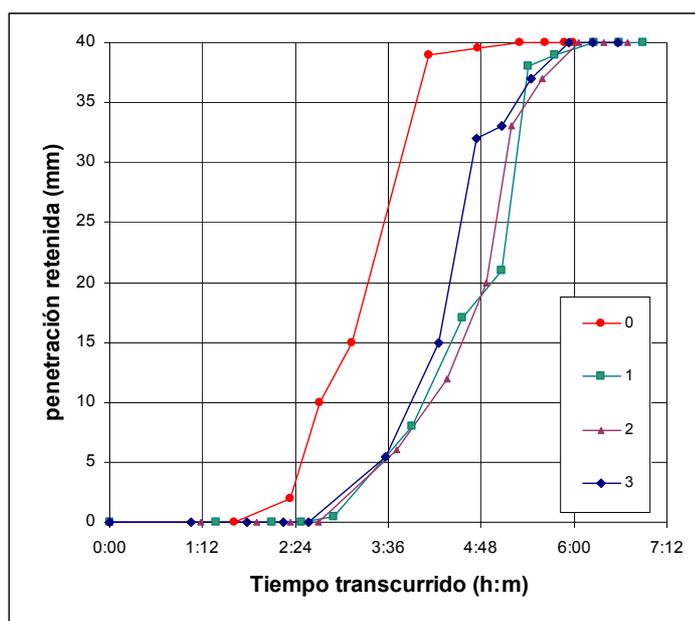


Figura 78: Tiempo de fragüe de probetas de cemento y extractos de cáscaras de maní

Los resultados de la determinación del tiempo de fragüe demuestran el retardo existente de las pastas elaboradas con cemento y extractos de cáscara de maní respecto de la pasta elaborada con cemento y agua pura. Cuando la pasta normal comienza a fraguar a las 2,5 h de elaborada, todas las demás muestras inician el endurecimiento en un tiempo notablemente mayor. Todas las probetas medidas inician el fragüe muy próximo a las 3,5 h., esto es un retraso de 40 % de tiempo aproximadamente.

La tendencia no es simétrica en los tiempos finales de fragüe. Mientras la pasta de referencia concluye el fragüe a las 6 h de elaborada la pasta, el resto de las muestras concluyen el fraguado entre 0,5 h y 1,0 h más tarde, esto es, entre 15 y 25 % de retraso respecto de la pasta normal. Se observa en la tabla 32 que el retardo de tiempo de fragüe final de una pasta elaborada con un extracto, respecto a la pasta elaborada con agua pura, es siempre menor que el retardo entre tiempo inicial de fragüe de las mismas pastas.

Cabe destacar que no aparecen diferencias significativas en la determinación de los tiempos de fragüe de los extractos solubles de las cáscaras de maní entre sí, que fueron obtenidos bajo diferentes condiciones. Tanto los extractos de cáscara con agua pura, extractos de cáscara con agua cementada, y el extracto de cáscara con mayor presencia de tierra adherida tuvieron un comportamiento similar de tiempo de fraguado.

#### 4.2.1.2.- Resistencia a compresión de mezclas de cemento con extractos de cáscaras de maní.

A fin de relacionar el ensayo de determinación del tiempo de fragüe con el comportamiento mecánico, se efectuaron ensayos de resistencia a compresión de las pastas cementicias precedentes. El objetivo era reconocer si la diferencia en el retardo del tiempo de fragüe se vinculaba a disminución de la resistencia mecánica de las muestras. Los resultados a los 7, 14 y 28 días se muestran en la figura 79.

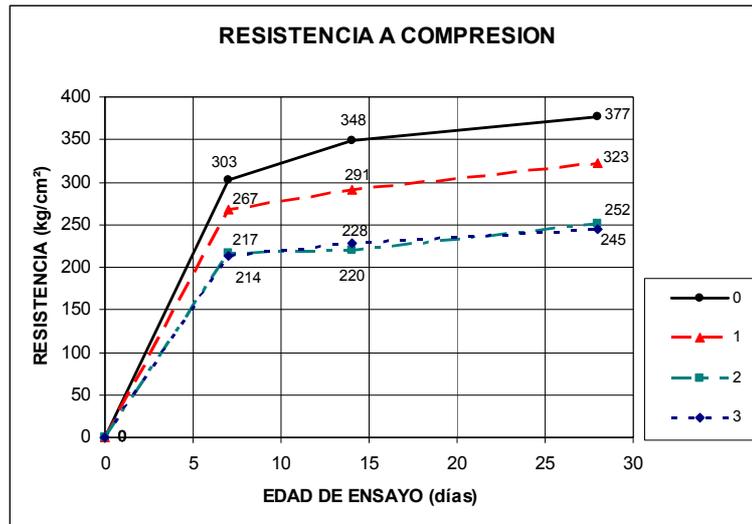


Fig 79: Resistencia a compresión de probetas de cemento y extractos de cáscaras de maní

En las tres muestras con extractos de cáscaras de maní ensayadas, se observa disminución de la resistencia respecto de la pasta tomada como referencia, Este comportamiento mecánico se refleja en toda la curva de resistencia. No obstante aparece una diferenciación entre las pastas cementicias realizadas con los diferentes extractos que no había sido manifiesta en el ensayo de tiempo de fragüe. La pasta elaborada con extracto soluble de cáscaras de maní en agua pura muestra resistencia a compresión intermedia entre las mezcla normal y las otras dos mezclas de extractos.

En el caso de la muestra 3, elaborada a partir de la solución que contenía mayor cantidad de tierra vegetal, la mas pronunciada disminución de la resistencia podría ser explicada por la presencia de humus, que se reconoce, es un inhibidor de la reacción cementicia. Este comportamiento es muy parecido al mostrado por la pasta de extracto de cáscaras con agua cementada, como si hubiera aumentado la concentración de “interferentes” en la reacción cementicia.

Esto demuestra la naturaleza ácida de los extractos solubles de la cáscara de maní debido a la mayor concentración de los extractos en presencia de una solución alcalina, como es el agua cementada (pH 12). De manera que, queda evidenciada la reacción ácida – alcalina entre sustancias provenientes de las cáscaras de tipo fenoles (taninos y flebonas) y el cemento, cuyo efecto se marca en la muestra 2.

### 4.3.- Morteros con cáscaras de maní enteras y cemento

#### 4.3.1.- Relación agua-cemento (a/c)

En la elaboración de las mezclas, se comprueba la alta absorción de agua de las cáscaras debido a su superficie porosa. En consecuencia la relación a/c varía en cada formulación, aunque se reconoce elevada en todas las muestras.

Cabe destacar algunas consideraciones respecto del agua agregada en las probetas. En algunas de ellas, el agua estaba incorporada en las cáscaras, cuando éstas venían lavadas. En el caso de cáscaras pre impregnadas con cal, era necesario humectar las cáscaras previamente para promover la reacción de la cal viva dentro de las cáscaras. Así también en el caso de aditivaciones químicas, silicato de Na y sulfato de Al, estas sustancias estaban disueltas en agua. Es así entonces que el conteo de agua necesaria en cada muestra es el resultado de toda el agua

interveniente, en sus diferentes formas. Los valores resultantes son expresados en la Tabla 36.

Tabla 36: Relación a/c para morteros de cáscaras de maní enteras

Serie de probetas	Características	Cemento (dm <sup>3</sup> )	Agua (l)	a/c	Observaciones
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	5	10	2	Cáscaras secas
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	5	8,60	1,72	Contenido de agua mayoritariamente presente absorbido por las cáscaras en la etapa de lavado previa
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	5	5,4	1,08	Cáscaras humectadas e impregnadas con cal viva previamente.
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	5	8	1,60	Parte del agua de amasado estaba contenida en la solución de silicato de Na al 2,5 %
5 (Na + Al)	Cáscaras + aditivo silicato de Na y Sulfato de Al	5	8	1,60	Parte del agua de amasado estaba contenida en la solución de silicato de Na y en la solución de sulfato de Al
6 (Al)	Sulfato de Al: 160 gr.	5	10,5 lt	2,1	Parte del agua de amasado estaba contenida en la solución de sulfato de Al al 2,5 %

La variación en el contenido de agua es muy importante entre 1 y 2. Queda demostrado que la condición de las cáscaras de maní al momento de elaborar las mezclas influye importantemente en la relación agua/cemento.

Cuando el agregado cáscaras se incorpora en estado natural, son cáscaras secas, muy ávidas de humedad.

Las cáscaras lavadas previamente son escurridas durante 48 h. Gran parte de esa cantidad de agua se elimina, pero dependiendo de las condiciones de humedad del ambiente, parte del agua permanece absorbida por las cáscaras. Esto hace que la cantidad de agua que se incorpora durante el amasado del mortero, se reduzca sensiblemente.

Cabe observar que, en el caso de mezclas con cáscaras pre-impregnadas con cal, la cantidad de agua de amasado disminuye notablemente. Ello es debido a que la presencia de cal en la mezcla de cáscaras y cemento, mejoró la plasticidad de la pasta, y en consecuencia, redujo la demanda de agua para el mezclado.

En los casos donde la incorporación de agua se realiza en dos etapas, el control sobre el volumen final de agua es considerado como la suma de las soluciones aditivadas más la cantidad de agua que se incorpora durante el amasado del mortero.

#### 4.3.2.- Determinación del pH en cada una de las muestras aditivadas.

Las diferentes aditivaciones de las cáscaras no mostraron variaciones en el pH de los morteros. Estas relaciones fueron mantenidas durante las primeras 24 h., tal como se describe en Tabla 37

Tabla 37: Determinación de pH de las diferentes formulaciones de morteros de cáscaras de maní

Serie de probetas	Características	0 h	3 h	24 h
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	13	11-12	11-12
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	13	11-12	11-12
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	11	11	10-11
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	13	13	12 -13
5 (Na + Al)	Cáscaras + aditivo silicato de Na y Sulfato de Al	13	13	12-13
6 (Al)	Sulfato de Al: 160 gr.	-	-	-

Todas las soluciones presentaron nivel alcalino alto, donde la presencia de cemento es dominante, ligeramente modificada por la presencia de aditivos diversos. Estos resultados demuestran la exposición alcalina a que son sometidas las cáscaras de maní durante la elaboración del mortero cementicio.

#### 4.3.3.- Propiedades mecánicas.

En general los morteros se presentan poco plásticos y poco cohesivos, debido a la relación ligante - agregado (1:6 vol/vol). Además, la escasa cantidad de agua disponible en los pastones, y la alta relación a/c trabajada demuestra la gran capacidad de absorción de agua de las cáscaras.

El tamaño de las cáscaras enteras también influye en las propiedades de la mezcla. La abundante presencia de oquedades y vacíos hace que resulte una pasta heterogénea, difícil de compactar, e inclusive, con cierta memoria a recuperar su volumen al momento de ser aplicada la presión de moldeo. Esta condición favorece el craqueo de las matrices cementicias en presencia de agregados vegetales, descrita por H. Savastano (2005)

##### 4.3.3.1.- Ensayo de tracción

Con la finalidad de medir las propiedades cohesivas de la matriz cemento – cáscara, se realizó el ensayo de tracción. Para testear las mejoras de adhesividad de la pasta en presencia de tratamiento de cáscaras o incorporación de aditivos químicos, se sometieron las probetas a una fuerza de separación de las partículas, asumiendo que una probeta de cáscaras de maní o de cualquier otra partícula sin ligante, podría llegar a ofrecer alguna resistencia a compresión, pero ninguna resistencia a tracción. Esta relación mediría la fuerza de cohesión entre partículas por efecto del aglutinante empleado. Los resultados del ensayo se muestran en la Tabla 38 y Fig. 80

Tabla 38: Ensayo de Tracción directa en probetas con cáscaras enteras – cemento (con los valores medios y la precisión de los resultados)

Serie de probetas	Características	Diámetro (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza Rotura (kg)		Tensión Rotura (Mpa)	
				media	(± SD)	Media	(± SD)
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	100	78,5	30	7,07	<b>0,04</b>	0,01
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	100	78,5	65	7,07	<b>0,08</b>	0,01
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	100	78,5	129	43,37	<b>0,16</b>	0,05
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	100	78,5	105	40,77	<b>0,13</b>	0,05
5 (Na + Al)	Cáscaras + aditivo silicato de Na y Sulfato de Al	100	78,5	65	7,07	<b>0,08</b>	0,01
6 (Al)	Sulfato de Al: 160 gr.	100	78,5	112	20,20	<b>0,14</b>	0,02

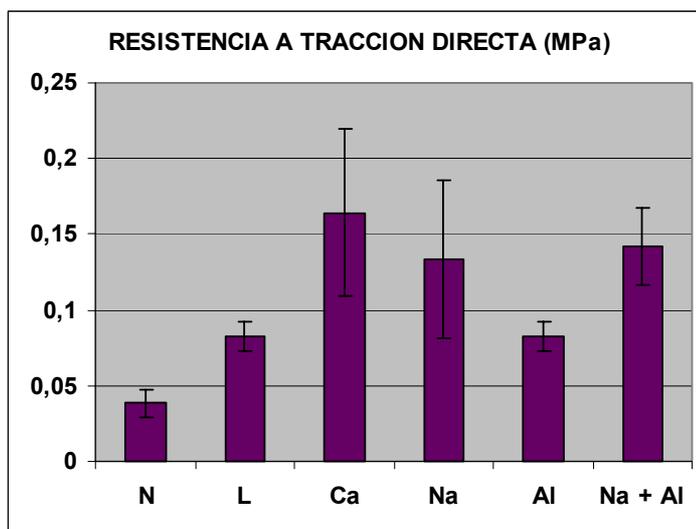


Figura 80: Resistencia a Tracción Directa de morteros de cemento y cáscaras de maní enteras

De los resultados obtenidos<sup>1</sup>, es posible establecer tres grupos de comportamiento mecánico a tracción. El primer grupo está conformado por las probetas elaboradas con cáscaras de maní y cemento sin aditivos ni tratamiento previo. En esta condición se cuenta el uso de agregado cáscaras en estado natural. Los valores de resistencia a tracción resultantes fueron los más bajos: entre 0,45 k / cm<sup>2</sup> y 0,32 k/cm<sup>2</sup>. La medición de esta condición de las mezclas constituye el punto

<sup>1</sup> Como resultado adicional, cabe agregar que no todas las probetas llegaron al Laboratorio de Estructuras en condiciones de ser ensayadas. Algunas de las probetas de cáscaras en estado natural y cáscaras lavadas se rompieron durante el transporte, lo que demuestra el escaso comportamiento mecánico.

En tanto, otras probetas tales como algunas de las realizadas con la aditivación de silicato de Na + Sulfato de Al al ser sometidas al ensayo de tracción, rompieron en encabezado, no en el cuerpo de la muestra. En consecuencia, estos valores no fueron considerados a los efectos del análisis.

de partida que se propone mejorar.

El segundo grupo de comportamiento está conformado por las probetas elaboradas con cáscaras lavadas con agua previamente y aquellas donde el agregado de sulfato de Al actúa como aditivo. El lavado de las cáscaras permite la eliminación de materia orgánica adherida en las cáscaras, tal como polvillo, tierra u algún resto de otra materia orgánica inhibiendo la reacción cementicia. El lavado además, permite la extracción de extractivos solubles de las cáscaras.

La incorporación de  $Al^{+3}$ , al ser un ion metálico polivalente, forma una sal insoluble con los taninos presentes en la cáscara, que son de naturaleza ácida (polifenólicas). De esta manera los taninos quedan "bloqueados" y no migran fuera de la estructura de las cáscaras. Así, la interferencia de fragüe que pudieran provocar en presencia de cemento se reduce. La forma práctica de adicionar Al, es en forma de sulfato de aluminio, que es una sal soluble en agua. En estos casos el incremento de la resistencia a tracción aumento en 100 % respecto de las probetas sin aditivación química.

El tercer grupo está conformado por las mezclas que mostraron mejor comportamiento a tracción con el ligante cemento. Son aquellas donde el agregado cáscaras de maní fue previamente tratado con cal viva, y las probetas donde las mezclas de cáscaras y cemento se aditaron con silicato de Na y la doble aditivación de silicato de Na y sulfato de Al.

La reacción química entre los polifenoles de naturaleza ácida frente a la cal agregada (según probetas ensayadas en serie 3), formaría un derivado cálcico insoluble que no migraría, y en consecuencia permitiría la actuación del cemento. El agregado de cal (óxido de calcio) tiene como finalidad lograr un recubrimiento calcáreo en la superficie de la cáscara. Se busca también a través de esta impregnación, la fijación de los taninos que pudiesen ser perjudiciales en el posterior proceso de fraguado. Además, la cal conduce a la solubilización de las hemicelulosas y la eliminación de las moléculas de azúcares correspondientes. Además, los taninos son de naturaleza ácida (polifenoles), los cuales en presencia de cal forman un compuesto muy poco soluble en agua (tanato de calcio), el que bloqueado en la estructura de la cáscara del maní, no migra o se minimiza su migración, para evitar cualquier problema de interferencia con el proceso de fraguado del cemento.

Por otro lado, la presencia de aditivos químicos promueve la compatibilidad entre el agregado vegetal y el cemento. En la serie 5, se impregnó la cáscara de maní con una solución al 2,5 % de silicato de sodio, y posteriormente se le agregó una solución de sulfato de aluminio al 2,5 %; el cual reacciona con el silicato de sodio que impregna la cáscara de maní formando un precipitado insoluble de silicato de aluminio, dentro de la estructura porosa de la cáscara.

En la serie 4, se impregna la cáscara de maní solamente con silicato de sodio al 2,5 %, y posteriormente es mezclada con cemento, donde ocurre un fenómeno muy similar al descrito en el párrafo anterior. Con la diferencia, que la insolubilización de los silicatos en este caso no se realiza por la intervención de los iones polivalentes aluminio, sino principalmente por la presencia de iones polivalentes calcio, que se encuentran en disponibilidad en el agua cementicia y forman un precipitado insoluble dentro de la matriz lignocelulósica.

Además, después del tratamiento con cal, las hemicelulosas se fueron y queda principalmente celulosa y sobre todo la parte cristalina de la celulosa.

#### **4.3.3.2.- Ensayo de compresión**

Con posterioridad a la realización del ensayo de tracción, se realizó el ensayo de compresión simple. Se consideró que si bien estaba orientada la medición de las mejoras de las propiedades

cohesivas por efecto de las aditivaciones, el ensayo realizado no medía las propiedades del material, en su puesta en servicio. Por tal motivo se realizó el ensayo de compresión simple en iguales probetas cilíndricas. Los resultados se presentan en Tabla 39 y Fig 81

Tabla 39: Ensayo de compresión directa en probetas cilíndricas con cáscaras enteras y cemento

Identificación de Muestras			Fuerza de Rotura		Tensión de Rotura	
Serie de probetas	Características	Área (cm <sup>2</sup> )	(kg)		(Mpa)	
			media	(± SD)	Media	(± SD)
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	83,89	100,75	4,99	<b>0,12</b>	0,01
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	82,27	98,75	32,17	<b>0,12</b>	0,04
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	82,88	129,5	19,46	<b>0,155</b>	0,02
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	92,63	120,25	17,80	<b>0,13</b>	0,04
5 (Na + Al)	Cáscaras + aditivo silicato de Na y Sulfato de Al	84,29	239,5	27,95	<b>0,285</b>	0,03
6 (Al)	Sulfato de Al: 160 gr.					

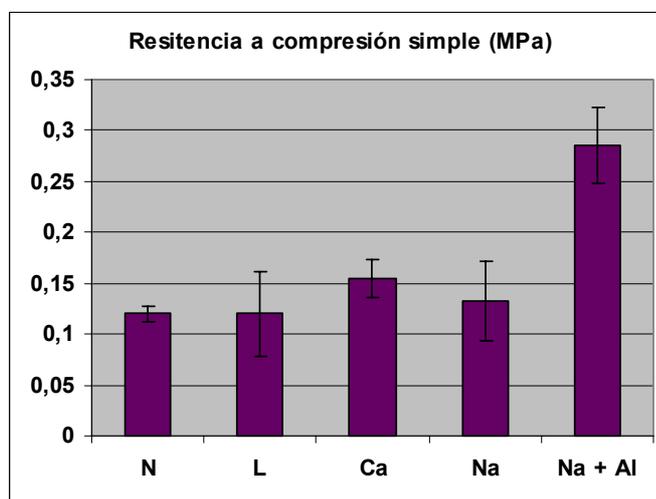


Figura 81: Resistencia a Compresión Simple de probetas de cemento y cáscaras de maní enteras

Los resultados indican la diferencia de comportamiento mecánico de compresión de las probetas ensayadas. Con las consideraciones realizadas en la discusión de los resultados del ensayo de tracción directa, queda demostrado que la aditivación química es una vía de mejoramiento de las propiedades mecánicas del material cemento – cáscaras de maní.

No obstante, a diferencia del ensayo de tracción, no es la probeta con adición de óxido de calcio la que demuestra mejor valor de compresión simple. De modo que, la presencia de cal en las mezclas podría significar una mejora en la compactación del mortero, y no una mejora de la

cohesión del mortero.

La evaluación comparada de los valores de resistencia a compresión directa, nos permiten seleccionar la fórmula que incorpora silicato de Na y sulfato de Al como la de mejor comportamiento.

#### 4.3.4.- Propiedades físicas

##### 4.3.4.1.- Densidad

La densidad de las probetas ensayadas resulto baja en todas las probetas testeadas debido a la incorporación del agregado cáscaras de maní de geometría cóncavo convexa, y como resultado de no aplicar presión en la etapa de moldeo de las probetas. Tabla 40 y Fig 82

Tabla 40: Densidad en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

Identificación de Muestras			PESO SECO g	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup> media
Serie de probetas	Características	Área (cm <sup>2</sup> )		
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	85,72	787,1	0,62
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	-	-	-
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	84,09	996,3	0,69
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	84,90	678,2	0,50
5 (Na + Al)	Cáscaras + aditivo silicato de Na y Sulfato de Al	-	-	-
6 (Al)	Sulfato de Al: 160 gr.	83,28	783,6	0,58

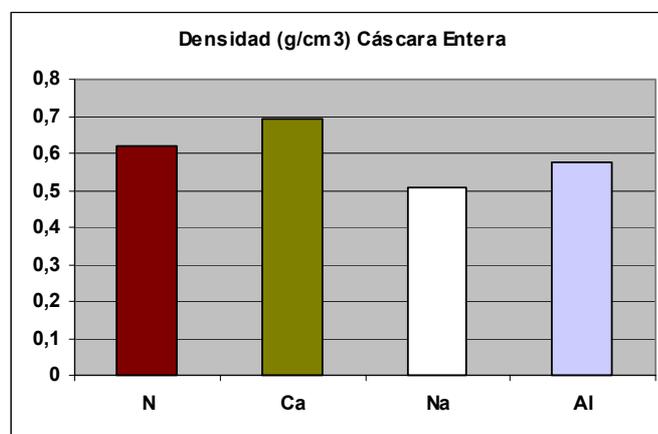


Fig 82. Densidad comparada en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

#### 4.3.4.2.- Absorción de agua

Se encontraron valores importantes de absorción de agua en los morteros de cáscaras enteras y cemento en el ensayo correspondiente. Los resultados se presentan en la Tabla 41 y Figura 83

Tabla 41: Absorción de agua en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

Identificación de Muestras			PESO SECO grs	PESO Saturado grs	ABSORCIÓN DE AGUA	
Serie de probetas	Características	Area (cm <sup>2</sup> )			g	%
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	85,72	787.1	1408.2	621.1	78,9
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	-	-	-	-	-
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	84,09	996.3	1202.4	206.1	20,7
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	84,90	678.2	1140.1	461.9	68,1
5 (Na + Al)	Cáscaras + aditivo silicato de Na y Sulfato de Al	-	-	-	-	-
6 (Al)	Sulfato de Al: 160 gr.	83,28	783.6	1126.2	342.6	43,7

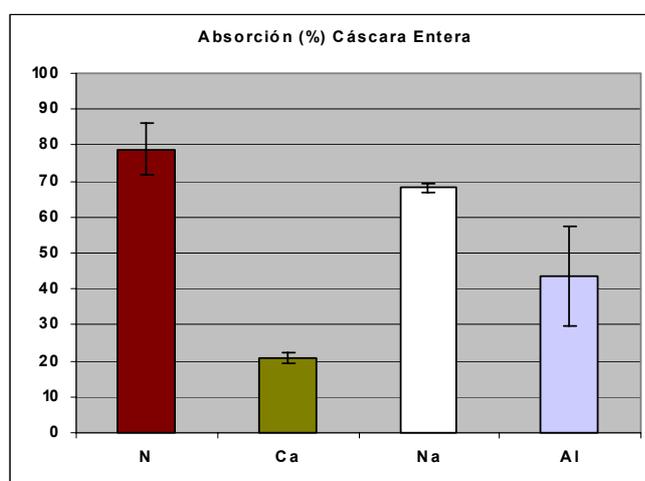


Fig. 83: Absorción de agua comparada en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

Respecto del comportamiento final de absorción, la probeta elaborada con cáscaras en estado natural es la que absorbe más agua.

La probeta que registra menos % de absorción de agua es la probeta elaborada con cáscaras de maní previamente tratadas con cal viva. Probablemente la presencia de cal en los espacios intersticiales del sistema cáscaras - cemento, reduzca la presencia de oquedades o poros, y en consecuencia la probeta resulta de superficie más homogénea y compacta, y ello frena la incorporación de agua.

Se destaca también el comportamiento absorbente de la probeta de cáscaras y cemento aditivada con Silicato de Na y Sulfato de Al. Esta aditivación química reduce casi el 50 % del porcentaje absorbido por las probetas cemento - cáscaras naturales.

#### 4.4.- Morteros con cáscaras de maní molidas y cemento

##### 4.4.1.- Relación agua-cemento (a/c)

La relación agua/cemento fue una variable que se modificó según la granulometría de las cáscaras y según el tipo de aditivo empleado. La dosificación de agua no era una variable prefijada. La cantidad de agua que se incorporó en cada preparación fue la necesaria para el mezclado de los materiales. De manera similar a las mezclas de cáscaras de maní enteras y cemento, la relación a/c en probetas elaboradas con cáscaras de maní molidas fue elevada. Tabla 42.

Tabla 42: Relación a/c para morteros de cáscaras de maní molidas y cemento

Serie de probetas	Características	Cemento (dm <sup>3</sup> o l)	Agua (l)	Relación agua/cemento a/c	Observaciones
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	5	12	2,4	Cáscaras secas
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	5		1,32	Contenido de agua mayoritariamente presente absorbido por las cáscaras en la etapa de lavado previa
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	5	8,5	1,7	Cáscaras humectadas e impregnadas con cal viva previamente.
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	5	15	3	Parte del agua de amasado estaba contenida en la solución de silicato de Na al 2,5 %
5 (Na + Al)	Cáscaras + aditivo silicato de Na y Sulfato de Al	5	15	3	Parte del agua de amasado estaba contenida en la solución de silicato de Na y en la solución de sulfato de Al
6 (Al)	Sulfato de Al: 160 gr.	-	-	-	Parte del agua de amasado estaba contenida en la solución de sulfato de Al al 2,5 %

La variación en el contenido de agua de las mezclas se mantiene muy importante: entre 1,3 y 3. La relación a/c aumenta respecto de las mezclas elaboradas con cáscaras enteras, y ello es debido a la mayor cantidad de partículas (y en consecuencia mayor superficie de absorción) en las cáscaras molidas. Queda demostrado que los agregados de origen vegetal tienen una alta capacidad de absorber agua y en la elaboración de morteros cementicios trae como consecuencia el aumento de la cantidad de agua necesaria para promover la reacción del cemento. Como si la

primera cantidad de agua debiera saturar las cáscaras, para luego quedar agua disponible para la reacción cementicia.

#### 4.4.2.- Propiedades mecánicas

##### 4.4.2.1.- Ensayo de tracción directa

Se ensayaron cuerpos de prueba elaborados con morteros donde cáscaras de maní, enteras y molidas respectivamente, recibieron tratamientos y aditivaciones similares. La granulometría del agregado influyo en las propiedades mecánicas de los compuestos obtenidos. Con las mismas consideraciones realizadas previamente, los resultados obtenidos se exponen en Tabla 43 y Fig. 84.

Cabe aclarar que no se realizaron ensayos de las formulaciones aditivazas con silicato de sodio + sulfato de aluminio, y con sulfato de aluminio solamente.

Tabla 43: Ensayo de Tracción directa en probetas con cáscaras enteras – cemento (con los valores medios y la precisión de los resultados)

Serie de probetas	Características	Diámetro (mm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Fuerza Rotura (kg)		Tensión Rotura (Mpa)	
				media	(± SD)	Media	(± SD)
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	100	78,5	2	4	0,00	0,00
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	100	78,5	8,75	7,63	0,01	0,00
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	100	78,5	201,25	79,02	0,25	0,1
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	100	78,5	56,5	22,57	0,07	,039

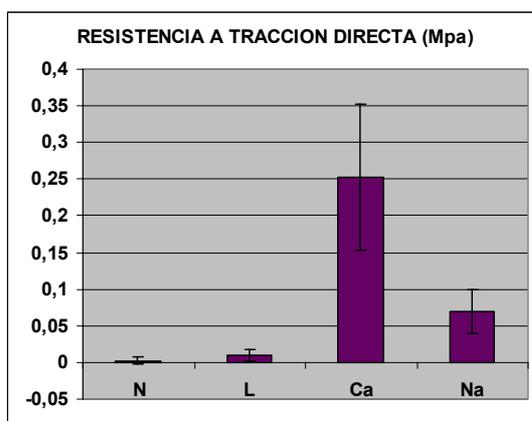


Figura 84: Resistencia a Tracción Directa de morteros de cemento y cáscaras de maní molidas

Esta claramente diferenciado el comportamiento de las probetas donde las cáscaras de maní fueron tratadas previamente con cal antes de la incorporación de cemento. La diferencia respecto de sus similares, donde las cáscaras de maní no fueron tratadas, o fueron lavadas, es importante. En tanto, si bien los compuestos con cáscaras de maní y cemento aditivadas con silicato de sodio

mejoraron su comportamiento respecto de aquellas que no tenían tratamiento químico, la mejora no es tan significativa.

Aunque la diferencia de comportamiento mecánico de tracción de las probetas con cal no explica claramente si esto significa una mejora de la cohesión de las partículas o es simplemente una propiedad referida a la mayor densidad de este compuesto.

#### 4.4.2.2.- Ensayo de Compresión simple

Los resultados alcanzados en el ensayo de compresión simple de las probetas elaboradas con cáscaras molidas demostraron leves diferencias de comportamiento en relación a sus similares de cáscaras de maní enteras según los tratamientos químicos empleados. Tabla 44 y Fig. 85

Tabla 44: Ensayo de compresión directa en probetas cilíndricas con cáscaras molidas y cemento

Identificación de Muestras			Fuerza de Rotura (k)		Tensión de Rotura (Mpa)	
Serie de probetas	Características	Área (cm <sup>2</sup> )	media	(± SD)	Media	(± SD)
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	81,47	114	2,58	<b>0,14</b>	7
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	82,88	173,3	22,2	<b>0,21</b>	30
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	83,28	107	20,3	<b>0,13</b>	25
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	81,67	117	4,9	<b>0,14</b>	6
5 (Na + Al)	Cáscaras + aditivo silicato de Na y Sulfato de Al	81,47	142,8	7,89	<b>0,175</b>	11
6 (Al)	Sulfato de Al: 160 gr.	83,48	117	13,4	<b>0,14</b>	14

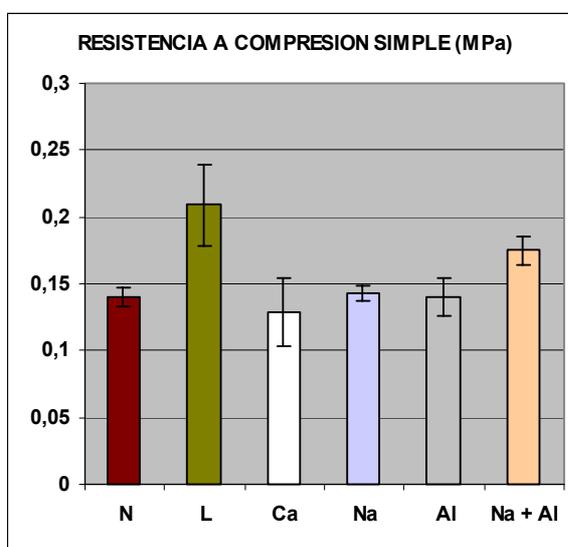


Figura 85: Resistencia a Compresión Simple de probetas de cemento y cáscaras de maní molidas

El comportamiento mecánico de compresión de los diferentes compuestos, si bien con diferencias, no muestra variaciones significativas. Las probetas elaboradas con cáscaras lavadas se destacan, seguidas de aquellas elaboradas con cáscaras de maní aditivadas con silicato de sodio y sulfato de aluminio.

La formulación elaborada con cáscaras de maní lavadas y molidas se presenta con buena alternativa posible aplicación en el moldeo de componentes para construcción.

#### 4.4.3.- Propiedades físicas

##### 4.4.3.1.- Densidad

La densidad es una de las propiedades donde influye claramente la granulometría de las cáscaras de maní empleadas, y se vincula a la capacidad de absorción de agua. Los valores encontrados se presentan en la Tabla 45 y Fig 86.

Tabla 45: Densidad en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

Identificación de Muestras			DENSIDAD
Serie de probetas	Características	Area (cm <sup>2</sup> )	g/cm <sup>3</sup> media
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	85,72	0,55
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	-	0,63
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	84,09	0,73
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	84,90	0,58
5 (Na + Al)	Cáscaras + aditivo silicato de Na y Sulfato de Al	-	0,63
6 (Al)	Sulfato de Al: 160 gr.	83,28	0,60

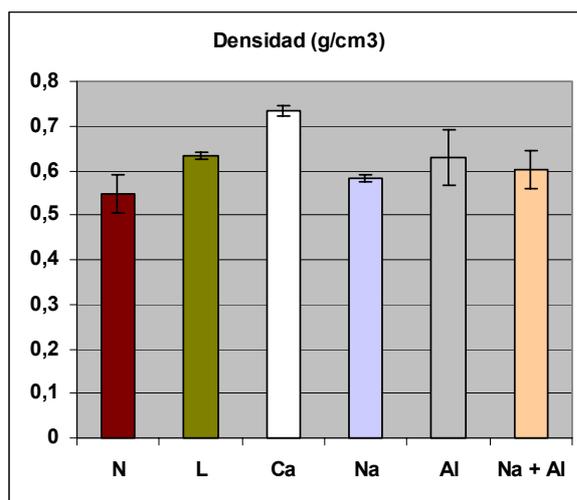


Fig. 86. Densidad comparada en morteros de cáscaras de maní molidas y cemento

Se observa que si bien las probetas elaboradas con cáscaras de maní previamente tratadas con cal presentan la mayor densidad, resulta poco diferenciada del resto de los compuestos. Esta diferencia resulto más evidente en el ensayo de tracción, y es importante en los resultados del ensayo de absorción de agua.

#### 4.4.3.2.- Absorción de agua

Elevada absorción de agua es una de las propiedades características de los materiales compuestos con agregados vegetales. Los valores obtenidos en los morteros de cáscaras de maní molidas y cemento se describen en Tabla 46 y Fig 87

Tabla 46: Absorción de agua en morteros de cáscaras de maní molidas y cemento

Identificación de Muestras		PESO SECO	PESO Saturado	ABSORCIÓN DE AGUA	
Serie de probetas	Características	grs	grs	g	%
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	736.2667	1316.467	580.2	79,63
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	877.5667	1487.167	609.6	69,51
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	1040.325	1520.675	480.35	45,61
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	668.4667	1174.933	506.4667	75,29
5 (Na + Al)	Cáscaras + aditivo silicato de Na y Sulfato de Al	806.2667	1422.633	616.3667	76,97
6 (Al)	Sulfato de Al: 160 gr.	806.2667	1422.633	616.3667	65,47

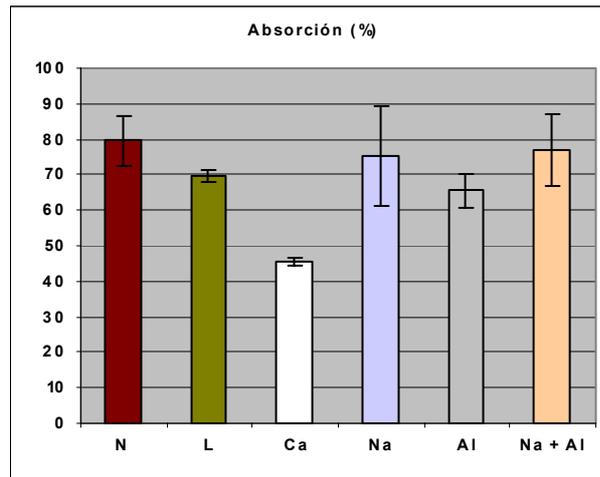


Fig 87: Absorción de agua comparada en morteros de cáscaras de maní molidas y cemento

Las probetas elaboradas con cáscaras de maní previamente tratadas con cal mostraron menor valor de absorción de agua. Esta característica se vincula a la mayor densidad alcanzada, lo que podría indicar menor presencia de poros abiertos.

#### 4.5.- Comparación de morteros elaborados con cáscaras enteras y cáscaras molidas

En todos los cuerpos de prueba elaborados con cáscaras de maní enteras y cáscaras de maní molidas, el volumen de cemento aportado a las mezclas en sus diferentes dosificaciones se mantiene constante. No obstante, existe una conclusión adicional respecto de las variaciones de volumen de los agregados. Particularmente cuando se emplean cáscaras lavadas, existe mayor cantidad de partículas cáscaras respecto de las mezclas que utilizan cáscaras sin lavar, en las dosificaciones. En efecto, cuando se agregan cáscaras en estado natural, se mezclan 4,5 k. de cáscaras enteras y 6,30 k de cáscaras molidas respectivamente. Cuando se agregan cáscaras lavadas, se mezclan 6,66 k de cáscaras enteras húmedas y 8,05 k de cáscaras molidas húmedas. La diferencia es resultado del peso del agua absorbida menos el peso de polvo (tierra + partículas finas) eliminado de las cáscaras.

Cuando se trata de cáscaras pre-impregnadas con cal, el peso específico del agregado se compone del peso de las cáscaras en estado natural más el agua absorbida durante la humectación, más la cal adherida que ha reaccionado por efecto de la humedad incorporada. Esta cantidad aumenta en el caso de cáscaras molidas.

Los valores resultantes de los ensayos de comportamiento de la matriz cemento – cáscaras enteras, fueron comparados con los resultados de ensayos similares en probetas que fueron elaboradas según igual esquema de tratamiento y aditivación, utilizando cáscaras trituradas en probetas similares. Los resultados encontrados en estas probetas demostraron mayor homogeneidad de las mezclas.

De la comparación de morteros con cáscaras enteras y con cáscaras molidas, en relación constante 1:6 v/v, se puede observar:

- Hay un leve aumento de densidad en las probetas con cáscaras molidas respecto de aquellas elaboradas con cáscaras de maní enteras.
- La capacidad de absorción de agua se mantiene igual en las probetas con cáscaras de maní en estado natural (enteras y molidas), y aumenta en las formulas con cáscaras molidas y aditivadas.

- El ensayo de tracción directa midió valores mas altos en las formulaciones con cáscaras molidas, particularmente en aquellos cuerpos de prueba donde las cáscaras de maní habían sido tratadas previamente con oxido de calcio. Esta propiedad es finalmente asociada con la propiedad de compacidad de la mezcla, más que de cohesión de las partículas.
- La resistencia a compresión aumento en las probetas elaboradas con cáscaras molidas en aquellas formulaciones que incorporaban cáscaras de maní sin tratamiento, y en las que incorporaban cáscaras de maní pre lavadas, comparándolas entre si. Las probetas elaboradas con cáscaras de maní tratadas con cal y aquellas aditivadas con silicato de sodio y sulfato de aluminio midieron un valor de compresión inferior en las formulaciones con cáscaras de maní molidas respecto de sus similares con cáscaras lavadas. Sin embargo, las mejoras encontradas en los ensayos de morteros con cáscaras enteras tratadas con silicato de sodio y sulfato de aluminio, indican la efectividad del tratamiento.

