



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA
ARQUITECTÓNICAS**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

**DESARROLLO EXPERIMENTAL, DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO DE
ENVOLVENTE, NO ESTRUCTURAL, A PARTIR DE UNA MATRIZ DE
PLÁSTICO RECICLADO, REFORZADO CON FIBRAS NATURALES Y/O
SINTÉTICAS**

DOCTORANDO

ARQ. JORGE ADÁN SÁNCHEZ RESÉNDIZ

DIRECTORES DE TESIS.

DR. ARQ. ALFONSO GARCÍA SANTOS

DR. ARQ. CONSOLACIÓN ANA ACHA ROMÁN.

MADRID, ESPAÑA

SEPTIEMBRE 2013.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA
ARQUITECTÓNICAS**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

**DESARROLLO EXPERIMENTAL, DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO DE
ENVOLVENTE, NO ESTRUCTURAL, A PARTIR DE UNA MATRIZ DE
PLÁSTICO RECICLADO, REFORZADO CON FIBRAS NATURALES Y/O
SINTÉTICAS**

TESIS DOCTORAL
JORGE ADÁN SÁNCHEZ RESÉNDIZ

DIRECTORES DE TESIS.
DR. ARQ. ALFONSO GARCÍA SANTOS
DR. ARQ. CONSOLACIÓN ANA ACHA ROMÁN.

MADRID, ESPAÑA
SEPTIEMBRE 2013.



Tribunal nombrado por el Sr. Rector Magfco. de la Universidad Politécnica de Madrid, el día.....de.....de 20....

Presidente:_____

Vocal: _____

Vocal:_____

Vocal:_____

Secretario:_____

Suplente:_____

Suplente:_____

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día.....de.....de
20... ..

en la E.T.S.I. /Facultad.....

Calificación

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

AGRADECIMIENTOS

Como dice el refrán “De bien nacidos es ser agradecidos...” inicio esta tesis con mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han colaborado y contribuido a que se hubiera llevado a cabo.

Inicio mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México, ya que sin su apoyo financiero, no hubiese sido posible el desarrollo y conclusión de este trabajo.

A mis directores de Tesis Alfonso García Santos luchador incansable y Consuelo Acha Román quien inicio sus andares de dirección conmigo y que ambos confiaron en mi y en este trabajo, aportando su gran experiencia a nivel profesional y su apoyo personal.

A Mario Parra Dolz, (GMN) que fue el primero en colaborar y creer en el potencial de este trabajo cediéndonos material de caucho reciclado para poder realizar los ensayos en laboratorio.

A Manuel Morgado (BASF) quien me apoyo con materiales poliméricos así como su amplia experiencia en el trabajo con resinas y composites.

A José Espuelas Azofra, Noelia Fernández Saldivar y a todo el equipo de Logrotex, por su apoyo tanto en materiales textiles como personal durante el desarrollo experimental de esta Tesis.

A César Díaz Sanchidrián y a Francisco Padial por su orientación y apoyo en el desarrollo de los ensayos térmicos y acústicos de la parte experimental.

Al personal de laboratorio y mantenimiento de la Escuela de Arquitectura de Madrid, al Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas especialmente al personal de secretaría.

A las empresas Basf, Logrotex, Resineco y Sayco Homes, por haberme ayudado a montar el equipo para ensayos térmicos.

A mis padres que siempre han estado caminando a mi lado, apoyándome en todo momento, siendo siempre un modelo y una referencia para mí, no sólo en el plano académico y profesional, sino personal y espiritual.

Y por último a mis amigos y compañeros de viaje, que durante seis años han crecido, reído y compartido a mi lado esta gran aventura.



“El Hombre, en su aspiración por perpetuar su existencia, rediseña, modifica y construye sobre la superficie terrestre, olvidando el impacto que su inquietud puede ocasionar.”

(SARJA 2011)

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. HIPOTESIS, OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS	3
2.1 HIPÓTESIS	4
2.2 OBJETIVOS	5
2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS	7
2.4 PRODUCTOS DE PLASTICO RECICLADO	9
3. ANTECEDENTES	11
3.1 DEFINICIONES.....	12
3.2 HISTORIA DE LOS PLASTICOS	13
3.3 COMPOSICIÓN DE LOS PLÁSTICOS	16
3.3.1 POLÍMEROS.....	16
3.3.2 ESTRUCTURA DE LOS POLIMEROS.	17
3.3.3 TIPOLOGÍA DE LOS POLIMEROS.	19
3.3.4 CARACTERISTICAS DE LOS POLIMEROS	21
3.3.5 PROPIEDADES DE LOS POLIMEROS	27
3.4 TECNICAS DE TRANSFORMACION DEL PLASTICO.....	31
3.5 DURABILIDAD DE LOS PLÁSTICOS	35
3.6 POLIMEROS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	39
4. PLÁSTICOS - PRODUCCIÓN Y CONSUMO	47
4.1 PLASTICOS -PRODUCCIÓN-	48
4.1.1 CONSUMO DE PLASTICO POR SECTOR FAMILIA	50
4.2 DESECHOS PLASTICOS	57
4.2.1 MARCO JURIDICO Y POLITICO EUROPEO SOBRE RECICLAJE	61
4.2.1 ORIGEN DE LOS DESECHOS PLÁSTICOS.....	58
4.2.2 DIRECTIVA MARCO DE RESIDUOS 2008/98/CE	62
4.2.3 NORMATIVA ESPAÑOLA.....	63
4.2.4 POLITICAS SOBRE EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN EUROPA	63
5. DESECHOS PLÁSTICOS –RECICLAJE-	66
5.1 RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS.....	67
5.1.1 PROCESO DE RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS	67

5.2 TENDENCIA DE RECICLAJE EN LA UE.....	71
5.3 EL RECICLAJE COMO MODELO DE NEGOCIO.....	74
5.4 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS PLÁSTICOS.....	74
5.5 RECICLAJE Y RECUPERACIÓN POR SEGMENTOS DE APLICACIÓN..	79
5.5 TENDENCIAS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA.....	76
5.7 PANORAMA ESPAÑOL DE CONSUMO, RECICLAJE Y VALORACION ENERGETICA.....	83
6. ESTADO DEL ARTE - -	86
6.1 MADERA DE PLASTICO RECICLADO.....	87
6.2 NUEVOS MATERIALES DE PLÁSTICO RECICLADO	96
7. MATERIALES SELECCIONADOS	133
7.1 AGREGADOS	134
7.1.1 CAUCHO RECICLADO DE NEUMATICOS FUERA DE USO.....	135
7.1.2 HIDRATO DE ALUMINIO LIGERO.....	137
7.1.3 CARBONATO DE CALCIO.....	139
7.1.4 SULFATO DE CALCIO.....	139
7.1.5 YESO FINO DE CONSTRUCCIÓN.....	140
7.1.6 ESCAYOLA E-30.....	142
7.2 AGLOMERANTES.....	143
7.2.1 RESINA ACRILICA.....	143
7.2.2 RESINA DE POLIESTER INSATURADO.....	145
7.3 FIBRAS DE REFUERZO	146
7.3.1 FIBRAS DE YUTE	146
7.3.2 FIBRAS DE PET BICOMPONENTE.....	148
7.3.3 FIBRAS PP MULTIFILAMENTO.....	149
7.3.4 FIBRA DE VIDRIO.....	150
7.4 AGLOMERANTES.....	143
8. METODOLOGIA.....	152
8.1 PROCEDIMIENTO	153
8.2 MATERIALES UTILIZADOS.....	154
8.3 EQUIPOS	156

8.5 ENSAYOS FÍSICOS	161
8.5.1 MEDICIONES DE PESO Y DIMENSIONES DE LA PLACA.	161
8.5.2 DETERMINACION DEL ESPESOR.....	162
8.5.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD	163
8.5.4 RESISTENCIA A FLEXION.....	163
9. DESARROLLO EXPERIMENTAL	169
9.1 INTRODUCCIÓN	170
9.2 COMPOSITES ELABORADOS CON RESINA DE POLIÉSTER INSATURADO	171
9.2.1 SERIE PSU32	173
9.2.2 SERIE PSU30	178
9.2.3 SERIE PSU28	192
9.2.4 SERIE PSU27	199
9.2.5 COMPARATIVA DE LAS MEJORES MEZCLAS (SERIE PSU)	204, 205
9.3 COMPOSITES ELABORADOS CON RESINA ACRILICA (SERIE AC) ...	207
9.3.1 SERIE AC30	209
9.3.2 SERIE AC29	234
9.3.3 SERIE AC28	246
9.3.4 SERIE AC27	265
9.3.5 MEZCLAS SINGULARES AC24 y AC22.....	275
9.3.6 COMPARATIVA DE LAS MEJORES MEZCLAS (SERIE AC)	279, 280
9.4 COMPOSITES ELABORADOS CON RESINA ACRILICA Y FIBRAS DE PP MULTIFILAMENTO (SERIE ACT).	283
9.4.2 SERIE ACT29	290
9.4.3 SERIE ACT28	295
9.4.4 SERIE ACT27	301
9.4.5 COMPARATIVA DE LAS MEJORES MEZCLAS (SERIE ACT)	307
9.5 ENSAYOS DE RESISTENCIA TÉRMICA.....	309
9.5.1 CAJA CON TEMPERATURA CONTROLADA Y DOS COMPARTIMENTOS.....	309
9.5.2 CAJA CERRADA PARA MEDICION DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.	

10 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	319
10.1 CONCLUSIONES SOBRE EL PLÁSTICO	320
10.2 CONCLUSIONES SOBRE PRODUCCIÓN Y CONSUMO	322
10.3 DESECHOS PLASTICOS	323
10.4 MATERIALES ELABORADOS CON PLASTICO RECICLADO.....	324
10.5 MATERIALES ELABORADOS CON CAUCHO RECICLADO DE NFU..	326
11 CONCLUSIONES.....	334
12 FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION	338
13.0 BIBLIOGRAFIA.....	340

1. ■ RESUMEN

Esta Tesis trata sobre el diseño y desarrollo de un material constructivo de fachada (tras ventilada), empleando plástico reciclado (granza de caucho, de neumáticos fuera de uso) para su elaboración. El uso de materiales reciclados para la elaboración de nuevos materiales constructivos, es a día de hoy, un valor agregado que contribuye tanto a la disminución de desechos tóxicos, como a la fabricación de productos de alta calidad.

La investigación partió de la necesidad de comprender qué es un plástico, cómo son producidos, cuáles son los factores que permitían su reciclaje y qué propiedades podrían ser aprovechadas para desarrollar un nuevo material constructivo.

En el estado del arte, fueron analizados los aspectos del plástico relacionados a su composición, propiedades, tipologías, producción, consumo, legislación europea y española, reciclaje y valorización energética. Para analizar más profundamente los materiales desarrollados a partir de plásticos reciclados, desde textiles hasta elementos constructivos.

Con el conocimiento adquirido mediante este análisis previo, se diseñó una metodología de experimentación, utilizando caucho reciclado y derivados del yeso como agregados, en una matriz de resinas poliméricas reforzada con fibras naturales y sintéticas. Los resultados obtenidos en los ensayos físicos y térmicos, con los elementos producidos, demostraron que el material tiene una excelente resistencia a tensión así como una baja conductividad térmica.

Esta investigación, servirá como precedente para el desarrollo de nuevos materiales y sistemas constructivos, utilizando agregados de plástico reciclado, en los procesos de fabricación. Ya que ha comprobado el enorme potencial que ofrecen, creando nuevos materiales, y contribuyendo a reducir la contaminación medio ambiental.

"La mayor recompensa de nuestro trabajo no es lo que nos pagan por él, sino aquello en lo que nos convierte".

John Ruskin

ABSTRACT

This thesis deals with the design and development of a new facade construction material using recycled plastic (rubber pellets from used tires) for processing. The use of recycled materials for the development of new building materials, today is an added value which contributes both to the reduction of toxic waste, as well as the processing of products of good quality.

The research derives from the need to understand what a plastic is, how they are produced, what the factors that allowed recycling are and what properties can be exploited to develop a new building material.

In the prior art, were analyzed plastic aspects related to its composition, properties, typologies, production, consumption, European and Spanish legislation, recycling and energy recovery. To further analyze the materials developed from recycled plastics, from textiles to construction elements.

With the knowledge gained from this previous analysis, we designed an experimental approach using recycled rubber and plaster derivatives as aggregates in a polymeric resin matrix reinforced with natural and synthetic fibers. The results obtained in physical and thermal testing, with the elements produced, showed that the material has excellent tensile strength and a low thermal conductivity.

This research will serve as a precedent for the development of new materials and building systems, using recycled plastic aggregates in the manufacturing processes. Since it was found the enormous potential, creating new materials, and helping reduce environmental pollution.

"The greatest reward of our work is not what we get paid for it, but what they make us."

John Ruskin

2 ■ INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe la hipótesis en que se basa la investigación de tesis, relacionada a la producción de nuevos materiales constructivos empleando materiales reciclados, así como la justificación por la elección del tema y los objetivos tanto generales como particulares.

El objetivo general que da nombre a la tesis fue: “desarrollar un nuevo material elaborado con plásticos reciclados elaborado con plásticos reciclados y reforzado con fibras naturales y/o sintéticas”. Los objetivos secundarios se tomaron como guías para el desarrollo del proceso experimental.

“No existen más que dos reglas para escribir, tener algo que decir y decirlo”.

Oscar Wilde

HIPÓTESIS

Esta investigación surgió del interés por dar respuesta a una pregunta, que se convertiría en la hipótesis inicial de la Tesis:

¿Es posible utilizar caucho reciclado de neumáticos fuera de uso, como un material de agregado, para desarrollar nuevos materiales constructivos, con valor añadido?

Esta inquietud, generó muchas interrogantes sobre este tipo materiales, que se fueron respondiendo poco a poco mientras se conocían más a fondo sus propiedades, características, procesos de elaboración y reciclaje, así como las posibilidades de reutilización y transformación al término de su ciclo de vida.

Para dar solución a esta hipótesis se estableció un objetivo general y varios objetivos particulares, con los que se obtuvieron las herramientas necesarias para desarrollar una metodología y plan de trabajo para la elaboración del nuevo material constructivo.

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta Tesis es:

Desarrollar un elemento constructivo de fachada, de tipo no estructural, con buena resistencia térmica y mecánica, utilizando caucho reciclado de neumáticos fuera de uso, para su elaboración

Para poder cumplir con este objetivo se trazó un plan de acción mediante los siguientes objetivos particulares:

1. Conocer las propiedades y características de los plásticos.
2. Analizar datos estadísticos sobre producción, consumo y reciclaje del plástico.
3. Analizar la normativa europea y española de gestión de residuos plásticos.
4. Analizar las propiedades y características de los materiales constructivos elaborados con plásticos reciclados.
5. Selección de los materiales, método de transformación y refuerzos para elaborar un material constructivo de fachada.
6. Elaboración y optimización de un elemento constructivo de fachada.
7. Caracterización del material producido, conociendo sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS

MATERIALES DE DESECHO

A nivel mundial el problema de contaminación ambiental se ha incrementado considerable durante los últimos cincuenta años, agravado por una crisis energética (escases de hidrocarburos) y una crisis financiera.

La sostenibilidad medio ambiental y financiera es hoy en día uno de los principales objetivos de la mayoría de los gobiernos en el mundo. Con el continuo incremento de los combustibles fósiles y la dependencia de ellos para lograr un desarrollo industrial y económico, se han desarrollado nuevas alternativas para disminuir esa dependencia energética, utilizando materiales de desecho como una buena opción ya que poseen (debido a su transformación inicial), propiedades y características que pueden ser aprovechadas en su reutilización.

El uso de materiales reciclados como materia prima en el desarrollo de nuevos materiales y elementos constructivos ha sido la base con la que se fundamenta y justifica esta Tesis, buscando dar una pequeña aportación para la reducción del problema ambiental y por otro lado contribuir al ahorro energético aprovechando las propiedades de los plásticos, generando así las bases para el desarrollo de nuevos materiales con altas prestaciones.

El plástico es uno de los materiales con mayor impacto en las estadísticas de contaminación. Son elaborados a partir de combustibles fósiles, recursos no renovables, que desde su producción conlleva emisiones de gases. Al final de su ciclo de vida terminan generalmente enterrados en vertederos o expuestos a una larga degradación producida por el medio ambiente. A continuación se exponen datos de interés sobre los plásticos:

- La producción mundial de plásticos en 2007 fue de más de 260 millones de toneladas, siendo históricamente el año con mayor producción de residuos.
- En Europa durante el 2009 se tuvo una producción de plásticos de 55 millones de toneladas, de esta cantidad 11.2 millones fueron usados como recuperación energética y 13.1 fueron reciclados. Teniendo que, solo el 23.81% del total de plásticos producidos en Europa fueron reciclados, representando un grave problema en términos de contaminación a mediano plazo.
- Los residuos de caucho de neumáticos para el año 2010, fueron estimados en 200 millones de neumáticos (aprox. 5.2 millones de ton.) en un solo país, China ([1] Xingfu Li et al 2010). Al final de su ciclo de vida, este material produce una cantidad de 35 kg/ton de gas y material tóxico cuando terminan enterrados en vertederos, lo que equivaldría a un total de 182 mil toneladas de gases tóxicos por año.

- Si al final del ciclo de vida se empleara cada tonelada de residuos de neumáticos como remplazo de combustible (carbón) en industrias cementeras, se reducirían hasta 613 kg de GEI equivalentes a emisiones de CO₂. ([2] PEMRG 2011).
- Se tiene que en la actualidad, el consumo de energía de los edificios representa cerca del 40% de la energía total consumida en la UE. Pudiendo disminuir este porcentaje, mediante el desarrollo nuevos materiales constructivos, con buenas propiedades de absorción térmica y acústica, utilizando materiales reciclados para su elaboración.

La gestión, manejo y reciclaje de residuos, son aspectos claves para dar solución al problema de residuos plásticos. La reutilización de estos materiales representa un ahorro económico y un valor añadido, sacando provecho de las propiedades y características que estos productos poseen desde su transformación inicial. Por otro lado el reciclaje representa una oportunidad de negocio ya que en la mayoría de los países no se tiene una infraestructura para hacerlo.

La mejora de los procesos de reciclaje puede generar un desarrollo tecnológico y social en la manera de ver, utilizar, reciclar y reutilizar los plásticos.

PRODUCTOS DE PLÁSTICO RECICLADO

Para solucionar los problemas de contaminación ocasionada por los plásticos, se han desarrollado nuevos productos a partir de estos materiales, principalmente:

- Señalizaciones. Balizas, guardafangos, durmientes, etc.
- Equipamiento urbano. Papeleras, andadores, mamparas, suelos, etc.

Sin embargo en la última década, se han optimizado las propiedades de estos productos, generando inclusive, materiales con capacidades estructurales y elementos constructivos de cerramiento. Esto se debe al análisis y comprensión de estos materiales, que ha derivado en el aprovechamiento de las propiedades que por su composición poseen, permitiendo elaborar nuevos productos con mejores características.

El objetivo en el uso de materiales de desecho en el futuro está claro: se deben desarrollar y mejorar las infraestructuras y tecnologías para reducir la contaminación generada en los vertederos, incrementar los proyectos y sistemas constructivos que utilicen este tipo de materiales y trabajar por la obtención de un sistema capaz de obtener un ciclo de vida de sin residuos.

3 ■ ANTECEDENTES.

En este capítulo se desarrolla un análisis de las propiedades y características de los plásticos, en donde se define:

¿Qué es un plástico? Empezando por su descripción literaria, ya que no es posible desarrollar nada sin una correcta comprensión de los materiales con los que se trabaja.

¿Cuáles son sus características? Las propiedades que poseen, las tipologías o familias de plásticos, los procesos de transformación con los que se elaboran, métodos de reciclaje y estadísticas de consumo a nivel europeo y mundial.

Una vez establecido el ¿Qué? y ¿Cómo? de los plásticos, se revisan las posibles aplicaciones de este material, una vez reciclado.

“No se puede creer lo que no se entiende”

- P. Abablard

3.1 DEFINICIONES

¿Qué es un Plástico?

Según la Real Academia Española de la lengua ([3] R.A.E.), un plástico se define como:

Dicho de un material, que, mediante una compresión más o menos prolongada puede cambiar de forma y conservar ésta de modo permanente, a diferencia de los cuerpos elásticos.

Dicho de ciertos materiales sintéticos que pueden moldearse fácilmente y en cuya composición entran principalmente derivados de la celulosa, proteínas y resinas.

Por otro lado, la Enciclopedia Espasa define al plástico como:

El término plástico procede del griego “plastikos” y se refiere a la propiedad de un cuerpo fácilmente deformable y, por tanto, moldeable.

Término que se aplica a la sustancia sintética constituida por una estructura polimérica y caracterizada por presentar un comportamiento plástico.

García Santos los define como ([4] García Santos 2007)

“Materiales plásticos son aquellos que durante su existencia han pasado por estados de deformidad denominados comúnmente estados plásticos. Esta denominación engloba una gran cantidad de materiales que comparten estas características aunque posean propiedades y procesos de fabricación distintos.”

Conclusión sobre definiciones.

Podemos definir a un plástico como un material de procedencia normalmente sintética, constituido por polímeros, que puede ser deformable y moldeable, y que en algún momento de su fabricación o existencia ha pasado por estados de gran deformabilidad denominados estados plásticos. Englobando una gran cantidad de materiales que comparten estas características aunque posean propiedades y procesos distintos de transformación.

3.2 HISTORIA DE LOS PLÁSTICOS

Brixton Alexander Parkes es considerado el primer inventor del plástico semi sintético. Su producto fue elaborado mediante el uso del nitrato de celulosa a finales de 1850 y era conocido comúnmente como Parkesita o Xylonite (en España se llamó fibra vulcanizada). Se utilizó para la fabricación de mangos de cuchillos, collares y diversos utensilios.

Décadas más tarde, en 1870 el estadounidense Jhon Wesley Hyatt creó el “celuloide” que se elaboraba disolviendo celulosa (hidrato del carbono obtenido de las plantas), en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar piezas dentales, armazones de lentes y película cinematográfica. Sin el celuloide no hubiera sido posible el desarrollo de la industria cinematográfica a fines del siglo XIX. Las propiedades de éste material, le permiten ser ablandado y moldeado en repetidas ocasiones mediante calor, por lo que recibe el calificativo de ser un material termoplástico ([5] CEP 1991).

En 1907 Leo Baekeland inventó la baquelita, el primer plástico calificado como termoestable. La baquelita (un producto de fenol y formaldehído) fue el primer plástico sintético patentado; es aislante y resistente al agua, a sustancias ácidas y al calor moderado. Debido a estas características se extendió rápidamente a numerosos objetos de uso doméstico y componentes eléctricos de uso general ([6] Plastic Europe 2010).

En 1912, Fritz Klatte descubrió los principios básicos para elaborar industrialmente el Policloruro de Vinilo (PVC). Fritz también descubrió el Acetato de polivinilo (PVA) y recibió una patente por su fabricación mediante Gas de Acetileno, para su uso en pinturas de látex, lacas y rollos de películas. Asimismo descubrió el Polivinil Butiral (PVB) usado en para la elaboración de cristales laminados de seguridad.

En 1922 Herman Staudinger ([7]) propuso que los plásticos estaban formados por grandes moléculas unidas entre sí, las cuales llamó “macromoléculas”. Inicialmente, su idea fue rebatida por las autoridades científicas, pero finalmente después de varias investigaciones comprobó su teoría demostrando cómo pequeños átomos forman cadenas estructurales a los que denominó “polímeros”. Este estudio le valió para ganar el premio Nobel de Química ya que con su trabajo se crearon las bases de la Química de polímeros y se convirtió en el precursor de la industria de plásticos moderna.

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos, alentó a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. En la década de 1930, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE). En esta década, se crea el Politetra-fluoretileno (PTFE), conocido popularmente como

teflón y usado para rodillos y sartenes antiadherentes. También en 1930 se descubrió el poliestireno (PS), un material transparente comúnmente utilizado para la elaboración de vasos, y el poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, usado básicamente para embalaje y aislante térmico.

Durante la misma década Wallace Carothers crea la primera fibra artificial de Nylon. A partir de que dos sustancias químicas como el hexametildiamina y ácido adípico que forman un polímero que bombeado a través de agujeros y estirados era capaz de formar hilos que podían tejerse. El primer uso fue para la fabricación de paracaídas empleados en las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al Nylon le siguieron otras fibras sintéticas como el Orlón y el Acrilán.

Durante la década de 1950 aparece el polipropileno (PP) al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se perfeccionó la producción del cloruro de polivinilo (PVC), otorgando al material una mejor resistencia química y a la intemperie.

En las últimas décadas se ha desarrollado y vertiginosamente el uso del Polietileno Tereftalato (PET), material que ha desplazado de manera considerable a los productos de vidrio y de PVC en el mercado de envases.

Un producto más reciente y empleado en la fabricación de cubiertas es el Etileno Tetrafluoro Etileno (EFTE) que es un material con excelentes propiedades térmicas, químicas y eléctricas con una resistencia elevada al corte y a la abrasión. Puede estar compuesto por una o más láminas, aunque de manera generalizada, se comercializa en una presentación de dos láminas unidas por sus extremos pero sin unión alguna en su interior, con lo que se obtienen una especie de “colchones” que forman una estructura estable, transparente, resistente y duradera, además de un excelente aislamiento térmico y acústico. Como característica principal, el EFTE tiene una elevada permeabilidad a la radiación UV, por lo que es utilizado para las cubiertas de invernaderos, piscinas y recientemente también como cubierta de fachadas en edificios ecológicos.

Los plásticos utilizados en la construcción son tan diversos como la función que desempeñan. A modo de ejemplo tenemos: los adhesivos, las pinturas, la mayor parte de los laminados, los interruptores, los barnices, las bañeras, los armazones de los ordenadores, incluso parte de los tejidos son sintéticos. Estos materiales tienen una doble función: se utiliza como elemento constructivo, o como revestimiento.

Conclusión sobre historia de los plásticos.

Los plásticos fueron obtenidos inicialmente mediante materiales orgánicos como la celulosa y el hidrato de carbono (celuloide).

Su desarrollo originó un gran cambio en la forma de producción y manejo de productos durante el siglo XX, haciendo muy difícil concebir actualmente, un mundo sin plásticos ya que juegan un papel trascendental en áreas tan importantes como la medicina y la industria automotriz en donde la utilización de este material es fundamental al momento de salvar vidas.

La producción de plásticos y la diversificación de su uso en el mundo, hacen prever que esto seguirá en aumento, siendo necesaria una planificación en el manejo, control y reutilización de sus residuos.

3.3 COMPOSICIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Los plásticos se han definido como un compuesto elaborado a partir de un polímero sintético, al que se puede añadir todo tipo de modificadores de propiedades y cargas.

3.3.1 POLÍMEROS

El polímero es la unión de cadenas moleculares formadas por monómeros. La clasificación de estos materiales depende del tipo de monómero, que define las propiedades de resistencia y apariencia específica para cada caso.

Se clasifican dependiendo del origen de los monómeros, pudiendo ser de origen:

Orgánicos: Son polímeros elaborados con monómeros de origen natural como, por ejemplo, la celulosa y la caseína.

Sintéticos: Son aquellos polímeros elaborados artificialmente, con base en el petróleo, poseen una cadena molecular más larga y presentan mayores ventajas sobre los polímeros obtenidos de materias naturales.

En un inicio la materia prima utilizada para la obtención de los plásticos era de origen vegetal, provenientes del algodón, las avellanas o del almidón. Hoy en día la mayoría, de las materias primas para la producción de plásticos, se obtienen a partir del petróleo crudo o el gas natural (etileno, butadieno y propileno) mediante procesos químicos. Sin embargo, el porcentaje utilizado de petróleo y gas natural para la fabricación de plásticos es solamente el 1,5 ó 2% del total del consumo anual de los mismos.

A estas cadenas de monómeros se añaden componentes secundarios denominados modificantes (estabilizadores, espumantes, plastificantes, lubricantes, etc.) y cargas, cuyo fin es abaratar el producto ([8] García Santos 2001).

Dentro de la población existe una falta de conocimiento en la denominación del material ya que está supeditada a su componente base, por ejemplo: un PVC (Cloruro de polivinilo) está formado por un polímero de PVC con modificadores y cargas, no está compuesto totalmente de polímero puro, ya que su costo sería excesivamente alto. Esto ha generado una idea de que los plásticos por regla son de mala calidad con respecto a otros materiales más conocidos y trabajados en la industria.

3.3.2 ESTRUCTURA DE LOS POLÍMEROS.

Los polímeros están formados por monómeros, que son varios átomos normalmente de carbono y/o silicio, que unidos entre sí, por medio de enlaces covalentes, forman cadenas moleculares (macromoléculas).

Monómeros: Los monómeros presentan características específicas que los definen como elementos inestables, ya que poseen enlaces covalentes duplicados o triplicados (denominados bifuncionales o trifuncionales). Debido a estas características electrostáticas similares, sus enlaces están sometidos a

una repulsión muy fuerte, llegando a formar ángulos de $109,5^\circ$ entre ellos. La repulsión de las nubes electrónicas provoca la ruptura de los enlaces compartidos, liberando electrones de valencia y posibilitando la unión con los elementos que se encuentren más próximos y en situación analógica. A este proceso se denomina polimerización y da lugar a las cadenas moleculares, cuya delimitación depende más de las condiciones formales del molde que de las características del enlace en sí.

La longitud de las macromoléculas diferencia a los polímeros naturales de los sintéticos ya que los primeros tienen una menor longitud.

Macromoléculas: El tipo de cadena molecular puede ser de tipo lineal o espacial e influye decisivamente en las propiedades del polímero, siendo el responsable de la existencia de dos grandes grupos de polímeros sintéticos llamados: termoplásticos y termoestables.

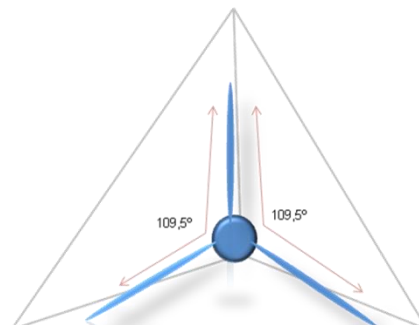


Figura 01. Enlaces covalentes en los monómeros de $109,5^\circ$. Fuente Propia

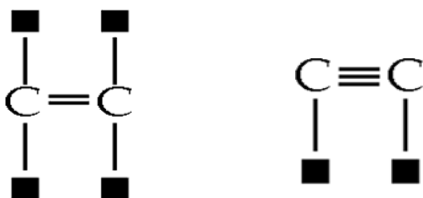


Figura 02. Monómeros simples; bifuncionales y trifuncionales (izq. y der. respectivamente) F.P.

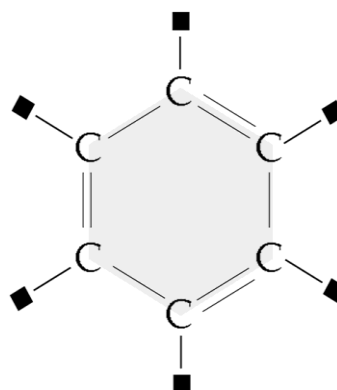


Figura 03. Ejemplo de monómero bifuncional complejo. Fuente Propia

La existencia de enlaces dobles o triples, de los diferentes tipos de monómeros y de las características específicas de cada uno de estos, da lugar a diferentes tipos de macromoléculas, pudiendo ser lineales cuando los monómeros presentan enlaces bifuncionales dobles, o espaciales en el caso de enlaces bifuncionales complejos o trifuncionales.

3.3.3 TIPOLOGÍA DE LOS POLÍMEROS.

Los plásticos pueden ser clasificados dependiendo de su origen, estructura molecular, comportamiento al calor, etc. Dependiendo del tipo de cadena molecular o macromolécula se pueden obtener diversas cualidades en los plásticos, ya que el tipo de cadena, influye decisivamente en las propiedades del polímero. Para el presente estudio clasificaremos los plásticos por su composición molecular y comportamiento al calor, en tres tipos:

- **Termoplásticos**
- **Termoestables**
- **Termoendurecidos.**

a) Termoplásticos.

Tiene una cadena molecular de tipo lineal y se obtiene uniendo monómeros simples mediante un “**proceso de adición**”. Estos plásticos son fácilmente reciclables debido a que se funden cuando se calientan y por tanto, se pueden moldear repetidas veces sin que sus propiedades originales se alteren demasiado.

Ejemplos: Celulósicos, Vinílicos, Etilénicos, Estirénicos, Acetales, Acrílicos, Carbonatos y Fluorados.

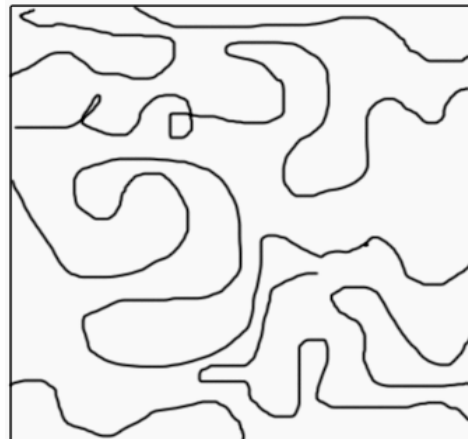


Figura 04. Estructura lineal de un polímero termoplástico obtenido mediante un proceso de adición. (F.P.)

b) Termoestables.

Polímeros sintéticos que están formados por moléculas espaciales que surgen de la unión de monómeros complejos mediante un “**proceso de condensación**” el cuál, consiste en la presencia de vapor de agua en el polímero obtenido producido por la presencia de grupos OH en los monómeros. Los plásticos con esta tipología son difíciles de reciclar ya que están formados por cadenas con enlaces transversales que hacen necesaria la destrucción de su estructura molecular para poder fundirlos y esto conlleva a una alteración grave de sus propiedades originales.

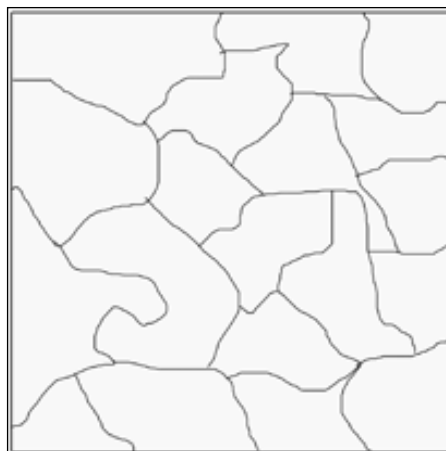


Figura 05. Estructura espacial de un polímero termoestable obtenido mediante un proceso de condensación. (F.P.)

Ejemplos: Fenoplastos, Aminoplastos, Resinas Sintéticas y Epóxicos.

Ante el aumento de la temperatura estos polímeros reaccionan de manera distinta, ya que mientras los termoplásticos al aumentar su temperatura presentan estados de deformación previos a la carbonización, los termoestables no presentan deformaciones viscosas previas a la carbonización, y por tanto, tienen más dureza superficial y son más estables.

c) Termoendurecidos.

Este tipo de polímeros presenta un estado intermedio entre los anteriores, y se obtiene por conversión de termoplásticos en termoestables mediante la adición de catalizadores que provocan el entrelazamiento de las macromoléculas. Después de la formación de las macromoléculas de polímeros y antes de formar el volumen sólido, encontramos distintas formas de reacción de las moléculas entre sí.

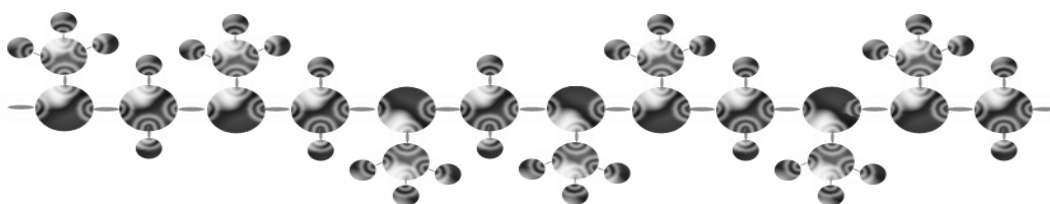
Cabe mencionar que en la actualidad es posible elaborar plásticos a partir de polímeros degradables obtenidos por medio de elementos renovables como el azúcar, maíz, patatas, etc. Estos polímeros se forman de monómeros de carbono e hidrógeno, y aunque de momento, estos polímeros tienen una función limitada, pueden encontrarse en distintos materiales como: sacos para compostas, acolchado para uso agrícola, envases y embalajes para hostelería y cirugía por mencionar algunos. Se prevé que en un futuro se utilizarán diferentes materias primas para la elaboración de plásticos, como la biomasa o cualquier otra fuente de carbono.

indiferentes al posicionamiento angular entre cada par de átomos. Esta posibilidad de rotación de cada pareja de átomos produce modificaciones en la forma de las moléculas lineales, siempre que la temperatura sea suficientemente elevada para permitir su movilidad. En los polímeros espaciales, dado el nivel de interrelación tridimensional existente, se encuentra impedida esta libertad de movimiento ([9] García Santos 2001).

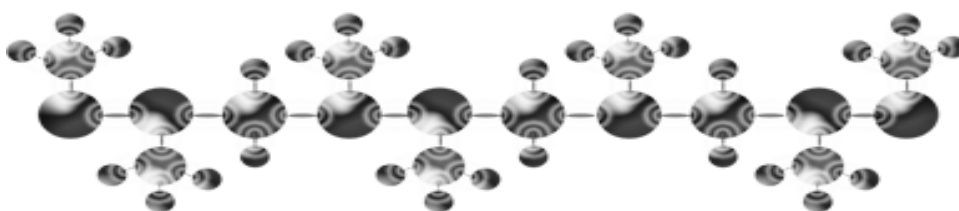
Configuración de los polímeros: Se basa en la posibilidad de rotación de los grupos laterales de las cadenas moleculares (macromoléculas) ayudados por la libertad de los enlaces entre carbonos (siempre y cuando los grupos laterales sean diferentes), y pueden presentarse diferentes tipos de ordenaciones. Esta configuración final influirá en el tipo de macroestructura de los polímeros, produciendo estados paracristalinos condicionados.

Podemos encontrar tres tipos distintos que corresponden a una misma fórmula estructural pero que son básicamente distintos:

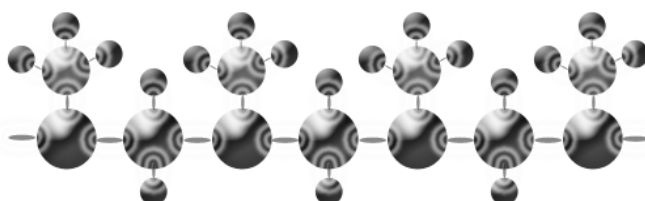
- Polímeros atácticos (sin orden)



- Polímeros sindiotácticos (con orden alternante)



- Polímeros isotácticos (con orden estricto)



Pudiendo coexistir estas tres configuraciones en una misma cadena molecular. Las propiedades mecánicas, térmicas o en disolución del material, son totalmente distintas dependiendo de la tacticidad.

La repulsión electrostática de estos grupos entre sí está relacionada con su electronegatividad; ésta a su vez se relaciona con el tamaño de los grupos laterales, lo cual puede provocar cambios en su estructura siempre que exista una temperatura suficiente para permitir su movilidad, afectando al comportamiento mecánico de la cadena y a su posible cristalinidad.

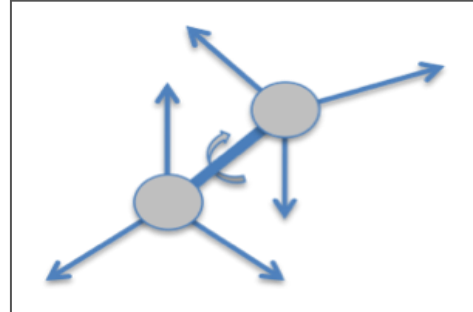


Figura 06. Rotación dimensional moléculas.
(Fuente Propia.)

Estados poliméricos: Los estados en que podemos encontrar a los polímeros son; estructura amorfa, estructura cristalina y estructura elastomérica, que dependen tanto de las características básicas de los monómeros como de los grupos laterales existentes y de la polaridad de ellos.

a) Estructura amorfa; es la más usual en los polímeros y se caracteriza por no poseer orden entre las cadenas poliméricas, teniendo siempre una organización al azar.

i) Termoplásticos: En estos polímeros la configuración del sólido surge por enredamiento físico de las cadenas, que aumentará cuando mayor sea; su peso molecular, la diferencia en el tamaño de los grupos laterales y el número de ramificaciones. Al no poseer estructura, este sistema carece de defectos y posibilita la creación de un sólido sin vacancias ni porosidades internas, pudiendo ser transparente al no existir elementos internos que distorsionen el paso de la luz por refracciones o reflexiones (ejemplo envases de botellas).

ii) Termoestables: Estos polímeros también pertenecen a los sólidos de estructura amorfa, diferenciándose de los anteriores en que solo pueden estar en estado líquido o viscoso una vez durante el proceso de fabricación y no pueden volver a ese estado. Ésta especificidad molecular es responsable de la rigidez de este material, sin que la temperatura influya sobre ésta.

- b) Estructura cristalina;** Lleva aparejados grandes aumentos de volumen que son únicamente posibles mediante cambios muy lentos de estado. Existe la posibilidad de que las macromoléculas se posicionen de modo paralelo entre sí, creándose zonas de comportamiento anisótropo, es decir zonas paracristalinas; estas zonas en el momento en que reciben una tensión en el sentido perpendicular al sentido de las fibras, no son capaces de resistirlas, acumulando tensión en los extremos de las zonas ordenadas y produciendo la rotura del material.

Existen otras fuerzas secundarias, causadas por las cargas electrostáticas de los grupos laterales, las cuales minimizan la energía del sistema global cuando están en equilibrio. En caso de grupos laterales idénticos, la minimización sucederá cuando exista una equidistancia entre las moléculas; por lo tanto existirá una tendencia a localizarse de modo paralelo en las moléculas simples y en aquellas moléculas que posean grupos laterales diferentes, siempre que adquieran estructuras sindiotácticos.

El principio de mínima energía es el responsable de las posibles ordenaciones estructurales, diferenciándolas en dos grupos: las que son propias de las moléculas y las existentes entre ellas. Mientras que el estado amorfo es isótropo, es decir presenta idénticas propiedades independientemente de la dirección de la cual se hace la medición, los sólidos cristalinos son en general, anisótropos, presentando diferentes propiedades según se realice la medición en dirección paralela o perpendicular a algunos de los ejes del cristal formado ([10] Areizaga 2001).

- c) Estructura Elastomérica:** Se refiere al comportamiento elástico de los monómeros en la formación de polímeros. Cada uno de los monómeros que se unen para formar el polímero está compuesto de carbono, hidrógeno, oxígeno y/o silicio. Los elastómeros son polímeros amorfos que tienen una considerable capacidad de deformación. El término proviene de “polímero elástico” también conocido como goma. A temperatura ambiente las gomas son relativamente blandas (E-3MPa) y deformables.

La mayoría de los sólidos orgánicos e inorgánicos se encuentran en estado cristalino. Los átomos, las moléculas y los iones están dispuestos en redes cristalinas de formas y tamaños variados, dependiendo de las fuerzas que consolidan dichas estructuras. Al subir la temperatura se produce un proceso de fusión, en el que la estructura se desmorona por

completo, y el material pasa al estado líquido a una temperatura denominada temperatura de fusión.

Influencia de la Temperatura: Dependiendo del tipo de polímero, tendrá un comportamiento distinto al contacto con el fuego. Algunos de ellos pueden manifestar estados viscosos y deformarse (termoplásticos) antes de carbonizar. Asimismo la temperatura incide directamente sobre su módulo de elasticidad, pudiendo no coincidir en algunos casos la fase del polímero denominada transición vítrea, con la temperatura ambiente, complicando que esta fase pueda llevarse a cabo.

Influencia de la Cristalinidad: La cristalinidad laminar provoca la disminución de las resistencias mecánicas, ya que en sentido perpendicular a la directriz de las moléculas sólo se oponen valores de cohesión interna de tipo secundario. Además de una pérdida de transparencia luminosa de la masa del polímero, ya que las difracciones y reflexiones preferentes ante diferentes incidencias, producen interferencias internas. La cristalinidad puede evitarse; reduciendo los tiempos de relajación en los procesos de fabricación, con el inconveniente de producir incrementos de tensiones internas no equilibradas, o produciendo interferencias estéricas que dificulten la movilidad interna. Estas interferencias se producen complicando la estructura de las cadenas moleculares, incluyendo grupos laterales muy diferenciados con configuraciones atácticas, o generando copolímeros de monómeros muy diferenciados ([11] García Santos 2001).

Influencia del Peso Molecular: El aumento de peso en las moléculas dificulta el deslizamiento de éstas distribuyendo las tensiones internas y produciendo una disminución de los efectos visco elásticos. De modo genérico, podemos decir que el peso molecular conlleva un aumento de la resistencia a la rotura por tracción, resistencia a la fisuración, aumento de las tensiones residuales, de la resistencia a la fluencia y una reducción de la posibilidad de transformación.

Conclusiones de la composición de los plásticos.

Un polímero es la unión de varias moléculas llamadas monómeros. Estos pueden ser derivados de origen orgánico o sintético. La mayoría de los plásticos están constituidos por polímero sintéticos al que se le añaden más componentes y cargas. El elemento clave de los plásticos son estos polímeros, ya que ellos dan las características finales del producto y nos definirán la viabilidad de su posterior reciclaje una vez desechados.

- *Los plásticos están formados por polímeros sintéticos, modificadores y cargas.*
- *A su vez los Polímeros sintéticos han sido generados a base de monómeros.*
- *Los monómeros están compuestos por varios átomos (pueden ser de origen orgánico o sintéticos) que unidos entre sí forman cadenas moleculares (macromoléculas).*
- *Estas macromoléculas pueden ser de tipo lineal o espacial afectando en el comportamiento elástico así como en la dureza superficial del plástico obtenido.*
- *Dependiendo del origen de los plásticos, o de sus monómeros, se puede definir el método a emplear para su reutilización, reciclaje o eliminación.*

Se hizo una clasificación de los plásticos por su composición molecular y por su comportamiento al calor, englobándolos en las siguientes tres tipologías:

Termoplásticos: *de cadenas lineales, con monómeros simples unidos por métodos de adición y fácilmente reciclables.*

Termoestables: *de cadenas espaciales unidas por métodos de condensación, no presentan deformación antes de su carbonización, tienen mejor dureza superficial y son difíciles de reciclar debido a que se necesitan destruir sus estructuras moleculares.*

Termoendurecidos: *es una conversión de un termoplástico en termoestable debido al entrelazamiento de las macromoléculas.*

La composición de los plásticos nos da información importante para elegir su método de reciclaje, reutilización o eliminación. Esta información nos será de utilidad para comprender en los siguientes capítulos el comportamiento de los plásticos en el desarrollo de nuevos materiales y productos.

Los indicadores para estructurar a los polímeros sintéticos dependiendo de su estructuración se dividen en:

- **Constitución:** Pudiendo ser Homopolímero, Copolímero o Polímero ramificado.
- **Conformación:** Depende del monómero que lo conforma, tenemos que a mayor longitud de las cadenas se obtiene una mejor resistencia mecánica. A mayor número de monómeros mayor resistencia. Lo mismo que a mayor peso molecular mejor resistencia a la transformación.
- **Configuración:** Estructura Amorfa, Estructura Cristalina y Estructura Elastomérica. La configuración depende del tipo de monómero, así como de sus grupos laterales y la polaridad que existe entre ellos.

La **cristalinidad** depende de la espacialidad de los enlaces, presentando diferentes comportamientos influenciados por la temperatura, pudiendo tener importantes variaciones en el exterior. Los cambios de temperatura inciden en el módulo de elasticidad del polímero pudiendo deformarlo, acentuándose más en el caso de los termoplásticos. Los termoplásticos carecen de defectos, lo que hace posible obtener un sólido sin vacancias, pudiendo ser transparente si se desea. Por otro lado los termoestables son más rígidos sin presentar estados cristalinos (después de ser transformados) ni viscosos, pero presentan rotura frágil.

Conociendo la constitución de los polímeros, podemos conocer sus propiedades tanto físicas y mecánicas. Los cambios de temperatura inciden en el módulo de elasticidad del polímero pudiendo deformarlo, acentuándose más en el caso de los termoplásticos. Al aumentar la temperatura se afecta el módulo de transición vítrea, especialmente en los termoplásticos, pudiendo manifestar estados viscosos y deformarse antes de llegar a la carbonización. A mayor peso de las moléculas, disminuyen los efectos visco-elásticos y aumenta la resistencia a la rotura por tracción, fisuración, a las tensiones residuales, aumentando su resistencia a la fluencia y reduciendo la posibilidad de modificar su forma.

3.4 PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS

Propiedades Generales de los Polímeros

Las propiedades de los polímeros pueden ser modificadas dependiendo de sus posibilidades estructurales (tanto moleculares como macromoleculares), así como la influencia de las diversas cargas, y aditivos que contengan ([12] García Santos 2001).

I. *Propiedades Físicas*

Densidad: Generalmente baja, entre 1 y 1,8 g/cm³, siendo menor en los polímeros termoplásticos que en los termoestables, y estando directamente relacionada con los procesos de fabricación.

II. *Propiedades Mecánicas*

Dureza Superficial: Está relacionada con la estructura macromolecular, generalmente baja, siendo inferior en los polímeros termoplásticos

Resistencia: Está relacionada con la estructura macromolecular, presentando grandes variaciones entre ellas, siendo más resistentes las de constitución copolímera así como las estructuras macromoleculares adaptadas en su forma, a la función a desarrollar.

Rigidez: Los polímeros termoestables presentan altos valores de rigidez. Por otro lado en los termoplásticos la influencia de la temperatura y el efecto del tiempo, son puntos importantes con relación a su temperatura de transición.

III. *Propiedades Higrotérmicas.*

Dilatación: Son mayores las deformaciones por dilatación en los termoplásticos. Los polímeros termoestables tienen deformaciones menos acentuadas, pareciéndose a los termoplásticos en su estado vídrio.

Aislamiento Térmico: Termoplásticos y Termoestables presentan un buen aislamiento térmico, el cual está relacionado con su baja densidad.

Temperaturas de Utilización: Tienen una gran variación, siendo necesario el conocer sus límites en los polímeros termoplásticos. Generalmente estos no cristalizan, tienen proporciones estructurales amorfas y pueden ser utilizados por debajo de su transición vítrea. En los termoestables, el margen es más elevado, teniendo como límite superior el estado de carbonización.

Comportamiento ante el fuego: Todos los polímeros sintéticos se carbonizan. Los termoplásticos pasan antes por estados viscosos, mientras que los

termoestables llegan a carbonizar de forma directa pero a temperaturas más elevadas.

Permeabilidad: Todos los polímeros son impermeables, debido a la ausencia de porosidad interna de la estructura polimérica.

IV. Propiedades Óptico-Visuales

Transmisión de Luz: Depende del grado molecular y de la existencia de vacancias, inclusiones, etc. Aumentando su transmisión de luz, con el incremento de las vacancias, reduciendo las zonas que puedan producir reflexiones y difracciones de la luz.

Refracción: Varía en función de su estructura interna, en general es parecida a la del vidrio.

V. Aditivos

Otras propiedades se pueden obtener de forma suministrada, mediante aditivos. Esto es posible debido a que la estructura amorfa de los plásticos funciona como enlace molecular, que puede ser utilizado como un medio de fijación.

Los aditivos los clasificamos de la siguiente forma:

- estabilizantes
- colorantes
- endurecedores
- espumantes
- ignífugantes
- plastificantes
- lubricantes
- abrillantadores
- pigmentos
- fluorescentes
- desmoldantes
- catalizadores
- activadores.

Los aditivos ignífugantes, (sustancias auto extingüibles), son materiales que arden únicamente mientras se les aplica la llama. Son por lo general derivados de halógenos u óxidos de antimonio.

Conclusiones de propiedades de los polímeros.

En este punto encontramos datos interesantes para comprender mejor a los plásticos a través de su principal componente; los polímeros. Estos tienen una baja densidad que oscila entre los 1,0 y 1,8 gr/cm³, además de una baja dureza superficial siendo menor en los termoplásticos. Los materiales adaptados en su forma al trabajo que van a desempeñar cuentan con una mayor resistencia al igual que los polímeros compuestos por varios monómeros o dicho de otra forma, de macromoléculas grandes.

Los polímeros termoestables son más rígidos y por el contrario en los termoplásticos la temperatura y el tiempo afectan su temperatura de transición (pueden ser maleables en contacto con el calor). Los plásticos en general tienen un buen aislamiento debido a la baja densidad de los polímeros (tanto termoplásticos como termoestables).

También encontramos otra característica y es que todos los polímeros son impermeables. En cuanto a su comportamiento ante el fuego, los termoplásticos pasan por estados viscosos antes de carbonizar, mientras que los termoestables no sufren cambios hasta el momento de su carbonización.

Todos estos datos nos dicen cómo es que se comportan los plásticos, cuáles son sus características y propiedades, facilitando nuestra decisión a la hora de elegir uno u otro para desempeñar un trabajo específico.

Como definición final podemos decir que los plásticos están conformados por; polímeros, cargas muertas (que brindan el peso del material) y aditivos (que les proporcionan características y propiedades distintas), además los aditivos funcionan como enlaces de unión para las cadenas moleculares.

3.4.1 TÉCNICAS DE TRANSFORMACIÓN DEL PLÁSTICO

El término correcto para referirse a las técnicas de elaboración de los plásticos es llamándolo como método de transformación. Los métodos de transformación determinan las propiedades finales del producto ya que durante el proceso de transformación, se eleva la temperatura del polímero, pudiendo ocasionar alteraciones físicas y químicas en el producto final.

Las alteraciones químicas pueden ser originadas por modificaciones constitucionales de las moléculas, provocadas por un exceso de temperatura, de tensiones en el proceso de transferencia y por el uso de aditivos químicos. Estos efectos producen deterioros en la estructura del plástico pudiendo producir roturas inesperadas.

Para la fabricación de cualquier tipo de plástico se utiliza la “granza” ([8] del latín *grandía*; tierra fina R.A.E.), que es el polímero puro al que se añaden todos los tipos de modificadores y cargas en las proporciones que se establecen para cada producto. Las dimensiones de este material oscilan entre los 1,5 a 25 mm.

I. Métodos de transformación

a) Extrusión: Se somete a presión al material fundido para hacerlo pasar a través de una matriz. La materia prima se introduce en forma sólida y dentro de la máquina extrusora se funde y homogeniza con los demás componentes del producto. Este tipo de máquinas constan de las siguientes partes:

1) Entrada o alimentación: es la parte por donde se introducen la granza, cargas y aditivos. En esta zona se calientan las materias y se transportan hacia la siguiente sección.

2) Zona de sometimiento a presión: es la etapa en la que se produce la fusión del polímero, en ausencia de aire. Dependiendo del polímero introducido se tendrá un tipo de fusión distinta (lenta, constante, rápida, etc.)

3) Zona de homogenización o dosificación: en este caso se trata de homogeneizar el material que irá entrando en el dado de forma constante.

4) Dado: es la parte final de la extrusora donde se produce una criba de los materiales que no se hayan fundido, polvo, etc. Aquí se compensa la tendencia que pueda tener el material a torcerse (porque hasta este momento ha pasado por

un tornillo por el que va girando) para que los productos obtenidos no presenten este defecto.

Se pueden conseguir distintos materiales mediante extrusión como; la extrusión de filmes (polietilenos), o de tubos y láminas (PS, ABS, PVC). La termo formación es una técnica utilizada para la obtención de láminas de empaquetado con película tipo burbuja, esta, parte de una lámina de polímero conseguida por extrusión a la que se aplica calor hasta que reblandece, posteriormente se introduce en un molde que se somete a presión para darle forma hasta que se solidifica.

b) Inyección: Se basa en la inyección de material fundido dentro de un molde frío cerrado en donde el material se enfría y solidifica, tomando así la forma deseada. Este proceso consta de dos etapas fundamentales:

1) Plastificación: Consiste en la fusión del material dentro de una especie tornillo que es sometido a presión para evitar que el material retroceda, una vez fundido hacia la entrada.

2) Cierre: Zona en la que se encuentra el molde a baja temperatura, siempre sometido a presión, una vez que la materia fundida se encuentra en su interior. La presión a la que se encuentra el molde depende del tamaño de las piezas finales, cuanto más grandes sean mayor presión.

c) Soplado: Técnica utilizada para la obtención de piezas huecas, como botellas, bidones, etc. Consiste en fundir el material e introducirlo dentro de un molde. A continuación se inyectaría aire en el interior, de forma que el material quede alrededor de las paredes en forma de tubo, hasta que se enfríe el material y adquiera esta forma. La técnica es muy similar a la que utilizaban los maestros vidrieros hace años para producir piezas de vidrio (técnica de soplado de vidrio). Existen dos modalidades principales de soplado:

1) Extrusión-soplado: Es una técnica mixta. Normalmente se trabaja con una extrusión continua ya que permite mayor producción. El material que ha pasado por la extrusión llega con una forma intermedia al molde de soplado, en el que se produce la entrada de aire con el que la materia toma forma y se solidifica por enfriamiento.

2) Inyección-soplado: Ha sido el método más utilizado para la fabricación de botellas de bebida carbonatada, sobre todo de PET. En este caso se trabaja con una preforma del material realizada por inyección dentro de un molde muy frío. A continuación se

calienta la preforma por encima de su punto de transición vítrea y se procede al soplado.

Tanto en el soplado como en la extrusión se pueden fabricar materiales monocapa, bicapa o tricapa en donde se pueden tener dos capas de material virgen y una intermedia de material reciclado.

d) Compresión: Consiste en colocar el material en un molde, y este a su vez en una prensa que se somete a altas presiones para que el material adopte la forma del molde que le contiene. Es una técnica poco utilizada actualmente aunque en los años cuarenta tuvo mucho éxito para la fabricación de discos planos (discos de vinilo), que eran fabricados a partir de un copolímero de cloruro de polivinilo (PVC) negro. Este sistema se utiliza generalmente para la transformación de plásticos termoestables

e) Transferencia: Es un método que se considera una versión mejorada de la técnica de compresión. Consiste en la introducción de materia prima, a gran presión, dentro de molde gracias a un pistón.

f) Calandrado: Consiste en la introducción de materia prima en el interior de una máquina que contiene varios rodillos. La materia se va desplazando entre los huecos que existen entre los rodillos, reduciendo así su espesor. Esta técnica es utilizada para la producción de láminas y películas de un espesor determinado. Suelen tener un acabado de muy buena calidad y se utiliza principalmente con el PVC.

g) Fabricación de Semiacabados: Los semiacabados plásticos son apropiados para una transformación posterior en piezas moldeadas. A las placas y perfiles de materiales termoplásticos puede dárseles forma en uno o varios planos, de manera parecida a como se efectúa en los metales, calentándolos y enfriándolos en estados conformados, como en una embutición. La fabricación de los semiacabados puede ser muy diferente dependiendo del tipo de polímero. Estos procedimientos son utilizados para la obtención de piezas plásticas de muy diversas formas.

h) Espumados: Algunos plásticos pueden transformarse en materias espumosas, formando, siempre que las espumas sean elásticas y blandas, un material de aplicación múltiple en la fabricación de colchones y amortiguamientos, mientras que las espumas duras se utilizan fundamentalmente en aislamientos térmicos, amortiguamientos sonoros, embalajes y como material de relleno en elementos de construcción ligeros.

Conclusiones sobre técnicas de transformación del plástico.

Los métodos de transformación del plástico determinan las propiedades finales del producto, ya que es durante este proceso cuando se eleva la temperatura del material permitiendo modificar sus propiedades físicas y químicas. Los diferentes métodos de transformación, tienen como finalidad la producción de diferentes productos, el conocer estos procesos, nos permiten entender las propiedades del producto terminado, así como los posibles procesos con los que se pueden reciclar, aprovechando sus propiedades físico-químicas al término de su ciclo de vida.

Para el desarrollo de un material procedente del residuo es necesario el conocer el método de transformación por el que ya ha pasado el material, así como las consecuencias de su nueva transformación en el aspecto de pérdida/ganancia de propiedades físico-químicas.

3.4.2 DURABILIDAD DE LOS PLÁSTICOS

El periodo de vida útil de los plásticos, es menor en los fabricados con polímeros termoplásticos que con termoestables. Esto se debe entre otras cosas; a la rotura de las cadenas moleculares producidas por la radiación ultravioleta, la reticulación estructural provocada por la acción del oxígeno, y los cambios en la estructura producidos por la temperatura.

I. Degradación

Entenderemos la degradación como un proceso de deterioro en la estructura del polímero, desencadenado por la acción de factores externos (como el calor, radiaciones, etc.). El conocimiento de los mecanismos y causas de la degradación de los polímeros es necesario para solucionar los problemas de estabilización y la predicción de la duración de los materiales.

Tipos De Degradación

- a) Degradación Térmica:** Su principal agente es el calor. Existen dos tipos de mecanismos; la des-polimerización y las reacciones de modificación de los polímeros portadores de grupos laterales.
- b) Degradación Oxidativa:** se refiere a la oxidación térmica que tiene su origen en el oxígeno, y origina una caída del peso molecular de los polímeros.
- c) Degradación Fotoquímica;** la energía luminosa produce la rotura de algunos enlaces químicos generando una foto degradación mediante una exposición prolongada a una fuente lumínica, especialmente la luz ultravioleta.
- d) Degradación mecano química:** por la acción conjunta del calor y las fuerzas de cizalla producidas por el uso del producto.
- e) Degradación hidrolítica:** Principal agente, la humedad.
- f) Degradación Química:** degradación generalizada por otros agentes o disolventes químicos.
- g) Biodegradación:** Es promovido por las enzimas y puede ser aeróbico o anaeróbica y prevé la eliminación completa del polímero del medio ambiente.
- h) Degradación por radiación** se puede medir por la cantidad de horas de soleamiento o envejecimiento climático. Esta se puede medir en jul/m^2 o en fotones/m^2

Con excepto de la biodegradación, ninguno de los mecanismos mencionados anteriormente brinda una eliminación completa de los polímeros.

Los efectos que provocan la degradación de los polímeros son:

- Modificaciones en las macromoléculas que originan una pérdida de las propiedades mecánicas del material.
- Una reticulación de cadenas (moleculares) y posterior rotura por acumulación de tensiones internas en las zonas reticuladas.
- En general, pérdidas de la flexibilidad y aumentos de fragilidad.

Para prevenir una rápida degradación del material, es necesario protegerlo de los agentes externos que pueden socavar sus propiedades. Esto puede hacerse mediante:

- Un buen diseño geométrico que evite la existencia de zonas con excesos de tensiones.
- Un diseño que sea compatible física, química y mecánicamente con los materiales con los que se encuentre en contacto.
- Un tratamiento superficial que lo proteja de la acción de los agentes externos.
- Una adecuada utilización de los materiales acorde a sus propiedades.

Existen diversas causas que pueden provocar tanto el envejecimiento como la degradación de un plástico. Las principales son aquellas referidas a la forma del producto, su trabajabilidad y los agentes externos. Es necesario recordar que la forma de un plástico incide directamente sobre la durabilidad del elemento. Como agentes externos de degradación, tenemos los siguientes;

- | | |
|------------------------------------|--|
| • Temperatura | • Contacto con otros materiales (cargas y sustratos) |
| • Luz Solar. | • Trabajo. |
| • Oxígeno | • Proceso de Fabricación. |
| • Agentes químicos y/o biológicos. | |

II. Envejecimiento de los plásticos

En el punto anterior se menciona el envejecimiento de los plásticos, estos se dan debido a procesos térmicos y fotooxidativos y pueden ser causados ya sea mediante envejecimiento natural o por envejecimiento artificial o acelerado.

Envejecimiento Natural: ocasionado por factores medioambientales como la intemperie, luz solar, calor, humedad, etc.

Envejecimiento Artificial y Acelerado: esta se da mediante la exposición de los materiales a lugares con una gran concentración de rayos solares, que aceleran el proceso de degradación del material. O en los casos particulares donde se controla el envejecimiento mediante condiciones de exposición cíclica o constante.

Es importante mencionar la diferencia que existe entre la degradación de un plástico y el envejecimiento de este. Ya que con el primero el material deja de tener las funciones y propiedades óptimas para cumplir su función y por lo tanto es considerado como un material de desecho. Mientras que en el envejecimiento, la forma y apariencia del material se transforman, pero se adapta a las funciones para las que fue concebido

III. Efectos de los agentes medio ambientales.

Dependiendo del tipo de medio donde se encuentre un material plástico, este podrá potenciar la degradación o envejecimiento del material. Estos medios pueden ser mediante exposición de rayos solares o ausencia de radiación. Es importante conocer esto para saber cómo se comportarán los diversos tipos de polímeros utilizados y así poder tomar la mejor decisión al momento de elegir alguno.

- a) **Medio ambiente en ausencia de radiación:** los parámetros están definidos por: temperatura, composición atmosférica, presencia de agentes agresivos (vapores), contactos con agentes oxidantes, contactos mecánicos internos y externos.
- b) **Medio ambiente atmosférico con rayos solares:** provocan un envejecimiento climático, y estos están comprendidos por la localización geográfica y la clasificación del clima.

Conclusiones sobre durabilidad de los plásticos.

El conocimiento de los mecanismos y causas de la degradación de los polímeros es necesario para solucionar los problemas de estabilización y la predicción de la duración de los materiales. Los factores climáticos deterioran la estructura de los polímeros, provocando una reticulación por la radiación de los rayos UV (puede medirse en J/m^2 o fotones/m^2) produciendo un envejecimiento natural o artificial-acelerado. El tipo de degradación de los plásticos va ligada a la familia a la que pertenece.

En la actualidad, los defectos en la composición de las cadenas moleculares de los plásticos, son aprovechados para adaptar el material a una forma específica como en el caso de las encimeras de cocina, o para aprovechar la rotura de los enlaces covalentes originada por la radiación solar y de esta manera unir el polímero con los materiales adyacentes obteniendo una mayor fuerza de unión, como en los adhesivos para vidrios.

Los agentes medioambientales que provocan la degradación en los polímeros son la temperatura, la luz solar, el oxígeno, humedad, etc. Los agentes externos son; productos químicos o biológicos, cargas y sustratos por estar en contacto con otros materiales.