Los resultados de morteros con cáscaras de maní enteras y molidas pueden observarse en forma comparada en las figuras 80 - 87

#### PROPIEDADES MECANICAS

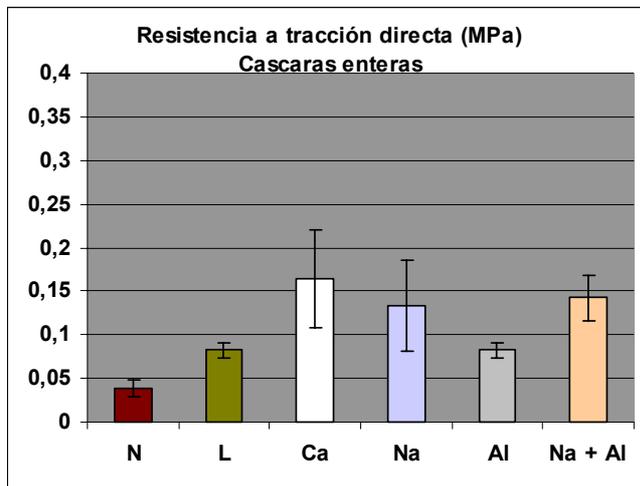


Figura 80: Resistencia a Tracción Directa de morteros de cemento y cáscaras de maní enteras

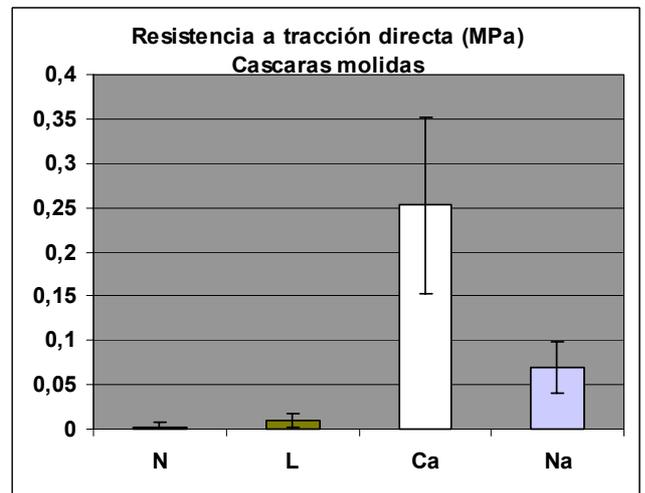


Figura 84: Resistencia a Tracción Directa de morteros de cemento y cáscaras de maní molidas

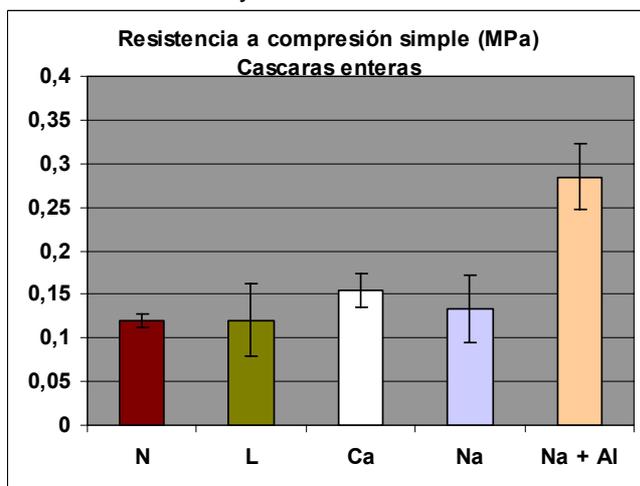


Figura 81: Resistencia a Compresión Simple de probetas de cemento y cáscaras de maní enteras

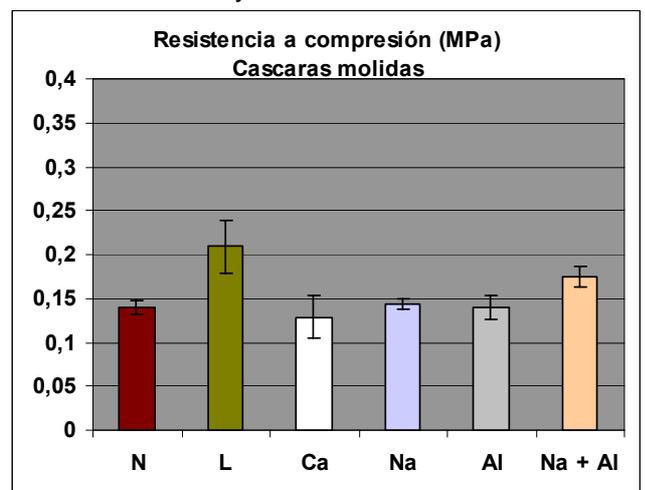


Figura 85: Resistencia a Compresión Simple de probetas de cemento y cáscaras de maní molidas

## PROPIEDADES FISICAS

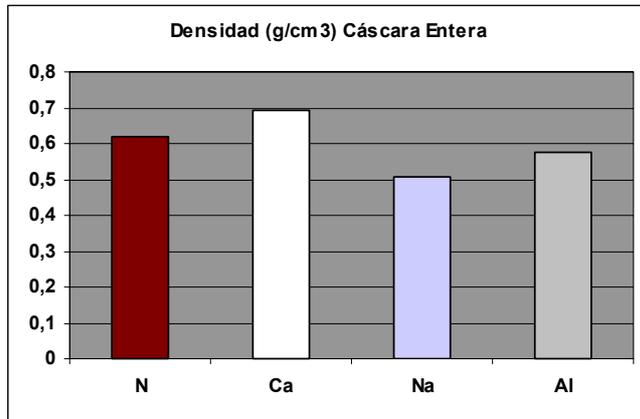


Fig 82. Densidad comparada en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

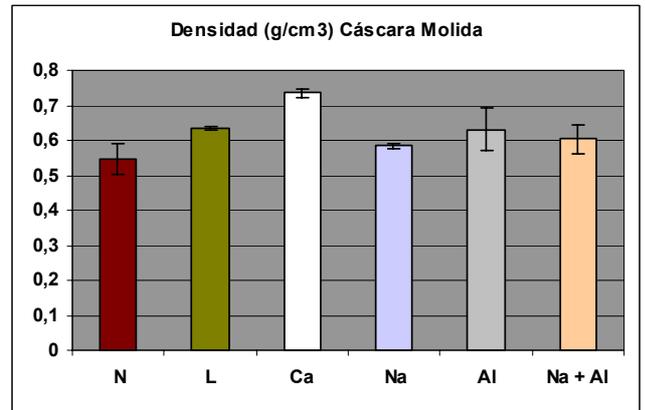


Fig 86. Densidad comparada en morteros de cáscaras de maní molidas y cemento

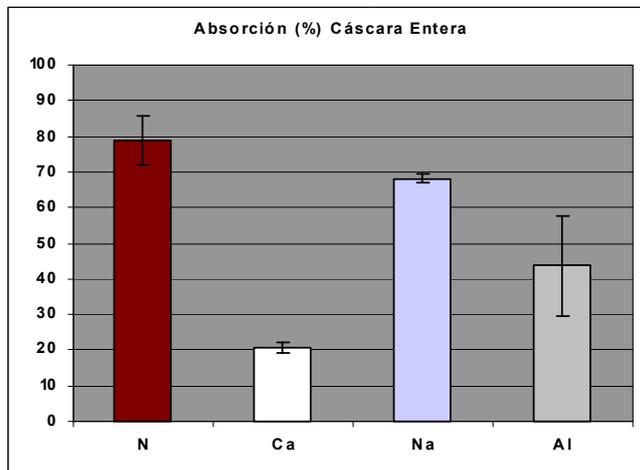


Fig 83: Absorción de agua comparada en morteros de cáscaras de maní enteras y cemento

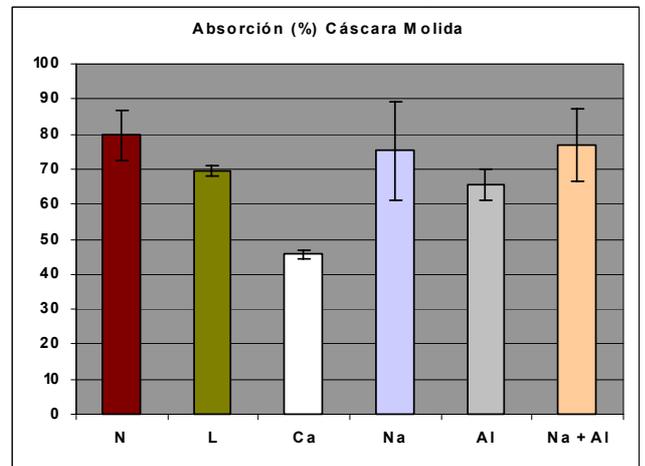


Fig 87: Absorción de agua comparada en morteros de cáscaras de maní molidas y cemento

En los ensayos en probetas cilíndricas, los valores de resistencia mecánica obtenidos en la serie 1 utilizando cáscaras de maní en estado natural y cemento demuestran los problemas de interfase manifiestos en los bajos valores encontrados.

En la serie 2, luego de realizar el lavado de las cáscaras para extraer los extractos solubles, se observa una mejora de propiedades de resistencia. Ello demuestra que mediante el manejo de los extractos es posible obtener mejoras en el comportamiento mecánico de las mezclas. Las probetas realizadas con cáscaras lavadas previamente al agregado de cemento mejoraron, aunque el comportamiento mecánico obtenido fue superado por el de las probetas aditivadas.

En las series 3, se demuestra que la presencia de cal viva en la impregnación previa de las cáscaras no mejora significativamente el comportamiento de las mezclas de cáscaras de maní y cemento. Las propiedades físicas y mecánicas obtenidas están relacionadas a la compacidad de los compuestos obtenidos, y no tanto al cambio de propiedades de los compuestos mismos.

En las series 4 y 5 (y 6) se observa que aditivar las cáscaras de maní promueve un aumento de las propiedades mecánicas de las matrices cáscaras de maní - cemento. Resulta también que las probetas preparadas con cáscaras de maní enteras y cemento aditivadas con silicato de sodio y con sulfato de aluminio mejoran el comportamiento mecánico.

En el análisis de probetas de morteros con cáscaras molidas, si se cruzan los resultados de absorción de agua y densidad, y compresión y densidad (Fig 88 y 89), se observa:

En las probetas con cáscaras de maní pre tratadas con cal, la máxima densidad alcanzada no se corresponde con mayores valores de capacidad de absorción de agua

El máximo valor de absorción de agua, de morteros de cáscaras en estado natural, corresponde con la menor densidad

Valores medio de densidad, tales como probetas elaboradas con cáscaras tratadas con silicato de sodio y sulfato de aluminio, y probetas elaboradas con cáscaras tratadas con silicato de sodio y probetas con cáscaras lavadas presentan una buena combinación de densidad media y mediana capacidad de absorción de agua.

Probetas elaboradas con cáscaras pre lavadas, con densidad media, alcanzan el mayor valor de resistencia a compresión simple

Por detrás de las anteriores, con aceptable resistencia a compresión, se ubican probetas elaboradas con cáscaras aditivadas con silicato de sodio y sulfato de aluminio

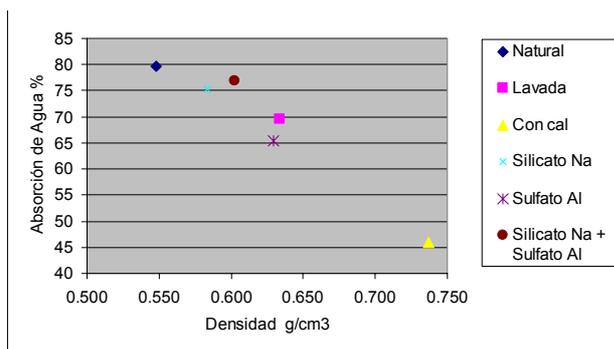


Fig 88: Cruzamiento de datos de absorción de agua y densidad en probetas de morteros con cáscaras molidas

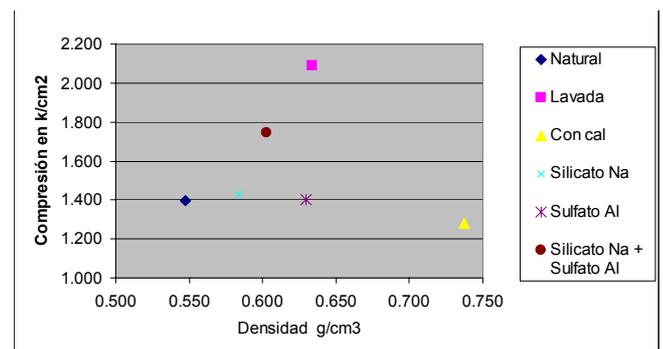


Fig 89: Cruzamiento de datos de compresión simple y densidad en probetas de morteros con cáscaras molidas

De los resultados obtenidos, se deduce que en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales compuestos de cáscaras de maní y cemento, ya sea en forma de partículas enteras o molidas, no solo influye la granulometría del agregado, sino también la técnica de elaboración. De manera que una de las razones para explicar las propiedades mecánicas obtenidas es el moldeo por vibración, sin aplicar compactación, donde se eliminaria el agua excedente. El agua remanente presente en los compuestos puede no favorecer el comportamiento de las probetas.

#### 4.6.- Placas con cáscaras de maní y cemento. Técnica de moldeo por vacío seguido de presión

##### 4.6.1.- Muestras con cáscaras de maní + pulpa de celulosa

Se evaluaron cuerpos de prueba (CPs) elaborados con cemento, cáscaras de maní y pulpa de celulosa de eucalipto. Las partículas estaban incorporadas en proporción de 4 % de cáscaras y 1 % de pulpa de celulosa, sin tratamiento. Las diferentes granulometrías de partículas utilizadas fueron:

- M1: partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 50 + pulpa de celulosa,
- M2: partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 30 + pulpa de celulosa,
- M3: partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 16 + pulpa de celulosa,
- M4: mix de partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 50, tamiz # 30, y tamiz # 16 + pulpa de celulosa.

#### 4.6.1.1.- Relación a/c

La relación de agua y cemento fue variando en los compuestos cementicios según la granulometría de las cáscaras de maní empleadas, como muestra la Tabla 47

Tabla 47 Relación a/c en los compuestos según la granulometría de las cáscaras de maní con pulpa de celulosa

Características del agregado	M1	M2	M3	M4
Cáscaras de maní 4% + 1 % de pulpa de celulosa	0,24	0,21	0,24	0,24

La relación a/c se mantiene casi constante, a excepción de la M2 donde baja. De no mediar esta situación, se interpreta que la cantidad final de agua presente en los compuestos depende de la técnica de moldeo más que de las características del agregado.

También puede interpretarse que la presencia constante de pulpa de celulosa marca la relación de a/c

#### 4.6.1.2.- Aspecto

Durante el mezclado de pulpa de celulosa y partículas y fibras de cáscaras de maní mas agua, se observó que no se formaba una masa homogénea y resultó en una separación de las partículas, debido a la menor densidad de estas, que en consecuencia, flotaron en medio acuoso. Al verter la mezcla en el molde, la diferenciación se mantuvo. Como consecuencia, la composición de la placa resultó en dos fases muy diferenciadas: una cara cementicia, donde precipitó el cemento, y la otra cara de la placa, con mayor presencia de partículas de cáscaras de maní. En la figura 90 aparecen las cuatro diferentes placas moldeadas con sus diferentes granulometrías, retenidas en los respectivos tamices, y texturas.

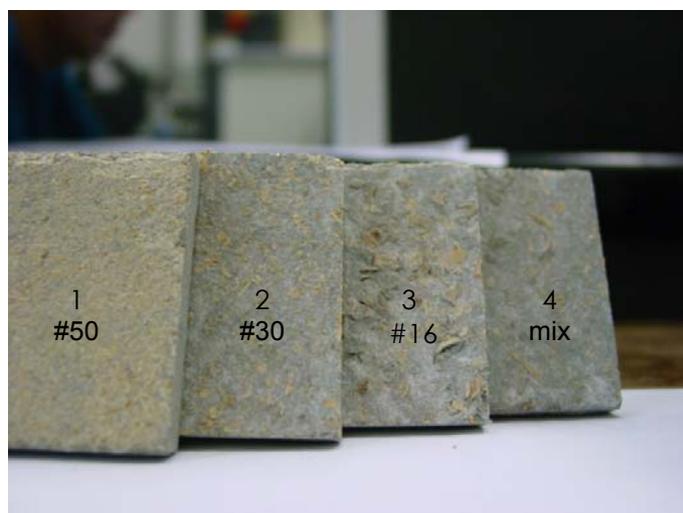
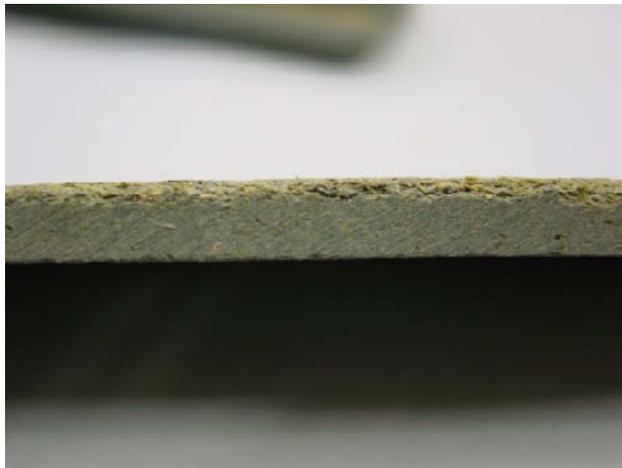


Fig 90: Diferentes granulometrías y texturas de placas de cáscaras de maní y cemento

De la observación visual de las muestras surge que las partículas mas pequeñas, de menor densidad, formaron una película en superficie y no se distribuyeron bien en el espesor de la probeta. En tanto, las muestras elaboradas con partículas más grandes se distribuyeron más homogéneamente en el espesor de las probetas y, aunque quedaron en la superficie, no formaron una película tan compacta como las fibras más pequeñas. Los resultados son observados en las figuras 91 - 94.



a



b

Fig. 91 a: Vista espesor Muestra 1 y Fig. 91b: Textura Muestra 1



a



b

Fig. 92 a: Vista espesor Muestra 2 y Fig. 92b: Textura Muestra 2

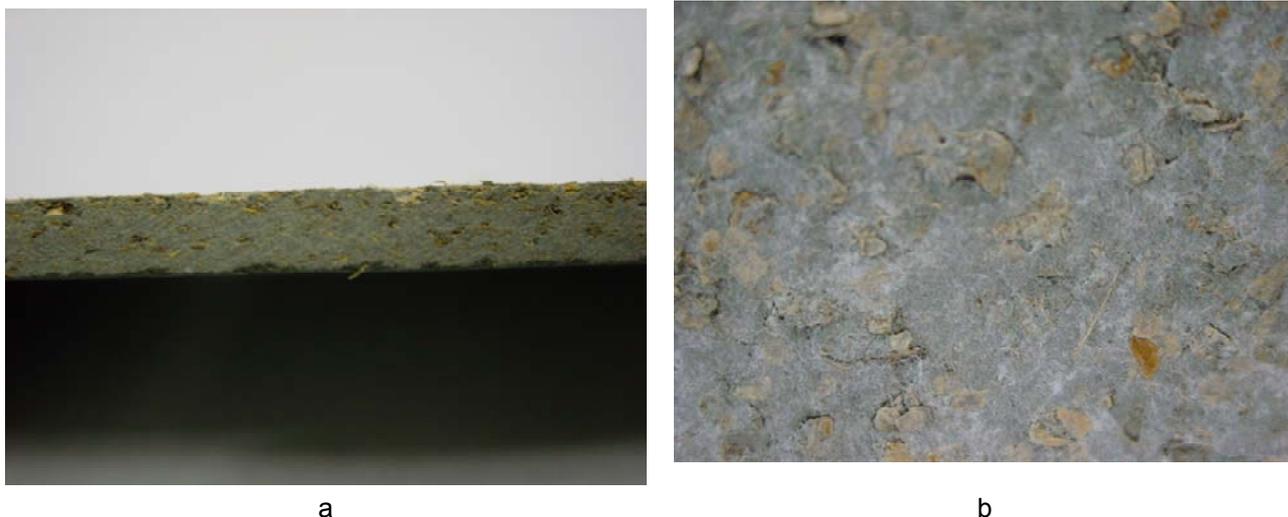


a



b

Fig. 93 a: Vista espesor Muestra 3 y Fig. 93b: Textura Muestra 3



a  
b  
Fig. 94 a: Vista espesor Muestra 4 y 84 b: Textura Muestra 4

La textura superficial de la muestra 4 resulto atractiva, y este acabado posibilita su aplicación en revestimientos interiores y/o pisos.

#### 4.6.1.3.- Propiedades físicas de los compuestos

En la etapa de determinación de la granulometría de las cáscaras de maní, bajo la técnica de dispersión en agua y moldeo por vacío y presión, se ensayaron 4 diferentes granulometrías y 2 técnicas distintas de elaboración de las mezclas, según se describe en 2.2.2.2.

Las figuras 95 a, b y c muestran las propiedades físicas de los compuestos cementicios conteniendo fibras de cáscaras de maní y pulpa de celulosa a los 7 días de edad en ensayos con condición seca, con curado en cámara climática con humedad y temperatura controlada.

La muestra 1 (M1) representa la granulometría retenida en el tamiz 50, la muestra 2 (M2) representa la granulometría retenida en el tamiz 30, la muestra 3 (M3) representa la muestra retenida en el tamiz 6 y la muestra 4 (M4) representa la mezcla de las partículas retenidas en todos los tamices descritos.

En los cuatros casos, resultaron materiales livianos, con hasta 1,8 g/cm<sup>3</sup> aprox. Con densidad aparente similar en todas las muestras, el descenso fue ligeramente marcado en la muestra 2 (1,7 %).

Se advierte menor absorción de agua en las muestras 1 y 4 (14,22 % y 14,51 % respectivamente), debido probablemente a la presencia de fibras más pequeñas. En relación a los valores de absorción de agua, hay una relación de menor absorción de agua y mayor densidad.

La porosidad aparente es mas grande cuando la muestra esta elaborada solo con partículas mayores (27,28 %), y la ausencia de fibras pequeñas trae como consecuencia mayor porosidad aparente. Fibras menores resultan con menor porosidad del material cementicio: 25,05 %

Resumiendo, la presencia combinada de pulpa de celulosa y fibras de cáscaras de maní de variada granulometría, resultan en valores de menor absorción de agua, mayor densidad y menor porosidad aparente media.

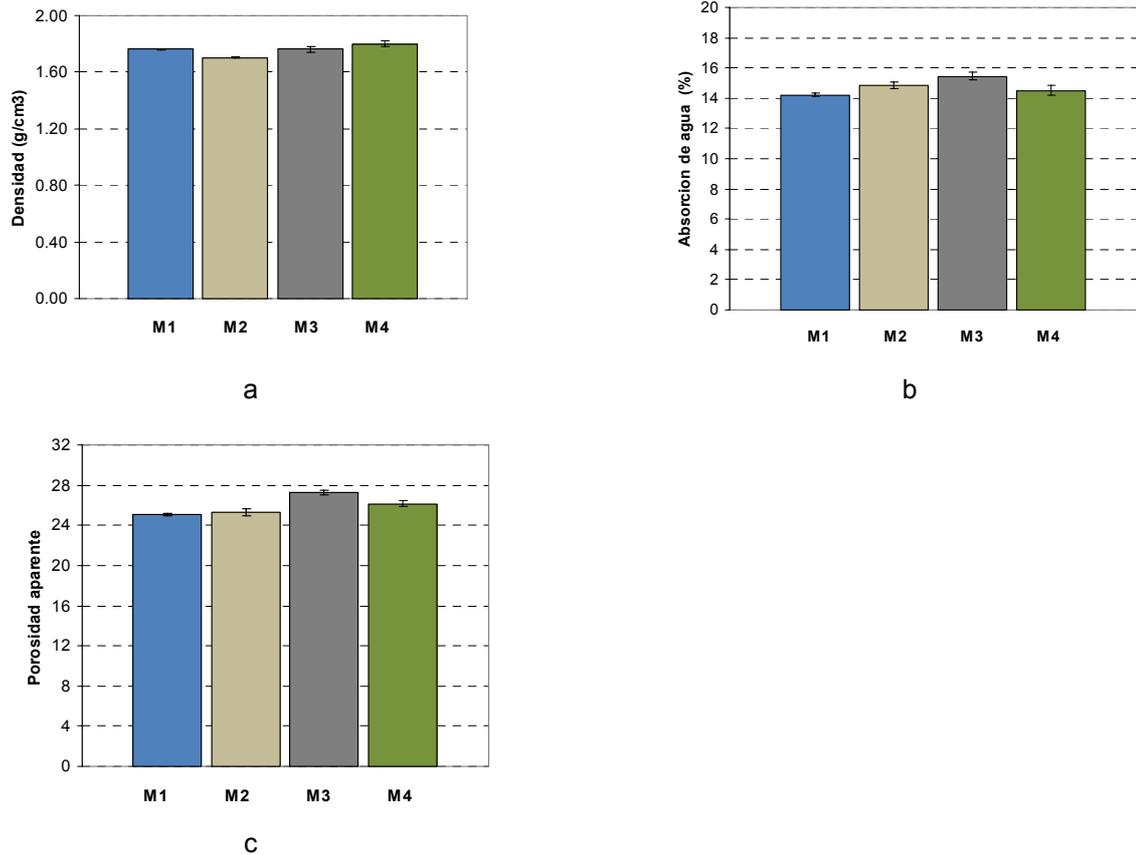


Fig 95: Propiedades físicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní y pulpa de celulosa de eucalipto. a) Absorción de agua; b) Densidad aparente; y c) Porosidad aparente

#### 4.6.1.4.- Propiedades mecánicas de los compuestos

Las propiedades mecánicas mejoran con la presencia del mix de partículas de cáscaras de maní. Las curvas de tensión / deformación permite observar como se comportan los cuatro diferentes compuestos. Se observa que la formulación hecha con el mix de partículas retenidas entre los tamices 16 – 30 y 50, alcanza mejor comportamiento. Se observa en la formulación M3 (partículas mayores) que a similar tensión, se deforma más. (Fig. 96)

Esta propiedad esta vinculada con mayor modulo de ruptura (máxima tensión), limite de proporcionalidad (final de porción lineal de la curva, vinculado a la aparición de la primera fisura del compuesto), modulo de elasticidad (coeficiente angular de la parte lineal de la curva), mayor deformación antes del colapso final y tenacidad (asociada con el área debajo de la curva).

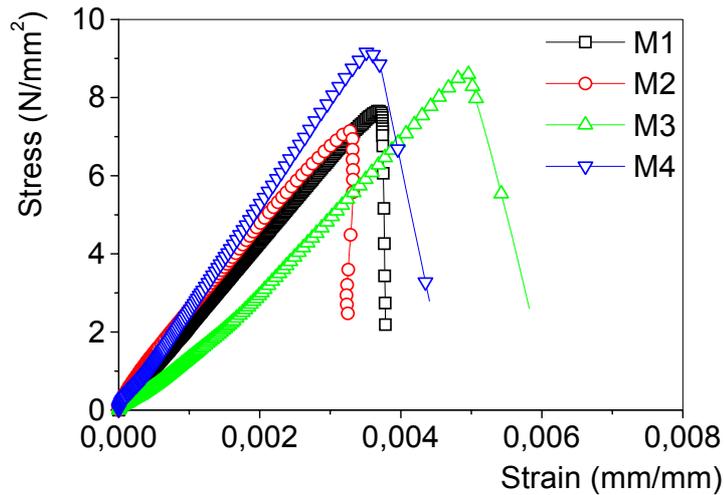
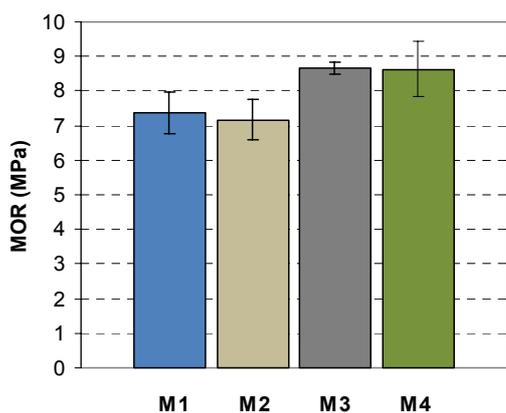


Figura 96: Curva de Tension – Deformacion en compuestos cementicios con cascaras de mani y pulpa de celulosa

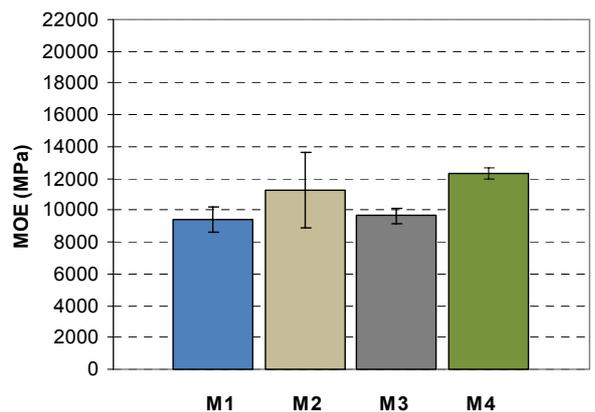
Las figuras 977 a, b, c y d muestran los valores de MOR, EE, LOP, y ME para cada una de las formulaciones, con los valores promedio de cada ensayo y sus desviaciones para cada serie.

El mejor comportamiento fue obtenido en aquellas muestras de granulometría variada (M4), sumando las partículas retenidas en el tamiz 50, el tamiz 30 y el tamiz 16. Este comportamiento puede ser identificado por el valor más alto de módulo de ruptura, energía específica, límite de proporcionalidad y módulo elástico. El refuerzo de pulpa de celulosa asociado a la presencia de fibras y partículas mayores mejor distribuidas en la matriz, es una de las razones más importantes para la mejora del comportamiento mecánico.

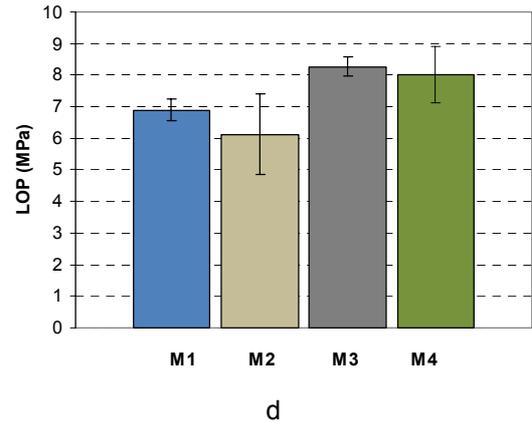
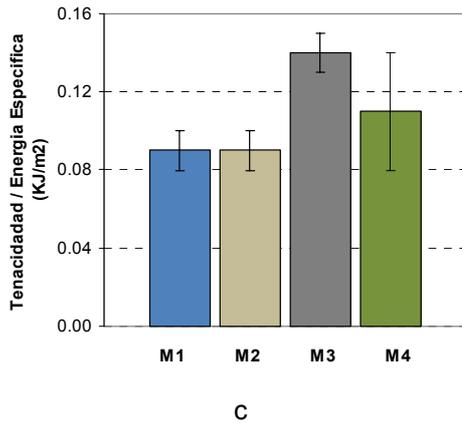
Se destaca el valor obtenido de tenacidad (Fig. 97 b) de la formulación 3 (M3) y gran variación en el comportamiento de la formulación 4 (M4), ambas compuestas por partículas y fibras mayores.



a



b



M1: partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 50 + pulpa de celulosa, M2: partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 30 + pulpa de celulosa, M3: partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 16 + pulpa de celulosa, M4: mix de partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 50, tamiz # 30, y tamiz # 16 + pulpa de celulosa.

Fig. 97: Propiedades mecánicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní y pulpa de celulosa de eucalipto. a) Modulo de ruptura (MOR); b) Energía específica (EE); c) Limite de proporcionalidad (LOP); y d) Modulo elástico (ME)

#### 4.6.2.- Muestras con cáscaras de maní sin pulpa de celulosa

Se evaluaron cuerpos de prueba (CPs) elaborados con cemento, cáscaras de maní sin pulpa de celulosa de eucalipto. Las partículas estaban incorporadas en proporción de 5 % de cáscaras, sin tratamiento. Las diferentes granulometrías de partículas utilizadas fueron:

- M1: partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 50 + pulpa de celulosa,
- M2: partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 30 + pulpa de celulosa,
- M3: partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 16 + pulpa de celulosa,
- M4: mix de partículas de cáscaras de maní retenidas en tamiz # 50, tamiz # 30, y tamiz # 16 + pulpa de celulosa.

##### 4.6.2.1.- Relación a/c

La relación de agua y cemento fue variando en los compuestos cementicios según la granulometría de las cáscaras de maní empleadas, como muestra la Tabla 48

Tabla 48 Relación a/c en los compuestos según la granulometría de las cáscaras de maní sin pulpa de celulosa

agregado	M1	M2	M3	M4
Cáscaras de maní 5%	0,19	0,18	0,22	0,24

A igual tenor de cáscaras, la relación a/c aumenta a medida que aumenta la granulometría de las cáscaras presentes en los compuestos, a excepción de M2.

#### 4.6.2.1.- Aspecto

El aspecto de las placas obtenidas fue homogéneo. La distribución de las partículas de cáscaras de maní en todo el espesor de las placas no mostró diferencias en las fases.

#### 4.6.2.2.-Propiedades físicas

Las figuras 98 a, b y c muestran las propiedades físicas de los compuestos cementicios conteniendo fibras de cáscaras de maní a los 7 días de edad en ensayos con condición seca, con curado húmedo.

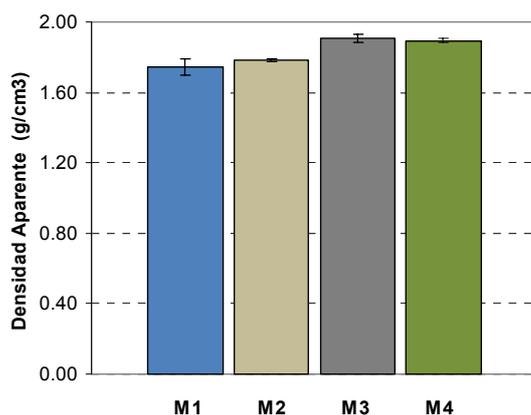
La muestra 1 (M1) representa la granulometría retenida en el tamiz 50, la muestra 2 representa la granulometría retenida en el tamiz 30, la muestra 3 representa la muestra retenida en el tamiz 6 y la muestra 4 representa la mezcla de las partículas retenidas en todos los tamices descriptos.

En los cuatros casos, resultaron materiales livianos, con hasta 1,9 g/cm<sup>3</sup> aprox. (muestra 3) Con densidad aparente similar en todas las muestras, el descenso fue ligeramente marcado en la muestra 1 (1,74 %).

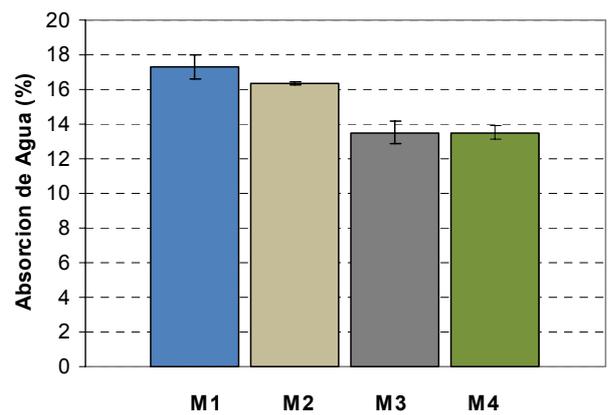
Se observa menor retención de agua en las muestras 3 (M3) y 4 (M4) (13,52 % y 13,51 % respectivamente). Esta ultima muestra mejora es debido probablemente a la distribución de fibras y partículas de las diferentes granulometrías. En relación a los valores de absorción de agua, hay una relación de menor absorción de agua y mayor densidad.

A diferencia de la técnica de moldeo anterior, la porosidad aparente es más grande cuando la muestra esta elaborada solo con partículas menores. Fibras mayores resultan con menor porosidad del material cementicio: (25,77 % y 25,69 % en muestras 3 y 4 respectivamente).

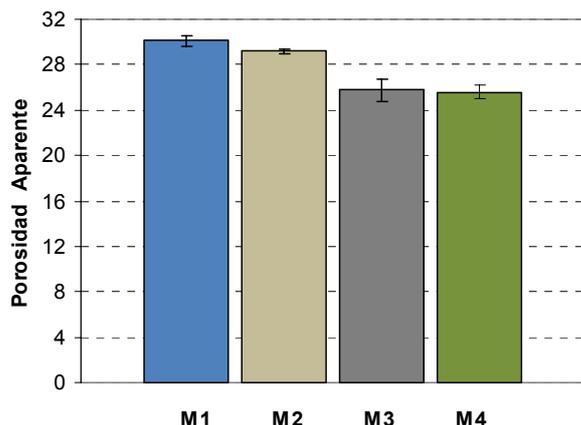
La presencia de partículas de cáscaras de maní de variada granulometría se destaca, resultando en valores de menor absorción de agua, mayor densidad y menor porosidad aparente.



a



b



C

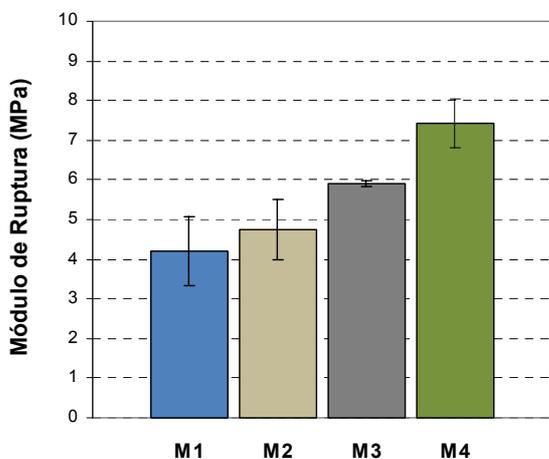
Fig 98: Propiedades físicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní sin pulpa de celulosa de eucalipto. a) Absorción de agua; b) Densidad aparente; y c) Porosidad aparente

#### 4.6.2.3.-Propiedades mecánicas

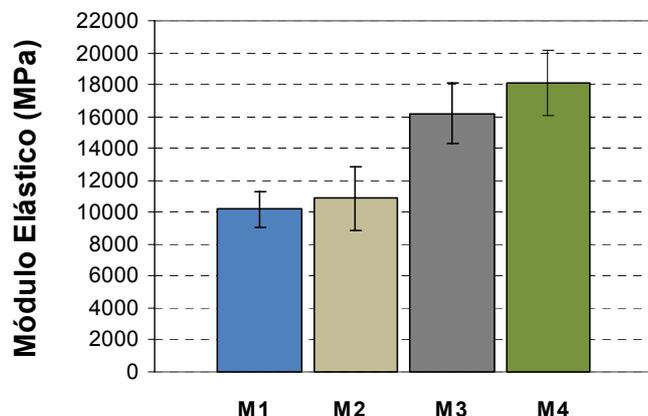
La presencia combinada de fibras más grandes y pulpa de celulosa es igualmente importante para la determinación de las propiedades mecánicas de flexión. Las figuras 99 a, b, c y d muestran los valores de MOR, EE, LOP, y ME para cada una de las formulaciones, con los valores promedio de cada ensayo y sus desviaciones para cada serie.

El mejor comportamiento fue obtenido en aquellas muestras de granulometría variada, sumando las partículas retenidas en el tamiz 50, el tamiz 30 y el tamiz 16. Este comportamiento puede ser identificado por el valor mas alto de modulo de ruptura (7,43 MPa), limite de proporcionalidad (6,65 MPa) y modulo elástico (18122 MPa). El refuerzo de fibras mayores mejor distribuidas en la matriz, es una de las razones más importantes para la mejora del comportamiento mecánico.