Para prevenir la aceleración de degradación del material se necesita de un buen diseño geométrico, compatible con los materiales con que se encuentre en contacto, además de un tratamiento superficial, y que su uso y forma vayan acordes con los materiales y la función que va a desarrollar.

3.5 POLÍMEROS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN ([14] García Santos 2007).

Celulósicos (termoplásticos)
Densidad: 1.1 - 1,3 g/cm ³
Tipos
Acetato de celulosa -celofán- (CA) Nitrato de celulosa -celuloide- (CN) Acetato de butirato de celulosa -tenita- (CAB) Etil celulosa (EC) Acetato propionato de celulosa (CAP) Carboximetil celulosa (CMC) Propionato de celulosa (CP)
Ventajas
Muy buena tenacidad y rigidez. Buenas propiedades ópticas. Resistencia a la intemperie Moldeabilidad y estabilidad dimensional. Costo medio. Acabados lisos y brillantes. Puede colorearse, tanto transparentes como opacos.
Limitaciones
Poca resistencia mecánica y al impacto. Poco resistentes al calor y a la llama
Reconocimiento por combustión
Ardiendo tras separar la llama. Olor: papel quemado
Aplicaciones
Burletes en ventanas. Rejillas de ventilación, lucernarios, globos, etc.

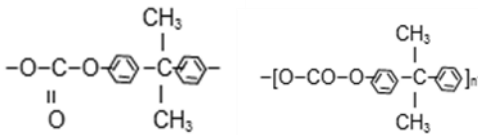
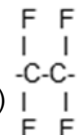
Vinílicos (termoplásticos)
Densidad: 1,35 - 2,0 g/cm ³
Tipos
Policloruro de vinilo (PVC) $-\text{[CHCl - CH}_2\text{]}_n-$ Acetato de Polivinilo (PVAC) Polivinil butirol (PVB) Policloruro-acetato de vinilo (PVCA) Polialcohol vinílico (PVAL)
$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C}=\text{C} \\ \quad \\ \text{Cl} \quad \text{H} \end{array} $
Ventajas
Excelente resistencia química y a la intemperie. Buenas propiedades eléctricas y de absorción del sonido. Resistencia al rozamiento. Capacidad de amortiguamiento. Costo bajo
Limitaciones
Degradación térmica
Reconocimiento por combustión
El PVC arde en presencia de la llama (amarilla y verde en los bordes) y se apaga al separarla. Se ablanda y se carboniza Olor: irritante, ácido clorhídrico
Aplicaciones
Carpintería de ventanas. Persianas. Revestimientos laminados de paredes, puertas y suelos. Tuberías de fontanería. Interruptores, aislamientos de cables eléctricos y tubos de protección. Juntas de dilatación. Lámina impermeabilizante de barrera de vapor. Aislante acústico. Claraboyas

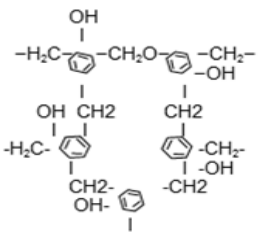
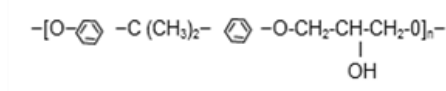
Etilénicos (termoplásticos)	
<i>Densidad: 0,9 - 1,1 g/cm³</i>	
Tipos	
Polietileno (PE)	$-\text{[CH}_2 - \text{CH}_2\text{]}_n-$
Polipropileno (PP)	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} $
Ventajas	
Excelente comportamiento ante el agua. Buena resistencia química. Buenas propiedades eléctricas. Resistencia al rozamiento. Capacidad de amortiguamiento. Buena absorción del sonido. Costo bajo	
Limitaciones	
Poca resistencia a los rayos ultravioleta y a la intemperie. Frágil a bajas temperaturas	
Reconocimiento por combustión	
Sigue ardiendo tras separar la llama (azul con la parte superior amarilla) Las gotas que desprende pueden arder. Olor: irritante, cera de velas quemadas (siendo más débil en el PP).	
Aplicaciones	
Tuberías y elementos de fontanería. Aislamiento para electricidad. Impermeabilizante como barrera contra el vapor.	

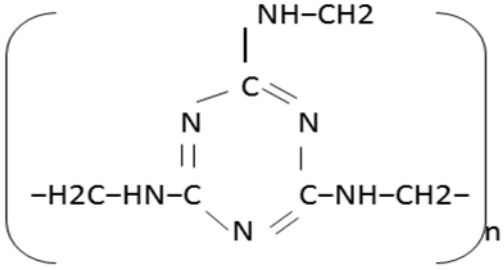

Estirénicos (termoplásticos)	
<i>Densidad: 0,9 - 1,0 g/cm³</i>	
Tipos	
Poliestireno (PS)	$-\text{[CH} - \text{CH}_2\text{]}_n-$
Copolímeros:	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} $
Acrilonitrilo-estireno (SAN)	
Poliestireno-butadieno (SBP)	
Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	
Ventajas	
Buenas propiedades eléctricas. Buena estabilidad dimensional. Buena estabilidad térmica. Costo bajo	
Limitaciones	
Poca resistencia a los rayos ultravioleta y a muchos disolventes	
Reconocimiento por combustión	
Sigue ardiendo tras separar la llama (amarilla) con humo denso y negro y grumos de carbón en el aire. En el caso de ABS la llama es luminosa (color amarillo) y se forma hollín. Genera goteo incandescente Olor: dulce, a gas de alumbrado combinado con goma quemada	
Aplicaciones	
Espuma aislante. Revestimientos exteriores. Desagües. Difusores de luz. Mamparas, celosías y antepechos. Rejillas de ventilación.	

Acrílicos (termoplásticos)	
<i>Densidad: 1,2 g/cm³</i>	
Tipos	
Polimetacrilato de metilo	
-Metacrilato- (PMMA)	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{COO-CH}_3 \end{array} $
Ácido poliacrílico (PAA)	
Poliacrilo-nitrilo (PAN)	
Polibutadieno acrilonitrilo (PBAN)	
	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -[\text{C} - \text{CH}_2]_n- \\ \\ \text{COO-CH}_3 \end{array} $
Policloro acrilato de metilo (PMCA)	
Ventajas	
Excelente transmisión óptica. Resistencia a la intemperie. Poca absorción de agua. Costo alto	
Limitaciones	
Poca resistencia a la abrasión y baja temperatura de transición.	
Reconocimiento por combustión	
Sigue ardiendo tras separar la llama (azul con parte superior amarilla) Chisporrotea Olor: típico a fruta.	
Aplicaciones	
Acristalamiento de ventanas. Claraboyas y pantallas de luminarias	

Acetales (termoplásticos)
<i>Densidad: 1,4 g/cm³</i>
Tipos
Poliacetal (POM)
Ventajas
Excelente comportamiento a la fatiga. Excelente estabilidad dimensional. Resistencia a los disolventes orgánicos. Bajo coeficiente de fricción. Costo medio
Limitaciones
Poca resistencia a la intemperie y al fuego
Reconocimiento por combustión
Llama de color azul sin humo Las gotas que desprende pueden arder Olor: formaldehído
Aplicaciones
Prácticamente no tiene aplicaciones en la construcción, siendo más utilizado en piezas de diversos tipos de maquinaria

Carbonatos (termoplásticos)	Fluorados (termoplásticos)
Densidad: 1,2 g/cm ³	Densidad: 2,1 - 2,2 g/cm ³
Tipos	Tipos
Policarbonato (PC) 	Polifloruro de vinilo (PVF) Politetrafluoretileno -teflón- (PTFE) Copolímero de superflúor (FEP) Polimonocloro-trifluoretileno (PCTFE) Etileno-tetrafluoretileno (ETFE) 
Ventajas	Ventajas
Alta resistencia. Buena estabilidad dimensional. Transparencia. Buen aislamiento térmico. Costo medio	Inertes químicamente. Muy estables a altas temperaturas. Tenaces. Aislantes eléctricos
Limitaciones	Limitaciones
Poca resistencia a los solventes orgánicos Poca resistencia química	Coste muy alto. Malas propiedades mecánicas. Dificultades de fabricación
Reconocimiento por combustión	Reconocimiento por combustión
Arde en presencia de la llama y se apaga al separarla. La llama es luminosa Se carboniza con formación de hollín Olor: casi sin olor	No arde en presencia de la llama ni se carboniza. Olor: irritante a ácido clorhídrico
Aplicaciones	Aplicaciones
Acristalamiento de ventanas. Claraboyas	Revestimiento de superficies, de gran durabilidad.

Epóxidos (termoestables)	Fenoplastos (termoestables)
Densidad: 2,06 g/cm ³	Densidad: 1,3 - 1,8 g/cm ³
Tipos	Tipos
<p>Epoxi -araldita- (EP)</p> 	<p>Fenol-formaldehído -bakelita- (PF)</p> 
Ventajas	Ventajas
<p>Buenas características en condiciones húmedas. Capacidad de curación en condiciones atmosféricas eléctricas. Estabilidad dimensional. Estable al agua y a la intemperie.</p>	<p>Aislantes eléctricos. Buenas propiedades mecánicas. Buena resistencia térmica. Estabilidad dimensional. Buen comportamiento químico.</p>
Limitaciones	Limitaciones
<p>Costo elevado</p>	<p>Poca resistencia al impacto. Poca resistencia a los ácidos fuertes y a los álcalis. Colores muy oscuros.</p>
Aplicaciones	Aplicaciones
<p>Uniones. Barnices. Revestimientos. Juntas elásticas</p>	<p>Espuma aislante. Interruptores Enchufes y componentes eléctricos</p>

Aminoplastos (termoestables)	Resinas sintéticas (termoestables)
Densidad: 1,5 - 2,0 g/cm ³	Densidad: 1,0 - 2,4 g/cm ³
Tipos	Tipos
Urea-formaldehído (UF) Melamina-formaldehído (MF) 	Poliamida - nylon- (PA) Polietilentereftalato -poliéster- (PETP)  Poliuretano (PU) Espumas de poliuretano Poliéster con fibra de vidrio Pavimentos de resinas
Ventajas	Ventajas
Excelente estabilidad térmica. Muy duros y rígidos. Buena resistencia química excepto a los ácidos fuertes. Bajo costo. Resistentes a la humedad.	Buena resistencia térmica y atmosférica. Rigidez. Buena resistencia a la fricción. Alta resistencia mecánica. Buenas propiedades eléctricas. Aislamiento térmico y acústico. Costo bajo
Limitaciones	Limitaciones
Poca estabilidad dimensional. Las altas temperaturas perjudican a la resistencia y al color.	Absorben líquidos polares (agua) presentando hinchamientos y ablandamientos. Poca resistencia a ácidos orgánicos y fuertes. Posible falta de homogeneidad en masa. Baja resistencia a la oxidación
Aplicaciones	Aplicaciones
Revestimiento de muebles. Paramentos, puertas, etc.	Espuma aislante. Enchufes. Selladores de juntas de dilatación

Conclusión de los polímeros utilizados en la construcción.

Estas tablas nos mencionan que la mayoría de las familias de plásticos utilizados en la construcción son la de los termoplásticos, debido a su bajo coste y a la diversidad de funciones que realiza. Sin embargo los termoestables, al ser de un costo más elevado y a sus propiedades de baja densidad y baja conductividad térmica, tienen usos como aislantes, recubrimientos, juntas, selladores y resinas; funciones muy específicas que necesitan un mejor comportamiento y mayores prestaciones de calidad y desempeño.

4. ■ PLÁSTICOS (PRODUCCIÓN Y NORMATIVA)

En este capítulo se ofrecen datos sobre producción y consumo de los plásticos, que sirven para enmarcar la problemática ocasionada por la falta de reciclaje, así como la oportunidad de reutilizar estos productos y aprovechar las propiedades que poseen. .

Se describe cuáles son los productos más utilizados, el tipo de familia de polímeros a la que pertenecen. Así como datos sobre los desechos plásticos que más se generan.

Por último se analiza la normativa principal sobre reciclaje que se tiene, tanto en la Unión Europea, como en España.

“La función del estado es establecer normas para un consumo sano, opuestas al consumo patológico e indiferente”

Erich Fromm

4.1 PLÁSTICOS -PRODUCCIÓN-

El plástico juega un papel importante para el desarrollo de la sociedad, la economía y el medio ambiente. No es posible concebir el actual estilo de vida sin la existencia de los plásticos, desempeñando innumerables funciones. Los plásticos simplifican nuestro estilo de vida, ayudando en algunas ocasiones a disminuir las emisiones de CO₂. Por ejemplo, en la industria automotriz, cerca del 60% de los plásticos se utilizan para brindar confort y seguridad al pasajero, mientras que el otro 40% se utiliza para aplicaciones que reduzcan el peso del automóvil, contribuyendo a reducir el consumo de combustible y una considerable cantidad de emisiones de CO₂ ([15] PEMRG).

El aislamiento también juega un papel importante, ya que muchos edificios se mantienen cálidos o templados, gracias a los aislantes elaborados con plásticos. Un dato de interés relacionado a la importante función de los plásticos para la disminución de emisiones de CO₂, es que cerca del 40% de la energía que se consume a nivel mundial, es utilizada por los edificios de vivienda. La gran mayoría de esta energía, es utilizada para hacer funcionar sistemas de calefacción (frío/calor), este dato es trascendental, ya que si los edificios de vivienda tuvieran un mejor aislamiento, esto representaría un importante ahorro energético y una reducción en las emisiones al medio ambiente.

La producción de plástico se ha incrementado en torno al 10% anual desde 1950, pasando de una producción de 1.5 millones de toneladas en 1950 hasta el punto máximo histórico de 265 millones de toneladas en el año 2006. Un estudio sobre el consumo per cápita de productos plásticos (elaborado en el año 2008) pronosticó un incremento en el consumo de plástico per cápita, hasta un total

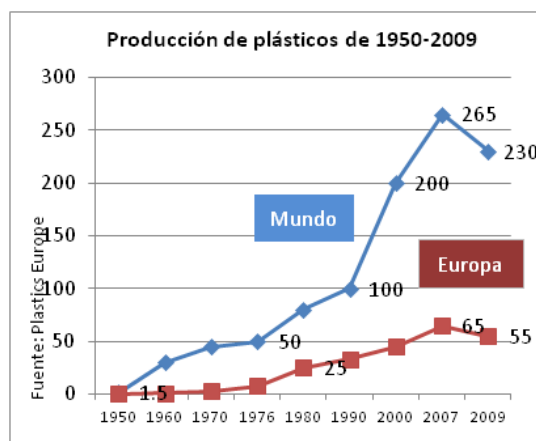


Figura 07. Producción de Plásticos de 1950-2009 (F.P.)

de 120 kg para el año 2010, y hasta un total de 100 kg per cápita para los estados miembros de la NAFTA (Canadá, México y Estados Unidos) ([16] PEMRG).

Los Estados de la Unión Europea + Noruega + Suiza, generaron el 24% de la producción global de plásticos con 55 millones de toneladas en el año 2009, una cifra similar tuvieron los países de la NAFTA con un 23% de la producción mundial. Dentro de Europa, Alemania es el mayor productor con un 8% seguido de Bielorrusia con un 5%, Francia con

un 3%, Italia con un 2% y España y el Reino Unido con un 1,5%. Sin embargo estas cifras representan un retroceso ya que la producción de materiales plásticos disminuyó de 245 millones de toneladas consumidas en 2008 a 230 millones para el año 2009, como consecuencia de la desaceleración económica mundial.

En el contexto europeo, son los nuevos estados miembros los que se esperan que tengan un mayor incremento en el desarrollo de sus economías y su consiguiente consumo de productos plásticos. El actual promedio de consumo per cápita es de 55 kg que representa poco más de la mitad de los antiguos miembros.

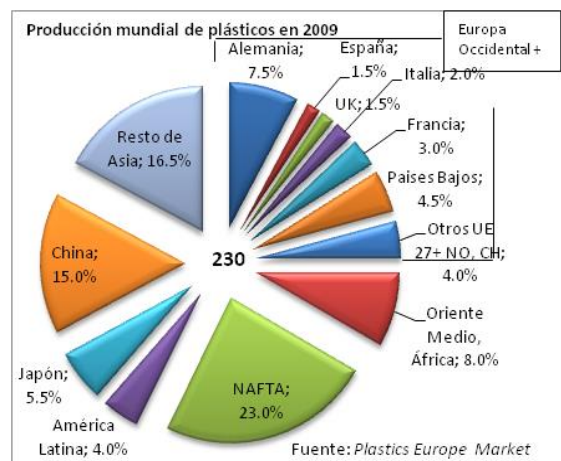
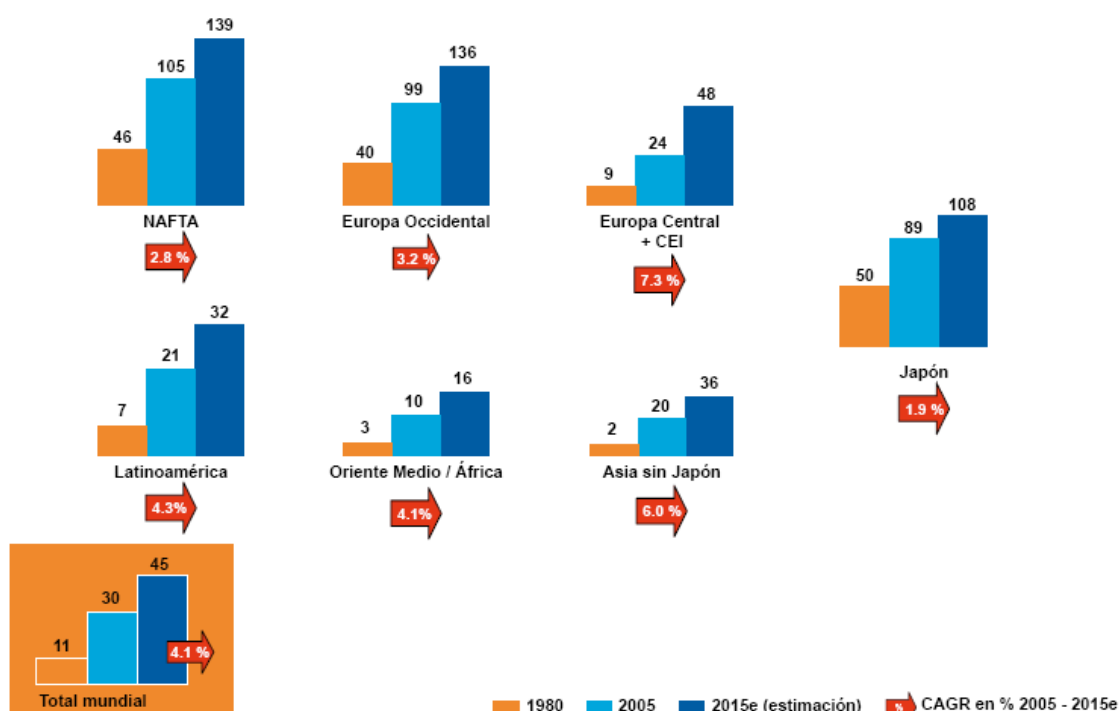


Figura 08. Consumo del plástico por región. (F.P.)



Conclusión de la producción de los plásticos.

El uso del plástico como aislante térmico, podría ayudar a disminuir la emisión de gases contaminantes, ya que cerca del 40% de la energía consumida a nivel mundial anualmente, es utilizada para dar calefacción (frío/calor) a edificios de vivienda y oficinas. Mediante un análisis previo de los usos y demandas energéticas de cada edificio, se podría escoger el material más adecuado para su aislamiento y de esta manera, ayudar a disminuir el consumo de energía y la emisión de gases contaminantes.

Desde el año 1950, se ha tenido un incremento en torno al 10% anual de producción de plásticos, pasando de 1,5 millones a 265 millones de toneladas para el año 2006. Para el año 2009 se tuvo un consumo per cápita en la UE de 120 kg/año para los primeros miembros y de 55 kg/año para los nuevos estados como Polonia, República Checa, Hungría, etc. Sin embargo las estadísticas demuestran que los nuevos estados, irán multiplicando su producción y consumo en los próximos años hasta equiparar el consumo con el resto de la unión europea.

El uso del plástico como elemento aislante y constructivo en edificios ofrece una ventaja en la disminución de emisiones y consumo energético, sin embargo, puede representar un problema si los estados no prevén acciones para la recolección, manejo, reutilización y reciclaje de estos residuos.

4.2 CONSUMO POR SECTOR Y FAMILIA

Para el año 2009 en la UE se consumieron un total de 45 millones de toneladas de plástico, siendo un **7,3% menos respecto al año anterior**, sin embargo el consumo total de plásticos (incluidos polímeros vírgenes y granza reciclada), continúa aumentando. El consumo total está repartido en 5 sectores industriales:

- Sector de envases y embalajes el que más consumo presenta, con un 40% del total de plásticos.
- Sector de la construcción con un 20%.
- Sector eléctrico y electrónico, 7%.
- Sector automotriz, 5,6%.
- Otros 26,9%. ([17] PEMRG).

Existen alrededor de 20 distintos grupos de plásticos, con diferentes características y funciones. De esos grupos de plásticos, cinco grupos son los que generan el mayor volumen de demanda ([18] Plastic Europe).

En 2009 el Polietileno (AD-BD-BDL), tuvo un consumo del 29% (13 mill./ton), el Polipropileno (PP) un 19% (8,5 mill./ton), Policloruro de vinilo (PVC) un 11% (5 mill./ton) el Poliestireno sólido (PS) y expandible (PSE) con un 8% (3,6 mill./ton) y el Polietileno tereftalato (PET) con un 8% (3,6 mill./ton). Todos juntos suman un 75% de la demanda de plásticos en Europa. Para el año 2006, se incrementó la demanda de estos plásticos experimento una subida de entre un 3% y un 8%. Los plásticos de mayor consumo a nivel mundial, son termoplásticos y son elaborados principalmente de tres tipos de polímeros;

- Etilénicos
- Estirénicos
- Vinílicos.

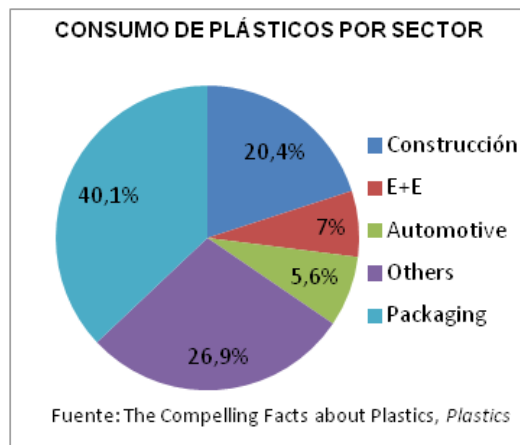


Figura 09. Porcentajes de consumo total del Plástico por sector. (F.P.)

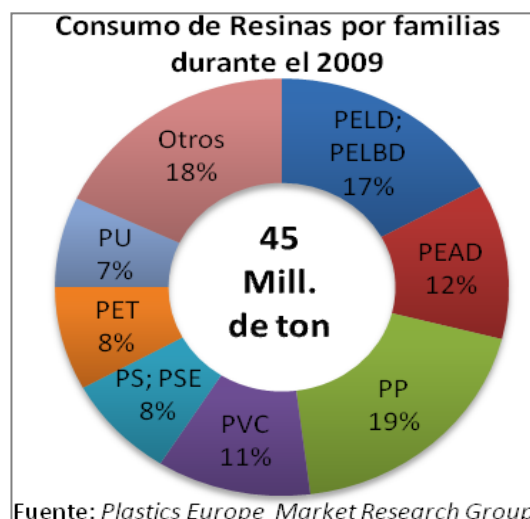


Figura 10. Porcentajes de la demanda por tipo de plástico. (F.P.)

Conclusión de la producción del plástico por sector y por familia.

El consumo de plástico ha disminuido debido a la crisis mundial, sin embargo la tasa de consumo de plástico por persona sigue siendo importante. Para 2004 el consumo por persona, de polímero virgen fue de aproximadamente 100 Kg. Dentro de la UE, Alemania e Italia transforman cerca del 40% del total de resinas vírgenes consumidas.

Consumo de plásticos por sector	
Envase y embalaje	40%
Construcción	20.4%
Industria automotriz	7%
Aparatos eléctricos y electrónicos	5.6%
Otros	26.9%

Mientras que el 75% del plástico consumido anualmente a nivel mundial es generado por:

Consumo anual de plástico por familia	
Polietileno (PEAD, PEBD, PEBDL)	29%
Polipropileno (PP)	19%
Policloruro de Vinilo (PVC)	11%
Poliestireno (PS)	8%
Polietileno Tereftalato (PET)	8%

Al ser termoplásticos estos materiales son fáciles de reciclar y volver a ser utilizados. Es por ello que se plantea necesario un programa de recuperación y reciclaje acorde con los datos de consumo de plástico a nivel europeo y mundial. En el sector de Construcción y Demolición la vida útil de los plásticos es de 35 años en promedio, por lo que inicialmente en los procesos de construcción no generan grandes cantidades de residuos, pero que se ven reflejados en los procesos de demolición, al término de la vida útil del edificio. Se calcula que cerca del 70% de los plásticos empleados en la construcción pueden ser reciclados al final de su ciclo de vida.

4.2.1 PLÁSTICOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN.

El plástico en la construcción ha ido ganando terreno como sustitutivo de muchos materiales primarios como la madera, la piedra, hierro, cobre y acero. Hoy en día es casi imposible no encontrar ningún tipo de plástico en las diferentes etapas de construcción. Desde la cimentación; tuberías sanitarias y mezclas bituminosas que sirven como impermeabilización o films que evitan que materiales como el hormigón, tenga contacto directo con la tierra. Instalaciones del edificio; radiadores, interruptores. Materiales de acabado; carpintería de puertas y ventanas, selladores, pinturas, tintes, mobiliario, bañeras, platos de ducha, suelos de gres, poliolefinas, etc. El plástico se encuentra en cada uno de los procesos de construcción, y en los acabados y muebles que usamos. Los residuos ocasionados por la Construcción y Demolición (C&D) y su impacto medio ambiental significa un pequeño porcentaje comparados con el tiempo de vida de las Construcciones, sin embargo al término de su ciclo se incrementan de manera importante. Para el año 2004, en la zona EU-15 la producción total de residuos de C&D fue de 3,5 toneladas x habitante (solamente el 20% de esta cifra son desechos plásticos)

Tipología de plásticos y usos empleados en la construcción.

Uso	Elemento	Tipo de Polímero	Recomendaciones
Pavimentos	Baldosas/rollo	PVC	Se raya con facilidad, se debe limpiar con agua jabonosa
Ventanas	Carpintería	PVC	Debe estar reforzada con una estructura metálica interna
	Persiana	PVC	Debe controlarse su acomodación estructural antes de su corte
	Acristalamiento	PMM	Se raya con facilidad, amarillea con el tiempo
		PC	Es más resistente que el PMMA
	Burlete	Elastómero Celulósicos	Debe controlarse su acomodación estructural antes de su corte
	Accesorios	PVC; Acetales; ABS	
Puertas	Perfiles	PVC	Debe estar reforzada con una estructura metálica interna
	Revestimiento	PVC	Se raya con facilidad, es más cálido al tacto que la MF
		MF	Es más resistente que el PVC, es más frío al tacto que el PVC
Claraboyas	Lámina	PC	Es más resistente que el PMMA
		PMMA	Se raya con facilidad, amarillea con el tiempo.
		EFTE	En colchones neumáticos de gran tamaño, o tensados de tamaños menores
Aislantes térmicos	Espuma	PS	Expandido o extruido, de poro cerrado
		UP	De poro abierto, problemas de polimerización in situ, Inflamabilidad
Fontanería	Distribución	PE	Poca resistencia a los UV

		PP	El PP es más resistente que el PE
	Aparatos Sanitarios	Copolímeros PVC	Los copolímeros son más resistentes que el PVC
	Elementos Auxiliares	PP; P/Reforzado PE; ABS	
Electricidad	Pantallas de Luminarias	PMMA	Se raya con facilidad, amarillea con el tiempo.
		PVC	Es más resistente que el PMMA
	Interruptores	PVC	El PVC es más resistente que el PE
	Aislamiento	PE	
	Tubos de protección	PVC	
Juntas dilatación	Preformado	PVC	Sellador con adhesión
		Elastómeros	Relleno de Juntas
Impermeabilizantes	Lámina	PVC Plastificado	Emigración de los plastificantes con el tiempo, convirtiéndose en PVC rígido
	Barrera Vapor	PE	Peligro de rotura por punzonamiento
Adhesivos	Según usos	Termoplástico	Adhiere con más facilidad
	Son mejores los adhesivos de varios componentes	Termoestable	Resiste altas temperaturas
		Elastómeros	Absorbe dilataciones diferenciales
Pinturas	Según usos	Termoplástico	Adhiere con más facilidad
		Termoestable	Resiste altas temperaturas
		Elastómeros	Absorbe dilataciones diferenciales
Cubiertas textiles	Láminas	EFTE	Uso general en cubiertas de cojines neumáticos. Permite el paso de los rayos U.V.A. y es antiadherente y transparente
	Membranas	PES-PVC	Son materiales compuestos que suman la elevada resistencia del tejido interior y las prestaciones de cada recubrimiento
		FV-PTFE	
		Aramiditas	
		FV-silicona	

Fuente: Tectónica Núm. 19, "Plásticos", Autores: García-Santos, Alfonso y Tejera, Javier.

Los elementos de plástico que más se utilizan en la construcción son; mangueras, aislantes térmicos, marcos para ventanas, pisos y recubrimientos para muros. La vida útil de los plásticos en la construcción tiene un promedio de 35 años, pero estas pueden variar drásticamente según su aplicación, pasando de 5 años para el papel tapiz, a 100 años para las mangueras.

De acuerdo con un estudio de control de residuos en la Gran Bretaña, la cantidad de plástico potencialmente recuperable en el sector de construcción y demolición está estimado en un 70%, de 6.700.000 toneladas (4.700.000 totales) serían potencialmente recuperables.

4.2.2 EL CAUCHO, PLÁSTICO EMPLEADO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRÍZ.

El caucho está definido por la Real Academia Española de la Lengua como:

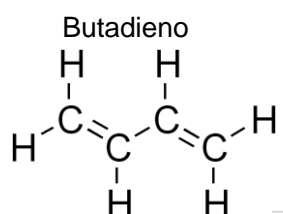
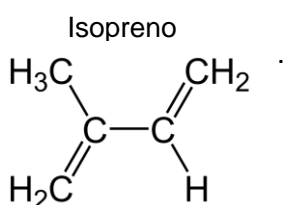
“Proveniente del quechua kawchu. Látex producido por varias moráceas y euforbiáceas intertropicales, que, después de coagulado, es una masa impermeable muy elástica, y tiene muchas aplicaciones en la industria.”

Científicamente el caucho está definido como un material formado por un hidrocarburo elástico cis 1-4 poli isopreno, en base de isopreno en el caso de los cauchos naturales. O 2 metil butadieno “polibutadieno” en el caso de los cauchos sintéticos.

En un principio el caucho fue producido mediante resinas naturales provenientes de árboles de América. Las personas nativas de estas tierras utilizaban este producto al cual denominaban “hule” para la confección de distintos utensilios y elementos. Posteriormente este material fue denominado como “Latex”.

En 1893 Charles Goodyear descubrió la vulcanización del caucho al añadir azufre durante su fundición y obtener de esta forma un nuevo material, más resistente a los cambios climáticos y efectos medioambientales, de gran resistencia y durabilidad.

El primer caucho sintético producido a gran escala fue en Alemania durante la segunda guerra mundial, a partir de dimetil butadieno en vez de isopreno.



El proceso de Vulcanización se da al amasar el caucho con azufre y calentarlo a temperaturas superiores de 100°C las cadenas de S8 se abren y se combinan con los dobles enlaces de las moléculas de caucho formando puentes de cadenas de azufre de una molécula de caucho a otra y dando lugar a una trama completa. Para acelerar el proceso de vulcanización, se añaden sustancias como negro de humo, óxidos de zinc y plomo además de otros productos orgánicos que hacen que el caucho sea más tenaz y duradero.

Dentro de los cauchos sintéticos la mayoría de estos se basan en la polimerización del butadieno (o de homólogos como el isopreno) o derivados del cloropreno que tienen la misma estructura.

Los alkadienos más importantes para la elaboración del caucho sintético son; butadieno, isopreno (2 metil 1,3 butadieno) y el cloropreno. El butadieno se obtiene por deshidrogenación del buteno que se forma por la refinación del petróleo o sintéticamente a partir del acetileno mediante los procesos correspondientes.

El isopreno se obtiene a partir de los pentanos del petróleo y se forma como subproducto en la preparación catalítica del butadieno a partir de las fracciones del petróleo consiguientes. Puede obtenerse por síntesis a través de la acetona y el acetileno. Por último el cloropreno se obtiene polimerizando el acetileno a vinil acetileno, el cual adiciona después cloruro de hidrógeno.

SBR (caucho-estireno-butadieno) es el elastómero sintético más importante; se compone de un copolímero de Butadieno al 75% y estireno al 25% y es producido por medio de radicales libres. Este material compite con el caucho en la transformación de elastómeros o sea, la manufactura de neumáticos para automóviles. Puede obtenerse poli-butadieno y poli-isopreno totalmente *cis* por medio de la polimerización Ziegler - Natta.

Un elastómero completo o mayormente polidiénico es altamente no saturado. Sin embargo lo único que se exige de un elastómero es que sea insaturado para permitir la formación de enlaces cruzados; por ejemplo en la manufactura del caucho butílico solo se copolimeriza un 5% de isopreno con isobutileno.

Los dobles enlaces del caucho son muy importantes ya que permiten su vulcanización, proporcionando la formación de puentes de azufre entre cadenas diferentes. Estos enlaces dan dureza y mayor resistencia, y eliminan la viscosidad del caucho no tratado. Los neumáticos son obtenidos de una polimerización iónica, o mediante radicales libres en polímeros de poliisopropeno o dimetilbutadieno o polibutadieno.

Se conocen gran variedad de cauchos sintéticos, algunos de cualidades mecánicas mejores que el caucho natural. El "buna 85" está formado por polimerización del butadieno, el "neopreno" por polimerización del cloropreno, el "perbunan N" a partir del butadieno y el cianuro de vinilo, el "buna S" a partir del butadieno y el estírol, etcétera.

En contacto con el disolvente, el caucho se hincha primero poco a poco hasta tomar la consistencia de gel, después se dispersa formando una solución. El caucho bruto aumenta de 10 a 40 veces su propio peso en disolventes que a temperatura ambiente puede formar un gel de caucho producida por el efecto *Tyndal*, propio de las dispersiones coloidales, se produce en las soluciones de caucho.

La viscosidad de la solución del caucho bruto es grande debido al efecto que el calor ejerce sobre este. El caucho bruto calentado hasta 200 °C se ablanda y sus soluciones tienen menor viscosidad, pero el número de dobles enlaces se conserva sin alteración. Cuando la temperatura se eleva hasta 250 °C., los enlaces dobles se separan y tiene lugar la formación de anillos. El cambio a caucho cíclico eleva la densidad y la solubilidad, el producto obtenido es una dura y frágil resina. Después con la adición de aceleradores, se aumenta la rapidez de vulcanización, mejorando la calidad del producto.

Los tipos de aceleradores empleados para la vulcanización del caucho se dividen en cuatro grupos químicos:

- Mercaptotiazoles y sus derivados
- Guanidinas y productos de reacción de aldehídos
- Ditiocarbamatos y sulfuros de bis(tiocarbamoilo)
- Aminas.

Posteriormente se añaden antioxidantes, que sirven para retardar el deterioro del caucho natural, ya sea bruto o vulcanizado, causado por la oxidación. Algunas de las sustancias usadas para este fin son estabilizadores del caucho sintético (principalmente de los polímeros de butadieno) en el momento de la preparación, y cuando se usan de este modo se denominan estabilizadores. El uso industrial los primeros antioxidantes fueron la aldol-I-naftilamina y la acetaldehído-anilina. Los cambios en las propiedades físicas del caucho durante su deterioro, se atribuyen a varias reacciones, principalmente la formación de enlaces cruzados y la escisión del polímero. El oxígeno ataca el caucho vulcanizado.

Los tipos de antioxidantes que se emplean en la producción de caucho se dividen en tres grupos químicos:

- Darilaminas
- Fenoles.
- Acetonas y arilamina

4.3 DESECHOS PLÁSTICOS

Se encontraron dos definiciones para los elementos de plástico que han cumplido su ciclo de vida útil:

Residuo:

Proviene del latín **residuum**. ([19] R.A.E.)

- m. Parte o porción que queda de un todo.
- m. Aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo.
- m. Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación. U. m. en pl.

Desecho:

Proviene de la palabra **desechar** ([20] R.A.E.).

- m. Aquello que queda después de haber escogido lo mejor y más útil de algo.
- m. Cosa que, por usada o por cualquier otra razón, no sirve a la persona para quien se hizo.
- m. Residuo, basura.

En esta tesis se utiliza el nombre de **Desechos Plásticos** ya se considera que dentro de su definición engloba la definición de *residuo*.

Los desechos plásticos para el año 2002, en los países que forman la zona NAFTA (Tratado de libre comercio de América del Norte –EEUU, México, Canadá-), la transformación de plásticos generó un volumen de 100 millones de toneladas, con un incremento de 1,5% respecto al año anterior.

En lo relativo a España, encontramos que solo el poliéstireno, durante el año 2001, generó una cifra de negocio de 227 millones de € al año, y un consumo anual de 7 Kg/persona. Si tenemos en cuenta que para producir estos 7 Kg de poliéstireno, fue necesaria una energía equivalente a 200 Kw/hr, tenemos que el problema es de una magnitud importante ([21] C.E.P. 2001).

Hay una gran cantidad de plásticos que por su composición o elevado coste en el proceso, no pueden ser reciclados, además del inconveniente de no poder mezclar distintas familias de plásticos durante el reciclaje, ya que se obtendrían productos de baja calidad. Los

esfuerzos para el reciclaje y recuperación de estos materiales, representa un bajo porcentaje ya que no superan el 10% de la cantidad producida.

El aumento en el consumo de plásticos está relacionado con problema de reciclaje ya que la mayoría de estos productos terminan su ciclo de vida como residuos que van a dar a vertederos. El problema radica en la gran resistencia del polímero y el tiempo que tarda en degradarse completamente.

4.3.1 ORIGEN DE LOS DESECHOS PLÁSTICOS.

Debido a que partiendo de un solo tipo de polímero se pueden obtener infinidad de formas adaptadas a distintos usos, dentro de uno o más sectores de producción distintos entre sí, para esta investigación se ha definido el origen de los desechos plásticos de la siguiente manera:

a) Envases y embalajes: Proviene de dos vías, la doméstica y la industrial.

En la vía doméstica estos están compuestos principalmente de plásticos duros (botellas y otros envases similares), y fueron elaborados en su mayoría por PEAD, PEBD y PET. En cuanto a la vía industrial cabe destacar que es la que mayor cantidad de residuos suministra para el reciclaje, debido al elevado volumen de recogida y a la facilidad de reciclaje de los mismos, en esta vía se recicla principalmente PE (AD y BD), PP, PS PVC y PC.

b) Agricultura: Abundantes en el Levante y Sur de España, donde es utilizada la plasticultura (aplicación de coberturas plásticas en los cultivos para protegerlos de los fenómenos atmosféricos adversos).

La mayoría del plástico proviene de invernaderos, de túneles de cultivo y de acolchado de suelos. Los materiales más utilizados en agricultura son los polietilenos (alta y baja densidad) y el PVC. Es tan grande la repercusión de estos plásticos en la zona antes mencionada que existe un Real Decreto 104/2000 para la regulación de los Residuos Plásticos Agrícolas de Invernaderos y Cultivos Protegidos. Del total de los residuos recuperados por esta vía, sólo se puede aprovechar el 40%, debido a la alta degradación a que son expuestos. Esto implica el uso de nuevos polímeros para compensar esta pérdida, lo cual incrementa el precio final del producto.

c) Construcción: Son en su mayoría tuberías, perfiles (PVC, PE, PP), materiales aislantes (PS), restos de suelo (Poliiolefinas), etc. El volumen recuperado de este sector no es muy elevado ya que estos materiales son de larga duración.

d) Automoción: El material más utilizado en automoción es el PP por lo que la mayor parte de estos residuos provienen de este sector. El problema es que muchos de estos residuos son difíciles de recuperar debido a su situación dentro del automóvil despreciando una gran cantidad ya que poseen aditivos, pinturas, etc. que encarece su reciclaje. Los principales residuos son parachoques (PP), faros (PC), depósitos de combustibles (PEAD).

e) Productos eléctricos y electrónicos: Se recupera gracias a la chatarra electrónica, despiezando los aparatos para separar los distintos plásticos. Los materiales más comunes son el PP, PS y PC. La mayor parte del plástico se obtiene de cables y de aislantes.

4.3.2 EL CAUCHO RECICLADO EN ESPAÑA

En el año 2006 en España se comienzan a reciclar los neumáticos obligatoriamente, prohibiendo por ley, llevar a vertederos el neumático fuera de uso (NFU). En este año entra en vigor el Real Decreto 1619/2005 de 30 de Diciembre, donde el NFU se debe reciclar mediante un orden jerárquico:

- 1. Reducción:** Se trata de mejorar la técnica empleada para la fabricación de neumáticos y que tarden más en desgastarse, duren más tiempo, etc.
- 2. Reutilización:** Como por ejemplo, el recauchutado del neumático,
- 3. Reciclado:** Valorización mecánica, limpia y respetuosa con el medio ambiente de este NFU. Esta valorización separa los 3 componentes básicos del neumático; fibra textil, acero y caucho. El acero y caucho (en diferentes granulometrías) tienen diversas aplicaciones como en pavimentos infantiles de seguridad, mezcla en betunes asfálticos para carreteras, en centros hípicas (para la comodidad de los caballos), como material de relleno en las vías de tranvías, aislantes, relleno en campos de fútbol de césped artificial, incluso como relleno de sacos de boxeo.
- 4. Valorización:** Uso de este material como material de combustión en la generación de energía.

Conclusiones sobre desechos plásticos.

El origen de los residuos plásticos proviene de dos vías; la industrial y la doméstica. Dentro de la doméstica encontramos los envases y embalajes, donde destacan botellas, bolsas, filmes, sacos y otros envases similares. Los polímeros con mayor uso son el PEAD, PEBD y el PET.

En el sector agrícola en España solo puede aprovecharse el 40% de las cubiertas plásticas de cultivos, debido a la contaminación que presentan. Los polímeros utilizados en la agricultura son PEAD, PEBD y PVC.

En la construcción se utilizan el PVC y el PS para la elaboración de tuberías, perfiles para ventanas y puertas y aislantes.

En la automoción se utiliza principalmente el PEAD, el PP y el PC para la elaboración de parachoques, faros y depósitos de combustibles.

Para la elaboración de los productos eléctricos y electrónicos se utilizan el PP, el PS y el PC principalmente, donde la mayor parte del plástico se usa para la elaboración de cables y aislantes.

El caucho reciclado en España sigue un sistema de residuo cero, basado en la reducción, reutilización, reciclaje y valorización energética.

4.4 NORMATIVA SOBRE RECICLAJE

Como hemos visto anteriormente cinco familias de polímeros generan más del 70% del consumo de plástico a nivel mundial, la mayoría de estos polímeros son utilizados para la fabricación de productos con un ciclo de vida corto (desechables) y con ellos se generan millones de toneladas desechos. Si tenemos en cuenta la gran resistencia a la degradación de los polímeros y el tiempo que tardan en degradarse completamente (entre 100-1000 años), además de su origen procedente del petróleo, gas natural o recursos no renovables, es de carácter prioritario la necesidad de generar marcos y normas que faciliten los mecanismos para la recuperación, reciclaje y valoración energética de estos residuos.

4.4.1 MARCO JURIDÍCO Y POLÍTICO EUROPEO SOBRE RECICLAJE

La norma principal sobre manejo y control de residuos de la Unión Europea, es el Marco Directiva sobre residuos (Framework Directive of waste) 75/442/EEC modificada por la junta directiva 91/156/EEC. En ella se recoge que los estados miembros deben *“tomar medidas para disminuir la producción de residuos, promoviendo tecnologías limpias y productos que pueden ser reciclados y reutilizados; para alentar el reciclaje de los residuos y su re utilización como materia prima, y adoptar medidas específicas para la reutilización de los residuos”* ([22] EUWLD 2006).

El 21 de Diciembre de 2005, la comisión Europea propuso una nueva estrategia en la prevención y reciclado de los residuos. Como primer paso, la comisión propuso revisar la norma directiva de residuos de 1975, para establecer las normas de reciclaje e incluir la obligación de los Estados Miembros en desarrollar programas nacionales para la prevención de residuos. Esta revisión también fusiona, coordina y clarifica la legislación contribuyendo a una mejor regulación.

Los principales puntos propuestos en esta revisión fueron los siguientes.

- Enfocar la política de residuos para mejorar la forma en que se usan los recursos.
- Programas de prevención, que abarcan los ámbitos nacionales, regionales y locales, que deberán ser puestos en marcha tres años después de haber entrado en vigor la directiva.
- Mejorar el mercado del reciclado, mediante el establecimiento de normas ambientales que especifiquen las condiciones donde los productos reciclados no sean considerados desperdicios.

- Simplificar la legislación de residuos clarificando las definiciones, coordinando las previsiones e integrando las directivas sobre residuos peligrosos (91/689/EEC) y sobre aceites usados (75/439/EEC).

Otras directivas relacionadas son las referentes a los rellenos sanitarios, que pretenden una regulación en armonía entre los Estados Miembros para evitar que los residuos sean llevados a vertederos en países donde las legislaciones nacionales son menos restrictivas.

4.4.2 DIRECTIVA MARCO DE RESIDUOS 2008/98/CE

Posterior a esta revisión se elaboró una nueva Directiva Marco de Residuos (DMR) que fue aprobada por el Consejo de Ministros de Medio Ambiente de la Unión Europea, en 2008, estableciendo nuevos parámetros para la gestión de residuos y con ello impulsando el uso eficiente de los recursos y la reducción de residuos en vertederos. Esta nueva directiva deroga la Directiva de Residuos 2006/12/CE, la Directiva 91/689/ECC de Residuos Peligrosos y la Directiva 75/439/EEC, sobre aceites usados.

Con esta directiva se pretende conseguir una simplificación y modernización de la legislación, implantar una política de prevención más efectiva y ambiciosa, además de establecer una jerarquía para el manejo de los residuos, partiendo de la premisa de que; **“debe aplicarse un análisis del ciclo de vida para cada tipo de residuo, de manera que se pueda gestionar de la manera más favorable con el medio ambiente”**.

La jerarquía propuesta para el manejo de residuos es la siguiente:

1. **Reducir:** evitar generar residuos o generar la cantidad mínima posible.
2. **Reutilizar:** utilizar el mismo artículo un mayor número de veces.
3. **Reciclar:** tiene prioridad siempre y cuando no sea más eco-eficiente su uso para una recuperación energética desde el punto de ciclo de vida.
4. **Recuperar:** uso del artículo como una fuente de energía.
5. **Eliminación controlada:** Incineración con eficiencia energética con el objetivo de reducir el consumo de combustibles fósiles.

La nueva DMR redefine el reciclaje, estimulando el desarrollo de sistemas innovadores que permitan revolucionar los métodos mecánicos y químicos, propiciando la reutilización del producto como materia prima, disminuyendo la eliminación por medio de vertederos o al menos fomentando la reducción de estos últimos hasta una mínima expresión. Por último otorga una ampliación de responsabilidad del productor, contempla principios de

autosuficiencia y proximidad, ecodiseño y una interpretación y adaptación a los avances técnicos.

4.4.3 NORMATIVA ESPAÑOLA

Dentro de la normativa española referente al control y manejo de residuos plásticos tenemos las siguientes: Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente (BOE de 29 de abril de 2006).

La Ley 9/2006 introduce en la legislación española la evaluación ambiental de planes y programas —también conocida como evaluación ambiental estratégica—, como un instrumento de prevención que permite integrar los aspectos ambientales en la toma de decisiones de planes y programas públicos, e incorpora la Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de junio de 2001, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.

La Ley 9/2006 implicará la obligatoriedad de someter a un proceso de evaluación ambiental estratégica a los planes y programas que elaboren y aprueben las distintas Administraciones Públicas. En este sentido, las Comunidades Autónomas, titulares de competencias como la ordenación del territorio y urbanismo, que implican una actividad planificadora, tendrán un papel especialmente relevante en el adecuado cumplimiento de esta norma.

4.4.4 POLÍTICAS SOBRE EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN EUROPA

a) Incineración.

La norma directiva 2000/76/EC del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la incineración de residuos tiene el objetivo de prevenir o reducir, la contaminación del aire, agua y suelo originados por la incineración de los residuos. La directiva intenta llenar las lagunas legislativas que existen en el Sistema sobre incineración de residuos de las comunidades, que cubren las directivas 89/369/EEC, 89/492/EEC y la 94/67/EC, y más recientemente se quiere poner en marcha un programa para transformar las actividades de incineración de residuos plásticos en particular, en un programa de recuperación y valoración energética.

b) Vertederos.

La Directiva 1999/31/EC del 26 de Abril de 1999 relativa al vertido de residuos, intenta prevenir sobre el peligro y los efectos que generan. Por desgracia, esta actividad continúa siendo la primera opción en varios Estados Miembros, especialmente con los residuos

municipales. Aunque esta directiva no contempla los plásticos en particular, introduce una reducción gradual de los residuos plásticos admitidos en los vertederos municipales. Con una relación del 25%, 50% y 65% por debajo de los niveles de 1995, para los años 2006, 2009 y 2016 respectivamente. Las fechas pueden ser extendidas por cada uno de los Estados Miembros hasta un total de 4 años, para poder alcanzar un porcentaje del 80% de disminución de vertido de residuos de los desechos municipales. Las estrictas normas y requerimientos de los residuos y vertederos prevendrán y reducirán los efectos negativos que estos originan en el medio ambiente. Inicialmente esto implicará un coste más elevado que el manejo tradicional de los residuos, pero se contempla que los productos obtenidos del reciclaje se irán convirtiendo en un atractivo desde el punto de vista económico.

c) Políticas relativas a los Plásticos.

La directiva sobre “embalaje y residuos de envases” del consejo directivo 94/62/EC del 15 de Diciembre de 1994 y la directiva 2004/12/EC. Promueven a los Estados Miembros a tomar medidas para prevenir la formación de residuos de envases, en los cuales se deben incluir programas nacionales y alentar la reutilización de los residuos de embalaje. Los Estados Miembros tienen que introducir sistemas de recolección del embalaje y envases usados para cumplir con los siguientes objetivos.

- Antes del 31 de Diciembre de 2008 se tiene que recuperar o incinerar en plantas de recuperación energética, un 60% del total de residuos de envases y embalaje.
- Antes del 31 de Diciembre de 2008 entre el 55% y el 80% del peso total de los residuos tienen que ser reciclados.
- Antes del 31 de Diciembre de 2008, dentro de los residuos de envases y embalajes se tienen que recuperar los siguientes porcentajes por material; el 60% del peso total del vidrio, un 60% del papel, un 50% de los metales, un 22.5% de los plásticos y un 15% del peso total de la madera.

d) Residuos originados por trabajos de Construcción y Demolición.

Se han presentado varias propuestas para mejorar la gestión de residuos provenientes de la construcción y demolición. La Agencia Europea del Medio Ambiente informó que la cantidad de residuos de “C+D” son cada vez mayores y que están estrechamente correlacionados con el crecimiento económico. A nivel Europeo no existe ninguna legislación que esté directamente relacionada con el reciclaje o la eliminación de los plásticos originados por el sector de la construcción. Sin embargo, las directivas sobre residuos de envases (94/62/EC) y la directiva sobre vertederos (99/31/CE) se aplican también a los residuos de C+D del sector.

Conclusiones referentes a las Normativa sobre reciclaje.

En la UE la normativa que rige el reciclaje de los plásticos es la “Marco directiva de residuos” donde se promueve una simplificación y modernización de la legislación, implantar una política de prevención de residuos más ambiciosa, y establecer una jerarquía de residuos que va de la prevención, reutilización, reciclaje, recuperación y eliminación controlada (incineración con recuperación energética) así como también favorecer la reutilización del producto. Los requerimientos por acciones de la norma son los siguientes:

Incineración. *Norma 2000/76/EC como objetivo el prevenir o reducir la contaminación del aire, agua y suelo, así como transformar las actividades de incineración de residuos plásticos en un programa de recuperación y valorización energética.*

Vertederos. *Norma 1999/31/EC contempla la reducción gradual de residuos plásticos en vertederos municipales, intentando reciclar el 80% de estos como máximo para el 2020.*

Políticas sobre Plásticos. *Directiva de “Embalaje y residuos de Envases” del consejo directivo 94/62/EC y la 2004/12/EC, promueven la reducción de residuos de envases y alentar a la reutilización de residuos de embalaje introduciendo sistemas de recolección. Teniendo como metas para el 31 de Diciembre de 2008 la recuperación o incineración en plantas de recuperación energética el 60% de los residuos de envases y embalajes. Reciclar un total del 55% al 80% del peso de los residuos siendo para los plásticos un porcentaje del 22.5%*

Referente a España, la ley 9/2006 de “Evaluación Ambiental Estratégica” implica una evaluación ambiental estratégica a los planes y programas que elaboren y aprueben las distintas Administraciones Publicas. Teniendo como objetivos la disminución de residuos y la promoción de reciclaje y recuperación energética.

5 ■ DATOS DE RECICLAJE Y VALORIZACION

En este capítulo, se describen los datos sobre reciclaje y valorización energética relativos al plástico, divididas en los siguientes puntos.

Tipos de reciclaje y características.

Reciclaje como modelo de negocio.

Valorización energética de los plásticos.

Tendencia de recuperación energética.

Reciclaje y recuperación por segmentos de aplicación.

“La energía no se crea ni se destruye... solo se transforma”

Albert Einstein

5.1 RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS

La producción del plástico paso de 1.5 millones de toneladas en 1950 a casi 265 millones de toneladas a nivel mundial en el año 2006. En la actualidad se busca mejoras tecnológicas en la producción de plásticos, que permitan modificar a los polímeros que los componen y hacerlos biodegradables, es decir que tengan una degradación completa, con la finalidad de sustituir a los actuales polímeros sintéticos. Sin embargo para hacer posible esta sustitución, se requiere que los polímeros degradables tengan propiedades similares a las de los polímeros convencionales, con el consiguiente problema de calidad y eficiencia, ya que los polímeros sintéticos, abarcan un rango más elevado de propiedades y características que les permite hacer funciones de materiales técnicos y de seguridad. El término "polímeros degradables" se refiere a los materiales poliméricos que se desintegran bajo las condiciones ambientales en un razonable y demostrable período de tiempo. ([23] García Santos 2001)

Para poder optimizar reciclaje de los residuos plásticos, es fundamental contar con un proceso de una separación selectiva de basuras, ya que los plásticos pueden reciclarse químicamente o mecánicamente, dependiendo de la familia a que pertenezcan. Dependiendo del tipo de reciclaje, se determinarán la calidad, cualidades y utilización de los productos reciclados obtenidos.

5.1.1 PROCESO DE RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS

Existen distintos procesos de reciclaje en función de los distintos plásticos que se tengan. Los principales sistemas de reciclaje son los siguientes:

A. Reciclaje mecánico: consiste en cortar las piezas de plástico en pequeños granos para posteriormente tratarlos. Se trabaja con macromoléculas de los polímeros. Todos los procesos de reciclaje mecánico comienzan con las siguientes etapas:

Limpieza: una vez que los plásticos recuperados llegan a la empresa donde se van a tratar lo primero es acondicionarlos para obtener una materia prima adecuada, sin suciedad o sustancias que puedan dañar tanto a las máquinas como al producto final (eliminar papeles, tapones, etc.). Normalmente los plásticos recuperados procedentes de la industria suelen llegar en muy buenas condiciones por lo que esta etapa se saltaría.

Clasificación: se deben separar los distintos tipos de plásticos antes de transformarlos, sobre todo en el caso de los que provienen de la industria, porque los que vienen de la

Plantas de Clasificación ya están separados. Se puede hacer en tanques de agua por densidades.

Trituración: Esta fase se lleva a cabo cuando los materiales no han sido triturados, anteriormente o porque el tamaño de grano no es el adecuado.

Lavado: En tanques o cubas de gran tamaño se lavan los granos de plástico para eliminar cualquier tipo de suciedad o impureza. Es muy importante esta etapa en los plásticos que vienen de post consumo, ya que han contenido sustancias que pueden permanecer en ellos durante mucho tiempo.

Granceado: Los residuos de plástico se suelen vender en forma de granza pero si esto no sucede se deben convertir a granza para poder introducirlos en los equipos de reciclaje. Con el granceado se consigue la homogenización del material, mediante fundición, tintado y corte en pequeños trozos.

B. Reciclaje Químico: Se basa en degradar los materiales plásticos, mediante calor o con catalizadores, hasta tal punto que se rompan las macromoléculas y queden solamente moléculas sencillas (monómeros), a partir de las cuales se podría conseguir otros tipos de plásticos ó combustibles. Entre las distintas técnicas posibles, las más representativas son:

Gasificación: Con este proceso se obtiene gas de síntesis (CO y H_2O) que es un gas combustible, utilizado con frecuencia en la industria metalúrgica. Lo primero que se hace es la compactación de los plásticos para reducir su volumen, se produce una desgasificación y después una pirolisis continua, elevando la temperatura para hacer la gasificación. Una de las mayores ventajas de la gasificación es que se puede llevar a cabo sin la necesidad de separar distintos tipos de plásticos.

Pirolisis: Se utiliza para materiales plásticos como el PP y PS pero también para mezclas de plásticos difíciles de separar. Mediante la pirolisis se produce la descomposición térmica, en atmósfera inerte, de las moléculas que conforman los materiales plásticos en tres fracciones: gas, sólido y líquido que servirán de combustible y de productos químicos. En el caso de los polietilenos se podría conseguir, con esta técnica, la obtención de etileno para fabricación de nuevos plásticos. El gran inconveniente de la pirolisis es el elevado coste de instalaciones y producción. Actualmente en España existe una planta piloto para probar este método, mientras que en Canadá está totalmente implantado.

Hidrogenación: Consiste en la aplicación de energía térmica a los materiales plásticos en presencia de hidrógeno para dar lugar a combustibles líquidos. Es una de las técnicas más estudiadas y bastante desarrollada.

Cracking: Es un proceso similar al que se produce con el petróleo crudo en las refinerías. Consiste en la ruptura de moléculas mediante el uso de catalizadores, como pueden ser las zeolitas (aminosilicatos), obteniéndose cadenas de hidrocarburos de diversas longitudes, que se pueden utilizar como combustibles.

Disolventes: Mediante esta técnica se pueden separar mezclas de plásticos, difíciles de separar por otras técnicas. Por ejemplo el PVC que es un polímero difícil de reciclar, puede ser extraído mediante la ciclohexanona, otro disolvente que también pueda lograrlo es el Xileno. Una vez separados los materiales se podrán reciclar por separado mediante alguna de las técnicas descritas anteriormente.

C. Reciclaje por biodegradación: Los últimos avances en la industria de los plásticos y de la química en general, han hecho posible la generación de plásticos biodegradables, los cuales se auto-degradan cuando ya no son necesarios. En su mayoría pertenecen a la familia de los polihidroxialcanoatos (PHA) y se degradan gracias a una bacteria llamada “*Azotobacter*”, generando dióxido de carbono y agua como producto residual.

Existen otros plásticos biodegradables cuya materia prima es de origen vegetal, como el almidón (proveniente de las patatas o del maíz). La diferencia que existe entre las materias de origen vegetal y las sintéticas (a partir del petróleo) es que estas últimas suelen poseer moléculas o cadenas de alto peso molecular, que dificultan su degradación, pero además suelen ser sustancias hidrófobas, al contrario que las materias naturales. Los plásticos biodegradables se destruyen sin necesidad de intervención de microorganismos.

También existen plásticos solubles en agua, llamados polietanol ó alcohol polivinílico. Las mayores aplicaciones son para la actividad agrícola (films) y el envase y embalaje (bolsas, film de embalaje, etc.) Otro reciente tipo de plástico es el plástico fotodegradable, que incorpora sustancias fotosensibles que cuando reciben la radiación solar degradan poco a poco. La desventaja de estos es que, debido a las sustancias fotosensibles que se utilizan en su producción, estos plásticos no se pueden reciclar por los métodos convencionales.

En un futuro, los plásticos que se auto-degraden representarán una alternativa más ventajosa para disminuir la producción de residuos, sin embargo de momento la tecnología necesaria para crear este tipo de plásticos es muy cara.

Conclusiones sobre reciclaje de los plásticos.

La degradación de los polímeros puede darse por cualquiera de los siguientes mecanismos: Biodegradación, Foto degradación, Erosión por el medio ambiente, o degradación química.

Sin embargo ninguno de los mecanismos elimina por completo a los polímeros, exceptuando la biodegradación. Por lo tanto son necesarios procedimientos de reciclaje que ayuden a disminuir la contaminación ocasionada por los residuos plásticos

Dentro del reciclaje de los plásticos tenemos dos vertientes, el reciclado mecánico y el reciclado químico. Estos procesos de reciclaje determinan la calidad y utilización de los productos reciclados obtenidos.

Actualmente se pueden generar plásticos biodegradables que se desintegran cuando ya no son necesarios. Estos plásticos reciben el nombre de polihidroxicalcanoatos o PHA, y se degradan gracias a una bacteria llamada Azobacter. Pueden ser generados por materias de origen vegetal como el almidón, proteínas o pectinas, capaces de destruirse parcialmente sin la necesidad de microorganismos. También existen los solubles en agua elaborados de poli etanol que son utilizados en actividades agrícolas y de envasado. Por último tenemos los plásticos fotodegradables que incorporan sustancias fotosensibles que provocan la degradación. Este tipo de plásticos tiene la desventaja de no poder reciclarse por métodos convencionales debido a los químicos que poseen.

Al conocer cómo se degradan y reciclan los plásticos, podemos definir cuáles son los procesos mediante los cuales, se obtendrán las materias primas con las que se desarrollarán nuevos elementos. Sacando ventaja tanto del proceso de reciclaje como de las características finales con las que contará nuestra nueva materia prima.

5.2 RECICLAJE EN LA UNIÓN EUROPEA.

El reciclaje de los plásticos en los estados miembros de la Unión Europea es eficaz en lo relativo a las botellas de plástico. Sin embargo para mejorar los esfuerzos de reciclaje se tienen los objetivos de:

- Continuar explotando el potencial de la botella.
- Estudiar otros tipos de residuos de embalajes.

Países como Austria, Italia, Alemania, Noruega y España ya recogen (además de las botellas) envases rígidos como bandejas, cubos y tarros con pequeñas cantidades de film. Las nuevas tecnologías de clasificación y lavado, la demanda de los mercados emergentes relativa a productos reciclados, así como su posibilidad de comercialización, ha hecho que los Estados miembros de la UE, revaloren y exploren más este tipo de productos denominados “plásticos mixtos”

El programa de acción de recursos de residuos del Reino Unido ha realizado un estudio sobre el uso de plásticos mixtos. Los puntos importantes de este estudio son:

- Clasificación del material de entrada, para alcanzar un alto nivel de pureza por tipo de plástico.
- Sustitución de polímero virgen en cada caso, por el obtenido mediante el reciclaje, especialmente definido para cada aplicación.
- Definición del tipo de mercado al que irá cada producto reciclado.
- Transformación de materiales de forma equilibrada, sin que sea preferible utilizarlo para la recuperación de energía.

Los porcentajes del material reciclado dependen de la calidad y consistencia del material de que se dispone. Se llegará a más conclusiones en los años venideros, a medida que los Estados miembros vayan experimentando con esta opción de reciclaje.

A nivel mundial el reciclaje mecánico es el más utilizado después de la valorización energética de plásticos, solo en Europa, se tuvo en 2002 una tasa de reciclaje, del 13,6%, subiendo a 14,8% para el año 2003. Este incremento se debe esencialmente a la recuperación selectiva de envases de plástico. El reciclaje químico, después de haber decrecido durante varios años de forma continuada, se incrementó, del año 2001 al 2003, en un 17,4%, gracias al avance tecnológico necesario para desarrollar estas técnicas.

Los datos obtenidos de la UE, mencionan la cantidad de material recogido, tanto si dicho material se queda dentro de la UE o traspasa las fronteras para ser enviado a países como China o la India.

En Europa se producen muchos movimientos transfronterizos de material para reciclaje, en donde unos países son recolectores y otros transformadores de estos materiales.

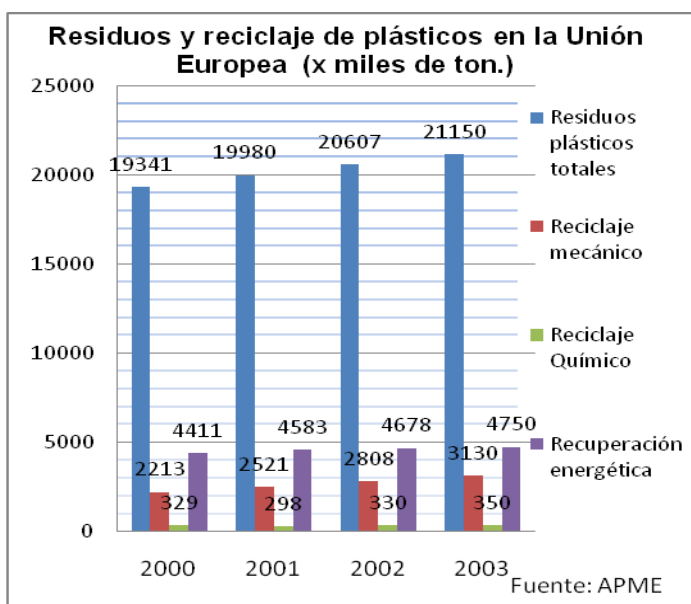
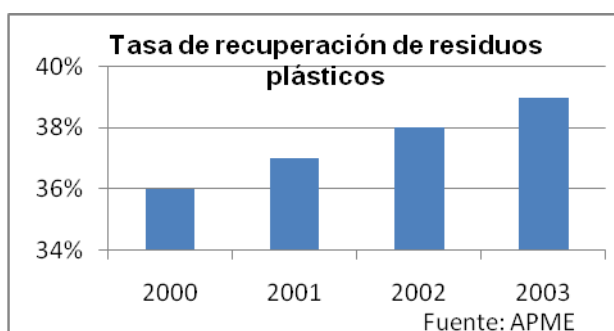


Figura 11. Residuos y Reciclaje de plásticos en la UE. (F.P.)

Por ejemplo la proporción de residuos importados y tratados por empresas de reciclaje en Suiza, Bélgica y los Países Bajos es del orden del 35-45%. Los países miembros de la UE, Noruega y Suiza en 2007 han tenido un aumento de 0,65 Mt (millones de



aumento de 0,65 Mt (millones de toneladas), en las exportaciones de residuos plásticos post-consumo (2,167 Mt en total), lo que representa un 30% más que en 2006. Esto en términos globales representa el 13% de todos los residuos plásticos para reciclaje.

Los porcentajes de reciclaje mecánico, de residuos plásticos de post-consumo aumentaron en la UE del 1% en 2006 al 20,1% (0,5 Mt) en 2007, lo que se traduce en un total de 4,9 millones. Este incremento viene marcado por el aumento de los precios de los polímeros y por la mejora en las tecnologías de recogida y separación de desechos. Además del fuerte impulso de reciclaje que se dio gracias al programa Vinyl 2010, que generó un aumento de materiales provenientes de embalajes, botellas de PET, film de embalaje industrial y productos de PVC.

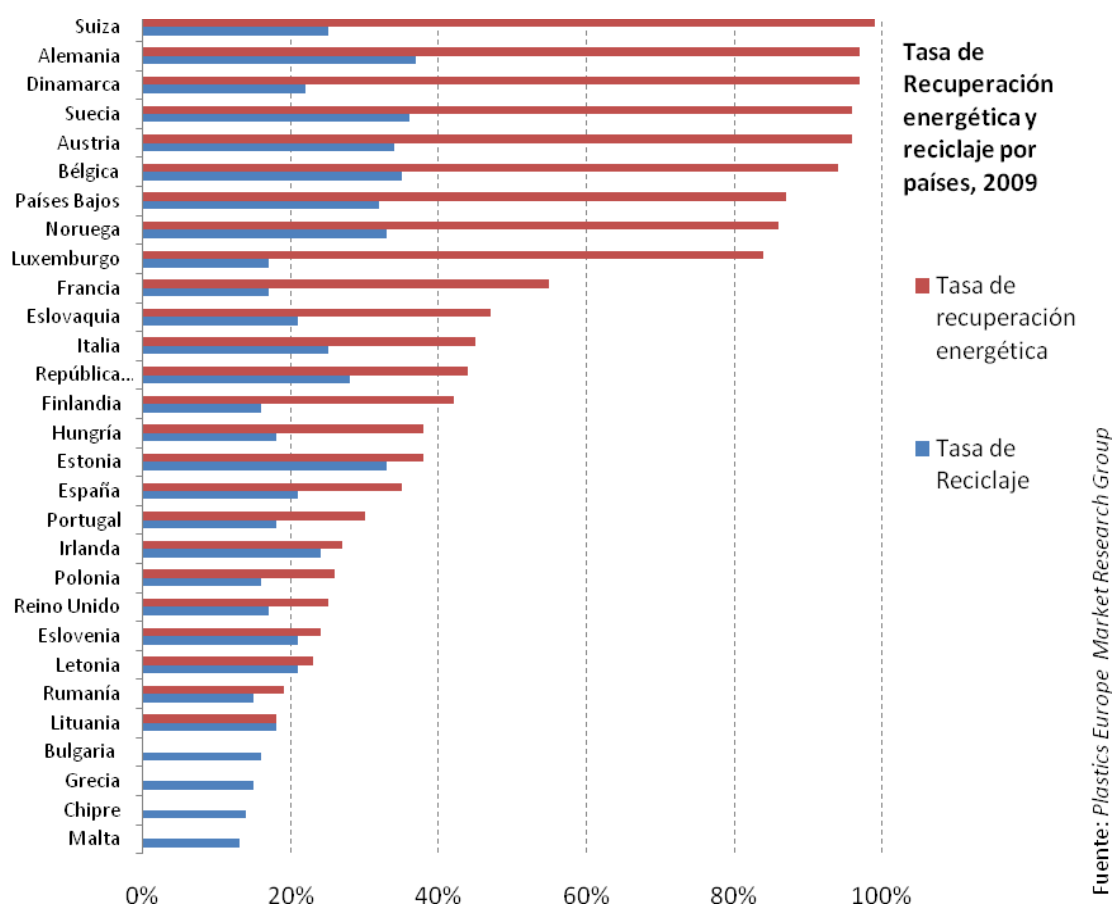


Figura 13. Tasa de reciclaje y recuperación energética por país dentro de la UE. 2009 (F.P.)

Conclusiones sobre reciclaje en la UE

Se tiene un incremento del 10% anual en la producción del plástico. El reciclaje mecánico de los plásticos ha tenido un incremento mantenido en el orden del 3% anual durante la última década. Es necesario dar un mayor impulso al reciclado de plásticos mixtos (envases rígidos, cubos, tarros, films, etc.) Para mejorar este tipo de materiales, en el Reino Unido se ha propuesto implementar un programa de clasificación de plásticos, sustitución del polímero virgen por el reciclado en cada aplicación, definición del posible mercado para cada material reciclado.

Los porcentajes del material reciclado dependen de la calidad y consistencia del material con que se dispone. A nivel mundial el reciclaje mecánico es el más utilizado. El reciclaje químico continua siendo bajo, debido a su complejidad y emisiones que genera.

5.3 EL RECICLAJE COMO MODELO DE NEGOCIO.

El reciclaje de los plásticos disminuye la emisión de gases tóxicos a la atmósfera, además de generar nuevos materiales a partir de sus desechos. Se tienen cuatro aspectos importantes que favorecen el reciclaje para una reducción de emisiones, además de un ahorro monetario/energético:

- Los plásticos son reciclables, por lo que se pueden disminuir los materiales de desecho en vertederos, siempre que se separen del resto de los residuos.
- Al ser utilizados como combustible mixto o biomasa en la generación de energía, se ahorra combustibles fósiles no renovables.
- Durante los procesos de reciclaje se consume menos cantidad de agua que en los procesos iniciales de producción, significando un ahorro en recursos naturales.
- Utilizando los desechos plásticos como materia prima para la elaboración de nuevos plásticos, se disminuye la cantidad de sustancias químicas (algunas tóxicas) que se añaden para mejorar sus propiedades.

El Consorcio Nacional para la Recogida, Recuperación y Reciclaje de Residuos de Embalajes de Plástico ([25] COREPLA) se ha propuesto garantizar el reciclaje y la recuperación de residuos de envases y embalajes. Para el año 2002 amplió la recolección del plástico en Italia, pasando de recolectar únicamente las botellas, a todos los residuos de envases y embalajes plásticos. Esto ha creado un valor añadido para las botellas y el film recuperado, lo que generó que se hayan vendido más de 200.000 toneladas de botellas y unas 50.000 toneladas de film en 2007 a través de subastas por Internet con unos beneficios de más de 40 millones.

En 2007 los embalajes de plástico mixto supusieron más del 35% del total de material recogido en los domicilios, del cual el 40% se recicló y el resto se destinó a la recuperación de energía. Finalmente se ha propuesto la creación de más valor aún para las fracciones de plástico mixto a través de la clasificación automática (para mayor eficacia) y el análisis de los mercados de usuarios finales para dar con las aplicaciones más valoradas.

5.3.1 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS PLÁSTICOS

La valorización energética consiste en la incineración de residuos homogeneizados, en un horno, utilizando el calor resultante, para calentar un líquido (normalmente agua) que pasará a vapor y servirá para producir energía. Es importante destacar que durante la incineración pueden aparecer sustancias tóxicas, como es el caso de dioxinas y furanos, por lo tanto es imprescindible tener unos sistemas de limpieza y gestión, tanto de gases como de cenizas, adecuados para no emitir estas sustancias al exterior. La mejor opción

para la incineración de plásticos es hacerla por separado, empleando solamente plásticos, ya que será más fácil controlar las emisiones de estos materiales una vez homogéneos.

Después del reciclaje, la valorización es la segunda opción más favorable para la gestión de los plásticos. Este método es aconsejable en el caso de que los plásticos estén muy deteriorados, sucios, o mezclados con otros materiales difíciles de separar. Lo esencial para una buena valorización es que los materiales a tengan elevado poder calorífico, algo que los plásticos cumplen a la perfección ya que contienen en su mayoría alrededor de 45.000 KJ/Kg, mientras que el fuel-oil contiene 44.000 kJ/kg. En otras palabras podemos decir que de un solo envase de yogur, se obtendría la energía necesaria para mantener encendida una bombilla durante una hora aproximadamente.

Uno de los principales nichos de este modelo de aprovechamiento, son las fábricas cementeras, ya que necesitan una gran cantidad de energía para calentar sus hornos, sirviendo como sucedáneo al carbón, que es el combustible más utilizado y con ello reducir el impacto ambiental que este material provoca en sus procesos de extracción y combustión.

Conclusiones sobre el reciclaje como modelo de negocio.

Teniendo una correcta separación de los residuos plásticos, se pueden utilizar para diferentes aspectos que van desde la generación de energía al ser utilizados como combustible. Disminución de consumo de agua, disminución de emisiones y uso de sustancias tóxicas en los procesos de re transformación de plásticos.

Con el reciclado se consumen menos hidrocarburos, además de que pueden ser utilizados los residuos como combustibles gracias a su enorme potencial calorífico ya que contienen 45.000 KJ/Kg. La valorización energética consiste en la incineración de residuos hasta homogeneizarlos, los cuales se utilizaran para calentar un líquido que pasará a vapor y generará energía.

5.4 TENDENCIAS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA.

La recuperación energética, así como los reciclajes mecánicos se han incrementado en casi un 10% anual en los últimos 10 años (1996-2006). Sin embargo el número de plásticos que terminan su ciclo de vida en vertederos, se han mantenido estables.

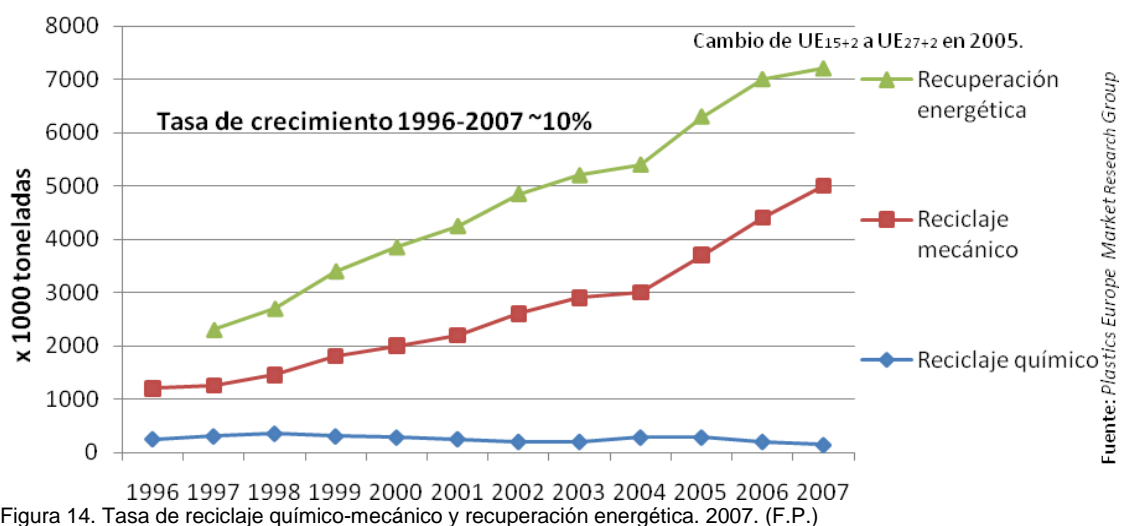


Figura 14. Tasa de reciclaje químico-mecánico y recuperación energética. 2007. (F.P.)

Dentro de la Unión Europea las cifras de reciclaje y recuperación energética varían considerablemente de un país a otro. En Alemania, Suecia, Dinamarca y Suiza, existen muy pocos vertederos (estos países están a punto de completar la estrategia de eliminación de vertederos). Asimismo Bélgica, Austria, Luxemburgo y Holanda recuperan más del 80% de sus residuos plásticos de post-consumo. Sin embargo, del otro lado de la moneda están países como Italia e Inglaterra que consumen una gran cantidad de plásticos y que tienen una mala gestión de residuos.

El reciclaje y la recuperación energética juegan un papel primordial para la disminución de emisiones y contaminación del suelo. Un estudio de la consultora Prognos ([26] PEMRG 2007), menciona en un informe que, si todos los residuos que actualmente terminan en vertederos, se gestionasen correctamente en centros de reciclaje y recuperación energética, automáticamente se cumpliría el objetivo de 2,7% en la disminución de gases de efecto invernadero, establecido en la convención de Kyoto para la UE.

En la figura 14 se puede ver que los países que tienen un alto nivel de reciclaje también lo tienen en recuperación energética. Por lo que se deduce que; una estrategia que incluya la recuperación energética no es contraria a tener buenos niveles de reciclaje. Esto pone de relieve la necesidad de una estrategia integral de gestión de recursos, que comprenda ambas actividades, ya que ningún país puede asumir el reciclaje de todos los residuos post-consumo.

También tenemos que; aunque en la mayoría de los países del EU27 + Noruega y Suiza, se tienen niveles parecidos de reciclaje, existen enormes diferencias en cuanto a la recuperación de energía se refiere. Es por ello que se necesita potenciar el reciclaje a la par de un aumento de producción (recuperación) de energía con residuos. Como propuesta se puede decir que; los niveles de reciclaje pueden ser aumentados mejorando los sistemas de reciclado de botellas y residuos industriales.

Los progresos en el reciclaje mecánico y materia prima en la zona UE27, Noruega y Suiza aumentaron del 19,5% en 2006 al 20,4% en 2007, mientras que la recuperación energética se mantuvo estable con un 29,2%. Muchos Estados miembros tendrán que hacer grandes esfuerzos para explotar todo el potencial de la estrategia de desviación de los vertederos (más en concreto en lo referente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el uso más eficiente de los recursos y la seguridad de la energía) así como para evitar las penalizaciones por crear vertederos.

En 2007, se recuperaron en forma de energía 7,2 millones de toneladas, es decir el 29,2% de los residuos plásticos post-consumo en la zona UE27+Noruega y Suiza, porcentaje que se ha mantenido estable desde 2006. Las incineradoras municipales continúan siendo la tecnología más habitual para la recuperación de energía. Nueve países de los de la zona UE27+NO/CH destinan del 58% al 81% de sus residuos de post-consumo a las plantas de recuperación de energía. Francia destina el 38%, mientras que otros países destinan el 20% o menos de sus residuos post-consumo a sus plantas de recuperación de energía. ([27] Plastics Europe 2007)

Otra forma adicional de obtención de energía a partir de los residuos es la producción del llamado combustible sólido recuperado (CSR) mediante la concentración de residuos con un elevado poder calórico y su conversión en combustible según las especificaciones acordadas entre el usuario y el productor. Se espera un crecimiento del uso de este tipo de combustibles sólidos recuperados una vez se aprueben las normas europeas por parte del Comité Europeo de Normalización (CEN) para su producción y comercialización. Este tipo de combustible “concentrado” con alto poder calórico tiene un enorme potencial como sustituto parcial de otros combustibles para la combustión conjunta en cementeras, papeleras y plantas de cogeneración (incluyendo la calefacción central). En Alemania ha aumentado considerablemente la capacidad de producción de CSR y está avanzando en otros países. INEOS (fabricante de plásticos) ha obtenido recientemente permisos para planificar una central eléctrica a partir de CSR en el Reino Unido, y una empresa energética finlandesa está construyendo una nueva central alimentada con CSR. Según estudios recientes, hay importantes datos positivos relativos a la co-combustión de

combustibles sólidos recuperados (CSR) y biomasa: la adición de CSR permite una combustión más rápida (ya que la biomasa tiene un cierto contenido de agua, y el CSR no) lo cual posibilita una combustión más rápida, estable y eficiente, así como mejores resultados en las calderas. La combustión conjunta de CSR y biomasa resultará rentable desde un punto de vista económico, cuando el CSR se encuentre disponible localmente.

SPITTELAU es una incineradora de cogeneración situada en el centro de la ciudad de Viena. La planta tiene una capacidad para 60.000 toneladas anuales y produce 66MW, con una eficiencia de hasta el 86%. De la producción total, 60MW se destinan al sistema de calefacción central de Viena y los 6 MW restantes se vierten a la red eléctrica de la ciudad. Aproximadamente el 10% en peso de la corriente de alimentación es plástico, aportando el 50% del contenido calórico de la misma, gracias a su elevado calor específico. Cuando los gases de combustión salen por la chimenea de 128m de alto, han pasado por uno de los procesos de limpieza más efectivos, lo que permite el cumplimiento de la Directiva sobre Incineración de Residuos.

Conclusiones sobre tendencias de recuperación de energía.

Los residuos plásticos han mantenido un incremento del 3% anual en los últimos 10 años. Mientras que el reciclaje mecánico y químico se ha incrementado en un 10% anual en el mismo periodo, lo que significa un gran avance en la gestión de residuos. Sin embargo la recuperación energética se ha mantenido constante sin un crecimiento sustancial dentro de la UE.

Asimismo dentro de la UE la tasa de reciclaje son muy parecidas sin embargo existen grandes diferencias en cuanto a la recuperación energética se refiere. Es por ello que se hace necesario el implemento de una estrategia exitosa que conjunte el reciclaje con la recuperación energética, ya que en caso de que se gestionaran correctamente estas dos cosas, se podría cumplir automáticamente el objetivo de reducción de emisiones contaminantes para la UE de 2,7% establecido en la convención de Kyoto.

tejidos, cristal y metal sustituyen a materias primas, lo que contribuye a proteger los recursos naturales. Además del aspecto ecológico, este proceso se presenta como una alternativa económica y atractiva para los usuarios de materias primas secundarias, ya que los precios de la materia prima siguen incrementando.

5.5.3 MATERIALES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

En el sector eléctrico y electrónico el reciclaje está limitado por la complejidad de los productos y el proceso de separación, que es muy laborioso y costoso. Un ejemplo del aumento del reciclaje es la pared trasera de los frigoríficos. Para la mayoría de las corrientes de residuos, la mejor opción es un tratamiento térmico vía reciclado químico o mediante recuperación de energía. Existen dudas respecto a los volúmenes reales de residuos en este sector. Se puede asumir que parte de este material se exporta fuera de Europa.

5.5.4 SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Muchos edificios y casas se mantienen cálidos o templados gracias a los aislantes plásticos. Si tenemos en cuenta que casi el 40% de toda la energía mundial es utilizada en los edificios y viviendas, la posibilidad de un correcto aislamiento sería uno de las mejores iniciativas para cumplir con los objetivos del pacto de Kyoto respecto a la disminución de gases contaminantes.

Los elementos elaborados de plástico que más se utilizan en la construcción son; mangueras, aislantes térmicos, marcos para ventanas, pisos y recubrimiento para muros. Los pisos elaborados de PVC han sido utilizados por más de 55 años, y han probado su eficacia en áreas domésticas como cocinas, baños, pasillos, y cuartos de niños. Asimismo ha sido indispensable su contribución para áreas públicas como hospitales, salas de enfermos, salas de operación, escuelas, edificios públicos, oficinas y centros deportivos.

La vida útil de los plásticos en la construcción tiene un promedio de 35 años, pero estas pueden variar drásticamente según su aplicación, pasando de 5 años para el papel tapiz, a 100 años para las mangueras.

Predicción de residuos plásticos del sector de construcción y demolición			
(Toneladas por año para el Oeste de Europa)			
	1995	2000	2010
Cubiertas de muros y pisos	274	285	370
Ductos y mangueras	96	240	380
Aislamiento	84	132	400
Perfiles	72	105	160
Revestimientos	59	84	150
Ventanas	6	12	65
Mobiliario y equipamiento	250	320	450

Materiales Plásticos en el sector de la construcción (PERMG2010)

5.5.5 VERTEDEROS

La opción de enviar los residuos plásticos a vertedero es la menos deseable y solo debería utilizarse siempre que no se pudieran realizar las dos anteriores. Los vertederos que se utilizan son los de residuos sólidos urbanos, excepto para residuos de envases de plástico que hayan contenido residuos peligrosos, que también serán tratados como residuos peligrosos. Aun así, los residuos son cada vez más abundantes y los vertederos se van llenando cada vez más deprisa, siendo necesario la apertura de nuevos vertederos que no podrán ser reacondicionados para otros fines durante mucho tiempo.

Conclusiones sobre reciclaje y recuperación por segmentos de aplicación.

En la EU el 63% del volumen de los productos de envase y embalaje son recuperados. Reciclandose cerca del 40% de botellas y film industrial y más del 90% de cajas de cartón. Las cifras de reciclaje de plástico mixto, se mantienen bajas con apenas un 10% de volumen total, reciclado.

Volkswagen creó un procedimiento llamado Volkswagen-Sikon en donde se recupera más del 95% del total del vehículo reciclado.

En la UE, países como Suiza, Bélgica y Holanda tienen una gran capacidad de reciclaje e importan entre un 35-45% del total de los plásticos reciclados anualmente.

En 2007 la UE 27 + Noruega + Suiza incrementaron un 30% (2,167 Mt) sus exportaciones de plástico respecto al año anterior. Asimismo se incrementó en un 19% el total de plásticos reciclado por medios mecánicos para el mismo periodo, pasando de 1% en 2006 a 20,1% para 2007.

5.6 PANORAMA ESPAÑOL DE CONSUMO, RECICLAJE Y VALORIZACIÓN ENERGÉTICA

En España la empresa CICLOPLAST ha creado un Sistema Integral de Gestión (SIG) llamado CICLOAGRO que desde 2002 ha obtenido muy buenos resultados al reciclar principalmente el film empleado en el cultivo de la fresa, reciclando en 2002 un total de 10.136 toneladas que represento un 45% del total del plástico agrícola más problemático en Andalucía.

En España la Sociedad CICLOPLAST, en colaboración con Ase-TUB y al apoyo de la Junta de Residuos de Cataluña se llevó a cabo un experimento piloto denominado CICLOTUB para la recogida de los residuos plásticos generados en las obras de construcción y demolición, principalmente tuberías.

La producción de plásticos conlleva a un gran gasto energético. Para el año 2001, España tuvo un consumo por habitante solo de poliestireno de; 7Kg. Si consideramos que para producir estos 7 Kg de poliestireno, fueron necesarios utilizar una cantidad de energía equivalente a 200Kw/hr ([29]CEP 2001), tenemos que el gasto energético total representa un problema de gran magnitud, sino se emplean medios para recuperar en parte esa energía utilizada ([30]CICLOPLAST 2007).

a) Consumo y Reciclaje

España en el año 2007 tuvo un incremento del 2,3% en consumo de plásticos, mientras el porcentaje de reciclado de residuos plásticos aumentó un 5,7% llegando a las 526 mil toneladas. Esto corresponde al crecimiento mantenido del 13% que ha tenido la industria del reciclado en el periodo 2000-2007 y que significa un aumento del 0,85% con respecto a las previsiones de la Directiva y Ley Española de envases y residuos, que para el año 2007 se había fijado un total del 22,5% del porcentaje de plástico reciclado en el país. En total, solo de envases plásticos se reciclaron 392 mil toneladas, un 8,6% más que el año anterior.

En cuanto al tipo de plásticos, el de mayor consumo es el polietileno (alta y baja densidad) que representa un 60% del total reciclado. Siendo también el más reciclado en el apartado de envases con un 74% del total reciclado.

Los plásticos reciclados del sector industrial se mantienen estables con un incremento del 0,7% con respecto al año anterior. El reciclado proveniente de uso

doméstico tuvo un incremento del 13,45% alcanzando las 253 mil toneladas en el 2007.

Debido en gran medida al sistema de recogida selectiva de envases ligeros, apoyado por las 89 plantas de selección y 33 recicladoras de plásticos homologados por el Sistema de Punto Verde. Un aspecto por mejorar es implementar una subdivisión en la selección de plásticos, dentro de los contenedores amarillos en: botellas, envases, tarinas, filmes y bolsas de plástico por igual.

b) Valorización Energética

Se ha demostrado que existen límites al reciclado mecánico para determinados residuos plásticos, condenándolos a terminar su ciclo de vida en vertederos. Estos límites pueden ser superados con alternativas de creación de energía. Teniendo en cuenta el elevado poder calorífico de los residuos plásticos, se pueden sentar las bases para su exploración en forma de valorización energética, utilizándolos como combustible alternativo en plantas donde se utilicen hidrocarburos o carbón como lo pueden ser las fabricas cementeras o incluso la calefacción central de los hogares.

La recuperación energética de los plásticos en España (13% en 2007) sigue estando muy por debajo de otros países Europeos como Alemania (61%), Austria (68%), Suiza (76%) o Dinamarca (81%) entre otros. Siendo necesaria la implementación de una estrategia que combine reciclado y valoración energética como lo han hecho los países anteriormente mencionados teniendo excelentes resultados.

El aumento de los residuos originados por trabajos de Construcción y Demolición (C&D) ha sido de 180 millones de toneladas cada año, esto supone más de 480 kg de residuos por persona por año y únicamente el 28% de esta cantidad es reutilizada o reciclada en la EU-15, el 72% restante, alrededor de 130 millones de toneladas al año va a parar a los vertederos. Si ponemos que para un millón de toneladas se necesita un vertedero con área de



Figura 16. Reciclaje de plásticos en C&D para el año 2004 (F.P.)

13km² y una profundidad de 10 metros, nos podemos hacer una idea de la magnitud que representa este problema. El 80% del total de residuos de C&D son originados por cinco países de la EU-15 que son; Alemania, Reino Unido, Francia, Italia y España.

Conclusión sobre el panorama español de consumo, reciclaje y valorización energética.

El tipo de plástico más utilizado y reciclado en España es el PE (AD-BD) que ocupa el 60% del total de plásticos reciclados. Además en lo referente a envases y embalajes esta misma familia tiene una tasa del 74% de reciclaje anualizada.

Como propuesta para mejorar los medios y procesos de reciclaje de plásticos, se considera necesario el compartimentar los contenedores amarillos (plásticos) por el tipo de material de post consumo en los siguientes 4 subproductos:

- 1. Bricks.*
- 2. Botellas.*
- 3. films y similares.*
- 4. Envases.*

El reciclaje en España ha tenido un aumento del 13% en el periodo 2000-2007 aunque representa un incremento de 0,85% con respecto a las previsiones de la Directiva y Ley española de envases y residuos, sigue estando muy por debajo de otros países como Alemania (61%), Austria (68%), Suiza (76%) o Dinamarca (81%).

Es necesaria la implementación de una estrategia que combine reciclado y valorización energética, para incrementar los beneficios obtenidos (tanto económicos como ecológicos) de estos materiales.

6 ■ ESTADO DEL ARTE -

Dentro de este capítulo se describen diferentes ejemplos de materiales elaborados con plásticos reciclados.

El plástico está siendo reutilizado cada vez más para la creación de nuevos productos, aprovechando las propiedades físicas que poseen desde su transformación inicial. Elaborando materiales con buena resistencia y un alto valor agregado.

El uso de estos nuevos elementos es tan variado como las opciones de reciclaje que se tienen para cada familia de plásticos.

“La ciencia humana consiste más en destruir errores que en descubrir verdades”

Sócrates

NUEVOS USOS PARA EL PLÁSTICO RECICLADO

Con el desarrollo de los plásticos durante el siglo XX, se tuvieron enormes avances tecnológicos, ya que estos sustituyeron a materiales tradicionales, permitiendo desempeñar nuevas funciones al más alto grado de rendimiento. Hoy en día, nos sería prácticamente imposible realizar las tareas que habitualmente hacemos, sin la ayuda de los productos que han sido contruidos con plásticos, desde su uso en la industria médica, automotriz o incluso espacial.

En los capítulos anteriores hemos observado en qué consisten los plásticos, cómo están formados, cuáles son sus características y la manera en que pueden ser reciclados o valorizados. Algunas de estas aplicaciones comprenden diferentes opciones como su valorización energética utilizada en la industria cementera, la elaboración de textiles para la industria del vestido, mobiliario urbano y de señalización, así como elementos de envolvente de edificios en la industria de la construcción, hasta llegar al desarrollo de elementos con propiedades estructurales y de uso en puentes y raíles ferroviarios.

Pero aún a pesar de las enormes ventajas que nos ofrecen estos materiales, existe un problema relacionado con sus desechos. El problema radica en la falta de planeación en su recolección, reutilización y reciclaje. Aun así, desde hace más de tres décadas, se han venido presentando diferentes nuevos usos para los desechos de plásticos, como los que enumeramos a continuación.

6.1 MADERA DE PLÁSTICO RECICLADO

La Madera de Plástico Reciclado o MPR (El término viene del inglés "Recycled Plastic Lumber o RPL) es uno de los principales usos de los plásticos reciclados en la construcción. Actualmente a nivel mundial es común encontrar diferentes materiales y elementos constructivos elaborados con MPR. En parte este éxito se debe a las ventajas ante ciertos agentes medio ambientales que afectan a la madera por su composición orgánica, además de poder ser reciclado y reutilizado, también ayuda a la reducción de desechos inorgánicos en vertederos y a un ahorro en los barriles de petróleo que son utilizados para su fabricación ([30]CIWM 2000).

Proceso de Fabricación

En general, el proceso de fabricación de la Madera de Plástico Reciclado (MPR) incluye los siguientes pasos:

- **Preparación del material.** Ordenar y limpiar, luego moler el material recuperado de plástico en granza de distintos tamaños.
- **Extrusión.** Homogeneizar y rápidamente se derriten los copos que utilizan el calor y la presión dentro de un tornillo giratorio (extrusora).
- **La formación.** Expulsión de la mezcla a través de un molde para la obtención de planchas, el enfriado se realiza en el molde en un baño de agua y se expulsa el producto acabado.

Desarrollo de normas para la MPR.

El desarrollo de especificaciones y métodos de prueba para su estandarización es sumamente importante para el poder utilizar la madera de plástico en aplicaciones estructurales, que es un mercado en expansión. La normalización permitirá a la MPR poder ser clasificada en varios niveles de rendimiento a fin que se pueda ser utilizado en la industria de la construcción. A continuación se enumeran los avances más relevantes en el desarrollo del producto, así como sus especificaciones.

Especificaciones del producto.

Las especificaciones de la MPR se basan en sus características de funcionamiento. El desarrollo de este material a nivel mundial tiene a los Estados Unidos como principal desarrollador, la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales o ASTM, (American Society for Testing and Materials) creó una sección sobre: Madera de plástico reciclado y sus formas (D20.20.01).

Esta sección está coordinando el desarrollo de estándares de la industria en donde incluye métodos de ensayo, instalación, especificaciones, prácticas recomendadas, y la definición de perfiles dimensionales elaborados a partir de plásticos reciclados.

La Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos o "EPA" (United States Environmental Protection Agency) proporciona algunos fondos para apoyar a la ASTM en actividades relacionadas con el desarrollo de normas y especificación de la MPR.

Actualmente la ASTM está revisando su especificación para el reciclado de plástico de juntas de cubierta, y también esta trabajado con “Plastic Lumber Trade Association” (PLTA) y el “Batelle Memorial Institute” para desarrollar especificaciones referentes a las propiedades físicas y mecánicas de la madera de plástico.

En Ontario Canadá, el ministerio de transporte desarrolló las especificaciones para el uso de madera de plástico en aplicaciones de carretera. Los resultados de este estudio fueron presentados en la conferencia de “Woodfiber Plastic” en Mayo de 2005 siendo favorables y aceptando su uso para la elaboración de bolardos y barreras de protección en carreteras.

La ASTM en consideración de los métodos estándar de ensayos para la MPR, propuso el desarrollo de los siguientes métodos de ensayo.

- Densidad aparente, y peso específico de MPR fabricados por Extrusión.
- Propiedades de compresión de la madera de plástico reciclado y sus diversas formas.
- Propiedades de flexión de la madera de plástico reforzada con fibras y sin reforzar.
- Resistencia a la flexión, compresión, fluencia y rotura de la madera de plástico con sus diversas formas.

Haciendo un análisis sobre la madera de plástico reciclado, se hizo la comparación entre dos de las principales empresas dedicadas a la producción de estos materiales en los Estados Unidos y se obtuvieron los siguientes datos:

Compañías de MPR: Plastic Lumber EPS y Plastic Lumber Company

Usos: cubiertas, suelos, barreras de sonido, cercas y barandas exteriores, pasarelas comerciales, aplicaciones marinas y de muelles, patios de recreo y usos de la madera tradicional en contacto con agua. Sin embargo, hay que tener en cuenta el diseño del elemento, ya que la madera de plástico reciclado no está recomendada para desempeñar trabajos de tipo estructural. Este producto puede ser manipulado y trabajado con las herramientas convencionales utilizadas para trabajar con madera.



Fig. 17 Tablas de madera de plástico reciclado
(Fuente: Plastic Lumber Company)

Elaboración: mediante un sistema de extrusión continuado utilizando;

- PE (AD-BD), entre un 70-80%.
- Cargas y colorantes entre un 20-30% (dentro de las cargas esta un retardante al fuego, cal, magnesio y fibras de madera, kenaf, cáñamo, etc., para dar una sensación rugosa al tacto).

Las dimensiones de la MPR son generalmente las mismas que se emplean en la madera natural, para las pruebas se tomaron dos dimensiones tipo:

- 5x15 cm. (2"x6" sistema inglés)
- 3,2x15 cm (5/4"x6")

Estandarización: Los elementos de MPR elaborados por estas compañías fueron analizados conforme a la norma ICC de evaluación AC174 de los "Criterios de evaluación de cubiertas marinas y sistemas de barandas", bajo unas condiciones de temperatura comprendidas entre los $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del 50% al $\pm 5\%$ de acuerdo a la norma ASTM D7032.

Las pruebas de resistencia a flexión fueron elaboradas mediante las normas; D7032-04, D6109-05. Realizando pruebas en 28 ejemplares, sometidos a tres puntos de carga.

La resistencia a luz ultravioleta fue evaluada según la norma ASTM D7032-04. Se realizaron pruebas en 20 ejemplares, expuestos un total de 2000 horas de ciclo 1 (según norma ASTM G 154-04) utilizando 342 lámparas de luz ultravioleta. Finalmente los ejemplares fueron ensayados inmediatamente después de la exposición a pruebas de flexión.

Recomendaciones:

En caso de incendio apagar utilizando: espuma, CO_2 , espray químico seco, espray de agua. Las emisiones de estos productos en combustión son: nitrógeno, dióxido de carbono, agua y vapores orgánicos, olor a polifenoles.

Este tipo de material no es recomendable para cualquier aplicación estructural, ya que sufre de deterioro debido a los rayos ultravioleta que pueden ocasionar en una pérdida de la dureza y estabilidad interna del elemento (por fluencia).

Propiedades físico químicas:

Prueba	Plastic Lumber EPS	Plastic Lumber Company
Densidad	0.917 g/cm ²	0.980 g/cm ²
Resistencia a Flexión	115.4 kgf/cm ² (1,641.5 PSI)	94.02 kgf/cm ² (1,337.4 PSI)
Resistencia a la Compresión	1,611.20 kg/m ² (330 lb./ft ²)	2,245.90 kg/m ² (460 lb./ft ²)
Resistencia a rayos UV	N/A	N/A
Tiempo de Ignición	55 segundos	58 segundos
Tiempo de combustión	202 segundos	215 segundos
Tiempo a máx. / temp.	475 seg.	480 segundos
Temperatura de fusión	112° C	107,22° C
Temperatura de Ignición	320° C	330° C
Temperatura máxima	440° C	415° C
Velocidad de propagación	4,63 m/seg.	4,71 m/seg.
Dureza Shore D	60	65
Propiedades eléctricas	-	>10 ohm-cm
Absorción de agua	<0,01% @ 24 hrs.	<0,01% @ 24 hrs.
Expansión térmica	0,252 cm/ml	0,25 cm/ml

6.1.1 CUBIERTA DE PLÁSTICO RECICLADO Y FIBRAS

El Laboratorio de Productos Forestales (Forest Products Laboratory) y de Teel-Global Resource Technologies (ubicado en Wisconsin, E.U.A.) han desarrollado un sistema de cubierta, elaborada completamente de fibras naturales recicladas y de plástico reciclado.



Fig. 18 Cubierta de fibras recicladas de plástico y madera. (Fuente: Forest Products Laboratory.)

Este sistema, está conformado por paneles, que se unen mediante colas especiales, y por medios tradicionales utilizados en la madera natural. Los paneles pueden ser moldeados fácilmente y ser utilizados como sustitutivo del sistema de cubierta

tradicional; como los elaborados de tejas de distintos materiales orgánicos y cerámicos. La calidad estética de los paneles, es de buena calidad, dando la apariencia ser un producto caro, pero resultando en realidad más económico que el material que viene a reemplazar.

Estudios de este sistema, han demostrado muchas ventajas sobre los sistemas de tejado tradicionales, ya que al usar materiales reciclados y diferentes moldes, se obtienen diferentes tipologías de tejados con un coste substancialmente menor que aquellos elaborados con pizarra, arcilla, madera y fibra de vidrio, además de ser:

- **100% Reciclable con desperdicio mínimo:** *Todo el material resultante de la fabricación o de la instalación, puede ser reutilizado directamente para moldear nuevos paneles.*
- **Mejor estabilidad dimensional:** *La dilatación y contracción que presenta el material son mucho menores a las de los productos de plástico puro como los de fibra de vidrio.*
- **Fácil manejo:** *Se pueden utilizar para el montaje, las herramientas tradicionales para manejar la madera, sin que haya prácticamente ninguna rotura.*
- **Ahorro en la instalación:** *El sistema de paneles es más ligero que los sistemas tradicionales de cerámica, lo cual facilita la instalación, disminuyendo los tiempos de construcción y sin la necesidad de tener mano de obra cualificada para su colocación.*

Estas compañías realizaron pruebas para optimizar la dosificación del plástico reciclado y las fibras naturales, incluyendo pruebas con distintas fibras naturales como el yute o el kenaf, debido a que ofrecían una mejor estabilidad dimensional y mejor entrelazamiento con los componentes de PEAD, PEBD, PP y PVC. El diseño geométrico se perfeccionó para garantizar un producto de fácil instalación.

Se determinó el diseño más eficaz y de fácil instalación. Para conocer la resistencia a largo plazo, se sometieron los paneles a una exposición prolongada en cámaras de luz ultravioleta. Los investigadores también realizaron pruebas de resistencia a la compresión y al fuego del material.

Un sistema completo de tejado compuesto, ha sido instalado y monitoreado en 4 viviendas. La información obtenida será usada, para comparar este sistema y el de materiales convencionales, en base a costes, facilidad de instalación, mano de obra, y generación de desperdicios.

6.1.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO DESARROLLADO CON PLÁSTICO RECICLADO.

([31] ECO HUB)

En Gran Bretaña encontramos un ejemplo particular de lamas de madera de plástico reciclado dentro de un sistema mixto para la elaboración de viviendas. Adrian Quinn ha desarrollado un sistema constructivo para viviendas prefabricadas en forma cilíndrica de dos niveles, utilizando el plástico reciclado como materia prima.



Fig. 19 Vivienda elaborada con una cubierta de plástico reciclado reforzado con fibras naturales (Fuente: Eco-Hub)

Su aspecto es similar a un iglú, cuenta con un aislamiento térmico exterior de poliuretano, y una estructura interior de hormigón con acabado en yeso.

El objetivo de este producto es crear una vivienda que sirva igualmente para usuarios temporales o permanentes, que tenga un bajo coste que sea fácil de transportar y ensamblar en el destino final, que convine técnicas pasivas y activas de ganancia térmica y que al término del ciclo de vida de la vivienda que pueda ser reciclable.

Debido a la forma circular de la vivienda, los muebles en el interior son elaborados a mano y acorde a las medidas de cada habitáculo, teniendo varias presentaciones que van de los 4 a los 8 metros de diámetro y 6.2 m de altura aprox. También dispone de un lucernario en la parte superior que brinda luz natural, además de ventanas circulares en el perímetro de la vivienda.

- La vivienda cuenta con 2 partes que están articuladas en torno a una estructura cilíndrica de acero.
- El interior está revestido con fibra a prueba de fuego y con un acabado en yeso.
- El exterior está aislado utilizando entre 100 y 120 mm de espuma de poliuretano, que sirve como aislamiento térmico y acústico. Sobre el aislante de poliuretano lleva un revestimiento de tejas de plástico reciclado.
- La vivienda se asienta sobre una plancha de hormigón armado de 110 mm de espesor el cual recibe las instalaciones hidráulicas y sanitarias. Así como la calefacción de suelo radiante.
- La cimentación se ofrece en tres variantes; con pilotes elaborados in situ, un anillo reforzado con vigas de hormigón, o una plancha circular de hormigón armado a 200 mm de la base del habitáculo.



Figura 20. Muestra el interior de un Eco-Hub de 8 m. de diámetro, la vista de la fachada principal con su puerta de acceso y la sección de un Eco-Hub. (Fuente: Eco-Hub)

Conclusiones sobre la madera de plástico reciclado.

El uso de la madera plástica obtenida de materiales reciclados se está abriendo paso en el mercado gracias a las ventajas de mantenimiento que tiene sobre la madera convencional. La ASTM (Sociedad Americana para pruebas de materiales) creó en 2001 una sección piloto para la madera de plástico reciclado y sus formas (D20.20.01) donde establece métodos de ensayo, especificaciones, prácticas recomendadas, y definiciones de perfiles dimensionales para productos de plástico reciclado. Así mismo la EPA (Agencia de Protección ambiental de EU) proporciona fondos para apoyar el desarrollo de las normas y especificaciones de la madera de plástico reciclado.

Las pruebas y métodos de ensayo para estos materiales son:

Densidad aparente y peso específico, resistencia a compresión, flexión, fluencia y rotura, y se trabaja para definir los métodos de ensayo adecuados para medir la inflamabilidad y la resistencia a sujetadores. Fue necesario especificar un máximo admisible de urdimbre en el pliego de características de la MPR.

La MPR puede ser utilizada en usos tradicionales de la madera orgánica, en exteriores y en zonas en contacto con agua.

Este material está elaborado en un 70-80% de PE (AD-BD) y un 20-30% de cargas (retardantes al fuego, serrín, cal, etc.)

Puede encontrarse a este material con las mismas dimensiones que se trabaja la madera tradicional, al igual que pueden emplearse las herramientas convencionales para su manipulación.

La MPR no puede desempeñar trabajos estructurales, debido a la degradación que sufre por la radiación UV que puede ocasionar una pérdida de la dureza y estabilidad interna.

Los elementos de cubierta elaborados con fibras de kenaf, yute o cáñamo en unión con materiales termoplásticos, pueden ser fácilmente moldeables, ligeros, fáciles de transportar y con una buena calidad estética. Los procesos de transformación no son complicados y los sobrantes pueden ser reciclados por varias ocasiones.

La madera de plástico reciclado puede ser utilizada en sistemas mixtos de construcción, la vivienda Eco Hub, es un ejemplo donde intervienen diferentes técnicas de ahorro energético (pasivas y activas). El sistema constructivo se basa en una estructura de hormigón y acero, cubierta por un enlucido de yeso al interior y por un aislante de poliuretano al exterior que es cubierto por placas de plástico reciclado (PE, PP, PVC) reforzado con fibras naturales. A pesar de tener una estética particular, es un ejemplo real de la importancia que pueden tener los materiales reciclados como materiales de valor añadido, ofreciendo un buen comportamiento energético y una gran variedad de aplicaciones.

En este capítulo hemos visto las propiedades que tiene la madera de plástico reciclado, sus características y las posibilidades de uso. Con esta información se demuestra la importancia que tienen los desechos de plástico para la elaboración de nuevos materiales con buenas propiedades físicas y químicas, aprovechando las características que tienen ya estos materiales y ofreciendo la posibilidad de desarrollar nuevos elementos con un alto valor agregado.

6.2 NUEVOS MATERIALES DE PLÁSTICO RECICLADO

Además de haber realizado un análisis de mercado con los elementos más representativos desarrollados con plásticos reciclados, también se realizó un análisis bibliográfico sobre las investigaciones relacionadas con el desarrollo de nuevos materiales y sistemas constructivos, utilizando al plástico reciclado como su materia prima. A continuación se exponen algunos de los ejemplos más representativos encontrados en este aspecto.

6.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TERMOPLÁSTICOS RECICLADOS. ([32] BARGO 2000)

Esta investigación consiste en la caracterización de las propiedades mecánicas de tensión, flexión, compresión, impacto, dureza, y la fluencia de materiales reciclados de ABS y policarbonatos especialmente por sus buenas propiedades mecánicas. Los resultados de esta investigación sirvieron para un desarrollo en la reutilización de materiales reciclados en la industria automotriz.

Se empleó para esta investigación materiales termoplásticos de ingeniería, recuperados de los desechos de productos de informática y electrónicos, como carcasas de radios, monitores, ordenadores, etc. Además de estos materiales, se hicieron pruebas comparativas con polímeros vírgenes, mezcla de polímero virgen y reciclado, y polímeros reciclados 100%. Las propiedades mecánicas de retención a largo plazo así como su resistencia al medio ambiente, son puntos importantes para la infraestructura y aplicaciones automotrices, debido a que las resinas por si solas no tienen la fuerza o rigidez para satisfacer las necesidades de determinadas aplicaciones constructivas se optó por mejorar dichas propiedades, añadiendo fibras naturales y sintéticas durante el proceso de fabricación. Los resultados demostraron que en los productos desarrollados con materiales reciclados de ABS y Policarbonato, se mantuvieron al menos el 85% y en algunos casos el 90% de las propiedades de resistencia a la tensión, flexión, compresión y rigidez comparados con los polímeros vírgenes.

Bargo et al. Llegan a la conclusión de que los polímeros reciclados tienen un importante potencial para grandes volúmenes de infraestructura y aplicaciones automotrices, debido a las propiedades mecánicas, físicas y químicas que conservan los plásticos reciclados, especialmente el ABS y PC por su alto porcentaje mecánico de resistencia a largo plazo en condiciones de carga.

6.2.2 LOS PLÁSTICOS RECICLADOS ENCUENTRAN USOS ESTRUCTURALES ([33] BROWN 2002).

La Universidad de Rutgers en Nueva Jersey, bajo la supervisión del Profesor Thomas Nosker, junto con la empresa Axion International ha desarrollado un sistema para la producción de elementos estructurales con aplicación para puentes, elaborados 100% de plásticos reciclados. Este nuevo uso de los plásticos se desarrolló, principalmente por una mejora de la calidad del agua en muchos de los puertos de los Estados Unidos, lo que ocasiono que en los últimos años se haya tenido un resurgimiento de larvas marinas en muelles de madera, guardabarros, pilas, y otras estructuras submarinas. El proyecto tuvo como objetivo la renovación de diversos muelles que fueron afectados por este tipo de plaga. Inicialmente se construyeron dos prototipos en muelles de Nueva Orleáns y el puerto de Nueva York, sin embargo se sigue trabajando en la mejora de estos elementos.

Quizás sea hasta ahora la aplicación más ambiciosa del plástico reciclado, la construcción de puentes con propiedades estructurales. En el año 2000 en New Baltimore, distrito de Nueva York, se construyó el primer puente de plástico reciclado y sus dimensiones fueron de 9 metros de largo, por 3 metros de ancho. En este caso estuvo constituido en alrededor de 80% de polietileno de alta densidad y 20% de fibra de vidrio. La estructura tuvo un peso de alrededor de 5 ton.



Fig. 21 Puente construido por la Universidad de Rutgers en Nueva Jersey. (Fuente: Rutgers University)



Fig. 22 Puente de plástico reciclado elaborado por las fuerzas armadas de E.U.A. (Fuente: Rutgers University)

El uso de elementos plásticos reciclados para la construcción de puentes en los Estados Unidos, es una práctica que ha ido aumentando desde el año 1991. La maleabilidad del material, permite crear diversas formas y tipos de puentes. Dependiendo del usuario final para cada producto (trenes, vehículos, personas).

La materia prima para la elaboración de elementos de plástico reciclado está disponible y continua en aumento. Solamente en los Estados Unidos se utilizan unos 6,4 millones de kg de polietileno de alta densidad al año y sólo el 5% es reciclado. Es necesario un mayor desarrollo de normalización y estandarización de este tipo de materiales, que permitirá al material ser más aceptable para la industria de la construcción.

6.2.3 INFLUENCIA DE LOS PROCESOS DE RECICLADO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS OBTENIDOS POR LA INYECCIÓN DE POLIÉSTIRENO REFORZADO CON FIBRAS DE CÁÑAMO. ([34] LÓPEZ 2004)

El poliestireno (PS) es uno de los materiales plásticos más estable en los procesos de degradación, debido al anillo de benceno que hay en su molécula. Para romper uno de sus enlaces se requiere una cantidad de energía que es difícil suministrar durante su ciclo de vida y durante los procesos de reciclado, manipulación y transformación. En el poliestireno la longitud de onda que afecta su anillo de benceno para la rotura de enlaces se encuentra en la región entre los valores de 150 y 200 nm en la región de rayos Ultra Violeta.

Por su estabilidad molecular y mínimas posibilidades de migración hacia los productos con los que puede estar en contacto, este material es empleado en aplicaciones que requieren una máxima estabilidad y resistencia a la contaminación, como son el envasado de alimentos, de productos cosméticos y químicos.

Su estabilidad química, transparencia, aislamiento térmico, eléctrico y acústico convierten al poliestireno en unos de los materiales plásticos más nobles.

A un poliestireno procedente de una primera utilización se le puede añadir colorante u otros materiales para tener otras aplicaciones, donde las propiedades de transparencia y las exigencias que requiere para el contacto alimentario no sean necesarias. Otra gran aplicación consiste en recuperarlo para fabricar compuestos reforzados con fibras.

Desde finales de la década de 1950, la industria química y la mecánica del transporte y navegación han progresado de forma exponencial en el empleo de matrices termoestables reforzadas con fibras de vidrio. Los materiales reforzados con fibras de vidrio, han ocasionado un problema debido a su difícil eliminación.

En los últimos años, las directrices de la UE han estimulado estudios e investigaciones sobre la utilización de las fibras naturales de origen vegetal para ser incorporadas como refuerzo en nuevos materiales plásticos. Esto tiene dos objetivos: en primer lugar fomentar el uso de materiales que no presenten problemas en su eliminación y/o en su reciclado, y en segundo lugar, incentivar a los productores del sector primario que cultivan plantas anuales, ya que una parte importante de ellas pueden dedicarse a la producción de fibras.

En un material compuesto (composite) que utilice las fibras como refuerzo, las características mecánicas se deben principalmente a las fibras. Las fibras se clasifican en

función de su naturaleza, composición y tamaño. En la clasificación de las fibras se distinguen las minerales (fibras de vidrio), las sintéticas (poliamida, poliéster, aramida), las artificiales (rayón, fibraza), y las naturales (las derivadas de la celulosa y las de origen animal).

Resultados de los experimentos: Los resultados obtenidos por la adición de fibras naturales de cáñamo en los productos reciclados de poliestireno, son susceptibles de poder ser empleadas para obtener materiales compuestos de matriz polimérica mejorando las propiedades mecánicas del nuevo material.

Si se usan fibras de cáñamo como refuerzo del PS se logra un material con mejores propiedades. Estas propiedades son mejores si las fibras han sido tratadas con una emulsión de dímero alquil-ceteno o AKD.

Al reciclar los materiales de PS reforzados con fibras de cáñamo (para producir nuevos composites) las fibras se destruirán progresivamente por la acción del calor, sin embargo la estabilidad térmica y mecánica de los composites con fibras de cáñamo no se altera con los ciclos de reciclado.

El uso de fibras de refuerzo en los materiales plásticos reciclados, mejoran su propiedades mecánicas, pudiendo degradarse por el calor, mediante los procesos de reciclado hasta eliminarse por completo hasta obtener un material 100% degradable.

Conclusión de los nuevos materiales de plástico reciclado

Estas investigaciones han demostrado que es posible generar nuevos materiales con un alto valor añadido, utilizando plásticos reciclados como materia prima inicial. Debido a que:

- *Los polímeros reciclados tienen un importante potencial para grandes volúmenes de infraestructura y aplicaciones automotrices, debido a las propiedades mecánicas, físicas y químicas que conservan los plásticos reciclados*
- *El plástico reciclado puede ser empleado para construir elementos estructurales capaces de soportar cargas vivas bajo entornos con agentes oxidantes como lo son muelles o puentes sobre ríos y mares. Estos nuevos elementos con una enorme capacidad estructural, son hasta el momento el mayor avance en la reutilización del plástico reciclado, para la elaboración de productos un altísimo valor añadido. Se utilizaron residuos de polietileno para la construcción de un muelle y puentes en contacto con el agua. Con propiedades estructurales y con una composición del 80% de polietileno reciclado de alta densidad y un 20% de fibra de vidrio*
- *Materiales como el ABS y el policarbonato, mantienen en torno al 85%- 90% de sus propiedades de resistencia a la flexión, compresión y rigidez, comparado con polímeros vírgenes. Las resinas por si solas no poseen las propiedades necesarias de resistencia para determinadas aplicaciones automotrices, sin embargo en mezclas con matriz polimérica, estas resinas tienen un importante potencial para grandes volúmenes de infraestructura y aplicaciones automotrices, debido al alto porcentaje mecánico a largo plazo en condiciones de carga.*
- *Los composites elaborados con plásticos reciclados y reforzados con fibras naturales, poseen buenas propiedades mecánicas, una mejora al comportamiento térmico, un menor coste del material. Los materiales compuestos de Poliéstireno reforzados con fibras de cáñamo convierten al material 100% degradable, mejorando las propiedades mecánicas del nuevo material, brindando una mayor estabilidad térmica y mecánica sin alterarse con los ciclos de vida de reciclado.*

6.3 PLÁSTICO RECICLADO, OTRAS APLICACIONES EN MATERIALES COMPUESTOS.

Además de los productos elaborados 100% con plásticos reciclados y los materiales mixtos que emplean desechos plásticos para la elaboración de nuevos productos, encontramos las siguientes investigaciones en donde este tipo de material, es el actor principal en los esfuerzos por desarrollar nuevos materiales y sistemas constructivos empleando técnicas mixtas.

6.3.1 NUEVOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN. PLÁSTICOS RECICLADOS.

([36] Berreta et al 2006)

Mediante el uso de residuos plásticos procedentes de envases desechables de bebidas, y de los envoltorios de alimentos, se propone hacer un reciclado integral de estos plásticos, para su uso en la fabricación de elementos constructivos en forma de tabiques; triturados y mezclados con cemento Portland, que sirvan como reemplazo a los tabiques de uso tradicional.

Los objetivos planteados por este sistema son:

- Abaratar costos en la construcción de viviendas de interés social.
- Dar un destino útil a parte de los residuos que contaminan el medio ambiente, con una visión ecológica.
- Generar nuevas fuentes de trabajo y organización comunitaria en sectores de escasos recursos, dentro de la industria de la construcción.
- Posibilitar la auto-construcción con una tecnología sencilla y económica, para que mejoren su calidad de vida personas de imposible acceso a la vivienda convencional.
- Posibilitar la participación de mujeres en la construcción, mediante el desarrollo de elementos constructivos de bajo peso y fácil manipulación.
- Reemplazar en parte, sistemas constructivos tradicionales que producen a la larga un deterioro del medio ambiente (por ejemplo, la mampostería de ladrillos comunes de tierra cocida).

Las propiedades físicas obtenidas por los elementos elaborados fueron:

- **Peso:** Los ladrillos, bloques y placas elaborados con plásticos reciclados son livianos por el bajo peso específico de la materia prima. Su peso es

sustancialmente menor al de otros cerramientos tradicionales que se usan para la misma función.

- **Conductividad térmica:** Los elementos constructivos obtenidos son malos conductores del calor, por lo que proveen un excelente aislamiento térmico, superior al de otros cerramientos tradicionales.
- **Resistencia mecánica:** Un cerramiento realizado con placas de PET tiene una resistencia similar a la de otros cerramientos realizados con elementos constructivos tradicionales. Ladrillos y bloques con plásticos reciclados tienen una resistencia menor a la de otros elementos constructivos tradicionales, pero suficiente para ser utilizados como cerramientos de viviendas con estructura independiente antisísmica.
- **Absorción de agua:** Los elementos constructivos con plásticos reciclados tienen una absorción de agua similar a la de otros cerramientos tradicionales.
- **Comportamiento a la intemperie:** Los resultados de ensayos, donde las placas y mampuestos con plásticos reciclados fueron dejados a la intemperie durante un año y sometidas a la lluvia y al sol, no presentaron alteraciones dimensionales ni daños aparentes.
- Se ha realizado en laboratorio del INTI un ensayo de envejecimiento acelerado sobre ladrillos de PET, utilizando el método del Q.U.V Panel, el cual dio como resultado que son resistentes a la acción de los rayos ultravioleta y a los ciclos de humedad, observándose una disminución de resistencia a la compresión posterior al envejecimiento del orden del 25%.
- **Aptitud para el clavado y aserrado:** Las placas y mampuestos con plásticos reciclados son fáciles de clavar y aserrar, utilizando la herramienta convencional para estos trabajos.
- **Adherencia de revoques:** Las placas y mampuestos con plásticos reciclados poseen buena aptitud para recibir revoques con morteros convencionales, según ensayos preliminares realizados en el CEVE, por su gran rugosidad superficial.
- **Resistencia al fuego:** Buena resistencia al fuego, con clasificación “Clase RE 2: Material combustible de muy baja propagación de llama” (datos de la normativa argentina).
- **Permeabilidad al vapor de agua:** Entre 1.76 y 3.81×10^{-2} g/mhkPa

Variando la dosificación, se consiguen diferentes características. A medida que aumenta la relación cemento/plásticos se obtiene mayor resistencia, durabilidad y peso específico

aparente, con mayor costo; y disminuyen la capacidad de aislamiento térmico, la capacidad de absorción de agua del material, y la facilidad para el clavado y aserrado.

Se realizó la construcción de cinco viviendas, construidas con mampostería de ladrillos de plástico reciclado. La estructura antisísmica fue realizada con vigas y columnas reticuladas ejecutadas con hierros redondos de construcción, llenada con hormigón del tipo convencional (con agregados pétreos). La cimentación consiste en solados de hormigón armado, con un alisado superficial como acabado final, sin aplicación de pisos.

Los muros de cerramiento lateral se revocaron con revoque grueso y fino, utilizando mortero con agregados pétreos del tipo convencional.



Fig. 23 Casa fabricada con elementos de Plástico Reciclado.
Fuente: Instituto CEVE

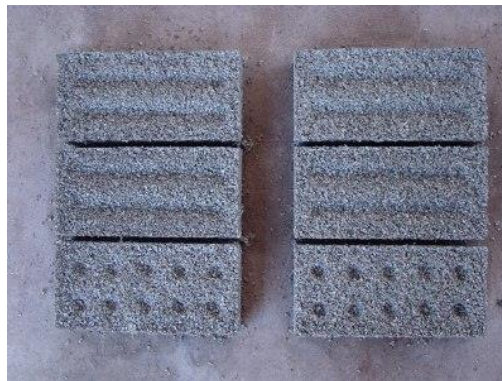


Fig. 24 Ladrillo fabricado con elementos de plástico reciclado.
Fuente: Instituto CEVE

El aspecto de estas viviendas y tapias terminadas, con su revoque y pintura, es idéntico al de viviendas de tipo tradicional, ejecutadas con mamposterías de ladrillo común.

6.3.2 DESARROLLO SOSTENIBLE DE REVESTIMIENTO DE PIEDRA, CON MEJORAS DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA, DURABILIDAD Y RESISTENCIA. ([37]

Hamoush et al 2011)

Estudio sobre las técnicas de fabricación y propuesta de mejora en la ingeniería de revestimientos “pétreos” para la obtención de una mayor dureza, ductilidad y resistencia térmica. El revestimiento artificial propuesto se compone de dos capas. La capa superficial es resistente, durable, coloreada y con la posibilidad de tener un acabado fino o rugoso, mientras que la parte interior de la misma es ligera, resistente al impacto, con una baja conductividad térmica para un mejor aislamiento térmico y propiciar un ahorro energético. La parte inferior del elemento utiliza granza de caucho reciclado que reduce el peso del material, mejora la ductilidad y dureza, y proporciona propiedades térmicas. Las propiedades de la piedra como la resistencia a la compresión y conductividad térmica, durabilidad, resistencia al impacto y absorción de agua fueron medidos experimentalmente y comparados con muestras de piedra natural.

Objetivo; Desarrollo de mejoras para revestimientos de piedra prefabricados. Mejorando el aspecto físico y sus propiedades mecánicas.

Las **mejoras** buscadas incluyen; mejora de calidad en el aspecto visual, dureza, durabilidad, bajo peso, resistencia al impacto, ductilidad y resistencia térmica. Se realizaron 37 mezclas distintas, obteniendo resultados favorables únicamente en dos mezclas que se componen de una piedra artificial de una capa y una piedra artificial de dos capas.

Materiales utilizados; arena, perlita, arcilla, caucho reciclado y resina insaturada de polyester como aglutinante. Como agregados gruesos se tienen; piedra caliza molida, con tamaños comprendidos entre los 600 y los 800 μ . La arena sílice es arena de playa con cuarzo aproximados de entre 200 y 300 μ .

La arcilla es “arcilla Kaolin” que se obtiene de forma natural con tamaños comprendidos entre 3 y 10 μ . Y por último componentes químicos que consisten en dióxido de silicea (SiO_2) óxido de aluminio (Al_2O_3) óxido de potasio (K_2O) y dióxido de titanio (TiO_2).

La perlita empleada tiene un peso de 0,11 g/cm³. Se utilizó también hidrato de Alúmina o tri-hidrato de Alúmina (ATH) como un material anti-corrosivo que

absorbe el calor y sirve como retardante de flama. La presentación es en forma de polvo muy fino que se dispersa rápidamente en la mezcla de resina.

La granza de caucho reciclado fue obtenida del resultante de neumáticos de desecho, con un peso de 0.5g/cm^3 , el cual brinda ductilidad a la mezcla debido a su resistencia al impacto. Además de tener buena resistencia a las condiciones climáticas, lo que brinda una durabilidad de largo plazo. Durante las mezclas que se realizaron no se presentó flotamiento, asentamiento o desprendimiento del caucho.

El material de unión de la mezcla fue resina de Poliéster insaturado (Polylite 32 66-20), el curado de la mezcla se generó en laboratorio con temperatura controlada y utilizando un catalizador de Peróxido de Metil Etil Ketón (MEKP). Las propiedades de esta resina incluyen, una reactividad media, resistencia a las manchas, baja viscosidad, alto contenido en sólidos, baja cantidad de estirenos, resistencia a la degradación por agua, soluciones orgánicas e inorgánicas y solventes, así como una alta resistencia térmica.

Para la elaboración de las mezclas, todos los materiales fueron lavados y secados previamente a su mezcla. El curado fue generado en laboratorio a temperatura controlada, añadiendo un 0.7-0.1% al total del peso de la mezcla de peróxido de Metil Etil Keton, con lo que la mezcla comenzaba a endurecer a los 45 min, estando completamente dura a los 90 min.

El material más caro de la mezcla es la resina de poliéster, y después de varias pruebas se encontró que utilizando entre un 35-40% de resina sobre el volumen total de la mezcla, se obtienen los mejores resultados, ya que si se agrega menos del 35% la pasta genera burbujas en su interior y problemas para un acabado final. Y si supera el 40% de la mezcla se tienen mejores resultados de trabajabilidad pero con costes más elevados.

Elaboración:

Las mezclas de una sola capa obtuvieron menos resistencia debido a las partículas sílices de la perlita. La solución es generar elementos con dos capas. Teniendo la primera más sólida, libre de vacancias elaborada con materiales resistentes al medio ambiente y contaminación, haciendo que la apariencia natural de piedra perdure por más tiempo. Mientras que la capa interior del elemento está elaborado

de materiales ligeros que reducen el peso neto del elemento, y funcionan como aislante térmico.

La mezcla de perlita y carbonato de calcio fue diseñado para generar una densidad igual al del caucho para de esta manera evitar flotabilidad o asentamientos en la mezcla. La densidad total de la mezcla fue de 1.14g/cm³.

Para la unión de las dos capas, se elaboró primero la capa superficial, vibrando la totalidad de la mezcla (en periodos de entre 5-10 min) y añadiendo el catalizador, mientras se iba colocando la capa inferior y haciéndola vibrar igualmente (3 min) mientras la primer capa aún estaba fresca. Este método resulto ser un poco complicado en su ejecución pero generando los mejores resultados. Para el acabado final de la capa inferior, se realizaba mediante la aplicación de alcohol en spray para remover las burbujas de aire que pudieran aparecer en la mezcla.

Tabla 1. Proporciones para la capa superior

Material	Densidad (g/cm ³)	Volumen (cm ³) (% volumen)			Peso en g.		
		Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Poliéster	1.1	52 (35)	60 (40)	52.5 (35)	57	66	58
Agregados gruesos	2.7	38 (25)	37.5 (25)	37.5 (25)	103	101	101
Arena	2.6	37 (25)	30 (20)	30 (20)	96	78	78
Agregados finos	2.7	18 (12)	15 (10)	25.5 (17)	49	41	69
Arcilla	2.6	5 (3)	7.5 (5)	4.5 (3)	13	19	12
Total		150	150	150	318	308	318

Tabla 2. Proporciones para la capa inferior

Material	Densidad (g/cm ³)	Volumen (cm ³) (% volumen)			Peso en g.		
		Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Poliéster	1.1	70 (21)	70 (23.3)	105 (35)	77	77	115.5
Agregados gruesos	2.7	-	-	-	-	-	-
Arena	2.6	-	20 (6.7)	-	-	52	-
Perlita	0.11	60 (18)	30 (10)	90 (30)	7	3	10
Agregados finos	2.7	-	-	30 (10)	-	-	81
Caucho	1.5	200 (61)	180 (60)	75 (25)	300	270	112.5
Total		330	400	300	384	405	319

Resultados:

Se realizaron las siguientes pruebas;

Compresión; Norma ASTM C 170-90 “Resistencia a la compresión de piedras naturales”.