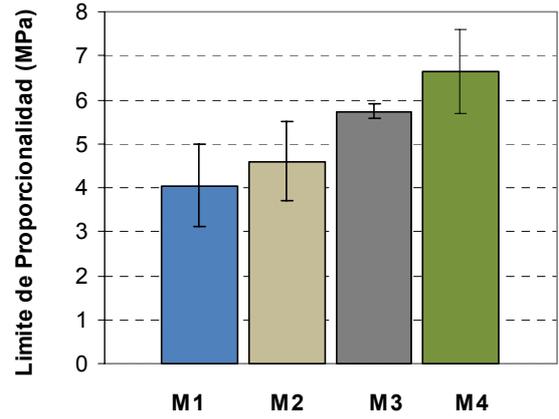
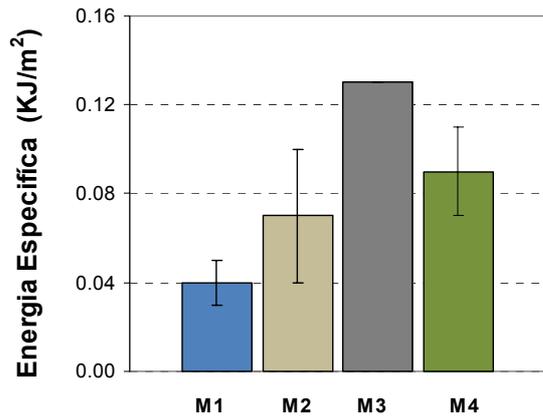
Se destaca el valor obtenido de tenacidad de la formulación M3 con 0,13 KJ/m<sup>2</sup> (Fig. 99 b), que se corresponde con la curva de tensión- deformación de la figura 98. Si bien no alcanza la resistencia máxima de tensión, su capacidad de deformación es mayor que en las otras formulaciones.



a



b



c

d

Fig 99: propiedades mecánicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní sin pulpa de celulosa de eucalipto. a) Modulo de ruptura (MOR); b) Energía especifica (EE); c) Porosidad limite de proporcionalidad (LOP); y d) Modulo elástico (ME)

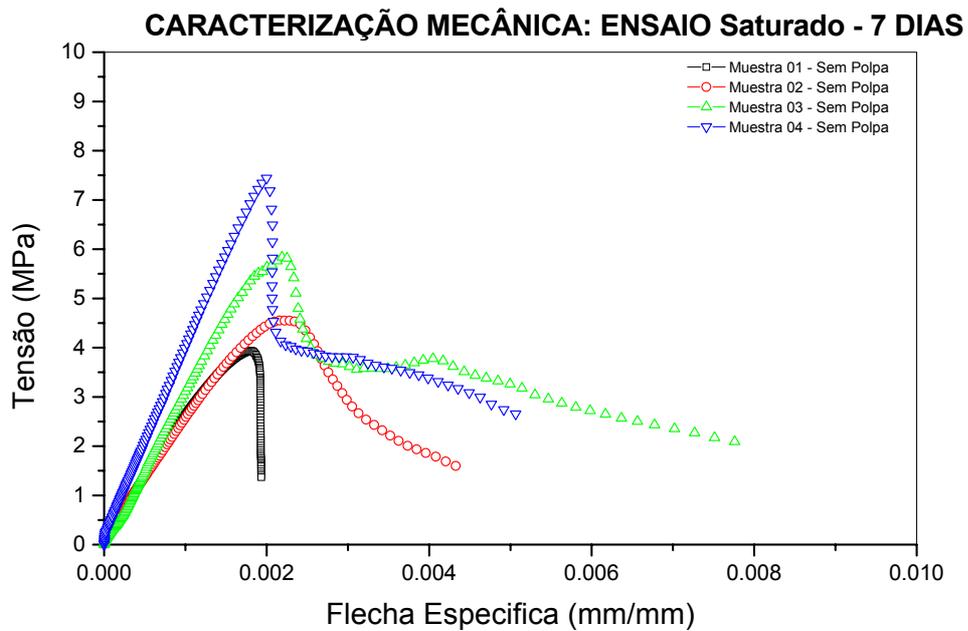


Figura 100: Curva de Tension – Deformacion en compuestos cementicios con cascaras de mani sin pulpa de celulosa

#### 4.6.3.- Muestras de cáscaras de maní sin pulpa con diferente tenor de los compuestos

Se evaluaron cuerpos de prueba (CPs) elaborados con cemento, cáscaras de maní con pulpa de celulosa de eucalipto. Las partículas sin tratamiento químico previo, estaban incorporadas en los siguientes tenores: 10%, 12,5% y 15 %.

#### 4.6.3.1.- Relación a/c

La relación de agua y cemento fue variando en los compuestos cementicios según el tenor de las cáscaras de maní empleadas, como muestra la Tabla 49

Tabla 49: Relación a/c en los compuestos según varía el tenor de cáscaras de maní

agregado	7,5%	10%	12,5%	15%
Cáscaras de maní	0,24	0,25	0,26	0,27

La relación a/c aumenta linealmente a medida que aumenta el tenor de las cáscaras presentes en los compuestos.

#### 4.6.3.1.- Propiedades físicas

En relación al tenor de los compuestos cementicios de cáscaras de maní se observa que el aumento del tenor disminuye los valores de densidad aparente, aumenta la absorción de agua aparente, y la porosidad aparente se mantiene casi constante, con ligero aumento a medida que aumenta la cantidad de partículas. Fig. 101

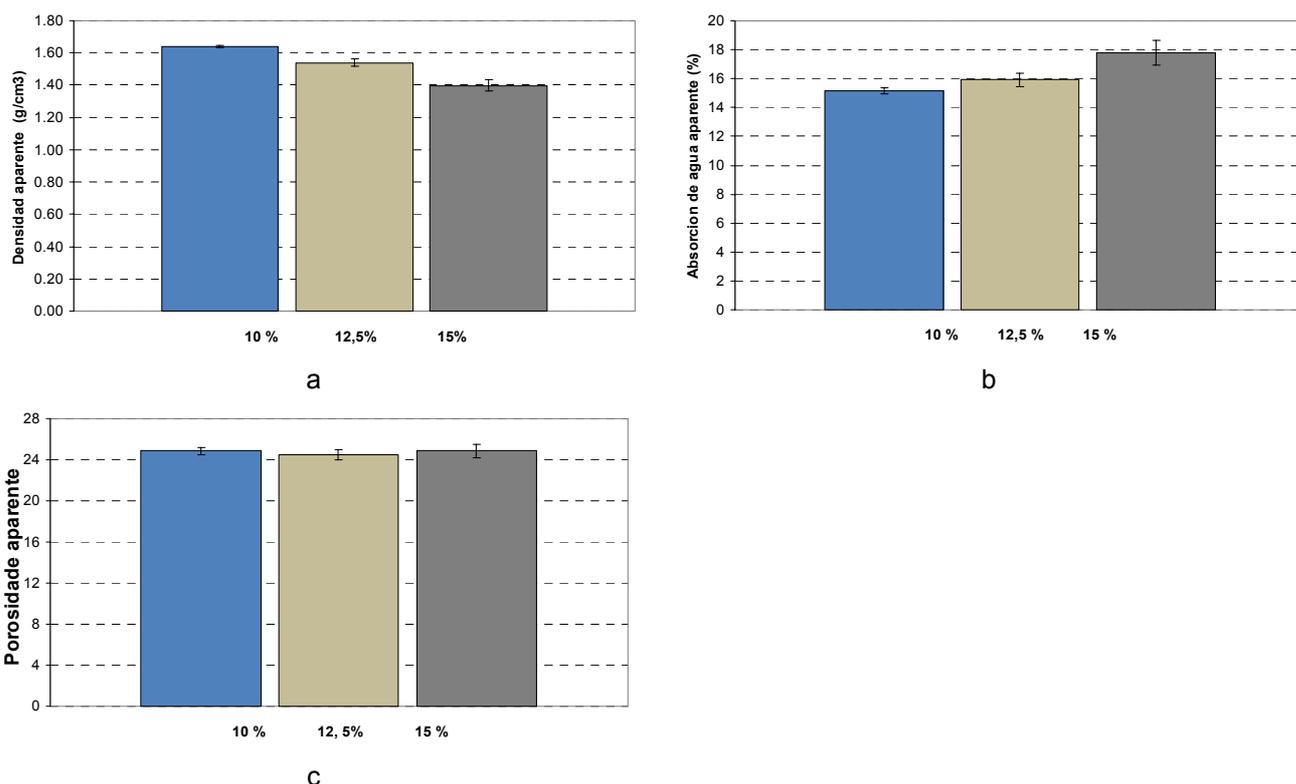


Fig 101: Propiedades físicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní con pulpa de celulosa de eucalipto en diferentes tenores. a) Absorción de agua; b) Densidad aparente; y c) Porosidad aparente

#### 4.6.3.2.- Propiedades mecánicas

El aumento del tenor de partículas de cáscaras de maní provocó la disminución de los valores obtenidos en módulo de ruptura, y una tendencia de aumento de la energía específica de los compuestos. Se observa una baja en la formulación intermedia (12,5%) que deberá ser

corroborada con futuros ensayos. El limite de proporcionalidad y modulo elástico disminuyen con el aumento del tenor de partículas en la formulación de los compuestos. Fig 102

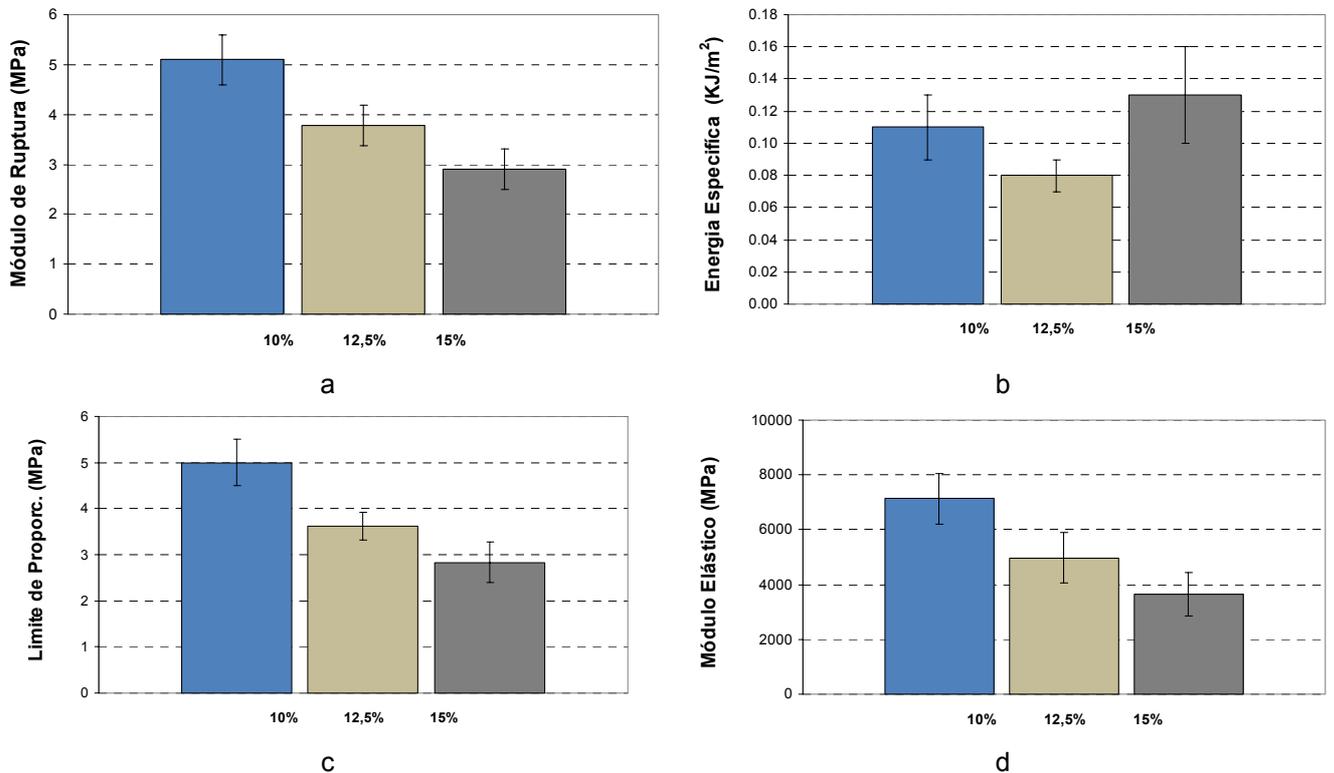


Fig 102: Propiedades mecánicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní con pulpa de celulosa de eucalipto en diferentes tenores. a) Modulo de ruptura (MOR); b) Energía específica (EE); c) Porosidad limite de proporcionalidad (LOP); y d) Modulo elástico (ME)

En el grafico de tensión – deformación se observa que la variación en el contenido de cáscaras de maní disminuye las propiedades mecánicas. Fig. 103

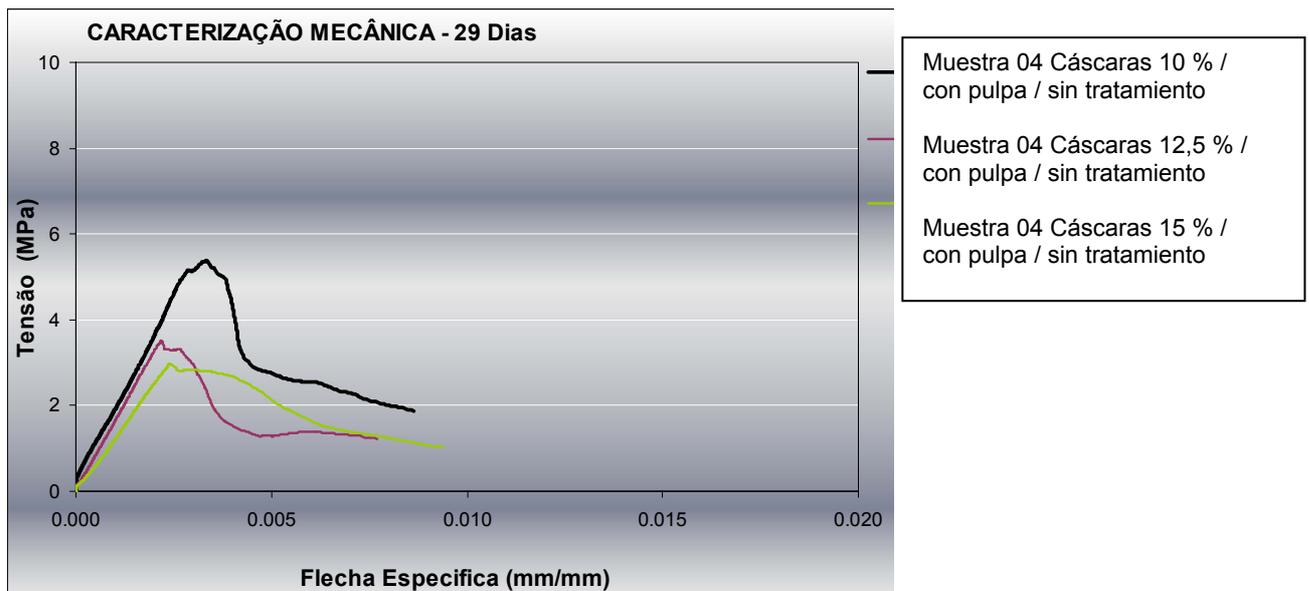


Figura 103: Curva de Tension – Deformacion en compuestos cementicios con cascarras de mani con pulpa de celulosa y variacion en el tenor de cascarras de mani

#### 4.6.4.- Muestras de cáscaras de maní con tratamiento químico de las partículas

El efecto del tratamiento químico de las partículas con silicato de sodio y sulfato de aluminio fue evaluado sobre los cuerpos de prueba (CPs) elaborados según la formulación M4 (compuesto por mix de tamaño de partículas), sin incorporación de pulpa de celulosa, curados en condición saturada de agua. La edad del ensayo fue a 28 días.

##### 4.6.4.1.- Relación a/c

La relación de agua y cemento fue variando en los compuestos cementicios, como muestra la Tabla 50

Tabla 50: Relación a/c en los compuestos según el tratamiento de las cáscaras de maní

agregado	Sin tratamiento	Con tratamiento
Cáscaras de maní 5%	0,24	0,24

La relación a/c aumenta se mantiene constante a pesar del tratamiento de silicato de sodio y sulfato de aluminio realizado en las cáscaras de maní de los compuestos.

##### 4.6.4.2.- Ensayos físicos

Es evidente que los resultados en el comportamiento de los compuestos con partículas de cáscaras de maní con tratamiento y sin tratamiento son muy parejos. En los compuestos con partículas con tratamiento se muestra similar densidad, ligera mayor capacidad de absorción de agua, y mayor porosidad aparente. La temprana edad del test solo permite observar una leve tendencia de comportamiento. Futuros resultados deberán ser realizados a mayor periodo de tiempo. Fig. 104

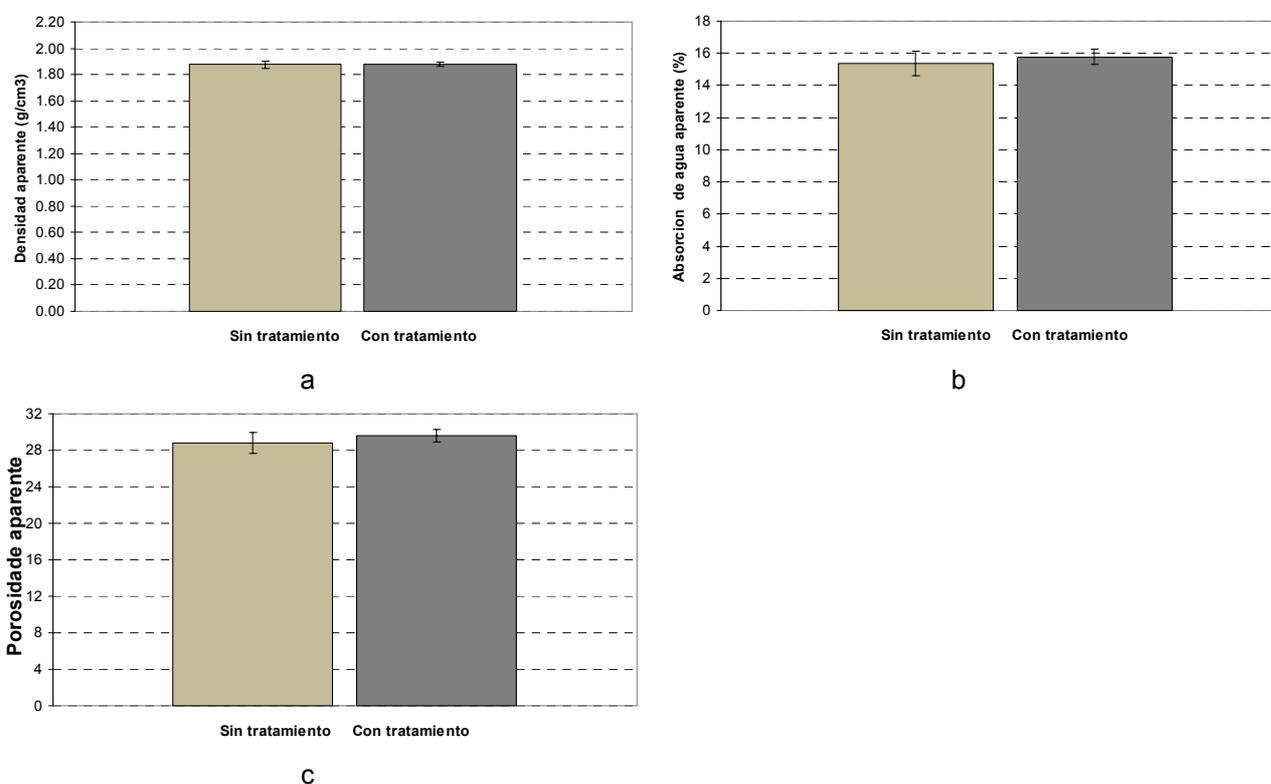


Fig. 104: Propiedades físicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní sin pulpa de celulosa de eucalipto con y sin tratamiento químico. a) Absorción de agua; b) Densidad aparente; y c) Porosidad aparente

#### 4.6.4.3.- Ensayos mecánicos

En cuanto a los resultados de los ensayos mecánicos, el efecto del tratamiento de las partículas de cáscaras de maní con tratamiento fue mas marcado que en los ensayos físicos. Mejoro el valor registrado de modulo de ruptura, energía especifica absorbida se mantuvo en valores similares, limite de proporcionalidad y modulo elástico aumentaron respecto de sus similar de partículas sin tratamiento. Fig. 105

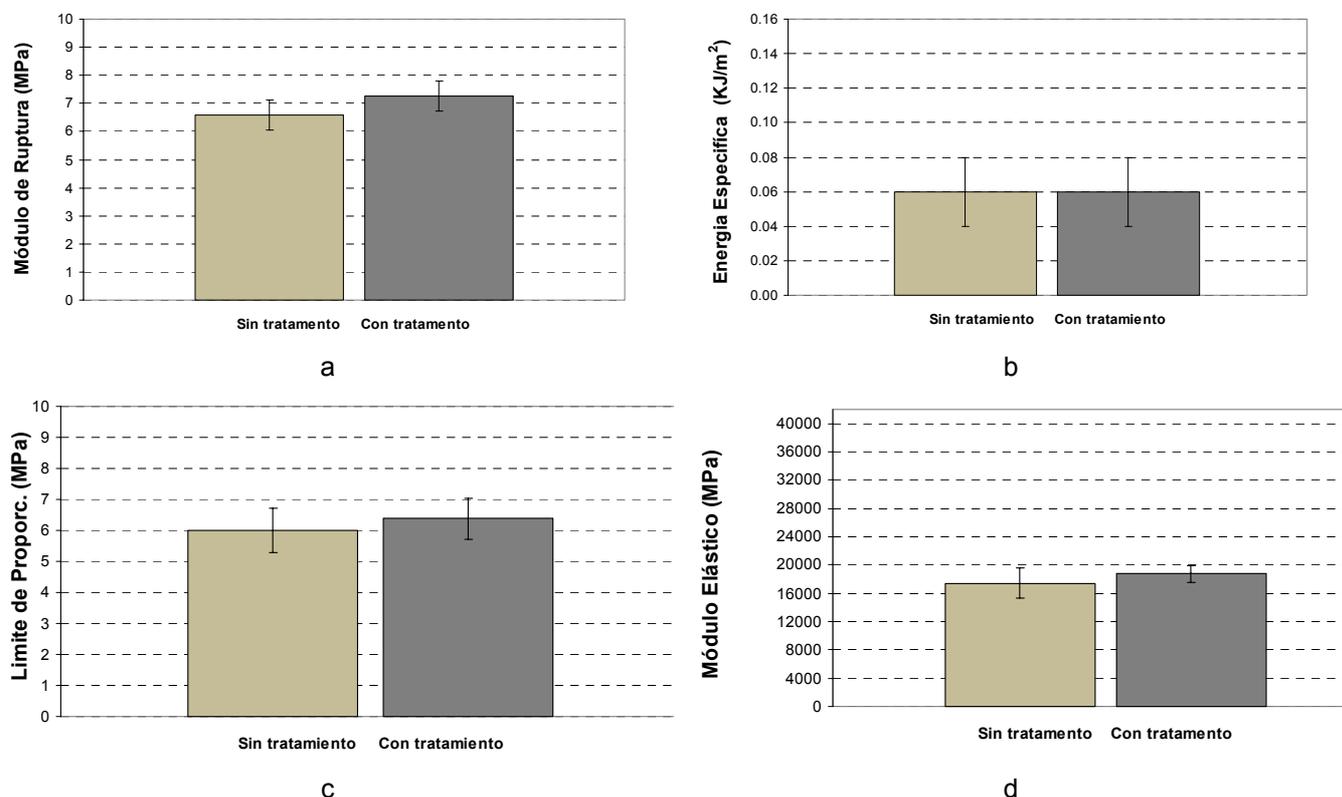


Fig. 105: Propiedades mecánicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní sin pulpa de celulosa de eucalipto con y sin tratamiento químico. a) Modulo de ruptura (MOR); b) Energía especifica (EE); c) Porosidad limite de proporcionalidad (LOP); y d) Modulo elástico (ME)

#### 4.6.5.- Discusión de resultados

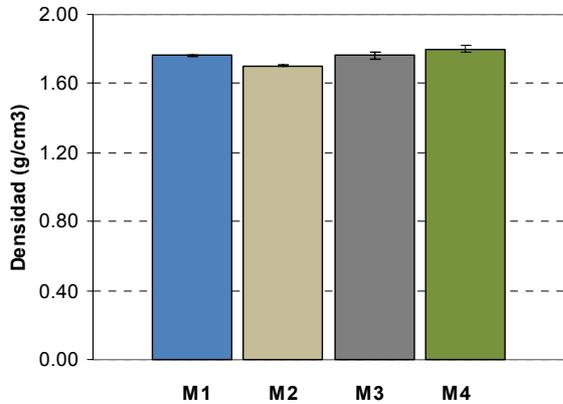
##### 4.6.3.1.- Efecto de la granulometría en las propiedades físicas y mecánicas

Cuerpos de prueba elaborados con cáscaras de maní y cemento, con pulpa de celulosa y sin pulpa de celulosa son comparados a fin de determinar similitudes y diferencias entre ellos. Las cuatro granulometrías son analizadas con los mismos parámetros considerados para el análisis.

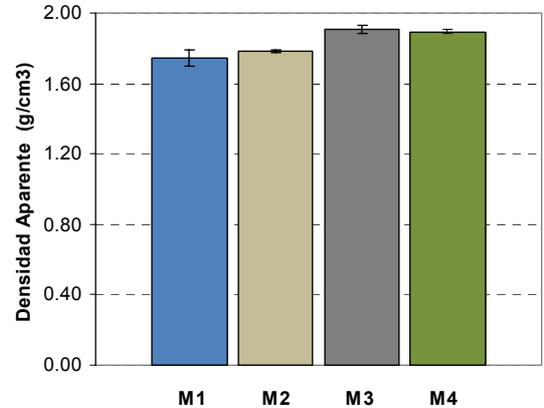
En cuanto a densidad, en ambos casos, las probetas 3 y 4 tienen densidad mas alta y muy similar entre si con aproximadamente 1,9 g/cm<sup>3</sup>. Las probetas de granulometría menor (1 y 2) tienen menor densidad aparente. Fig. 93 y 96.

En el análisis de absorción de agua de las Figuras 95 b y 98b, también es posible diferenciar dos situaciones: granulometrías más pequeñas (M1 y M2) y granulometrías mayores (M3 y M4). Las primeras absorben más cantidad de agua por efecto de la presencia de partículas en superficie (que flotaron más y se concentraron en una de las caras de la probeta). Las probetas con agregados más grandes, donde las partículas se dispersaron un poco más homogéneamente, la cantidad de agua absorbida es menor.

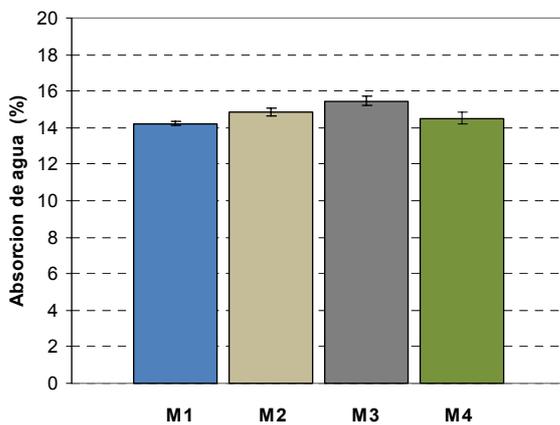
Comparando muestras con y sin pulpa se observa que la presencia de pulpa implica menor absorción de agua en las probetas con granulometría menor, y leve mayor capacidad de absorber agua en las probetas con granulometría más grande. En tanto, la presencia de pulpa de celulosa reduce la porosidad aparente en cada una de las formulaciones. Aunque en M4 los valores son muy similares.



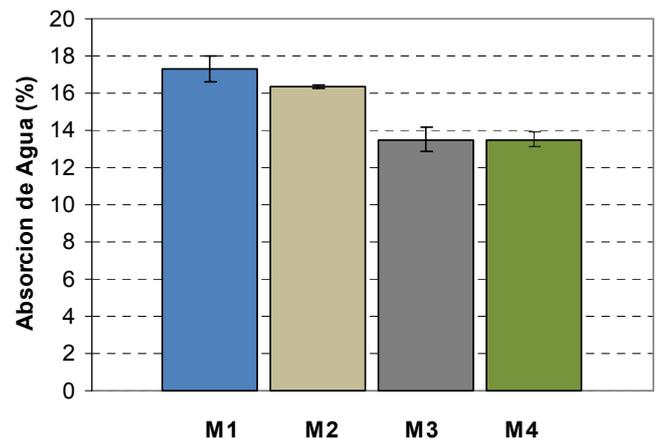
95a



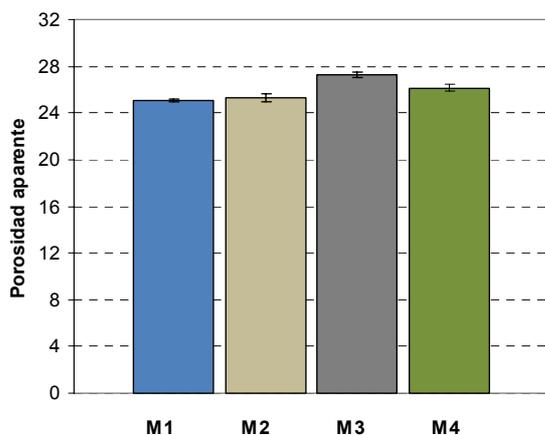
98a



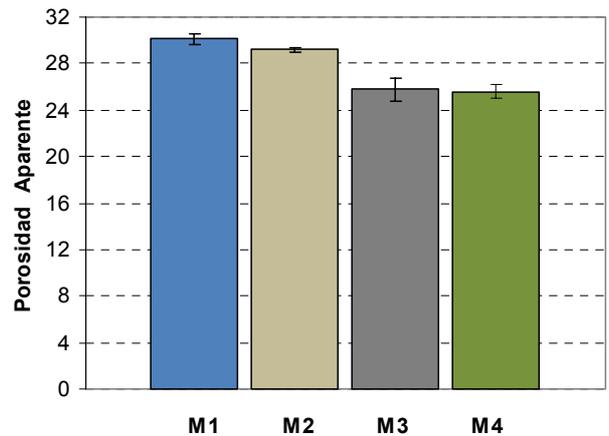
95b



98b



95c



98c

Fig. 95: Propiedades físicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní y pulpa de celulosa de eucalipto. a) Absorción de agua; b) Densidad aparente; y c) Porosidad aparente

Fig. 98: Propiedades físicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní sin pulpa de celulosa de eucalipto. a) Absorción de agua; b) Densidad aparente; y c) Porosidad aparente

En cuanto a las propiedades mecánicas, se tomaron solo dos valores referenciales (MOR y EE)

para la discusión de resultados. En la evaluación de los cuerpos de prueba realizados con diferentes granulometrías, la placa elaborada con el mix de partículas de las cuatro granulometrías de cáscaras de maní utilizadas, se destaca entre el resto de las probetas, tanto para placas con pulpa de celulosa y sin pulpa de celulosa. Fig. 100.

Sin embargo, la presencia de pulpa de celulosa determina una mejora importante en las cuatro formulaciones ensayadas, donde supera el valor de MOR de las placas comerciales de fibrocemento.

En tanto, se observa que el valor de EE ha mostrado dos grupos de comportamiento bien diferenciados. Por un lado, aquellas probetas elaboradas con una granulometría mas fina de cáscaras de maní (muestras 1 y 2), que resultaron con menor valor de EE. Las probetas elaboradas con mayor granulometría de cáscaras de maní (muestras 3 y 4) resultaron con mayor valor de energía específica. Fig 101.

La presencia de pulpa de celulosa mejora la tenacidad de los compuestos de cáscaras de maní, en los cuatro casos. En este caso, el mayor valor encontrado se registra en M3, con predominante presencia de partículas más grandes.

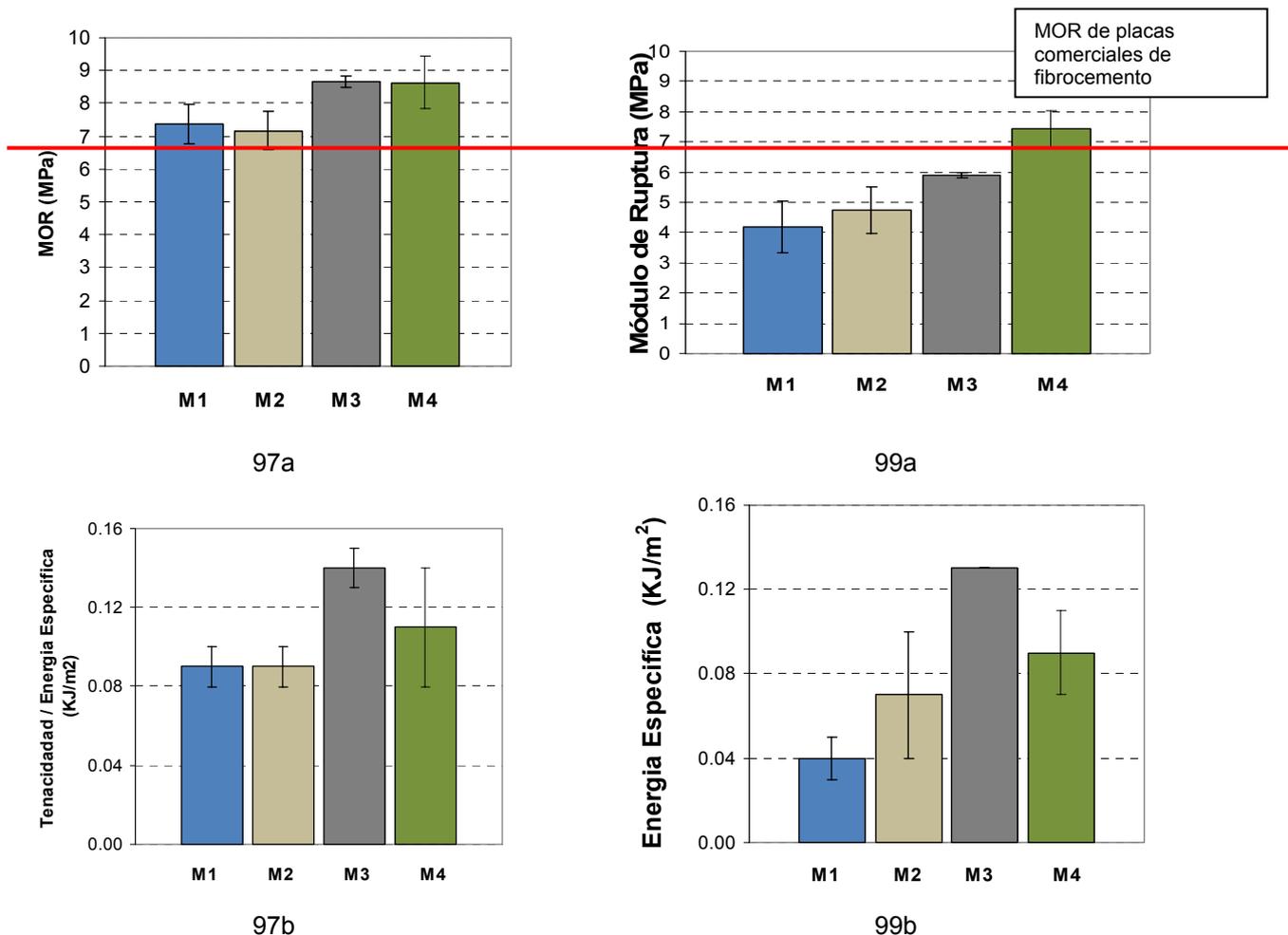


Fig 97: propiedades mecánicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní **con** pulpa de celulosa de eucalipto. a) Modulo de ruptura (MOR); b) Energía específica (EE)

Fig 99: propiedades mecánicas de compuestos cementicios de cáscaras de maní **sin** pulpa de celulosa de eucalipto. a) Modulo de ruptura (MOR); b) Energía específica (EE)

#### 4.6.3.2.- Efecto de la presencia de pulpa de celulosa en las propiedades mecánicas y físicas

La adición de pulpa de celulosa de eucalipto en la formulación de las probetas con cáscaras de maní y cemento fue consecuencia de la técnica adoptada de dispersión de sólidos (cáscaras de maní + adición calcárea + cemento + pulpa de celulosa) en agua, y moldeo por vacío seguido de presión. A modo de síntesis, la formulación M4 es comparada, con y sin pulpa.

Respecto de las propiedades físicas, la incorporación de pulpa de celulosa en la formulación resulto con menor densidad de las probetas y mayor porosidad aparente. Fig. 106 y 107.

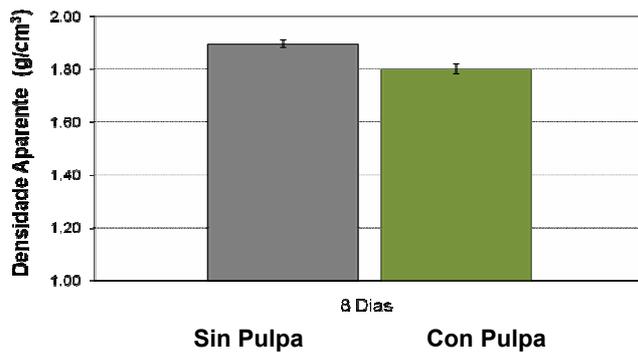


Fig 106 Efecto de la pulpa de celulosa en densidad aparente

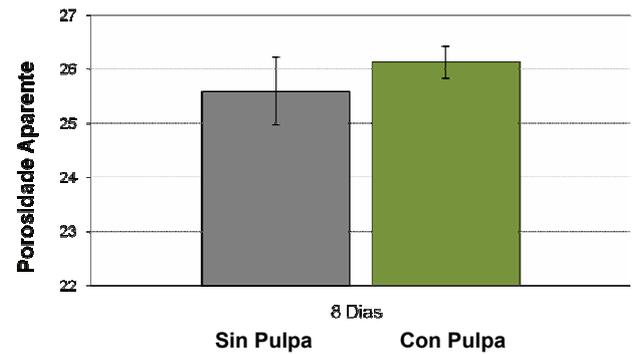


Fig 107 Efecto de la pulpa de celulosa en porosidad aparente

Los resultados de MOR y ME se muestran en la Fig. 98. Las probetas con pulpa de celulosa de eucalipto mejoraron el comportamiento de MOR en casi 20 % respecto de su similar moldeada sin pulpa.

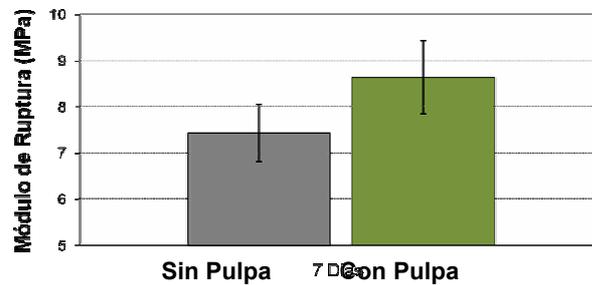


Fig 108: Efecto de la pulpa de celulosa en MOR

En cuanto al modulo elástico, las probetas sin pulpa tuvieron un desempeño mayor. Fig 99 Esto explica que, considerando semejante cantidad de formulación de fibras vegetales (5 % de cáscaras de maní, y 4 % de cáscaras de maní y 1 % de pulpa de celulosa) las primeras resultaron mas rígidas (mayor MOE), aunque esto no significa mayor modulo de ruptura.

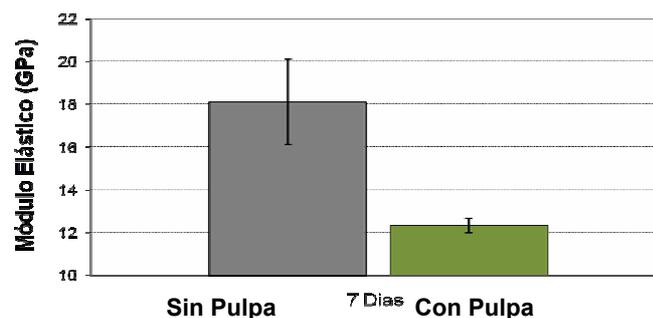


Fig 109: Efecto de la pulpa de celulosa en MOE

#### 4.6.3.3.- Efecto del tenor

A medida que aumenta el contenido de partículas de los compuestos, las propiedades físicas se mantienen (con leve disminución de densidad y leve aumento de absorción de agua), y las propiedades mecánicas disminuyen.

#### 4.6.3.4.- Efecto del tratamiento químico de las partículas

El tratamiento químico de las partículas de cáscaras de maní con silicato de sodio y sulfato de aluminio mostró- a temprana edad de 28 días-, mantenimiento de las propiedades físicas y una tendencia de mejora de las propiedades mecánicas.

#### 4.7. Conclusiones preliminares.

Respecto a morteros con agregados de cáscara de maní, los valores de la Tabla 51 expresan los resultados físicos y mecánicos testeados, a fin de establecer las mejores aditivaciones y granulometrías del agregado.