La resistencia a compresión de la piedra natural de arenisca testada obtuvo una resistencia de 235 MPa (34ksi) lo cual es mucho mayor a los resultados de las piedras artificiales elaboradas, sin embargo las primeras resultaron ser muy frágiles. El resultado final promediado de la capa superior fue de 97.1 MPa (14 ksi) lo cual puede considerarse como de alta resistencia, para elementos de revestimiento.

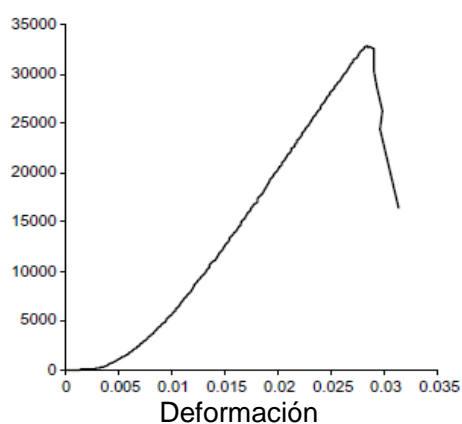


Fig 25. Resistencia a compresion. Fuente: Hamoush et, al

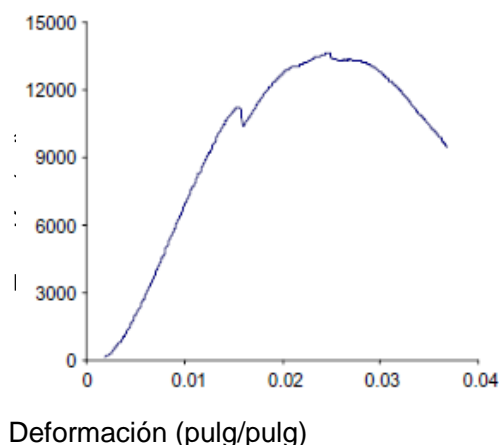
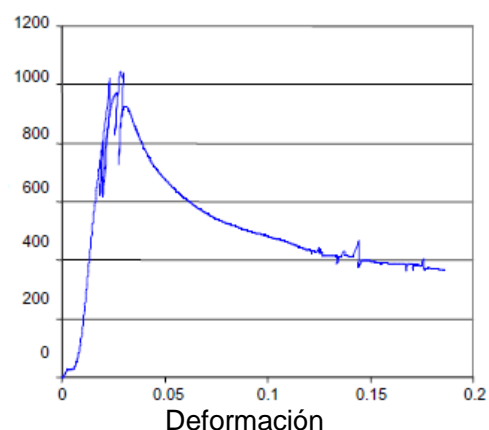


Fig 26. Resistencia a compresion. Fuente: Hamoush et, al

Por otro lado se tuvieron mejoras en la curva de tensión demostrando que el elemento obtenido tiene mayor ductilidad que la piedra caliza/arenisca. Aun mejores resultados obtuvo la capa interior del elemento, mostrando mayor ductilidad que los dos materiales anteriores (incluyendo la capa superior), no presentando rotura frágil como las anteriores. Otro aspecto importante fue que el elemento no presento desprendimientos de material, teniendo una sola fractura limpia, caso contrario a lo que se obtuvo con la piedra de control de caliza.



Los resultados de las pruebas de compresión realizadas a la piedra de control, la capa superficial de la piedra artificial y a la capa inferior. En las primeras dos se aprecia rotura frágil del elemento, mientras que en la tercera gráfica se tiene mayor ductilidad en el elemento, aunque una menor resistencia a la compresión.

Resultados a compresión de la capa superior e inferior de piedra artificial

Material	Muestra	Densidad (g/cm ³)	Carga Máxima kN (kg)	Tensión máxima MPa (kg/cm ²)	Resistencia media MPa(kg/cm ²)
Capa Superior	1	2,076	252 (25.698)	97,7 (995,82)	97,1 (989,57)
	2	2,084	255 (25.967)	98,7 (1.006)	
	3	2,09	245 (24.947)	94,8 (996,72)	
Capa Inferior	1	1,14	18.6 (1.895)	7,2 (73,40)	7,34 (74,87)
	2	1,14	19.1 (1.943)	7,4 (75,29)	
	3	1,13	19.2 (1.962)	7,4 (76,00)	

Conductividad Térmica; Normas ASTM E 1225-04 y ASTM C-177, utilizando aparatos para medir la conducción de calor lineal.

La capa superficial del elemento de piedra artificial obtuvo una reducción de 48% de conductividad térmica comparado con el material control de piedra caliza. Aun mejores resultados tuvo el elemento con sus dos capas, obteniendo una reducción de su conductividad térmica del 43% comparado con la piedra natural. Demostrando que el elemento conjunto de capa rígida y capa de bajo peso tiene una mayor resistencia a la transferencia de calor.

Investigaciones como la de *Benazzouk* han demostrado que la elaboración de elementos de caucho reciclado como materiales de revestimiento, mejoran la resistencia a la conductividad térmica y aligeran el elemento constructivo. Asimismo lo demuestra investigaciones de *Yesilata et al.* Donde realizaron experimentos de hormigón con adiciones de caucho reciclado, examinando su comportamiento aislante. Los resultados revelaron que mediante una adecuada mezcla de caucho reciclado se puede reducir significativamente la pérdida de calor y mejorar el comportamiento térmico, también descubrieron que la mejora en el aislamiento térmico varía con la adición en porcentaje del material y la geometría de las piezas de caucho utilizadas.

Resistencia al Impacto; Para medir la aptitud de la piedra para absorber energía ocasionada por un impacto. Se utilizaron aparatos de la serie INSTRON.

La piedra caliza de control, tuvo una carga máxima de 1,7kN alcanzada en 0,5 ms. Esto muestra una carga de absorción de energía muy baja (1,3J) y la deflexión máxima fue de 0,29mm. Todas las muestras de piedra natural presentaron roturas de forma radial, demostrando rotura frágil. La capa superior de piedra artificial demostró mayor ductilidad, alcanzando una carga máxima de 0,8kN en 1,6ms y produciendo una deflexión promedio de 1,6mm. Además de no presentar desprendimiento de material durante el experimento. Sin embargo de acuerdo a su comportamiento se considera un material frágil.

Por último se realizaron pruebas con la combinación de ambas capas (superior e inferior) de piedra artificial, con diferentes espesores; 4,76mm, 6,35mm y finalmente se ensayó la capa inferior de piedra artificial por separado con un espesor de 9,52mm siendo estos últimos los mejores resultados, obteniendo una carga máxima de 0,5 kN en 3.5ms, una deflexión máxima de 6,1 mm, significativamente mayor a las muestras anteriores y haciendo que la muestra final de piedra artificial sea mucho más dúctil y con mejor resistencia térmica que la piedra caliza de control. Como lo menciona Bashar en sus experimentos de hormigón reforzado con caucho reciclado para la creación de un nuevo sistema de composite para losas, concluye que el hormigón con caucho reciclado tiene un mejor peso, mayor dureza, y absorbe mayor energía antes de presentar falla.

Pruebas de durabilidad; Las muestras se dejaron a la intemperie por un periodo de un año y se evaluaron los resultados. Asimismo se realizaron pruebas de envejecimiento acelerado en laboratorio.

Los efectos climáticos más comunes que afectan la durabilidad de las piedras son;

- **Humedad** la cual genera un deterioro orgánico.
- **Hielo**, que puede causar grietas, desconches o desprendimientos.
- **Descomposición salina**, del interior de la piedra o causada por lluvia acida.
- **Reacciones químicas** causadas por lluvia y dióxido de carbono.
- **Cambios de temperatura y humedad.**

Para prevenir estos deterioros producidos por las condiciones climáticas, la arena sílice utilizada como agregado fue cuidadosamente lavada, produciendo mezclas libres de sal, además las mezclas fueron vibradas durante su elaboración para reducir oquedades en su interior. Los resultados mostraron que las muestras elaboradas con un 2-5% arcilla (por peso) mejoraron la durabilidad de la muestra, ya que si es utilizado más del 5%, la pasta requerirá más resina de poliéster haciendo a la mezcla más gelatinosa y generando burbujas de aire en su interior.

Asimismo las muestras que no fueron lijadas mediante chorro de arena tuvieron mejores resultados debido a que la capa superficial de la mezcla puede prevenir la erosión del material.

Test de Absorción; Se elaboraron pruebas de absorción en solución de agua durante 72 horas a temperatura controlada y posteriormente se tomaron materiales de control como ladrillo cerámico, piedra caliza, ladrillo de arcilla etc.

Como se mencionó anteriormente la humedad generada por la absorción de agua puede causar, deterioros físicos, químicos y biológicos en los elementos de revestimiento. Además de que se puede reducir el peso del material mediante la reducción del % de absorción de agua. Los resultados demostraron que tanto la capa superior como la capa inferior de la piedra artificial, tienen un porcentaje menor de absorción de agua que el resto de los materiales ensayados.

También se demostró que la capa inferior de la piedra artificial reduce su porcentaje de agua debido a la adición de caucho reciclado, lo que demuestra que los resultados obtenidos por *Uygunoglu y Topçu* son correctos. Ellos citan que agregando entre un 10-40% de caucho reciclado por peso en mezcla, se reduce la absorción de agua y reduce también la contracción por secado del material.

Conclusión sobre otras aplicaciones en materiales compuestos.

En base a las experiencias realizadas hasta el presente se puede decir que los materiales plásticos reciclados (en este caso PET y films para envoltorios de alimentos) son reemplazantes adecuados de los agregados pétreos de hormigones comunes debido a que los elementos constructivos obtenidos tienen un bajo peso específico, suficiente resistencia, excelente aislamiento térmico, baja absorción de agua, buena apariencia, buen comportamiento a la intemperie, buena adherencia con revoques tradicionales, bajo costo y cualidades ecológicas.

El PET es reciclado mediante un proceso muy simple y barato pues no necesita estar limpio, puede contener tierra, arenillas, etc. sin afectar por ello sus buenas propiedades. Los envases de PET son molidos con rótulos y tapa, y también se acepta la presencia de envases de otro tipo (PP, PVC, etc.).

A diferencia de otros procedimientos de reciclado conocidos, no se necesitan albercas de lavado ni separadores de distintos plásticos por flotación u otros medios físicos.

Se da un valor añadido al material, pasando de ser un “residuo” a ser “materia prima” en este proceso.

En esta investigación Hamoush et al. Mencionan productos compuestos que emplean plástico reciclado, agregados pétreos y resinas, para la elaboración de piedras artificiales capaces de ser utilizadas como elementos de fachada exterior. Los objetivos que se plantearon era la de mejorar las resistencias físicas y estructurales de estos productos, teniendo los siguientes resultados:

La elaboración de una piedra artificial de revestimiento exterior, empleando caucho reciclado como agregado principal, redujo el peso total del material, aumentando la ductilidad y dureza. Este elemento obtuvo una baja densidad (entre 1,45 y 1,6 g/cm³) comparada con la densidad de la piedra natural que ronda los 2,8 y 3,5 g/cm³. Además de una baja conductividad térmica 3.5 W/m°C y 2.5 W/m°C (capa superior e inferior respectivamente), mientras que la piedra natural tiene una transmisión de 5 W/m°C, lo que supone una reducción del 50% de conductividad térmica.

El elemento producido tuvo una gran resistencia soportando hasta 97 MPa en ensayos a compresión (capa exterior), lo cual puede proteger a los demás componentes internos de los muros contra cargas puntuales. Los ensayos de absorción de energía demostraron un incremento de dureza y ductilidad (75% capa superior y 220% capa inferior) del elemento

comparado con la piedra natural, lo cual mejora la resistencia al impacto y reduce la generación de fragmentos o escombros. Por último se realizaron ensayos de envejecimiento por exposición al medio ambiente, y la piedra no sufrió grandes deterioros ni cambios en el color o textura. El porcentaje de absorción de agua del elemento fue de 0,21% mientras que el ladrillo de arcilla común cuenta con un 8,15%.

6.4 COMPARATIVA DE CICLO DE VIDA EN APLICACIONES BENEFICAS DEL CAUCHO DE NFU. ([38] FIKSEL ET AL 2010)

La evaluación del ciclo de vida es utilizada para determinar los mejores beneficios medio ambientales en las alternativas de reutilización de residuos de neumáticos. Este estudio elaborado en los Estados Unidos tiene como inventario, los datos suministrados por industrias de materias primas, así como literatura publicada y el análisis sobre el impacto del ciclo de vida obtenido mediante el uso de herramientas para la evaluación de reducción de productos químicos y otros impactos medioambientales ([39] TRACI). Esta herramienta permite evaluar impactos como la degradación de la capa de ozono, el calentamiento global, acidificación en tierra y agua, eutrofización, formación smog (polución en el aire), eco toxicidad, efectos relacionados a la salud humana, efectos de cáncer en seres humanos, y efectos no cancerígenos en seres humanos. El impacto total de cada una de estas categorías se obtiene calculando los impactos individuales de las emisiones de cada sustancia y su factor de caracterización y añadiendo los correspondientes efectos del total de cada categoría.

Este estudio tiene como objetivo el analizar los beneficios obtenidos mediante ciclo de vida del uso de caucho reciclado de neumáticos en los sectores de recuperación energética (plantas cementeras, generación de energía eléctrica, calefacción) y de reutilización del producto (suelos de caucho en instalaciones deportivas/recreativas, elementos extruidos de caucho reciclado, reutilización del caucho para la producción de nuevos neumáticos) y por último el uso del caucho reciclado como materia prima para la elaboración de asfaltados.

Analizando el punto de recuperación energética tenemos que por cada tonelada de residuos de neumáticos utilizados como remplazo de combustible (carbón) en industrias cementeras, se reduce una cantidad aproximada de 543 kg (equivalente a CO₂) de emisiones directas e indirectas de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Si a esto sumamos que se puede ahorrar más emisiones de CO₂ evitando el uso de caucho natural, obtenemos una reducción de 613 kg de GEI (equivalentes a emisiones de CO₂) por cada tonelada de residuos de neumáticos.

El uso de caucho reciclado para la elaboración de suelos deportivos/recreativos ofrece mayores beneficios en la reducción de emisiones, sin embargo tiene un potencial limitado, debido a la saturación de materiales (PEAD, PEBD, PVC, PP, etc.) para elaboración de césped y pistas artificiales.

El principio del ciclo de vida de los materiales se basa en una reducción de los desechos sólidos. La ecología industrial es una práctica inspirada en la naturaleza donde los ciclos de vida son “libres de desechos materiales”. La ecología industrial involucra la conversión de desechos en sub productos que pueden ser utilizados como materias primas en otros procesos. Los neumáticos de desecho son un excelente candidato para la industria ecológica ya que pueden ser triturados, molidos y ser utilizados en una gran variedad de aplicaciones como combustible (desplazando combustibles fósiles) o materias primas (en lugar de utilizar materias vírgenes).

El humo de los neumáticos ardiendo incluye componentes peligrosos como hidrocarburos aromáticos poli cíclicos, benceno, estireno, fenoles, butadienos, etc. Además de metales y aceites debido a su temperatura de combustión baja. Estas emisiones pueden contaminar el aire, el suelo y el agua. Sin embargo debido a las altas temperaturas alcanzadas dentro de los hornos de las cementeras, así como de las calderas de incineración, las emisiones de hidrocarburos se reducen considerablemente.

El mayor problema de que los neumáticos terminen en rellenos sanitarios, es que tienden a flotar, almacenar agua dentro del interior del neumático siendo foco de infección para la creación de insectos y suciedad. Por eso a manera de último recurso se recomienda el triturado de los neumáticos antes de pasar por los vertederos.

Realizando una comparativa de beneficios medioambientales de diferentes aplicaciones de desechos de neumáticos, utilizando una metodología de evaluación del ciclo de vida, se tuvo que las aplicaciones de combustible derivado de desecho, ingeniería civil, utilización para la producción de césped artificial, asfalto, productos moldeados y reconversión en nuevos neumáticos fueron las aplicaciones más efectivas económicamente para evitar que los productos terminen como relleno de vertederos. De esta forma se han descubierto oportunidades para reducir el consumo de energía, la generación de desechos sólidos y otras cargas ambientales obteniendo beneficios de los residuos de neumáticos en el final de su ciclo de vida.

El combustible derivado de los neumáticos (TDF por sus siglas en inglés) principalmente se refiere a la utilización de neumáticos triturados (sin metales), pero también pueden ser utilizados todo tipo de neumáticos para

este fin. La ventaja de utilizar los neumáticos como combustible es porque además de reducir el uso de combustibles fósiles, también reduce cerca de un 23% de emisiones de CO₂ por **jules** de energía creado (comparado con el uso del carbón). Asimismo las cenizas obtenidas de la combustión de los neumáticos pueden ser incorporadas dentro de la mezcla de cemento eliminando completamente los residuos.

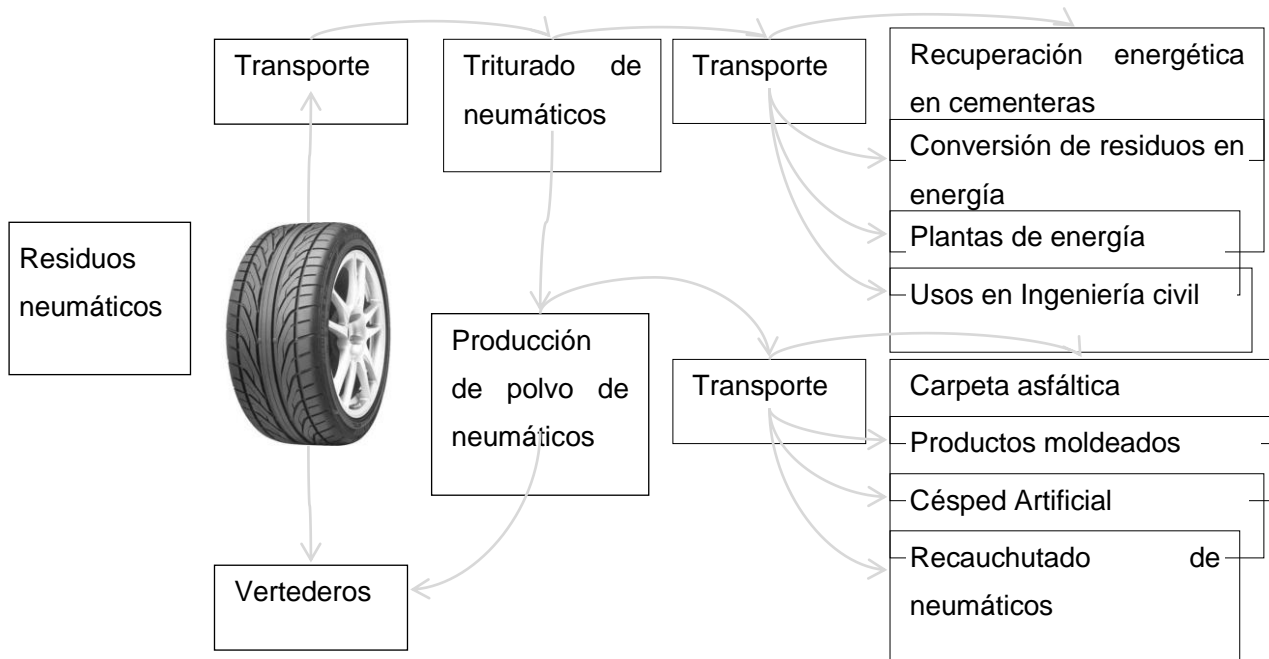


Fig. 28 Ciclo de vida de los residuos neumáticos. F.P.

Objetivo y tema de estudio.

Para el desarrollo de esta investigación se tomó como unidad de medida una escala de 1000kg de desechos de neumáticos correspondientes a 1 ton métrica 1 (TM). Este estudio solo analizo el impacto de transformación y transporte de los desechos de neumáticos, no las subsecuentes fases de producción posteriores. Se asume que la sustitución de neumáticos triturados como materia prima no afecta en el subsecuente comportamiento operativo de los subproductos, así como los efectos ambientales de los productos o procesos de aplicación posteriores.

Los datos obtenidos de las pruebas de ciclo de vida, se ordenaron en las siguientes categorías: metano, dióxido de carbón, gases contaminantes (excluyendo el ozono), metales pesados en aire, dioxinas, otros contaminantes

aéreos, emisiones hacia tierra y agua, generación de desechos sólidos y consumo de agua.

Las alternativas al relleno sanitario de materiales de caucho evitarían un incremento de emisiones contaminantes 33 kg (equivalentes a CO₂) por tonelada métrica de neumáticos de desecho, comparados con las emisiones generadas si los desechos son dejados a cielo abierto.

La principal premisa en que se basa el estudio es que si la reducción del impacto ambiental es positiva, entonces la utilización de neumáticos de desecho como sustituto de combustible podrá ser un aliciente en la reducción de diversos impactos negativos.

Resultados

El uso de neumáticos triturados como combustible sustituto del carbón en plantas cementeras, ayuda a reducir las emisiones de gas arsénico, con lo que REDUCE LA POSIBILIDAD DE DESARROLLAR CANCER. En el caso de ser utilizado para la elaboración de césped sintético, la mejor contribución es la reducción emisiones de cloruro en agua, lo cual también reduce el potencial desarrollo de cáncer en humanos. Por el contrario el uso de neumático triturado en incineradores y pavimentos asfálticos conlleva un incremento en emisiones de cloruro en agua, es por ello que el uso de neumáticos reciclados en plantas de incineración y como materia prima de asfaltos puede generar un potencial incremento en el desarrollo de cáncer en humanos. Por último el uso de caucho reciclado en plantas de calefacción (calderas) también conlleva un incremento en la posibilidad de desarrollo de cáncer debido a la contaminación de arsénico vía aérea.

Aparte de las emisiones que contribuyen a la creación de cáncer, el caucho puede producir contaminación por medio de cadmio, mercurio y talio en vías aéreas (cuando es incinerado), cloruros en vías acuosas, y arsénico y bario en contacto con el suelo (si es enterrado). Por lo que la opción de ganancia energética vía planta cementera ofrece una mejora significativa en el manejo de este impacto ambiental, principalmente debido a la reducción de emisiones vía aérea.

Conclusiones sobre la comparativa del ciclo de vida de los neumáticos.

Se analizaron también otras alternativas al uso del caucho reciclado como materia prima para el desarrollo de nuevos materiales, analizando su ciclo de vida y el impacto al medio ambiente que emiten estas alternativas, teniendo los siguientes resultados:

- 1. Uso como combustible en plantas cementeras (sustituto de combustible fósil)*
- 2. Granza de caucho reciclado para usos en ingeniería civil (hormigón-caucho, etc.)*
- 3. Diferentes productos para suelo, pistas de caucho, césped sintético, etc.*

En estos ejemplos el uso del caucho reciclado, reduce considerablemente las emisiones de gases de tóxicos (efecto invernadero y peligrosos para la formación de cáncer). El uso como combustible en plantas cementeras y la creación de césped artificial proveen de mayores beneficios en la reducción de gases al medio ambiente.

Por cada tonelada de caucho utilizado como combustible sustituto de carbón en las cementeras, evita una emisión de 613kg de emisiones (equivalentes a CO₂). En cambio si estos materiales terminan su ciclo de vida en rellenos sanitarios, se tiene una emisión de 33 kg por tonelada de desechos, sin contar las emisiones de metales pesados en suelo y agua.

Fiksel et al., concluyen que el reciclaje del caucho en sí mismo ayuda a disminuir las emisiones de gases (equivalentes a CO₂) a la atmósfera, sin embargo no todas las alternativas para su reutilización como materia prima dieron buenos resultados, teniendo que su uso para la producción de césped sintético y como combustible sustituto de carbón en cementeras, ayuda a la disminución de emisiones, no así, si es utilizado como combustible para calderas o la producción de asfalto ya que emiten gas arsénico, por la ausencia de equipos de filtración en estos procesos.

6.5 PREDICCIONES MECANICAS DE UNA MEZCLA DE POLIPROLENO RECICLADO DE CAUCHO DE NFU UTILIZANDO SISTEMAS ARTIFICIALES DE DISEÑO

Esta publicación se basó en la viabilidad teórica y experimental del uso de granza de caucho de neumáticos de desecho, mezclada con polipropileno, materiales bituminosos y una mezcla de anhídrido-maléico injertado con estireno-etileno-butadieno-estireno injertado (SEBS-g-MA). ([40] Zhang et al 2010)

Las mezclas fueron definidas previamente mediante “Diseño Estadístico de Experimentos” (DOE por si siglas en inglés), para comprobar su utilidad y viabilidad antes de realizarlas de forma experimental y someterlas a pruebas mecánicas para comprobar los resultados.

La optimización de la mezcla fue realizada utilizando un sistema híbrido artificial de algoritmo basado en una técnica de redes-genéticas (ANN-GA). Los resultados indicaron que las mezclas mostraban un buen desempeño en dúctil, relacionado con altas concentraciones de betún y anhídrido maléico injertado con estireno-etileno-butadieno-estireno (SEBS-g-MA). Se elaboró una la relación cuantitativa de las mezclas, evaluando como la cantidad de material bituminoso afectaba las propiedades mecánicas del elemento, las cuales fueron confirmadas experimentalmente mediante ensayos de relación óptima.

Una parte importante de estos experimentos fue el hecho de que los desechos de caucho de neumáticos triturados, tienen una especial dificultad para ser reciclado debido a que son un material termoestable y no pueden ser reprocesados como los termoplásticos.

Por ello se debido utilizar polvo de caucho reciclado ya que es una técnica atractiva con resultados efectivos para el reciclado, ya que esta presentación permite la adición de materiales termoplásticos para la obtención de elastómeros termoplásticos, la elección de qué tipo de termoplástico utilizar fue decidida por el uso de PP, debido a su bajo coste, a la abundancia del material y al propiciar una mejora del medio ambiente. Uno de los principales criterios de un elastómero termoplástico es el alargamiento de sus cadenas al momento de rotura superior al 100%. Con el fin de lograr este objetivo, se añadieron a los sistemas de mezclas, los residuos de PP y polvo molido de neumáticos, el betún y compatibilizante (SEBS-g-MA).

Procedimientos: Se decidió utilizar el betún ya que de acuerdo a publicaciones anteriores se encontró que actúa como un plastificante de poli olefina. La interface de adhesión entre el PP reciclado y el Caucho reciclado suele ser muy débil debido a la estructura reticulada del caucho, es por ello que este debe pasar por un proceso de des-vulcanización, al menos parcialmente para facilitar el entrelazamiento molecular entre ambos polímeros. Para obtener mejores resultados en la fase de adhesión y entrelazamiento, el compatibilizante y el betún son añadidos al mismo tiempo.

El diseño estadístico de experimentos ha sido utilizado durante mucho tiempo para proporcionar tratamientos eficaces para la optimización de los parámetros de proceso y formulario de mezclas de caucho, en los procesos de elaboración del caucho.

La mayoría de los diseños experimentales estadísticos, generalmente utilizados en compuestos de caucho reciclado, tienen dos niveles de diseño factorial, el diseño de selección y de superficie de respuesta, esta última utilizada especialmente debido a que lleva un sistema menos experimental además de su capacidad de ajuste de las ecuaciones de regresión cuadrática. Sin embargo con el aumento de los factores experimentales, el número de coeficientes de la ecuación de segundo grado aumenta exponencialmente, y por tanto, el número de pruebas experimentales.

Más recientemente un nuevo diseño estadístico de experimentos, denominado método de diseño uniforme (UD) se ha utilizado para solucionar este problema. En lugar de estudiar cada factor de las mezclas y realizar las optimizaciones mediante prueba y error, la metodología de diseño de experimentos y el método de diseño uniforme, fueron utilizados para generar un diseño experimental uniforme de tres factores y siete ensayos U7 (73) que posteriormente fueron elaborados y ensayados. La optimización se realizó mediante un híbrido de sistema de redes neuronales artificiales (ANN) y algoritmos genéticos (GA).

Las redes neuronales artificiales (ANN), son una poderosa herramienta matemática en el reconocimiento y modelización de las propiedades de un material. Este sistema ha tenido diversas aplicaciones en procesos de control, robótica, reconocimiento de patrones, predicción, sistemas de energía e industria manufacturera.

Elaboración: El polvo triturado de caucho de neumáticos fue desvulcanizado dentro de una extrusora mono husillo de 30mm, a una velocidad de 40 rpm y a temperaturas de 110/120/140°C. Posteriormente la mezcla de caucho extrusionado se vuelve a introducir en la extrusora junto con el betún a una velocidad de 20 rpm y temperaturas de 90/100/110°C. Las mezclas finales de caucho-betún-PP, se produjeron en una extrusora de doble husillo L40/D19, a una velocidad de 100 rpm y temperaturas de 160/190/210/220/230/240 por proceso de inyección. La mezcla de betún y del compatibilizante SEBS-g-MA pueden producir las propiedades deseadas en el material.

El betún fue escogido debido a sus efectos desvulcanizantes en el caucho y su efecto plastificante en el PP, lo cual sirve como nexo de unión entre ambos materiales. Este proceso de entrelazamiento se origina por el rompimiento de las cadenas de sulfuro del caucho después de la primera extrusión y la posterior reacción del betún y el compatibilizante durante la segunda extrusión.

Tabla de diseño uniforme ($U_7(7^3)$) y sus resultados correspondientes						
Exp. núm	Factores				Resultados	
	WPP (wt.%)	Bitumen (wt.%)	WGRT (wt.%)	SEBS-g-MA (phr)	Tensión (MPa)	Deformación a rotura (%)
1	65	13.5	21.5	6.7	12.1	188.7
2	35	18	47	10	8.9	256.4
3	60	0	40	13.3	12.6	157.2
4	40	4.5	55.5	3.3	11.6	131.2
5	50	9	41	20	11.2	207.6
6	55	22.5	22.5	0	10.6	239.4
7	45	27	28	16.7	8.7	393.1

Los ensayos de tensión fueron llevados a cabo de acuerdo a la normativa americana ASTM D412. Los **Resultados** obtenidos de tensión demuestran que;

- La resistencia decrece con el incremento de betún en la mezcla.
- Hay una disminución en la elongación del elemento cuando se incrementa el porcentaje de PP en la mezcla y se mantiene una tasa del 13,5% de betún en la mezcla.
- El efecto de plastificante y de unión del betún puede ser invertido si es superado el 13,5% de peso en mezcla, y puede actuar como diluyente de la misma.

- La proporción de mezcla ideal obtenida fue de 53-65%PP, 8-13,5%betún, 21,5%caucho reciclado y 6,7% SEBS-g-MA.

Comparativa de las propiedades experimentales y las predichas por el RCAD		
Propiedades	Predichas por RCAD	Valor Experimental
Resistencia a Tensión (MPa)	92	8.9
Deformación hasta la rotura (%)	506.8	461.6

Conclusiones sobre plástico reciclado en sistemas artificiales de diseño.

El uso de nuevos sistemas de medición y predicción basados en software de ordenador, nos permiten conocer la resistencia, ductilidad y rigidez de mezclas con diferentes materiales, previos a realizar el primer ensayo físico. Estos sistemas serán de gran ayuda para el desarrollo de nuevas aplicaciones para un número indeterminado de materiales reciclados.

El caucho reciclado es un material especialmente difícil de volver a transformar, por ser un material termoestable, al no poder ser reprocesado como un termoplástico. Sin embargo mantiene podemos aprovechar esta desventaja, al utilizar las propiedades que conserva dicho material y someterlo a un proceso de transformación en donde no cambie su apariencia y este inmerso en una mezcla homogénea que aproveche sus capacidades físicas. Las mezclas de PP-Caucho con betún-SEBS en varias concentraciones fueron investigadas utilizando un método de diseño de experimentos para optimizar la fórmula empleada en aplicaciones comerciales con altas propiedades mecánicas.

Las mezclas fueron definidas previamente mediante “Diseño Estadístico de Experimentos” Este software utiliza un método que se utilizó para reducir el número de experimentos preliminares, posteriormente la optimización de la mezcla fue realizada utilizando un sistema híbrido artificial de algoritmo basado en una técnica de redes-genéticas (ANN-GA). Generando tres variables PP, Caucho y SEBS en siete mezclas que generaron una fórmula que optimizó la resistencia a tensión y pronosticó la elongación/distensión del elemento al punto de rotura. La formulación óptima predicha se encontró en concordancia con los porcentajes empleados en la parte experimental, validando así la exactitud del método de diseño basado en un procedimiento de redes neuronales artificiales con algoritmos genéricos. Validando la viabilidad y calidad de mezclas de Polipropileno y caucho reciclado para aplicaciones comerciales.

PROPIEDADES Y APLICACIONES DE CAUCHO RECICLADO PARA HORMIGÓN PLANO Y COMPACTANTE ([44] Najim 2010).

Comportamiento, características y potencial comercial de desechos de neumáticos de vehículos para ser utilizados como una alternativa a los agregados tradicionales en el hormigón. El uso de la granza de caucho de neumáticos reciclados es comúnmente utilizado para aplicaciones no estructurales, sin embargo se han encontrado diversos estudios que se enfocan en el uso del caucho como un agregado de hormigón auto compactante. Esta publicación compara y detalla las conclusiones generales de más de 70 trabajos independientes, relativos a las propiedades del hormigón elaborado con caucho reciclado, resaltando las características principales del material.

El empleo de caucho (de neumáticos de desecho) como un agregado en la elaboración de hormigón se ha vuelto cada vez más popular durante los últimos 20 años. Asimismo con el aumento del número de coches a nivel mundial, la acumulación de enormes cantidades de neumáticos de desecho se ha vuelto un problema gran impacto ambiental. Y aunque se han tenido grandes iniciativas para su reciclaje, estos elementos terminan casi siempre como protección para plataformas marinas contra el choque de naves y olas.

Por otro lado también se tiene el problema de la que quema de llantas de desecho, lo que emite enormes cantidades de sustancias tóxicas aéreas al medio ambiente. Por último se sigue manteniendo su desecho en los rellenos sanitarios.

Una estrategia de proceso de reciclaje, utiliza al caucho reciclado como agregado para generar una ganancia económica y una reducción de costes en el empleo de otros agregados. Durante las últimas dos décadas diversos estudios han evaluado las propiedades potenciales del hormigón liso de caucho (plain rubberised concrete).

Este material puede definirse como un hormigón de resistencia convencional con remplazo de agregados de caucho de tamaños grueso/fino. Este material ofrece una mejora en la deformación, mayor velocidad de vertido, reduciendo bloqueos en aéreas de refuerzo, además de mayor resistencia a la segregación, con la peculiaridad de ser auto consolidante sobre su propio peso sin el empleo de vibradores ni segregantes.

Se encontraron diversos estudios que han experimentado con el hormigón de caucho auto nivelante, que ofrece en gran medida un remplazo potencial de la arena natural por caucho triturado sin la necesidad de emplear ningún tratamiento previo, pudiendo ser utilizado en cantidades mayores a 180 kg/m³ de caucho triturado ≤ 4 mm, brindando propiedades aceptables durante el periodo de fraguado y una vez ya endurecido el mortero. En términos de comportamiento mecánico, se ha encontrado que puede ser un comportamiento inusual que no obedece ninguna ecuación empírica relativa al módulo de elasticidad de la resistencia a compresión, donde se aprecian incrementos considerables en su capacidad de soportar presión y por lo tanto ser muy dúctil.

Esta publicación profundizará en los estudios encontrados sobre hormigón liso y auto nivelante de caucho reciclado.

Los agregados de caucho de neumático se obtienen principalmente por dos vías, los medios mecánicos realizados a temperatura ambiente y/o a temperaturas criogénicas. En ambos procesos los cables de acero de los neumáticos son separados utilizando campos magnéticos, así como el caucho a su vez es separado de la malla de alambre utilizando tamices vibratorios. Sherwood ([45] Sherwood 1995) sostiene que el material producto de los neumáticos de desecho y el proceso asociado con su reciclaje, afecta la idoneidad del caucho como agregado, dependiendo de la cantidad de acero y fibras textiles que contenga, así como de la forma y textura de las partículas finales.

El sistema criogénico es más eficiente en términos de producir un agregado con mejor geometría y sin contaminación de fibras textiles o acero en su interior.

Conclusiones.

Otras aplicaciones relacionadas con el uso del caucho reciclado como un material de agregado, sin pasar por otros procesos de transformación más elaborados, es el uso de este material para la elaboración de hormigón, con la ventaja de que estas mezclas son de bajo peso con un alto grado de aire en su interior, lo que permite ser bombeado y vertido con altas tasas de flujo, además de proveer una mejora en los niveles de aislamiento térmico/acústico.

Najim propone varias vías de investigación, para el uso del caucho reciclado como agregado. Enfocándose en el uso de este material para la elaboración de hormigón

aislante para encofrados con pocos requerimientos estructurales, teniendo como ventaja en este sistema, un vertido rápido y buenas propiedades térmicas. Otras aplicaciones alternativas contemplan; autopistas que ofrezcan una protección combinada de reducción de ruido en el tráfico, mejoras en el aislamiento térmico y acústico en pequeñas estructuras de viviendas, y también mejoras en el aislamiento de suelos en edificios.

El hormigón de caucho presenta mejoras significativas en el comportamiento de cargas dinámicas y propiedades de absorción de impacto/vibración.

Sin embargo su uso limita a elementos no estructurales, ya que presenta una reducción de dureza y resistencia. La clave para entender mejor el comportamiento interno y la posterior mejora del elemento, es la zona de transición interfacial (ITZ por sus siglas en inglés) que se define como la zona de adherencia entre agregado y hormigón. Para dar solución a este problema se han empleado diferentes aditivos específicos como el caucho-estireno-butadieno modificado obtenido algunos buenos resultados, otras opciones han sido emplear diferentes combinaciones de agregados en polvo de tipo aditivos puzolánicos y tratamiento superficial del agregado ya sea químicamente mediante NaOH o físicamente mediante granallado/rugosidad.

Sin embargo aún es necesario continuar con un análisis detallado para caracterizar la morfología y propiedades químicas de los agregados de caucho reciclado para determinar el proceso menos costoso y con mejores resultados para conseguir la zona ideal de transición interfacial. Esto puede originar nuevas oportunidades de negocio, disminuyendo costes en el tratamiento químico/físico del material y una mejora de las propiedades mecánicas del elemento.

El mayor potencial de desarrollo del hormigón de caucho autonivelante en aplicaciones de ingeniería civil sería hacia elementos prefabricados para edificios de varios niveles, elementos no estructurales, así como cerramientos con absorción acústica en techos y suelos. Ofreciendo soluciones a problemas de rotura del hormigón por contracción o por tensión, gracias a la incorporación de partículas de caucho reciclado que permiten una mayor deformabilidad bajo cargas previas al fallo, así como una mejora de la dureza, resistencia al impacto y ductilidad en comparación con el hormigón autonivelante normal. Se recomienda el uso de caucho de neumático en presentación de agregado fino para el uso en matrices de hormigón, debido a su estabilidad geométrica y estructural.

Se necesita mayor información para dar al usuario final un método válido y comprobable para el reemplazo de caucho reciclado como material de agregado.

Conclusiones sobre el estado del arte.

Después del análisis de los materiales desarrollados con caucho reciclado, se llegó a las siguientes conclusiones:

- El proceso de reciclaje del caucho de neumáticos que mejor conserva sus propiedades sin afectar demasiado su estructura molecular, son los procesos criogénicos. Con este sistema de reciclaje, las mezclas posteriores de transformación tienen un mejor desempeño estructural de aleación entre los agregados.
- De los ensayos y muestras que se analizaron, la granulometría más empleada y que mejores resultados tuvieron fue la de dimensiones entre los 0.4 y 4.0 mm.
- Si el caucho es utilizado para la elaboración de mezclas químicas, dependiendo del sistema de transformación, es recomendable el uso de agentes químicos como pre tratamiento del caucho antes de ser utilizado como agregado.
- En los casos en que el caucho es utilizado como un agregado árido en la mezcla de hormigones, se ha comprobado que el caucho proporciona propiedades aislantes al elemento que es directamente proporcional a la cantidad de material por peso en la mezcla, sin embargo esta misma relación afecta de manera inversamente proporcional a la resistencia estructural del elemento.
- Otro aspecto positivo de las mezclas de cemento-caucho, es que tienen propiedades de maleabilidad en fresco, lo que mejora la velocidad de bombeo y vertido del material, brindando propiedades auto compactantes a la mezcla.

Tras enumerar las investigaciones más importantes relacionadas al uso del caucho para la elaboración de nuevos materiales, se seleccionaron los cuatro ejemplos más llamativos para poder desarrollar en las instalaciones de la Universidad:

- **Matriz de caucho, resina de poliéster, agregados finos** (arcilla, cal, colorantes, espesantes, polímeros reciclados de polietileno/polipropileno etc.) con propiedades de aislamiento térmico-acústico y una resistencia mecánica aceptable. Sistema bicapa de fusión en frío. Las posibilidades para poder adaptar el sistema, para el desarrollo de un nuevo material es viable, según los equipos y herramientas con las que se cuentan.
- **Matriz de caucho, betún y agregados finos/gruesos.** Empleado para la elaboración de membranas de aislamiento térmico y acústico, sin propiedades

mecánicas y con problemas en la estabilidad del elemento. El sistema requiere de un espacio adaptado para trabajar con emisión de gases, un gran horno para calentar el caucho y mezclarlo con el betún por lo que no puede ser adaptado a las instalaciones de la Universidad.

- **Matriz de caucho, aglutinante (cal/cemento), agregados finos entre ellos PP y PE reciclados, solidificante.** Tiene buenas propiedades aislantes térmicas y acústicas, buen comportamiento en el vertido de material, propiedades auto compactantes, reducción de peso del elemento constructivo y mayor capacidad de absorción de energía y ductilidad en un sistema monocapa. El sistema permite ser adaptado ya que no se requieren grandes equipos ni material especializado.
- **Uso de fibras de caucho reciclado y cemento para la elaboración de paneles de techo con propiedades de aislamiento acústico.** El sistema carece de estabilidad estructural, es necesario un análisis en la granulometría del elemento y el uso de ligantes y aglutinantes especiales para unir al caucho con el cemento. El sistema permite ser adaptado y puede desarrollarse en la Universidad ya que no se necesitan de material especializado.

Se llegó a la conclusión de que las alternativas para el desarrollo de un material constructivo de fachada exterior, de tipo no estructural que emplee caucho reciclado para su elaboración, sería una adaptación y modificación de las siguientes opciones:

- El desarrollo de un elemento pétreo monocapa, empleando más polímeros reciclados, cementantes, áridos finos, etc.
- El desarrollo de un elemento de matriz polimérica (resina) donde se utilice además del caucho, algunos polímeros reciclado más, así como cementantes y aglutinantes.

Se concluye que el elemento a desarrollar deberá tener buenas propiedades físicas, suficiente resistencia estructural, alta resistencia a los efectos climáticos, con capacidad de absorción de energía, aislamiento térmico y acústico.

Tendrá que ser desarrollado mediante un sistema de transformación simple, con materiales económicos, pero que ofrezcan un material terminado de buena calidad. Empleando materiales aglutinantes de poca o ninguna inercia térmica, pero capaces de resistir a los cambios climáticos. El sistema escogido es la elaboración de un elemento a partir de una matriz polimérica, en donde se utilizaran resinas de poliéster insaturado y acrílica, además de agregados pétreos pulverizados que den estabilidad a la mezcla, así como propiedades ignífugas e incrementen la resistencia estructural del elemento.

7 ■ MATERIALES SELECCIONADOS

En este capítulo se analizan los materiales que fueron seleccionados para el desarrollo del proceso experimental. La elección de estos se deben a las conclusiones obtenidas del estado del arte, otros fueron simplemente los que se tuvieron a la mano, fruto de la casualidad o causalidad implícita en un proceso experimental.

“La ciencia humana consiste más en destruir errores que en descubrir verdades”

Sócrates

MATERIALES SELECCIONADOS

7.1 AGREGADOS

Una vez que se obtuvieron los conocimientos suficientes para poder entender el funcionamiento de los plásticos, sus propiedades y procesos de transformación y reciclaje, así como de los nuevos materiales compuestos (composites) que emplean plásticos reciclados como materia prima para su producción, se procedió con la selección de los materiales con los que se iba a desarrollar el proceso experimental de la investigación.

El objetivo era desarrollar un composite, capaz de ser utilizado en fachadas exteriores y que en su composición formaran parte materiales reciclados. Se realizó una búsqueda de las opciones de materiales con los que contábamos en España, con el objetivo de facilitar el proceso de producción y aprovechar los recursos ya disponibles, ofreciendo nuevas alternativas para la elaboración de nuevos productos de valor añadido.

Una vez que se tuvo un listado con los materiales disponibles, y haberse puesto en contacto con las empresas transformadoras, se hizo una categorización de los materiales, este proceso fue de suma importancia ya que se definieron las posibilidades de transformación de estos materiales, empleando los equipos y herramientas con las que se contaba en la Universidad.

Finalmente se optó por escoger al caucho reciclado de neumáticos fuera de uso como el agregado principal, gracias a las propiedades y características de este material, la abundancia en la región, facilidad de obtención por parte de la empresa transformadora y porque representa una oportunidad de aprovechar las ventajas de este producto, a la vez que se ayuda a disminuir el impacto medio ambiental que suponen otras vías de reciclaje o soterramiento.

Finalmente los agregados escogidos fueron los siguientes.

- Granza de caucho de neumáticos.
- Hidrato de Aluminio.
- Derivados del Yeso:
- Sulfato de Calcio (Anhidrita)
- Escayola E-30 (Semihidrato)
- Yeso Fino (Semihidrato + Anhidrita).

7.1.1 CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO.

Fecha última revisión: 10/10/2011

NOMBRE PRODUCTO: GMNBLACK66 y
GMNORANGE87

DESCRIPCIÓN: Polvo fino de caucho

PROCEDENCIA: Neumáticos fuera de uso (NFU)

FORMA OBTENCIÓN: Trituración mecánica.



Fig. 29. Granza de caucho reciclado Fuente: GMN

COMPOSICIÓN QUÍMICA	
Extracto acetónico	5.64%
Cenizas	6.60%
Negro de carbono	30.10%
Azufre	1.29%
Caucho natural	46.70%

Extracto acetónico	5.64%
Cenizas	6.60%
Negro de carbono	30.10%
Azufre	1.29%
Caucho natural	46.70%

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Densidad	1.1 g/cm ³
Densidad aparente	500-550 kg/m ³

Densidad	1.1 g/cm ³
Densidad aparente	500-550 kg/m ³

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Contenido en agua	<0.7%
Apariencia	Forma de gránulos circulares.

Contenido en agua	<0.7%
Apariencia	Forma de gránulos circulares.

IMPUREZAS	
Acero	<0.01%
Textil	<0.5%
Otras impurezas	<0.2%

Acero	<0.01%
Textil	<0.5%
Otras impurezas	<0.2%

GRANULOMETRIA GMNBLACK66			GRANULOMETRIA GMNORANGE87		
mm	% retenido	% acumulado	mm	% retenido	% acumulado
0.6	1.0	100	7.1	1.2	100
0.5	5.6	99.0	6.3	4.0	98.8
0.4	20.9	93.4	5.0	25.6	94.8
0.3	27.5	72.5	4.0	25.1	69.2
0.2	23.0	45.0	3.55	14.0	44.1
0.1	17.6	22.0	3.15	11.0	30.1
0	4.4	4.4	2.50	16.9	19.1
			2.00	2.1	2.2
			1.80	0.1	0.1

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PRODUCTOR

Denominación	GMN-BLACK66, GMN-ORANGE87
Descripción	Granza de caucho reciclado de NFU.
Código	GMNBLACK66, GMNORANGE87
Productor	Gestión Medioambiental de Neumáticos, S.L.
Pre-registro	REACH FL615913-35 (submission number)

COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Goma (SBR, BR, goma natural)	55%-75% en peso
Negro Carbono	20%-35% en peso
Fibras textiles	>5%
Óxido de zinc	>3%
Azufre	>2%
Aditivos	>10%

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Pureza del caucho	88%-95%
Forma	Sólida en granza o polvo.
Color	Negro
Olor	Goma
Punto de Fusión	115°C
Temperatura de ignición	321°C en flama continua durante 50 seg.
Explosión	No es un material explosivo
Densidad aparente	500-600 kg/m ³
PH	Neutro
Solubilidad	Insoluble en agua, parcialmente soluble en acetona.
Descomposición	La descomposición polimérica se inicia a 177°C.
Toxicidad	No es peligroso, material sólido e insoluble en agua.
Degradabilidad	No es un material biodegradable
Peligrosidad	Producto no peligroso. RD. n. 3320 (2) GGVS
Extinción	Mediante espumas, químicos secos, CO ₂ y agua pulverizada

7.1.2 HIDRATO DE ALUMINIO LIGERO.

El hidrato de Aluminio ligero, fue elegido por su bajo coste, su amplio desempeño en muy diversos materiales y productos (tiene buenas propiedades para ser usado como carga en la producción de papel, tintas, pinturas y diferentes usos de manufactura de productos cosméticos y lociones), así como las múltiples referencias encontradas en las publicaciones relacionadas al desarrollo de materiales constructivos, elaborados a partir de plásticos reciclados.

Una de sus principales características es que es un material libre de halógenos, es un excelente retardante del fuego y un inhibidor de humo comprobado tanto en materiales termoplásticos como termoestables.

La marca comercial Hydral es un trihidróxido de aluminio precipitado $Al(OH)_3$ está compuesto por pequeñas partículas extra finas y de apenas 1 micrón de diámetro.

Producto:	HIDRATO DE ALUMINIO	Código:	AA32
Núm. de lote	1034299790	Código de Control:	28-1034299790-120618

Certificado de análisis

Descripción	Unidades	Min - Max	Valor
Na ₂ O sodio soluble	%	Max 0.04	0.016
% de humedad por MW CEM AVC 80	%	Max 0.4	0.14
Área de la superficie	m ² /g	3-5	4.2
Polvo con malla de +325	%	Max 0.02	0.0068
D 50	micrones	0.9 - 1.3	1.1

Ficha Técnica

Composición Química	Unidades	Medidas
Al (OH) ₃	%	99.5
SiO ₂	%	0.004
Fe ₂ O ₃	%	0.007
Na ₂ O (total)	%	0.24
Na ₂ O (soluble)	%	0.016
Humedad	%	0.20
Propiedades físicas		
Densidad aparente suelta	g/cm ³	0.30
Densidad aparente empacada	g/cm ³	0.51
Área de superficie	m ² /g	4.0
Tamaños de las partículas		
Malla de 325 tamizado en húmedo	%	0.003
Malla d95 por sedígrafo 5100	μ	2.1

Malla d50 por sedígrafo 5100	μ	1.1
Malla d10 por sedígrafo 5100	μ	0.7
Otras propiedades físicas		
LOI (100-1100 °C)	%	34.5
Densidad	g/cm ³	2.42
Dureza	Mohs	3
Índice de refracción	-	1.57
Brillo	% Z	99+
Color	-	Blanco
Métodos de ensayo		
Al (OH) ₃	Por diferencia	
SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ y sodio total	Espectrómetro DC de emisión de arco óptico.	
Sodio soluble	Fotometría por emisión de llama	
Humedad	Por microondas	
Densidad aparente suelta	Norma ASTM B212-89 modificada	
Densidad aparente empacada	Norma ASTM B557-85 modificada	
Área de superficie	Método Brunaur-Emmett-Teller de absorción de nitrógeno	
Porcentaje de brillo Z	Valor Z de XYZ tristimulus dividido por 1.18103	

7.1.3 CARBONATO DE CALCIO

Producto:	CARBONATO DE CALCIO LIGERO (SOCAL	Código:	CC18
Núm. de lote	RBBM001158	Código de Control:	214-RBBM001158-110425

Certificado de Análisis:

Características	Unidades	Valor	Especificación	Método
Diámetro medio (dp)	µm	0.26	0.25 – 0.32	MTS 001
Pérdida de peso tras secado.	g/kg	1.48	<=5.00	MTS 015
Rechazo sobre tamiz (45 micras)	Ppm	100	<=250	MTS 022
Blancura (520 nm)	%	99.6	>=97.0	ISO 2470

Socal P2 es un fino carbonato cálcico precipitado. Es un polvo muy fino, blanco e inodoro, con un único tamaño y forma de cristales. Este material proporciona una sobresaliente combinación de brillo y opacidad en emulsiones para pintura. También funciona para reducir el brillo y para mejorar la resistencia al frote de pintura húmeda.

Dependiendo de las condiciones de almacenaje y humedad, este producto puede ser estibado hasta por un periodo de 5 años, sin que cambien sus propiedades físico-químicas.

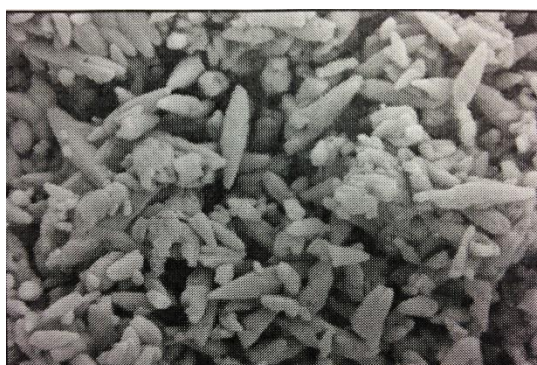


Fig. 30. Forma de los cristales del carbonato de calcio. Fuente: Fabricante

Estructura cristalina	Calcita escalenoédrica
Forma de los cristales	Apariencia a puro.
Apariencia	Polvo blanco
Índice de refracción	1.685
Densidad	2.71 g/cm ³
Densidad de flujo libre	280 g/L
Área de superficie específica	8m ² /g
Dureza MOHS	3
Número CAS	471-34-1
Número EINECS	207-439-9

7.1.4 SULFATO DE CALCIO (Dihidrato)

Producto:	CALCIO SULFATO L-50	Código:	CC212
Identificación de la sustancia	Sulfato cálcico dihidratado		
Otro nombre	Alabastro micronizado / yeso micronizado		
Nombre Comercial	LEUCOMIBER L-50		
Uso de la sustancia	Carga mineral para la industria de la pintura, papel, plásticos, adhesivos y otros.		
Fórmula	CaSO ₄ 2H ₂ O		

Este producto no cumple los criterios necesarios para su clasificación como material peligroso, tal como se define en el reglamento CE 1272/2008 y en la Directiva 67/548/CEE.

Reglamento CE 1272/2008:	Sin Clasificación
Clasificación de la UE (67/548/CEE):	Sin Clasificación.
Registro REACH n°:	Está exento de Registro REACH de conformidad con el anexo V.7

Es un producto mineral natural, no presenta ningún riesgo significativo para el medio ambiente y la salud humana. Es una sustancia no tóxica, sin embargo si se forman ambientes polvorientos se recomienda utilizar equipos de protección personal adecuados a la legislación nacional (mascarilla de protección respiratoria, gafas, guantes, etc.)

Propiedades químicas y Físicas:

Aspecto	Polvo	Auto ignición	No auto- inflamable
Color	Blanco	Riesgos de explosión	Ninguno
Olor	Inodoro	pH (solución acuosa 10%)	7 ± 1
Tª descomposición	65°C y 1,050 °C	Densidad	2.32 g/cm ³ a 20° C
Punto de ebullición	No aplicable	Solubilidad	2 g/l a 20° C
Punto de inflamación	No inflamable		

Ficha técnica:

Parámetro	Especificación	Unidad	Método analítico
Granulometría	Rechazo al tamiz de 45 micras	1.5 ± 2%	ISO 757/7
Blancura	CIE Lab L	89 ± 2 %	Dr. Lange Luci 100
Humedad	porcentaje	<0.5%	ISO 787/2
Dureza	MOHS	2	MOHS
Densidad	(g/cm ³)	2.3	ISO 787/10

Composición química	Valor típico (%)	
CaSO ₄ 2H ₂ O	98.15	Este producto es químicamente estable en condiciones ambientales, no se conocen reacciones peligrosas. La molécula de CaSO ₄ 2H ₂ O se descompone, perdiendo el
CaO	32.64	
SO ₃	45.64	
Fe ₂ O ₃	0.05	
MgO	0.05	

H₂O de cristalización a una temperatura de 65°C convirtiéndose en **CaSO₄ o anhidrita**. En la parte experimental este material se descompone de Dihidrato de alta pureza (>98%) a Anhidrita debido al proceso de elaboración donde se aumenta la temperatura propiciando la pérdida de las moléculas de H₂O.

7.1.5 YESO FINO DE CONSTRUCCIÓN (Semihidrato + Anhidrita)

Producto:	IBERFINO YF	Código:	YF/L
-----------	-------------	---------	------

El yeso fino de la marca Placo es un material de semihidrato $\text{CaSO}_4 \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ y anhidrita II artificial ($\text{SO}_4 \text{ Ca II}$) con un 80% de pureza mineral, de consistencia granulométrica fina y cuyas aplicaciones se centran en acabado de guarnecidos de yeso controlado, realizados en divisiones interiores tanto horizontales como verticales. **El bajo índice de pureza de este material (80%) hace que en la parte experimental se designe como Semihidrato + Anhidrita.**

Este producto de la empresa Placo cumple con las siguientes normativas y homologaciones:

Norma Española: **UNE-EN 13.279-1:2006** “Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción”. Designado como tipo C6 (Yeso de terminación para su aplicación en capa fina) según la denominación europea y como YF (Yeso de aplicación en capa fina) según la denominación tradicional española.

Marca “N” de AENOR, según el reglamento particular **RP 35.05**.



Fig. 31. Saco de Yeso Fino (Semihidrato + anhidrita)
Fuente: Placo

Propiedades:

Resistencia al fuego	La resistencia al fuego es propia de un sistema y no de un producto.
Reacción al fuego	Iberfino está clasificado como Euroclase A1 (no contribución al fuego), al tener menos de un 1% en peso o volumen de materia
Coeficiente de conductividad térmica λ (W/mK)	0.18. Este valor fue determinado según la norma europea UNE-EN 13.279-1:2006
Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua.	6 (μ)

Características técnicas

Índice de pureza	> 80%
Granulometría GA	0-0.4 mm
Granulometría SN	0-0.2 mm
Resistencia mecánica a compresión	$\geq 2 \text{ N/mm}^2$
Resistencia mecánica a flexión	$\geq 2 \text{ N/mm}^2$
PH	> 6

La temperatura de aplicación recomendable es entre 5-40°C.

7.1.6 ESCAYOLA E-30 (Semihidrato)

Producto:	IBERYOLA E-30/E-35	Código:	E-30
------------------	--------------------	----------------	------

La escayola E-30 de la marca Placo está elaborado con un **Semihidrato** de sulfato cálcico ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) con un 90% de pureza mineral. Se utiliza para la elaboración de elementos prefabricados, reparaciones y acabados. Es un material de gran finura que permite un acabado de elevada blancura. Es un material de fraguado rápido apta para su uso en cadenas de producción de elementos prefabricados.

Este producto de la empresa Placo cumple con las siguientes normativas y homologaciones:

Norma Española: **UNE-EN 13.279-1:2006** “Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción”. Designado como tipo A (Conglomerante a base de yeso para la construcción) según la denominación europea y como E (Escayola) según la denominación tradicional española.

Marca “N” de AENOR, según el reglamento particular **RP 35.02**.



Fig. 32. Saco de Escayola E-30 (Semihidrato)
Fuente: Placo

Propiedades:

Resistencia al fuego

Reacción al fuego

La resistencia al fuego es propia de un sistema y no de un

Iberyola está clasificado como **Euroclase A1** (no contribución al fuego), al tener menos de un 1% en peso o volumen de materia

Coefficiente de conductividad térmica λ (W/mK) 0.30. Este valor fue determinado según la norma europea UNE-EN 13.279-1:2006

Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua. 6 (μ)

Características técnicas

Índice de pureza > 90%

Granulometría GA 0-0.2 mm

Resistencia mecánica a compresión $\geq 3 \text{ N/mm}^2$

Resistencia mecánica a flexión $\geq 3.5 \text{ N/mm}^2$

PH ≥ 6

La temperatura de aplicación recomendable es entre 5-40°C.

7.2 AGLOMERANTES

Como aglomerantes se escogieron dos tipos de resinas diferentes, una resina ampliamente utilizada para la elaboración de composites que es la resina de poliéster insaturado y otra termoestable en base acuosa que es una resina acrílica. La selección se basa en el interés de comprobar las propiedades que cada una de estos aglomerantes ofrece a una matriz de caucho reciclado y agregados pétreos pulverizados, así como la diferencia de propiedades físicas que pueden tener entre sí, siguiendo un proceso de fabricación similar.

7.2.1 RESINA ACRÍLICA.

Esta resina es un aglutinante de un solo componente que consiste en un ácido poli acrílico modificado y un agente de reticulación de polialcohol, además de un sistema de dispersión especial de polimerización. Esta resina no contiene ingredientes como fenol o formaldehído, con lo que además de brindar una alta resistencia térmica, no emite sustancias de formaldehído.

Datos Técnicos.

- Contenido de sólidos 50%
- Valor de PH 3.5 aprox
- Viscosidad (mPa's) 900-2500
- Alto peso molecular
- Densidad 1.1g/cm³

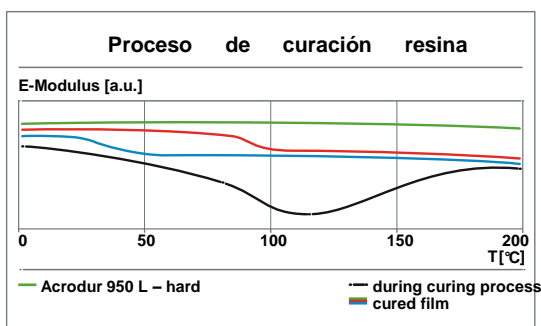


Fig. 33. Proceso de curación de la resina Fuente: BASF

El uso de fibras naturales madera o fibras de líber como el kenaf, yute o lino, son cada vez empleadas por la industria automotriz para la elaboración de materiales compuestos ligeros de revestimiento y compartimentos al interior de los vehículos, ya que estas fibras son dimensionalmente estables, tienen buen comportamiento a la fractura y son ligeros.

La resina acrílica de ACRODUR provee de buenas propiedades adhesivas y fortalecimiento a diversos tipos de fibras naturales además de brindar soluciones respetuosas con el medio ambiente.

Durante el proceso de curación de esta resina, inicialmente se produce una reacción de reticulación entre el ácido funcional y los grupos de alcohol en el aglutinante, al aumentar la temperatura durante el proceso de evaporación del agua las partículas de dispersión

forman una película termoplástica de dos fases, para posteriormente mediante la acción de calor, reticular el ácido carboxílico formando un polímero termoestable.

El único subproducto durante el proceso de transformación que se tiene en esta reacción es agua. Otras ventajas de esta resina son la ausencia de olor y emisiones de contenidos críticos en el lugar de trabajo o el entorno de producción. Es fácil de almacenar, procesar y tiene una larga vida útil.

De termoplástico a termoestable: Antes del proceso de curación, la resina y los sustratos impregnados con ella, tienen una excelente capacidad de conformación termoplástica. La resina forma una película a temperatura ambiente, es decir, une al sustrato respectivo incluso después de secado simple. De esta manera se pueden fabricar semiacabados estables para ser almacenados y fáciles de procesar posteriormente. También conservan sus propiedades termoplásticas incluso después de un largo tiempo de almacenaje.

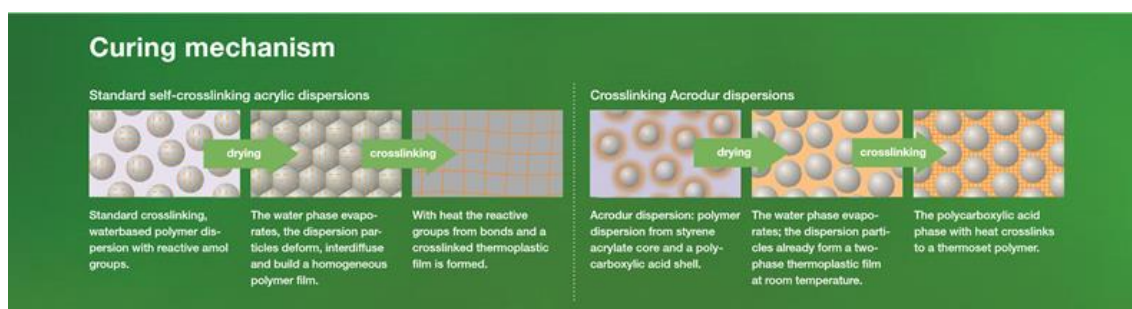


Fig. 34. Gráfica del proceso de curación de un sistema tradicional y el sistema de la resina Acrodur. Fuente: BASF

7.2.2 RESINA DE POLIÉSTER INSATURADO.

La resina ADHyECO es una resina de poliéster insaturado, ortoftálica, de reactividad media, tixotrópica, pre acelerada, de exotérmica controlada, baja emisión de estireno y con un revelador de catalización y buena adherencia. Se emplea un catalizador de Metil-Etil-Keton (MEK) a un 1-2% del peso por volumen total de resina, así como un acelerante de Octoato de Magnesio al 0.1% por volumen de mezcla. Tanto el catalizador como el acelerante vienen dentro del paquete que la empresa Resineco comercializa.

Características físicas	medida	Nominal	*Reactividad determinada
Peso específico 25°C	g/cm³	1,09	según método PI/01-1 de 100 g. de resina a 25°C con Butanox M50 Akzo Nobel.
Extracto seco	%	57	
Viscosidad Brookfield DVII 25°C 50 r.p.m.	dPa.s	5	
REACTIVIDAD*			
Gel Time	m	28	
Proporción Catalizador	%	1	
Tiempo de curado	m	43	
Pico exotérmico	°C	135	

Propiedades mecánicas

TEST	UNIDAD	NOMINAL	ISO
Peso específico	g/cm ³	1,20	-
Resistencia a la tracción	MPa	55	ISO 527
Elongación a la rotura	%	2,1	ISO 527
Resistencia a la flexión	MPa	100	ISO 178
Módulo Elasticidad (flexión)	MPa	4000	ISO 178
Estabilidad dimensional al calor (HDT)	°C	90	ISO 75-A
Contracción	%	7	-

Ventajas:

Bajo olor y mínimas emisiones. Adherencia interlaminar equivalente a las resinas estándar (contrastado por laboratorios externos) Incluso después de una semana sin lijar. Buena resistencia a la osmosis Buenas propiedades mecánicas en las piezas terminadas.