Tabla 51: Propiedades físicas y mecánicas de las probetas de morteros de cáscaras de maní

Identificación de Muestras		Propiedades mecánicas y físicas							
Serie de probetas	Características	Resistencia a tracción		Resistencia a compresión		Absorción		Densidad	
		(MPa)		(MPa)		%		(g/cm <sup>3</sup> )	
		CE	CM	CE	CM	CE	CM	CE	CM
1 (N)	Cáscaras de maní naturales	0.04	0,00	0.12	0,14	78.9	79,63	0.62	0,55
2 (L)	Cáscaras de maní lavadas con agua pura	0.08	0,01	0.12	0,21	-	69,51	-	0,63
3 (Ca)	Cáscaras impregnadas con cal viva	0.16	0,25	0.155	0,13	20.7	45,61	0.69	0,73
4 (Na)	Cáscaras + aditivo silicato Na	0.13	0,07	0.13	0,14	68.1	75,29	0.50	0,58
5 (Na + Al)	Cáscaras + aditivo silicato de Na y Sulfato de Al	0.08	-	0.285	0,175	-	76,97	-	0,63
6 (Al)	Sulfato de Al: 160 gr.	0,14	-	-	0,14	43.7	65,47	0.58	0,60

CE: Cáscaras de maní enteras

CM: Cáscaras de maní molidas

Nota: Los datos mostrados en esta tabla síntesis son los resultantes de los promedios de los ensayos efectuados.

La cantidad de agua que se incorpora en las mezclas cementicias tiene efectos particular en presencia del agregado cáscaras de maní. Las cáscaras de maní tienen mucha capacidad de absorber agua. Esta característica implica que al mezclar las cáscaras con cemento y agua, el agua contenida junto con algunas partículas del cemento, penetran dentro de esta estructura provocando un hinchamiento en la estructura laxa de las cáscaras. Al poco tiempo de comenzar el proceso de endurecimiento, la estructura ligno celulósica se encuentra aumentada de volumen. Mientras el cemento endurece, se produce una lenta deshidratación de las partículas ligno celulósicas. Esta situación hace que la estructura ligno celulósica empiece a retraerse nuevamente intentando volver a sus dimensiones originales como efecto de la deshidratación. Esta situación, provoca enormes tensiones internas y microfisuras dentro de la estructura puesto que el cemento que está endureciendo sufre el efecto de este cambio de volumen del agregado. A consecuencia de estas tensiones se produce el crackeo de los vínculos cementicios dando por resultado una disminución en las propiedades mecánicas del material

Las cáscaras de maní utilizadas como agregadas en mezclas cementicias mostraron interferencias de fragüe, debido a su composición botánica, tal como fue descrito en los apartados del Capítulo 2 y 3. En el caso de la cáscara de maní, además de los componentes químicos previamente descritos, se podría interferir que en la reacción del cemento interviene una variable cantidad de materia orgánica (suelo vegetal) que está adherida, absorbida o retenida en la superficie externa de la cáscara, cuyo efecto negativo para el fragüe del cemento ha sido probado. Entonces, se puede concluir que hay un triple efecto relativo al proceso de fragüe y endurecimiento del cemento con cáscaras de maní:

- ✓ Efecto físico: por la estructura multicapa de las cáscaras, cuya rigidez es reducida por la fricción ocurrida durante el mezclado.
- ✓ La presencia de materia orgánica en la superficie externa de las cáscaras (suelo vegetal)
- ✓ Efecto químico: existen interacciones químicas entre los componentes solubles y no solubles de las cáscaras que interfieren en el retardo en el endurecimiento en el normal proceso de fragüe con cemento.

Los resultados alcanzados – según los tratamientos y granulometría estudiadas -, demuestran que es posible la utilización de cáscaras de maní como agregado en mezclas cementicias aplicables a materiales de construcción. Se promovió la adherencia de la matriz cemento – cáscaras extrayendo los extractos incompatibles mediante lavado de las cáscaras, o bien aditivando las mezclas. Se propone lograr un adecuado tratamiento de la superficie de la cáscara de maní con la finalidad de promover la adhesividad con el ligante cemento y así mejorar las propiedades mecánicas del material resultante.

Además, la descomposición de la hemicelulosa en azúcares solubles provocan el retardo de fragüe del cemento. Se propuso la fijación de la hemicelulosa y de los taninos interferentes a través de la formación de un derivado insoluble de dichos taninos (polifenoles). En una de las series, con la finalidad de insolubilizar y ocluir los taninos presentes, se utiliza OCa (cal viva); y en las últimas dos series, a través de la formación de sales insolubles en el interior de la matriz lignocelulósica.

Las mezclas cemento con cáscaras de maní y aditivos podrían ser aptas para el moldeo de componentes constructivos de uso no portante, más livianos, y probablemente con mejor capacidad de aislación térmica. La baja densidad de las probetas obtenida significaría además, ahorros de esfuerzo y tiempo de la mano de obra interviniente en el proceso de puesta en obra, ya que se disminuye importantemente el peso unitario de cada elemento respecto de su similar de concreto.

Las probetas elaboradas con cáscaras de cáscaras de maní y cemento moldeadas con la técnica de dispersión en agua, moldeado por vacío seguido de presión mostraron mejoras considerable en las propiedades físicas y mecánicas de los compuestos.

En efecto, la eliminación del agua excedente disminuye la relación agua cemento y, en consecuencia, mejora las características mecánicas del material. Este, sometido a presión resulta además con buenas propiedades físicas de densidad y absorción de agua, en elementos delgados. Placas de 6 mm. de espesor con y sin pulpa de celulosa fueron moldeadas. Particularmente, la mezclas elaboradas con abundante agua (donde es luego eliminado el excedente) con pulpa de celulosa, resultaron en placas de muy buen aspecto estético, y potencialmente aptas para la aplicación en elementos de revestimiento lateral (paneles y/o revestimientos) u horizontal (cielorrasos y pisos).

Con un mismo tenor (5 %), diferentes granulometrías de cáscaras fueron testeadas. Los resultados físicos y mecánicos mostraron que aquellas probetas moldeadas con mayor curva granulométrica, se comportaron mejor en valores de MOR y MOE. En tanto también resultaron con mejores propiedades físicas de densidad aparente y absorción de agua.

Manteniendo el tenor, y seleccionada la granulometría de las fibras más apta, se evaluó la conveniencia del refuerzo con pulpa de celulosa. El análisis de las propiedades mecánicas resulto que la presencia de pulpa mejora el valor de MOR y disminuye el valor de MOE. En cuanto a propiedades físicas, la presencia de pulpa disminuye la densidad aparente y aumenta la porosidad aparente de las muestras.

Efecto de variaciones de los compuestos debido al tratamiento químico de las partículas mostraron una leve tendencia de mejora las propiedades físicas y mecánicas. A mayores edades, nuevos ensayos deberán ser conducidos para profundizar el estudio de las propiedades físicas y mecánicas.



## Capítulo 5: Cáscaras de maní en matriz polimérica

### 5.1.- Introducción

Cáscaras de maní fueron moldeadas utilizando matriz polimérica. Dos diferentes resinas fueron propuestas: resina poliéster y resina urea formaldehído. La primera conocida por la industria náutica es ampliamente usada en el moldeo de piezas plásticas reforzadas con fibra de vidrio (PRFV). Por su parte, resina urea formaldehído o ureica es utilizada en la industria de los tableros industrializados de madera.

Debido a la naturaleza ligno celulosica de las cáscaras de maní, asociadas con las partículas de madera, se aplicó la técnica de moldeo por presión (alta y baja), con y sin temperatura. Las propiedades encontradas fueron diferentes en uno y otro caso, y en consecuencia, distintas aplicaciones son sugeridas.

### 5.2.- Cáscaras de maní + resina poliéster

En el caso de los compuestos cáscaras de maní – resina se utiliza como carga un material no inerte frente al sistema MEK-Co. La cáscara de maní es un material orgánico de carácter ligno celulosico que puesto en presencia del sistema MEK-Co sufre reacciones de oxidación-descomposición muy diversas.

La materia orgánica consume los peróxidos (como es el caso del MEK) que son puestos en su presencia. La cáscara también contiene tierra vegetal con un importante porcentaje de materia orgánica. Este análisis lleva a observar en nuestro sistema, que los peróxidos tienen dos vías alternativas de reacción:

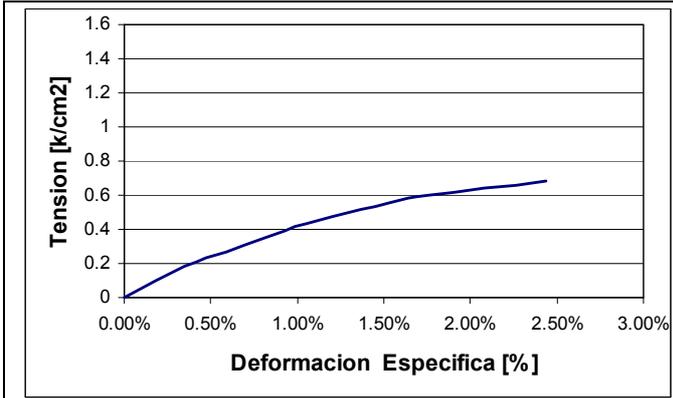
- a) La reacción tradicional con las insaturaciones de la resina que conducen al endurecimiento del material.
- b) La reacción con cáscaras de maní, en el que el peróxido se consume “oxidando” la materia orgánica. Este es un típico caso de reacciones competitivas simultáneas.

Se observa experimentalmente que a cortos plazos está favorecida la reacción peróxido-resina. Por otra parte, si la temperatura es baja (menos a 10 °C) es favorecida la reacción peróxido-materia orgánica y el producto demora en tomar una dureza final y queda con una pegajosidad remanente. Es por ello que se utilizan cantidades mayores de MEK-Co para compensar el “consumo” de estos reactivos que realiza la materia orgánica (cáscaras y tierra).

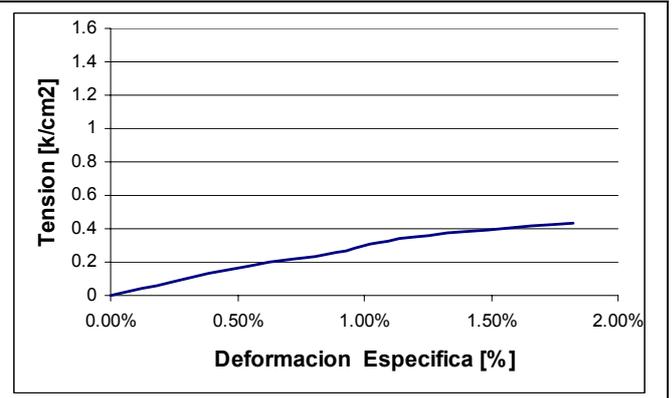
#### 5.2.1.- Paneles de cáscaras de maní + resina poliéster. Compresión de moldeo 30%.

##### 5.2.1.1.- Ensayo de Compresión simple

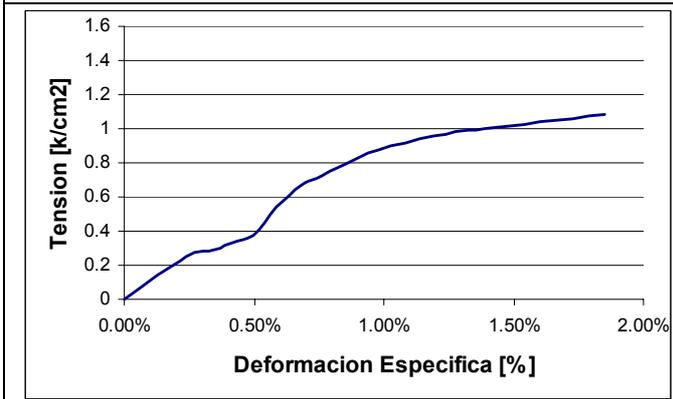
Los resultados obtenidos del ensayo de compresión en las primeras probetas con resina poliéster demostraron buenas propiedades cohesivas en un material muy liviano, de consistencia similar a un turrón. Los valores de resistencia a compresión, con gran oscilación, variaron entre 0,43 y 1,37 k/cm<sup>2</sup>, tal como se observa en la Fig. 110 a - I.



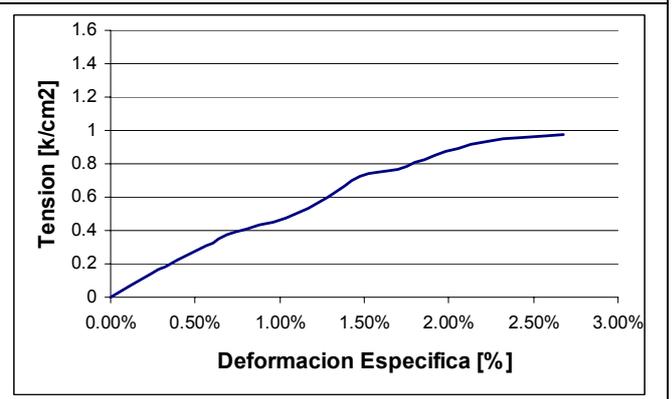
a



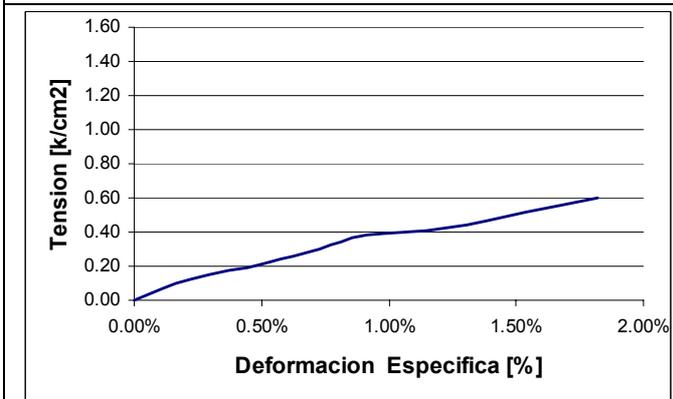
b



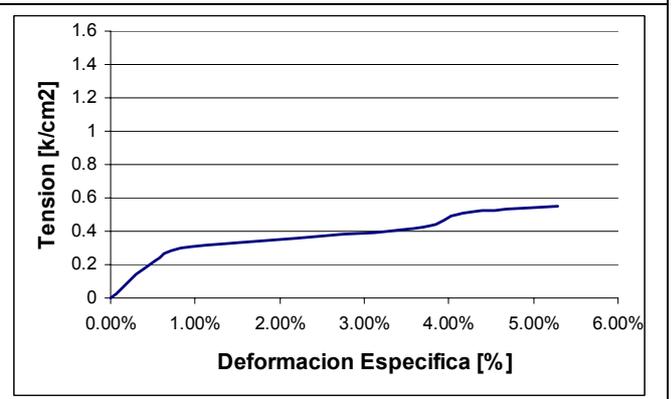
c



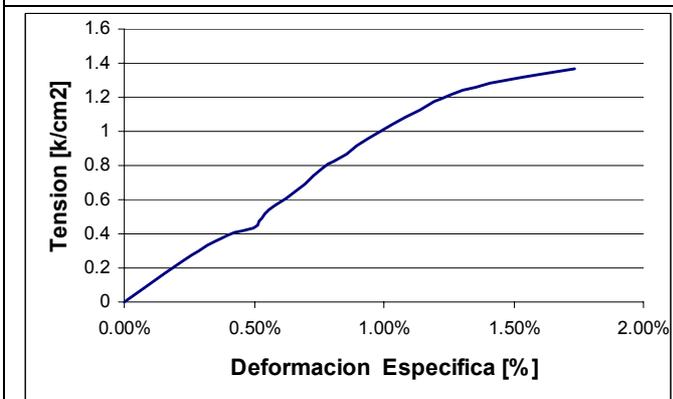
d



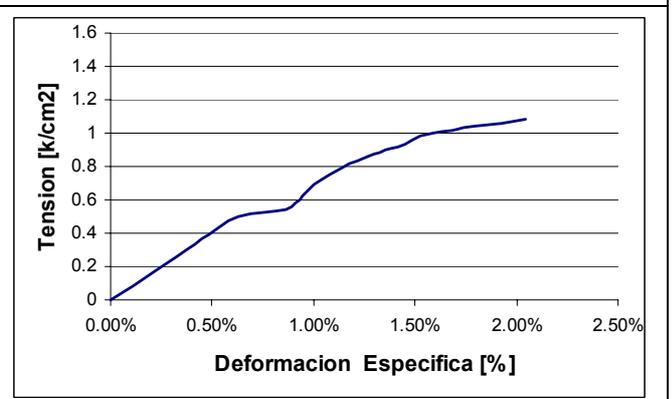
e



f



g



h

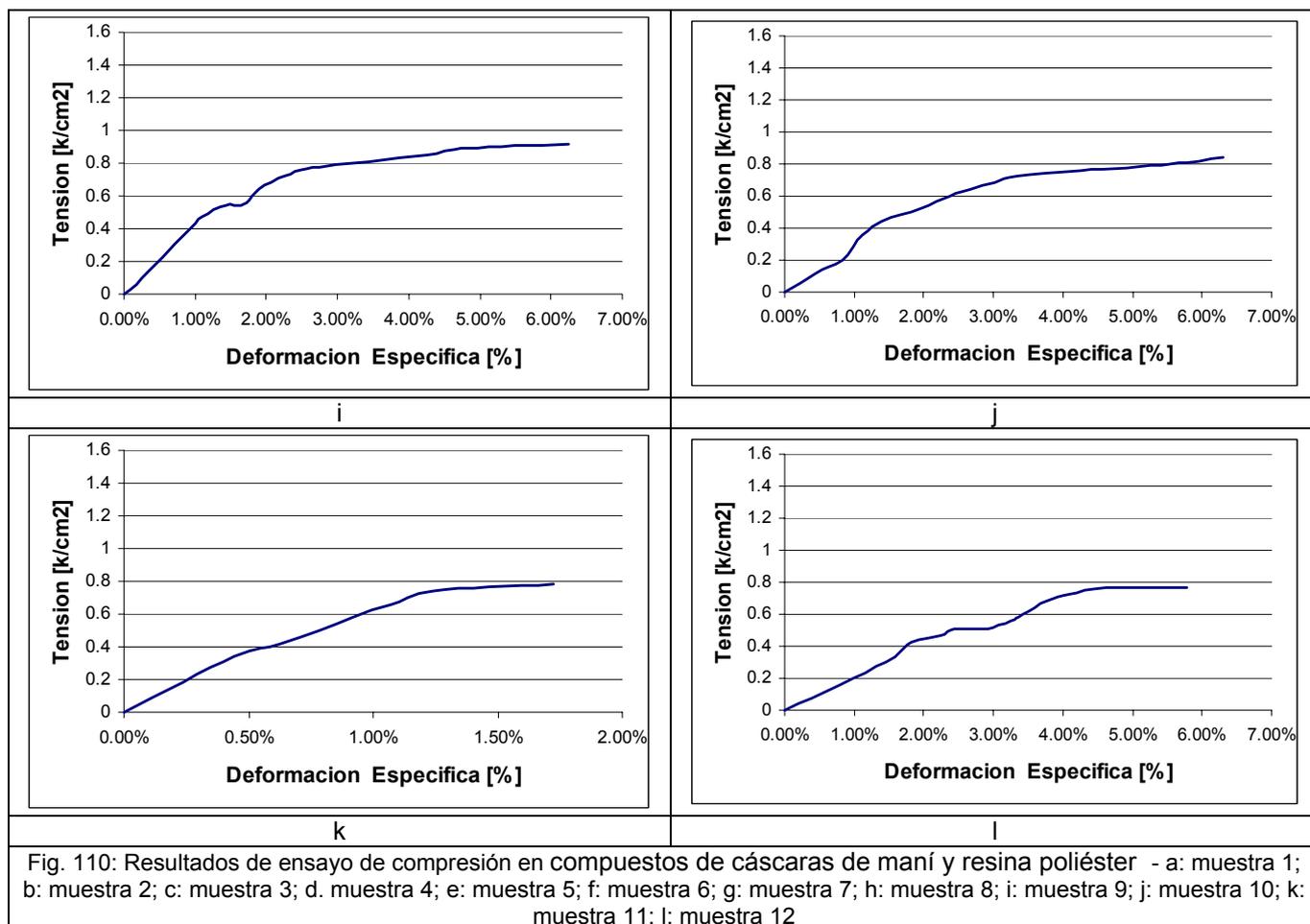


Fig. 110: Resultados de ensayo de compresión en compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster - a: muestra 1; b: muestra 2; c: muestra 3; d: muestra 4; e: muestra 5; f: muestra 6; g: muestra 7; h: muestra 8; i: muestra 9; j: muestra 10; k: muestra 11; l: muestra 12

Los respectivos valores encontrados de tensión máxima y modulo de elasticidad se muestran en la Tabla 52.

Tabla 52: Tensión máxima y modulo de elasticidad en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (30%)

Muestra	Tensión máxima k/cm <sup>2</sup>	Modulo de Elasticidad E <sub>10</sub>
1	0.68	53.79
2	0.43	44.73
3	1.09	127.08
4	0.98	62.76
5	0.60	51.48
6	0.55	63.2
7	1.37	142.85
8	1.09	70.37
9	0.91	67.32
10	0.84	50.67
11	0.78	64.89
12	0.77	51.24

#### a.- Dispersión de resultados de ensayo de Compresión y Modulo de elasticidad

Cuando se promedian los valores obtenidos de resistencia a compresión se observa mayor

dispersión en el valor de modulo de elasticidad que en el valor de Tensión máxima. Fig. 111 y 112.

El valor promedio de resistencia a compresión fue de 0,84 k/cm<sup>2</sup> y el valor medio para modulo de elasticidad (E<sub>10</sub>) fue de 70,86.

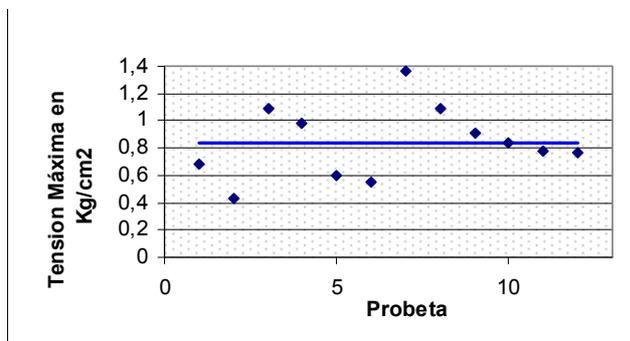
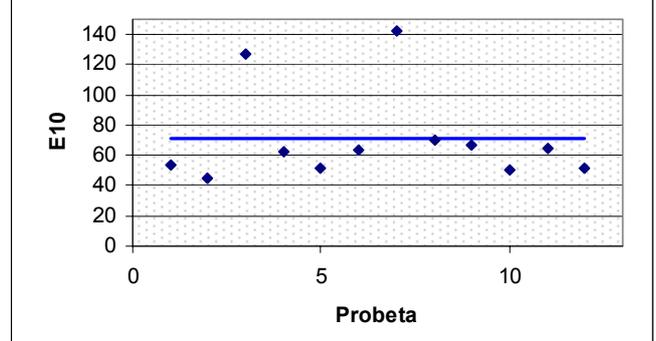


Fig. 111: Dispersión en ensayo de compresión de probetas de cáscaras de maní y resina poliéster (30%)



112: Dispersión en valor de modulo de elasticidad de probetas de cáscaras de maní y resina poliéster (30%)

Se observó que los valores de tensión eran bajos. A consecuencia de esta situación, se evaluaron nuevas probetas moldeadas con mayor presión, manteniendo las dosificaciones de ligante (resina poliéster) y agregado (cáscaras de maní enteras).

### 5.2.1.2.- Ensayo de tracción directa

Las características del material (baja densidad, presencia de celdas de aire, heterogéneo) están vinculadas a propiedades mecánicas limitadas, aunque suficientes para usos no estructurales.

Los valores resultantes del ensayo de tracción directa se describen en la Tabla 53.

Tabla 53: Resistencia a tracción directa en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (30%)

Muestra	Carga [k]	Tensión [k/cm <sup>2</sup> ]
1	98,03	7,16
2	105,68	7,42
3	94,21	6,42
4	94,21	6,65
5	59,81	4,54
6	113,32	8,29
7	78,92	6,39
8	65,55	4,89
9	120,96	9,02
10	109,50	8,67

#### a. Dispersión de resultados de tracción directa

El valor medio del ensayo de tracción directa fue 6,95 k/cm<sup>2</sup>, con relativa menor dispersión que el ensayo de compresión. Fig. 113

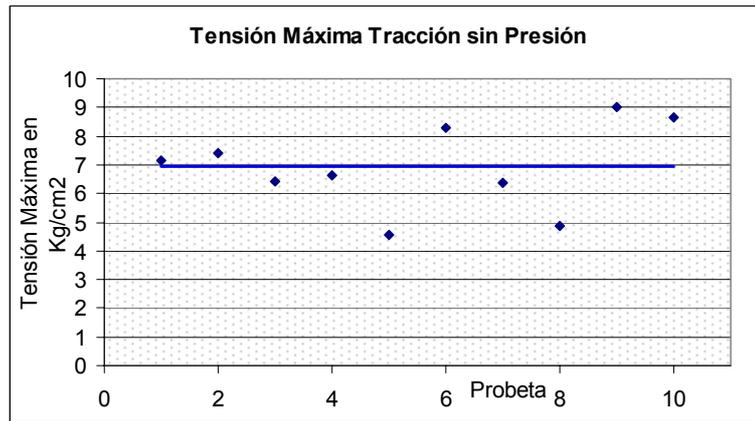
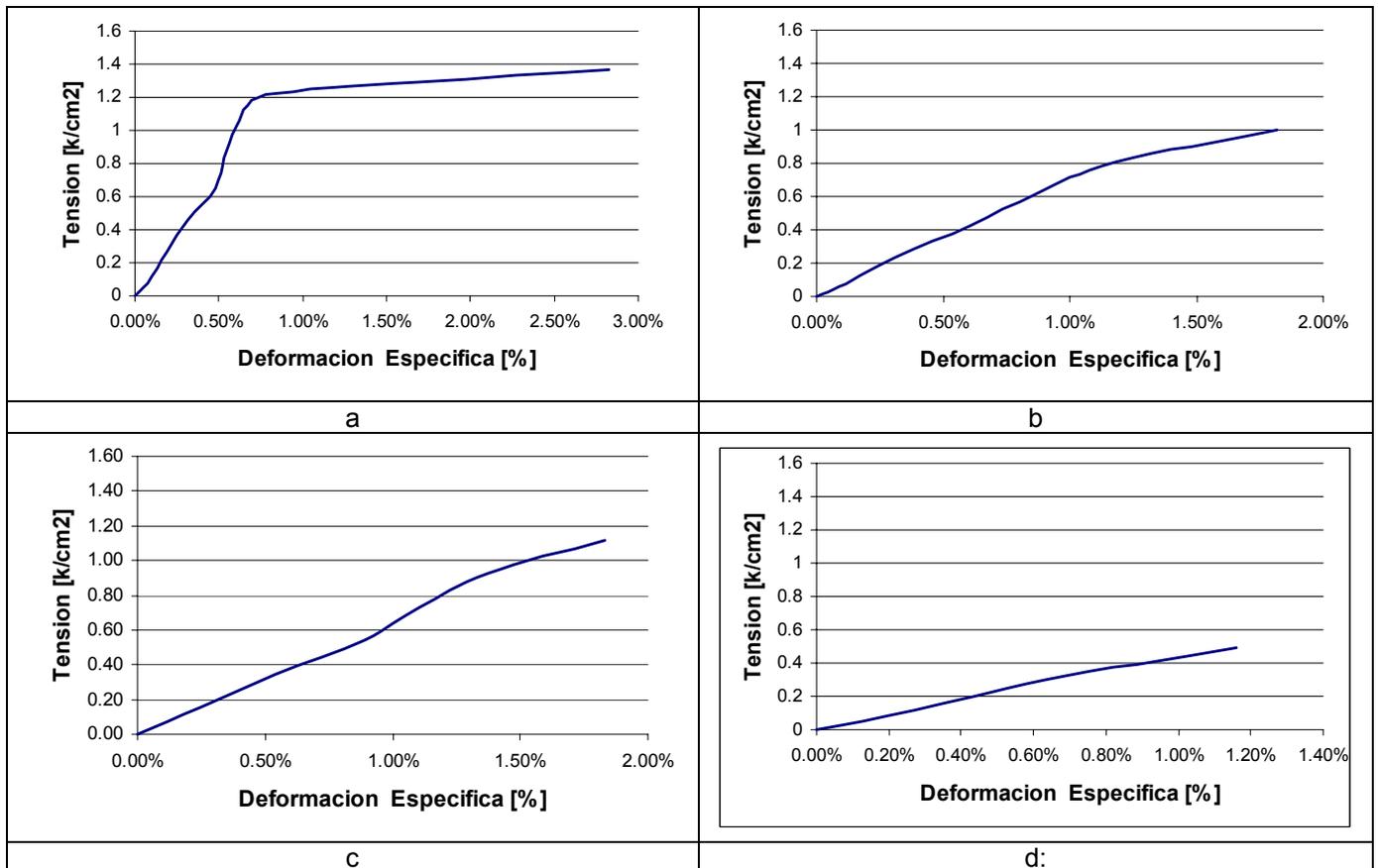


Fig. 113: Dispersión en valor de tracción directa de probetas de cáscaras de maní y resina poliéster (30%)

## 5.2.2.- Paneles de cáscaras de maní + resina poliéster. Compresión de moldeo 50%

### 5.2.2.1.- Ensayo de compresión

Similares probetas fueron ensayadas, donde la presión de moldeo aumento, y resulto un material ligeramente mas denso. El resultado del ensayo de compresión vario entre 0,49 k/cm<sup>2</sup> y 1,49 k/cm<sup>2</sup>. Ello demuestra que se trata de un material heterogéneo, de abundante presencia de celdas de aire, y enlaces discontinuos. Fig. 114 a - l



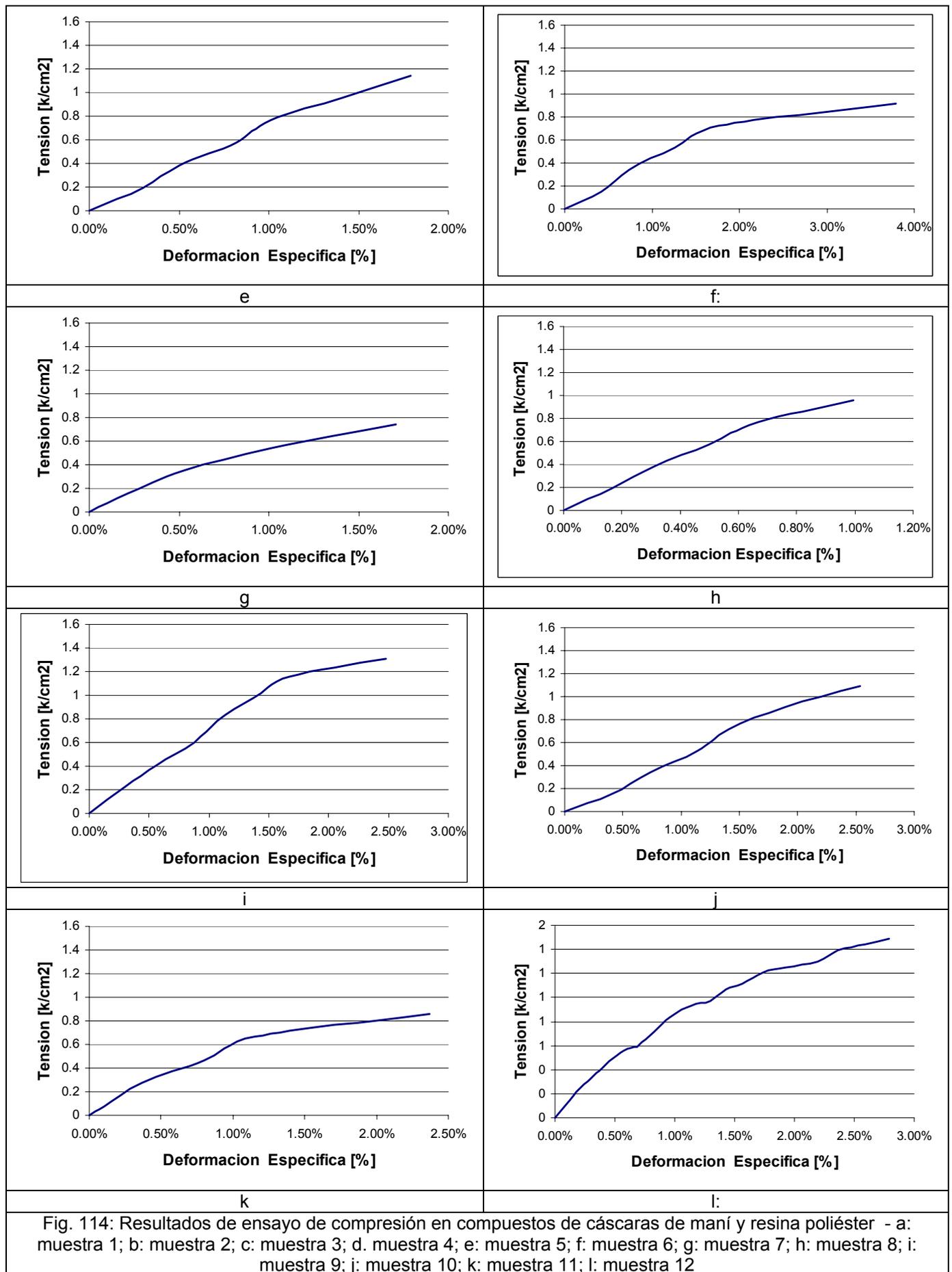


Fig. 114: Resultados de ensayo de compresión en compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster - a: muestra 1; b: muestra 2; c: muestra 3; d: muestra 4; e: muestra 5; f: muestra 6; g: muestra 7; h: muestra 8; i: muestra 9; j: muestra 10; k: muestra 11; l: muestra 12

Los respectivos valores encontrados de tensión máxima y modulo de elasticidad se muestran en la Tabla 54.

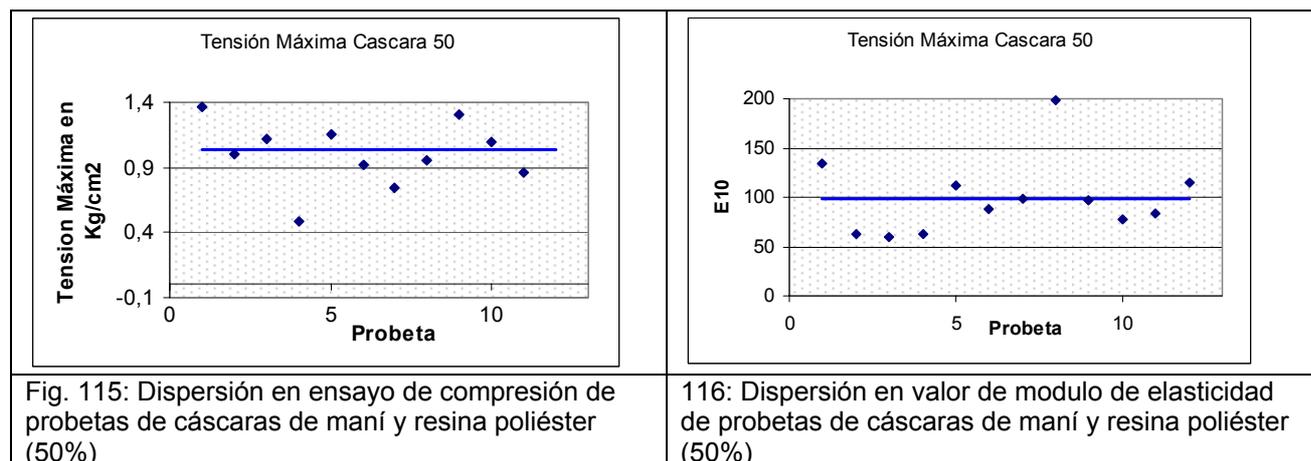
Tabla 54: Tensión máxima y modulo de elasticidad en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (50%)

Muestra	Tensión máxima k/cm <sup>2</sup>	Modulo de Elasticidad E <sub>10</sub>
1	1.37	134.12
2	1.00	63.25
3	1.12	59.9
4	0.49	63.25
5	1.15	111.21
6	0.92	88.38
7	0.74	98.18
8	0.96	198.94
9	1.31	96.57
10	1.09	76.95
11	0.86	84.14
12	1.49	115

#### a.- Dispersión de resultados de ensayo de Compresión y Modulo de elasticidad

De manera similar a los ensayos del apartado anterior, la dispersión obtenida en ensayo de compresión es grande. Fig. 115 y 116. Los valores encontrados demuestran que cuando se aumenta la presión de moldeo, mejoran las propiedades mecánicas del material

El valor promedio de resistencia a compresión fue 1,04 k/cm<sup>2</sup> y el valor medio de modulo de elasticidad (E<sub>10</sub>) fue 99,16.



#### 5.2.2.- Ensayo de tracción directa

Escasa variación en la presión de moldeo mejoran las propiedades mecánicas del material, aunque no de manera significativa. La tensión resultante del material muestra ligeras mejoras, según Tabla 55

Tabla 55: Resistencia a tracción directa en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (50%)

Muestra	Carga [k]	Tensión [k/cm <sup>2</sup> ]
1	31,15	2,63
2	147,72	10,16
3	57,90	4,62
4	57,90	4,37
5	197,40	14,63
6	126,70	10,35
7	36,88	3,07
8	119,05	9,70
9	105,68	8,49
10	105,68	8,03
11	101,85	7,86
12	98,03	9,76

### a. Resultados dispersión de tracción directa

El valor promedio de resistencia a tracción directa fue 7,80 k/cm<sup>2</sup>, por sobre 6,80 k/cm<sup>2</sup> de valor promedio del material con menor presión de moldeo. Fig. 117

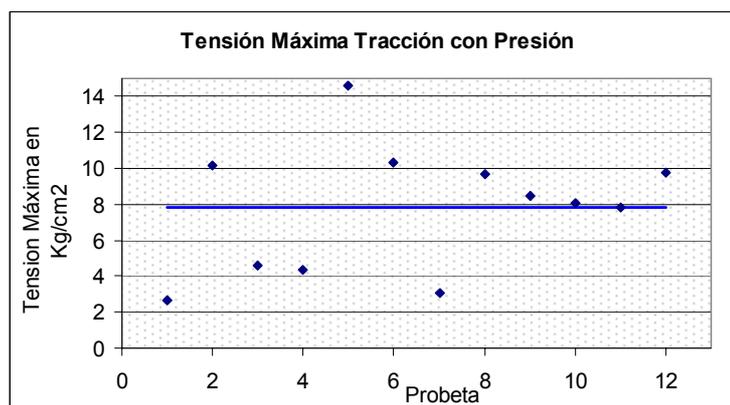


Fig 117: Dispersión en valor de tracción directa de probetas de cáscaras de maní y resina poliéster (50%)

### 5.2.2.3.- Ensayo de flexión

Los resultados obtenidos en secciones rectangulares y placas se describen en Tabla 56 y Tabla 57 respectivamente.

Tabla 56: Resistencia a Flexión del material ( $\sigma$  de rotura) en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (50%)

Denominación	Modulo W cm <sup>3</sup>	F kg	Mmax Rotura kgcm	$\sigma$ Rotura k/cm <sup>2</sup>
1	136.9	157	965	7.1
2	141.5	147	904	6.4
3	139.2	170	1045	7.5
4	148.7	173	1064	7.2

Tabla 57: Resistencia a Flexión de la placa ( $\sigma$  de rotura) en los compuestos de cáscaras de maní y resina poliéster (50%)

Denominación	Modulo W cm <sup>3</sup>	F k	Mmax Rotura kgcm	$\Sigma$ Rotura k/cm <sup>2</sup>
Pr1	46,7	3	18	0.4
Pr	18,6	8	53	2.8

El valor medio de flexión del material ( $\sigma$  de rotura) fue de 7.05 k /cm<sup>2</sup>, y el valor medio de flexión de la placa de cáscaras de maní y resina poliéster fue de 1.6 k./cm<sup>2</sup>

#### 5.2.2.4.- Otras propiedades

Además de las propiedades mecánicas de compresión y tracción, otras propiedades fueron determinadas tales como densidad, permeabilidad al vapor de agua, índice de propagación de llama, y conductividad térmica.

##### a. Densidad aparente

El peso por unidad fue entre 7 y 11 k., lo que implica 10.5 k de peso por m<sup>2</sup> de superficie. En consecuencia la densidad aparente del material compuesto de cáscaras de maní y resina poliéster medida fue de 245 k/m<sup>3</sup>.

##### b. Conductividad térmica

El valor resultante de Coeficiente de Conductividad Térmica fue: 0,12 W/mK  $\pm$  4 %

##### c. Permeabilidad al vapor de agua

Resistencia a la difusión del agua (Rv) : 0,09 m<sup>2</sup> h k Pa / g

Permeancia al vapor de agua ( $\Delta$ ) : 10,82 g/m<sup>2</sup> h kPa

Permeabilidad al vapor de agua ( $\delta$ ): 0.19 g/mhkPa.

##### d. Propagación de llama

El Índice de propagación de llama (I) fue determinado según Tabla 58.