7.3 FIBRAS DE REFUERZO

Se utilizaron fibras naturales de yute en forma de malla para recibir la mezcla de resina y agregados sirviendo de envoltente para el composite. Como fibras de refuerzo se utilizaron fibras de vidrio, de polietileno termofusionable y de polipropileno multifilamento.

7.3.1 FIBRAS DE YUTE

Como parte del interés por crear un material compuesto, con carácter ecológico, se escogió emplear fibras naturales de yute, en forma de textiles (arpilleras) que sirvieran como envoltente del material a desarrollar. El yute está formado por fibras que contienen un polímero natural llamado lignina, con el que cuenta la mayoría de los árboles y tallos de las plantas. La palabra lignina proviene del término latino *lignum*, que significa madera; así, a las plantas que contienen gran cantidad de lignina se las denomina leñosas. La Lignina se encarga de engrosar el tallo.



Fig. 35 Planta de Yute, Fuente: Nordisk Familjebok

Las ligninas son polímeros mixtos, de moléculas grandes ramificadas y resistentes, tanto al ataque de las sustancias químicas como a la acción de los microorganismos. Sin embargo, la lignina es disuelta por los reactivos sódicos y por el cloro, que la convierten en subproducto soluble en el agua. Los polímeros de lignina son estructuras interconectadas con un peso molecular de 10.000 uma (unidad de masa atómica). Esta sustancia representa el 30 % de los componentes del vegetal.

La temperatura de fusión cristalina es la temperatura en la cual un polímero cristalino se funde, en tanto que la temperatura de transición vítrea es la temperatura en la cual un polímero amorfo comienza a ablandarse. La lignina es un polímero amorfo que tiene un punto de transición vítrea (o de ablandamiento) en torno a los 135-190 °C el cual, varía dependiendo el origen orgánico del material, el porcentaje de humedad y el método utilizado para su aislamiento. Otro punto determinante para la variación del punto de transición vítrea es la masa molecular del elemento, ya que cuanto mayor sea esta, a más temperatura se tendrá que llegar para poder alcanzar dicho punto.

La lignina se compone químicamente por carbono, hidrógeno y oxígeno, variando sus proporciones dependiendo la familia y especie de material orgánico de donde proviene el material, pudiendo ser de plantas coníferas o latifolias.

El acoplamiento aleatorio de los radicales libres de la lignina da origen a una estructura tridimensional, que es la forma más compleja dentro de los polímeros orgánicos. La base estructural de la lignina es el fenil-propano, teniendo enlazado al anillo bencénico un número variable de grupos hidroxílicos y metoxílicos. Esos grupos hacen con que el fenil propano tome la forma de radicales químicos bien definidos. Así es que en la lignina del yute representa a la familia de las angiospermas donde predominan radicales de: siringil-propano (dimetoxi-3-5-hidroxi-4-fenil-propano).

Para la elaboración del material compuesto, se decidió utilizar textiles de yute de la marca Logrotex con las siguientes características:

Isolgreen Yute es un fieltro punzonado compuesto por un 90% de fibras vegetales y un 10% de fibras sintéticas de polietileno. Es un material completamente biodegradable.



Nombre comercial: J-500-R

Gramaje (g/m²): entre 400-500 g/m²)

Fig. 36 Detalle de la arpillera de yute utilizada, Fuente Propia

Espesor medio: entre 3-5 mm

7.3.2 FIBRAS DE PET BICOMPONENTE

En el proceso de fabricación de fibra PET bicomponente utiliza dos fibras sintéticas de ligado: un componente de polietileno con fibras del núcleo de poliéster (PE / PET), y un componente de poliéster y fibras del núcleo de poliéster (PET / PET). Este tipo de fibras tienen propiedades hidrófilas o repelentes al agua. Y se funden a una temperatura de 110°C.



Fig. 37 Fibras de PET bicomponente marca Logrotex Fuente Propia

Propiedades térmicas

El revestimiento de poliéster (PET) ofrece una gama de ligado más amplia y más alta que el de polietileno (PE), cosa que la hace más rígida y también permite que sea utilizada a temperaturas más altas que las fibras porosas de PE / PET.

Resistencia química

Los materiales porosos de PET / PET ofrecen una buena resistencia química y pueden ser utilizados con muchos disolventes ácidos, básicos y orgánicos.

Propiedades mecánicas

Las fibras porosas de PET/PET ofrecen una estructura más rígida que las de PE / PET pero también pueden ser diseñados para ofrecer una mayor suavidad o rigidez según los requisitos del producto final. También ofrecen una excelente resistencia a la fricción lo cual es beneficioso para el producto que se suministra en forma de rollos y destinado al montaje automatizado de alto volumen.

7.3.3 FIBRAS PP MULTIFILAMENTO (SIKA m-12)

Es una fibra de poliolefinas diseñada para ser mezclada con hormigones con el fin de aumentar su durabilidad, evitar la fisuración y aportar las resistencias estructurales especificadas. Su uso está especialmente indicado, para hormigones en los que se busca aumentar las resistencias a tracción, al impacto y la capacidad de absorción de energía y mejorar las características siguientes:

- Composición química: Fibras de polipropileno
- Densidad: (20 °C) Aprox. 0,91 kg/l
- Absorción de agua: Nula
- Alargamiento a rotura: 80-140%
- Longitud: 12 mm
- Tenacidad: ~ 280-310 N/mm² / 30-34 cn/tex
- Punto de fusión: ~ 163 - 170 °C
- Diámetro de fibras: ~ 31 µm
- Número de fibras: ~ 102 millones/k



Fig. 38 Fibras de PP multifilamento marca Sikafiber M-12
Fuente Propia

Características

La adición en la masa de hormigón o mortero de estas fibras aporta las ventajas siguientes:

- Incrementan la absorción de energía y la resistencia a tracción, aportando resistencias residuales a flexo-tracción superiores a las mínimas exigidas por la EHE-08. Por ello se consideran fibras estructurales.
- No le afectan los procesos de corrosión y oxidación a diferencia de los hormigones que se refuerzan con fibras metálicas.
- Óptima adherencia fibra-hormigón debido a los tratamientos físico-químicos recibidos en su fabricación.
- Mejoran considerablemente la resistencia pasiva al fuego, reduciendo el fenómeno de «spalling».
- Resistencia química: Resistente a los rayos ultravioletas. Inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. Imputrescible, resistente a hongos y bacterias.

7.3.4 FIBRA DE VIDRIO (20 MM)

FIBRAS DE VIDRIO MAT (CSM)

VIDRIO E 225 gr/m² (20 MM)

Uso del preparado: Fibras de refuerzo para resinas

Empresa: RESINECO

COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES.

Sustancias que presentan un riesgo para la salud según el Reglamento de Sustancias Peligrosas R.D. 363/1995:



INGREDIENTES	COMPOSICIÓN	% PESO	Nº CAS	Nº EINECS
Vidrio Fibroso (Filamentos continuos tipo E)	La principal composición de la fibra de vidrio tipo E es de óxidos de silicio, aluminio, calcio y boro	90 (min.)	N/A	65997-17-3
Compuesto de ensimaje	Complejo mezclado a base de silano y polímeros	2 (max.)	N/A	N/A

El polvo de fibra de vidrio es considerado “no respirable” según la OSHA.

La exposición continuada a la fibra de vidrio algunas veces causa irritación de la piel, los ojos y las vías respiratorias. Las principales rutas de exposición son la inhalación y el contacto con la piel. No hay ninguna evidencia que la fibra de vidrio cause cáncer o enfermedades respiratorias malignas. El producto es estable, no inflamable y no perjudica el medio ambiente. Señalización de mercancía peligrosa: No es necesaria

MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS.

Riesgos especiales de exposición al fuego: Los productos peligrosos del ensimaje en la combustión (que son un 2% como máximo en la fibra de vidrio) que pueden ser desprendidos en un fuego continuado son dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros hidrocarburos. En caso de fuego continuado llevar puesto mascarillas de oxígeno

La conferencia gubernamental Americana de higienistas (ACGIH) ha adoptado un valor umbral límite (TLV) de 10 mg/m³ para el polvo de fibra de vidrio. El TLV tiene que ver con la suspensión y concentración en el aire de la fibra de vidrio en mg. De fibra /m³ de aire.

OSHA clasifica la fibra de vidrio como un producto no respirable, con un límite de 0.5 g/m² permisible de exposición en el lugar de trabajo para el polvo de fibra de vidrio. Las fibras

con un diámetro menor a 3 micras están clasificadas como respirables ya que son capaces de ir al interior de las branquias, tráquea, etc.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

<i>Forma</i>	Sólida en fibras de 20 mm.
<i>Color</i>	Blanco
<i>Olor</i>	Inodoro
<i>Punto de Fusión</i>	840 °C
<i>Temperatura de ignición</i>	N/A
<i>Temperatura de</i>	N/A
<i>Gravedad específica</i>	2.6
<i>PH</i>	2.6
<i>Solubilidad</i>	No soluble
<i>Presión de vapor</i>	N/A
<i>Toxicidad</i>	No es peligroso, material sólido e insoluble en agua.
<i>Degradabilidad</i>	No es un material biodegradable
<i>Índice de refracción</i>	1.5487
<i>Extinción</i>	Mediante espumas, químicos secos, CO ₂ y agua pulverizada

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD.

Productos peligrosos en descomposición: En caso de un fuego prolongado como resultado de la descomposición termal del ensimaje se desprenderán gases nocivos en muy pequeñas cantidades.

INFORMACIÓN REGLAMENTARIA.

No hay un número (CAS) para la fibra de vidrio

El vidrio es una sustancia genérica, incluyendo el vidrio tipo E que ha sido incorporado en el EINECS N° 65997-17-3

8

METODOLOGÍA

En este capítulo se describen los equipos, materiales y sistema de elaboración con el que se desarrolló el proceso experimental de esta investigación. El objetivo de este capítulo era evaluar la viabilidad técnica para poder elaborar un material compuesto, basado en una matriz de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso, resinas poliméricas acrílicas y de poliéster insaturado, con agregados pétreos pulverizados que sirvieran como cargas y estabilizadores, y todo esto envuelto en una malla de textil orgánico con el que se completaba el composite.

8.1 PROCEDIMIENTO

Con la finalidad de comprobar la viabilidad de emplear materiales reciclados para la elaboración de un nuevo material constructivo, se analizaron las propiedades y características de diferentes materiales reciclados como: hojuelas de PP, PE, PET, PVC y SBR (caucho reciclado de neumáticos fuera de uso). Así como distintos procesos de transformación que pudieran llevarse a cabo en las instalaciones de la Universidad. Finalmente se ha empleado la granza de caucho reciclado como material principal de agregado por las propiedades aislantes que ofrece, la estabilidad química antes agentes agresivos, la dificultad que tiene para degradarse y la posibilidad de utilizar un proceso de reciclado simple (tritución mecánica) para obtener una materia prima de buena calidad.

El procedimiento que se llevó a cabo para **comprobar la viabilidad técnica de realizar un material compuesto de fachada de tipo no estructural, a partir de una matriz de caucho reciclado, resinas poliméricas, agregados pétreos pulverizados así como fibras naturales y sintéticas**, fue el siguiente:

- Elaboración de mezclas de diferentes agregados para evaluar la reacción que se tenían con los dos tipos de resina.
- Escoger los agregados que tuvieron mejores resultados en las pruebas iniciales y definir una tabla con las variaciones en los porcentajes de agregados seleccionados.
- Elaborar las mezclas escogidas, dejar secar por un periodo de tres semanas y ensayar las placas siguiendo una normativa que fuera afín a este tipo de elementos constructivos, para conocer las características físicas, mecánicas y de apariencia de cada una de las variantes elaboradas.
- Finalmente se hizo un análisis de los resultados físico-mecánicos que tuvieron las diferentes mezclas, estableciendo los valores mínimos para desarrollar un material que fuera a la vez resistente y económico y de esta forma caracterizar el material desarrollado.

8.2 MATERIALES UTILIZADOS

- Granza de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso suministrados por la compañía GMN (0.05-7.00 mm).
- Dihidrato: sulfato cálcico micronizado con más de un 98% de pureza mineral, marca LEUCOMIBER L-50.
- Semihidrato: Escayola E-30 (Iberyola) con más de un 90% de pureza mineral, de la empresa Placo.
- Semihidrato + anhidrita: Yeso Fino (Iberfino) con más de un 85% de pureza mineral de la empresa Placo.
- Hidrato de Aluminio ligero (Trihidróxido de aluminio precipitado) de la marca Hydral.
- Resina Acrílica marca Acrodur 950-L de la empresa BASF.
- Resina de poliéster insaturado ADHyECO, catalizador de metil-etil-keton al 2% por peso de volumen de resina, y un acelerante de octoato de magnesio al 0.1%, todas de la marca Resineco.
- Malla textil de yute de 500 g/m² marca J-500-R de la empresa Logrotex.
- Fibras de PET bicomponente-termofusionable de la empresa Logrotex.
- Fibra de PP multifilamento de 12 mm de longitud y 31 µm de espesor, marca Sikafiber M-12 de la empresa Sika.
- Fibra de Vidrio de 20 mm de longitud y 300 g/m² de la empresa Resineco.



Fig. 39 Caucho reciclado en diferentes granulometrías (Fuente Propia)



Fig. 40 Fibras de PET bicomponente-termofusionable (Fuente Propia)



Fig. 41 Fibras de PP multifilamento (Fuente Propia)



Fig. 42 Fibra de vidrio de 20 mm (Fuente Propia)



Fig. 43 Arpillera de Yute (Fuente Propia)



Fig. 44 Fibras de Yute. (Fuente Propia)

8.3 EQUIPOS

- Estufa de secado y esterilización de 80 litros de capacidad, con una cavidad de 500 x 400 x 400 mm, que permite el secado de muestras en un rango de temperatura útil comprendido entre 0 y 200 °C. Modelo: 209 (Marca Selecta).
- Estufa de Secado y esterilización de 150 litros de capacidad, con una cavidad de 500 x 600 x 500 mm que permite el secado de muestras en un rango de temperatura útil comprendido entre 0 y 200 °C. Modelo Heron (Marca Selecta).
- Balanza Europe Modelo 3000 HR (Marca Gibertini) que permite medir desde 0.01 g. hasta 3300.00 g.
- Máquina de ensayo para pruebas de flexión y compresión Modelo 60101 (Marca Icon). Esta prensa se compone de dos cuerpos y una caja ensayo. Se coloca la probeta. En el cuerpo de la derecha, el acelerador y encendido. En la caja de registro de datos y resultados se encuentran las variables de escala, memoria y carga.
- Equipo de medición para ensayos a flexión Modelo SAM 1002-98 (Marca Microtest) Permite obtener gráficas y medidas de fuerza y desplazamiento de los ensayos realizados.
- Gotero: para realizar una correcta dosificación del Octoato de Cobalto en las mezclas de resinas de poliéster insaturado.
- Recipientes de vidrio para medir los porcentajes y realizar la mezcla de los materiales.
- Molde cuadrangular metálico con tapa, elaborado con chapa de acero, para la elaboración de las probetas al interior y someterlas a presión en el interior de la estufa. Medidas 25x25 cm.
- Molde cuadrangular de madera con tapa, elaborado con madera contrachapada, bastidores de listones atornillados y extraíbles que permiten crear mezclas al interior con hasta 3 centímetros de espesor. Medidas de 30x30x3 cm.
- Cronómetro para la toma de tiempos de inicio y fin de fraguado.
- Calibre o Pie de rey para la toma de medidas de las placas con precisión de hasta 0,1 mm.
- Paletas, espátulas y accesorios de laboratorio para realizar las mezclas.



Fig. 45 Estufa de secado Mod. 209 J.P. Selecta (F.P.)



Fig. 46. Estufa de secado Modelo Heron J.P. Selecta (F.P.)

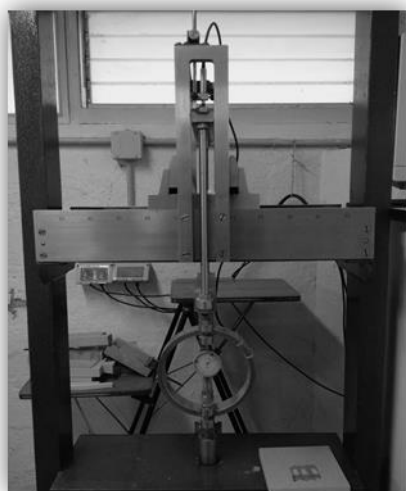


Fig. 47 Máquina de ensayos a Flexión Mod. 60101 (F.P.)



Fig. 48 Balanza electrónica Modelo Europe 3000HR (Fuente Propia)



Fig. 49 Calibre o Pie de Rey (Fuente Propia)



Fig. 49. Equipo de medición para ensayos a flexión (Fuente Propia)

8.4 MEDIDOR DE PARÁMETROS FÍSICOS

El equipo que se ha utilizado es un termohigrómetro modelo Testo 635-2 de Testo. Con este equipo se ha calculado la transmitancia térmica U, para posteriormente deducir la conductividad térmica, λ . Dicha medición se realiza con una sonda auxiliar.

El equipo cumple con las recomendaciones de la UNE y está diseñado para controlar, almacenar y calcular los datos medidos.



Fig. 50 Equipo Testo 635-2 (F.P.)

Datos técnicos:

- Temp. Fun.: -20 +50 °C
- Temp. Almac. -30 +70 °C
- Tipo de pila Alcalina manganeso mignon tipo AA
- Vida de la pila 200 h
- Medidas 220x74x46 mm
- Peso 428 g
- Material/caja ABS/TPE/metal
- Garantía 2 años

Tipo de sensor:

	Tipo K	NTC (sonda de humedad)	Sensor humedad Testo capacitivo	Sonda de presión absoluta
Rango	-200 a1370 °C	-40 a +150°C	0 a 100% HR	0 a 2000 hPa
Exactitud ± 1 dígito	±0.3 °C (-60 - +60°C) ±(0.2 °C+0.3% del vm) (rango restante)	±0.2 °C (-25 °- 74.9°C) ±0.4 °C (-40 - -25.1°C) ±0.4 °C (+75 - 99.9°C) ±0.5% del vm (Rango restante)	Ver datos sondas	Ver datos sondas
Resolución	0.1 °C	0.1 °C	0.1 % HR	0.1 hPa

Sonda:



Sonda de temperatura para determinar el valor de U, sistema de triple sensor para medir la temperatura de la pared. Clase 2



Sonda de aire resistente, T/P tipo K. cable fijo. Clase 1

Según En 60584 -2 la exactitud de clase 1 se aplica de -40 hasta +1000 °C (tipo K), la clase 2 de -40 hasta +1200 °C (tipo K).

8.5 ELABORACIÓN DE LAS PLACAS

1. Para la ejecución de placas se mezclaron todos los agregados en un recipiente de vidrio de 1 litro de capacidad, introduciendo primero la resina y activándola según el caso, para posteriormente introducir los agregados pétreos pulverizados y el caucho reciclado.
2. Se añadían posteriormente las microfibras de PET bicomponente termofusionable o de PP multifilamento.
3. Se preparaba el molde de metal o madera con una malla de yute en donde se introduciría la mezcla.
4. La zona de contacto entre el molde y la malla de yute se preparaba con un desmoldante.
5. Se vertía la mezcla ya preparada y se extendía uniformemente para asegurarse de tener una mejor planimetría final. Antes de cubrir la mezcla por completo se volvía a añadir fibras de vidrio como refuerzo.
6. Se cubría la mezcla con la malla de yute, asegurándose de que no hubiera ningún orificio por donde pudiera salir la mezcla y se cerraba el molde con la tapa para posteriormente someter el molde a presión empleando prensas de carpintero.
7. Se desmoldaban las placas y se introducían al interior de la estufa de secado.
8. Se sometía a un curado dentro de la estufa.
9. Se extraían las placas y se dejaban secar.
10. Se tomaban las mediciones de peso y dimensiones de las placas y finalmente se almacenaban.

8.6 ENSAYOS FÍSICOS

MEDICIONES DE PESO Y DIMENSIONES DE LA PLACA.

Se determinó el peso de las placas mediante una Balanza *Europe* Modelo 3000 HR (Marca *Gibertini*) que permite medir desde 0.01 g. hasta 3300.00 g. Esta balanza cumple con la normativa europea de aparatos de medición.

La anchura de las placas se determinó mediante la medición de al menos 5 puntos situados a lo largo de uno de los lados de la placa, y la longitud midiendo otros 5 puntos en uno de los lados perpendiculares a éste.

Herramienta de medición: Para realizar estas mediciones se utilizó un calibre o pie de rey debidamente calibrado, que permitía tomar mediciones de hasta 0,1 mm.

Procedimiento: Se tomaron cinco medidas, las primeras dos en los extremos de las placas, con una precisión de 0,5 mm, otras dos medidas tomadas a una quinta parte alejadas de estas dos primeras y la última en el centro de la placa.

Expresión de los resultados: se registran en milímetros.



Fig. 51. Medición de la anchura y espesor de las placas (Fuente Propia)

8.6.2 DETERMINACION DEL ESPESOR

El espesor se determinó realizando 6 mediciones en ambas caras longitudinales de las placas, promediando las medidas obtenidas para tener un espesor aparente. El hecho de que se midieran las caras longitudinales de las placas fue debido a la expresión matemática empleada para conocer la resistencia a tensión, donde se requería este dato.

Herramienta de medición: Para realizar estas mediciones se utilizó un calibre o pie de rey debidamente calibrado, que permitía tomar mediciones de hasta 0,1 mm.

Procedimiento: Se tomaron seis medidas en ambas caras longitudinales de las placas, promediando los resultados entre el total de medidas realizadas para conocer el espesor aparente de la placa.

Expresión de los resultados: se registra, con una precisión de 0.5 mm la media de los valores obtenidos para cada placa.

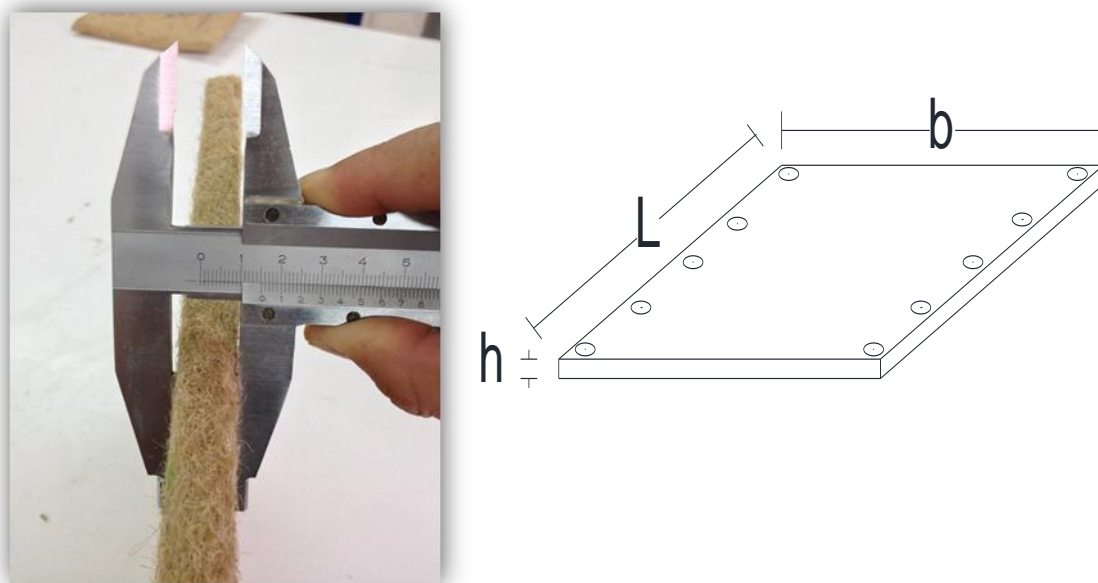


Fig. 52. Medición del espesor de las placas (Fuente Propia)

8.6.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

La densidad de un material está definida por la relación de la masa por unidad de volumen y es una propiedad intrínseca del material. Los valores sobre densidad de los materiales pueden ser variados, como la densidad relativa, neta, aparente y bruta. Para la toma de medidas de las placas elaboradas se optó por la densidad aparente ya que el peso de las placas puede ser calculado con exactitud, no siendo así para el volumen de las mismas ya que las medidas de longitud, ancho y espesor son valores medios.

Para llevar a cabo la medición se siguieron las indicaciones de la **Norma EN 13279.2** empleando las herramientas de medición descritas para cada caso en los apartados anteriores.

Herramientas de medición: Calibre o pie de rey, con un diámetro superior a 10 mm y precisión de 0,1 mm, balanza con una precisión de 0,1 g.

Procedimiento: se preparan seis probetas como se indica anteriormente. Se pesan las probetas con una precisión de 0,1 g. Se determinan las dimensiones de la probeta en milímetros, según lo indicado en apartados anteriores.

Expresión de los resultados: se calcula la densidad de cada probeta dividiendo la masa (en g) por el volumen (en cm³) obtenido a partir de las dimensiones tomadas de la probeta. La densidad es la media de los seis resultados individuales redondeado a (0,1 x 10³) kg/m³.

8.6.4 RESISTENCIA A FLEXION

Los ensayos a flexión fueron desarrollados 28 días después de la elaboración de las placas. Debido a que no existe ninguna normativa que controle la fecha para realizar los ensayos físicos, se tomó esta decisión al emplear materiales derivados del yeso.

El objetivo de estos ensayos fue la de conocer la capacidad a flexión del material constructivo en forma de placas y de esta manera evaluar la viabilidad de desarrollar un posterior sistema constructivo.

PLACAS

Para la realización de este ensayo se siguió lo especificado en la Norma **UNE EN 520:2005+A1:2009** sobre Placas de Yeso laminado. Se tomó como base esta Norma debido a que hace referencia a la posibilidad de emplear elementos elaborados de Yeso (Sulfato de Calcio/Yeso Fino/Escayola) para usos en suelo y aplicaciones en exteriores. Además Esta Norma contempla las siguientes características del producto:

- **Resistencia al fuego:** La resistencia al fuego es una característica del sistema y no del producto en sí, por esta razón no se desarrolló ningún ensayo sobre este punto. Cuando sea necesario se aplicarán ensayos para determinar y clasificar al sistema, de acuerdo con lo indicado en la Norma EN 13501-2.
- **Resistencia a flexión (carga de rotura):** La resistencia a flexión se calculó en base a la **Norma UNE EN 310** referente a la determinación de la resistencia flexión de tableros derivados de la madera. Se utilizó esta Norma, debido a la ausencia de normativa relacionada con ensayos a flexión de materiales compuestos. Los ensayos se basaron en la siguiente expresión matemática:

$$f_m = \frac{3 F_{\text{máx.}} l_1}{2 b t^2}$$

Donde:

F máx. Es la carga máxima expresada en Newton.

b. es la anchura de la probeta en milímetros.

l₁. Es la distancia entre los ejes de los apoyos en milímetros.

t. Es el espesor de la probeta en milímetros.

- **Resistencia al impacto** La resistencia al impacto no es característica de un producto sino de un sistema constructivo, por esta razón no se desarrollaron ensayos sobre este punto. Cuando sea necesario conocer la resistencia al impacto del sistema que emplee este material se determinará según lo especificado en la **Norma ISO 7892**.
- **Resistencia térmica:** El material compuesto que se desarrolló, pretende ser utilizado para elementos exteriores de fachadas tras-ventiladas, por lo que si bien, se desarrollaron ensayos para conocer la conductividad térmica de las placas, no se llevaron a cabo según lo especificado en la **Norma EN 12524**.
- **Resistencia acústica (Aislamiento al ruido aéreo y absorción acústica):** Ya que la resistencia al ruido aéreo y la absorción acústica no es una característica del producto, sino del sistema constructivo, no se desarrollaron ensayos respecto a este punto. En caso de que se desarrollen en el futuro pruebas con el sistema constructivo, los ensayos de resistencia acústica deberán ser llevados a cabo de acuerdo a las Normas: **ISO 7892, EN ISO 140-3 y EN ISO 717-1**.

Dentro de los ensayos, además de conocer la resistencia del material y su deformación, estudió el tipo de rotura que tuvo cada placa. Encontrando los siguientes ejemplos de rotura:

Rotura frágil: En periodo elástico. Materiales rígidos.

Rotura dúctil: En periodo plástico. Superficie de rotura fibrosa e irregular.

Rotura por fluencia: En periodo viscoso.

Rotura por fatiga: Con esfuerzos fluctuantes (fatiga mecánica o térmica).

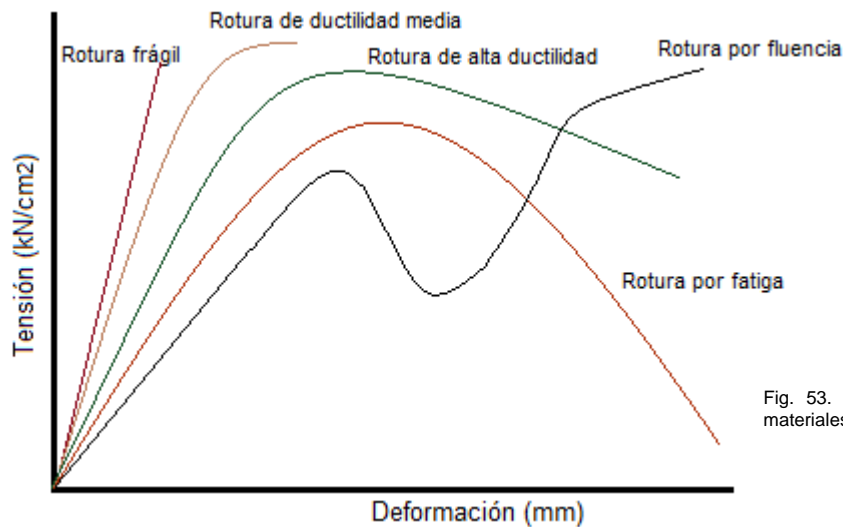


Fig. 53. Tipos de rotura de los materiales (Fuente Propia)

Aparatos

- Se emplea la máquina para ensayos de flexión que se compone de dos soportes paralelos (separados 150 mm entre sí) sobre los que se coloca la placa a ensayar. Se somete presión con un rodillo en la parte central de la placa.
- Se mide la fuerza que soporta la placa hasta su punto de rotura, así como la deformación obtenida en mm.

Procedimiento

Se coloca la placa una vez pasados los 28 días de su elaboración, con la parte longitudinal sobre los soportes de la máquina de ensayo. Se coloca el rodillo de carga en el centro de la placa, paralelo a los apoyos. Paulatinamente se va aumentando la carga hasta agotar su capacidad mecánica.

Deformación bajo carga

Según la EN 520: 2004, el ensayo debe ser el mismo que se utiliza para determinar la carga de rotura a flexión pero se debe registrar de forma continua la deformación en función de la carga aplicada. La prensa de ensayo de las placas está conectada a un ordenador con un software específico instalado. El desplazamiento se registra con un ensayo apoyado sobre la cara de la placa, que envía los datos de la tensión de carga y del desplazamiento producido al ordenador.

8.7 PROCESO DE EXPERIMENTACIÓN

- Preparación de todos los instrumentos necesarios para realizar la mezcla (moldes, recipientes, espátulas, cronómetro, llana, papel, etc.), los agregados, catalizador y acelerante (según el caso), precalentado de la estufa de secado a 140°C.
- Preparar el molde aplicando el desmoldante de alcohol de polivinilo o cera según sea el caso. Dejar secar por espacio de al menos 20 minutos.
- Tomar las cantidades de los diversos materiales según los porcentajes establecidos en el plan de ensayos.
- Mezclar en un recipiente la resina en primer lugar junto con los agregados pétreos pulverizados hasta que se tenga una pasta uniforme.
- Añadir las fibras de refuerzo (PET bicomponente o PP multifilamento según el tipo de mezcla) y remover la mezcla hasta quedar uniforme y se creen diversas telarañas al interior.
- Agregar la granza de caucho reciclado (empezando de mayor a menor granulometría) y remover la mezcla hasta dejarla uniforme.
- Con el molde preparado, colocar la malla de Yute y añadir 2g. de fibras de vidrio en su interior.
- Cuando la mezcla este completamente uniforme, se vierte sobre el molde y se esparce con la ayuda de una espátula, es muy importante mantener una cierta uniformidad en toda la superficie ya que esto ayudará a tener una mejor planimetría en el producto final.
- Después de verter el material y darle uniformidad al interior del molde, se añade nuevamente 2g. de fibras de vidrio y se envuelve por completo con la malla de Yute.
- Se cierra el molde con su tapa y se aplica presión con la ayuda de prensas de carpintero. Se somete a presión durante 20 minutos y luego se desmolda.
- Después del desmoldeo de la placa, se introduce al interior de la estufa durante un tiempo de 30-60" para placas de resina de poliéster y de 120-140" para placas de resina acrílica (según el tipo de mezcla y los agregados que la componen). La placa se mantiene presionada con la tapa del molde de metal hecha de acero.
- Después del tiempo de curado al interior de la estufa de secado, se extraen las placas y se dejan secar a temperatura ambiente por un periodo de 2 horas.
- Se marca el número de serie de la placa y se toman las mediciones de longitud, anchura, espesor y peso, y se saca su densidad seca.

- Después de tomar las mediciones de la placa tras su transformación, se almacena en una habitación con temperatura controlada (20°C) durante un periodo de 28 días.
- Tras los 28 días de almacenaje se vuelven a medir las placas.
- Se hace el ensayo a flexión de las placas y se vuelven a almacenar.

Tras el ensayo a flexión, la mayoría de las placas no presentan graves daños físicos, por lo que se volvieron a almacenar. La fase de experimentación de ensayos destructivos termina en este punto. Después del análisis e interpretación de la resistencia a flexión de las placas, se tomaron las 5 mejores mezclas y se sometieron a pruebas de resistencia térmica.

La parte experimental y el análisis de los resultados para la caracterización del material constructivo fruto de esta Tesis, se realizaron íntegramente en las instalaciones del laboratorio de materiales de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid y tuvo un periodo de 14 meses.

9 ■ DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este capítulo, se describe el proceso experimental de transformación para elaborar un material constructivo de envoltente, elaborado a partir de una matriz de grana de caucho reciclado en distintas granulometrías, resinas poliméricas de poliéster insaturado activada con un catalizador de metil-etil-ketón, resinas acrílicas en base agua (compuesta por ácidos carboxílicos), fibras naturales de yute y sintéticas (fibra de vidrio, PP termofusionable y PP multifilamento), cargas, estabilizadores e ignifugantes.

“El proceso de creación es un proceso de entrega y no de control”.

Julia Cameron

9.1 INTRODUCCIÓN

Con base en la información que se obtuvo del estado de la cuestión, sobre el uso de resina de poliéster insaturado para la elaboración de un elemento con características similares a una piedra artificial (**Hamoush et al 2011**), se diseñó un proceso experimental, adecuando las técnicas de transformación de composites. Para obtener los conocimientos necesarios, entender y dominar el proceso de mezclado, aplicación y curado de los materiales con los que se contaba, se elaboraron 42 mezclas con distintas proporciones de los siguientes agregados:

- Resinas poliméricas (poliéster, acrílica)
- Carbonato de calcio
- Dihidrato (Sulfato de calcio)
- Semihidrato (Escayola E-30)
- Semihidrato + Anhidrita (Yeso fino YF)
- Hidrato de aluminio ligero.
- Fibras de PP (termofusionable y multifilamento)
- Fibras de vidrio.
- Fibras de yute (en forma de arpillera punzonada)

De la información obtenida en este primer proceso, se desarrolló un plan de trabajo específico para cada tipo de resina, que tenían dos variables principales; el tiempo y temperatura de curación, y la cantidad de fibras de refuerzo.

Se encontró que para elaborar una placa y obtener un buen resultado físico-visual son necesarios unos mínimos de:

- 50-58% de caucho (20% granulo medio, 20% Granulo fino y un 10-15% granulo grueso).
- 27-32% de resina (Poliéster, Acrílica)
- 1-5% de Hidrato de Aluminio.
- 10-20% derivados del Yeso (Dihidrato, Semihidrato, Semihidrato + Anhidrita)

De acuerdo a las características de estas primeras placas, que no se recogen en el proceso experimental, se determinó descartar el uso de Carbonato de Calcio, al no aportar mejoras significativas de resistencia final del producto.

Se decide trabajar con los agregados derivados del yeso (Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato + Anhidrita) junto con el hidrato de aluminio, por ser materiales abundantes y económico y por sus características ignifugas y de aislamiento térmico-acústico.

9.2 COMPOSITES ELABORADOS CON RESINA DE POLIÉSTER INSATURADO (SERIE PSU).

La serie PSU debe su nombre al tipo de resina empleada para la elaboración de las mezclas, siendo esta, una resina de Poliéster Insaturado (Polyester Unsaturated resin en inglés) que fue activada con un catalizador de metil-etil-ketón con una relación del 2% por peso del volumen total de resina y un acelerante de Octoato de cobalto al 0.1-0.2%.

La serie PSU cuenta con 4 denominaciones:

- PSU32
- PSU30
- PSU28
- PSU27

Los números de estas denominaciones se basan en el porcentaje de volumen de resina empleada para la elaboración del elemento, es decir que en la serie PSU32, todas las mezclas contenían un 32% de volumen de resina del volumen total del elemento. El volumen de las placas se obtenía multiplicando los valores de longitud, anchura y espesor de la placa, obteniendo datos en cm^3 , estos datos posteriormente se multiplicaban por las densidades de cada material (g/cm^3) para obtener la cantidad en peso de cada uno de los agregados. Cada serie comparte únicamente un valor nominal de volumen de resina, teniendo distintas proporciones para el resto de agregados, fibras de refuerzo y tiempos de curación dentro de la estufa.

La información del proceso de experimentación se muestra en tres partes:

- 1) Primero se muestran las fichas de las mezclas que contiene cada serie, en ellas se detalla la información sobre el proceso de elaboración, datos físicos sobre los valores aparentes de la placa (longitud, anchura, espesor, peso, densidad, etc.).
- 2) Después se describen los agregados empleados para cada mezcla, con sus porcentajes en volumen y peso, la densidad de cada agregado, el peso de la malla utilizada, y la cantidad y tipo de fibras que se ocuparon para cada caso.
- 3) Posteriormente encontramos otro apartado donde se mencionan los tipos de fibras de refuerzo utilizado, así como las anotaciones que se realizaron durante el proceso de elaboración de la placa.
- 4) En la parte baja de cada ficha, encontramos las dimensiones de la placa tomados antes del ensayo a tensión, así como las magnitudes obtenidas una vez finalizado en ensayo.

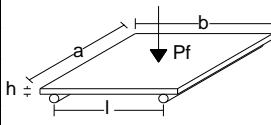
En cada ficha se observan tres gráficas con datos que nos dan la información necesaria para entender de manera rápida que tipo de mezcla se tiene y la relación de los agregados con la resistencia obtenida de cada mezcla, estas gráficas son:

- Porcentaje de agregados por volumen de mezcla
 - Gráfica de carga desplazamiento
 - Tensión final de la placa
- 5) Resumen de cada serie en donde se hace una comparativa de densidad, volumen, carga y tensión de las mejores mezclas de cada serie, mostrando gráficas para cada uno de los apartados mencionados anteriormente.
- 6) Por último se tienen las conclusiones y observaciones de cada una de las series, que pueden estar acompañadas con gráficas y tablas, dependiendo de la cantidad de mezclas de cada serie y de los datos obtenidos.

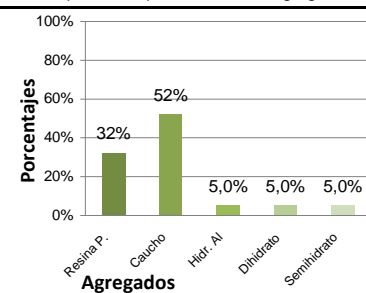
En la parte final de cada subcapítulo, se tiene un resumen y comparativa de las mezclas que tuvieron mayores resistencias en el ensayo a tensión, entre todas las series. Conclusiones finales de la serie y una comparativa de tenacidad entre las mejores mezclas.

9.2.1 SERIE PSU32

(Resina poliéster insaturado + metil-etil-ketón al 2% + 2 g. de fibras PPT + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa	PSU32-01	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	248	13	150	644,97	796,33	0,810	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

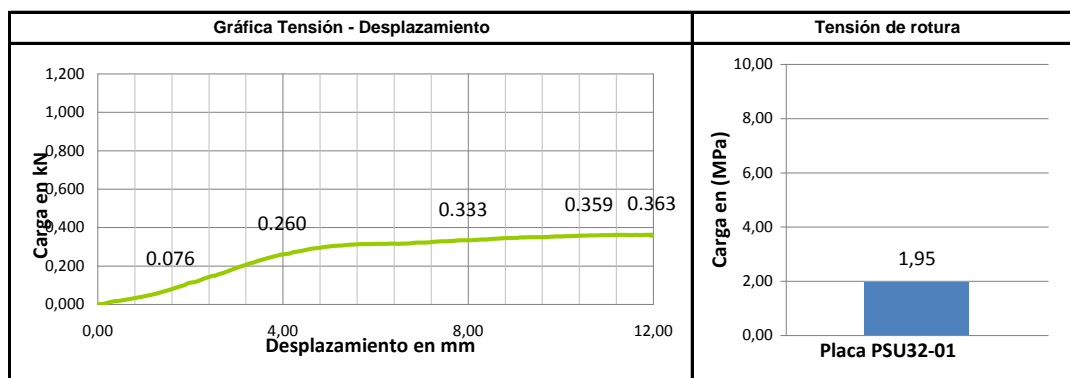
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm³	g/cm³	g	%		
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%		
Resina de poliester	32,00%	200,00	1,20	240,00	36,9%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	10,6%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	22,00%	137,50	0,55	75,63	11,6%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	10,00%	62,50	0,55	34,38	5,3%		
Hidrato de Aluminio	5,00%	31,25	2,42	75,63	11,6%		
Dihidrato	5,00%	31,25	2,32	72,50	11,1%		
Semihidrato	5,00%	31,25	2,70	84,38	13,0%		
Semihidrato + An	0,00%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	99%	618,75	—	651,25	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid
Porcentajes x Volumen	0%	32%	52%	5,0%	5,0%	5,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	83,93	gr.	2	gr.	0	gr.	3 gr.

Observaciones del proceso de elaboración

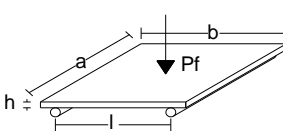
En esta mezcla se aumenta la cantidad de resina, disminuyendo la cantidad de caucho. La mezcla tiene buena trabajabilidad en vaso y molde. Se añaden fibras de PPT.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	363	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,95 mm
b (mm)	248	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	1,95 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU32-02	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246,5	247,5	13	150	666,27	793,11	0,840	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%	
Resina de poliéster	32,00%	200,00	1,20	240,00	36,2%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	10,4%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	23,00%	143,75	0,55	79,06	11,9%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	10,00%	62,50	0,55	34,38	5,2%	
Hidrato de Aluminio	5,00%	31,25	2,42	75,63	11,4%	
Dihidrato	5,00%	31,25	2,32	72,50	10,9%	
Semihidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	5,00%	31,25	2,96	92,50	14,0%	
Totales	100%	625,00	—	662,81	100%	

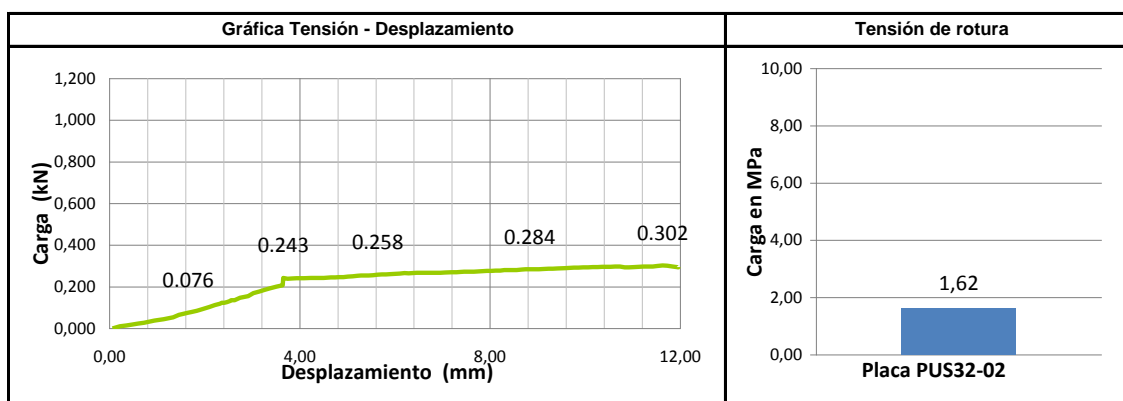
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + Anhid.
Porcentajes x Volumen	0%	32%	53%	5,0%	5,0%	0,0%	5,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	92,59	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

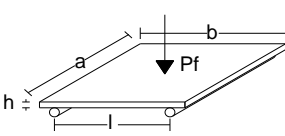
La resina se dejó en reposo durante 20 minutos antes de ser mezclada con las fibras y demás agregados. Se obtuvo una buena consistencia, más espesa y tiene buena trabajabilidad al interior del molde. Si se oprime la placa durante un tiempo de al menos 20 minutos en molde, antes de introducirlo en la estufa para su curación, se obtienen mejores resultados en cuanto a consistencia y apariencia de la placa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

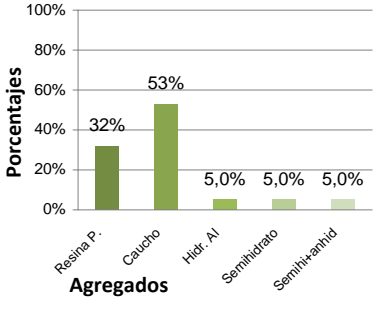
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	302	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,97 mm
b (mm)	248	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	1,62 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU32-03	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246,5	248	13,5	150	655,72	825,28	0,795	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

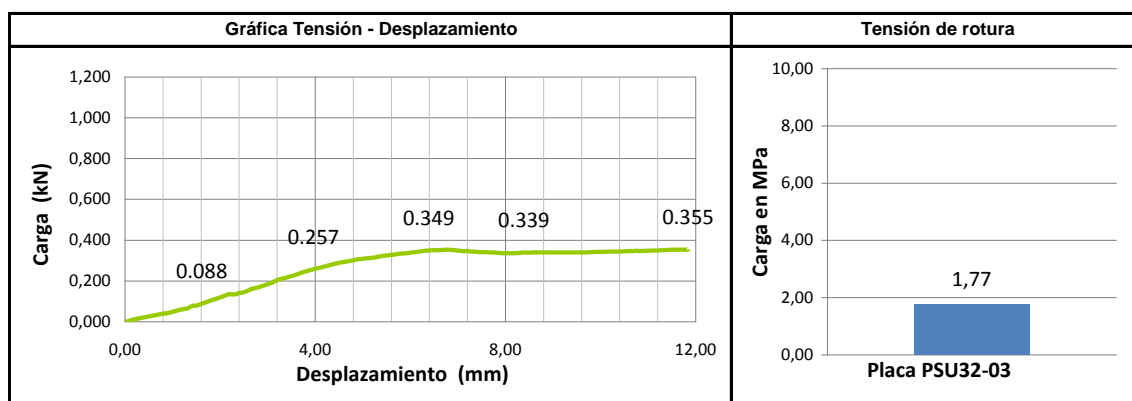
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm³	g/cm³	g	%		
Resina acrilica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%		
Resina de poliester	32,0%	200,00	1,20	240,00	35,6%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,2%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	23,0%	143,75	0,55	79,06	11,7%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	10,0%	62,50	0,55	34,38	5,1%		
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	11,2%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidratado	5,0%	31,25	2,70	84,38	12,5%		
Semihidratado + An	5,0%	31,25	2,96	92,50	13,7%		
Totales	100%	625,00	—	674,69	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidratado	Semih+anhid
Porcentajes x Volumen	0%	32%	53%	5,0%	0,0%	5,0%	5,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	88,31	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

Al igual que la placa anterior la resina se dejó durante 20 minutos antes de mezclarse con los demás agregados. La consistencia de la mezcla en unión con todos los agregados pétreos pulverizados es buena y de fácil manejo en vaso y al interior del molde.

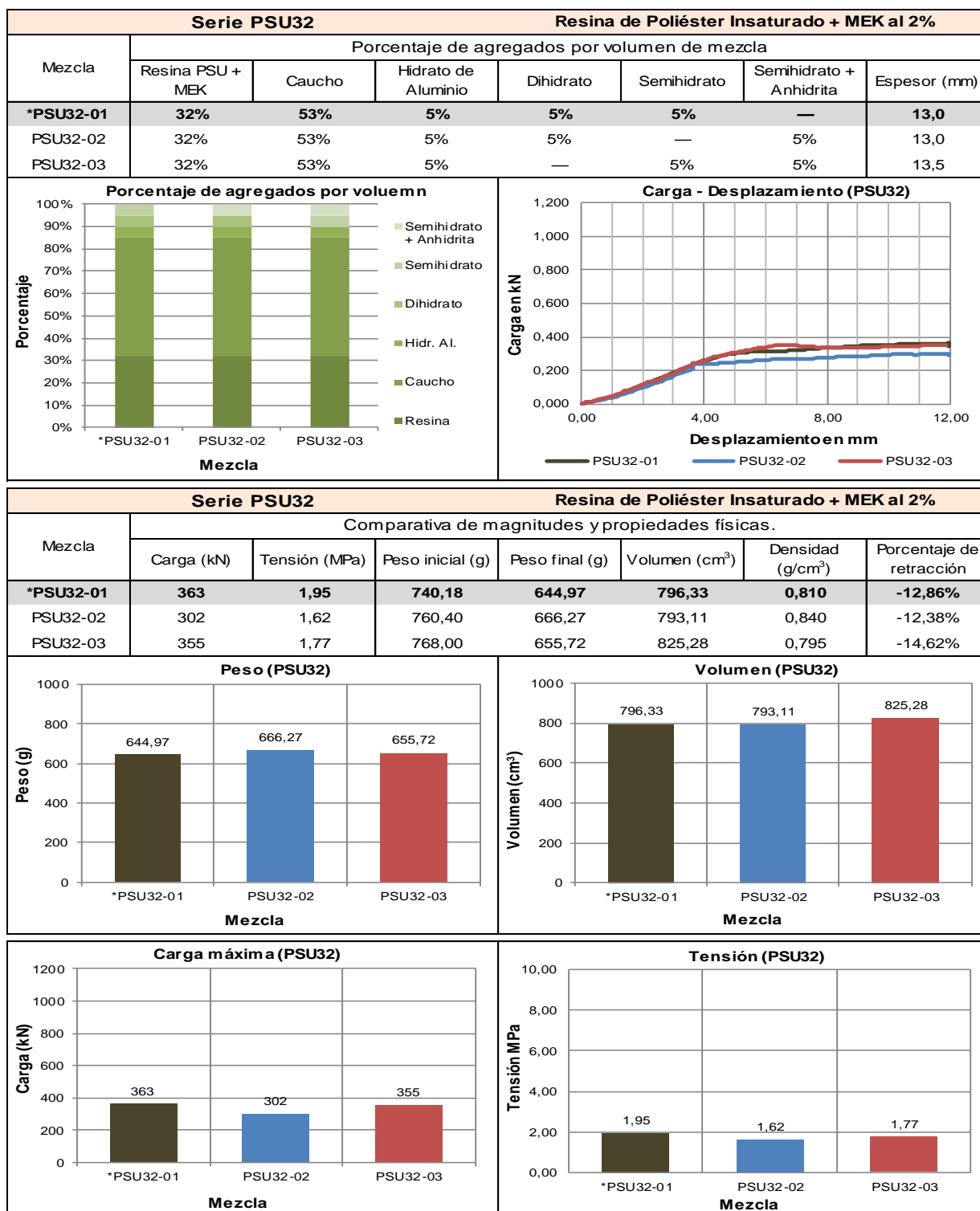
Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	355	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,84 mm
b (mm)	248	h (mm)	13,5	σ flexión (N/mm ²)	1,77 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidratado y Semihidratado más Anhídrido. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Ficha comparativa de las mezclas de la Serie PSU32



* La mezcla que se resalta en color gris ha sido la que tuvo una mayor resistencia a la tensión.

Conclusiones de la serie PSU32

Las mezclas que soportaron una mayor carga durante el ensayo a tensión fueron:

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhídrita
PSU32-01	13.0	365	1.95	32	53	5.0	5.0	5.0	--
PSU32-03	13.5	355	1.77	32	53	5.0	5.0	--	5.0

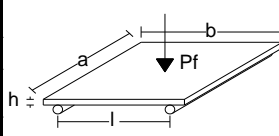
La resistencia a tensión ha sido muy baja, se tuvo una deformación dúctil en las tres mezclas, y la carga que soportaron fue similar. Este tipo de mezcla no tiene una densidad ni resistencia muy elevada.

Se observa una relación entre el volumen y peso de la placa con la mejora en la resistencia a tensión. Mientras menos variaciones existan entre estas dos, mejores serán los resultados de resistencia. En las dos mezclas que soportaron una carga mayor hubo la presencia de Semihidrato en combinación con hidrato de aluminio como agregados pétreos principales.

La mezcla con mayor retracción fue la PSU32-03 con un 14.62% de retracción.

9.2.2 SERIE PSU30

(Resina poliéster insaturado + metil-etil-ketón al 2% + 2 g. de fibras PPT + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa	PSU30-01	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	246	12	150	651,61	723,24	0,901	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%	
Resina de poliéster	30,0%	187,50	1,20	225,00	35,5%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,8%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	13,0%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	6,0%	
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	11,9%	
Dihidrato	10,0%	62,50	2,32	145,00	22,8%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	634,69	100%	

Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhidrido
Porcentajes x Volumen	0%	30%	55%	5%	10%	0%	0%

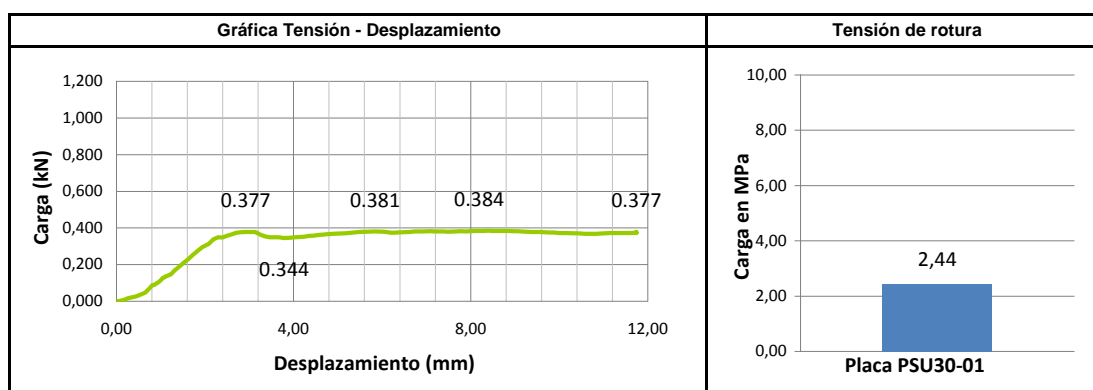
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	62,38	g	2	g	0	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

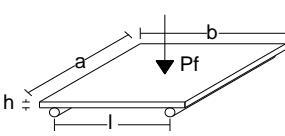
Mezcla blanda, de fácil manejo durante el proceso de mezclado, al añadir fibras se crean marañas que impiden una buena cohesión con el caucho. Hubo salida de material del interior del molde durante el proceso de curación, creando burbujas vídriosas en la arpiller.

Pruebas físico mecánicas de tensión

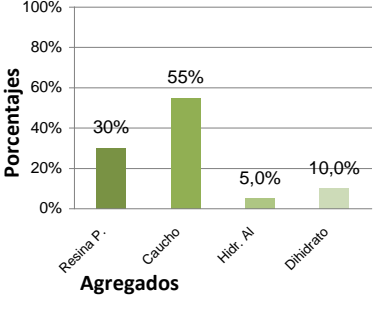
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	384	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,72 mm
b (mm)	246	h (mm)	12,0	σ flexión (N/mm ²)	2,44 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU30-02	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
248	248	14,5	150	654,36	891,81	0,734	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

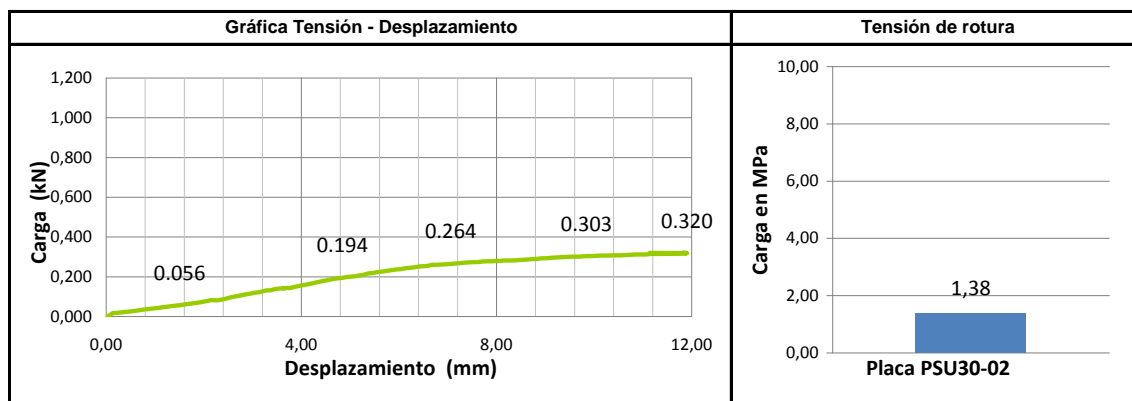
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso			
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%		
Resina de poliéster	30,00%	187,50	1,20	225,00	35,5%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	10,8%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,00%	150,00	0,55	82,50	13,0%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,00%	68,75	0,55	37,81	6,0%		
Hidrato de Aluminio	5,00%	31,25	2,42	75,63	11,9%		
Dihidrato	10,00%	62,50	2,32	145,00	22,8%		
Semihidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An	0,00%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	634,69	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semih+anhid
Porcentajes x Volumen	0%	30%	55%	5,0%	10,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PPT (Termofusionable)		PPM (multifilamento)		Fibras de vidrio 20 mm.
	99,23	g	0	g	2	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

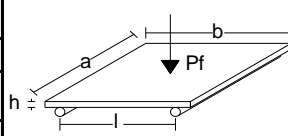
La mezcla tiene buena trabajabilidad, se toman las proporciones de la mezcla 1 y se cambian las fibras de PPT por las PPM, para observar en los ensayos físicos las diferencias de resistencia y comportamiento que tienen estas fibras.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	320	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,95 mm
b (mm)	248	h (mm)	14,5	σ flexión (N/mm ²)	1,38 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrido. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU30-03	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
248	248,5	12,5	150	638,62	770,35	0,829	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrilica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%	
Resina de poliester	30,00%	187,50	1,20	225,00	35,5%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	10,8%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,00%	150,00	0,55	82,50	13,0%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,00%	68,75	0,55	37,81	6,0%	
Hidrato de Aluminio	5,00%	31,25	2,42	75,63	11,9%	
Dihidrato	10,00%	62,50	2,32	145,00	22,8%	
Semihidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	0,00%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	634,69	100%	

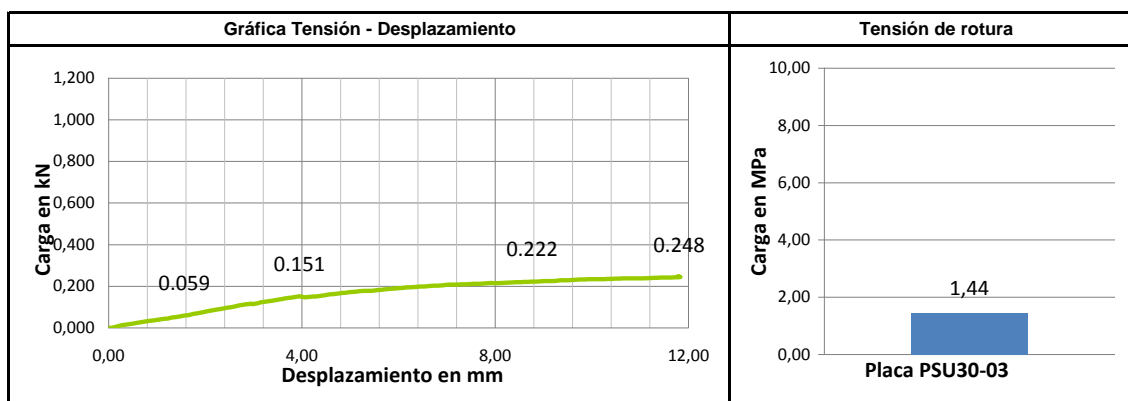
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semih+anhid
Porcentajes x Volumen	0%	30%	55%	5,0%	10,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	80,52	gr.	0	gr.	0	gr.	3 gr.

Observaciones del proceso de elaboración

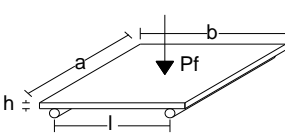
Nuevamente se toman las proporciones de la mezcla numero 1, pero esta vez no se añaden fibras de PP, sino únicamente las fibras de vidrio, que fueron repartidas aleatoriamente dentro de la arpillera antes de colocar la mezcla, así como en la parte superior de la mezcla una vez repartida al interior del molde y antes de terminar de envolverla con la arpillera de yute.

Pruebas físico mecánicas de tensión

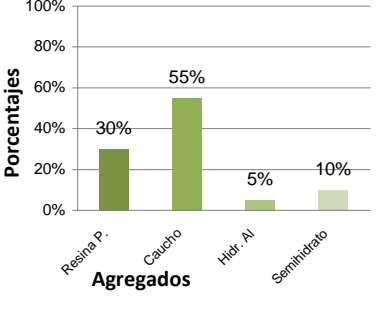
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	248	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,95 mm
b (mm)	249	h (mm)	12,5	σ flexión (N/mm ²)	1,44 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU30-04	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
244	246	14	150	644,15	840,34	0,767	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

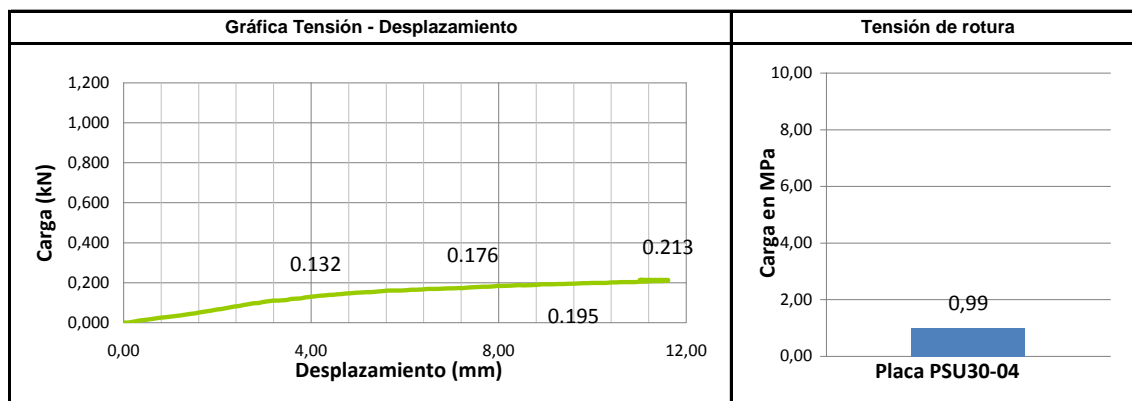
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%		
Resina de poliéster	30,0%	187,50	1,20	225,00	34,2%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,4%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	12,5%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	5,7%		
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	11,5%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	10,0%	62,50	2,70	168,75	25,6%		
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	658,44	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + Anhid
Porcentajes x Volumen	0%	30%	55%	5%	0%	10%	0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	96,19	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

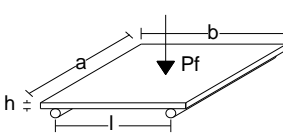
Mezcla más fácil de manejar al interior del molde, resalta la coloración negruzca de la mezcla con el caucho. No presenta salida del material al interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	213	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,09 mm
b (mm)	246	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	0,99 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU30-05	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
249	250	12	150	631,74	747,00	0,846	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm³	g/cm³	g	%		
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%		
Resina de poliester	30,00%	187,50	1,20	225,00	33,3%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	10,2%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,00%	150,00	0,55	82,50	12,2%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,00%	68,75	0,55	37,81	5,6%		
Hidrato de Aluminio	5,00%	31,25	2,42	75,63	11,2%		
Dihidrato	0,00%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An	10,00%	62,50	2,96	185,00	27,4%		
Totales	100%	625,00	—	674,69	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid
Porcentajes x Volumen	0%	30%	55%	5%	0%	0%	10%

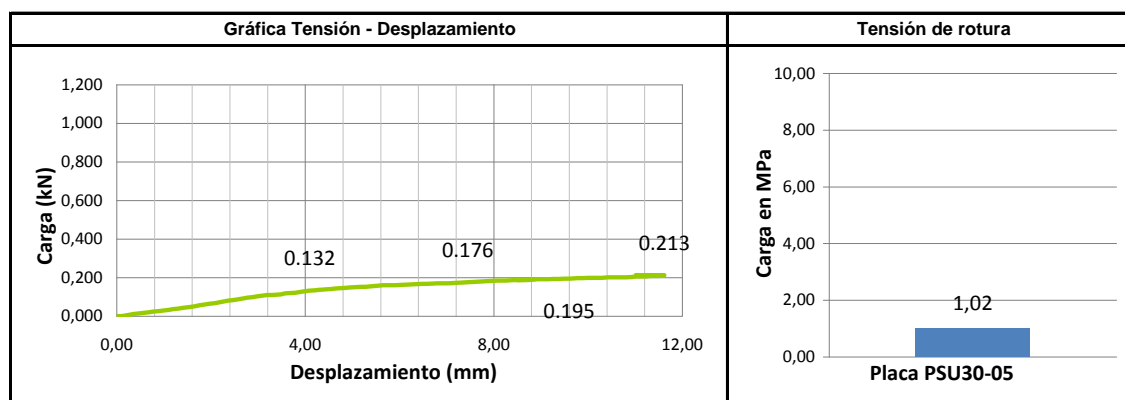
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	89,84	g	2	g	0	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

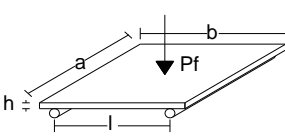
Mezcla espesa, el yeso no crea burbujas en el interior y da una mejor consistencia a la mezcla.