Tabla 58: Índice de propagación de llama de paneles de cáscaras de maní y resina poliéster

	Valor
F(promedio)	12.13
Q (promedio)	16.48
I (promedio)	201.05

Donde:

- I: Índice de propagación superficial de llama
- F: Factor de propagación de llama
- Q: factor de evolución del calor

Según estas condiciones, se define como material de Clase RE 5 (material de elevada propagación de llama), en una clasificación de 1 a 6.

### 5.3.- Cascaras de mani + resina ureica. Determinación de propiedades físicas y mecánicas.

#### 5.3.1.- Tableros de cáscaras de mani

Este apartado tiene como finalidad desarrollar un estudio de viabilidad de fabricación de paneles de partículas aglomeradas a base de partículas de cáscaras de mani y resina ureica, y evaluar técnicamente la viabilidad de utilización de este producto, por medio de la determinación de propiedades físicas y mecánicas del material.

##### 5.3.1.1.- Ensayos físicos

Pequeños tableros de 53 cm. x 53 cm. x 15 cm. de espesor fueron elaborados. El peso promedio de 3 placas realizadas fue de 3,70 k

##### a. Densidad

Los resultados obtenidos indican paneles con densidad media entre 0,69 g/m<sup>3</sup> y 0,89 g/m<sup>3</sup> sin tratamiento superficial y con tratamiento preservante para madera respectivamente, en Tabla 59.

Tabla 59: Valores medios de densidad de tableros de cáscaras de mani y resina ureica

Placa	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Cáscaras de mani + resina ureica (sin tratamiento)	0,69 <sup>a</sup>
Cascaras de mani + resina ureica (con tratamiento preservante)	0,83 <sup>b</sup>

Valores semejantes fueron obtenidos en un trabajo que evaluó las propiedades físicas de paneles a base de bagazo de caña de azúcar y fibras de hojas caducas de bambú, y resina ureica, donde se obtuvieron paneles de hasta 1 g/cm<sup>3</sup>.

##### b. Ensayos de hinchamiento y absorción de agua

Placas de cáscaras de mani y resina ureica prensadas fueron ensayadas para evaluar sus propiedades de hinchamiento y absorción de agua. Son presentados los valores medios en la tabla 60

Tabla 60: Valores medios de hinchamiento y absorción de agua de tableros de cáscaras de mani y resina ureica

Placa	Hinchamiento 24 hs (%)	Absorción 24 hs (%)
Cáscara de mani + resina ureica (sin tratamiento)	0,16	0,70
Cascara de mani + resina ureica (con tratamiento preservante)	0,16	0,47

La figura 118 presenta valores de hinchamiento y absorción de agua referente a los cuerpos de prueba de paneles de cáscaras de maní, con y sin tratamiento preservante y con revestimiento externo a base de resina bi-componente de aceite de mamona. Para los paneles revestidos con resina bi-componente, fue verificada una disminución significativa de hinchamiento y de absorción de agua, en la mayoría de los casos, estas propiedades presentan valores iguales a 0,00 %. Para los cuerpos de prueba sin revestimiento, después de 24 h de inmersión, el hinchamiento quedo en torno de 0,15% y absorción de agua variando de 0,47 % a 0,70 %, para cuerpos de prueba con tratamiento y sin tratamiento preservante, respectivamente.

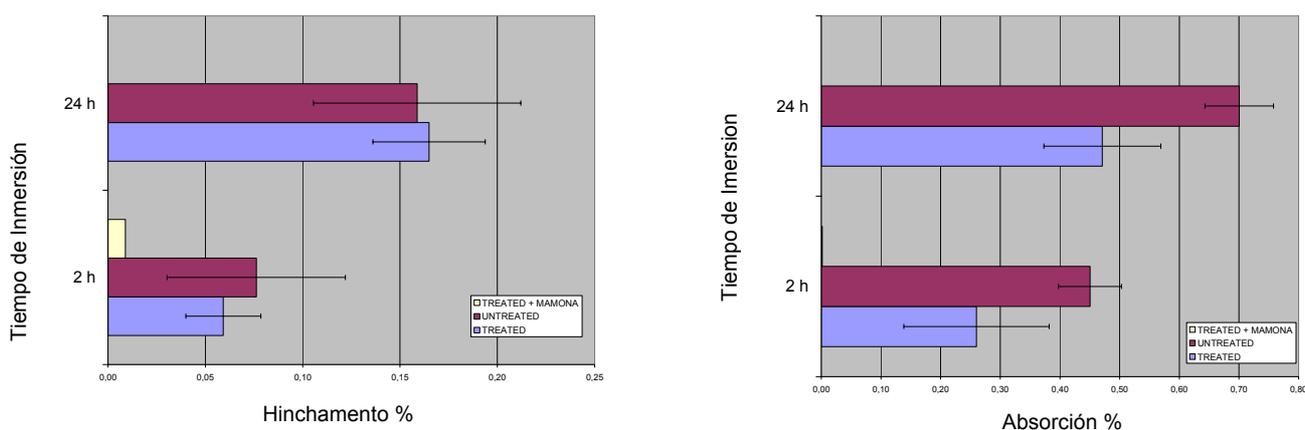


Figura 118: Valores de hinchamiento y absorción de agua comparadas de probetas compactas de cáscaras de maní y resina urea formaldehído

### 5.3.1.2. Ensayos mecánicos

Son presentados los valores medios de flexión y el respectivo desvío patrón de Modulo de Ruptura (MOR) y Módulo de Elasticidad (MOE), en Tabla 61

Tabla 61: Valores medios y desvío de MOR y MOE de tableros de cáscaras de maní y resina ureica

Placa	MOR (MPa)	Desvío	MOE (MPa)	Desvío
Cáscaras de maní + resina ureica (sin tratamiento)	4,37	(0,46)	590	80
Cascaras de maní + resina ureica (con tratamiento preservante)	5,34	(0,65)	762	64

En relación a MOR medio, los valores varían de 4,37 MPa a 5,34 MPa y MOE medio de 590 MPa y 700 MPa, para paneles sin tratamiento superficial y con preservante para madera, respectivamente.

La figura 119 presenta la relación tensión deformación para cuerpos de prueba con y sin tratamiento aplicado sobre la superficie de paneles de cáscaras de maní.

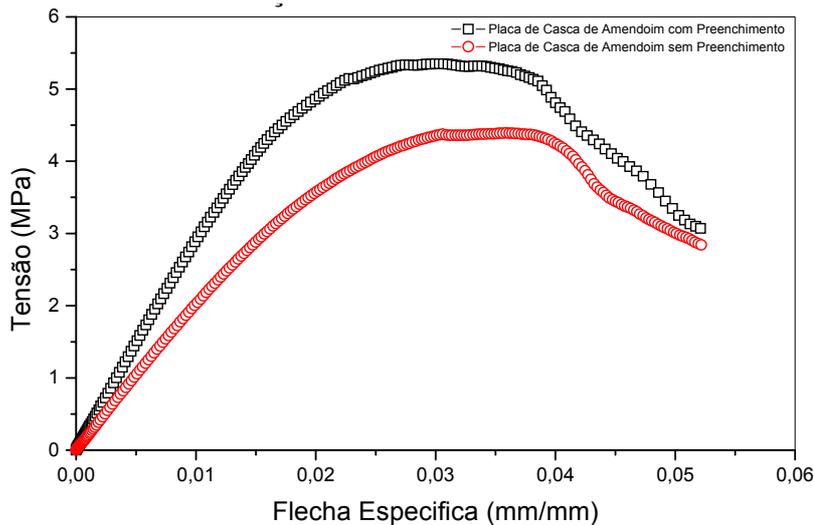


Figura 119: Diagrama tensão deformação do tablero com cascas de maní e resina ureica com e sem tratamento preservante

#### 5.4.- Conclusões preliminares

Los paneles de cáscaras de maní e resina poliéster, elaborados con baja presión de moldeo, resultaron en un material caracterizado por baja densidad (245 k/m<sup>3</sup>) y muy buena capacidad de aislación térmica 0,12 W/ °C h.

Se preve su uso como paneles de cielorraso, y paneles de revestimiento interior para mejorar las condiciones térmicas de paramentos.

La emisión de compuestos volátiles de las mezclas cáscaras – resina poliéster, provocados por la incorporación de monómero de estireno como agente disolvente, fue elevada. En consecuencia, el material fue reformulado hacia el uso de otras resinas, tales como urea formaldehído, que implicó nuevos procesos de producción.

Por los resultados presentados, es posible indicar que los tableros de partículas a base de cáscaras de maní con tratamiento preservante para madera presentan propiedades físico-mecánicas superiores a aquellos sin tratamiento. Los paneles con revestimiento externo de resina poliuretano bi-componente a base de óleo de mamona demostraron excelente comportamiento en ensayos de absorción de agua e hinchamiento. Estos resultados podrían indicar la necesidad de utilizar preservante para el tratamiento de los paneles, para protegerlos de humedad y también para evitar la degradación biológica de los paneles.

En relación a los paneles comerciales, fabricados con partículas de madera, que presentan densidad media variando entre 0,60 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>, los paneles de cáscaras de maní son semejantes.

Las propiedades mecánicas de los paneles comerciales presentan valores medios de MOR y MOE en torno de 16 Mpa y 2900 Mpa, respectivamente: Los paneles a base de cáscaras de maní presentan valores inferiores.

Se puede afirmar, por los resultados obtenidos, que los paneles de cáscaras de maní con resina ureica tienen potencial para ser utilizados en el sector de muebles, sector de la construcción como revestimientos, divisorios interiores, sector de embalajes, y para la composición de objetos decorativos.

En este sentido, buscando mejorar las propiedades resultantes, y para ampliar el uso del nuevo producto, parece necesario el desarrollo de nuevas investigaciones que procuren controlar el proceso de producción del nuevo material, definiendo un tipo de adhesivo mas indicado para la fabricación de mejores parámetros de producción, como tenor de resina, temperatura, presión y tiempo de prensado.



## Capítulo 6: Aplicaciones de resultados. Componentes

Los resultados alcanzados en probetas fueron aplicados en la elaboración de componentes para la construcción. La diferencia de la geometría de moldeo, y producción seriada piloto planteo una nueva escala de trabajo, donde algunas técnicas de proceso fueron ajustadas y/o modificadas.

Se presentan componentes resultantes de aplicaciones de materiales de cáscaras de maní en matriz cementicia y aplicaciones de materiales de cáscaras de maní en matriz polimérica.

### 6.1.- Componentes cementicios con cáscaras de maní. Elementos de mampostería

Ladrillos, y bloques de mampostería tradicionales fueron moldeados con matriz cementicia. Un nuevo bloque de tabique de 13 cm. de espesor fue especialmente diseñado. Placas prensadas fueron elaboradas en tamaño de 45 x 65 cm.

#### 6.1.1.- BLOQUES de 19 cm.

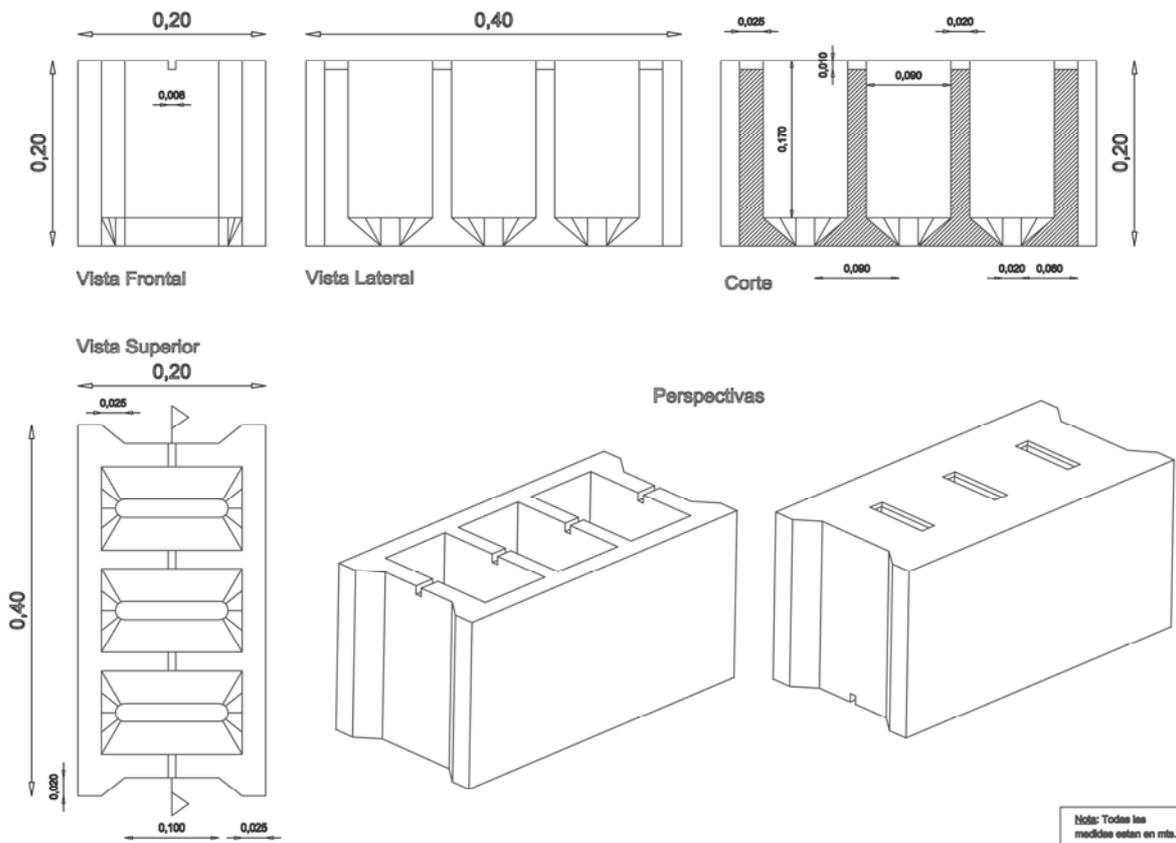


Fig. 120: Descripción grafica de bloques de 19 cm.



Fig. 121 a y b: Bloques de 19 cm producidos

### 6.1.1.1.- Ensayos físicos

Los bloques de las mezclas 1:2:5, 1:4:4 y 1:2:4 no resistían el manipuleo, por lo cual se descartaron del ensayo. Se ensayaron solo las formulaciones 1:3:3.

Los resultados alcanzados en ensayos de densidad, y absorción de agua se describen en las figuras 122 y 123. Los resultados alcanzados son comparados con propiedades de componentes de similar función de material cerámico o concreto. Los resultados de densidad mostraron un componente más liviano que sus similares de concreto.

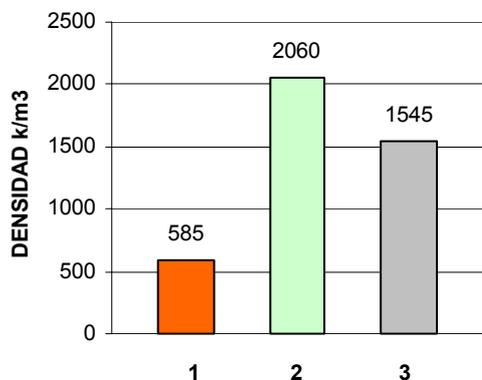


FIG. 122. Densidad comparada de bloques

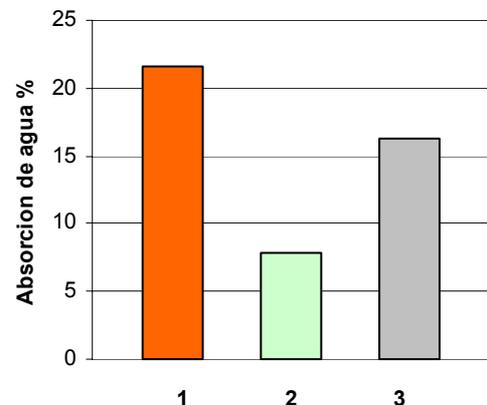


FIG. 123. Absorción de agua comparada de bloques

Donde

- 1.- Bloques cerámicos huecos
- 2.- Bloques de concreto
- 3.- Bloques de cáscaras de maní y cemento

Se observa que los bloques de cáscaras de maní, arena y cemento tienen mayor densidad que los bloques cerámicos, y son más livianos que los bloques de concreto.

En relación a absorción de agua, los bloques de cáscaras de maní resultaron con alta capacidad de absorción de agua, aunque menos absorbentes que los bloques cerámicos.

### 6.1.1.2.- Ensayos mecánicos

Los bloques elaborados fueron evaluados en ensayo de compresión. Los resultados se describen en Figura 124

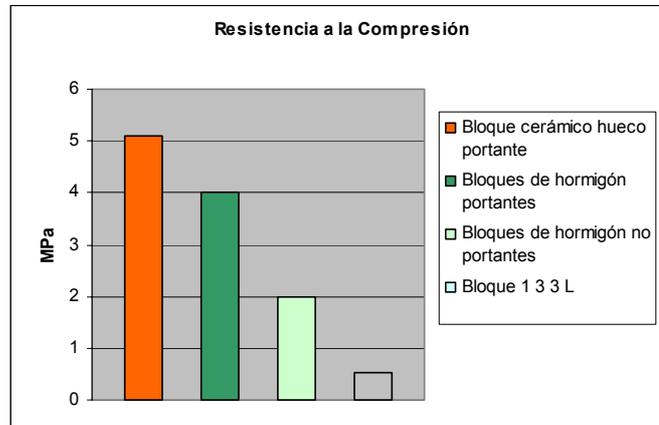


FIG. 124. RESISTENCIA A COMPRESION COMPARADA de bloques

Nota: Los datos de resistencia a la compresión y densidad son de bloques cerámicos BP18 de la empresa “La Pastoriza”

Los datos de resistencia a la compresión en bloques de hormigón son los mínimos que exige la norma IRAM N° 11561-2 “Bloques no portantes de hormigón” requisitos y la norma IRAM N° 11561-3 “Bloques portantes de hormigón” requisitos.

La resistencia a la compresión de los bloques con mezcla 1:3:3 (cemento, arena, cáscaras de maní lavadas) esta por debajo de la capacidad mecánica de los bloques tradicionales. Se proponen para uso en mamposterías no portantes.

### 6.1.2.- Bloques para techo

Bloques para techo de viguetas fueron elaborados con cascara de maní, cemento y arena. La geometría y el tamaño fueron similares a los tradicionales bloques de concreto. Se describen en la figuras 125 y 126.

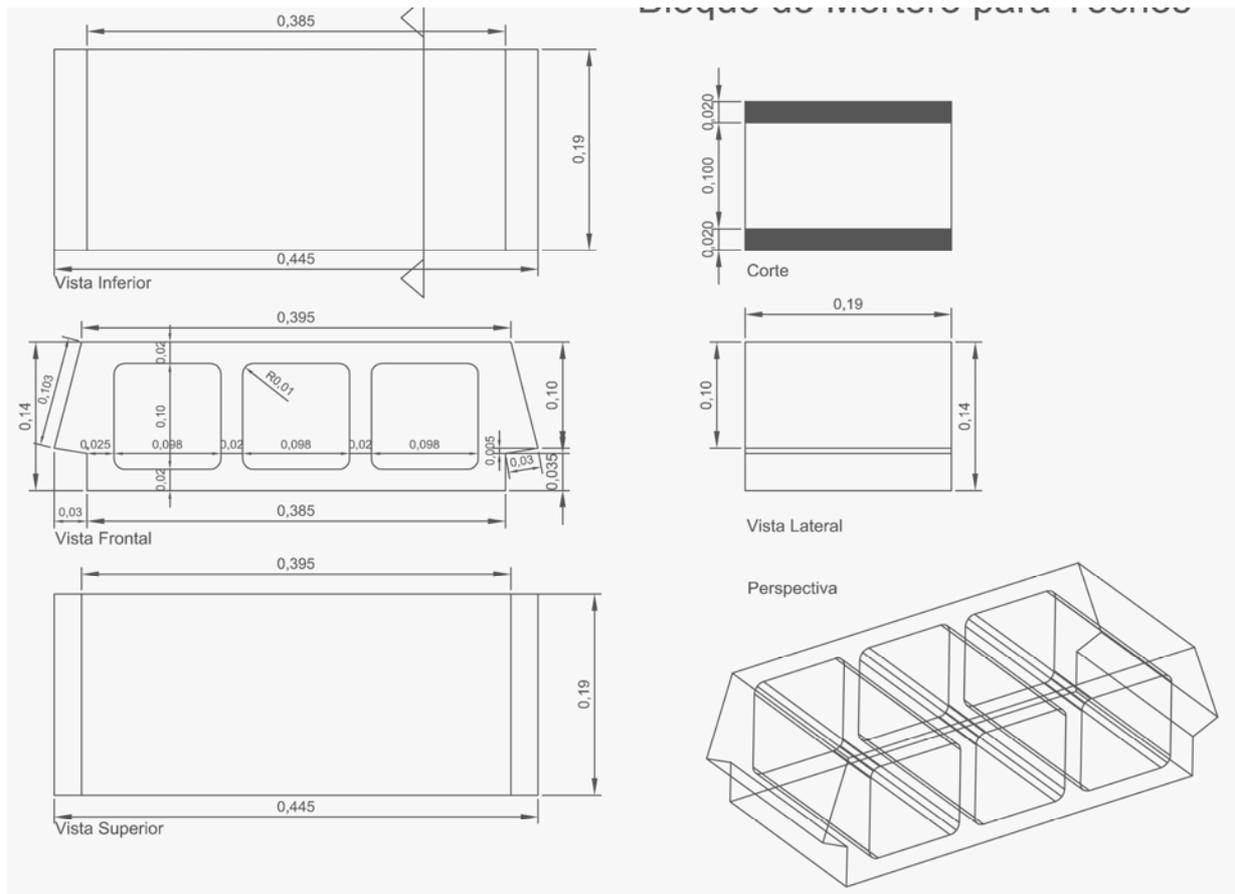


Fig. 125: Descripción grafica de bloques de techo

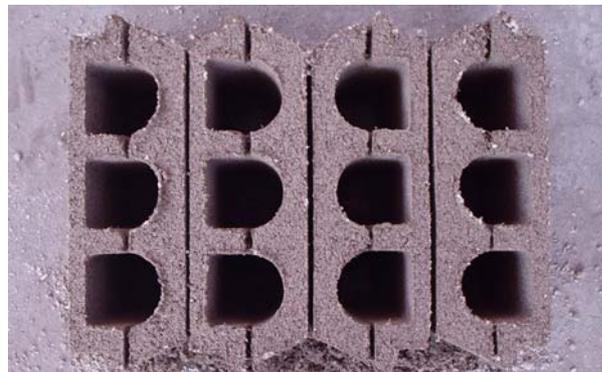


Fig 126: Bloques de techo elaborados

### 6.1.2.1.- Ensayos físicos

Los bloques de las mezclas 1:2:5, 1:4:4 y 1:2:4 no resistieron el traslado, por lo cual se descartaron para el ensayo. Se ensayaron solo las formulaciones 1:3:3. Los resultados alcanzados en ensayos de densidad y absorción de agua se describen en las figuras 127 y 128. Estos son comparados con propiedades de componentes de similar función elaborados con material cerámico, concreto o poliestireno.

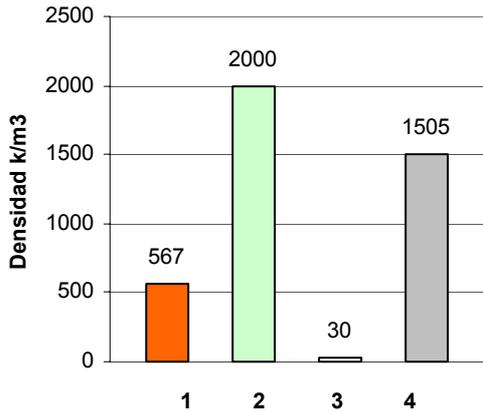


FIG. 127. DENSIDAD COMPARADA

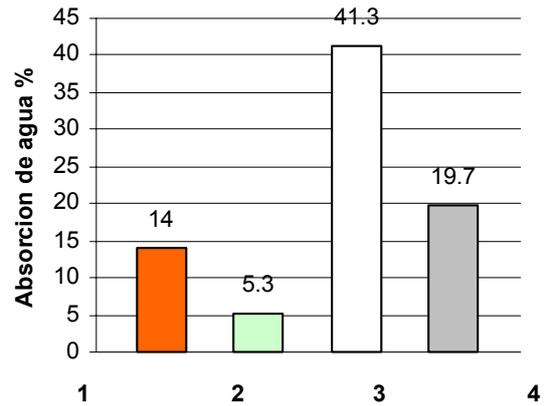


FIG. 128. ENSAYO DE ABSORCION DE AGUA COMPARADA

Donde

- 1.- Bloques cerámicos huecos
- 2.- Bloques de concreto
- 3.- Bloques de poliestireno expandido
- 4.- Bloques de cáscaras de maní y cemento

Los bloques para techo de cáscaras de maní son más livianos que los similares de concreto, pero más pesados que los bloques cerámicos, y los bloques de poliestireno. Estos últimos son los que presentan mayor porcentaje de absorción de agua, seguidos por los bloques de cáscaras de maní. Bloques cerámicos y de concreto les siguen en orden.

### 6.1.2.2.- Ensayos mecánicos

Los resultados del ensayo de resistencia a flexión fueron comparados con bloques de similar función. Fig. 129

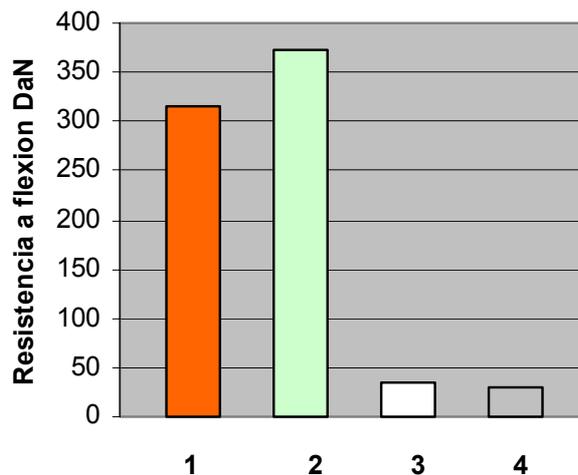


FIG. 129. RESISTENCIA A COMPRESION COMPARADA de bloques para techo

Donde

- 1.- Bloques cerámicos huecos
- 2.- Bloques de concreto
- 3.- Bloques de poliestireno expandido
- 4.- Bloques de cáscaras de maní y cemento

Nota: Los datos de densidad en bloques cerámicos son de bloques cerámicos LT13 de la empresa "La Pastoriza"

Los datos de densidad en bloques bloques de poliestireno expandido son de la empresa "Basf"

En cuanto a la resistencia a flexión, bloques de poliestireno y bloques de cáscaras de maní presentan menores valores. Aunque cabe recordar que en una losa de bloques y viguetas, los bloques tienen la función de ser moldes perdidos para el moldeo de la capa de compresión. En consecuencia, la función portante no es requerida.

### 6.1.3.- Ladrillos

Ladrillos de similar geometría y medidas a los tradicionales fueron moldeados en una bloquera adaptada para la elaboración de ladrillos. A diferencia de los bloques, los ladrillos eran moldeados por presión aplicada por pisones, adicionada a la bloquera ponedora.

Dos tipos de textura resultan de los pisones con el objeto de promover la rugosidad de la superficie de los ladrillos para mejorar la adherencia del mortero de asiento en la mampostería. Fig 130 a y b, y 131.

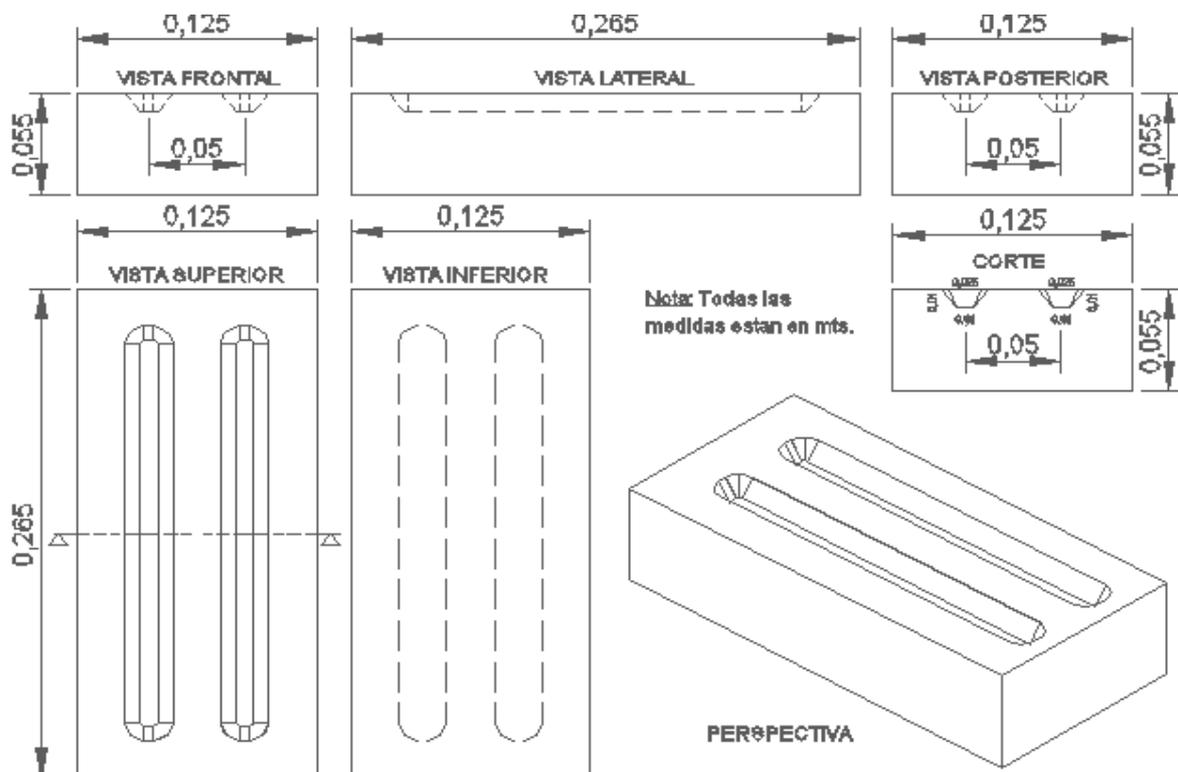


Fig. 130 a: Descripción grafica de ladrillos. Modelo A

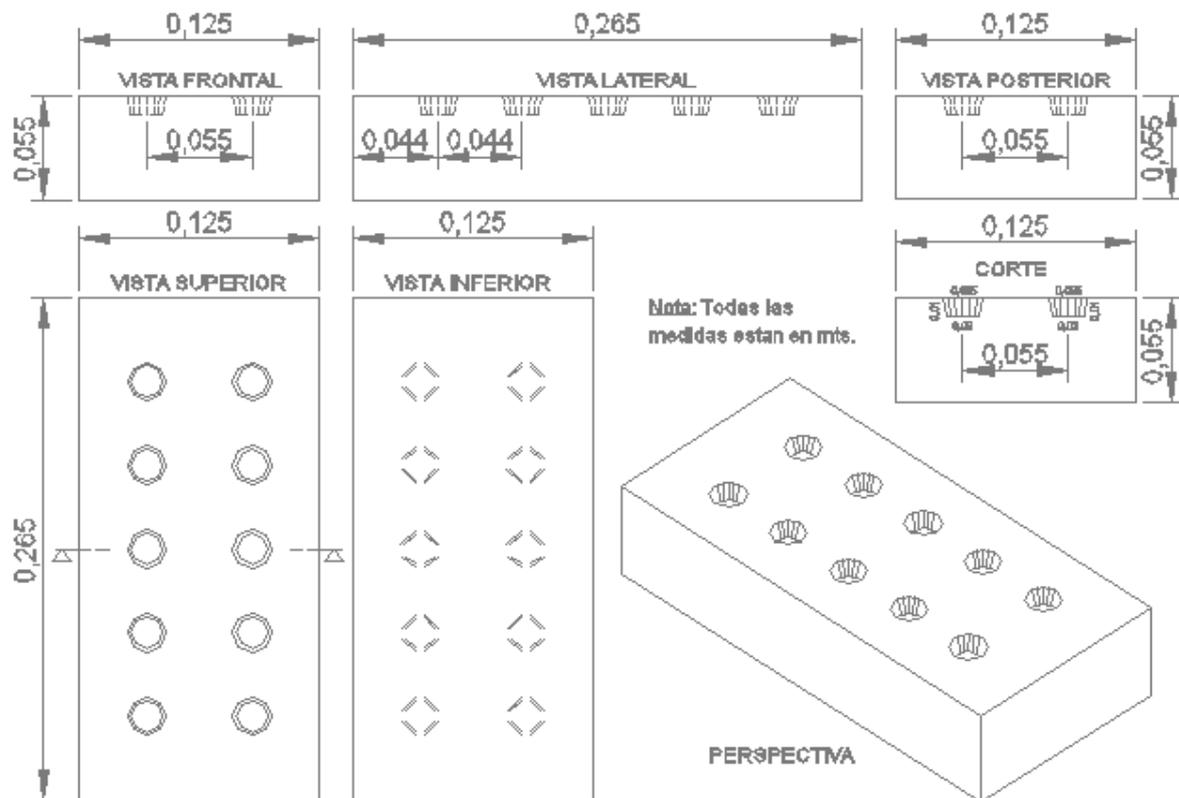


Fig. 130 b: Descripción grafica de ladrillos. Modelo B

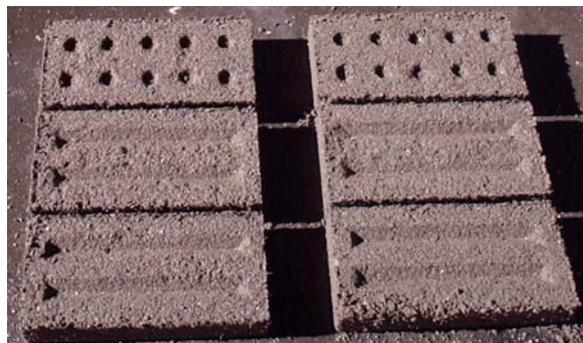


Fig 131: Ladrillos de cáscaras de maní y cemento

Donde

- 1.- Bloques cerámicos huecos
- 2.- Bloques de concreto
- 3.- Bloques de poliestireno expandido
- 4.- Bloques de cáscaras de maní y cemento

### 6.1.3.1.- Ensayos físicos

Dos formulaciones de ladrillos con cáscaras de maní y cemento son comparados con sus similares de tierra cocida.

Los ensayos de densidad no pudieron realizarse por el método de Arquímedes debido a las características del agregado y su escasa compacidad no permitía la saturación en agua. La determinación de densidad fue considerada dividiendo la masa por el volumen. Este resultado es,

en estos materiales, siempre menor que por el método de la ley de Arquímedes.

Los resultados alcanzados en ensayos de densidad y absorción de agua se describen en las figuras 132 y 133.

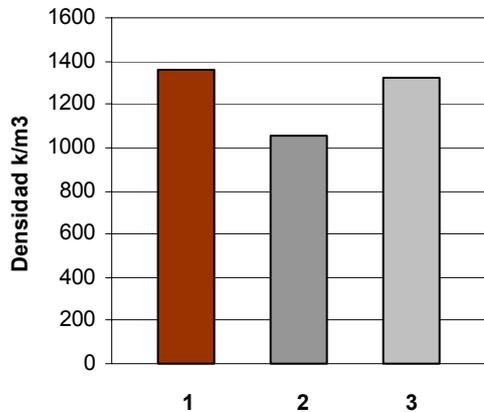


FIG. 132. DENSIDAD COMPARADA de ladrillos

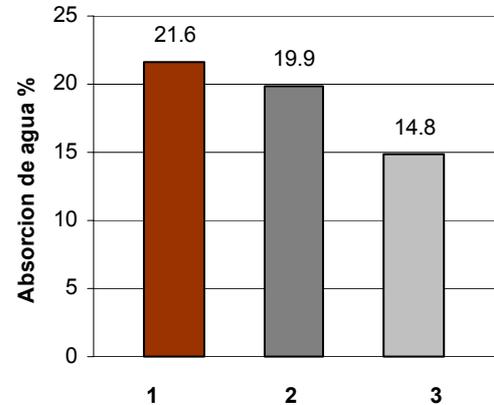


FIG. 133. ABSORCION DE AGUA COMPARADA de ladrillos

Las características alcanzadas de densidad y absorción de agua son similares a los ladrillos de tierra cocida, particularmente la formula 1:2:4 (cemento, arena, cáscaras de maní).

### 6.1.3.2.- Ensayos mecánicos

Ensayo de compresión simple fue realizado para evaluar las propiedades mecánicas de ladrillos de tierra cocida y dos formulaciones de ladrillos de cáscaras de maní y cemento. Fig. 134

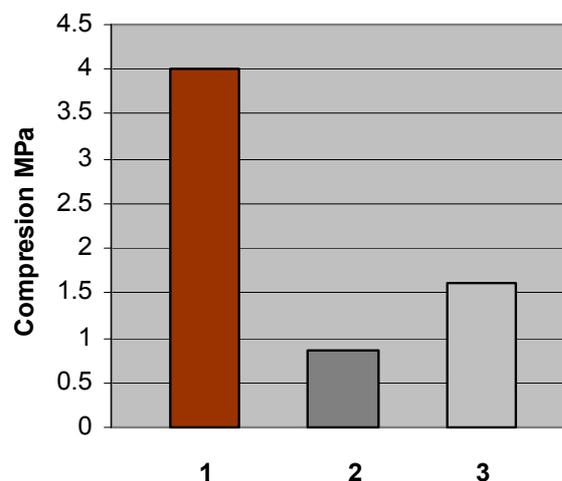


FIG. 134. RESISTENCIA A COMPRESION COMPARADA de ladrillos

Los valores de resistencia a compresión son sensiblemente menores en los ladrillos de cáscaras de maní respecto de los de tierra cocida.

#### 6.1.4.- Placas de cáscaras de maní y cemento.

##### Propiedades físicas y mecánicas

Las placas de 46 x 26 x 2,5 cm obtenidas con mezclas cáscaras de maní lavadas y cemento resultaron con densidad entre 1.14 a 1.21 g/cm<sup>3</sup>.

La resistencia a flexión encontrada se describe en tabla 62.

Tabla 62 – Resistencia a flexión de placas de cemento y cáscaras de maní

Identificación de Muestras	F (N)	Mmax ROTURA (kg.cm)	Flexión $\sigma$ (MPa)	
			media	( $\pm$ SD)
Sin M25	10,83	758,3	2,39	3,2
Malla M25	14,07	984,7	3,09	5,5

Superiores resultados a flexión se observaron en las placas que tenían malla tipo sima. No obstante, durante el ensayo de resistencia a flexión se despegó la malla metálica. Lo cual infiere que, mejorando su adherencia a la matriz, se podrían mejorar los resultados mecánicos

Las placas se rompieron en la zona donde los esfuerzos de corte son máximos. Puede verse que la malla metálica incremento 30% en promedio la resistencia a la flexión pura de las placas.

#### 6.2.- Componentes poliméricos de cáscaras de maní

Bloques y placas fueron elaborados con matriz polimérica. Las placas fueron posteriormente aplicadas como paneles de cielorraso en un prototipo experimental. Tableros prensados fueron producidos en una prensa de platos calientes, y aplicados en el revestimiento de un muro interior.

##### 6.2.1.- Bloques

Se elaboraron bloques con resina poliéster y cáscaras de maní con un molde experimental manual, de tamaño 20 cm x 2 cm x 40 cm. Se observaron buenas propiedades para el moldeo, rápido fragüe, liviandad y rigidez suficiente para el manipuleo. Figura 135



Figura 135: Bloque de cáscaras de maní y resina poliéster

Sin embargo, la escasa posibilidad de replicabilidad del producto, oriento el desarrollo hacia componentes geoméricamente más simples.

### 6.2.2.- Placas de cáscaras de maní y resina poliéster

Los resultados obtenidos en probetas de cáscaras de maní y resina poliéster fueron aplicados en la producción de placas. Resulto un material liviano, poroso y rígido apto para cielorraso.

Placas de baja densidad de cáscaras de maní y resina poliéster fueron producidas a escala de laboratorio con el objeto de realizar una experiencia de aplicación en obra.

Se obtuvieron placas de 43 cm. de ancho, 160 cm. de largo y 4.5 cm. de espesor.

Se destacan las buenas propiedades de corte. Para su procesado se utilizó una mesa de corte provista con una sierra dentada. (Fig. 136 a y b)



Fig. 136: Paneles livianos de cáscaras de maní y resina poliéster. Fig. 136a: Manipuleo y Fig. 136b: Corte de los paneles

Comparando los resultados obtenidos con materiales de similares aplicaciones en cielorrasos, se constataron sus propiedades. El análisis comparativo de resultados demostró buenas propiedades de aislación térmica y liviandad en relación a materiales similares usados habitualmente como cielorrasos de techo. En relación a cielorrasos de madera y de cielorrasos de poliestireno expandido, los valores comparativos se describen en tablas 63 y 64.