Pruebas físico mecánicas de tensión

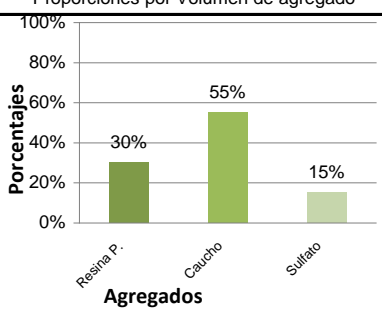
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	163	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,62 mm
b (mm)	250	h (mm)	12,0	σ flexión (N/mm ²)	1,02 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrías (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU30-06	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
244	247	13	150	681,95	783,48	0,870	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

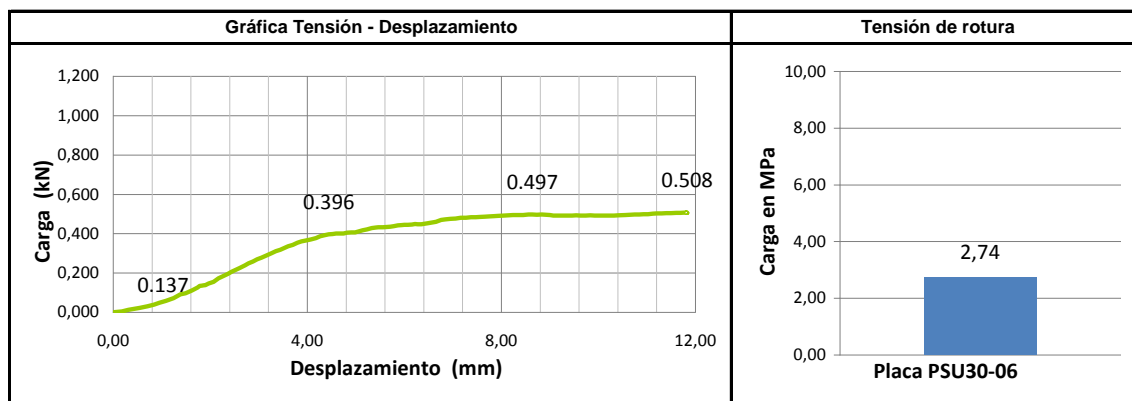
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso			
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%		
Resina de poliéster	30,00%	187,50	1,20	225,00	35,6%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	10,9%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,00%	150,00	0,55	82,50	13,1%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,00%	68,75	0,55	37,81	6,0%		
Hidrato de Aluminio	0,00%	0,00	2,42	0,00	0,0%		
Dihidrato	15,00%	93,75	2,32	217,50	34,4%		
Semihidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An	0,00%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	631,56	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Sulfato	Escayola	Yeso
Porcentajes x Volumen	0%	30%	55%	0%	15%	0%	0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	85,94	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

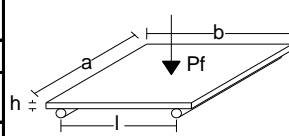
Mezcla muy líquida, es importante ver comprobar la relación del sulfato de calcio, las fibras de PPT y de vidrio, con la resistencia final a tensión.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	508	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,78 mm
b (mm)	247	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	2,74 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrido. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU30-07	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	246	12	150	674,62	723,24	0,933	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%	
Resina de poliéster	30,00%	187,50	1,20	225,00	33,7%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	10,3%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,00%	150,00	0,55	82,50	12,4%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,00%	68,75	0,55	37,81	5,7%	
Hidrato de Aluminio	0,00%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	0,00%	0,00	2,32	0,00	0,0%	
Semihidrato	15,00%	93,75	2,70	253,13	37,9%	
Semihidrato + An	0,00%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	667,19	100%	

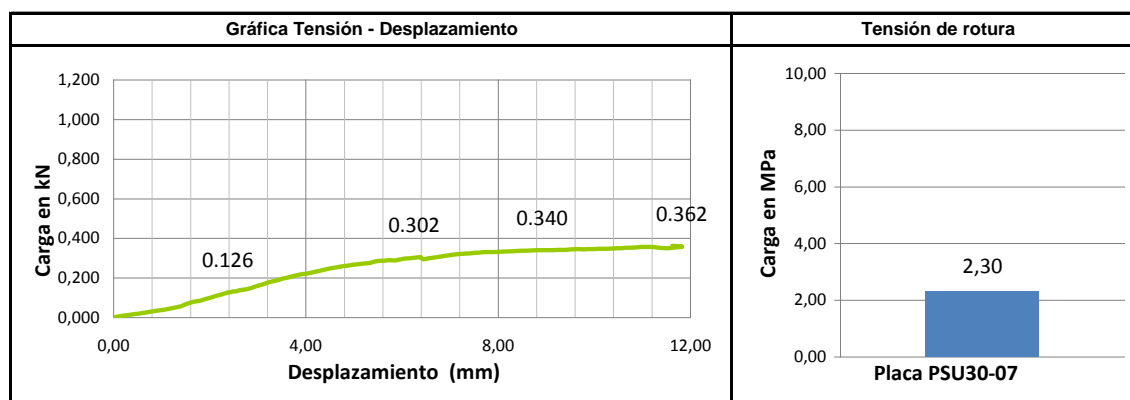
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Sulfato	Escayola	Yeso
Porcentajes x Volumen	0%	30%	55%	0%	0%	15%	0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	85,18	gr.	2	gr.	0	gr.	3 gr.

Observaciones del proceso de elaboración

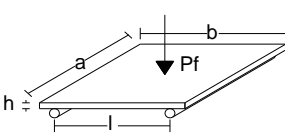
La mezcla un poco más espesa que la anterior con sulfato, sin embargo sigue teniendo una consistencia acuosa. De buena trabajabilidad para mezclar en vaso y dentro de molde.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P-L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	362	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,61 mm
b (mm)	246	h (mm)	12,0	σ flexión (N/mm ²)	2,30 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU30-08	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246	247	14	150	696,49	850,67	0,819	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%	
Resina de poliéster	30,00%	187,50	1,20	225,00	32,5%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	9,9%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,00%	150,00	0,55	82,50	11,9%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,00%	68,75	0,55	37,81	5,5%	
Hidrato de Aluminio	0,00%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	0,00%	0,00	2,32	0,00	0,0%	
Semihidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	15,00%	93,75	2,96	277,50	40,1%	
Totales	100%	625,00	—	691,56	100%	

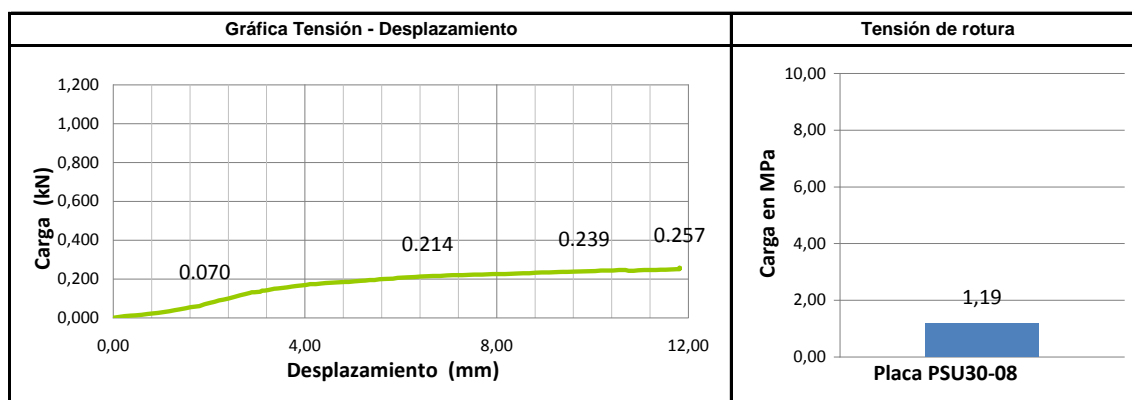
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato+anhid
Porcentajes x Volumen	0%	30%	55%	0%	0%	0%	15%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	78,33	gr.	2	gr.	0	gr.	3 gr.

Observaciones del proceso de elaboración

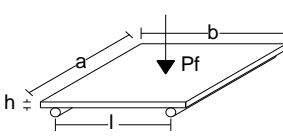
La mezcla con el yeso da mayor densidad y espesor a la mezcla, incrementa un poco su volumen. Tiene buena trabajabilidad para mezclar los materiales y al interior del molde.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	257	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,93 mm
b (mm)	247	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	1,19 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrido. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU30-09	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	247	13	150	644,18	786,70	0,819	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%	
Resina de poliéster	30%	187,50	1,20	225,00	35,4%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20%	125,00	0,55	68,75	10,8%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	13,0%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	5,9%	
Hidrato de Aluminio	7,5%	46,88	2,42	113,44	17,8%	
Dihidrato	7,5%	46,88	2,32	108,75	17,1%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	636,25	100%	

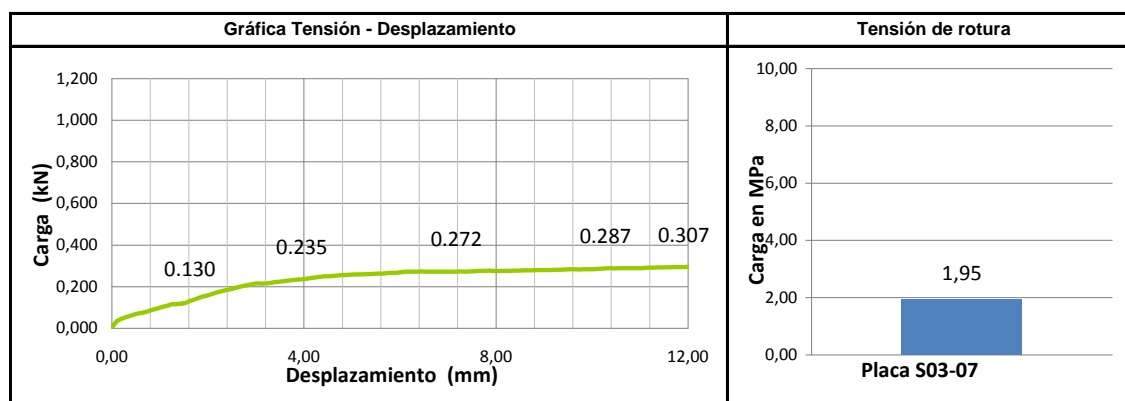
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihid+anhid
Porcentajes x Volumen	0%	30%	55%	7,5%	7,5%	0%	0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	88,07	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


La mezcla con buena trabajabilidad, no es líquida ni hubo salida del material en el interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	362	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,10 mm
b (mm)	247	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	1,95 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU30-10	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
248	248	13	150	663,73	799,55	0,830	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

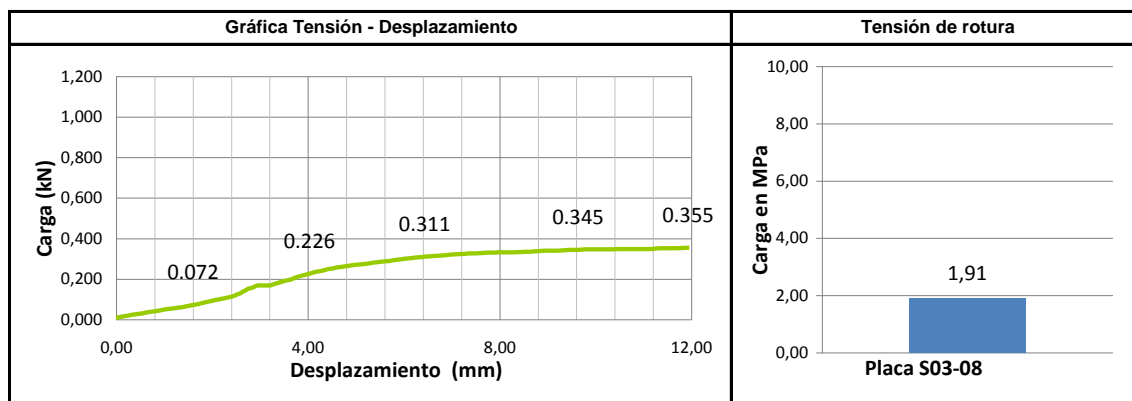
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm³	g/cm³	g	%		
Resina acrilica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%		
Resina de poliester	30,0%	187,50	1,20	225,00	34,4%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,5%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	12,6%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	5,8%		
Hidrato de Aluminio	7,5%	46,88	2,42	113,44	17,3%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	7,5%	46,88	2,70	126,56	19,4%		
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	654,06	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semih+anhid
Porcentajes x Volumen	0%	30%	55%	7,5%	0,0%	7,5%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	88,07	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

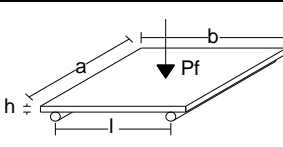
La mezcla con buena trabajabilidad al mezclarse y al interior del molde.

Pruebas físico mecánicas de tensión

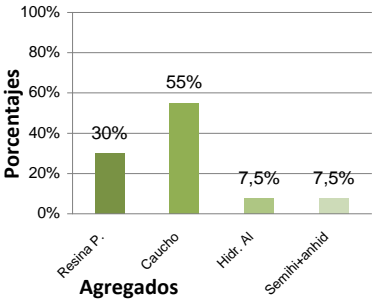
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	355	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,95 mm
b (mm)	248	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	1,91 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrido. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU30-11	Composite de caucho y arpiller de yute de 25x25x1 = 625 cm³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)	
246	246	14	150	671,05	847,22	0,792	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%	
Resina de poliéster	30,00%	187,50	1,20	225,00	33,8%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	10,3%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,00%	150,00	0,55	82,50	12,4%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,00%	68,75	0,55	37,81	5,7%	
Hidrato de Aluminio	7,50%	46,88	2,42	113,44	17,0%	
Dihidrato	0,00%	0,00	2,32	0,00	0,0%	
Semihidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	7,50%	46,88	2,96	138,75	20,8%	
Totales	100%	625,00	—	666,25	100%	

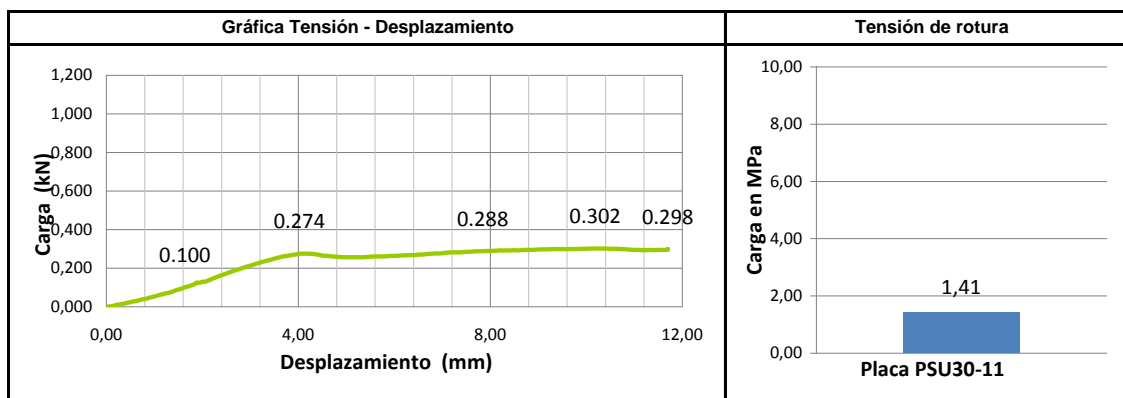
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid
Porcentajes x Volumen	0%	30%	55%	7,5%	0,0%	0,0%	7,5%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	89,96 g		2 g		0 g		3 g

Observaciones del proceso de elaboración

--

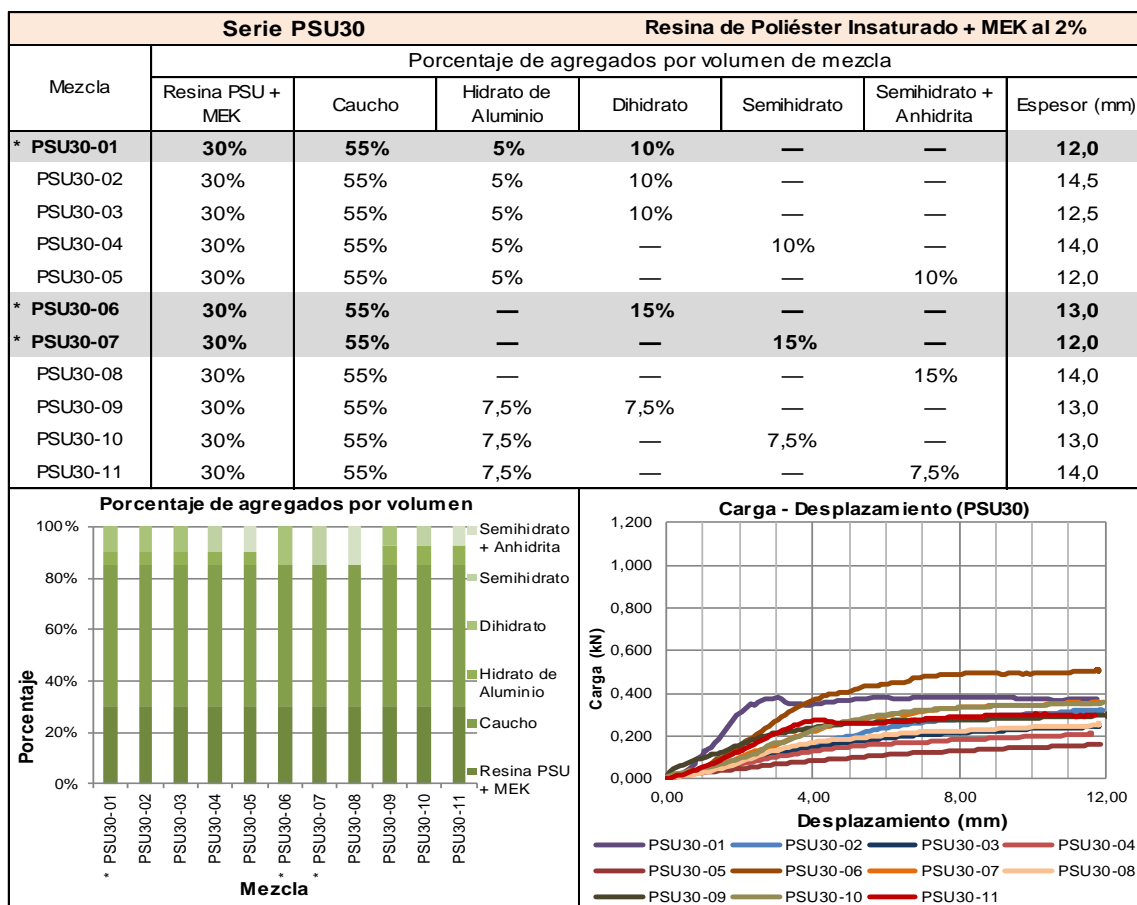
Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P.L)/(b.h ²)
Carga P (N)	302	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,95 mm
b (mm)	246	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	1,41 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

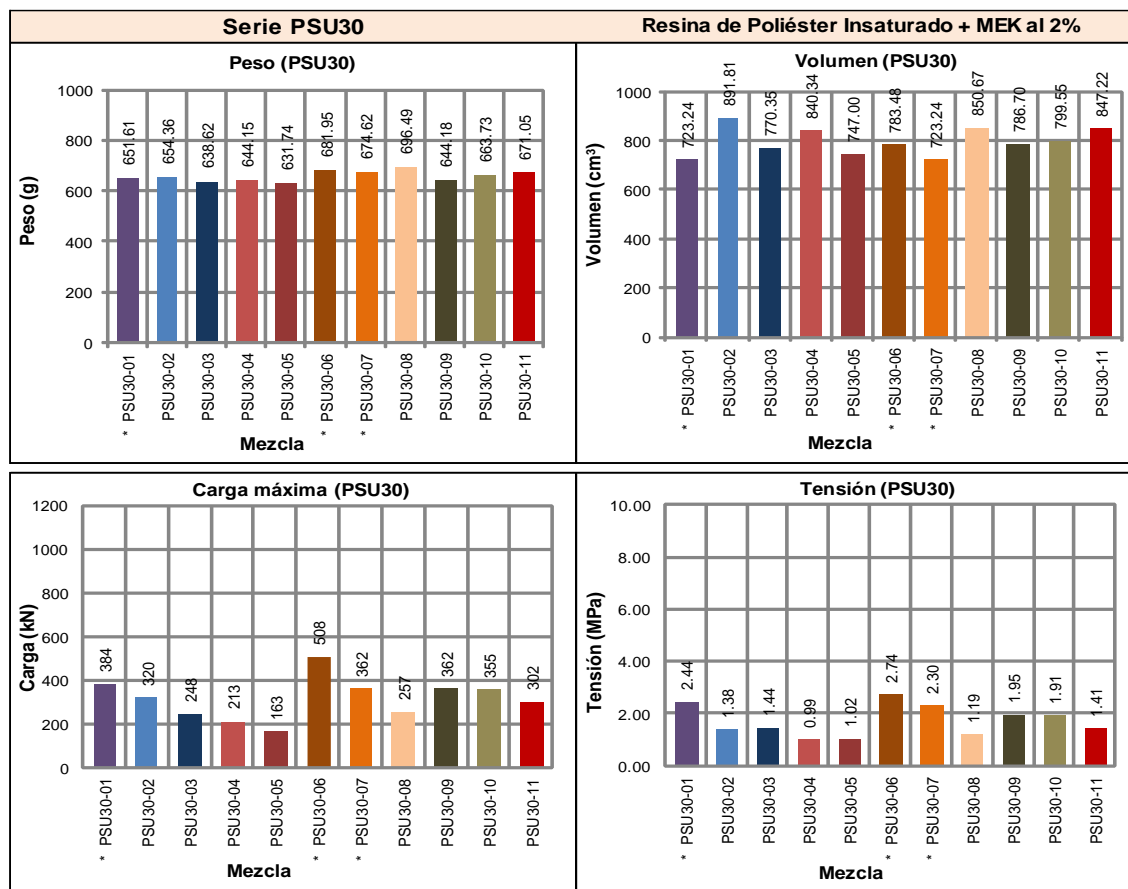
Ficha comparativa de las mezclas de la Serie PSU30



Serie PSU30 Resina de Poliéster Insaturado + MEK al 2%							
Mezcla	Comparativa de magnitudes y propiedades físicas.						
	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Retracción (g/cm ³)
* PSU30-01	384	2,44	702,07	651,61	723,24	0,901	-7,19%
PSU30-02	320	1,38	738,92	654,36	891,81	0,734	-11,44%
PSU30-03	248	1,44	718,21	638,62	770,35	0,829	-11,08%
PSU30-04	213	0,99	759,63	644,15	840,34	0,767	-15,20%
PSU30-05	163	1,02	769,53	631,74	747,00	0,846	-17,91%
* PSU30-06	508	2,74	722,50	681,95	783,48	0,870	-5,61%
* PSU30-07	362	2,30	757,37	674,62	723,24	0,933	-10,93%
PSU30-08	257	1,19	774,89	696,49	850,67	0,819	-10,12%
PSU30-09	362	1,95	729,32	644,18	786,70	0,819	-11,67%
PSU30-10	355	1,91	747,13	663,73	799,55	0,830	-11,16%
PSU30-11	302	1,41	761,21	671,05	847,22	0,792	-11,84%

* Las mezclas resaltadas en color gris han sido las que tuvieron mayores resistencias a tensión.

Ficha comparativa de las mezclas de la Serie PSU30



Conclusiones de la SERIE PSU30

En esta serie se observa que los agregados principales que brindan mayor resistencia a las mezclas son el Dihidrato y el Semihidrato.

Se observa que la proporción de agregados con mejores resistencias a flexión las tuvieron las que están compuestas por: 30% de resina, 55% de caucho y 15% de cargas.

Se observa una relación entre el aumento de la resistencia del material y una densidad que se aproxime a 1 gr/cm³.

De las mezclas con mejor resistencia, las placas PSU30-06 y PSU30-07 tuvieron una deformación plástica, mientras que la PSU30-01 tuvo una deformación dúctil con un reacomodo a los 3mm de deformación que se mantuvo con pequeños cambios, hasta su deformación final.

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhidrita
PSU30-01	12.0	384	2.44	30	55	5.0	10.0	--	--
PSU30-06	13.0	508	2.74	30	55	--	15.0	--	--
PSU30-07	12.0	362	2.30	30	55	--	--	15.0	--

La estabilidad dimensional de las placas (uniformidad y planimetría) ayuda a que estas tengan una mayor resistencia a tensión.

Se observa una relación entre el uso de Dihidrato como agregado principal y un aumento en la resistencia a tensión.

Las mezclas con mayor retracción fueron:

Mezcla	Retracción	Composición
PSU30-04	- 15.20%	55% caucho, 5% hidrato de aluminio, 10% Semihidrato
PSU30-05	- 17.91%	55% caucho, 5% hidrato de aluminio, 10% Semihidrato + anhidrita

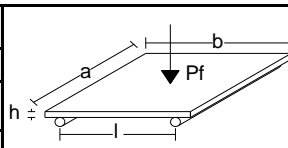
Las mezclas con mayor retracción fueron:

Mezcla	Retracción	Composición
PSU30-01	- 7.19%	55% caucho, 5% hidrato de aluminio, 10% Dihidrato
PSU30-06	- 5.61%	55% caucho, 15% Semihidrato

La mezcla **PSU30-06** que fue la que mejor resistencia a tensión tuvo, también fue la mezcla que menor retracción tuvo, solo un 5.61%.

9.2.3 SERIE PSU28

(Resina poliéster insaturado + metil-etil-ketón al 2% + 2 g. de fibras PPT + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa	PSU28-00	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	247	15	150	747,06	915,14	0,816	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

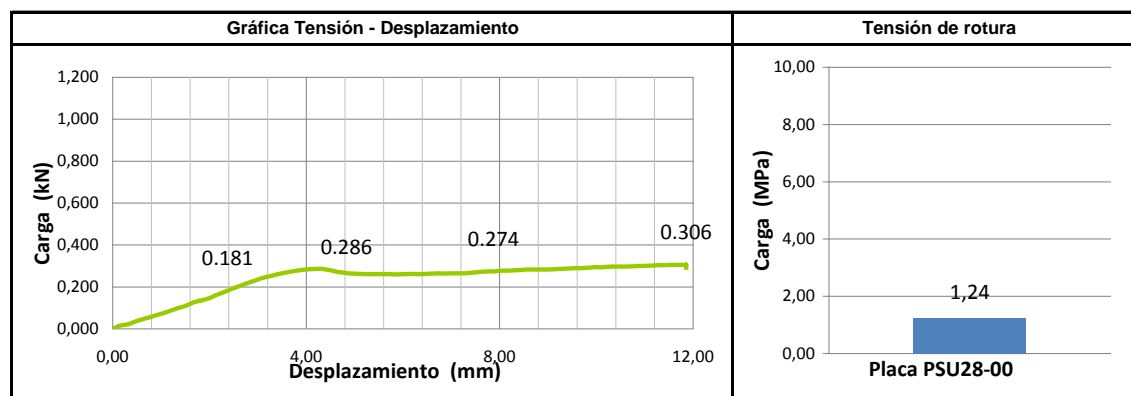
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado		
	%	cm³	g/cm³	g	%			
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%			
Resina de poliéster	29,00%	181,25	1,20	217,50	32,6%			
Caucho (5,0-7,5 mm.)	21,00%	131,25	0,55	72,19	10,8%			
Caucho (2,0-5,0 mm.)	22,00%	137,50	0,55	75,63	11,3%			
Caucho (0,5-1,5 mm.)	12,00%	75,00	0,55	41,25	6,2%			
Hidrato de Aluminio	4,00%	25,00	2,42	60,50	9,1%			
Dihidrato	4,00%	25,00	2,32	58,00	8,7%			
Semihidrato	4,00%	25,00	2,70	67,50	10,1%			
Semihidrato + An	4,00%	25,00	2,96	74,00	11,1%			
Totales	100%	625,00	—	666,56	100%			
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid	
Porcentajes x Volumen	0%	29%	55%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	88,4	g	1	g	0	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

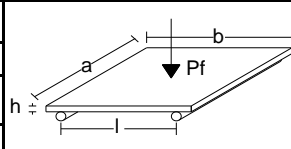
Mezcla fácil de trabajar en molde, se utilizó casi a misma proporción de agregados de la placa anterior, aumentando la cantidad de resina y dejando en un 4% en Volumen al resto de agregados. Fue posible añadir fibras de PPT. El proceso de curación fue de 10 min en horno a 150°C y luego curado a temperatura ambiente.

Pruebas físico mecánicas de tensión

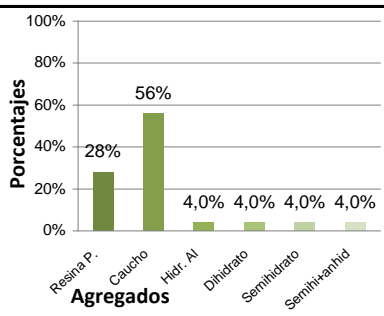
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	306	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,87 mm
b (mm)	247	h (mm)	15,0	σ flexión (N/mm ²)	1,24 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU28-01	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	247	15	150	768,08	907,73	0,846	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

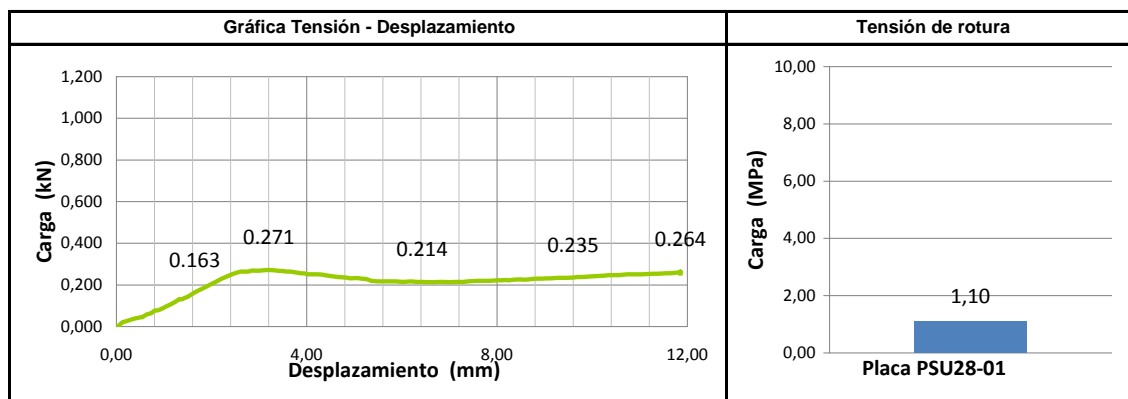
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%			
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%			
Resina de poliester	28,00%	175,00	1,20	210,00	31,7%			
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	10,4%			
Caucho (2,0-5,0 mm.)	25,00%	156,25	0,55	85,94	13,0%			
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,00%	68,75	0,55	37,81	5,7%			
Hidrato de Aluminio	4,00%	25,00	2,42	60,50	9,1%			
Dihidrato	4,00%	25,00	2,32	58,00	8,8%			
Semihidrato	4,00%	25,00	2,70	67,50	10,2%			
Semihidrato + An	4,00%	25,00	2,96	74,00	11,2%			
Totales	100%	625,00	—	662,50	100%			
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid	
Porcentajes x Volumen	0%	28%	56%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	88,4	g	0	g	0	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

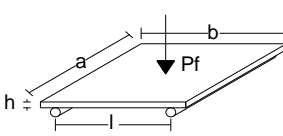
Mezcla fácil de trabajar, espesa, de buena apariencia. Se continua con el procedimiento de curación, dejando entre 10-15 minutos en interior de la estufa a una temperatura de 150-160°C. Esta mezcla no contiene fibras. El motivo por el cual no se añaden fibras a estas mezclas, es debido al espesor que se tiene por la unión de los agregados y el bajo porcentaje de resina, que dificulta el mezclado.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	271	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,86 mm
b (mm)	247	h (mm)	15,0	σ flexión (N/mm ²)	1,10 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU28-02	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
248	249	12,5	150	676,72	771,90	0,877	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrilica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%	
Resina de poliester	28,00%	175,00	1,20	210,00	30,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	9,8%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	22,00%	137,50	0,55	75,63	10,8%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	10,00%	62,50	0,55	34,38	4,9%	
Hidrato de Aluminio	5,00%	31,25	2,42	75,63	10,8%	
Dihidrato	7,50%	46,88	2,32	108,75	15,5%	
Semihidrato	7,50%	46,88	2,70	126,56	18,1%	
Semihidrato + An	0,00%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	699,69	100%	

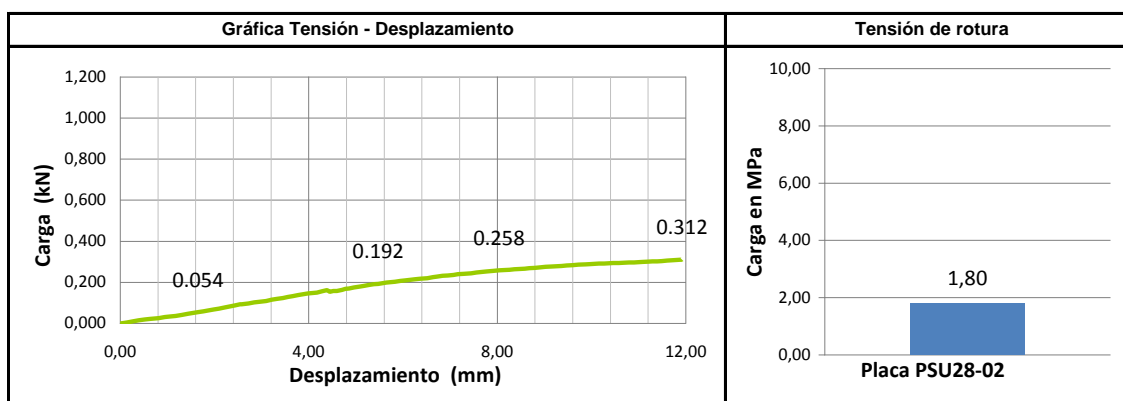
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semih+anhid
Porcentajes x Volumen	0%	28%	52%	5,0%	7,5%	7,5%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	83,05	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Al aumentar la cantidad de resina en la mezcla, esta tiende a ser más líquida, sin embargo el uso de yeso y sulfato como agregados en esta mezcla, hacen que tenga una buena consistencia y trabajabilidad.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	312	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,92 mm
b (mm)	249	h (mm)	12,5	σ flexión (N/mm ²)	1,80 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU28-03	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
243	250	12,5	150	669,08	759,38	0,881	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

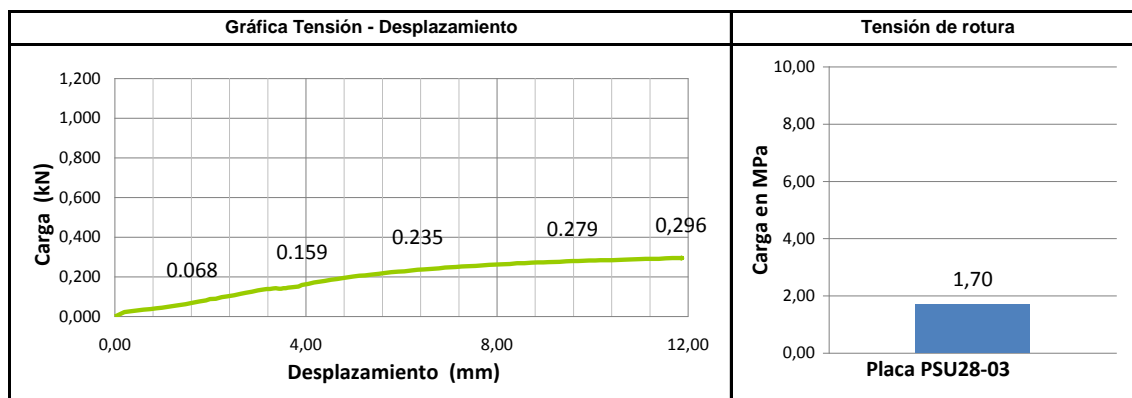
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm³	g/cm³	g	%		
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%		
Resina de poliester	28,00%	175,00	1,20	210,00	28,8%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	9,4%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	22,00%	137,50	0,55	75,63	10,4%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	10,00%	62,50	0,55	34,38	4,7%		
Hidrato de Aluminio	5,00%	31,25	2,42	75,63	10,4%		
Dihidrato	0,00%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	7,50%	46,88	2,70	126,56	17,3%		
Semihidrato + An	7,50%	46,88	2,96	138,75	19,0%		
Totales	100%	625,00	—	729,69	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato+anhid
Porcentajes x Volumen	0%	28%	52%	5,0%	0,0%	7,5%	7,5%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	62,54	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

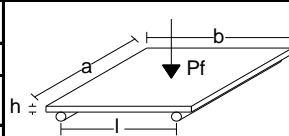
La resina se deja reposar por 30 minutos, se mezcla bien en molde, se dejó curar en interior de estufa a 60°C de temperatura y luego se dejó curar a temperatura ambiente. La placa llegó a una consistencia rígida más rápido que las demás placas, por lo que se propone continuar con este sistema de trabajo para las subsecuentes placas con PSR-U.

Pruebas físico mecánicas de tensión

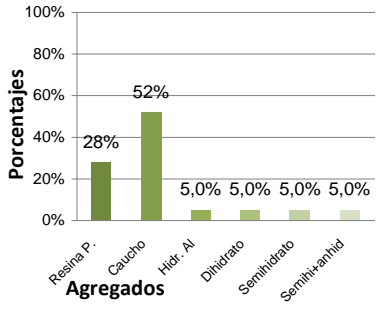
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	296	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,87 mm
b (mm)	250	h (mm)	12,5	σ flexión (N/mm ²)	1,70 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrido. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU28-04	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246	247	14	150	777.93	850.67	0.914	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%	
Resina de poliéster	28,00%	175,00	1,20	210,00	29,4%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	9,6%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	22,00%	137,50	0,55	75,63	10,6%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	10,00%	62,50	0,55	34,38	4,8%	
Hidrato de Aluminio	5,00%	31,25	2,42	75,63	10,6%	
Dihidrato	5,00%	31,25	2,32	72,50	10,2%	
Semihidrato	5,00%	31,25	2,70	84,38	11,8%	
Semihidrato + An	5,00%	31,25	2,96	92,50	13,0%	
Totales	100%	625,00	—	713,75	100%	

Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	0%	28%	52%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%

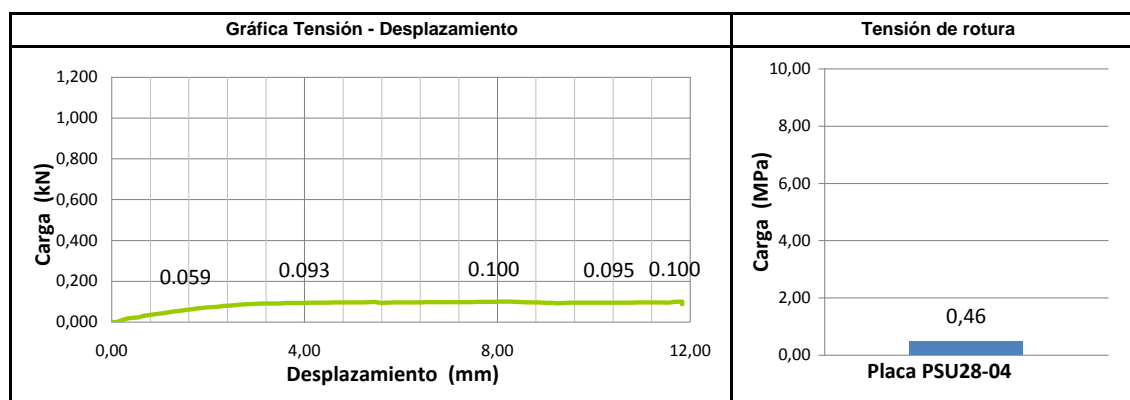
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	72,08	g	0	g	0	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

Esta mezcla se realiza sin dejar reposar la resina, los resultados son mejores en cuanto a la manejabilidad y aptitud de mezclarse con los demás agregados en vaso y en molde. Esta placa tampoco contiene fibras de PPT.

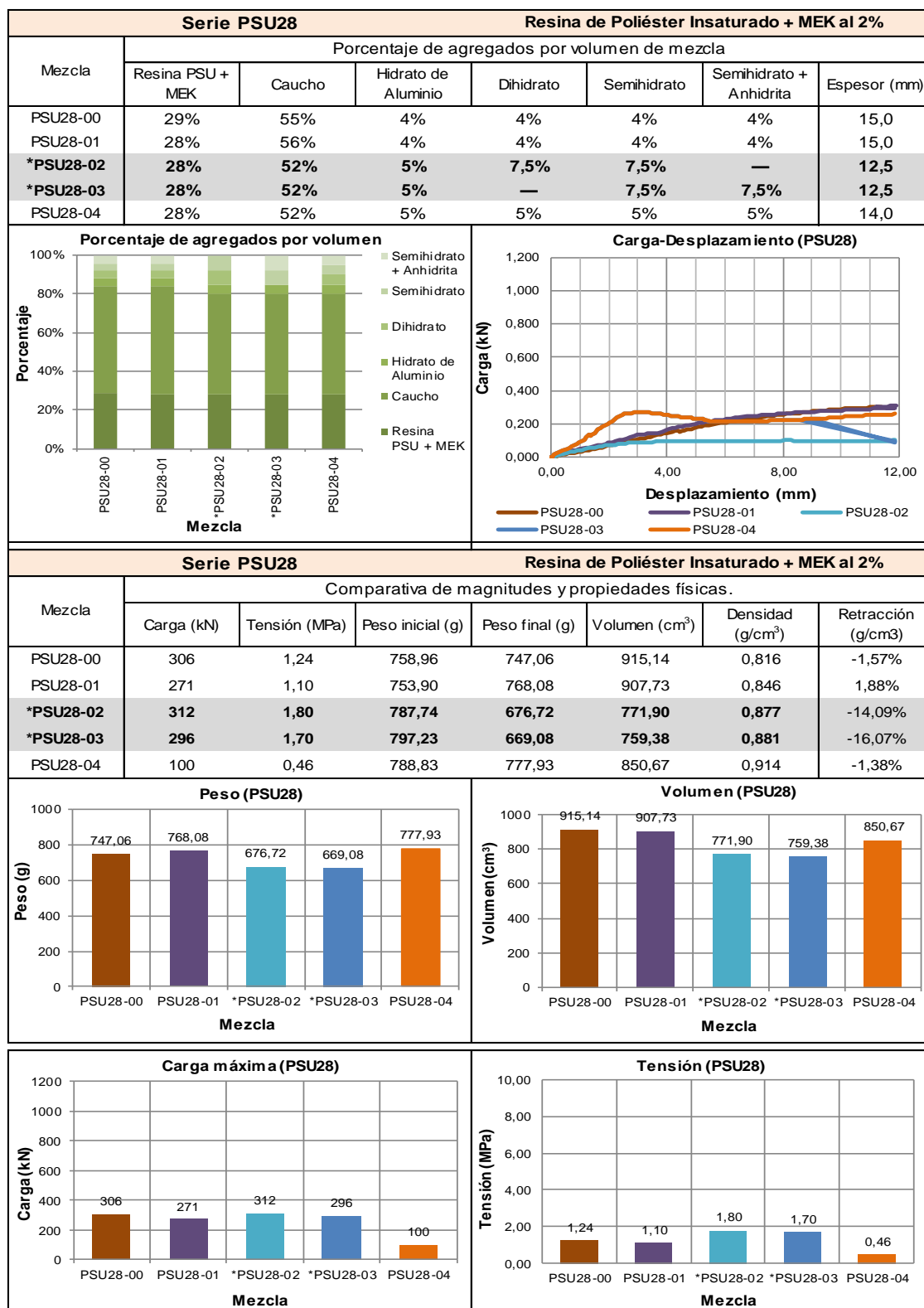
Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	100	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,67 mm
b (mm)	247	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	0,46 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrido. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Ficha comparativa de las mezclas de la Serie PSU28



* Las mezclas resaltadas en color gris han sido las que tuvieron mayores resistencias a tensión.

Conclusiones de la SERIE PSU28

Esta mezcla contiene menos resina que las anteriores, así como resistencia a tensión y tenacidad en las placas. Se observa que el Dihidrato es el agregado que aumenta la resistencia a flexión. El uso de más de dos agregados pétreos pulverizados en la mezcla, disminuye la resistencia de las placas y genera un aumento en el espesor medio del elemento.

La proporción de caucho en mezcla debe rondar entre los 55 y 58% del total, así como un mínimo de 14% de volumen de agregados pétreos para fabricar elementos de buena resistencia y fácil manejo. Para este tipo de resina, se observa que la cantidad de hidrato de aluminio en mezcla debe rondar entre el 4 y el 7%. Las mezclas PSU28-02 y 03, tienen propiedades similares en su deformación y resistencia a tensión.

Las mezclas que soportaron mayor carga durante el ensayo a tensión fueron:

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhidrita
PSU28-02	12.5	312	1.80	28	52	7.5	7.5	--	--
PSU28-03	12.5	296	1.70	28	52	--	7.5	7.5	--

Las mezclas con mayor retracción fueron:

Mezcla	Retracción	Composición
PSU28-02	- 14.09%	52% caucho, 5% hidrato de aluminio, 7.5% Dihidrato, 7.5% Semihidrato
PSU28-03	- 16.07%	52% caucho, 5% hidrato de aluminio, 7.5% Semihidrato, 7.5% Semihidrato + anhidrita

Las mezclas con menor retracción fueron:


Mezcla	Retracción	Composición
PSU28-01	1.88%	56% caucho, 4% hidrato de aluminio, 4% Dihidrato, 4% Semihidrato, 4% Semihidrato + anhidrita.
PSU28-04	- 1.38%	52% caucho, 5% hidrato de aluminio, 5% Dihidrato, 5% Semihidrato, 5% Semihidrato + anhidrita

Se observa que la mezcla de la resina de poliéster insaturado con muchos agregados pétreos pulverizados no ofrece buenas características físico-mecánicas finales.

Al obtener resistencias a tensión inferiores a **2 MPa**, se descartó la elaboración de más variables.

9.2.4 SERIE PSU27

(Resina poliéster insaturado + metil-etil-ketón al 2% + 2 g. de fibras PPT + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa	PSU27-01	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	248	13	150	702,8	796,33	0,883	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%	
Resina de poliéster	27,00%	168,75	1,20	202,50	28,6%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	9,7%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	22,00%	137,50	0,55	75,63	10,7%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	10,00%	62,50	0,55	34,38	4,9%	
Hidrato de Aluminio	6,00%	37,50	2,42	90,75	12,8%	
Dihidrato	7,50%	46,88	2,32	108,75	15,4%	
Semihidrato	7,50%	46,88	2,70	126,56	17,9%	
Semihidrato + An	0,00%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	707,31	100%	

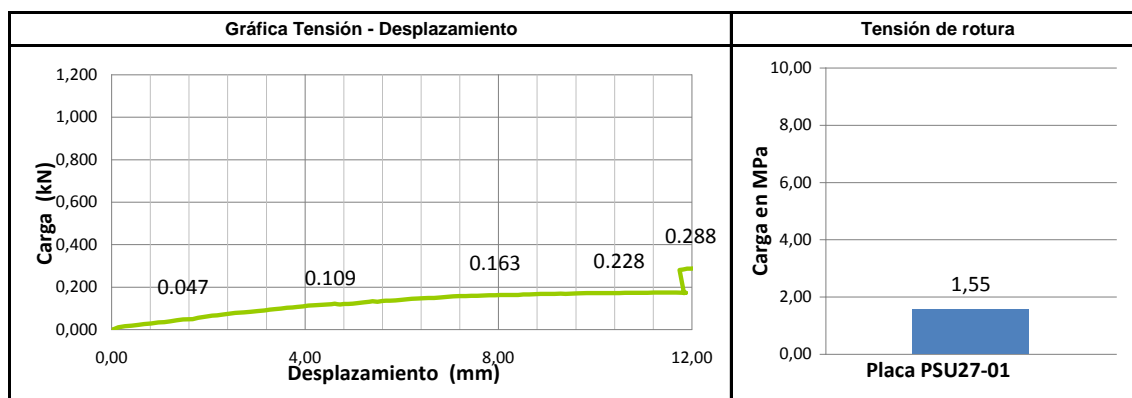
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semih+anhid
Porcentajes x Volumen	0%	27%	52%	6,0%	7,5%	7,5%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	80,49	gr.	2	gr.	0	gr.	3 gr.

Observaciones del proceso de elaboración

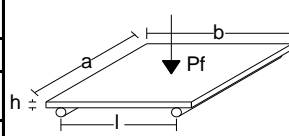
Mezcla de buena consistencia, la reducción de la resina impide tener facilidad al mezclar con agregados, pero el resultado final tiene buena trabajabilidad en molde.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	288	L (mm)	150	Deformación max (mm)	12,00 mm
b (mm)	248	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	1,55 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU27-02	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246	247	13,5	150	724,65	820,29	0,883	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrilica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%	
Resina de poliester	27,00%	168,75	1,20	202,50	27,5%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	9,3%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	22,00%	137,50	0,55	75,63	10,3%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	10,00%	62,50	0,55	34,38	4,7%	
Hidrato de Aluminio	6,00%	37,50	2,42	90,75	12,3%	
Dihidrato	0,00%	0,00	2,32	0,00	0,0%	
Semihidrato	7,50%	46,88	2,70	126,56	17,2%	
Semihidrato + An	7,50%	46,88	2,96	138,75	18,8%	
Totales	100%	625,00	—	737,31	100%	

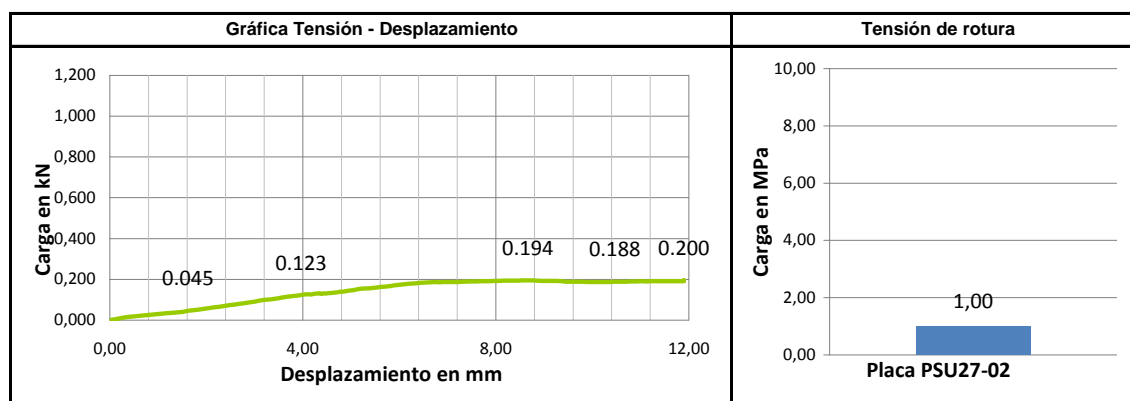
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid
Porcentajes x Volumen	0%	27%	52%	6,0%	0,0%	7,5%	7,5%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	81,53	gr.	2	gr.	0	gr.	3 gr.

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla de buena consistencia y trabajabilidad.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	200	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,90 mm
b (mm)	247	h (mm)	13,5	σ flexión (N/mm ²)	1,00 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	PSU27-03	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
243	245	14	150	727,44	833,49	0,873	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

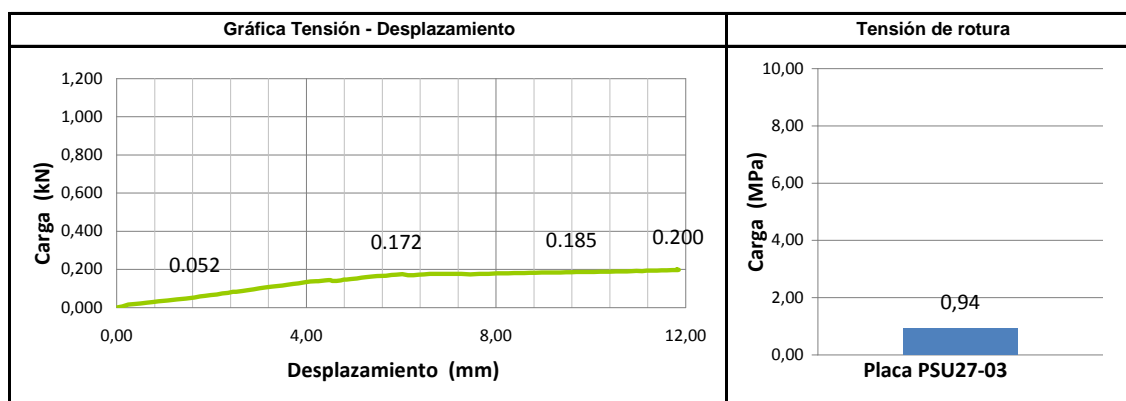
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%			
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%			
Resina de poliester	27,00%	168,75	1,20	202,50	28,1%			
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	9,6%			
Caucho (2,0-5,0 mm.)	22,00%	137,50	0,55	75,63	10,5%			
Caucho (0,5-1,5 mm.)	10,00%	62,50	0,55	34,38	4,8%			
Hidrato de Aluminio	6,00%	37,50	2,42	90,75	12,6%			
Dihidrato	7,50%	46,88	2,32	108,75	15,1%			
Semihidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%			
Semihidrato + An	7,50%	46,88	2,96	138,75	19,3%			
Totales	100%	625,00	—	719,50	100%			
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato+anhid	
Porcentajes x Volumen	0%	27%	52%	6,0%	7,5%	0,0%	7,5%	
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	70,71	g	0	g	0	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

La mezcla resulto difícil de preparar, la union con los agregados se dificulto debido a la reacción de la resina después de 20 minutos de pre-curación. Se introdujo en horno durante 10 minutos a una temperatura de 150°C. Sin fibras de PPT, solo de vidrio. EL MEJOR RESULTADO HASTA AHORA PARA EL MANEJO Y ELABORACION DE UNA PLACA DE PSR-U, DEBIDO A SU RAPIDEZ EN OBTENER UNA DUREZA ACEPTABLE. EL OLOR SE MINIMIZA EN ESTE PROCEDIMIENTO DE ELABORACION.

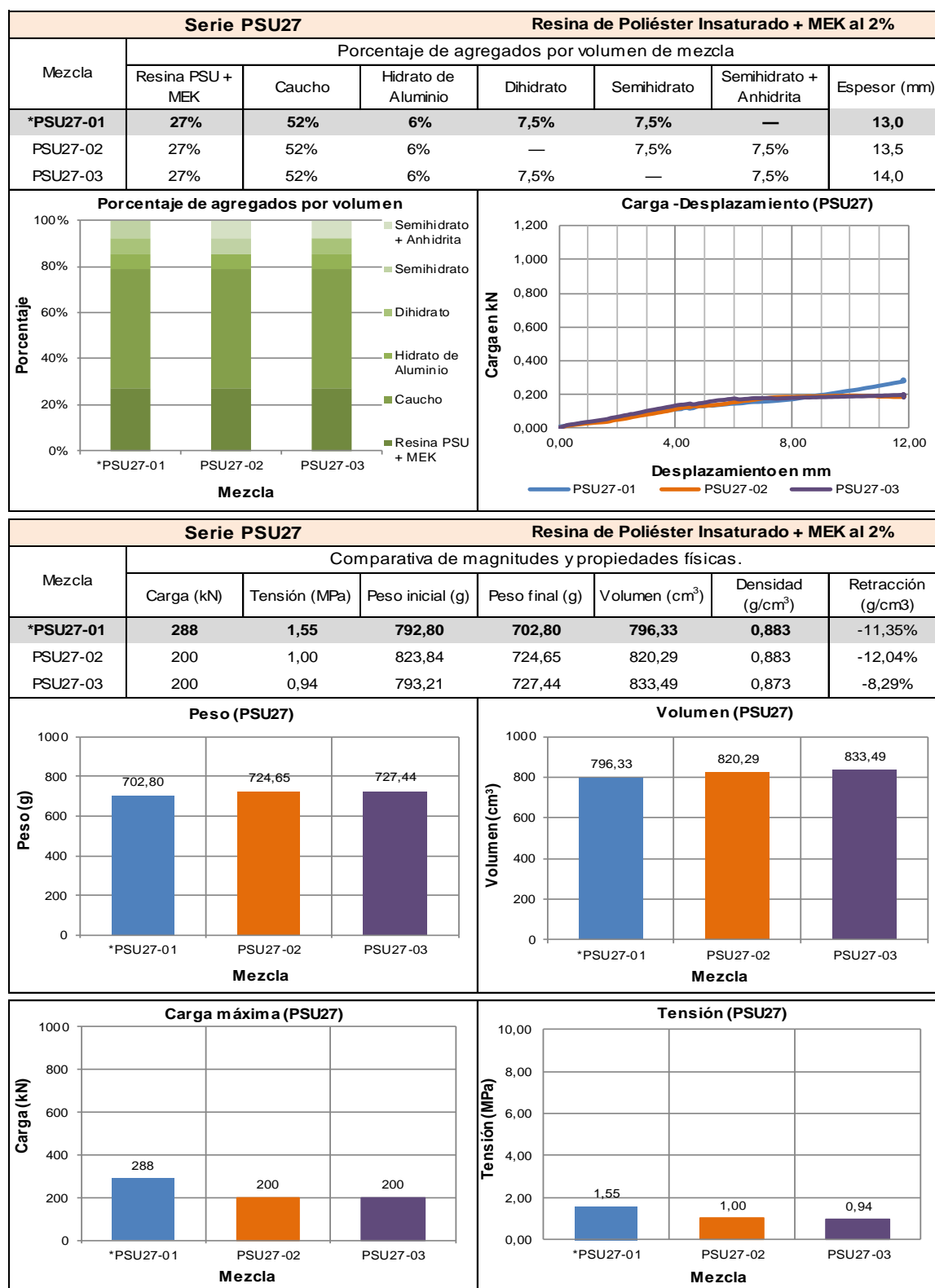
Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	200	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,85 mm
b (mm)	245	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	0,94 MPa



Las placas de la serie PSU de poliéster insaturado, fueron elaboradas con resinas de poliéster insaturado, caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Ficha comparativa de las mezclas de la Serie PSU27



* Las mezclas resaltadas en color gris han sido las que tuvieron mayores resistencias a tensión.

Conclusiones de la SERIE PSU27

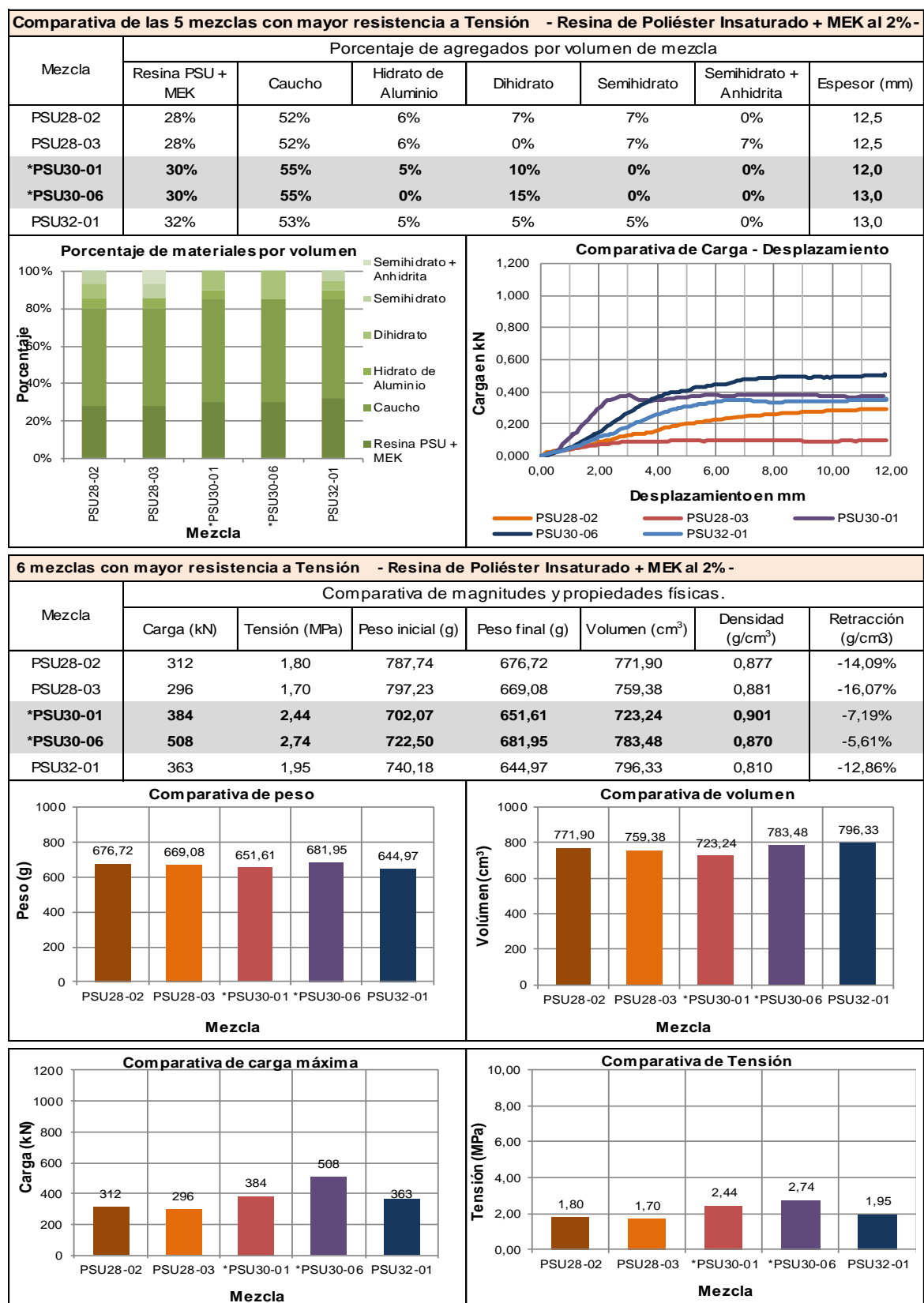
Con un **52% de volumen de caucho**, la mezcla tiene buena trabajabilidad y adherencia entre sus agregados. Se ha observado que los agregados pétreos pulverizados de anhidrita y Semihidrato, tienen un gran aporte en la mejora de la resistencia a tensión de las placas.

Ninguna mezcla de esta serie tuvo una resistencia a tensión mayor a **2 MPa**, por lo que se concluye que un 27% de volumen de resina por mezcla no tiene buenos resultados físicos a tensión y se descarta continuar con más pruebas empleando este porcentaje de resina.



Uno de los problemas observados en las mezclas con este tipo de resina es su intenso olor, por lo que el proceso de la mezcla **PSU27-03** tuvo una variación, sometiéndose a un curado de 2 horas a 160°C permitiendo que la mezcla tuviera una menor emisión de olor, sin embargo después de sacar la placa de la estufa, esta tardo dos horas más a temperatura ambiente para solidificarse.



La deformación de las mezclas en esta serie fue plástica, manteniendo un incremento de carga uniforme hasta su deformación máxima.


9.2.5 COMPARATIVA DE LAS MEJORES MEZCLAS (SERIE PSU)



COMPARATIVA DE LAS MEJORES MEZCLAS (SERIE PSU)

Comparativa de tenacidad		- Resina de Poliéster Insaturado + MEK al 2% -	
Tenacidad Mezcla -PSU28-02- 		Tenacidad Mezcla -PSU28-03- 	
I_1	I_5	I_1	I_5
$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$	$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$
1,60	7,00	1,80	6,33

Tenacidad Mezcla -PSU30-01- 		Tenacidad Mezcla -PSU30-06- 	
I_1	I_5	I_1	I_5
$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$	$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$
1,80	5,00	3,80	5,95

Tenacidad Mezcla -PSU32-01- 	
I_1	I_5
$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$
2,80	5,57

Conclusiones de la SERIE PSU

Las mezclas de la serie PSU, tienen una deformación plástica y una rotura por fatiga. Si bien es mayor el índice de **tenacidad I5** en las series **PSU28-02 y PSU28-03**, la tensión que soportaron fue menor comparada con el resto de las mezclas.

Las mezclas **PSU30-01 y PSU30-06** tienen una mayor ductilidad, soportan una mayor tensión y tienen un Índice de tenacidad más estable.

Las placas elaboradas con la resina de poliéster insaturado tuvieron serios inconvenientes en el proceso de fabricación, debido al intenso olor de estireno que desprendían.

Los resultados de los ensayos a flexión, comprobaron que el comportamiento del material está ligado a la composición de la resina, es decir, la placa de compo como un material termoplástico, con poca resistencia a tensión y que se ve afectado con el incremento de la temperatura, presentando un reblandecimiento de las placas al superar los 50°C durante un periodo de tiempo superior a los 30 minutos.

De los ensayos físicos a flexión se obtuvieron los siguientes resultados:

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhídrita
PSU30-01	12.0	384	2.44	30	55	5.0	10.0	--	--
PSU30-06	13.0	508	2.74	30	55	--	15.0	--	--

- Las mezclas PSU30-01 y PSU30-06 fueron las que soportaron una mayor carga y tuvieron la mejor resistencia a tensión.
- La mezcla PSU32-01 aún a pesar de tener un 2% más de peso por volumen de mezcla, soportó un 40.51% menos tensión que la mezcla de la serie PSU30-06.
- Se observa que el espesor y el peso de las mezclas de poliéster insaturado no es determinante en la resistencia a flexión, sin embargo las mezclas con menor retracción fueron las que tuvieron las mejores resistencias.
- Se observa que las mezclas con 30% de resina tuvieron mejores resistencias.
- Se concluye que la proporción ideal para realizar placas de poliéster insaturado es: 30% de resina, 55% de caucho y 15% de agregados pétreos pulverizados.
- Se concluye que el porcentaje de Dihidrato en la mezcla es determinante para el aumento de resistencia.