Tabla 63: Peso específico de materiales para cielorrasos

Material	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )
Placas de fibras madera aglomerada	700
Placas fenólicas de madera	100
Paneles de poliestireno expandido	15
Paneles de cáscaras de maní + resina poliéster	228

Tabla 64: Coeficiente de conductividad térmica de materiales para cielorrasos

Material	Coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ )
Placas de fibras madera aglomerada	0.15
Placas de fenólicas de madera	0.24
Paneles de poliestireno expandido	0.036
Paneles de cáscaras de maní + resina poliéster	0.12

### 6.2.2.1.- Aplicación de placas de cáscaras de maní y resina poliéster

Se realizaron 20 placas de 3,3 cm. de espesor. Las placas producidas fueron aplicadas en un prototipo experimental construido en CEVE. (Fig. 137).

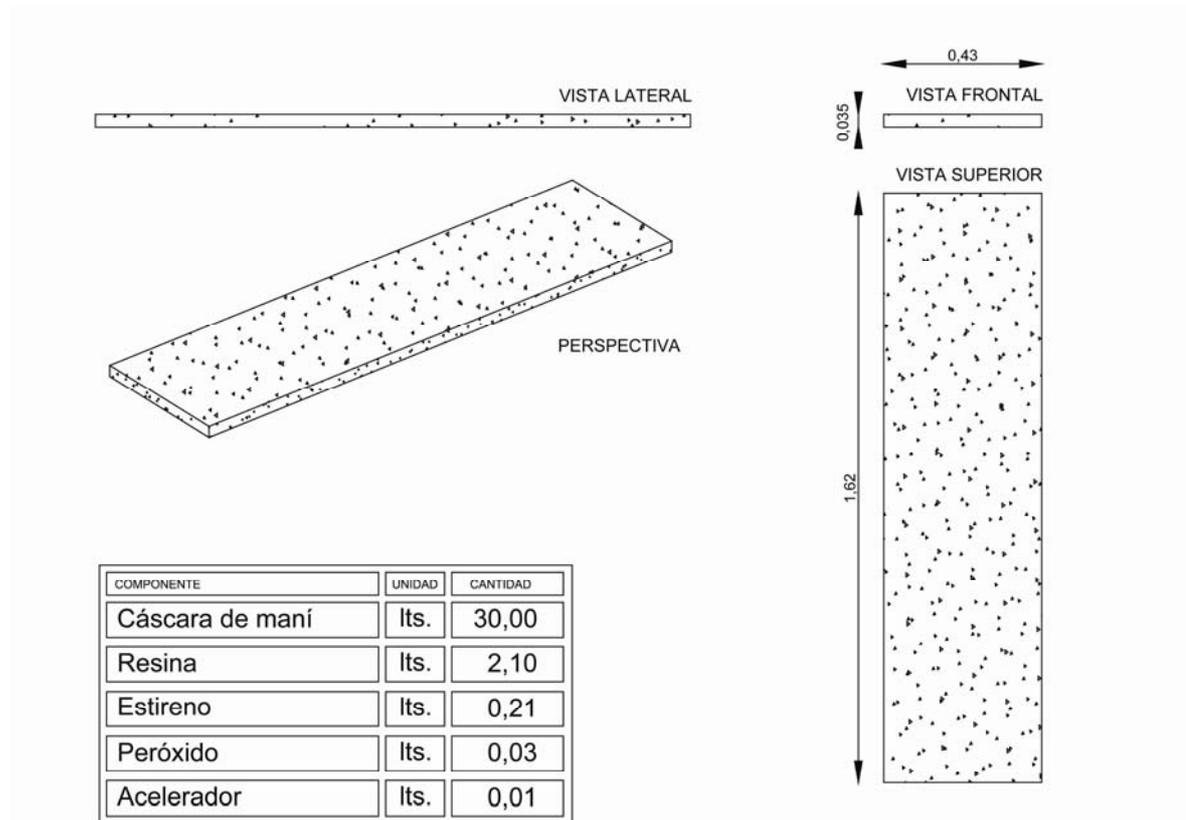
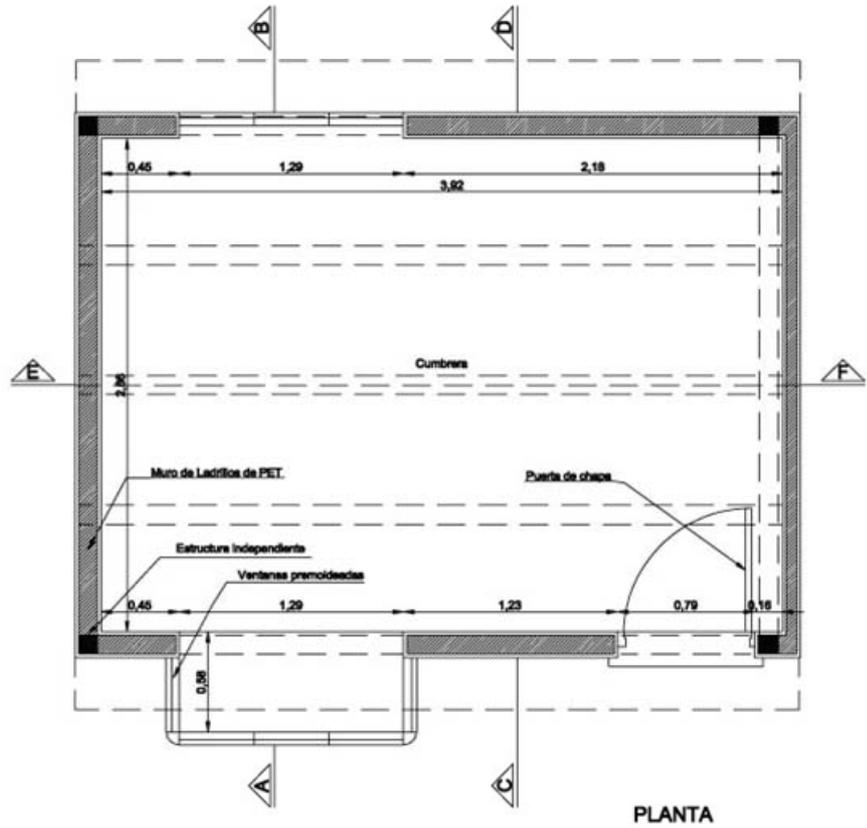


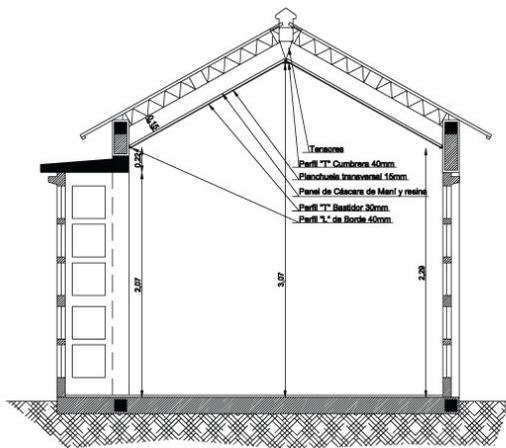
Fig. 137: Detalle de la placa de cáscaras de maní y resina poliéster

En el prototipo experimental de 12 m<sup>2</sup> de superficie, se validaron las consideraciones de puesta en obra, compatibilidad con sistema de soporte, laboreo de los mismos (trabajabilidad), condiciones de manejo (corte, traslado, colocación). También se testearon aspecto estético, habitabilidad, y aceptación social, de parte de colegas y técnicos que participaron de la experiencia, cuanto de visitas de profesionales, encargados de obras, y público en general.

Se colocaron placas livianas de cáscaras de maní y resina como cielorraso, por debajo de una cubierta de chapas galvanizadas. Entre las chapas y las placas de cáscaras se colocó una membrana de polietileno denominada AlumAir, para evitar la condensación interna. Fig. 138 a-e

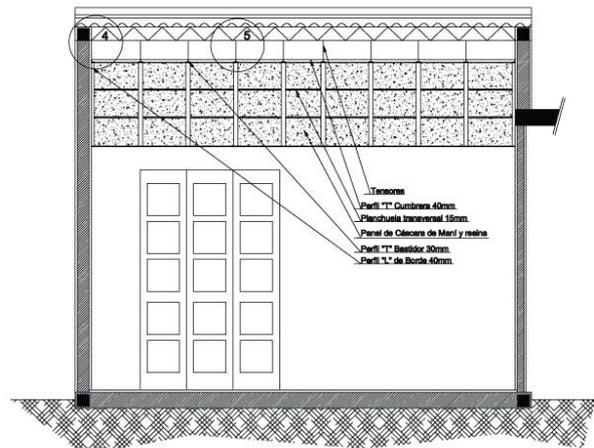


a



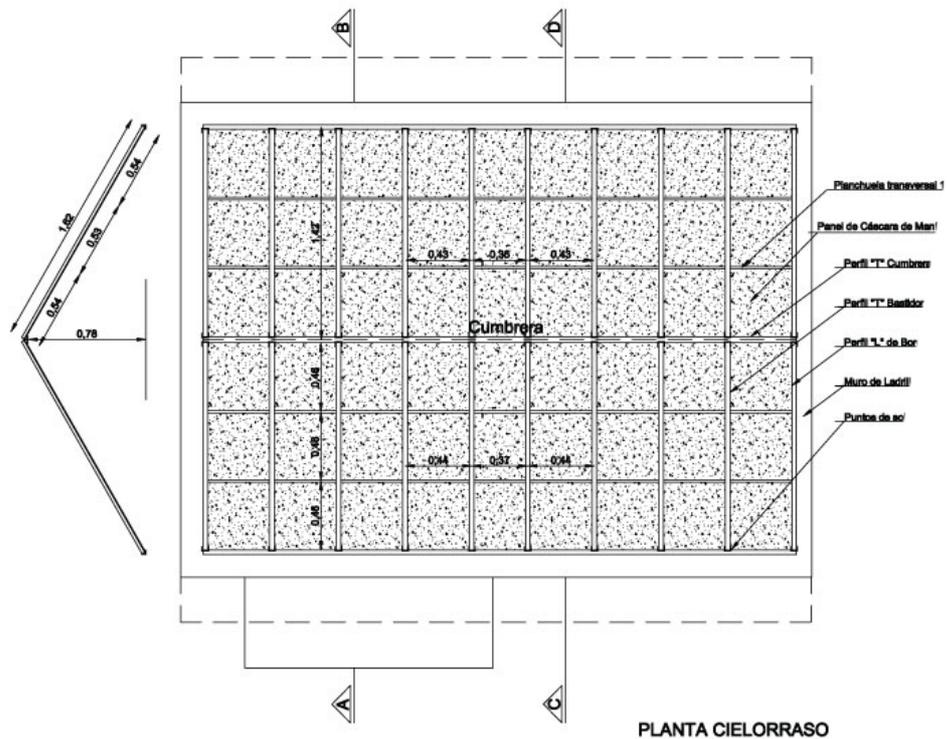
CORTE AB de CIELORRASO

b



CORTE EF de CIELORRASO

c

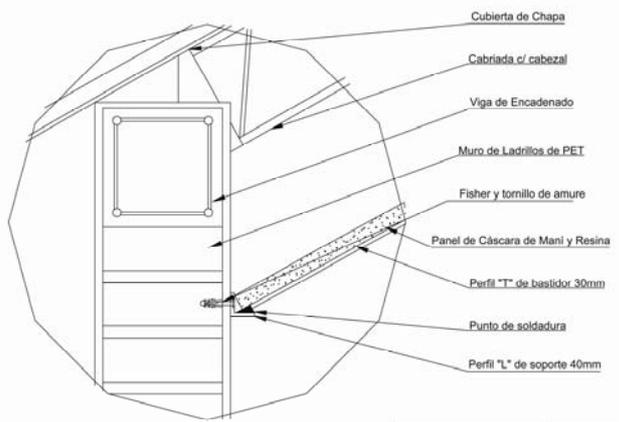


PLANTA CIELORRASO

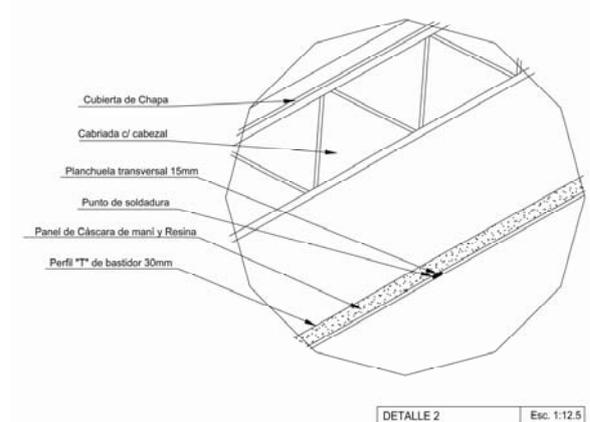
e

Fig. 138: Descripción de la colocación de cielorraso de paneles de cáscaras de maní. Fig. 138 a: Planta, Fig. 138b: Corte transversal, Fig. 138c: Corte longitudinal, Fig. 138d: Planta de cielorraso

Los paneles se fijaron al techo mediante un entramado de perfiles metálicos con modulación de 43 cm x 55 cm. Las placas fueron colocadas sin revestimiento, de manera de que sea reconocida fácilmente su composición. El resultado es de un cielorraso de buen comportamiento térmico. Fig 139 a- d.



a



b

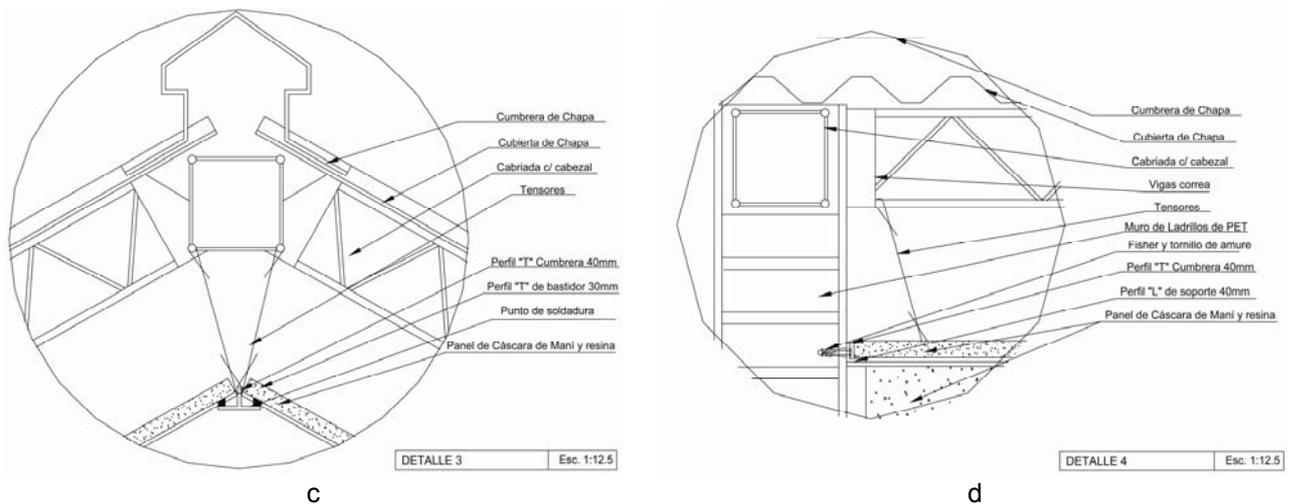


Fig. 139: Detalles de colocación de paneles de cáscaras de maní y resina. Fig. 139a: Encuentro inferior con muro. Fig. 139b: Detalle tramo. Fig. 139c: Encuentro cumbreira. Fig. 139d: Encuentro transversal

El resultado estético del cielorraso de cáscaras de maní es muy agradable a la vista. Al cabo de tres años, trabajando a diario bajo las placas livianas de cáscaras de maní y resina, el cielorraso no ha manifestado patologías. Fig 140 y 141

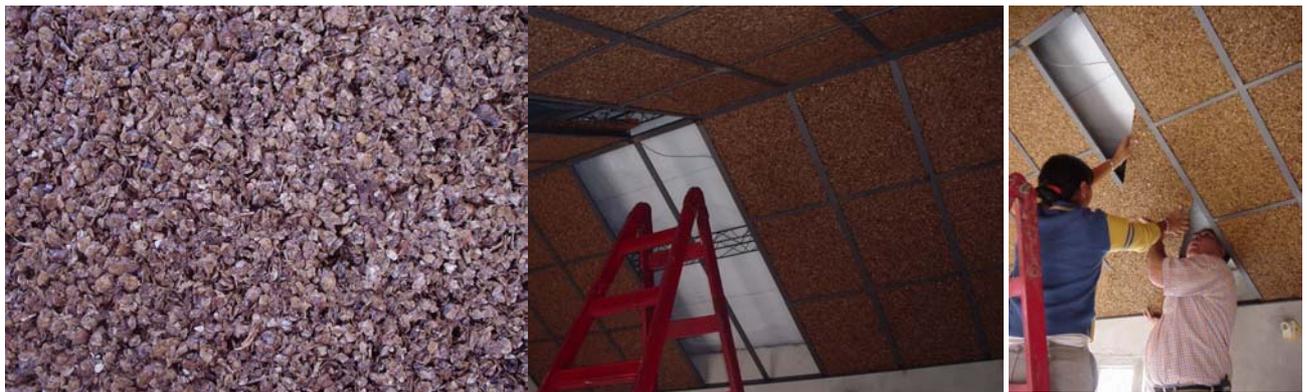


Fig. 140 Textura superficial de los paneles

Fig. 141 a y b: Colocación de placas de cielorraso de cáscaras de maní

Los paneles de cáscara de maní y resina fueron testeados en relación a sus condiciones de uso como cielorraso. Fig. 142. Las características sobresalientes de los paneles fueron consideradas en función del bajo peso final de los paneles y sus propiedades para ser empleados como paneles de aislación térmica. Además, presentó excelentes condiciones de rigidez para ser trabajado con maquinarias de corte normalmente empleadas en la industria de la madera.



Fig. 142: Vista resultante de las placas de cielorraso con cáscaras de maní y resina poliéster

En el prototipo experimental con cielorraso de cáscaras de maní, se ha realizado el análisis y determinación de condiciones de habitabilidad, según lo establece la Subsecretaría de Vivienda de la Nación, para otorgamiento del Certificado de Aptitud Técnica (CAT).

### 6.3.- Análisis ambiental

Se consideraron dos ensayos para evaluar el impacto ambiental de nuevos materiales: test de lixiviación y solubilización, y test de emisión de compuestos volátiles.

#### 6.3.1.- Tests de lixiviación y solubilización

En los materiales elaborados con morteros, las sustancias más probables de contaminación corresponden a los metales pesados. La Norma brasileña NBR 10004 referencia aquellas concentraciones. Los tests de lixiviación y solubilización determinan la concentración de metales pesados. Tabla 65

Tabla 65: Descripción de metales pesados y sus contenidos máximos

metal	Por lixiviación (mg/l)		Por solubilización (mg/l)	
	test	Limite máximo NBR 10004	test	Limite máximo NBR 10004
Arsenio		5,0		0,05
Bario		100,0		1,0
Cadmio		0,5		0,005
Chumbo		5,0		0,05
Cromo		5,0		0,05
Mercurio		0,1		0,001
Plata		5,0		0,05
selenio		1,0		0,01
procedimiento	NBR 10005		NBR 10006	

### 6.3.2.- Análisis de emisión de volátiles

Se estimó la concentración de VOCs (volatile organic compounds) en una habitación construida con techo utilizando placas de cáscaras de maní-resina poliéster. Se realizaron algunas consideraciones previas y supuestas, con objeto de medir la emisión de compuestos orgánicos volátiles en el escenario más desfavorable:

- Las placas son utilizadas en cielorrasos
- Toda la cantidad de VOCs de las placas difunde hacia el interior de la habitación
- La habitación no tiene ventilación
- Una persona está en el interior por 24 hs al día
- La temperatura del techo es de 60 °C

Se realizó una placa con cáscaras de maní y resina poliéster insaturada al 50%, de 12 cm. x 25 cm. x 1.2 cm. Se realizó un ensayo de medición de VOCs al día siguiente, donde resultaron valores elevados.

Entonces, se ventiló la placa durante 2 semanas. Se cortaron 10 secciones de 4 cm. x 1 cm. x 1 cm. y se colocaron en frascos de vidrio de 5 cm. de altura y diámetro de 2 cm.

Estos frascos fueron ubicados en horno a 60 °C durante una hora. Se extrajeron muestras del aire de los mismos y se las inyectó en el cromatógrafo. El método utilizado fue Head Space.

El promedio de las mediciones resultó con un valor de  $3.285 \times 10^{-4}$  gramos de estireno por gramo de muestra.

#### 6.3.2.1.- Estimación de impacto en el volumen de una habitación

La placa tiene un volumen de 0.03 m<sup>3</sup> y pesa 285 gramos:

La habitación tiene un volumen de aire de 23.14 m<sup>3</sup>.

El techo tiene un área de 12.54 m<sup>2</sup>.

Entonces si 0.03 m<sup>2</sup> de placa pesan 285 gramos, 12.54 m<sup>2</sup> (cantidad utilizada en el techo) pesan 119130 gramos. (12 k aprox.) Tabla 66

Tabla 66: Cálculo de estimación de impacto de VOCs en una habitación cerrada

Área	12,54 m <sup>2</sup>
Volumen	0,15048 m <sup>3</sup>

Si	0,03 m <sup>2</sup>	son	285 g de placa
	12,54 m <sup>2</sup>	son	119130 g de placa

Si	1 muestra	tiene	0,0003285 g de estireno
	119130	tiene	39,134205 g de estireno

Si 1 gramo de muestra puede liberar  $3.285 \times 10^{-4}$  gramos de estireno, 119130 gramos de material liberará 39,13 gramos de estireno, o dicho de otra manera 39130 mg de estireno.

Si esta cantidad de estireno se distribuye en el volumen de aire de la habitación, da una concentración de 1691 mg de estireno por  $m^3$  de aire.

La legislación laboral (Ley 19587 y su decreto 351/79) permite un máximo de  $85.5 \text{ mg}/m^3$  para una jornada laboral de 8 hs. Si se estima que la persona en el interior de la habitación lo hace por 24 hs, la relación lineal resulta que el límite es de  $28,5 \text{ mg}/m^3$ .

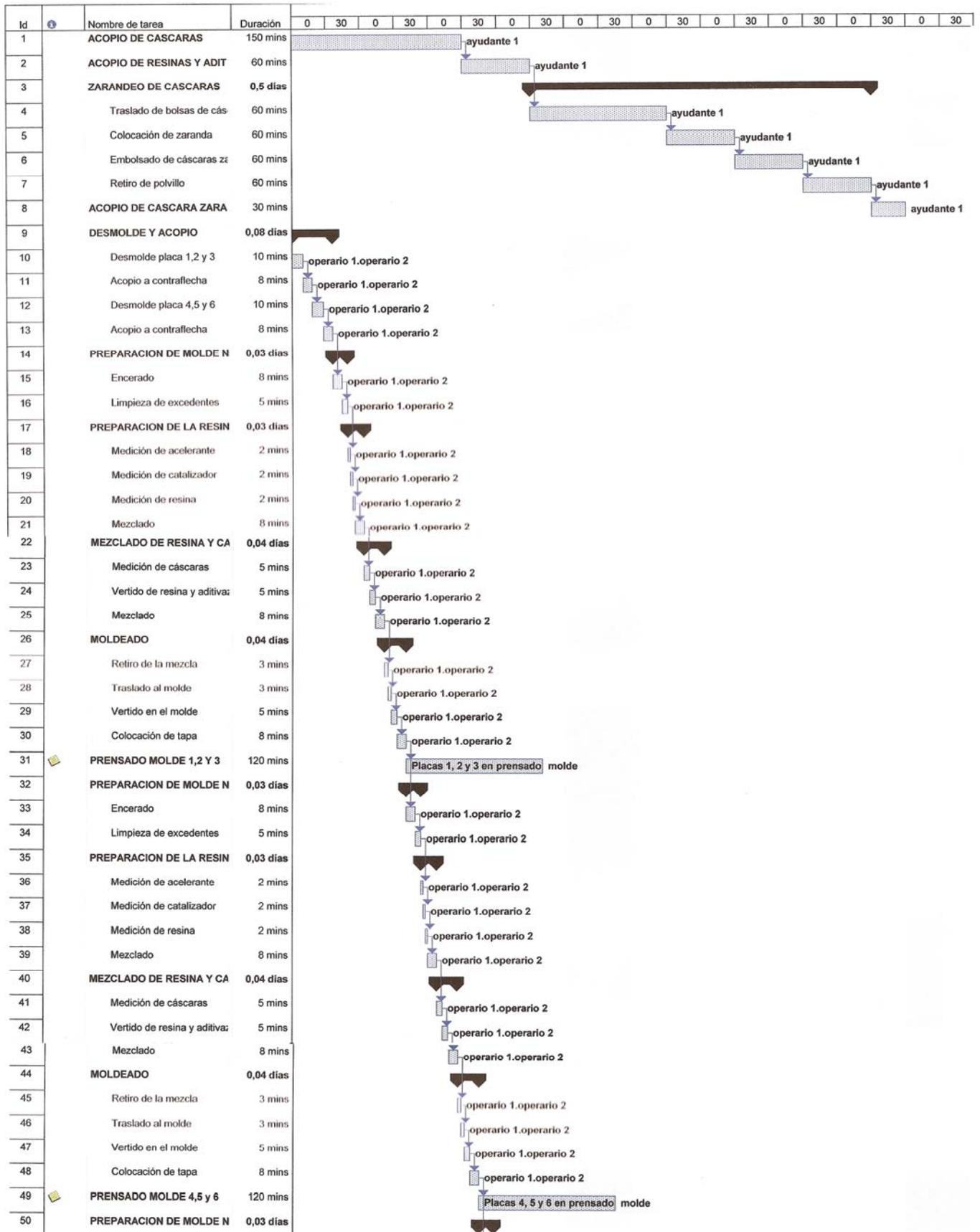
Es decir que, la placa de 2 semanas de edad esta superando casi por 60 veces el límite permitido. Se estima el tiempo de acopio de 2 meses en local ventilado, en la etapa de estoqueo previa a su colocación en obra, para realizar nuevas mediciones de VOCs.

#### **6.4.- Análisis económico**

El análisis económico aborda el costo de producción de las placas livianas de cáscaras de maní y resina poliéster, considerando las variables que constituyen la fabricación a escala piloto. Se estima que estos costos debieran ser mejorados en una producción de escala masiva.

##### **6.4.1.- Mano de obra**

Para el análisis de la organización productiva, se programan las actividades para jornadas de trabajo con tres operarios. Tareas, actividades y secuencia son analizadas en la figura 134.



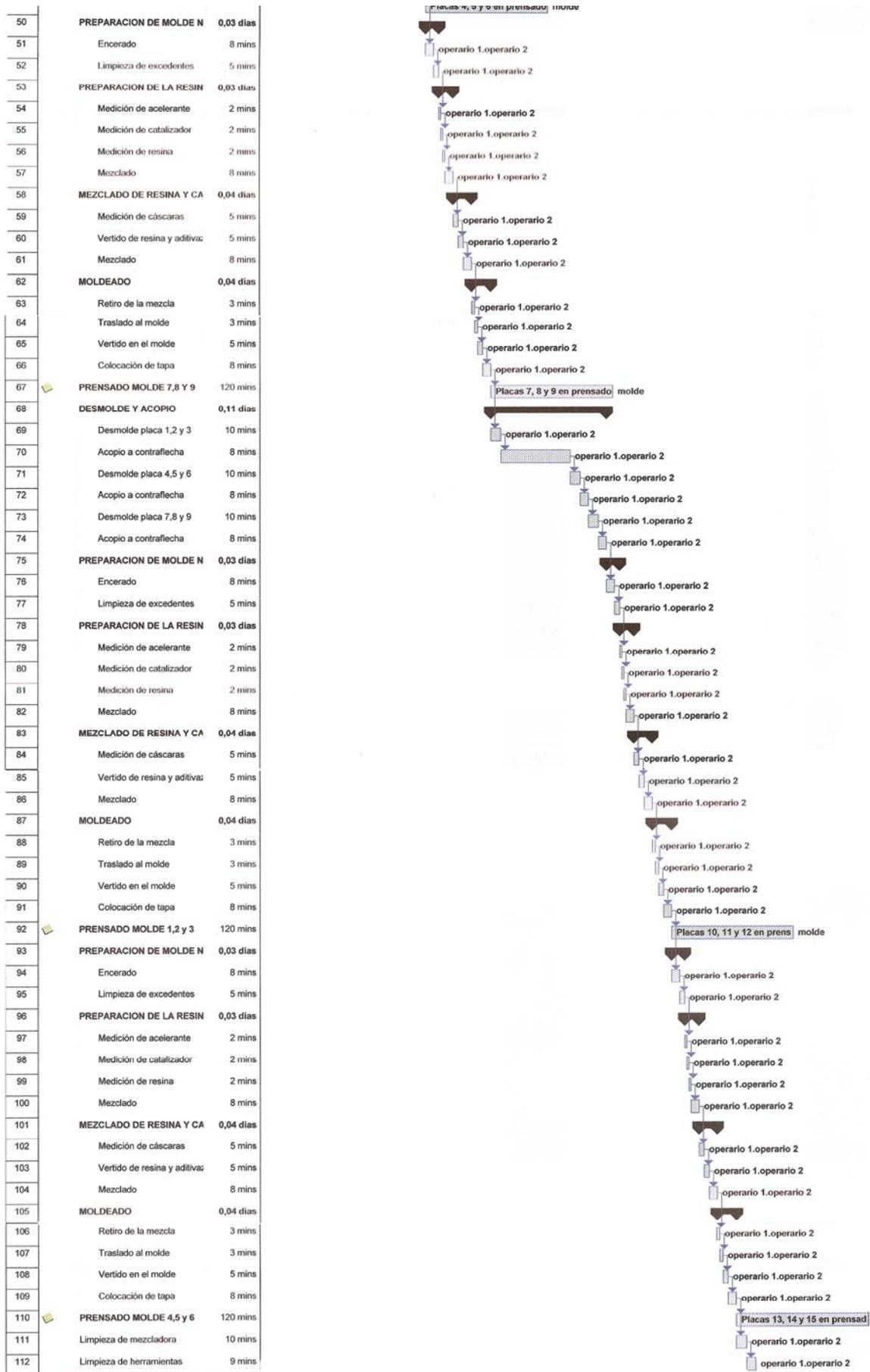


Fig. 143: Secuencia de tareas e ítems para el análisis de mano de obra para la producción de paneles livianos de cáscaras de maní y resina

#### 6.4.2.- Estimación de inversiones y costos

Las inversiones necesarias para la producción de placas de cáscaras de maní y resina poliéster a escala piloto son descritas en tabla 67 y refiere a los inmuebles y muebles requeridos para la instalación del emprendimiento de producción de paneles de cáscaras de maní.

La tabla 68 enumera los costos variables para la producción de 15 placas por día con tres operarios, en una jornada laboral de 8 h. Comprende materiales, mano de obra y otros gastos involucrados directamente en la producción de placas.

En la tabla 69 se comparan los costos directos de la producción de placas de cáscaras de maní con resina poliéster y con resina ureica

La tabla 70 estima los valores por depreciación de uso de los bienes inmuebles. Y finalmente la Tabla 71 estima los costos fijos mensuales para una producción de 240 placas /mes.

Tabla 67: INVERSIONES para la producción piloto

Nivel de producción 15 placas x día				
Descripción	Unidad	Costo/unid (\$)	Cantidad	Costo total
Terreno de 40 x 50 con infraestructura de edificios	M2	50	2000	100 000
Edificio: Tinglado 10 x 20	M2	500	200	100 000
SUBTOTAL CONSTRUCTIVO				200 000
Equipos Y maquinas				
Pistola sprayadora de resinas	Unid	350	1	350
Compresor 100 l	Unid	850	1	850
Mezcladora de eje horizontal de 150 l	unid	2582	1	2582
Moldes	unid	1500	9	13500
Zaranda rotativa	unid	2 500	1	2 500
SUBTOTAL EQUIPOS Y MAQUINAS				19 272
INVERSION TOTAL				215 282

Nota: Inversiones estimadas a Julio 2009

Tabla 68: COSTOS VARIABLES DE PRODUCCION DE 15 PLACAS DE CASCARAS Y RESINA POLIESTER / DIA

DESCRIPCION	UNIDAD	Cantidad / unidad	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
MATERIALES					
Cáscaras de Maní	k	6	90	--	
resina	k	3	45	10,50 /	472,5
estireno	l	0,100	1,5	12,94	19,41
MEK	l	0,09	1,35	18,3	24,70
Sal cobalto	k	0,045	0,675	20,99	14,17
desmoldante	l	0,050	0,75	7,73	5,80
SUBTOTAL MATERIALES					536,58

MANO DE OBRA				
calificada	H/h	16	15	240
No calificada	H/h	8	15	120
subtotal				440
OTROS GASTOS				
electricidad	W/h	18	0,27	4,86
Depreciación de equipos ( se estima útil para 10000 usos)	\$ 19700			29,55
<b>COSTOS VARIABLE DE PRODUCCION CADA 15 UNIDADES</b>				<b>930,996</b>
<b>COSTO VARIABLE DE PRODUCCION POR PLACA (0,75 m<sup>2</sup>)</b>				<b>62,06</b>

Tabla 69: COSTOS VARIABLES DE PRODUCCION DE 12 PLACAS DE CASCARAS Y RESINA UREICA / DIA

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
<b>MATERIALES</b>				
Cáscaras de maní	kg	7,2		
Resina ureica Coladur 65%	kg	42	6	
Agua				
Catalizador F10 prensa fria	kgr	2,85	7	
acelerante	lt	2,85	3,80	
desmoldante			7,73	
SUBTOTAL MATERIALES				
<b>MANO DE OBRA</b>				
calificada	H/h	10	10	100
No calificada	H/h	10	12	120
<b>OTROS GASTOS</b>				
electricidad	W/h	18	0,27	4,86
Depreciación de equipos (se estima util para 10000 usos)	\$ 15282			22,92
<b>COSTOS VARIABLE DE PRODUCCION CADA 12 UNIDADES</b>				<b>417,14</b>
<b>COSTO VARIABLE DE PRODUCCION POR PLACA (0,75 m<sup>2</sup>)</b>				<b>34,76</b>

TABLA 70: DEPRECIACIONES EN VALORES DE USO

DESCRIPCION	VIDA UTIL ESTIMADA	% DEPRECIACION	COSTO (\$)	DEPRECIACION
Edificio	50 años	2 % anual	100 000	5,55
Pistola sprayadora de resinas	10 000 placas	0,12 %/12 placas	350	0,42
Compresor 100 lts	10 000 placas	0,12 %/12 placas	850	1,02
Mezcladora de eje horizontal de 150 lts	30 000 placas	0,04 %/12 placas	2582	1,03
Moldes	10 000 placas	0,12 %/12 placas	13500	16,2
Zaranda rotativa	10 000	0,12 %/12 placas	2500	3
Depreciación por placa ( sin edificio)				21,67

TABLA 71: COSTOS FIJOS MENSUALES. Capacidad de producción: 240 placas mensuales

DESCRIPCION	\$
Depreciación del edificio	166,66
Impuesto inmobiliario	100
Servicios ( agua corriente y energía eléctrica)	180
<b>COSTO FIJO TOTAL /MES</b>	<b>446,66</b>

Nota: No se considera el interés mensual sobre la inversión

### 6.4.3.- Análisis comparativo con precios de cielorrasos

Distintos materiales fueron considerados para uso de cielorrasos a efectos del análisis comparativo de costos. Placas de cáscaras de maní y resina fueron comparadas con paneles de yeso y de machimbre de madera. Cabe aclarar que la comparación fue realizada agregando un material aislante térmico (lana de vidrio) para realizar la misma función. Se desprecia el valor de la perfilera, considerada común entre todas las opciones de cielorrasos evaluadas. Los valores comparados se describen en Tabla 72

Tabla 72: Valores comparativos de materiales para cielorrasos

Descripción	Unidad	Precios parciales por m2	\$ Totales por m2
Placas de yeso de 0,60 x 0,60 m. (0,36 m2) + lana de vidrio	M2	36 + 7,61	43,61
Blooting. Placas de yeso texturado + lana de vidrio	M2	60 + 7,61	67,61
Placas de yeso Durlock (1,2 x 0,6= 0,72 m2) + lana de vidrio	M2	17,74 + 7,61	25, 35
Machimbre pino + lana de vidrio	M2	24,8 + 7,61	32,41
Machimbre grandis + lana de vidrio	M2	59 + 7,61	66,61
Placa de cáscaras de maní con resina ureica	M2	46,34	46,34
Placa de cáscaras de maní con resina poliéster	M2	82,74	82,74

Respecto de los precios relevados en el mercado local, la propuesta de paneles livianos de cáscaras de maní con resina ureica es ventajosa en los casos de Blooting + lana de vidrio, y machimbre grandis + lana de vidrio, con 32 % menos y 31 % respectivamente. Los paneles de cáscaras de maní tienen costos semejantes con los paneles de yeso con aislacion térmica de lana de vidrio.

Paneles de inferior cualidad estética (machimbre de pino) representan una diferencia de 30 % mas económicos que los paneles de cáscaras de maní y resina ureica.

Los paneles de cáscaras de maní con resina ureica son 44 % mas económicos que los paneles de cáscaras de maní con resina poliéster. Ello demuestra la alta incidencia de la resina en el costo del panel.

Paneles de cáscaras de maní y resina poliéster superan en costos el valor de mercado de opciones semejantes.

#### **6.4.4.- Determinación analítica del punto de intersección de costos**

La determinación analítica del punto de inserción de costos determina la razón entre el producto desarrollado y el producto de referencia. Esta razón esta referida a la producción y a la escala.

El producto tomado de referencia está presente en el mercado y participa de un circuito de producción consolidado.

El producto desarrollado tiene costos estimados a escala de laboratorio, y por ende no participa de un circuito de producción consolidado.

En consecuencia, el punto de intersección de costos determina la producción equivalente mensual.

Alternativa A: Placas de cáscaras de maní y resina ureica (CTB): \$446 (costo fijo) + \$46,34 (\$ placa) x

Alternativa B: Cielorrasos de grandis + lana de vidrio (CTB): 66,61 x

#### **Comparación de machimbre de grandis + lana de vidrio con placas de cáscaras de maní**

$$CTA = CTB$$

$$\$446 + \$46,34 x = 66,61 x$$

$$X = 22$$

El análisis precedente compara placas de cáscaras de maní con resina ureica y machimbre de eucaliptos grandis de 3/4 " de espesor + lana de vidrio. La ecuación determina que el punto de intersección de costos ocurre en la producción mensual de 22 placas. De manera que a partir de la producción de la placa 23, se amortizan los costos fijos y el emprendimiento comienza a generar ganancias.

En las condiciones de producción analizadas, considerando una escala piloto de producción, se estiman 12 placas por día (240 placas/mes). Ello demuestra la factibilidad de considerarlo como un emprendimiento productivo rentable.

#### **6.5.- Conclusiones preliminares**

Componentes de mampostería (bloques para muros y techos) y ladrillos, placas compactas elaborados en matriz cementicia; y placas livianas con resina poliéster y tableros aglomerados con resina ureica constituyen el elenco de componentes elaborados con cáscaras de maní.

Los componentes de mampostería, por las propiedades alcanzadas no representan reales alternativas al sector de componentes tradicionales.

Los paneles y placas elaborados con cáscaras de maní y resina mostraron buena adherencia entre las cáscaras y la matriz.

Placas compactas de cáscaras de maní y resina ureica resultaron en un material compacto, con propiedades similares a los tableros de virutas de madera y resina del tipo OSB (oriented strand board), mdf (medium density fiberboard).

La matriz ureica es recomendada para usos interiores. La particularidad de los tableros de cáscaras de maní es su buen aspecto estético, que podría significar un material apto para el diseño de mobiliario, y/ o revestimientos interiores.

Tableros aglomerados de cáscaras de maní y resina ureica, si bien con potencial uso en el sector de equipamientos interiores, exigen alta tecnología para su producción a escala seriada.

De modo que, se seleccionaron los paneles livianos de cáscaras de maní y resina ureica como aquellos aptos para desarrollar un plan de producción piloto, y a partir de allí analizar las condiciones ambientales y económicas de su producción.

Paneles con cáscaras de maní y resina poliéster moldeados con escasa presión resultaron un material liviano ( $245 \text{ k/m}^3$ ), poroso y rígido para aplicaciones como material de construcción con buenas propiedades de aislación térmica ( $0,12 \text{ W/mK}$ ).