- Si bien es mayor el índice de tenacidad I_5 en las series PSU28-02 y PSU28-03, la tensión que soportaron fue menor comparada con el resto de las mezclas. Las mezclas PSU30-01 y PSU30-06 tienen una mayor ductilidad, soportan una mayor tensión y tienen un Índice de tenacidad más estable.

Se descartó elaborar más placas con la resina de poliéster insaturado por la baja resistencia a flexión, el comportamiento plástico de las placas, la dificultad en el proceso de elaboración y el intenso olor que desprendían las muestras aún después de los 28 días de conservación antes de los ensayos físicos.

9.3 COMPOSITES ELABORADOS CON RESINA ACRILICA (SERIE AC)

Las mezclas que componen la serie AC fueron elaboradas empleando resina acrílica elaborada a partir de un ácido carboxílico, de la marca BASF y con nombre comercial de Acrodur 950-L.

La serie AC cuenta con 4 variaciones en el porcentaje de resina:

- AC30
- AC28
- AC29
- AC27

La denominación se basa en el porcentaje por volumen de resina empleada para la elaboración del elemento, es decir que en la serie AC30 todas las mezclas contenían un 30% de volumen de resina del volumen total del elemento. El volumen de las placas se obtenía multiplicando los valores de longitud, anchura y espesor de la placa, obteniendo datos en cm^3 , estos datos posteriormente se multiplicaban por las densidades de cada material (g/cm^3) para obtener la cantidad en peso de cada uno de los agregados. Cada serie comparte únicamente un valor nominal de volumen de resina, teniendo distintas proporciones para el resto de agregados, fibras de refuerzo y tiempos de curación dentro de la estufa.

Al conocer todos los resultados de esta serie, se decidió experimentar con menores porcentajes de volumen de resina empleando cantidades de 24% y 22% para conocer la cantidad mínima de resina para obtener un material sólido y de buen aspecto físico.

La información del proceso de experimentación se muestra en tres partes:

- 1) Primero se muestran las fichas de las mezclas que contiene cada serie, en ellas se detalla la información sobre el proceso de elaboración, datos físicos sobre los valores aparentes de la placa (longitud, anchura, espesor, peso, densidad, etc.).
- 2) Después se describen los agregados empleados para cada mezcla, con sus porcentajes en volumen y peso, la densidad de cada agregado, el peso de la malla utilizada, y la cantidad y tipo de fibras que se ocuparon para cada caso.
- 3) Posteriormente encontramos otro apartado donde se mencionan los tipos de fibras de refuerzo utilizado, así como las anotaciones que se realizaron durante el proceso de elaboración de la placa.

- 4) En la parte baja de cada ficha, encontramos las dimensiones de la placa tomados antes del ensayo a tensión, así como las magnitudes obtenidas una vez finalizado en ensayo.


En cada ficha se observan tres gráficas con datos que nos dan la información necesaria para entender de manera rápida que tipo de mezcla se tiene y la relación de los agregados con la resistencia obtenida de cada mezcla, estas gráficas son:

- Porcentaje de agregados por volumen de mezcla
 - Gráfica de carga desplazamiento
 - Tensión final de la placa
- 5) Resumen de cada serie en donde se hace una comparativa de densidad, volumen, carga y tensión de las mejores mezclas de cada serie, mostrando gráficas para cada uno de los apartados mencionados anteriormente.
 - 6) Por último se tienen las conclusiones y observaciones de cada una de las series, que pueden estar acompañadas con gráficas y tablas, dependiendo de la cantidad de mezclas de cada serie y de los datos obtenidos.

En la parte final de cada subcapítulo, se tiene un resumen y comparativa de las mezclas que tuvieron mayores resistencias en el ensayo a tensión, entre todas las series. Conclusiones finales de la serie y una comparativa de tenacidad entre las mejores mezclas.

9.3.1 SERIE AC30

(Resina acrílica en base agua + 2 g. de fibras PPT + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa	AC30-01	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
248	249	15	162	735,68	926,28	0,794	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	36,1%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	23,0%	143,75	0,55	79,06	13,8%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	21,0%	131,25	0,55	72,19	12,6%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	9,0%	
Hidrato de Aluminio	4,0%	25,00	2,42	60,50	10,6%	
Dihidrato	7,0%	43,75	2,32	101,50	17,8%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	571,06	100%	

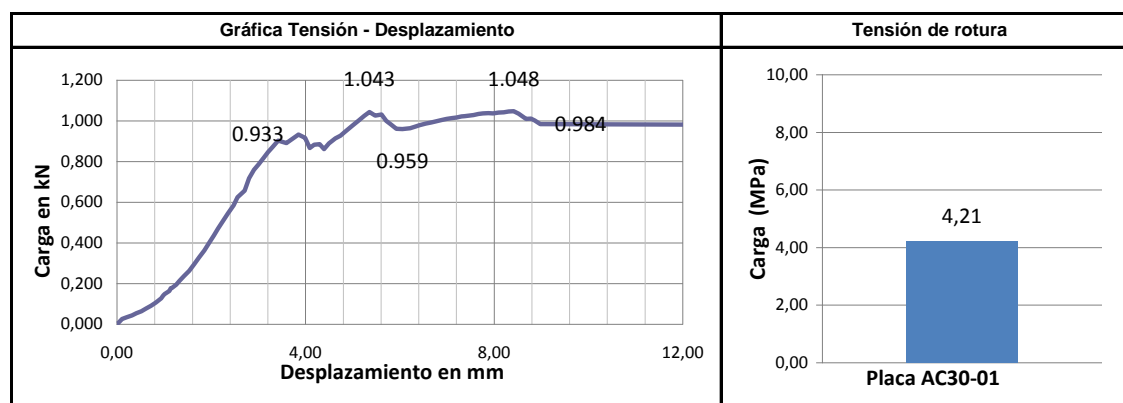
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	59%	4,0%	7%	0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	67,21	g	0	g	2	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Excelente trabajabilidad y buena adherencia al molde. Buena capacidad de adhesion de caucho que se incremento en todas las granulometrias. Exclenente apariencia final.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	1048	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,94 mm
b (mm)	249	h (mm)	15,0	σ flexión (N/mm ²)	4,21 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-02	Composite de caucho y arpiller de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	245	10	150	598,56	600,25	0,997	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina Acrilica	30,0%	187,50	1,10	206,25	33,5%	
Resina de Poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,4%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	10,0%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,3%	
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	12,3%	
Dihidrita	10,0%	62,50	2,32	145,00	23,5%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	615,94	100%	

Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrita	Semihidrato	Semihidrato + anhidrita
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	5%	10%	0%	0%

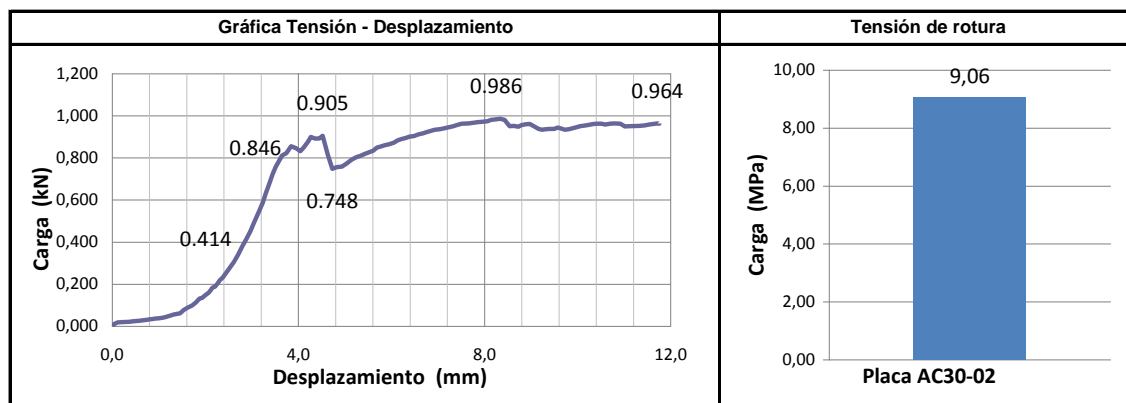
Fibras	Arpillera de yute	PP Termofusionable	PP Multifilamento	Fibras de vidrio 20 mm.
	67,24 g	0 g	2 g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


La mezcla de hidrato de aluminio y sulfato de calcio es muy densa, difícil de mover, pero consistente. La adición de fibras de PPT si bien la hace más homogénea, también impide un fácil manejo dentro del molde. La repartición al interior del molde es relativamente fácil. El tiempo final a solidificación es de 2 horas, presenta buena apariencia y solidez.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	986	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,76 mm
b (mm)	245	h (mm)	10,0	σ flexión (N/mm ²)	9,06 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrías (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-03	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
244	245	12,5	150	582,06	747,25	0,779	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	33,5%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	11,2%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	13,4%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	6,1%	
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	12,3%	
Dihidrato	10,0%	62,50	2,32	145,00	23,5%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	615,94	100%	

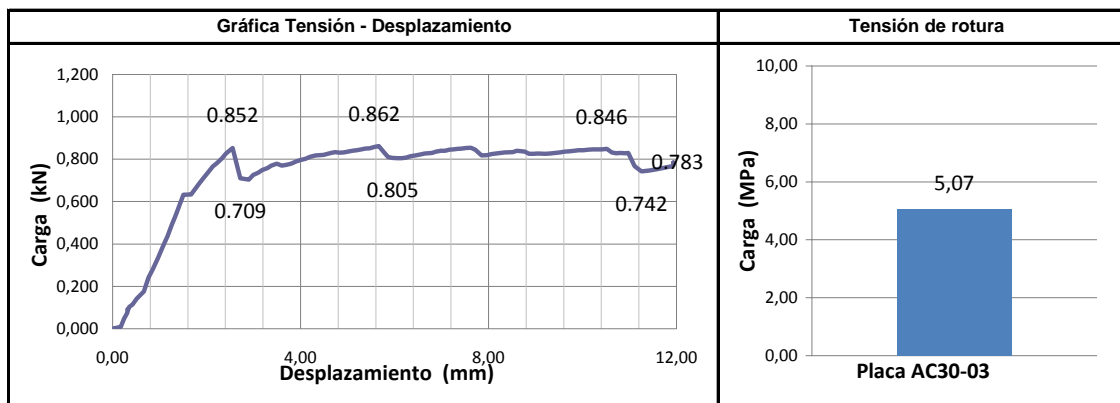
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	5,0%	10,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	68,8	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla densa, buena trabajabilidad, un poco acuosa al interior del molde. Se observa salida del material al interior de la estufa. SE OBSERVA QUE AL TENER UNA PARIDAD ENTRE EL HIDRATO DE ALUMINIO Y SULFATO, LA MEZCLA TIENDE A SER MAS ESPESA Y MEJORAR SU TRABAJABILIDAD.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h²)
Carga P (N)	862	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,89 mm
b (mm)	245	h (mm)	12,5	σ flexión (N/mm ²)	5,07 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-04	Composite de caucho y arpiller de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246	247	13	150	608,46	789,91	0,770	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	33,5%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	11,2%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	13,4%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	6,1%	
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	12,3%	
Dihidrato	10,0%	62,50	2,32	145,00	23,5%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	615,94	100%	

Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + Anhidrita
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	5,0%	10,0%	0,0%	0,0%

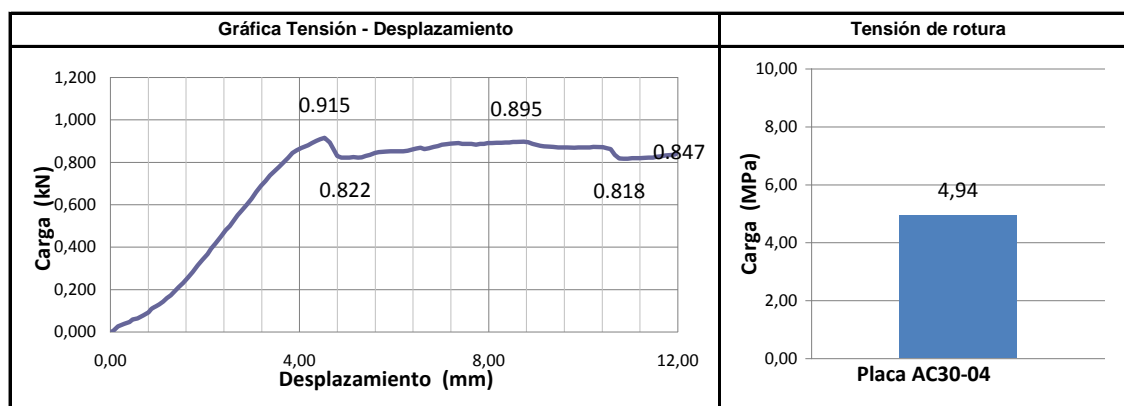
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	87,57	g	0	g	2	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

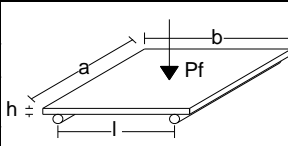
Las fibras de PPM hacen más fácil la trabajabilidad de la muestra, es uniforme en vaso y en molde. No hay emisiones dentro de estufa. Se cambia el tipo de fibra de polipropileno termo fusionable por un polipropileno multifilamento de la marca Sika, para comprobar su comportamiento

Pruebas físico mecánicas de tensión

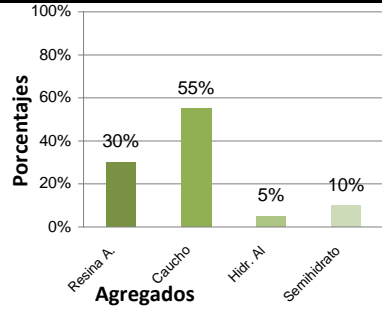
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	916	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,98 mm
b (mm)	247	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	4,94 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-05	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246	247	12	162	744,10	729,14	1,021	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

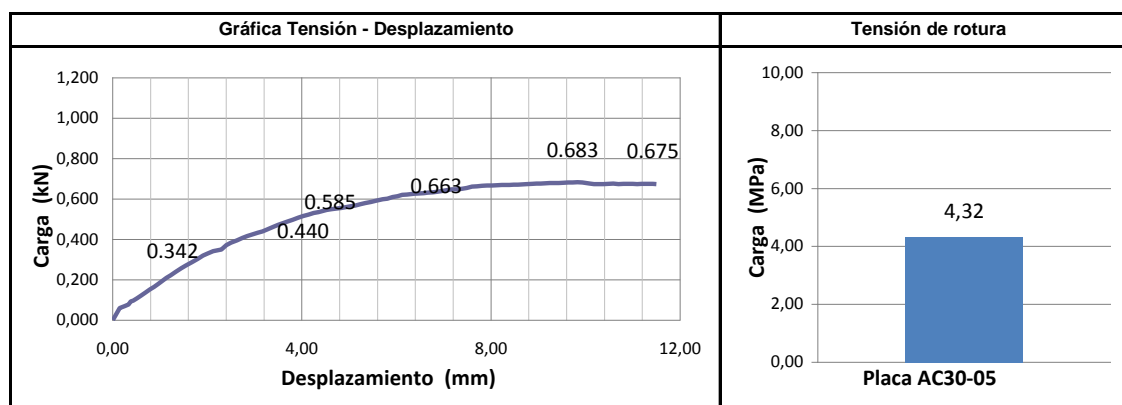
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		<div>Proporciones por Volumen de agregado</div> 	
	%	cm³	g/cm³	g	%		
Resina Acrilica	30,0%	187,50	1,10	206,25	32,2%		
Resina de Poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,7%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	12,9%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	5,9%		
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	11,8%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	10,0%	62,50	2,70	168,75	26,4%		
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	639,69	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	5%	0%	10%	0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP Multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	85,66	g	0	g	2	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

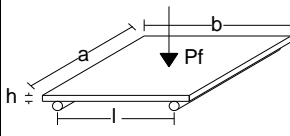
Mezcla espesa, difícil de mezclar y distribuir en molde, se emplean fibras de PPM.

Pruebas físico mecánicas de tensión

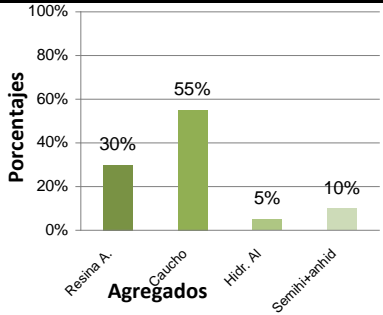
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	683	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,62 mm
b (mm)	247	h (mm)	12,0	σ flexión (N/mm ²)	4,32 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-06	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
241	245	12,5	162	614,18	738,06	0,832	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

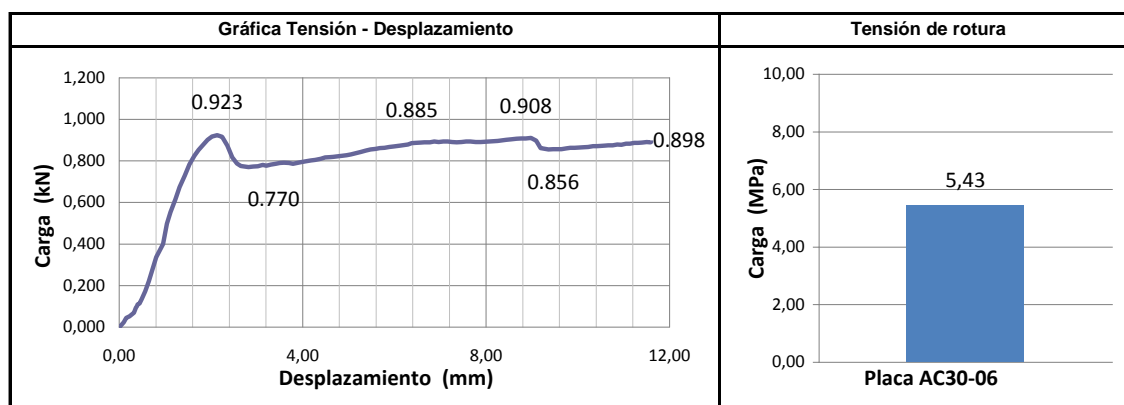
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm³	g/cm³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	31,4%		
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,5%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	12,6%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	5,8%		
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	11,5%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An	10,0%	62,50	2,96	185,00	28,2%		
Totales	100%	625,00	—	655,94	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	5%	0%	0%	10%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP Multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	62,41	g	0	g	2	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

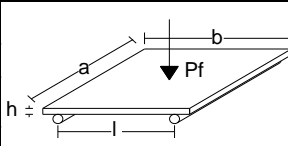
El yeso crea burbujas en mezcla tendiendo a hincharse, la adición de fibras estabiliza la mezcla. Al interior de la estufa se crean burbujas que salen del composite. La mezcla es muy pegajosa y difícil de trabajar.

Pruebas físico mecánicas de tensión

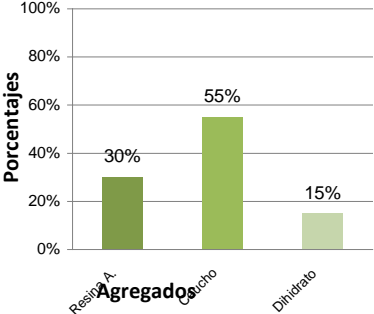
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	924	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,61 mm
b (mm)	245	h (mm)	12,5	σ flexión (N/mm ²)	5,43 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-07	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	250	11	162	594,58	679,25	0,875	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

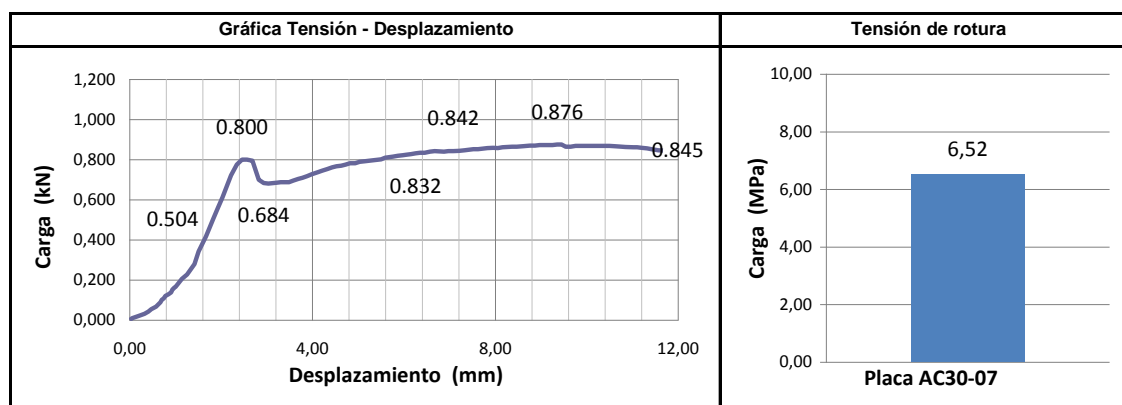
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	33,7%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,4%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	10,1%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,3%		
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%		
Dihidrato	15,0%	93,75	2,32	217,50	35,5%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	612,81	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	0%	15%	0%	0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP Multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	73,34	g	0	g	2	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


La mezcla es menos densa que la anterior, la adición de las fibras de PPT la hace un poco más pesada pero se adhiere bien al caucho una vez mezclado. Al interior del molde es fácil de esparcir. La consistencia final es un poco lechosa. La mezcla tiende a salir en forma de espuma al interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P.L)/(b.h ²)
Carga P (N)	876	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,79 mm
b (mm)	250	h (mm)	11,0	σ flexión (N/mm ²)	6,52 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrías (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-08	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
243	248	12	150	593,05	723,17	0,820	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

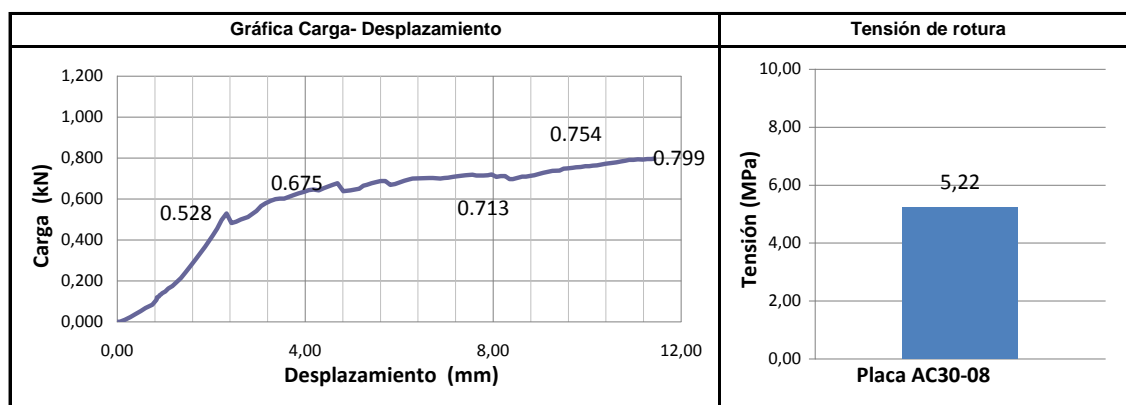
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	33,7%		
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,4%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	10,1%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,3%		
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%		
Dihidrato	15,0%	93,75	2,32	217,50	35,5%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	612,81	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	0,0%	15,0%	0%	0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	75,36	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Uniformidad en la mezcla, fácil manejo al interior del molde. La resina al superar los 160°C tiende a ebullición y sale por los orificios de la arpillera. Se adhiere a la placa de acero que la presiona. La apariencia después de 120 min a 170°C es rígida y uniforme.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	829	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,66 mm
b (mm)	248	h (mm)	12,0	σ flexión (N/mm ²)	5,22 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-09	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	247	13	150	623,17	793,12	0,786	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

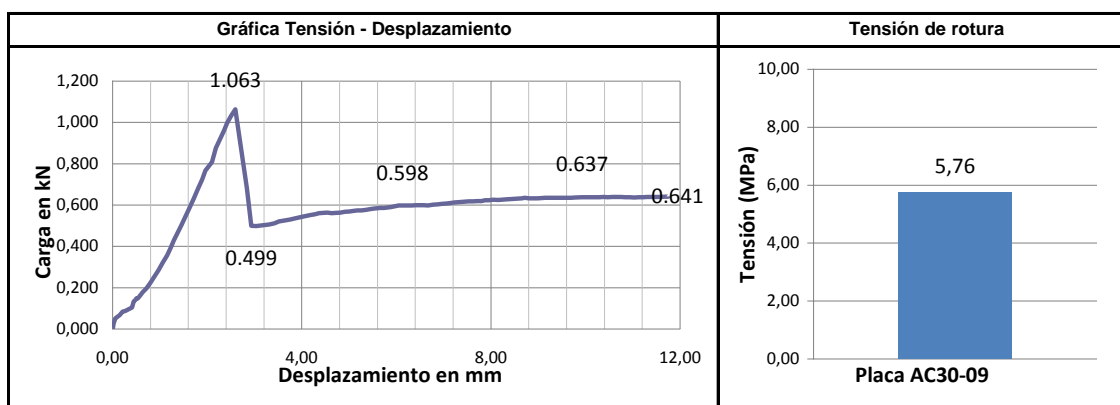
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm³	g/cm³	g	%		
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	30,5%	<div></div>	
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,2%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,8%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,0%		
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	12,0%		
Dihidrato	12,0%	75,00	2,32	174,00	27,6%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	631,19	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	28%	0%	55%	5,0%	12,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	70-25	g	0	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Se repite la mezcla anterior, sin fibras de PPT y sometiendo a la mezcla a presión ya que esta tendió a incharse durante el curado en horno. La mejora visual y física de la placa es evidente.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	1068	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,75 mm
b (mm)	247	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	5,76 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-10	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
244	246	15	162	743,31	900,36	0,826	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	31,8%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,6%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	12,7%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	5,8%	
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%	
Semihidrato	15,0%	93,75	2,70	253,13	39,0%	
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	

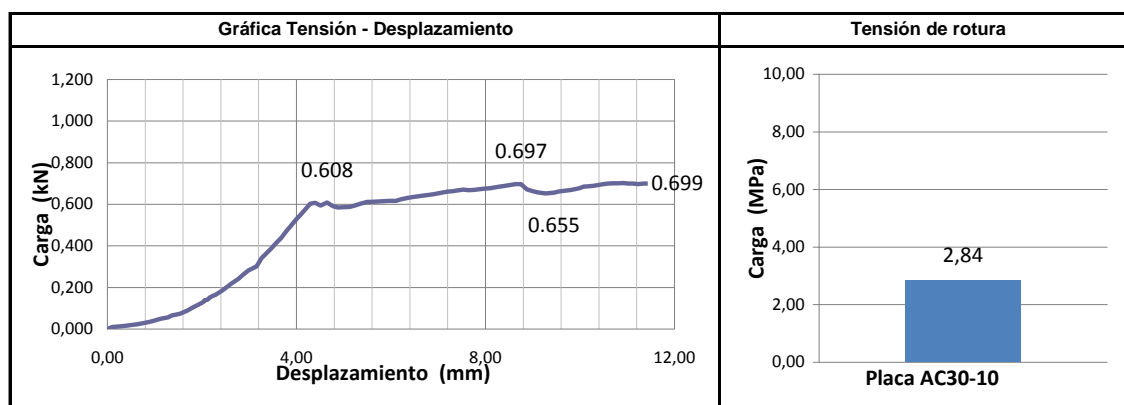
Totales	100%	625,00	—	648,44	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	0%	0%	15%	0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	76,12	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla uniforme, fácil de trabajar con las fibras, tiene poca presencia de burbujas y no tiende a hincharse. De fácil manejo al interior del molde

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	699	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,59 mm
b (mm)	246	h (mm)	15,0	σ flexión (N/mm ²)	2,84 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-11	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	249	11	150	622,14	676,53	0,920	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

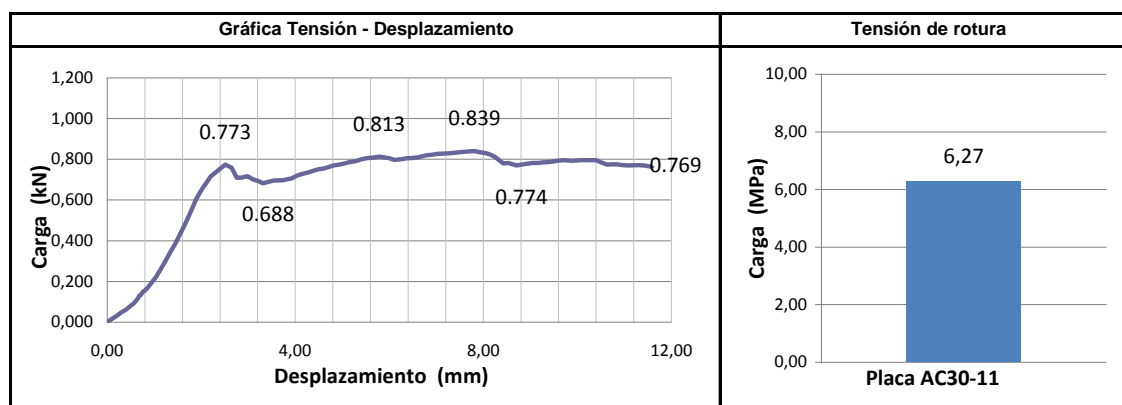
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	30,7%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,2%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	12,3%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	5,6%		
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An	15,0%	93,75	2,96	277,50	41,2%		
Totales	100%	625,00	—	672,81	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhyd
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	0%	0%	0%	15%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	113,76	g	0	g	2	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


La mezcla se hincha hasta casi doblar su tamaño dentro del vaso presipitador, las fibras la estabilizan un poco, se tiene dificultad de mezcla en molde. Se sometió a presión dentro del molde constante para reducir su Volumen. Al interior de la estufa se vuelve a aplicar presión, reduciendo su Volumen considerablemente hasta los 11 mm en promedio.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	840	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,59 mm
b (mm)	249	h (mm)	11,0	σ flexión (N/mm ²)	6,27 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-12	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
238	245	17	162	608,44	991,27	0,614	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

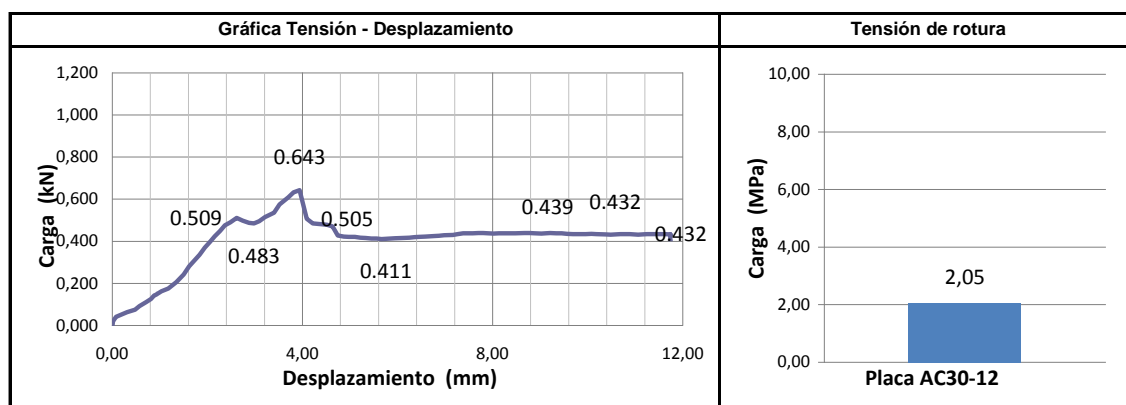
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado										
	%	cm³	g/cm³	g	%											
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	33,4%	<div><p>Gráfico de barras que muestra las proporciones por volumen de los agregados: Resina A. (30%), Caucho (55%), Hidr. Al (7,5%), Dihidrato (7,5%).</p><p>Agregados</p><table border="1"><thead><tr><th>Agregado</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Resina A.</td><td>30%</td></tr><tr><td>Caucho</td><td>55%</td></tr><tr><td>Hidr. Al</td><td>7,5%</td></tr><tr><td>Dihidrato</td><td>7,5%</td></tr></tbody></table></div>	Agregado	Porcentaje	Resina A.	30%	Caucho	55%	Hidr. Al	7,5%	Dihidrato	7,5%
Agregado	Porcentaje															
Resina A.	30%															
Caucho	55%															
Hidr. Al	7,5%															
Dihidrato	7,5%															
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%											
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,4%											
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	10,0%											
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,2%											
Hidrato de Aluminio	7,5%	46,88	2,42	113,44	18,4%											
Dihidrato	7,5%	46,88	2,32	108,75	17,6%											
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%											
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%											
Totales	100%	625,00	—	617,50	100%											
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid									
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	7,5%	7,5%	0%	0%									
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.									
	82,47	g	0	g	2	g	3 g									

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla pastosa, uniforme con las fibras, de fácil aplicación en molde. Cocción a 140°C durante 150 min. Sin peso sobre la placa al interior de la cocina. Esta mezcla no fue sometida a una gran presión en molde y cocina.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	645	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,74 mm
b (mm)	245	h (mm)	17,0	σ flexión (N/mm ²)	2,05 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-13	Composite de caucho y arpiller de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	246	9,3	162	599,06	560,51	1,069	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

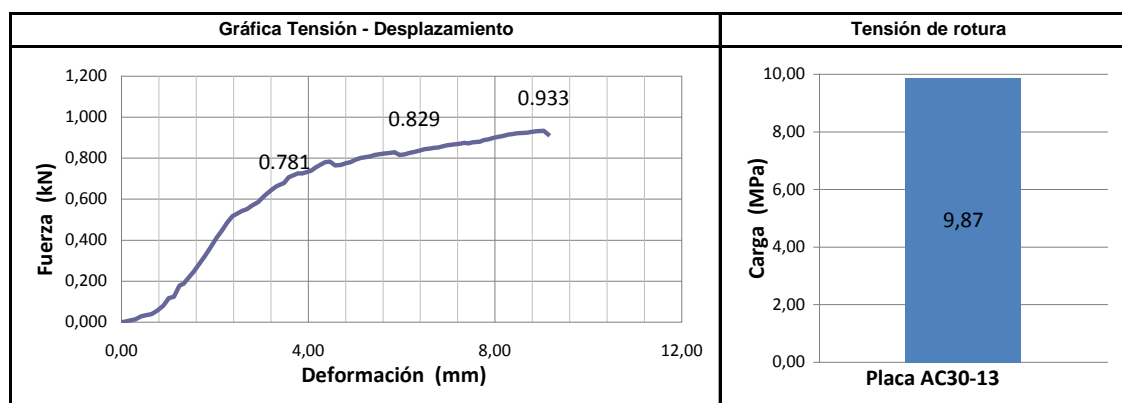
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	33,4%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,4%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	10,0%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,2%		
Hidrato de Aluminio	7,5%	46,88	2,42	113,44	18,4%		
Dihidrato	7,5%	46,88	2,32	108,75	17,6%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	617,50	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	7,5%	7,5%	0,0%	0%
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	69,47	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Esta segunda placa tiene una mejor apariencia y uniformidad que la anterior. La placa es sometida a mayor presión que la anterior para tratar de homogenizar el interior del composite. El resultado final tiene buena apariencia.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	933	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,93 mm
b (mm)	246	h (mm)	9,3	σ flexión (N/mm ²)	9,87 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-14	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245,5	246	13	150	594,88	785,11	0,758	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

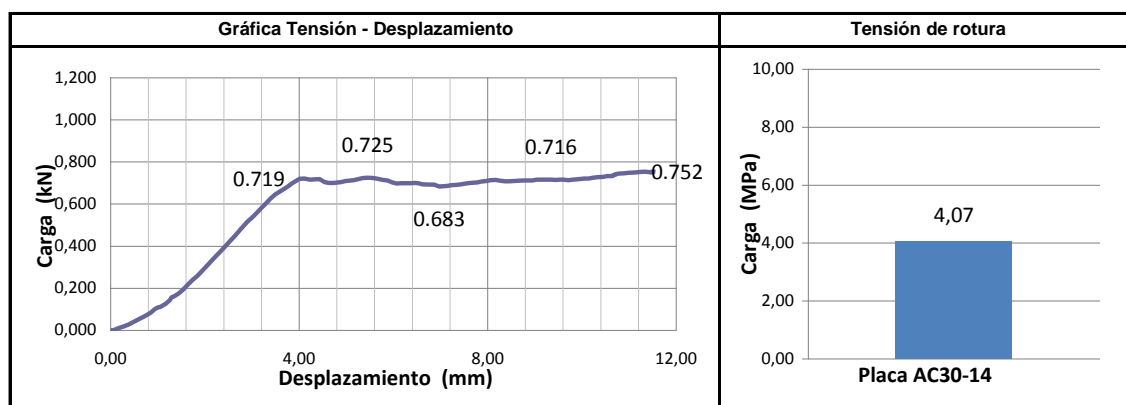
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	33,4%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	11,1%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	13,4%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	6,1%		
Hidrato de Aluminio	7,5%	46,88	2,42	113,44	18,4%		
Dihidrato	7,5%	46,88	2,32	108,75	17,6%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	617,50	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	7,5%	7,5%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	66,58	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

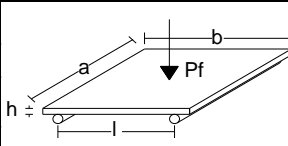
Mezcla espesa de difícil manejo dentro de vaso aunque se esparce bien dentro del molde. No presenta emisión de material dentro de estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

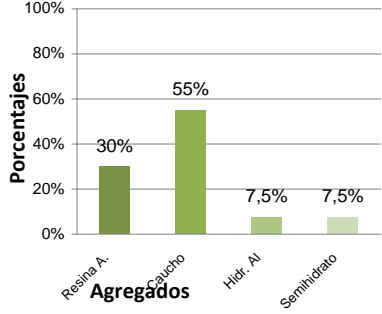
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	752	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,56 mm
b (mm)	246	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	4,07 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-15	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	247	13,5	150	737,23	823,62	0,895	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

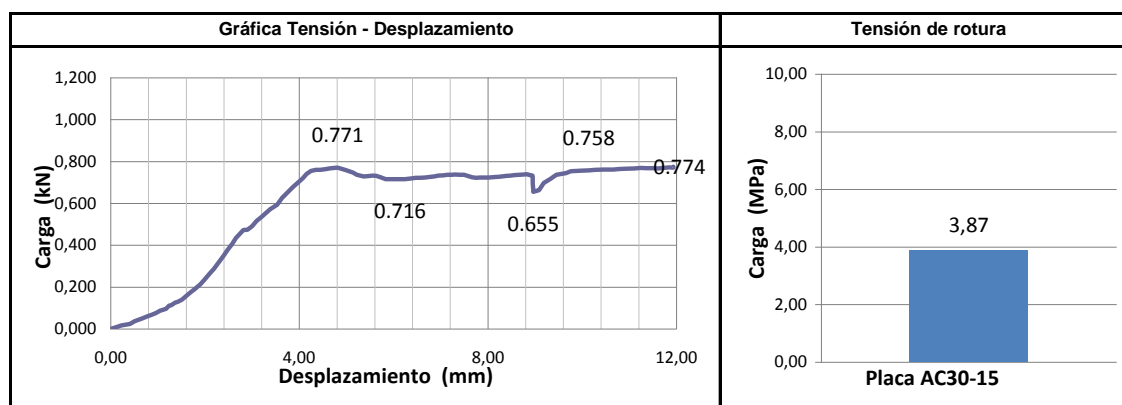
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	32,5%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,8%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	13,0%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	6,0%		
Hidrato de Aluminio	7,5%	46,88	2,42	113,44	17,9%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	7,5%	46,88	2,70	126,56	19,9%		
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	635,31	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	7,5%	0%	7,5%	0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	83,17	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

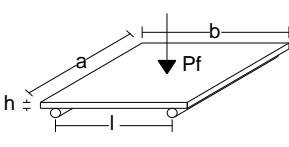
Mezcla espesa, de buena adherencia en molde, se añade solo 1 gr de fibras PPT debido a su dificultad de trabajabilidad en vaso. Buen comportamiento en molde. Hay un incremento de Volumen considerable.

Pruebas físico mecánicas de tensión

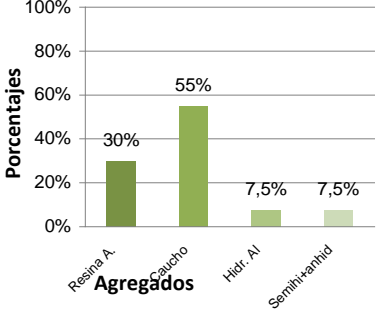
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	775	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,93 mm
b (mm)	247	h (mm)	13,5	σ flexión (N/mm ²)	3,87 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-16	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246	247	14,5	150	747,76	881,05	0,849	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

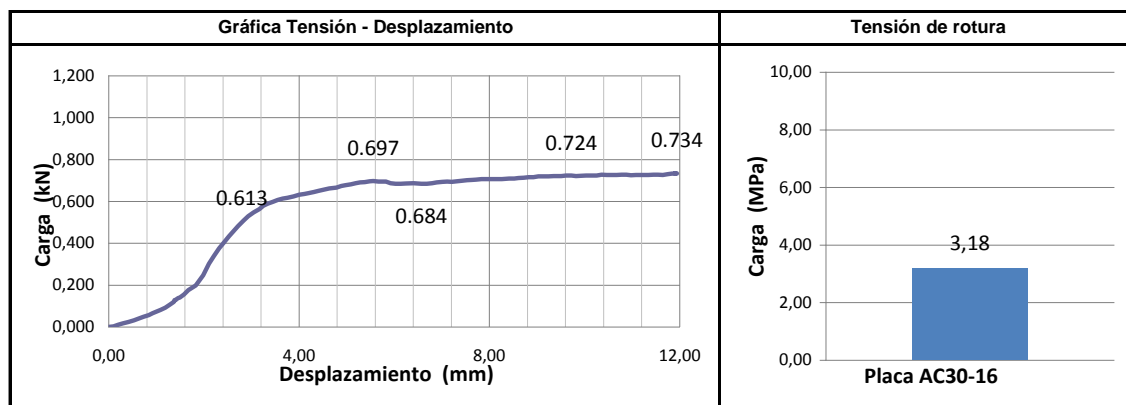
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	31,9%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,6%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	12,7%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	5,8%		
Hidrato de Aluminio	7,5%	46,88	2,42	113,44	17,5%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An	7,5%	46,88	2,96	138,75	21,4%		
Totales	100%	625,00	—	647,50	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	7,5%	0%	0%	7,5%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	81,51	g	0	g	2	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

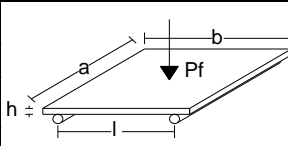
La mezcla con el yeso da mayor densidad y espesor a la mezcla, incrementa un poco su volumen. Tiene buena trabajabilidad para mezclar los materiales y al interior del molde. Se utilizaron fibras de PPM.

Pruebas físico mecánicas de tensión

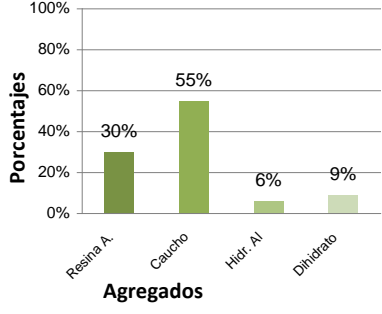
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	734	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,94 mm
b (mm)	247	h (mm)	14,5	σ flexión (N/mm ²)	3,18 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-17	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246	247	13	162	598,21	789,91	0,757	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

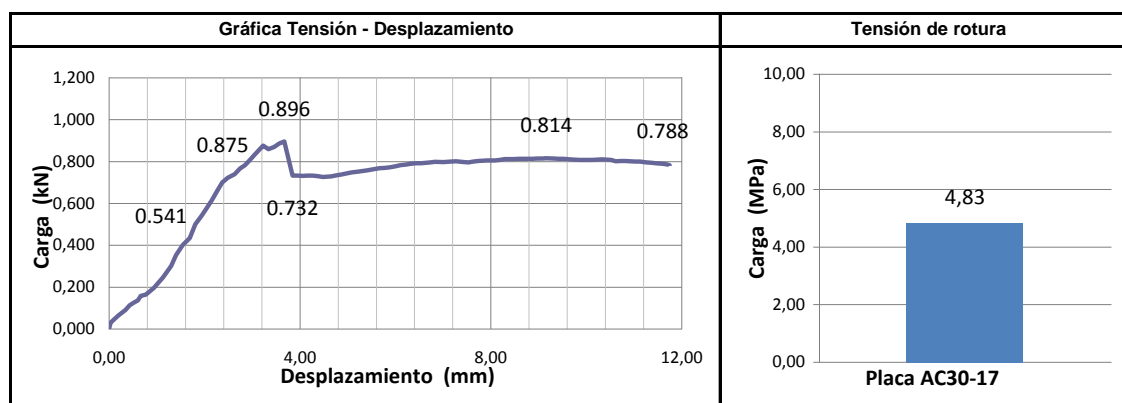
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	33,5%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,4%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	10,0%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,3%		
Hidrato de Aluminio	6,0%	37,50	2,42	90,75	14,7%		
Dihidrato	9,0%	56,25	2,32	130,50	21,2%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	616,56	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	6%	9%	0%	0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	73,16	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla uniforme, facil manejo y trabajabilidad al interior del molde. El tiempo de cocción fue de 140 min a una temperatura promedio de 160°C. La apariencia final es uniforme y estable.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	896	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,75 mm
b (mm)	247	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	4,83 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-18	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
248	249	13	150	672,58	802,78	0,838	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

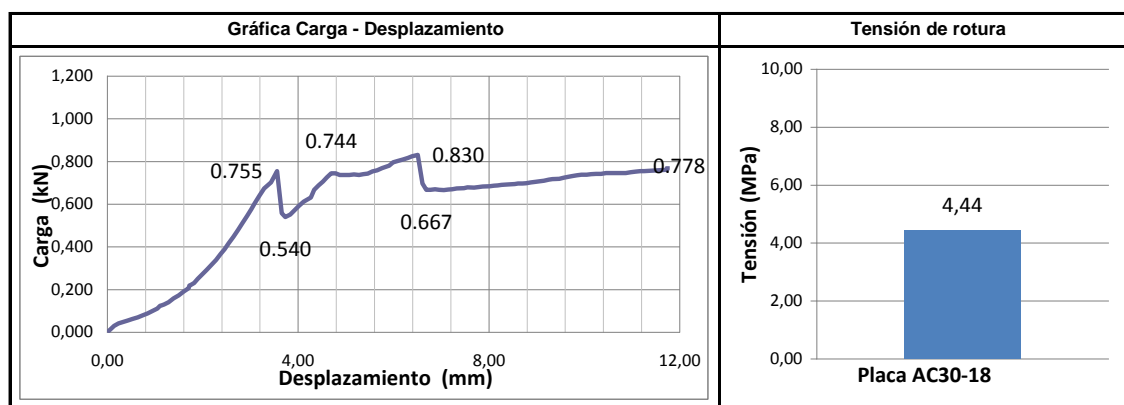
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	30,7%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	14,0%	87,50	0,55	48,13	7,2%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	16,0%	100,00	0,55	55,00	8,2%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,2%		
Hidrato de Aluminio	7,0%	43,75	2,42	105,88	15,7%		
Dihidrato	13,0%	81,25	2,32	188,50	28,0%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	672,50	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + Anhidrita
Porcentajes x Volumen	30%	0%	50%	7,0%	13,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	64,67	g	0	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

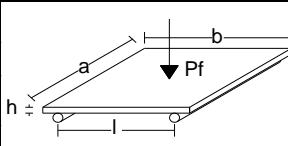
Mezcla uniforme, muy pegajosa, fácil de trabajar al interior del molde de consistencia lechosa. Esta mezcla se realizó sin fibras de PPT

Pruebas físico mecánicas de tensión

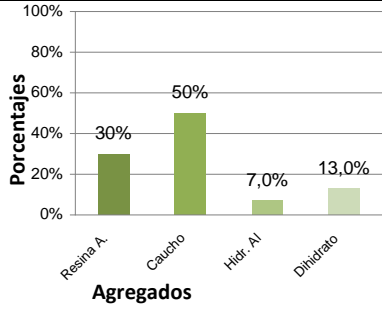
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	830	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,72 mm
b (mm)	249	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	4,44 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-19	Composite de caucho y arpiller de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	249	13	150	632,25	793,07	0,797	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

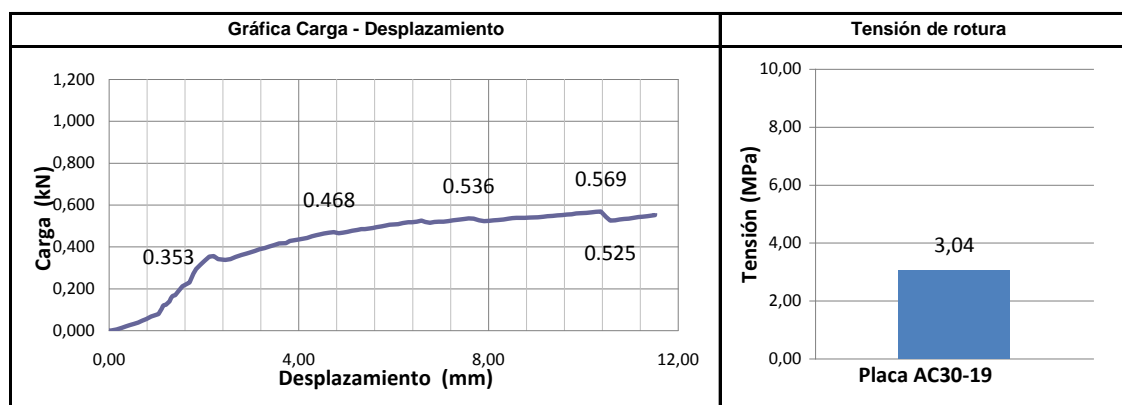
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	30,7%		
Resina de poliéster	0,00%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	14,0%	87,50	0,55	48,13	7,2%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	16,0%	100,00	0,55	55,00	8,2%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,2%		
Hidrato de Aluminio	7,0%	43,75	2,42	105,88	15,7%		
Dihidrato	13,0%	81,25	2,32	188,50	28,0%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	672,50	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	50%	7,0%	13,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	76,88	g	0	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla blanda de consistencia pastosa, es una repetición de la placa PS1-19 a la que se añaden fibras de PPT. Tiene buena trabajabilidad en molde y hubo emisión de material al interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	569	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,75 mm
b (mm)	249	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	3,04 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-20	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
244	244	14,5	150	605,97	863,27	0,702	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	30,9%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	14,0%	87,50	0,55	48,13	7,2%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	16,0%	100,00	0,55	55,00	8,2%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,3%	
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	20,0%	125,00	2,32	290,00	43,4%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	668,13	100%	

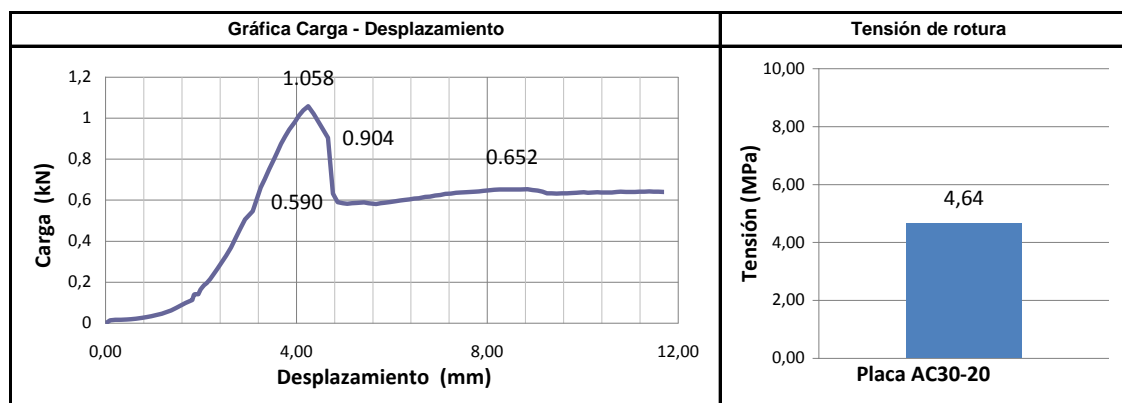
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semih+anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	50%	0,0%	20,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	77,31 g		2 g		0 g		3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla acuosa de fácil manejo en vaso y en molde. Hay emisión de material al interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	1058	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,75 mm
b (mm)	244	h (mm)	14,5	σ flexión (N/mm ²)	4,64 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC30-21	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	248	13	150	605,10	796,33	0,760	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

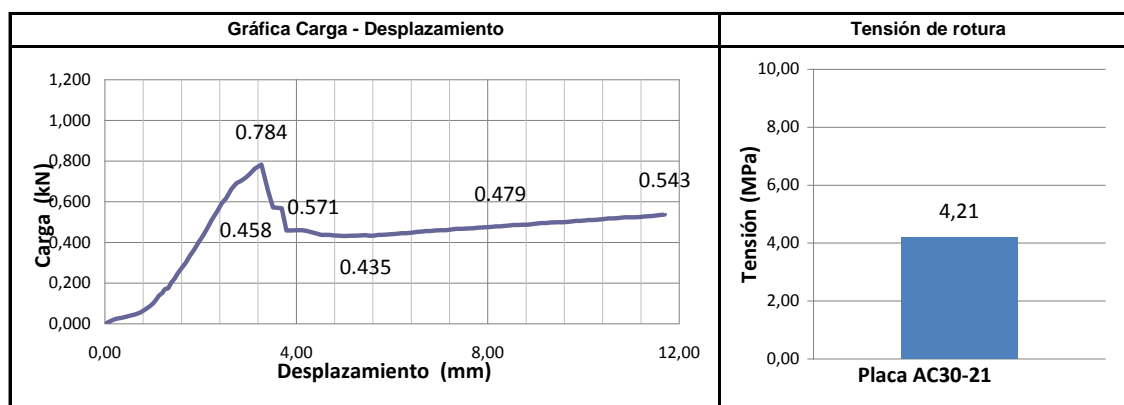
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	30,6%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	14,0%	87,50	0,55	48,13	7,1%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	16,0%	100,00	0,55	55,00	8,2%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,2%		
Hidrato de Aluminio	10,0%	62,50	2,42	151,25	22,4%		
Dihidrato	10,0%	62,50	2,32	145,00	21,5%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	674,38	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	50%	10,0%	10,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	78,43	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

Mezcla blanda, hubo emisión de resina al interior de la estufa en forma de burbujas de material solidificado.

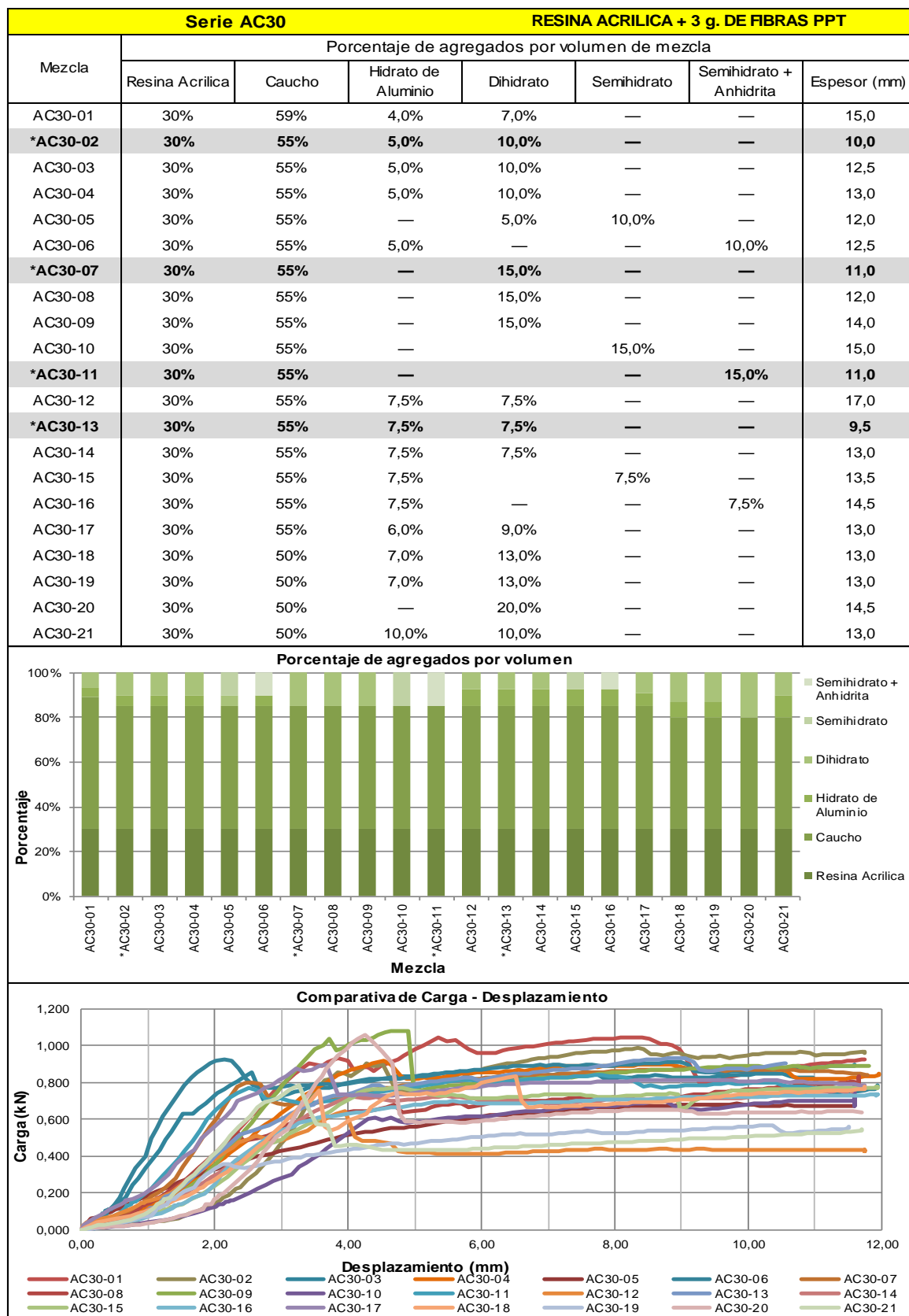
Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	784	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,77 mm
b (mm)	248	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	4,21 MPa

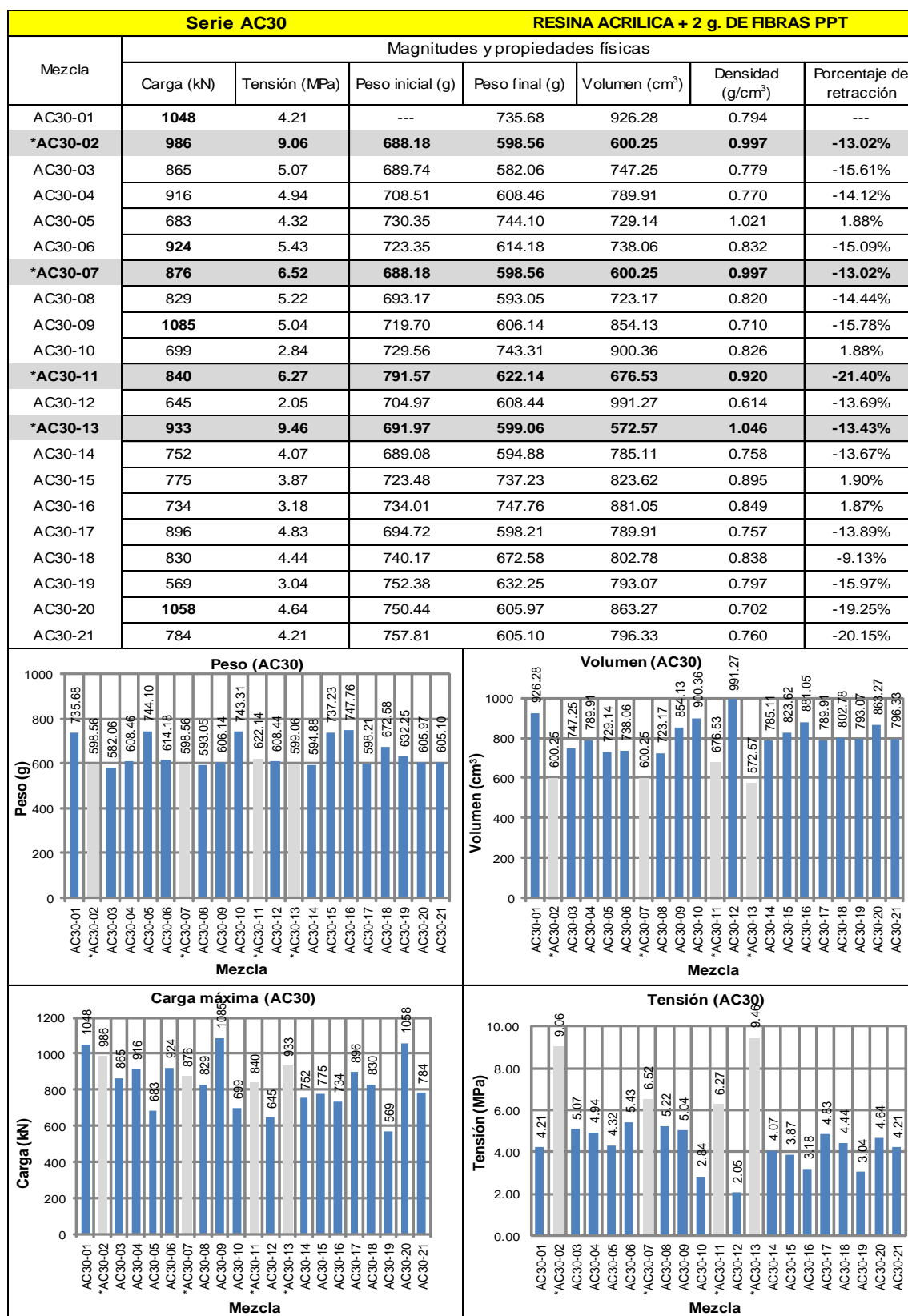


Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Ficha comparativa de las mezclas de la Serie AC30



Ficha comparativa de las mezclas de la Serie AC30



* Las mezclas que se resaltan en color gris soportaron una tensión superior a 6 MPa.

Conclusiones de la SERIE AC30

Las mezclas con mejor resistencia a tensión fueron:

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhidrita
AC30-13	9.5	933	9.46	30	55	5.0	10.0	--	--
AC30-02	10.0	986	9.06	30	55	7.5	7.5	--	--
AC30-07	11.0	876	6.52	30	55	--	15.0	--	--
AC30-11	11.0	840	6.27	30	55	--	--	--	15.0

La relación 1:2 de agregados de Hidrato de Aluminio y Dihidrato en la mezcla AC30-13, tuvo el menor espesor de la serie y la mejor resistencia a tensión seguido de la relación 1:1 con los mismos agregados de la mezcla AC30-02.

Las mezclas que tuvieron una carga superior a los 900 kN en los ensayos a tensión, pero que no alcanzaron los **6 MPa** fueron:

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhidrita
AC30-06	12.5	924	5.43	30	55	5.0	--	--	10.0
AC30-09	14.0	1085	5.04	30	55	--	15.0	--	--
AC30-20	14.5	1058	4.64	30	55	--	20.0	--	--
AC30-01	15.0	1048	4.21	30	55	4.0	7.0	--	--

Las mezclas con peores resultados de resistencia a tensión fueron:

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhidrita
AC30-19	13.0	569	3.04	30	50	7.0	13.0	--	10.0
AC30-16	14.5	734	3.18	30	55	7.5	--	--	7.5
AC30-10	15.0	699	2.84	30	55	--	--	15.0	--
AC30-12	17.0	645	2.05	30	55	7.5	7.5	--	--

La mezcla **AC30-12** durante el proceso de transformación, no fue sometida presión en molde, ni al interior de la estufa, originando que fuera la placa con mayor espesor medio.

Las mezclas con mayor retracción en densidad y peso fueron:

Mezcla	Retracción	Composición
AC30-11	- 21.40%	55% caucho, 15% Semihidrato + Anhidrita
AC30-21	- 20.50%	50% caucho, 10% hidrato de aluminio, 10% Dihidrato
AC30-20	- 19.25%	50% caucho, 20% Dihidrato

Las mezclas con menor retracción en densidad y peso fueron:

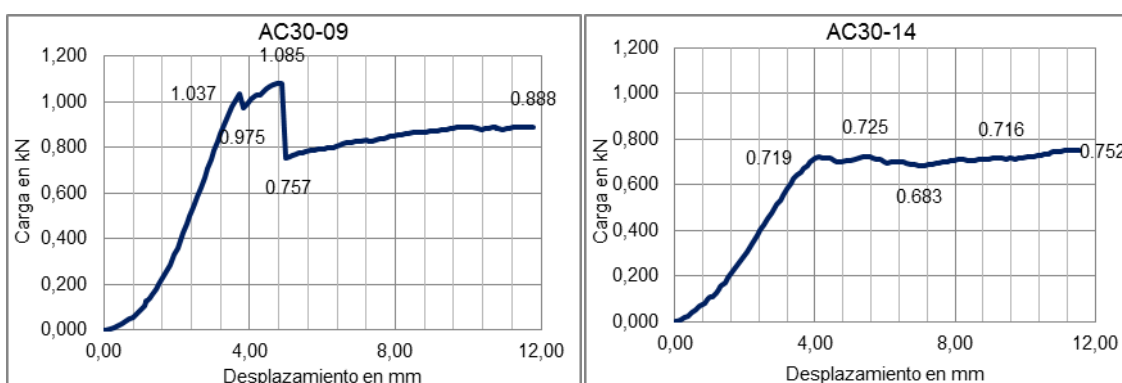
Mezcla	Retracción	Composición
AC30-05	1.88%	55% caucho, 5% Dihidrato, 10% Semihidrato
AC30-15	1.90%	50% caucho, 7.5% hidrato de aluminio, 7.5% Semihidrato
AC30-16	1.87%	50% caucho, 7.5% hidrato de aluminio, 7.5% Semihidrato + Anhidrita

Nota: No se tomó el peso inicial de la mezcla **AC30-01** y no pudo ser verificado su retracción.