La matriz de resina poliéster además le confiere al material buenas propiedades de estabilidad en presencia de agua y /o humedad.

Estas mezclas, dadas sus propiedades, podrían ser utilizadas solas como paneles o relleno de paneles compuestos entre machimbres y/o placas de maderas industrializadas (Terciados, OSB, mdf, etc) con cualquier combinación entre ellas. También con recubrimientos de morteros, de láminas de maderas o plásticos de tipo melamínicos o similar

Análisis ambientales llevados a cabo demostraron la ventaja de usar resina urea formaldehído en la formulación de los paneles de cáscaras de maní, debido a la menor emisión de compuestos orgánicos.

El análisis económico determino además, los menores costos de producción de paneles con cáscaras de maní y resina ureica. Los costos alcanzados de producción son semejantes a los paneles de yeso y lana de vidrio empleados en la ejecución de cielorrasos, y representan alrededor del 30 % menos respecto a los precios de paneles de yeso texturado y machimbre de grandis en semejantes condiciones.

## Capítulo 7: Propuestas de diseño

### Conclusiones generales

#### 7.1.- Introducción

Paneles y tableros de cáscaras de maní en matriz cementicia y en matriz polimérica son destinados en el diseño de equipamiento mobiliario y en arquitectura de viviendas.

Se presentan cuatro propuestas de diseño de equipamiento interior y dos propuestas de diseño de viviendas. El objeto es validar las experiencias en materiales y componentes aplicadas al diseño.

#### 7.2.- Mobiliario diseñado con placas de cáscaras de maní y resina ureica

Propuestas de equipamiento para interiores fueron diseñadas con placas de cáscaras de maní y resina ureica. Soportados estructuralmente por perfiles metálicos, los paneles contrastan con la textura en placas con cáscaras a la vista. Módulos de paneles de 50 cm. x 50 cm. son utilizados para los muebles de las fig 144, 145 y 146.

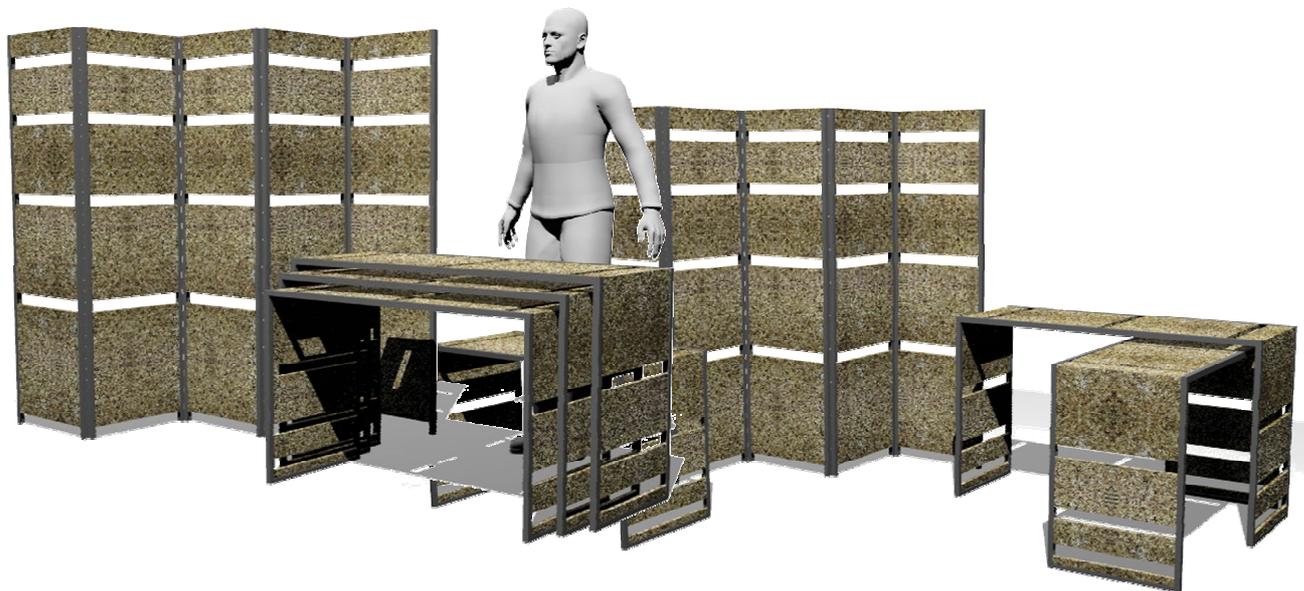


FIG 144: BIOMBOS DIVISORIOS Y MESAS DISEÑADOS CON CÁSCARAS DE MANÍ Y RESINA UREICA



FIG 145: MODULOS DE TAMAÑOS DIFERENTES CON CASCARAS DE MANI Y RESINA POLIESTER

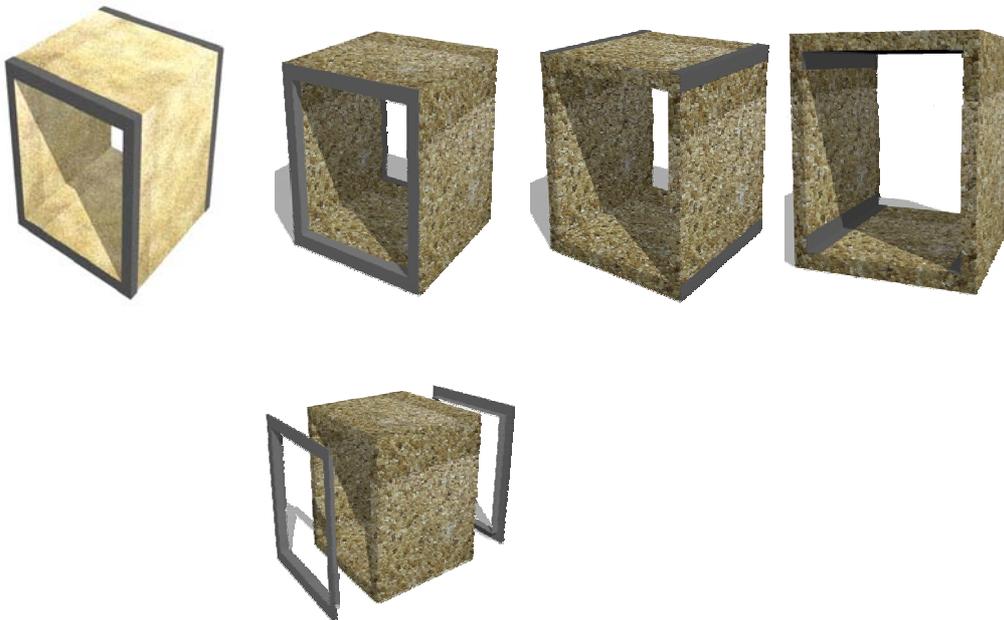


FIG 146: MODULOS DE CASCARAS DE MANI Y RESINA POLIESTER ENMARCADOS POR PERFILES METALICOS

### 7.3.- Diseño de vivienda

Paneles y tableros de cáscaras de maní en matriz polimérica fueron aplicados al diseño de revestimientos interiores de viviendas. Placas de cáscaras de maní en matriz cementica fueron simuladas para su aplicación como paramento externo de viviendas.

Paneles y tableros fueron desarrollados como tabiques divisorios de los espacios interiores de la vivienda, en un uso expresivo de sus propiedades de rigidez, liviandad y aislacion térmica.

Es una vivienda compacta, diseñada con tecnología de construcción en seco. Estructura de acero conforma el soporte estructural de los espacios de la vivienda. El bloque de servicios fue diseñado con hormigo armado, concentrando todas las instalaciones de agua y desagüe.

Espacios de uso social y de uso privado, son organizados por envolventes de perfilera de acero galvanizado y están materializados por placas de cáscaras de maní y cemento al exterior, y

tableros compactos de cáscaras de maní y resina ureica en el interior de la vivienda. La aislacion térmica, vertical entre paneles y horizontal en cielorraso, esta conformada por paneles livianos de cáscaras de maní y resina ureica.

El diseño propuesto es representado por las Fig. 147 a-d (plantas), Fig. 148 a y b (cortes), Fig 149 (detalles) y Fig. 150 (imágenes exteriores e interiores)

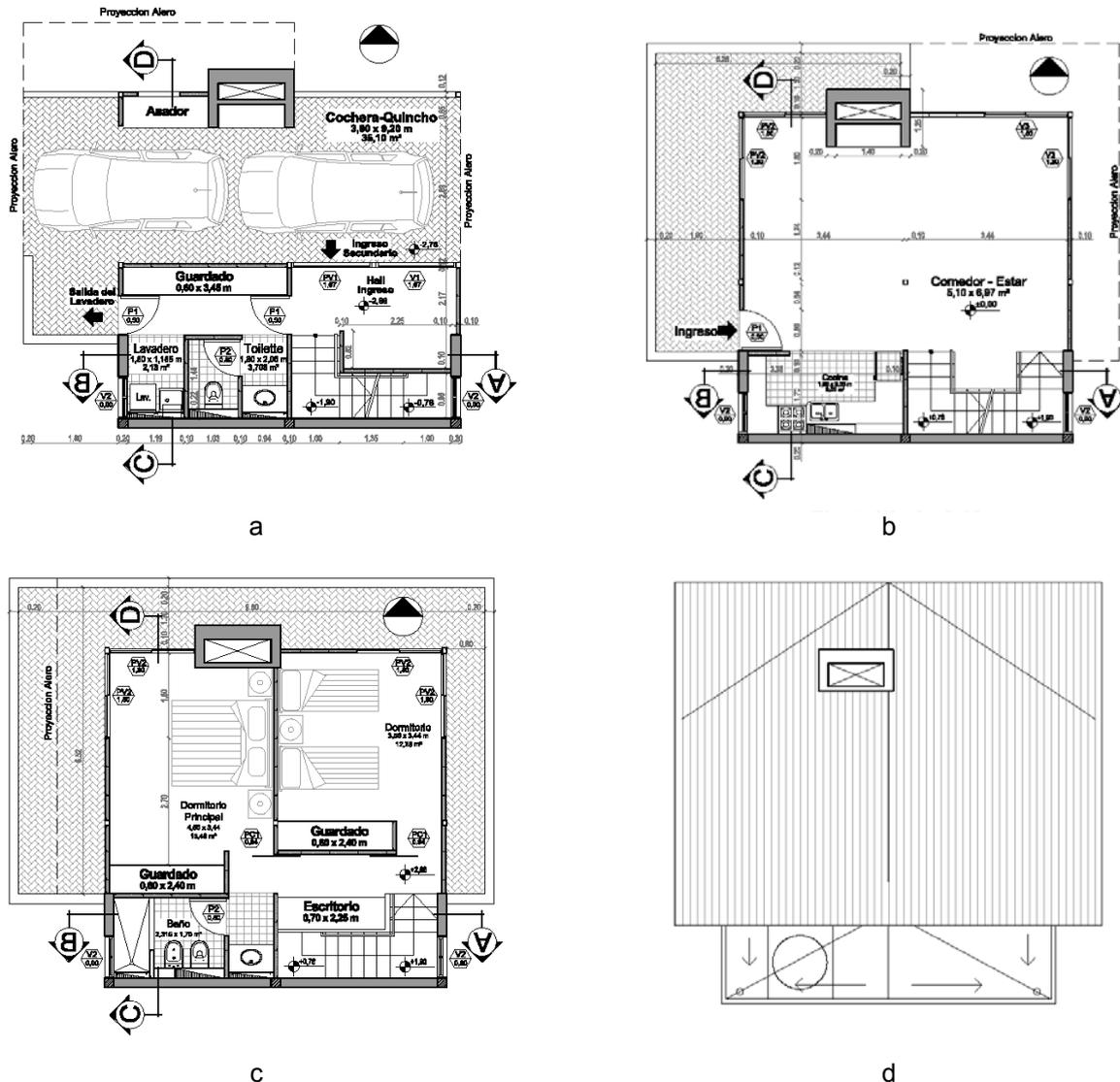


Fig. 147 Plantas de la vivienda propuesta. Fig. 147a: Planta Nivel Ingreso, Fig. 147b: Planta 1º piso, Fig. 147c: Planta 2º piso, Fig. 147d: Planta de techos

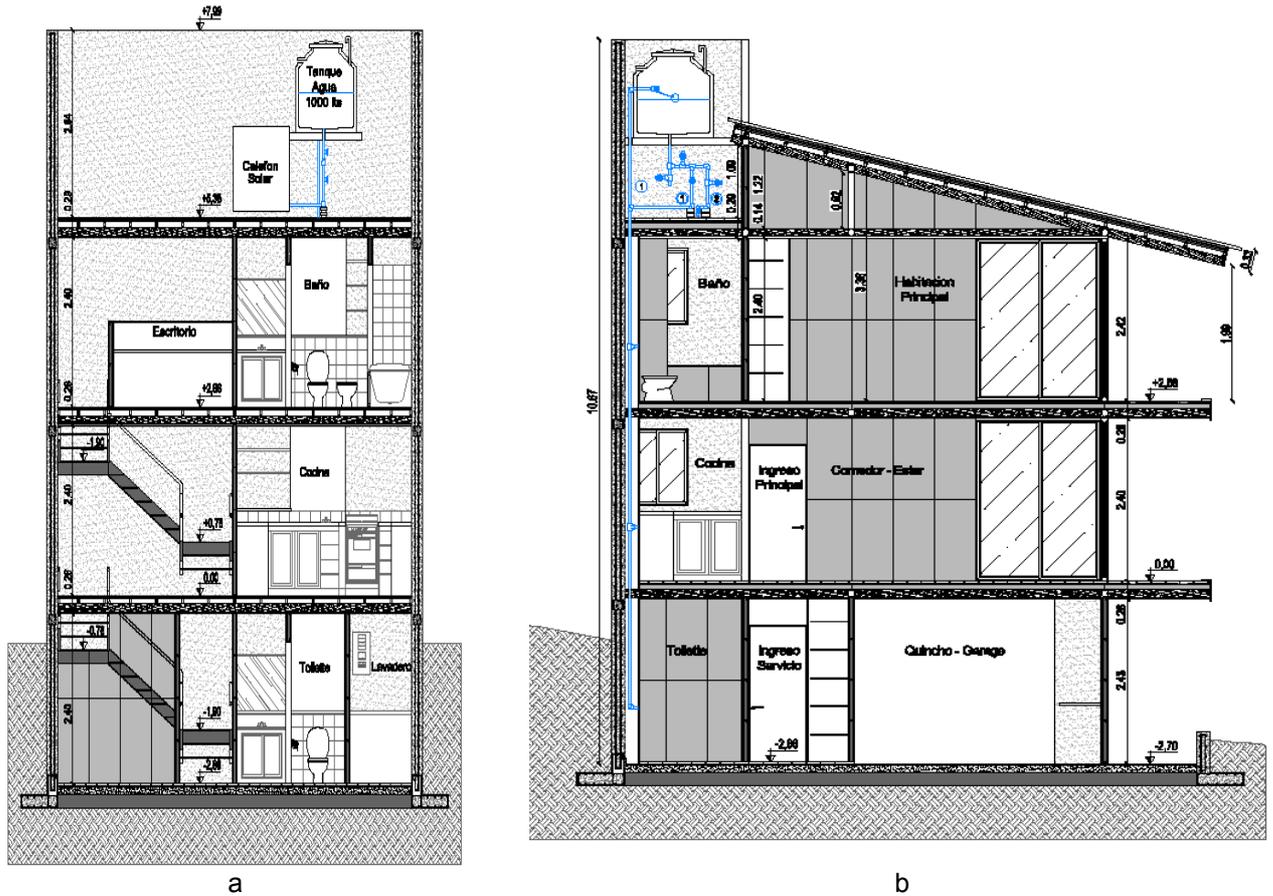


Fig. 148: Corte Fig. 148a: Corte transversal, Fig. 148b: Corte longitudinal

En las Fig 151 se presentan los detalles de construcción de la panelería propuesta para la envolvente vertical y cubierta. Paneles livianos de cáscaras de maní, fueron utilizados como aislantes térmicos de la vivienda, dentro del “sándwich “ lateral y como cielorraso. Placas compactas de cáscaras de maní son utilizadas como revestimientos.

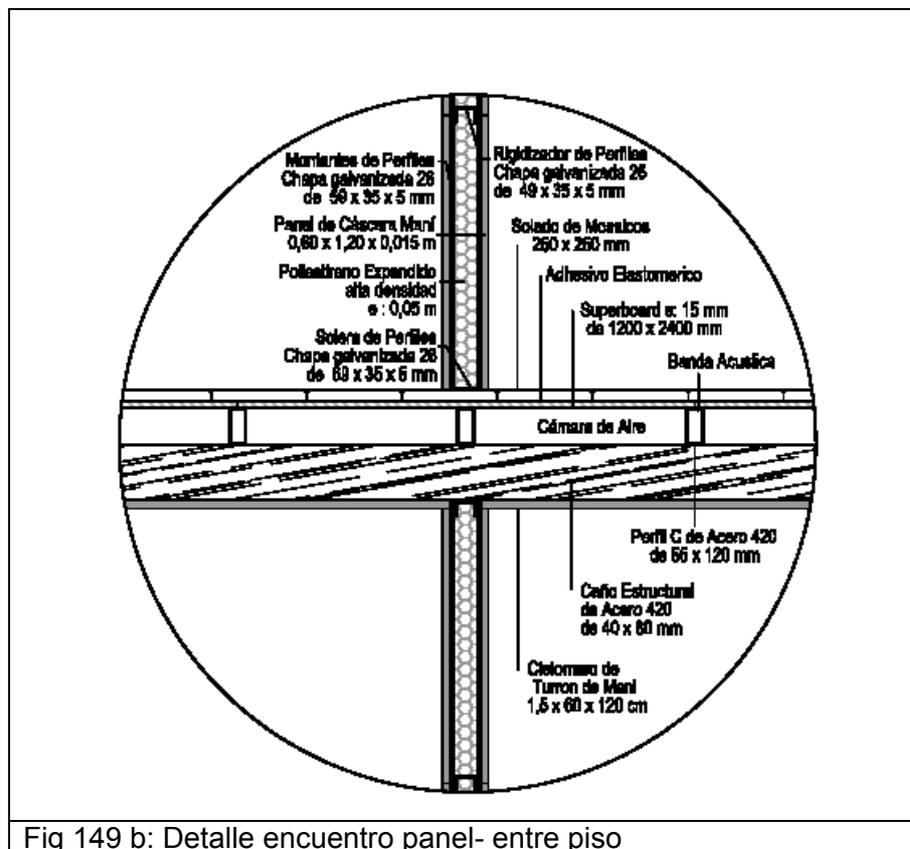
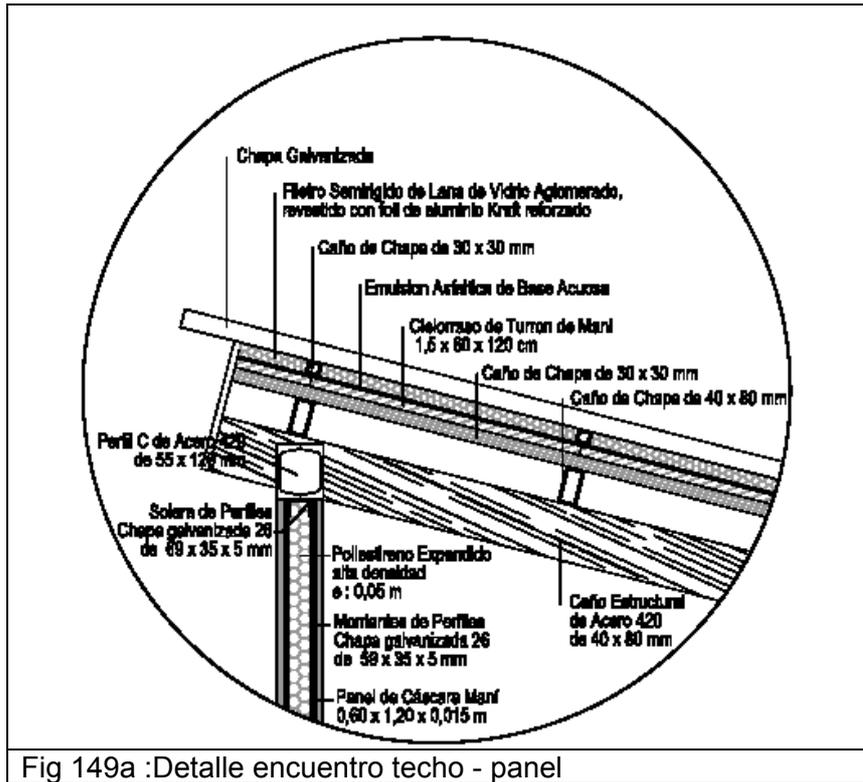
Los paneles y placas propuestos se consideran de tecnología abierta, ya que son compatibles y se combinan con componentes existentes en mercado, de construcción liviana.

Se considera que se consigue racionalidad constructiva, buenas condiciones de habitabilidad, uso eficiente de los recursos y un uso expresivo de los materiales desarrollados, que están relacionados con los postulados de diseño sustentable.

Racionalidad constructiva lograda en la combinación de la construcción en seco, que representa ahorro de tiempo de ejecución de obra, por ende en los costos de construcción.

Buenas condiciones de habitabilidad dadas por el uso del panel liviano de cáscaras de maní – con bajo coeficiente de conductividad térmica -, como aislante en cielorraso y en el interior de la panelería vertical.

Uso eficiente de recursos a través del diseño: concentrando los espacios de servicios - circulaciones y sanitarios - y así se concentran las instalaciones sanitarias y el tanque de reserva de agua. El resto de los espacios se organiza de manera flexible. Respecto de las instalaciones esta prevista la incorporación de paneles fotovoltaicos para captar energía del sol en el techo inclinado hacia el norte, carpintería de doble vidrio para complementar la aislamiento de las envolventes, separación de las aguas grises en las instalaciones para reutilizar el agua para riego, entre otros.



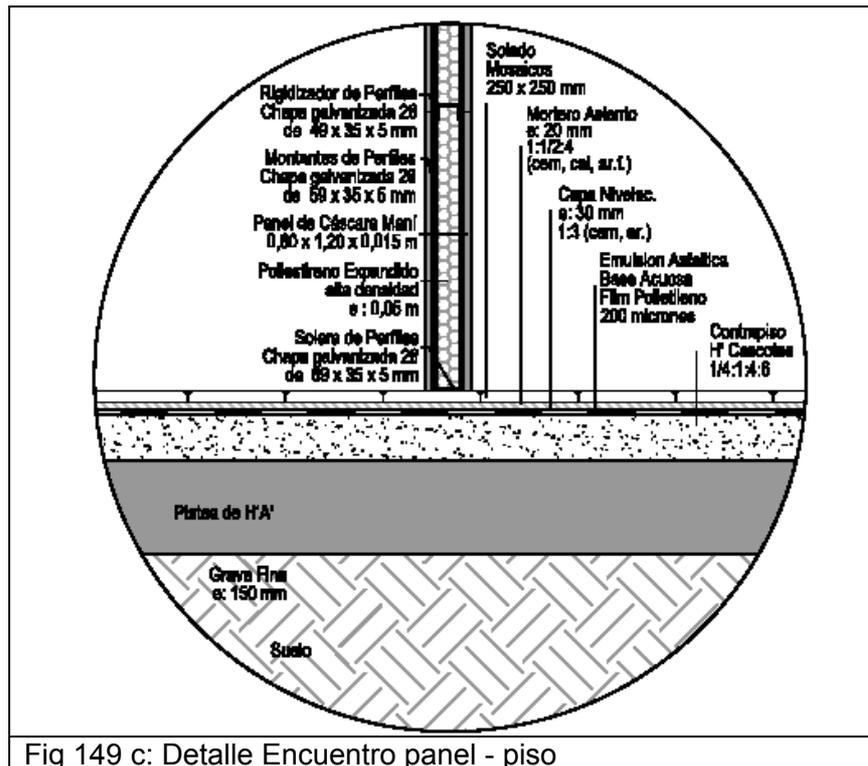


Fig 149 c: Detalle Encuentro panel - piso

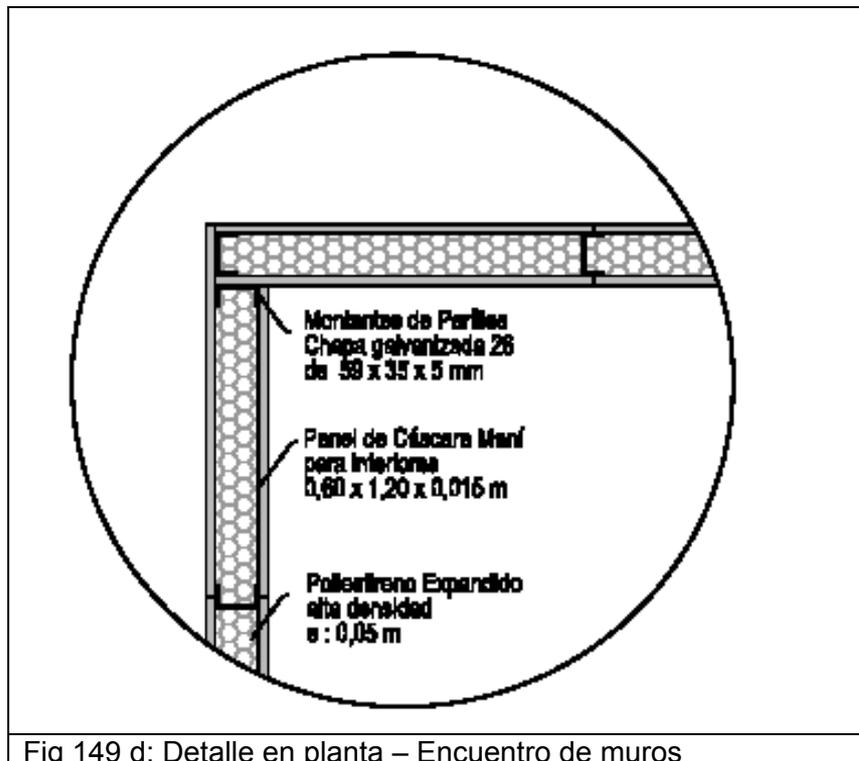


Fig 149 d: Detalle en planta – Encuentro de muros

El uso expresivo de los materiales se refiere al uso de paneles cementicios de cáscaras de maní hacia el exterior aprovechando las cualidades estéticas de la superficie de partículas y empleando un material con buenas propiedades hidrófugas (cemento). En el interior los paneles de cáscaras enteras con incorporación de celdas de aire, dan un toque original de color pardo. Y en los paneles compactos de revestimiento interior la textura de las cáscaras, además de un toque natural, expresan una gama de matices de colores de la naturaleza que incorporan ocre, pardos y marrones.





Fig 150 a, b, c y d: Vistas exteriores del diseño propuesto

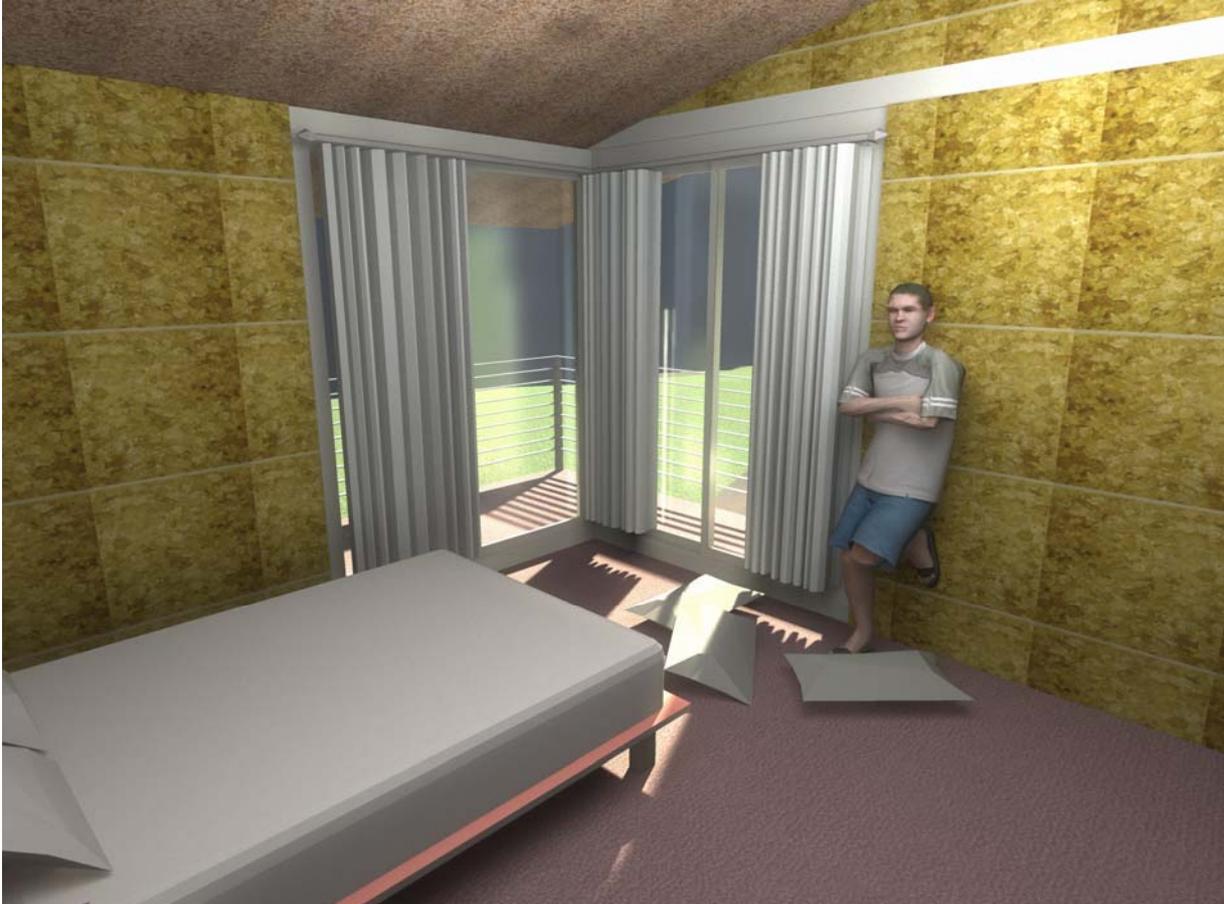


Fig 150 e-f. Vistas interiores

## Conclusiones generales

Los residuos industriales en general son atractivos para el desarrollo de una propuesta de investigación y desarrollo debido a su escala. Un residuo industrial es por naturaleza abundante y concentrado, lo que reduce significativamente la tarea de gestión para la obtención del mismo.

Se reconoce también que un trabajo de investigación y desarrollo en nuevos materiales o productos a partir del uso de residuos que pretenda establecerse como una alternativa de mercado ambientalmente segura, es un trabajo interdisciplinario. Las variables involucradas en este tipo de trabajos son de naturaleza variada. Variables sobre el desempeño del producto son manejadas con destreza por los técnicos, sobre todo cuando el nuevo material o producto va a competir con un similar en el mercado. Su evaluación se reduce a comparar las normas de desempeño tecnológico.

Sin embargo, la adopción de nuevas tecnologías con uso de residuos debe considerar una metodología de investigación y desarrollo diferente al desarrollo e innovación de productos desarrollados con materias primas tradicionales.

Según el presente trabajo de investigación queda demostrada la factibilidad de uso del residuo cáscaras de maní para ser aplicado en materiales de construcción, según:

- La cantidad disponible del residuo es suficientemente grande para justificar el desarrollo de un sistema de manejo, procesamiento y transporte.
- Las distancias de transporte del residuo son competitivas para la generación de emprendimientos productivos locales
- El material no es potencialmente nocivo durante su producción ni posteriormente durante su puesta en uso.

### 7.4.- Evaluación y prospectiva técnica

Los resultados obtenidos de las experiencias realizadas con cáscaras de maní en matriz cementicia, demostraron que el lavado de las cáscaras, extrayendo los extractos solubles, es posible obtener mejoras en el comportamiento mecánico de las mezclas.

Cáscaras de maní molidas en matriz cementicia registraron mejoras en aquellas probetas que contenían cáscaras pre impregnadas con silicato de sodio y sulfato de aluminio.

Si bien en los casos mostrados, los valores de resistencia mecánica son inferiores a los de Hormigón, cabe subrayar que no se pretende lograr un material sustituto de aquél. Las mezclas cementicias con cáscaras de maní y aditivos son aptas para el moldeo de componentes constructivos de uso no portante, más livianos, y probablemente con mejor capacidad de aislación térmica. El bajo peso obtenido significaría además, ahorros de esfuerzo y tiempo de la mano de obra interviniente en el proceso de puesta en obra, ya que disminuye el peso unitario de cada elemento respecto de su similar de concreto.

La técnica de moldeo con vibración fue mejorada cuando se incorpora presión a los compuestos. La técnica de dispersión en agua, moldeo por vacío y presión fue aplicada en placas, fue adoptada en el Laboratorio de Construcciones Rurales e Ambiente de la Facultad de Zootecnia e

Enghenaria de Alimentos de la Universidad de San Pablo. Los resultados obtenidos demostraron que no solo mejoraron las propiedades físicas y mecánicas de los compuestos, sino también el aspecto de las placas que favoreció propuestas de usos más eficientes en revestimientos para envoltentes laterales y horizontales.

En el trabajo con cáscaras de maní en matriz polimérica, los resultados alcanzados – aun parciales-, determinaron un material liviano, poroso y rígido. En el caso de los tableros prensados de cáscaras de maní en matriz polimérica, sus características alcanzaron similitudes con los paneles de madera industrializados presentes en el sector de la construcción tales como, placas de aglomerados fenólicos realizados con chips, virutas o astillas de madera.

Los paneles livianos de cáscaras de maní y resina poliéster son una buena alternativa para paneles de cielorraso debido a su bajo peso específico y bajo coeficiente de conductividad térmica, que lo hace especialmente apropiado para uso como aislante térmico de techos de alta radiación, tales los realizados con chapas galvanizadas. Los paneles descritos permiten el rápido montaje en seco. Condiciones adicionales como buena apariencia, y fabricación de fácil procedimiento son consideradas razones extras para su selección.

La incorporación de presión y temperatura en el moldeo de tableros de cáscaras de maní y resina ureica presentó óptimos resultados de buena apariencia y suficiente rigidez combinadas con densidad media

Los resultados alcanzados en tableros compactos de cáscaras de maní y resina ureica – si bien parciales-, determinaron un material liviano y rígido con características similares a los paneles de madera industrializados presentes en el sector de la construcción tales como, placas de aglomerados fenólicos realizados con chips, virutas o astillas de madera, aptos para similares aplicaciones a los de madera. Resultan además más atractivos estéticamente que los tableros de madera industrializada.

La elaboración de paneles y tableros con cáscaras de maní y resina ureica proveen una nueva alternativa de producción. La reducción de emisión de volátiles, por la ausencia de estireno en la composición del ligante, permite anticipar que se trata de un nuevo material que disminuye efectos contaminantes y reduce costos.

Durabilidad es un aspecto importante en el desempeño de este producto. El objetivo del estudio de la durabilidad es estimar la vida útil, definida como el periodo de tiempo durante el cual el producto presentará desempeño satisfactorio, en las diferentes condiciones de uso. El aspecto de durabilidad será eje de futuros trabajos de investigación, que continúen los resultados alcanzados.

## **7.5.- Evaluación y prospectiva ambiental**

Desde el punto de vista ambiental, las alternativas de reciclaje permiten un menor impacto en la sociedad. Esta investigación ha demostrado ser una alternativa viable para la disposición del residuo cáscaras de maní debido a:

a) La tecnología de proceso de transformación del residuo propuesta no genera impactos negativos para el ambiente. Se requiere escasa cantidad de energía, y no se producen nuevos residuos sólidos.

b) Se propone una tecnología de proceso ligada a la planta manicera. Así, las distancias de transporte reducen costos y eliminan impactos ambientales no despreciables por la polución que generan los camiones.

En resumen, la técnica de reciclaje demuestra, desde el punto de vista ambiental, que la situación de reciclaje tiene menor impacto ambiental que la situación inicial, sin reciclaje. Se considera entonces que el mayor aporte de este trabajo es de orden ambiental.

La disposición de los residuos en general (urbanos, industriales o agro industriales) no cuenta en nuestro país con opciones ambientalmente sustentables. El enterramiento sanitario, la quema, o el volcamiento a cursos de agua o depósitos a cielo abierto, constituyen verdaderos impactos ambientales altamente negativos que alteran la permanencia de los recursos naturales.

La aplicación de los importantes volúmenes de cáscaras de maní disponibles en la provincia de Córdoba, justificaría su aplicación a la producción de materiales de construcción, que demandaría una importante cantidad de este insumo, promoviendo su valorización.

## **7.6.- Evaluación y prospectiva económica**

Respecto de la viabilidad de mercado, que involucra aspectos financieros y aspectos de introducción de la tecnología en el mercado, es una alternativa favorable debido a :

- a) elimina la necesidad de separación, clasificación y transformación industrial del residuo
- b) minimiza la distancia de transporte del residuo desde la planta de producción la planta de transformación
- c) minimiza el riesgo de volatilización. No existen fases peligrosas presentes
- d) resulta un producto reciclable
- e) resulta en un nuevo producto con ventajas competitivas potenciales sobre los existentes en el mercado
- f) la introducción de este proceso de producción en la transformación del residuo implica escasa nueva inversión, aspecto que favorece la viabilidad económica y la transferencia de tecnología.
- g) la cantidad de residuo industrial de la empresa manicera esta asegurado..

En el orden económico, este trabajo permite dar respuesta alternativa a la disposición final de las cáscaras de maní, que por su importante volumen significan un eslabón en la cadena de producción no resuelto para las empresas procesadoras de maní. Hasta hace poco tiempo, su destino predominante era la quema a cielo abierto, que exigía disponer de suelo (apto para cultivo) en forma constante para la incineración.

Como uso alternativo, como combustible de calderas, exige la adecuación de aquellas y el mantenimiento de los quemadores para este combustible alternativo. En estos casos, se generan importantes cantidades de silicatos microcristalinos que forman parte de las cenizas volantes. Cabe aclarar que, en los procedimientos descritos en este trabajo, al no haber combustión con la cáscara de maní se considera que no se produciría generación de puzolanas de la cáscara, ya que no estamos en presencia de cenizas.

Los procedimientos de producción para estos nuevos materiales de construcción aplicados a componentes tales como ladrillos y/o bloques y/ placas o paneles, son desarrollados con el uso de herramientas sencillas, y técnicas conocidas en el sector de la construcción, aun mejorables.

Se concluye en términos de ventaja competitiva de este nuevo producto en relación a otros

productos de mercado, sobre los siguientes aspectos:

- reduce el costo del producto con relación a un producto del mismo desempeño,
- resulta en un producto de desempeño semejante y con leve menor relación costo /beneficio,
- es un producto que cumple una nueva función

Hasta aquí se ha llegado con este desarrollo. Nuevos emprendimientos cognitivos y experimentales continuaran este proceso.

El procesamiento del desecho, por escaso que sea, es un proceso diferencial de los agregados naturales que normalmente no necesitan de tratamientos. Las tecnologías para el procesamiento de residuos deben ser amortizadas por un mayor periodo de tiempo.<sup>1</sup>

Para que un producto se instale en el mercado debe atender también los requisitos de los usuarios intermediarios – proyectista y constructores - . El nuevo producto debiera adaptarse a los procesos de trabajo y equipamiento, capacidad de los recursos humanos y disponibilidad de recursos financieros, ya existentes en las empresas constructoras. La evaluación de adecuación a las necesidades de estos usuarios puede ser realizada a través de proyectos piloto.

Entonces, futuros esfuerzos deberían ser orientados hacia:

- Desarrollo de bases técnicas que tornen cada vez más eficaces la participación del sector agro-industrial en el contexto socio-económico regional.
- Identificación de líneas de financiamiento y bases legales en pos de un programa de sustentabilidad regional
- Capacitación, entrenamiento y concientización de técnicos y profesionales en gestión de recursos; especialmente arquitectos, ingenieros e ingenieros de materiales, así como productores y comunidades rurales, y planificadores gubernamentales.

---

<sup>1</sup> Tanto es así, que en España, el estado subsidia a las empresas recicladoras de plásticos, como una medida de gestión diferenciada de residuos y/ o consecuente de una disminución de los gastos de disposición de aquellos.



## Prospectiva

El impacto socio productivo de la tecnología para la elaboración de paneles y placas de cáscaras de maní está ligado a las industrias del sector en Córdoba. La producción manicera en el interior de la provincia se reparte entre unas 12 o 15 plantas seleccionadoras y procesadoras de maní.

Existe un convenio firmado entre AVE – CEVE, CONICET y una empresa manicera de Córdoba, para la producción a escala piloto de paneles de cáscaras de maní. Esta empresa esta ubicada en un pequeño pueblo, donde constituye la mayor fuente generadora de empleos del lugar.

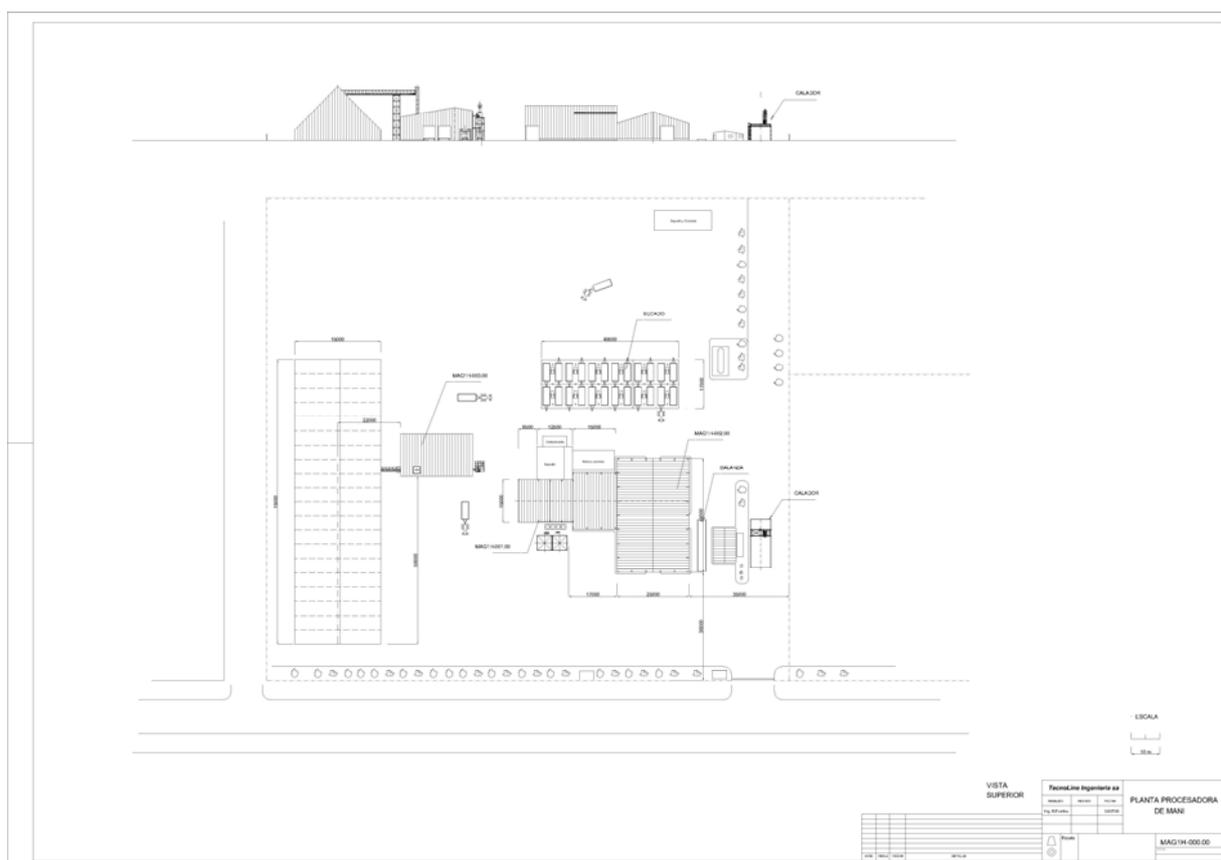


Fig 152: Planta de selección y procesado de maní.



Fig 153: Las Junturas Fig 153 a y b: Vistas del pueblo Fig 153 c: Planta de maní

La producción de paneles de cáscaras de maní constituye el cierre de un circuito productivo, para la no generación de residuos, transformando los mismos – las cáscaras de maní - en insumos de nuevos productos. De esta manera se re- usa el residuo post industrial, a la vez que la empresa genera nuevos productos, y nuevos puestos de trabajo, con mano de obra local.

## Paneles livianos de cáscaras de maní en matriz polimérica

Cambio de escala de producción de laboratorio a producción piloto

De la escala de producción empírica de laboratorio, se diseña una línea de producción de escala piloto, que sin llegar a la producción a escala masiva, permita hacer una aproximación a la correspondiente estructura de costos de producción de los paneles livianos de cáscaras de maní. Este trabajo de diseño de organización de la producción tiene por objeto superar la consideración mera de materiales y mano de obra, sino avanzar en la influencia de los costos de amortización de equipos, instalaciones de infraestructura y eficiencia en la relación de mano de obra/producto. Ello implica revisar todo el proceso de práctica de laboratorio, en lo que se refiere a diseño de procesos y moldes, inversiones edilicias y criterios en el empleo de mano de obra. Estos tres aspectos son abordados a continuación.

- Diseño de procesos y moldes

La organización del proceso productivo definió las etapas descritas en la figura 154, donde se expresa gráficamente cuales son los pasos o diagrama de flujos para la producción de los paneles livianos de cáscaras de maní.

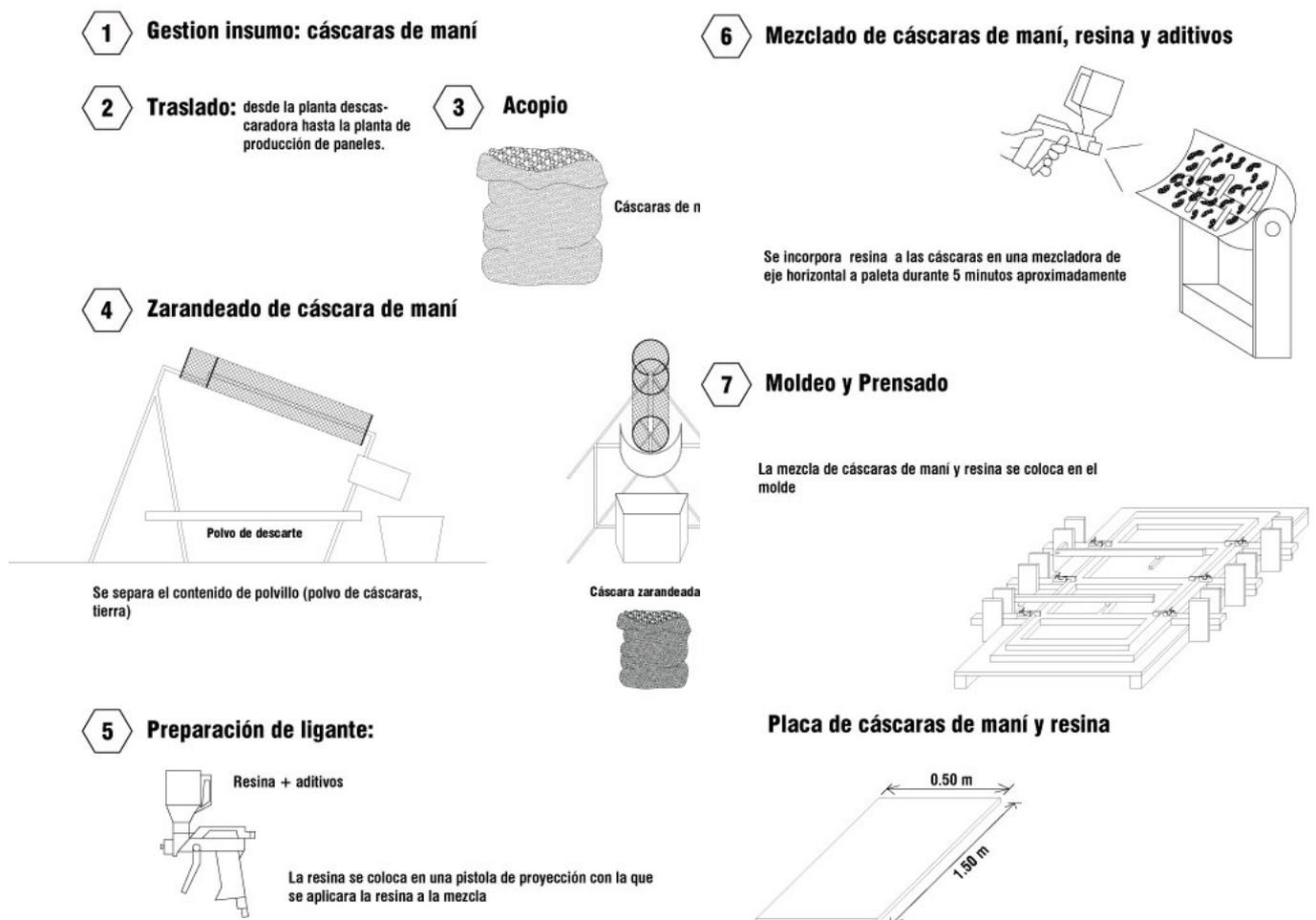


FIG 154: SECUENCIA GRAFICA DE PRODUCCION DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI

Para el moldeo de las placas se diseñó un molde que permitiera establecer una presión homogénea en toda la superficie de la placa, racionalizando el procedimiento. Este dispositivo es detallado en las Fig 155 a- e

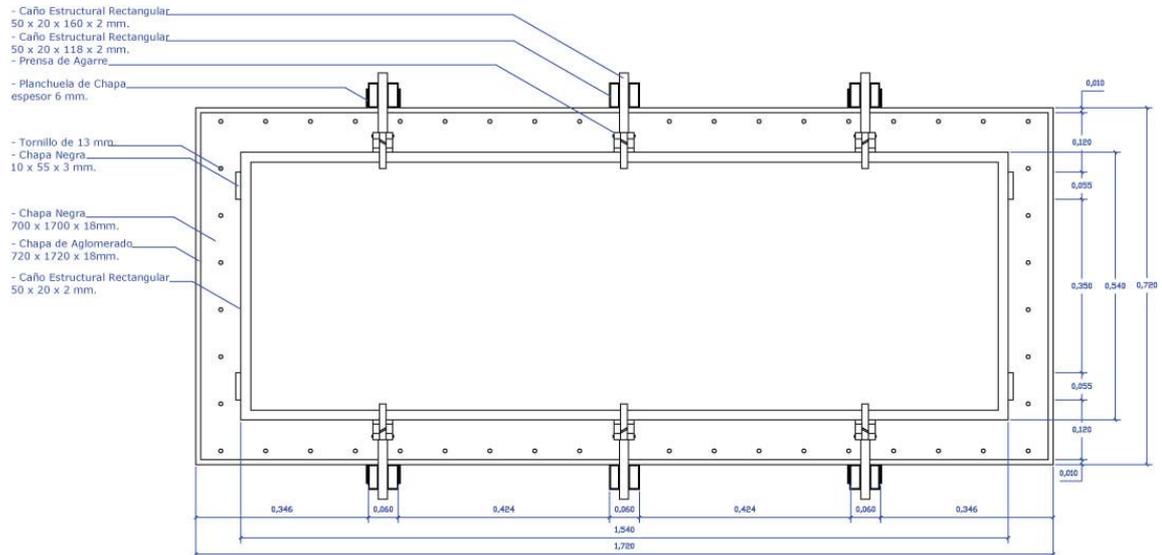


FIG 155a: PRENSA DE MOLDEO DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI. PLANTA

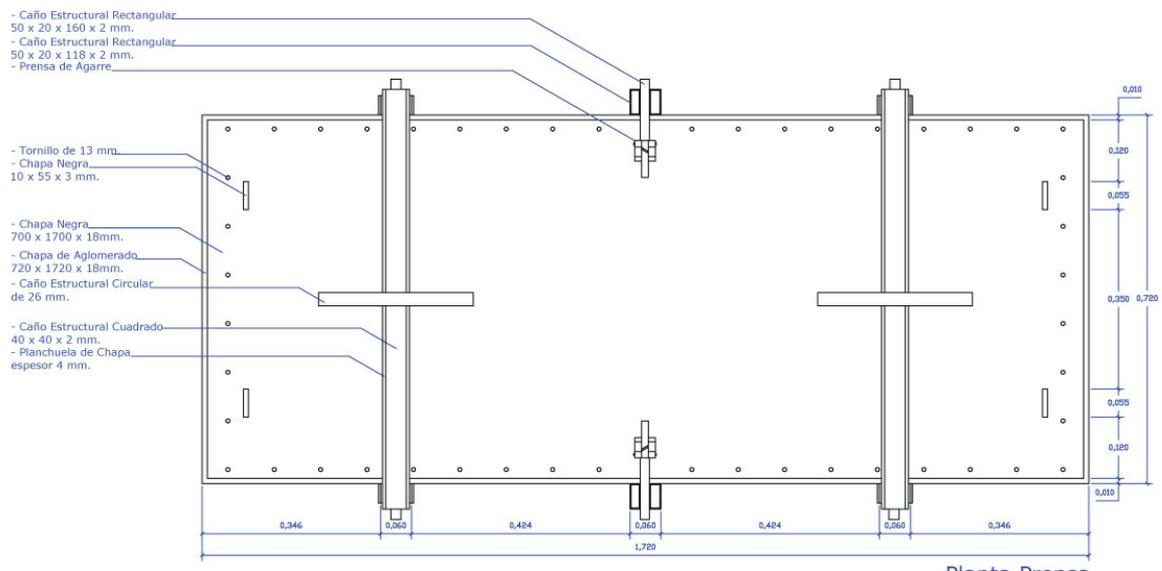


FIG 155b: PRENSA DE MOLDEO DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI. VISTA SUPERIOR

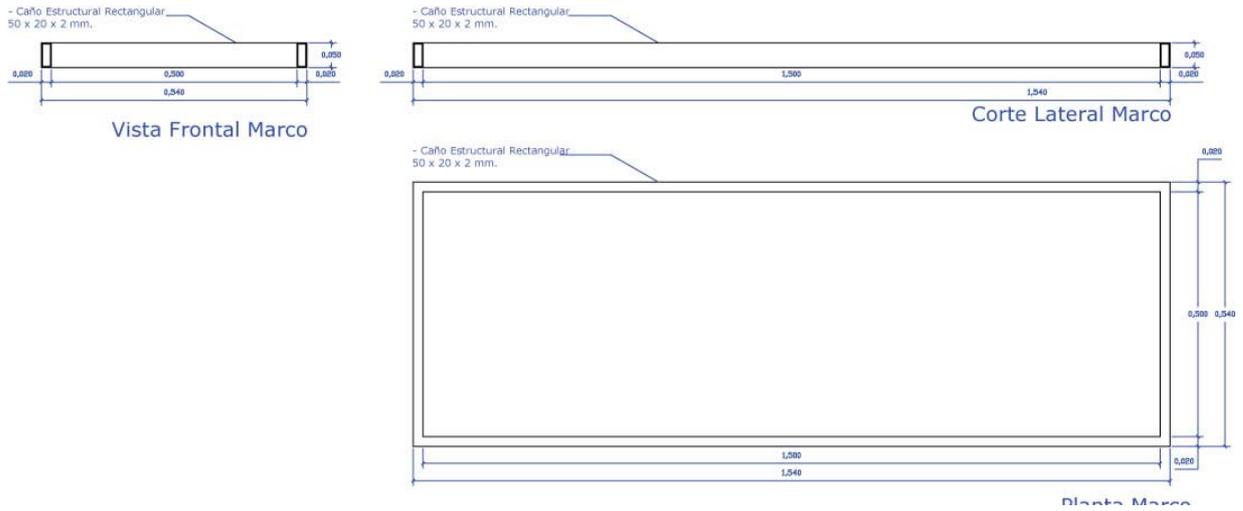


FIG 155c: PRENSA DE MOLDEO DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI. MARCO

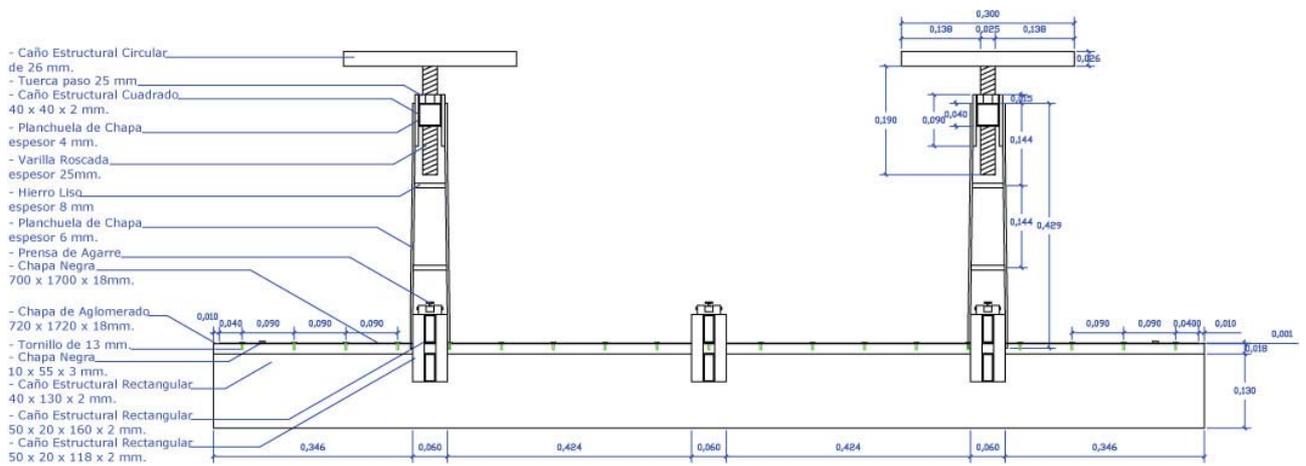


FIG 155d: PRENSA DE MOLDEO DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI. VISTA LATERAL

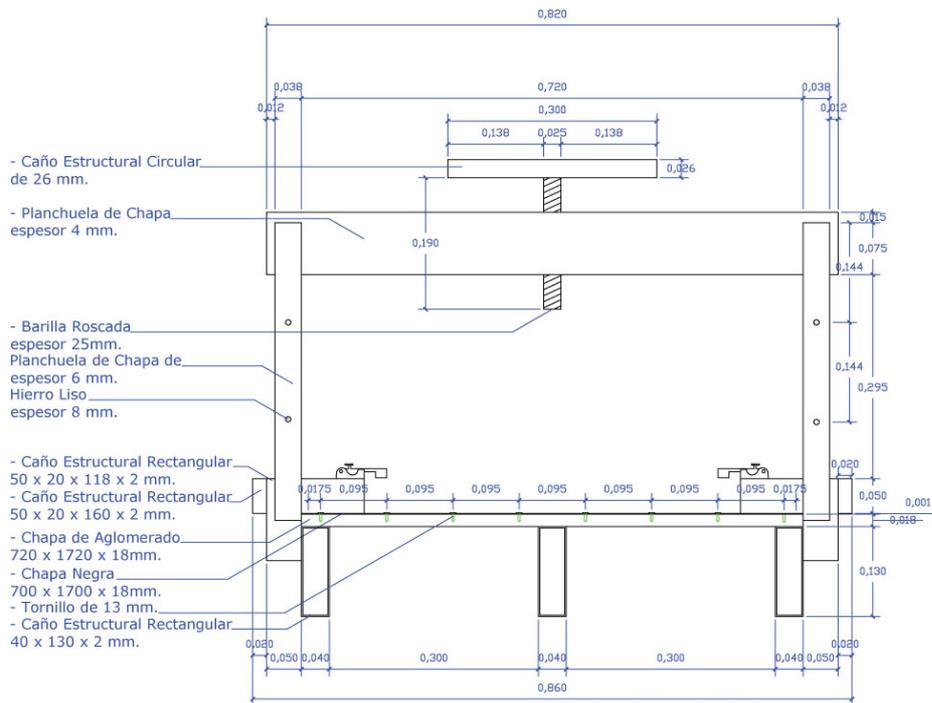


FIG 155e: PRENSA DE MOLDEO DE PANELES LIVIANOS DE CASCARAS DE MANI. CORTE FRONTAL

Se modifico el procedimiento de elaboración de paneles respecto del método inicial de laboratorio. Se diseño una secuencia de tareas, que incluyo algunos cambios en el equipamiento utilizado. Primeras experiencias realizadas se describen en las figuras 156 a-h



a



b



c

Fig 156: Elaboración seriada de paneles de cáscaras de maní a escala piloto. Fig. 156a: Dosisación de resina. Fig. 156b: Homogenización de resina y cáscaras de maní. Fig. 156c: Traslado de la mezcla



d



e



f

Fig 156: Elaboración seriada de paneles de cáscaras de maní a escala piloto Fig 156 d, e y f: Colocación de mezcla e interfase



g

Fig 156: Elaboración seriada de paneles de cáscaras de maní a escala piloto Fig 156 g: Moldeo

- Inversiones edilicias

El lugar de producción es supuesto junto a la planta seleccionadora y procesadora de maní.

Para la estimación de las inversiones en equipamiento e infraestructura necesarias, se parte de la estimación de una producción seriada a escala piloto, aunque en función de posibilidades reales de instalación.

Se estima la disponibilidad de un galpón donde se producirían las placas, como se describe en las Fig. 157 a-c.

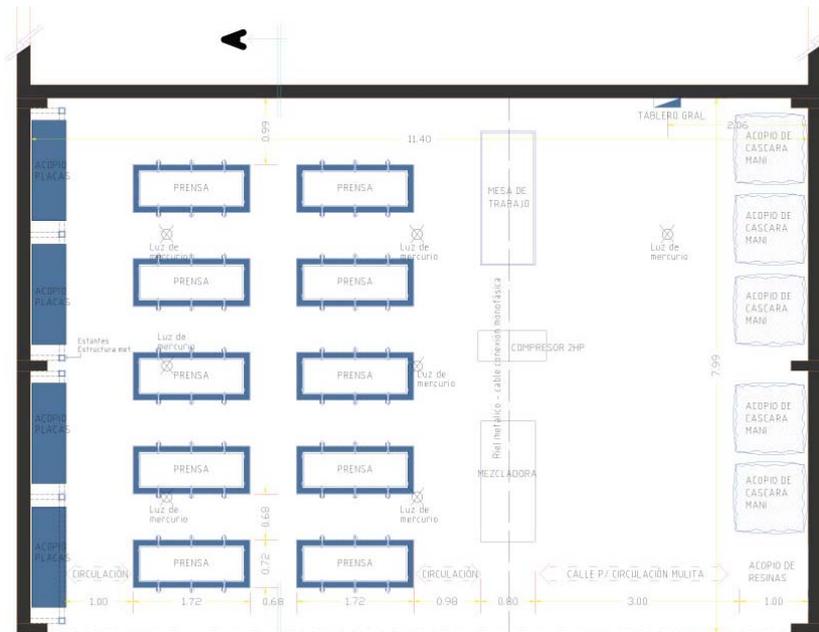


Fig. 157a: Planta de galpón para la producción

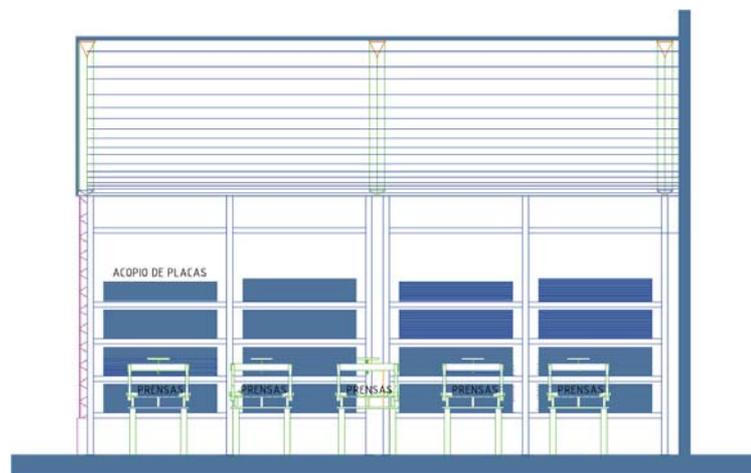


Fig. 158b: Corte de galpón para la producción

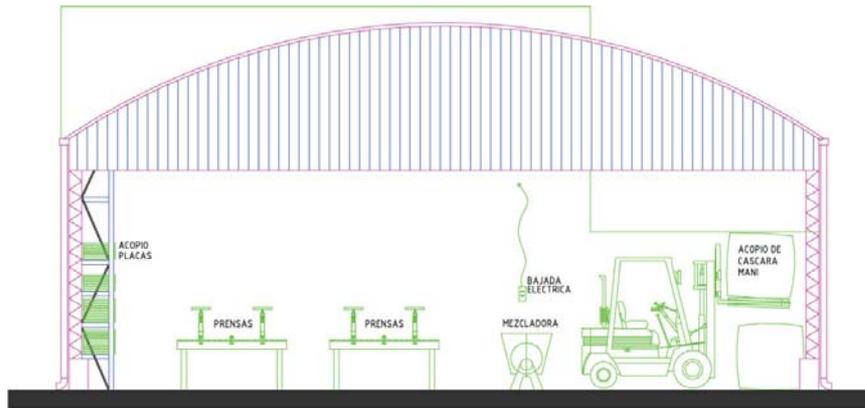


Fig. 158c: Fachada de galpón para la producción

### Tableros compactos de cáscaras de maní en matriz polimérica

Tableros compactos de cáscaras de maní y resina ureica fueron elaborados en una prensa de platos calientes. La prensa es usualmente empleada para el enchapado de placas de madera.

Se diseñó un procedimiento de elaboración sencillo, similar al empleado para los paneles de prensa en frío.



a



b

Fig 159: Elaboración experimental de tableros de cáscaras de maní en prensa de platos calientes. Fig 159a: Dosificación de cáscaras de maní. Fig 159b: Dosificación de resina ureica



c



d

Fig 159: Elaboración experimental de tableros de cáscaras de maní en presa de platos calientes Fig 159c: Homogenización de cáscaras de maní con resina. Fig 159d: Pre- moldeo de mezcla



e



f

Fig 159: Elaboración experimental de tableros de cáscaras de maní en presa de platos calientes Fig 159e: Moldes de placas. Fig 159f: Colocación de moldes en prensa

Nuevas experiencias y ensayos continuaran los resultados alcanzados hasta el presente. El futuro de los paneles y placas de cáscaras de maní esta por delante

## Referencias Bibliográficas

- ABNR (1999), NBR-14810: Chapas de madeira aglomerada- parte 3: Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- AGOPYAN, V; SAVASTANO JR,H: Uso de materiais alternativos a base de fibras vegetais na construção civil:experiência brasileira. In Seminário Ibero americano de Materiales Fibrorreforzados I, y Reunion Proyecto PIP VIII.5 Cytel 3, Cali, 1997. Proceedings...Cali: Universidad del Valle, 1997 p 23-40
- AGOPYAN,V. Vegetable fibre reinforced building materials – developments in Brazil and other Latin American countries em Concrete Technology and Design V5. Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete. Ed. RN Swamy. Glasgow and London – 209 – 242
- Asp, NG; JG Claes; H Hallmer & M Siljestrom. 1983. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. *J. Agric. Food. Chem.* 31: 76-482.
- Barros, Vicente. Revision of the south american monzón system and climate in subtropical south america south of 20°S- Meteorologica, 2002. Vol 27 p 33-58
- BELMARES ET AL. New composite materiais from natural hard fibres. *Ind Eng Chem Prod Res Dev*, 20, 55-561
- Beraldo, Antonio; Bartholomeu, André; Batista, Adao; Fagundes, Antonio; Rolim, Mário; Segantini, Anderson: *Viabilidade de fabricacao de compositos residuos de madeiras e cimento Pórtland (CBC)*. Anais Workshop Reciclagem e reutilizacao de residuos como materiais de construcao civil. Sao Paulo, 1996.
- Bercovich, Néstor: Evolución y situación actual del complejo forestal en Argentina. División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para America latina y el Caribe. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID/IDRC). 2000
- Bilba, K.; M.-A. Arsène, A. Ouensanga. Sugar cane bagasse reinforced cement composites. *Cement and Concrete Comp.* 25 (2003) 91-96.
- Boletín de la Cámara del Maní del Provincia de Córdoba. Agosto 2004
- CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; COIADO CHAMMA, P. V. “Produção de painéis a partir de resíduos lignocelulósicos para uso na arquitetura”. In. XI Encontro Brasileiro Em Madeira E Estruturas De Madeira, CD-Room, Londrina, PR. Jul. 2008.
- Cincotto, MA. : Utilizacao de subproductos y residuos en la industria de la construccion civil. Tecnología de Edificacoes. Sao Paulo: Pini, 1988 p 71-74
- Combellas, J – Centeno, A – Mazzani, B Aprovechamiento de la parte aérea del maní. Rendimiento, composición química y digestibilidad in vitro at [http://www.redpav-fpolar.info.ve/agrotrop/v31\\_6/v216a005.html](http://www.redpav-fpolar.info.ve/agrotrop/v31_6/v216a005.html)
- CONAB - Boletim Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em <<http://www.materia.coppe.ufrj.br>>. Acesso maio de 2009.
- Costales Sotelo, Raúl y O. Carvajal Cabo. Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la caña de azúcar. *Paneles de bagazo – cemento. Excelencia en la Construcción*. Ponencia presentada en Seminario Iberoamericano de tecnología de Materiales. CYTED. La Habana, Mayo 2005.
- COUTTS, RSP.: High yield wood-pulps as reinforcement for cement products.*Appita*;39 (1):31-35.1986
- COUTSS, RPS: A review of Australian research into natural fibre cement composites. *Cement & Concrete Composites*, 27 p518 – 526. 2005

Crivelaro, M - Costa, I. Do comportamento frente à corrosão pelo ataque de cloreto de argamassa armada aditivada por licor negro de celulosa e solução a base de tanino. I Conferência Latinoamericana de Construção Sustentável X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. San Pablo, Brazil, July, 2004

Day, G.S.; Wensley, R.: Assessing In: reading in Marketing Strategy. COOK, LARRECHE and STRONG edit. The Scientific Press, Readwood, 1989 p. 53-73 Confort visual

Delvasto, S - Perdomo, F - Albán, F -. Mina, JH Tablas de polietileno de alta densidad fibroreforzado con fibra de fique en lugar de tablas de madera - NOCMAT; 2004, Pirassununga, November 2004

DEVITO, R A : Estudos físicos e mecânicos de telhas de cimento de escória de alto forno reforçadas com fibras celulósicas residuais. 2003, 63 p Dissertação (Mestrado: Escola de Engenharia de São Carlos) Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003

GATANI, M; R. ARGÜELLO (en evaluación): "Sustainable construction materials with peanut husk based on Portland cement " in Construction and Building Materials / Elsevier. 2005

GHAVAMI, K and HOMBEEK, R (1984) Application of coconut husk as low cost construction material. Proc.Int Conf Low Cost & Energy Saving Constr Mt. Rio de Janeiro, 1984. 53-60.

HEINRICKS, H; BERKENKAMP, R; LEMPFER, K; FERDILAND, HD.: Global review of technologies and markets for building materials. In: Mosleni AA, editor 7 Th International Inorganic-Bonded Wood and Fiber Composite Materials Conference. Moscow. Proceedings...Moscow: University of Idaho; 2000. 12p (Siemplekamp Handling System report)

HIDALGO LOPEZ, O: Bambú: su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. Estudios Técnicos Colombianos, Cali, 318 pp. 1974

Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma IRAM 1612: CEMENTO PORTLAND, Determinación de la consistencia normal. Buenos Aires, 1961. Actualizada en 1970

Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma IRAM 1619: CEMENTO PORTLAND, Método de determinación de tiempo de fraguado. Buenos Aires, 1966

Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma IRAM 1622: CEMENTO PORTLAND, Determinación de resistencias mecánicas. Buenos Aires, 2004

JOHN, V M; AGOPYAN, V: Materiais reforçados com fibras vegetais. In: Simposio Internacional sobre Materiais Reforçados com Fibras para Construção Civil. Sao Paulo, 1993. Anais.... Sao Paulo: EP-USP, 1993 p 29-38

JOHN, Vanderley: Reciclagem de resíduos na Construção Civil: Contribuição a uma metodologia de investigação y desarrollo. Tesis presentada en la Escuela Politécnica de la Universidad de San Pablo para la obtención del Título de Libre Docente. San Pablo, 2002.

MACVICAR, R.; MATUANA, L M ; BALATINECZ, JJ: Aging mechanisms in cellulose fiber reinforced cement composites. Cement & Concrete Composites; 21:189.1999

Magariños et al: Estudio de morteros que contiene escamas de plástico procedente de residuos post industriales. Materiales de construcción, Vol 48, N° 250. Madrid, 1998

MALONEY, T.M. The family of wood composite materials. Forest Products Journal, v.46, n.2, pp. 19-26, 1996.

MARCILIO, C.; BATTISTELLE, R. A. G.; VALARELLI, I. D. Fabricação de chapas de partículas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e fibras das folhas caulinares do bambu: caracterização física e mecânica. In. XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2008. Londrina, PR. Anais. CD-Room.

MEDINA, JUAN CARLOS. Instituto de Tecnología de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero - AMBROGI, ALEJANDRO. Grupo de Investigación y Desarrollo en Productos Oleaginosos. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba

Monografías de arquitectura, tecnología y construcción. Tectónica 11 – Madera (1) Revestimientos Edic. ATP Ediciones.

Montenegro, R. Informe de la Fundación para la Defensa del Ambiente (FUNAM): La provincia de Córdoba es la que más destruye bosques en Argentina. Córdoba, 2005

NASCIMENTO, M. F. CPH – Chapas de Partículas Homogêneas – Madeiras do Nordeste do Brasil, Tese de D.Sc., EESC/USP, São Carlos, SP, Brasil, 2003.

Nelson DW, Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp 39-580 en AL Page, RH Miller & DR Keeney (eds.). Methods of Soils Analysis. II. Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.

Norma ASTM C 177. Standard Test Method for Steady State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission. Properties by means of the Guarded Hot Plate Apparatus

Norma IRAM 11559. Determinación de la Conductividad Térmica y propiedades conexas en régimen estacionario. Método de la placa caliente con guarda.

Norma ASTM E-96 “Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Thick Materials”

Norma IRAM 1735 “Materiales de Construcción – Método de ensayo de la permeabilidad al vapor de agua”

Norma IRAM 11559 Determinación de la resistencia térmica y propiedades relacionadas en un régimen estacionario.

Norma IRAM 11910-3: “Materiales de Construcción. Reacción al fuego, determinación del índice de propagación de llama – método del panel radiante”.

Norma ISO 8302. Thermal Insulation. Determination of steady-state thermal resistance and related properties. Guarded hot plate apparatus Paricio, Ignacio: Colección La construcción de la Arquitectura. Tomo 1: Las técnicas. Barcelona, 1995

PIMENTEL, LL: Telhas onduladas a base de cemento Portland e resíduos de Pinus caribaea. 2000, 66 p. Dissertação (Mestrado) Universidades Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

Pire, Reinaldo y Aracelys Pereira: Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del Estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. Bioagro v 15 n 1. Barquisimeto, 2003. Disponible en : <http://www.scielo.org.ve/> ISSN 1316-3361

Portland Cement Concrete Association: Suddust Concrete, Concrete Information N° 1-2

Price, M and Butler, L: Rapid visual estimation and Spectrophotometric determination of tannin content of, on sorghum grain. Journal Agricultural. Food Chemistry (25) 6: 1268 – 1273. 1977

Rai, M. Low Cost Building Materials using industrial and agricultural wastes. International Journal for Housing Science and its applications 2 – 213 – 221, 1978

RAMIREZ SARMIENTO, C: Argamassa de Cimento Reforçada com fibras de Bagaco de cana-de-açúcar e sua utilização como material de construção. Tese de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Departamento de Construções Rurais. 1996

Salas, J; Alvarez, M; Veras, J. : Rice husk concrete for light weight panels. Building International / Building Research and Practice 21 45 – 49-. También publicado en International Journal of Cement Composites and

Lightweight Concrete. Volume 8, Issue 3, P 171 – 180; 1986.

SALAS SERRANO, J. Programa de Ciência y Tecnología para el desarrollo – V Centenario (CYTED D) Tecnología para vivienda de interés social. Comisión Nacional Quinto Centenario, Madrid, 565-781. 1987

SAMAJA, Juan. Curso de Epistemología y Metodología de la Investigación. Universidad Nacional de Rosario, mayo 2004

SAVASTANO JR, H; DANTAS, FAZ; AGOPYAN,V: Materiais reforçados com fibras: correlação entre a zona de transição fibra-matriz e as propriedades mecânicas. São Paulo: IPT/Pini, 1994. 56 p (Publicação IPT 2158- Boletim 67)

Savastano Jr, H. ; V. M. John,V. Agopyan et O. Pellegrino Ferreira. Weathering of vegetable fibre-clinker free cement composites. *Materials and Structures/Matériaux et Constructions* 15 (2002) 64-68

Savastano Jr, H.; V. Agopyan, A. M. Nolasco, L. Pimentel, Plant fibre reinforced cement components for roofing, *Construction and Building Materials* 13 (1999) 433-438

SAVASTANO JR. H: Processo de obtenção de telha de fibrocimento com reforço a base de polpa celulósica, por meio de sucção de água e prensagem, e produtos assim obtidos, 2002. Patente: Privilégio e Inovação. N 0201204-9, "Invenção de processo e produto obtido". 02 de abr de 2002 (Deposito)

SAVASTANO JR, H.. Fibras de coco em argamasa de cimento portland para produção de componentes de construção civil. Dissertação. EPUSP, 201 PP. 1987

Seoáñez Calvo, Mariano. Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos. Colección Ingeniería del Medio Ambiente. Ediciones Mundi Prensa. Madrid 2000

SOSA, M y CHERCHEUR, E : Utilisation des végétaux dans l'habitat – a faible cout. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Paris. 75-80

Taiwo, O.E. y F.A.O. Osinowo pertenecen a Chemical and Fibre Technology Division, Federal Institute of Industrial Research, Oshodi ( FIIRO), Lagos State, Nigeria. *Bioresource Technology* 79 (2001), 95-97, ELSEVIER.

Tolêdo Filho, R.D.; K. Scrivener, G.L. England and, K. Ghavami. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites *Cement and Concrete Composites* 22 (2000) 127-143

Tolêdo Filho, R.D.; K. Ghavami, G.L. England and, K. Scrivener. Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. *Cement and Concrete Comp.* 25 (2003) 185-196.

Tolêdo Filho, R.D. and K. Ghavami, Behaviour under direct tension of vegetable fibre reinforced mortar composites. *Proceeding of 3rd International Symposium on Natural Polymers and Composites*, Sao Paulo, Brazil, 14-17 may 2000, (ISBN 85-86463-07-8 , 2000: 399-407.

TONOLI, G: Aspectos productivos y análisis de desempeño de fibrocemento sim amianto en el desarrollo de tecnologías para tejas onduladas (2006)

Vaickelionis G, R. Vaickelioniene.. The influence of organic and mineral additives on Hydration of cement. *Materials Science*. Vol 9 Nº 3, 218 – 223, 2003

Van Soest, PJ & JB Robertson. 1980. Systems of analysis for evaluating fibrous feeds. Pp 49-60 en WJ Pidgeon; CC Balch & M Graham (eds.). *Standardization of Analytical Methodology for Feeds*. Int. Develop. Center and Int. Union Nutr. Sci. Ottawa, Canada.

Wicke, Achim *Tableros de pajilla de cemento y madera*. Ministerio de Agricultura y Cría. Universidad de los Andes. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Merida - Julio, 1972

Woodroof, Jasper Guy: PEANUTS. Production, processing, products. The AVI Publishing company, INC. Westport, Connecticut, 1983

Yeboah, Y et al Biomasa Pyrolysis Unit for the Production of Hydrogen from Peanut shell. Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies Program Review Meeting, Berkeley CA - May 2003 at: [www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdf/merit03/33\\_cau\\_yaw\\_yeboah.pdf](http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdf/merit03/33_cau_yaw_yeboah.pdf)

YEBOAH ET AL. Hydrogen from Biomass for Urban Transportation. Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructures Technologies Program Review Meeting. Berkeley, CA May 18-22, 2003

Woodroof, Jasper Guy (1983). Peanuts. Production, Processing, Products. AVI Publishing Company Inc. Westport. Connecticut

## **GLOSARIO**

P esp. o Pe : Peso específico.

g : Gramo

k : Kilogramo

Na : sodio

Al : Aluminio

K : Potasio

Si : Siliceo

Mg: Magnesio

pH: Índice de acidez o alcalinidad. Va de 0 a 14

N : Newton

J: Joule

P: Pascal

MPa: Megapascal

OCa: cal viva

(OH)<sub>2</sub> Ca: Cal apagada

V/V: Relación volumen volumen

P/V: Relación entre peso y volumen

P/P: Relación peso peso

W o w/c : Relación agua cemento