Las mezclas con una menor cantidad de caucho, tuvieron mayores retracciones, apreciándose que el grado de pureza de las mezclas también afecta esta variable. Las mezclas con un al menos un 55% de caucho, tienen mejores resultados de planimetría y estabilidad dimensional.

La planimetría de las placas, permite que se tengan materiales más homogéneos y tengan mejores resistencias a tensión. Es necesario tener un mejor control en el proceso de elaboración, permitiendo que todos los materiales se cohesionen al aumentar la temperatura dentro de la estufa de secado.

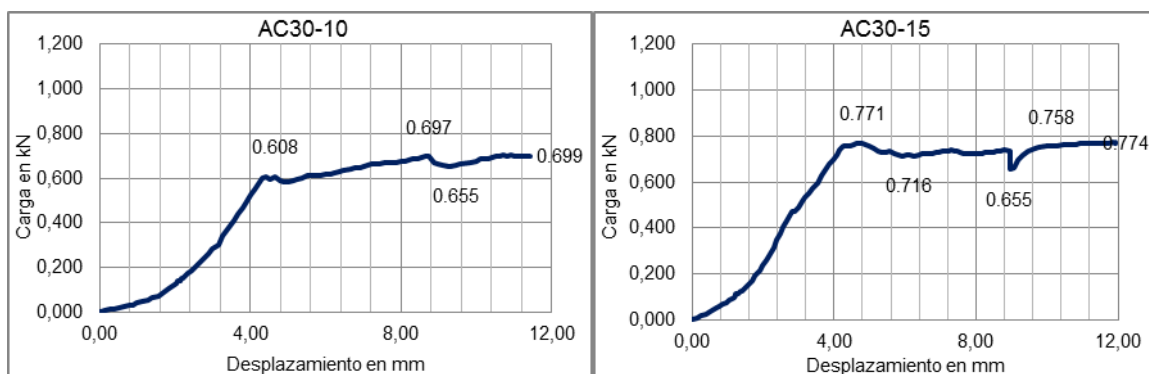
Comparativa de las gráficas de ensayo a tensión:



Las placas AC30-09 y AC30-14 se realizaron con Dihidrato como agregado principal. La placa AC30-09 soportó una carga máxima inicial de 1,037 kN, pudiendo observarse cambios en la gráfica de carga-deformación que se traducen en reajustes internos de

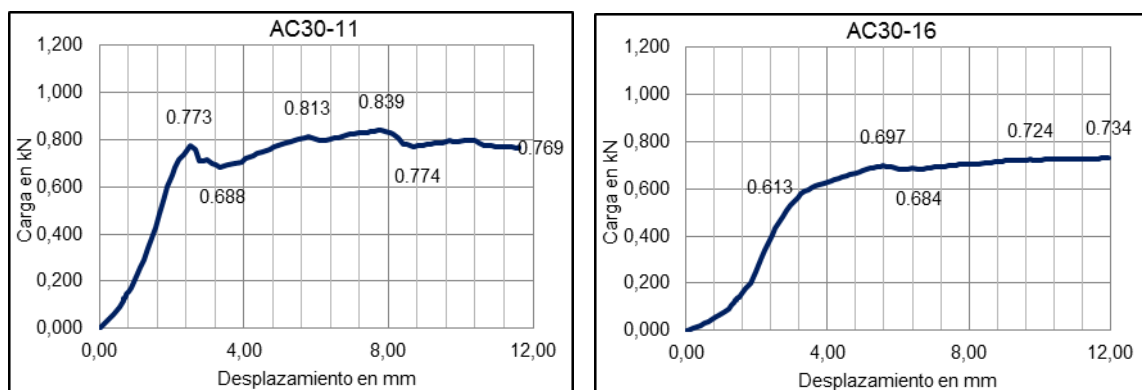
los cristales que componen la placa. Incrementando después su carga, hasta un máximo de 1,085 kN.

La placa AC30-14 que tiene una proporción de 1:1 de hidrato de aluminio y anhidrita, tuvo una deformación dúctil-estratificada, teniendo diferentes reacomodos en su deformación, ya que tuvo distintos reacomodos en su deformación, hasta su deformación final.



Las placas AC30-10 y AC30-15 con Semihidrato como agregado principal, tuvieron una deformación estratificada manteniendo una carga sin grandes variaciones hasta su deformación final.

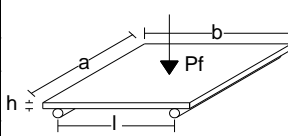
La mezcla AC30-15 con proporción 1:1 entre hidrato de aluminio y Semihidrato, soportó una mayor carga manteniéndola con pequeñas variaciones hasta el final. Mientras que la mezcla AC30-10 mantuvo una deformación con incremento de la carga hasta su deformación máxima.



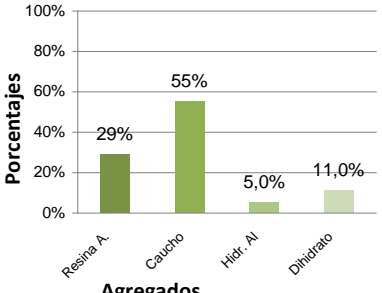
Las mezcla AC30-11 muestra una deformación estratificada, que se mantiene con pequeñas variaciones en incremento y decremento de carga hasta su deformación final. La mezcla AC30-16 tuvo una deformación dúctil, con incremento de carga hasta su deformación final. Ambas mezclas fueron elaboradas con Semihidrato + Anhidrita como agregado principal y se puede observar que la mezcla AC30-16 que combina Hidrato de Aluminio con Semihidrato + Anhidrita estabiliza la mezcla ocasionando que tenga una deformación dúctil.

9.3.2 SERIE AC29

(Resina acrílica en base agua + 2 g. de fibras PPT + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa	AC29-01	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246	247	13	150	550,93	789,91	0,697	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	29,0%	181,25	1,10	199,38	32,0%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,3%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,9%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,1%	
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	12,1%	
Dihidrato	11,0%	68,75	2,32	159,50	25,6%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	623,56	100%	

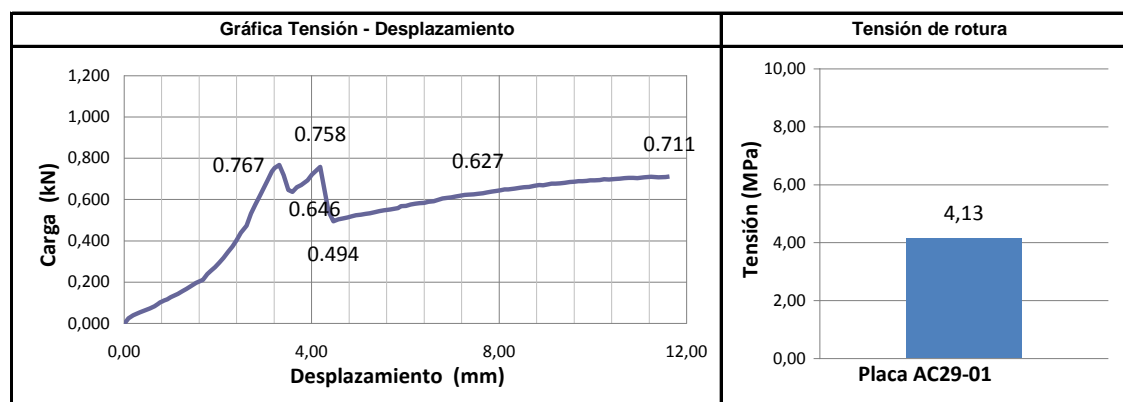
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semih+anhid
Porcentajes x Volumen	29%	0%	55%	5,0%	11,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	73,09	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla uniforme, de facil manejo y aplicabilidad al interior del molde.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	767	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,69 mm
b (mm)	247	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	4,13 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC29-02	Composite de caucho y arpiller de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
241	245	15	150	607,05	885,68	0,685	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	29,0%	181,25	1,10	199,38	32,1%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,3%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	10,0%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,2%	
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	16,0%	100,00	2,32	232,00	37,4%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	620,44	100%	

Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhidrita
Porcentajes x Volumen	29%	0%	55%	0,0%	16,0%	0,0%	0,0%

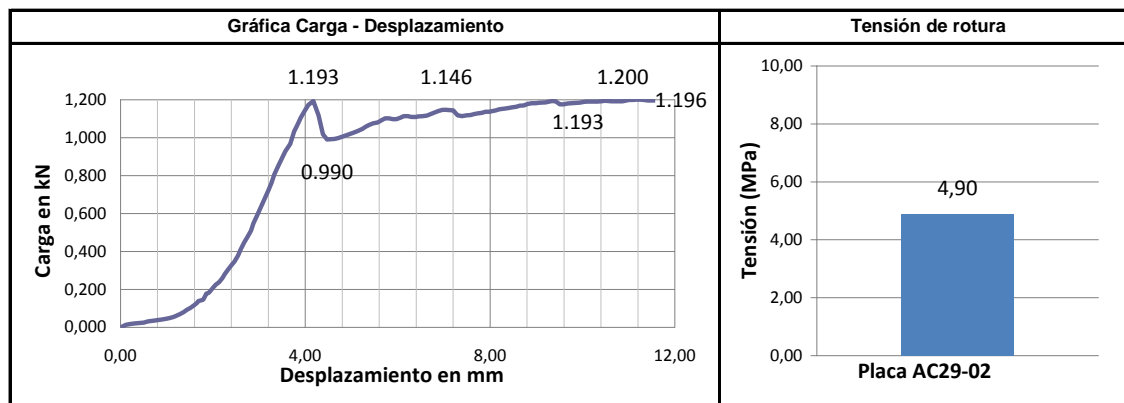
Fibras	Arpillera de yute	PPT (Termofusionable)	PPM (multifilamento)	Fibras de vidrio 20 mm.
	72,85 g	0 g	2 g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

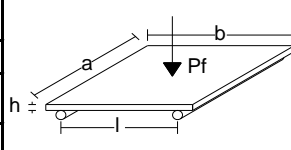
Se generan burbujas al interior de la mezcla. Se puso al horno durante un tiempo de 140 min a una temperatura de 140° C en promedio. Se repite esta mezcla ya que la placa no se sometió a presión en el interior de la estufa, ocasionando que el aspecto físico y visual de la placa sea poco uniforme y con abultamientos en su superficie.

Pruebas físico mecánicas de tensión

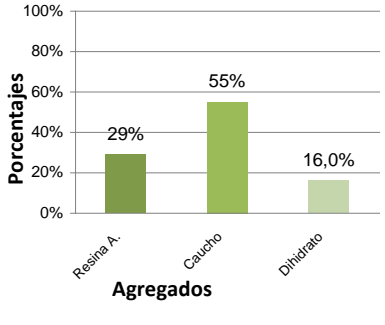
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	1200	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,77 mm
b (mm)	245	h (mm)	15,0	σ flexión (N/mm ²)	4,90 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acrídur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC29-03	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246	247	14	150	619,95	850,67	0,729	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	29,0%	181,25	1,10	199,38	32,1%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,3%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	10,0%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,2%	
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	16,0%	100,00	2,32	232,00	37,4%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	620,44	100%	

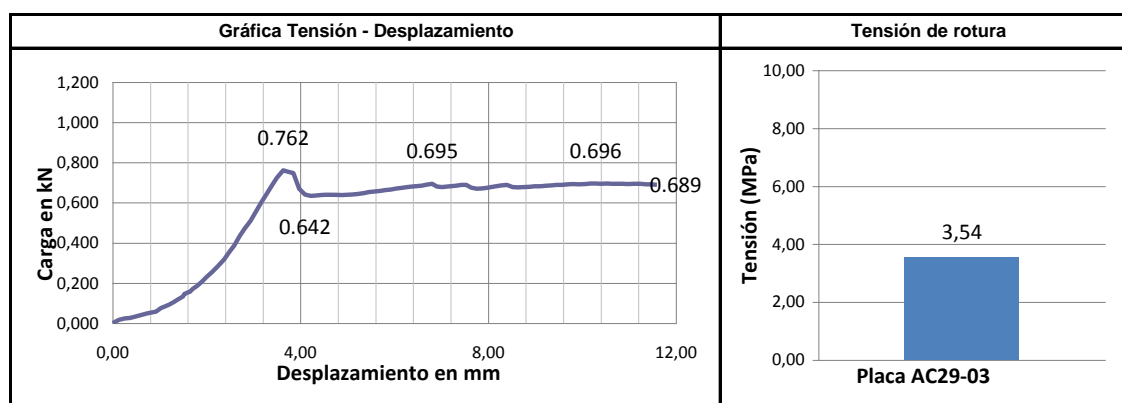
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	29%	0%	55%	0,0%	16,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	81,75	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


La mezcla tiene buena trabajabilidad en molde. La placa sometida a presión tiene una forma más uniforme, sin tender a hincharse.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	762	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,62 mm
b (mm)	247	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	3,54 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC29-04	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
244	246	15	150	683,64	900,36	0,759	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	29,0%	181,25	1,10	199,38	30,3%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,4%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	12,5%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	5,7%	
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%	
Semihidrato	16,0%	100,00	2,70	270,00	41,0%	
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	658,44	100%	

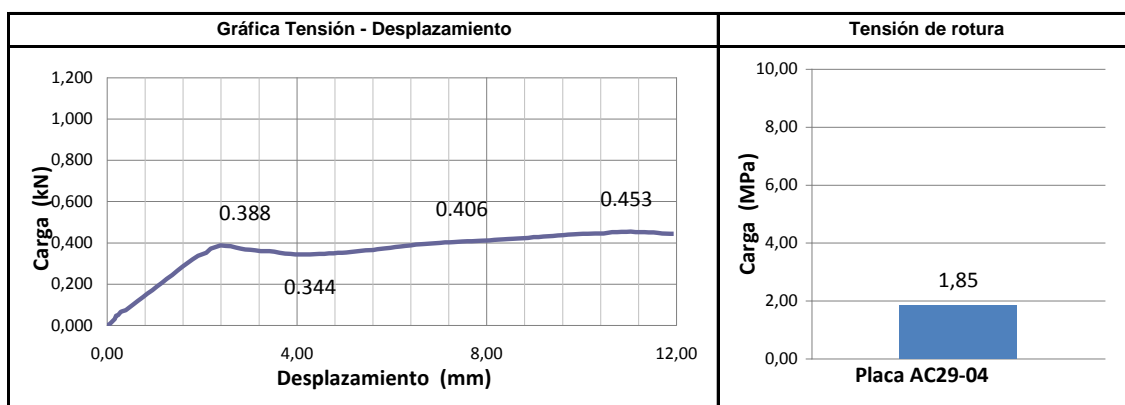
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	29,0%	0%	55%	0,0%	0,0%	16,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	83,12	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

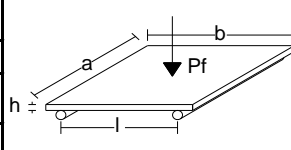
Se dejó reposar la resina antes de mezclarla con los agregados pétreos y las fibras, la temperatura ambiente estaba cerca de los 35°C y ocasiono que la mezcla se endureciera. Se mezcló bien con el caucho y las fibras y se tuvo muy buen manejo al interior del molde.

Pruebas físico mecánicas de tensión

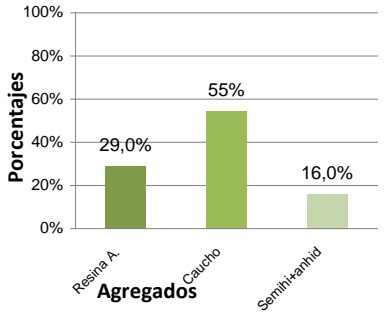
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	454	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,94 mm
b (mm)	246	h (mm)	15,0	σ flexión (N/mm ²)	1,85 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC29-05	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
244	245	14	150	663,18	836,92	0,792	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	29,0%	181,25	1,10	199,38	29,2%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,1%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	12,1%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	10,5%	65,63	0,55	36,09	5,3%	
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	16,0%	100,00	2,96	296,00	43,4%	
Totales	100%	621,88	—	682,72	100%	

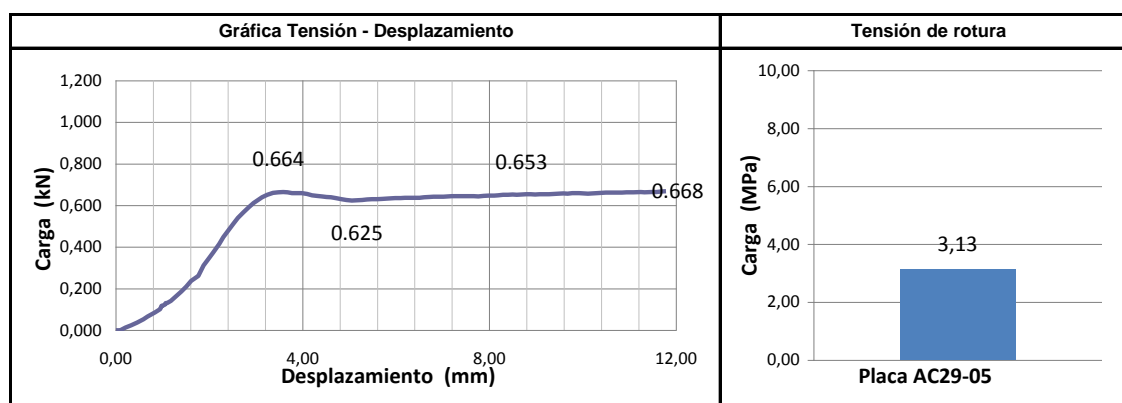
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhyd
Porcentajes x Volumen	29,0%	0%	55%	0,0%	0,0%	0,0%	16,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	73,17	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

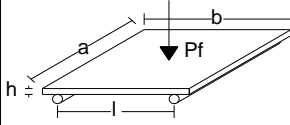
Es la mezcla que más aumentó en tamaño, casi hasta triplicar su Volumen inicial, fue complicado añadir fibras y caucho al mezclar. Finalmente se dejó reaccionar y fue posible mezclar todos los materiales. Dentro de molde fue de difícil trabajabilidad. Se sometió a presión en molde y al interior de la estufa. Se crearon burbujas fuera del molde y hubo pérdida del material. El material se expande en forma de burbujas y es muy rígido, pero tiene rotura frágil.

Pruebas físico mecánicas de tensión

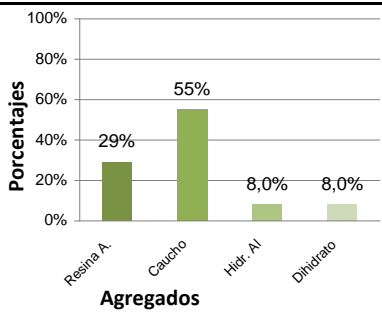
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P.L)/(b.h ²)
Carga P (N)	668	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,83 mm
b (mm)	245	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	3,13 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC29-06	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	247	13	150	613,65	786,70	0,780	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	29,0%	181,25	1,10	199,38	31,9%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,2%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,9%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,1%	
Hidrato de Aluminio	8,0%	50,00	2,42	121,00	19,3%	
Dihidrato	8,0%	50,00	2,32	116,00	18,5%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	625,44	100%	

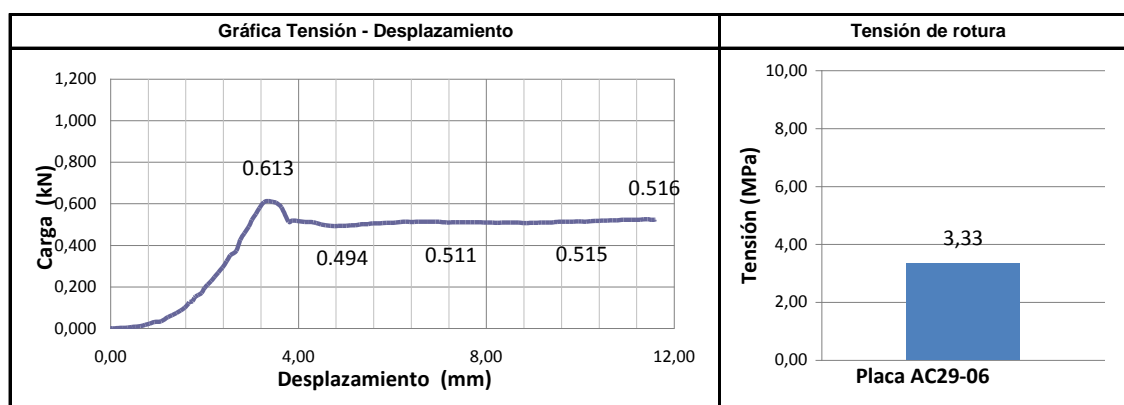
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihid+anhid
Porcentajes x Volumen	29%	0%	55%	8,0%	8,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	67,42	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

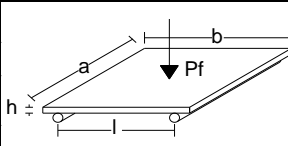
Mezcla uniforme, espesa y de pocas burbujas. Buena trabajabilidad en molde. De poco aspecto lechoso.

Pruebas físico mecánicas de tensión

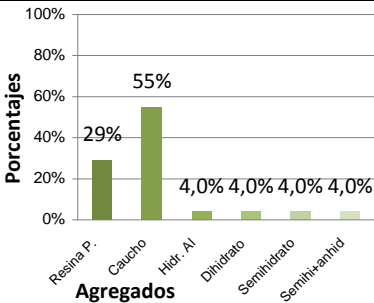
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	618	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,58 mm
b (mm)	247	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	3,33 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC29-07	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246	247	12	150	582,50	729,14	0,799	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

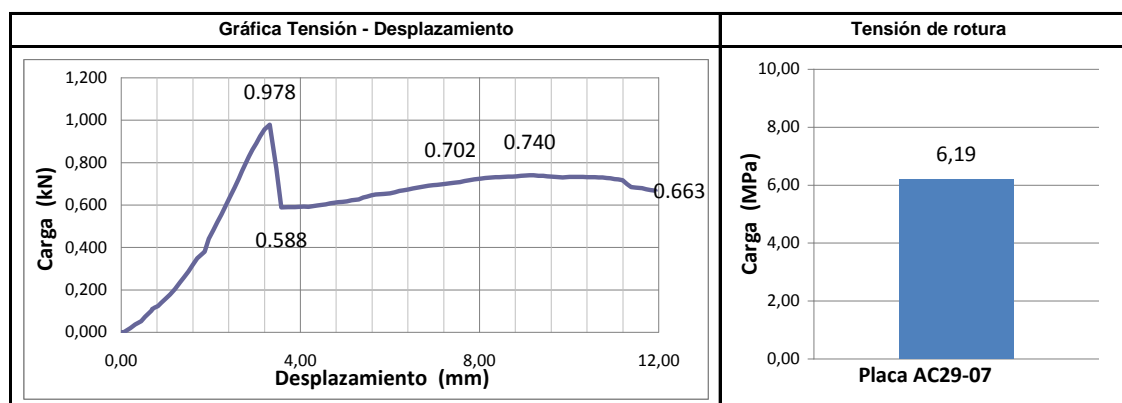
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		<div> Proporciones por Volumen de agregado  </div>	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	0,0%	0,00	1,10	0,00	0,0%		
Resina de poliéster	29,00%	181,25	1,20	217,50	32,6%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	21,00%	131,25	0,55	72,19	10,8%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	22,00%	137,50	0,55	75,63	11,3%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	12,00%	75,00	0,55	41,25	6,2%		
Hidrato de Aluminio	4,00%	25,00	2,42	60,50	9,1%		
Dihidrato	4,00%	25,00	2,32	58,00	8,7%		
Semihidrato	4,00%	25,00	2,70	67,50	10,1%		
Semihidrato + An	4,00%	25,00	2,96	74,00	11,1%		
Totales	100%	625,00	—	666,56	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid
Porcentajes x Volumen	0%	29%	55%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	68,39	g	0	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

Mezcla más acuosa, se observa que la ausencia de fibras impide dar cohesión a la mezcla. Su trabajabilidad en molde y vaso es buena. Presenta pequeñas burbujas al interior del molde. A esta mezcla no se añaden fibras de refuerzo (PPT, PPM)

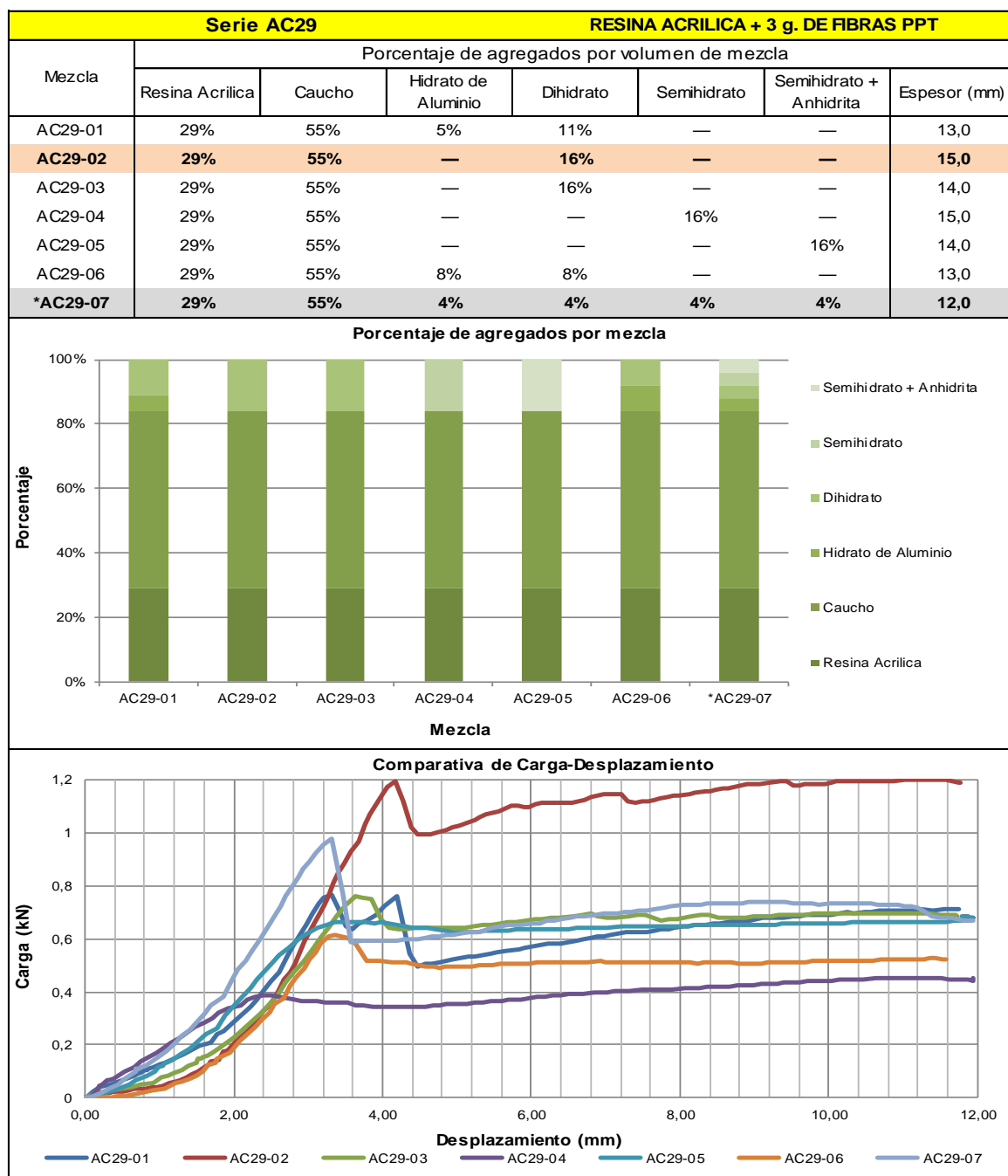
Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga Pf (N)	978	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,93 mm
b (mm)	247	h (mm)	12,0	σ flexión (N/mm ²)	6,19 MPa



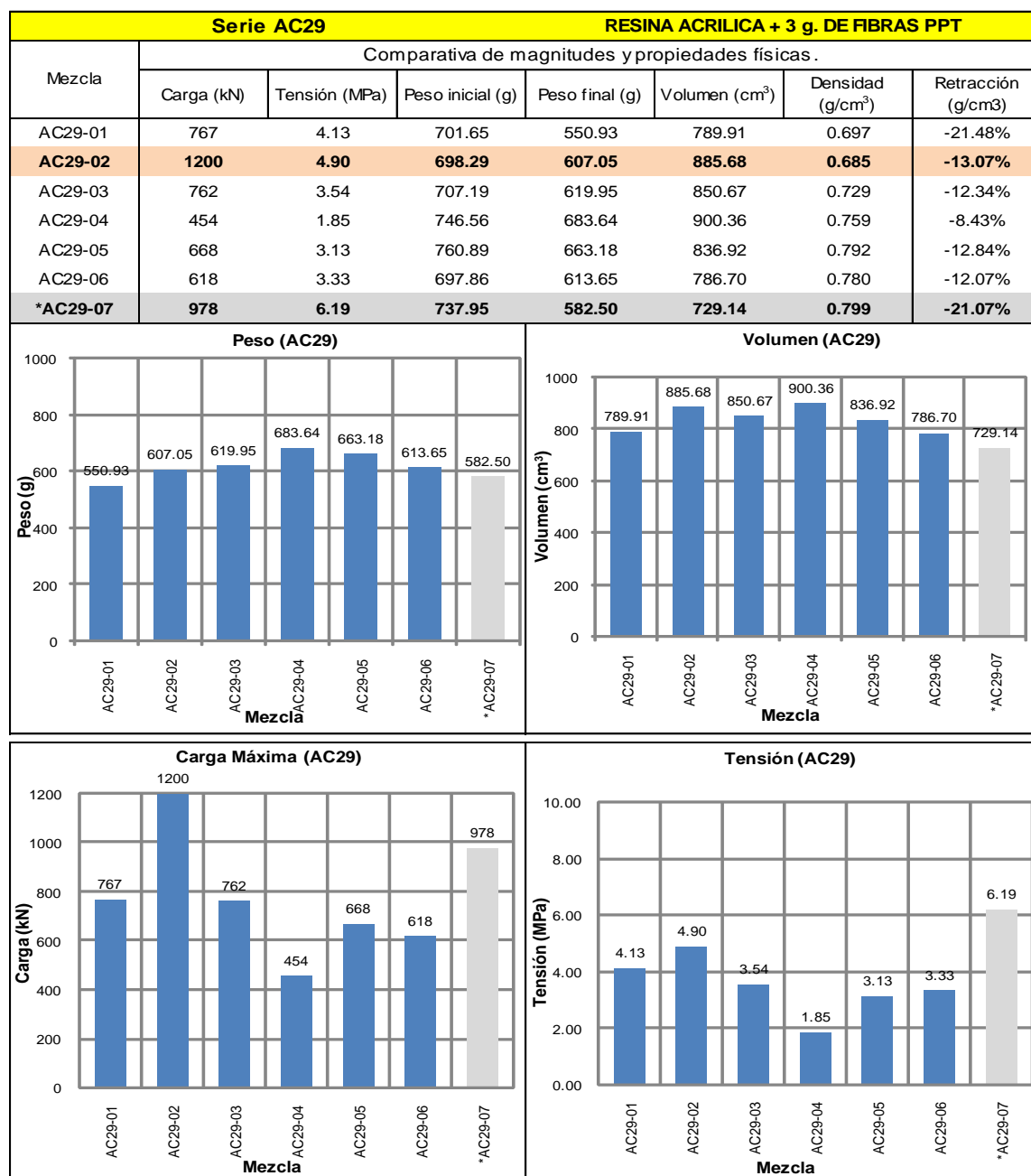
Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrías (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Ficha comparativa de las mezclas de la Serie AC29



* La mezcla que se resalta en color gris soporto una mayor tensión superior a 6 MPa.

Ficha comparativa de las mezclas de la Serie AC29



Conclusiones de la SERIE AC29

La mezcla AC29-07 tuvo el menor espesor y mayor resistencia a la tensión, volviendo a observarse una relación inversamente proporcional entre el espesor medio de la placa con la resistencia a tensión.

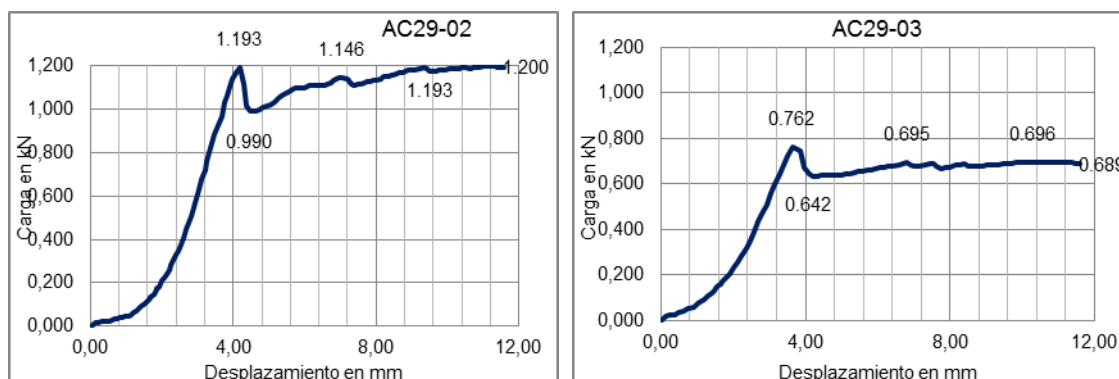
Comparando las placas con un solo agregado tenemos los siguientes resultados:

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhidrita
AC29-02	15.0	1200	4.90	29	55	--	16.0	--	--
AC29-04	15.0	454	1.85	29	55	--	--	16.0	--
AC29-03	14.0	762	3.54	29	55	--	16.0	--	--
AC29-05	14.0	668	3.13	29	55	--	--	--	16.0

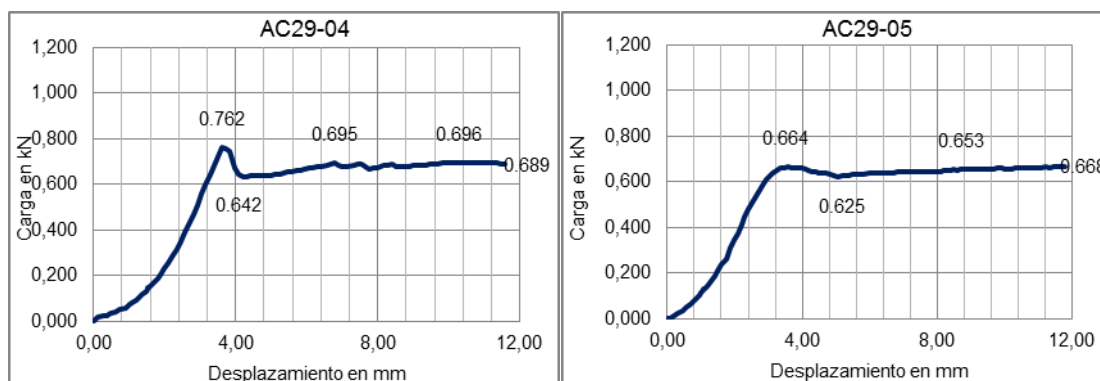
Se realizaron dos mezclas con un 16% de anhidrita como agregado en las placas AC29-02 y la AC29-03 obteniendo unas gráficas de carga-desplazamiento similares, pero con resistencia a tensión distinta. Las variaciones en el proceso de elaboración y su espesor medio final provocaron que la placa AC29-02 tuviera una mejora de un 25% de resistencia a tensión.

- Las placas elaboradas con las mezclas **AC29-04 y AC29-05** tuvieron peores resultados de resistencia a tensión, compartiendo ambas mezclas un agregado principal de Semihidrato.
- Se observa que el Dihidrato mejora el comportamiento físico-mecánico de la mezcla, obteniendo mejores resultados que los agregados de Semihidrato y Semihidrato + Anhidrita.
- La mezcla con menor retracción es la **AC29-04**, que contiene únicamente Semihidrato como agregado pétreo pulverizado.

Comparativa de las gráficas de ensayo a tensión:




Las placas AC29-02 y AC29-03 tienen la misma proporción de agregados en su composición, empleando a la anhidrita como principal agregado pétreo pulverizado. La placa AC29-02 no fue sometida a presión durante su proceso de transformación, teniendo esta un mayor espesor medio. Es posible que debido a este aumento de espesor, se hayan formado un mayor número de cristales de yeso al interior de la placa, ayudando mediante su reacomodo al momento de entrar en carga, a tener una mejor resistencia a tensión.



La placa AC29-04 elaborada con Semihidrato como principal agregado pétreo, tuvo una carga máxima inicial de 762 kN y luego una deformación manteniendo una carga más o menos uniforme hasta su deformación final. La placa AC29-05 presenta una deformación dúctil, teniendo manteniendo una carga uniforme hasta su deformación final coincidiendo con su carga máxima.

9.3.3 SERIE AC28

(Resina acrílica en base agua + 2 g. de fibras PPT + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa	AC28-01	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	248	13	150	680,7	789,88	0,862	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm³	g/cm³	g	%	
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	32,3%	
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	21,0%	131,25	0,55	72,19	12,1%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	25,0%	156,25	0,55	85,94	14,4%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	12,0%	75,00	0,55	41,25	6,9%	
Hidrato de Aluminio	2,0%	12,50	2,42	30,25	5,1%	
Dihidrato	12,0%	75,00	2,32	174,00	29,2%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	596,13	100%	

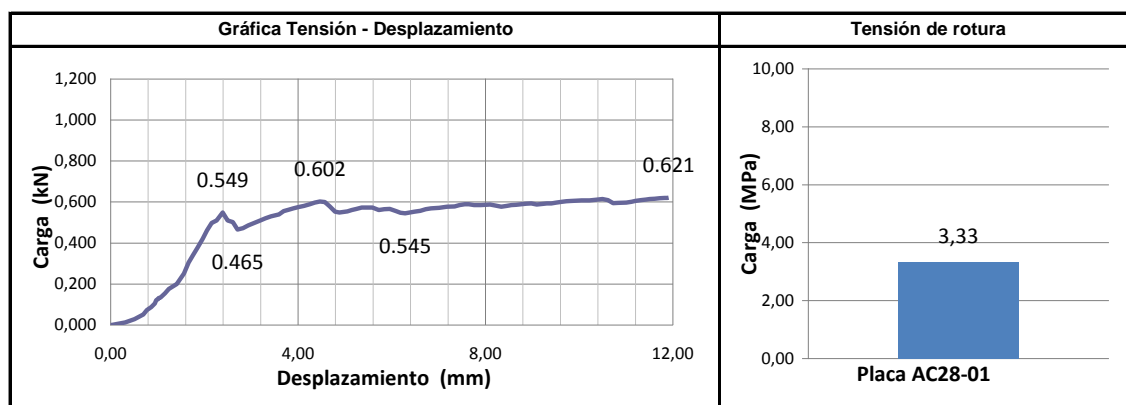
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semih+anhid
Porcentajes x Volumen	28%	0%	58%	2,0%	12,0%	0%	0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	78,76	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

Mezcla espesa, se adhiere bien a las fibras y presenta un poco de dificultad en su manejo al interior del molde.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P.L)/(b.h ²)
Carga P (N)	621	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,92 mm
b (mm)	248	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	3,33 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de: Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-02	Composite de caucho y arpiller de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	246	13	150	703,56	783,51	0,898	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	30,8%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	21,0%	131,25	0,55	72,19	11,6%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	25,0%	156,25	0,55	85,94	13,8%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	12,0%	75,00	0,55	41,25	6,6%	
Hidrato de Aluminio	2,0%	12,50	2,42	30,25	4,8%	
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%	
Semihidrato	12,0%	75,00	2,70	202,50	32,4%	
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	624,63	100%	

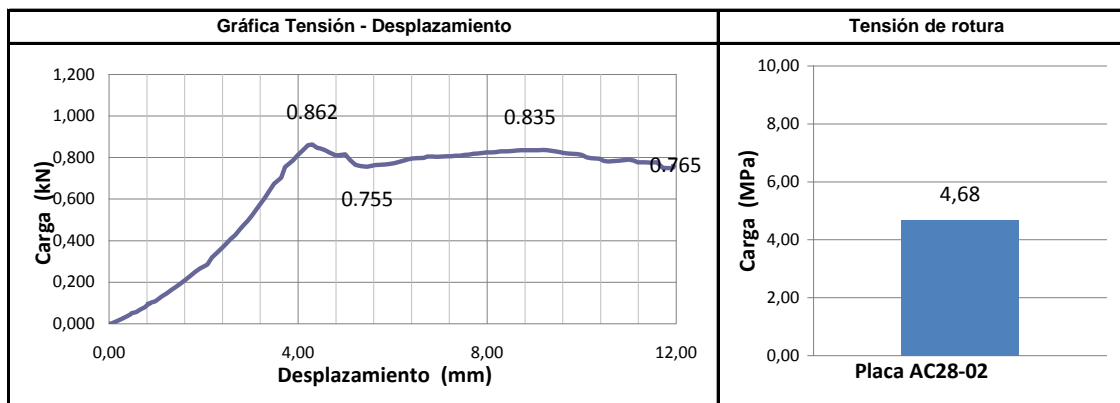
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	28%	0%	58%	2,0%	0,0%	12,0%	0,0%
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	73,12	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla blanda, de fácil manejo en vaso y al interior del molde, se observó emisión de material al interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	865	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,94 mm
b (mm)	246	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	4,68 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-03	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
248	249	12,5	150	621	771,90	0,805	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	29,9%	
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,7%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	25,0%	156,25	0,55	85,94	13,3%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	13,0%	81,25	0,55	44,69	6,9%	
Hidrato de Aluminio	2,0%	12,50	2,42	30,25	4,7%	
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	12,0%	75,00	2,96	222,00	34,5%	

Totales	100%	625,00	—	644,13	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + Anhid

Porcentajes x Volumen	28%	0%	58%	2,0%	0,0%	0,0%	12,0%
-----------------------	-----	----	-----	------	------	------	-------

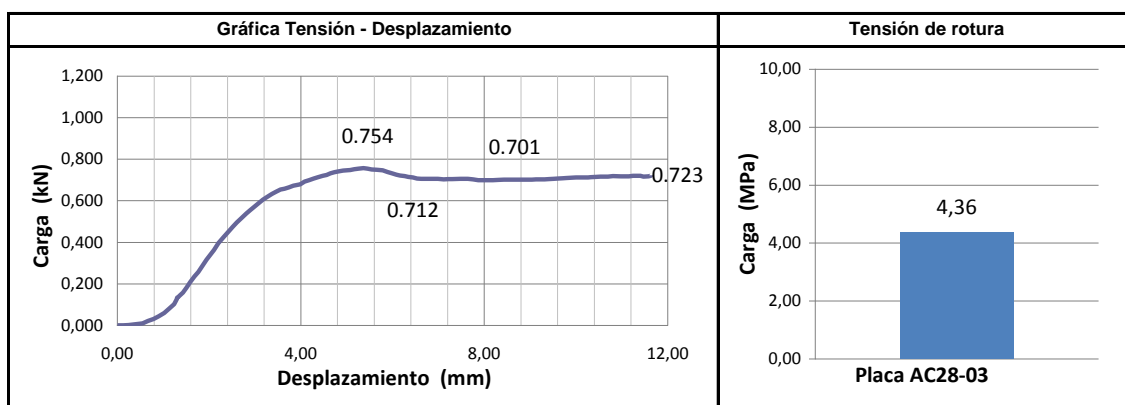
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	79,46	g	2	g	0	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

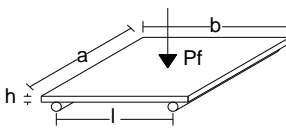
La mezcla aumenta su Volumen en interior de vaso, en molde es de fácil manejo. Se generan burbujas al interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

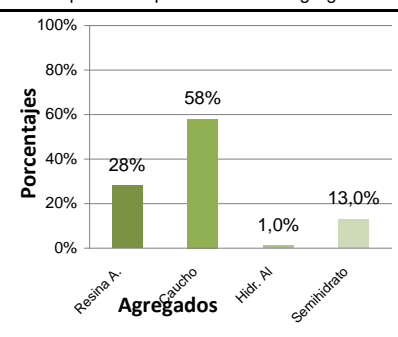
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	754	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,63 mm
b (mm)	249	h (mm)	12,5	σ flexión (N/mm ²)	4,36 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-04	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	246	13,5	150	723,43	813,65	0,889	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

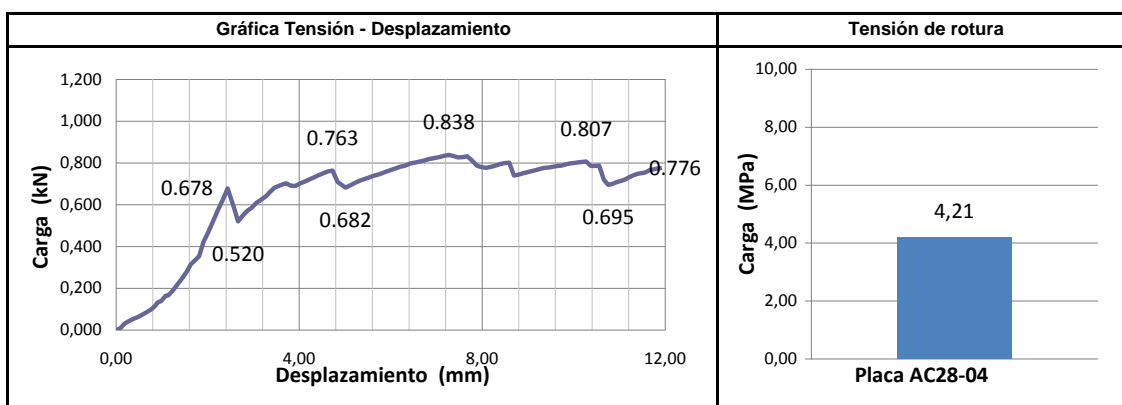
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	30,7%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	21,0%	131,25	0,55	72,19	11,5%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	25,0%	156,25	0,55	85,94	13,7%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	12,0%	75,00	0,55	41,25	6,6%		
Hidrato de Aluminio	1,0%	6,25	2,42	15,13	2,4%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidratado	13,0%	81,25	2,70	219,38	35,0%		
Semihidratado + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	626,38	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidratado	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	28%	0%	58%	1,0%	0,0%	13,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	79,55	g	0	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

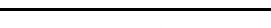
Mezcla uniforme y de buena trabajabilidad en molde.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	838	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,94 mm
b (mm)	246	h (mm)	13,5	σ flexión (N/mm ²)	4,21 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidratado y Semihidratado más Anhídrido. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-05	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	248	13	150	644,97	796,33	0,810	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

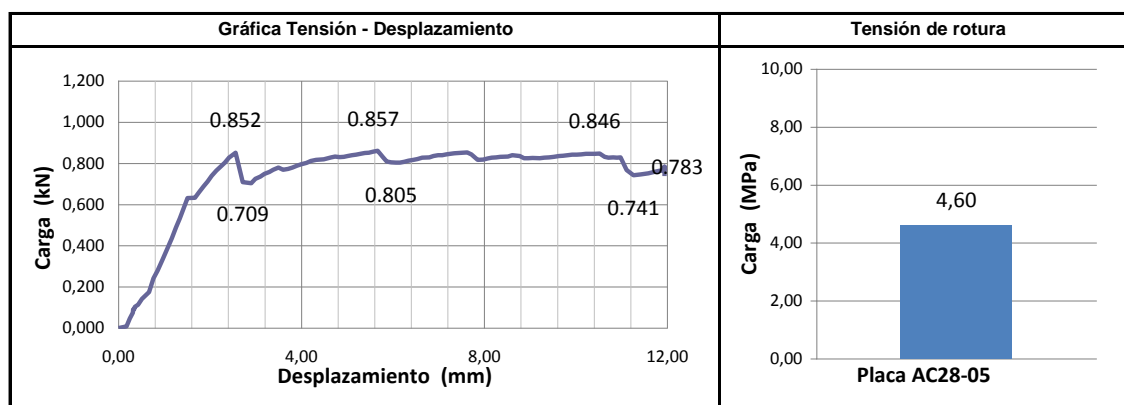
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	29,7%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	21,0%	131,25	0,55	72,19	11,1%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	25,0%	156,25	0,55	85,94	13,3%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	12,0%	75,00	0,55	41,25	6,4%		
Hidrato de Aluminio	1,0%	6,25	2,42	15,13	2,3%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An	13,0%	81,25	2,96	240,50	37,1%		
Totales	100%	625,00	—	647,50	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + Anhid
Porcentajes x Volumen	28%	0%	58%	1,0%	0,0%	0,0%	13,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	83,21	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

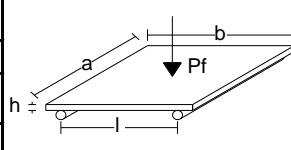
Mezcla espesa y pegajosa, con tendencia a hincharse, se dificulta la adición de fibras en vaso y es complicado su correcta dispersión dentro del molde.

Pruebas físico mecánicas de tensión

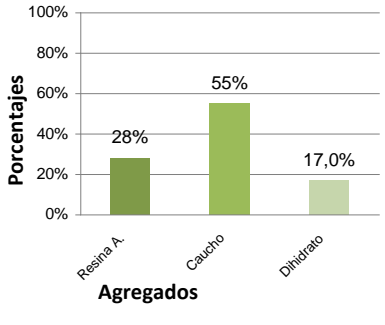
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	857	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,94 mm
b (mm)	248	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	4,60 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-06	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	249	12,5	150	703,56	768,79	0,915	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	30,6%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,2%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,9%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,0%	
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	17,0%	106,25	2,32	246,50	39,2%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	628,06	100%	

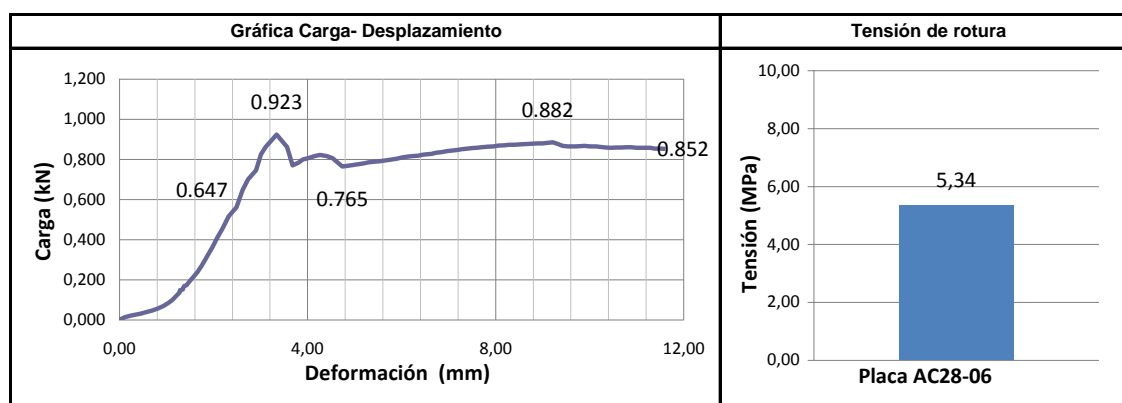
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	28%	0%	55%	0,0%	17,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	73,12 g		2 g		0 g		3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla fácil de trabajar en vaso y en molde, el uso del sulfato de calcio provoca que la mezcla sea más blanda, hasta que se añaden fibras y la consistencia y aspecto mejora considerablemente. Hubo emisión del material al interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	923	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,74 mm
b (mm)	249	h (mm)	12,5	σ flexión (N/mm ²)	5,34 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-07	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	248	14	150	610,25	857,58	0,712	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

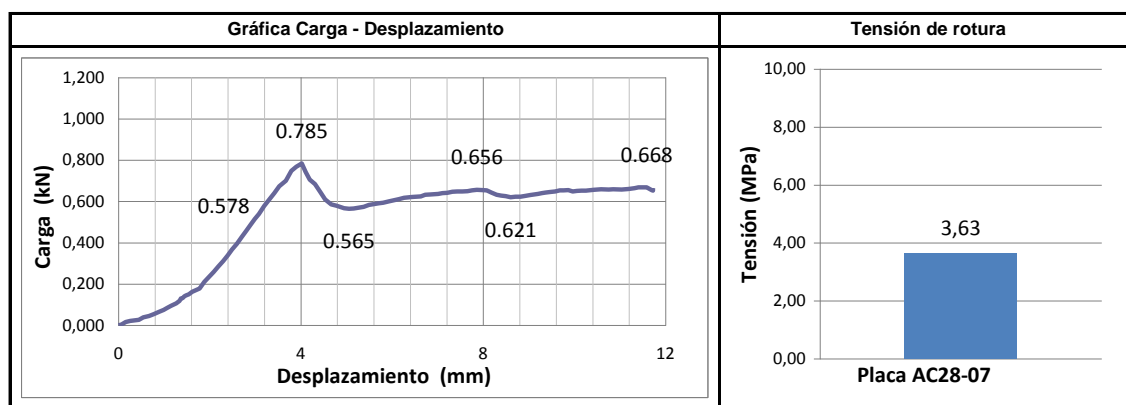
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	30,6%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,2%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,9%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,0%		
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%		
Dihidrato	17,0%	106,25	2,32	246,50	39,2%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	628,06	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid.
Porcentajes x Volumen	28,0%	0%	55%	0,0%	17,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	76,25	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

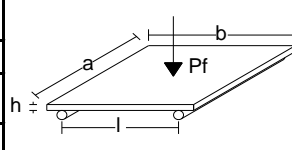
Mezcla uniforme, de fácil manejo y aplicabilidad al interior del molde. La apariencia final es uniforme.

Pruebas físico mecánicas de tensión

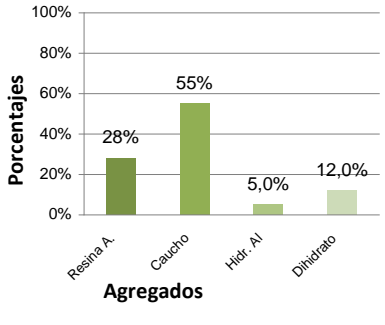
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	785	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,72 mm
b (mm)	248	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	3,63 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-08	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
244	246	15	150	621,27	900,36	0,690	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	30,5%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,2%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,8%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	12,0%	
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	12,0%	
Dihidrato	12,0%	75,00	2,32	174,00	27,6%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	631,19	100%	

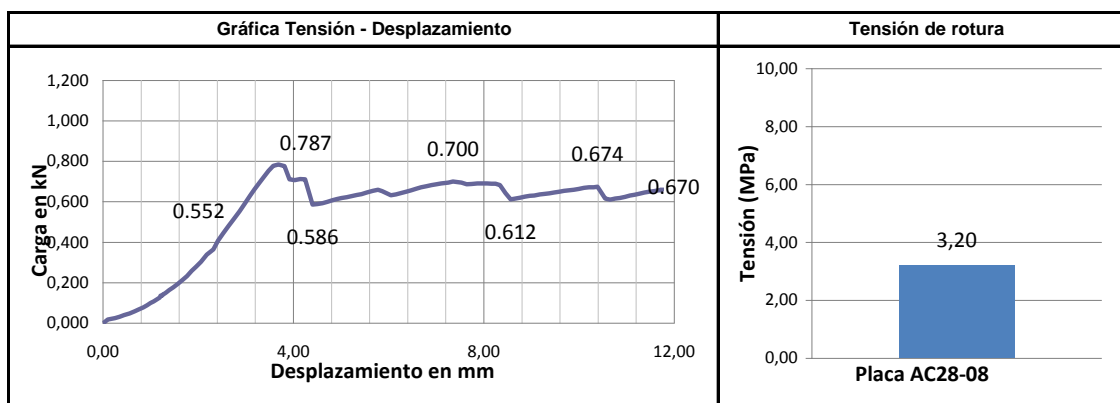
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	28%	0%	55%	5,0%	12,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	68,45	g	0	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

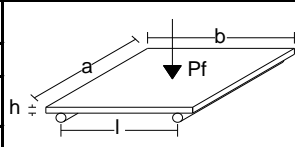
Mezcla lechosa, no se añaden fibras de PPT, hay emisión de material al interior de la estufa, se somete la placa a presión dentro de molde, pero no al interior de la estufa, se repetirá la mezcla para contrastar los resultados.

Pruebas físico mecánicas de tensión

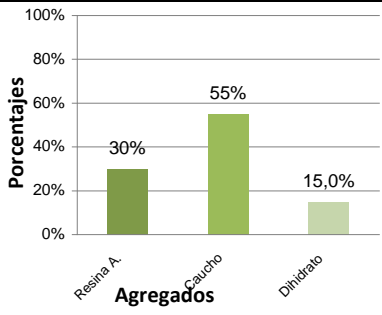
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P.L)/(b.h ²)
Carga P (N)	787	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,64 mm
b (mm)	246	h (mm)	15,0	σ flexión (N/mm ²)	3,20 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-09	Composite de caucho y arpilleras de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	247	14	150	606,14	854,13	0,710	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	30,0%	187,50	1,10	206,25	33,7%	
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	11,2%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	13,5%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	6,2%	
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	15,0%	93,75	2,32	217,50	35,5%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	612,81	100%	

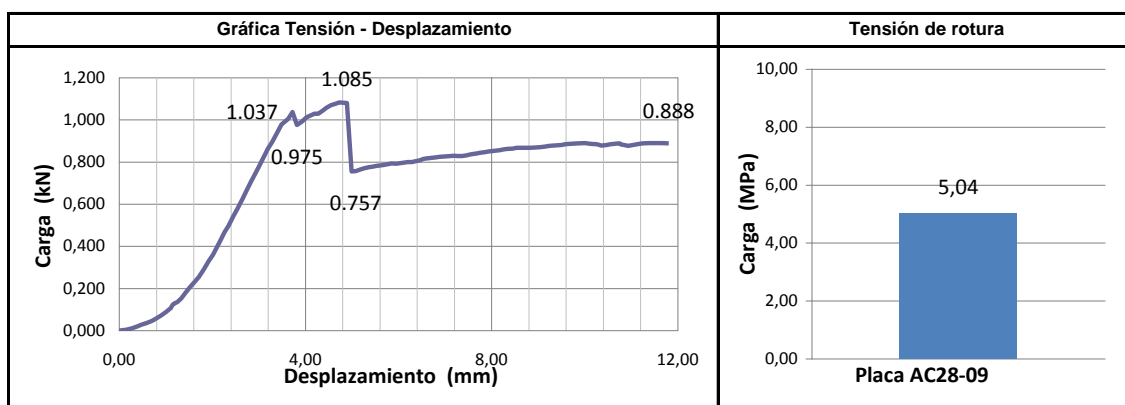
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + Anhid
Porcentajes x Volumen	30%	0%	55%	0,0%	15,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	101,89	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

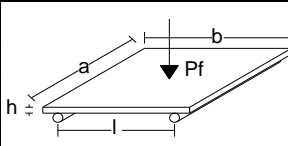
Mezcla más espesa que la anterior, de fácil manejo en molde y vaso. Presenta pequeñas burbujas de material cristalizado en las orillas de la placa. Buena apariencia y consistencia.

Pruebas físico mecánicas de tensión

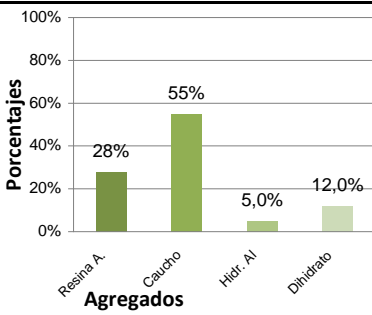
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	1085	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,80 mm
b (mm)	247	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	5,04 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-10	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
244	246	12,5	150	623,96	750,30	0,832	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

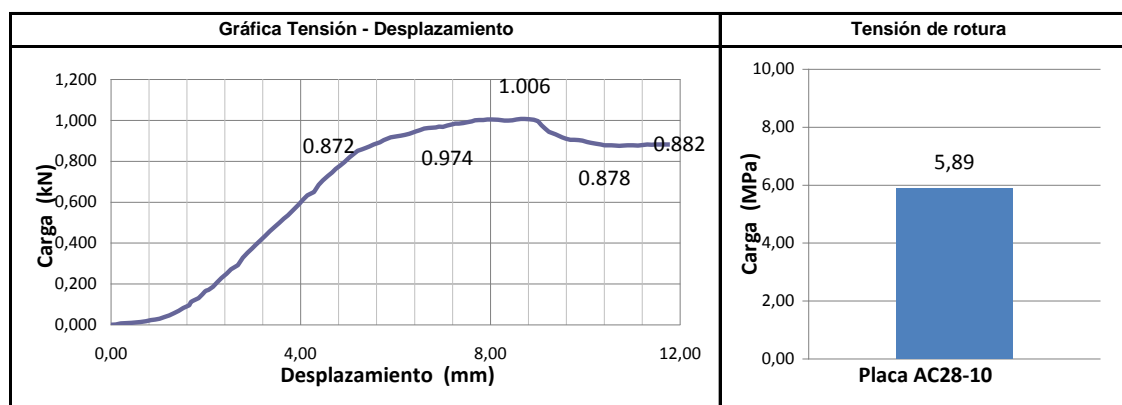
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrilica	28,0%	175,00	1,10	192,50	30,5%		
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,9%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	13,1%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	6,0%		
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	12,0%		
Dihidrato	12,0%	75,00	2,32	174,00	27,6%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	631,19	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	28%	0%	55%	5,0%	12,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	75,64	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla de consistencia espesa, de fácil manejo dentro de vaso y molde. No presento burbujas ni salida de material dentro de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	1006	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,93 mm
b (mm)	246	h (mm)	12,5	σ flexión (N/mm ²)	5,89 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-11	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
246	246	13	150	636,37	786,71	0,809	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	29,2%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	7,8%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,4%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	11,5%	
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	11,5%	
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%	
Semihidrato	12,0%	75,00	2,70	202,50	30,7%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	659,69	100%	

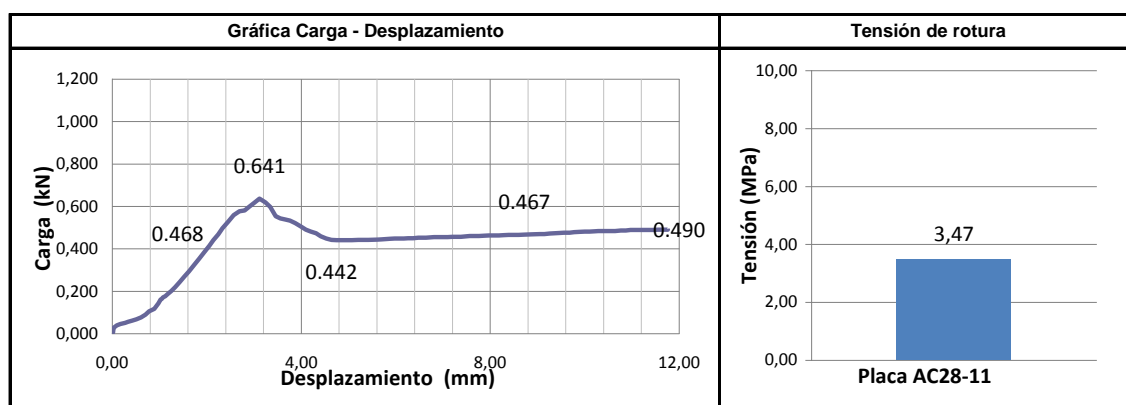
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + Anhidrita
Porcentajes x Volumen	28%	0%	55%	5,0%	0,0%	12,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	59,99	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

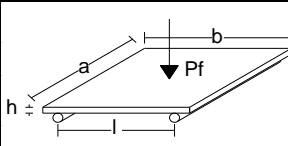
Mezcla pastosa, con problemas para hacer la mezcla en vaso, pero de buena trabajabilidad en molde..

Pruebas físico mecánicas de tensión

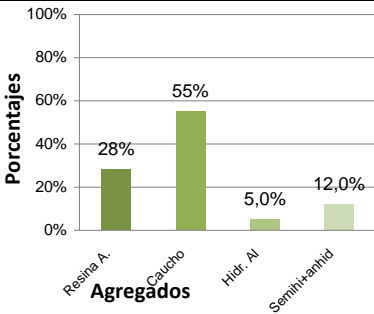
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	641	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,74 mm
b (mm)	246	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	3,47 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-12	Composite de caucho y arpiller de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	247	13	150	658,37	786,70	0,837	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

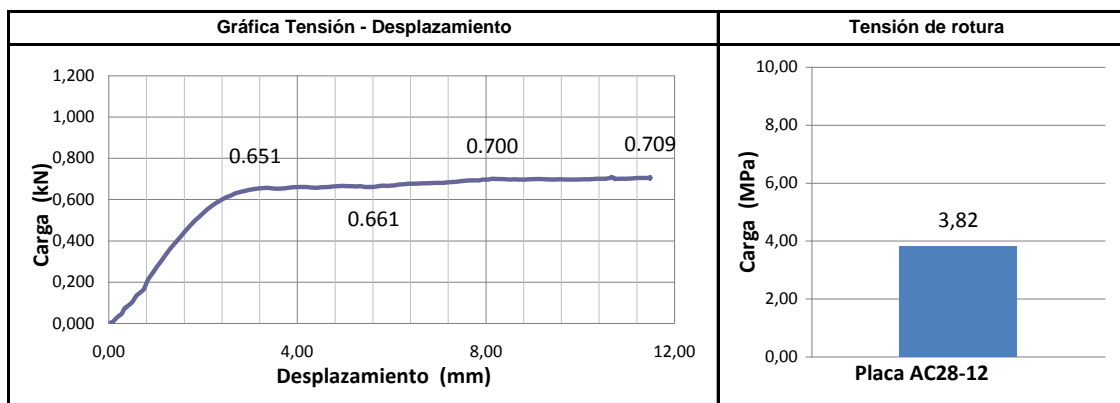
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	28,3%		
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,1%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	12,1%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	11,0%	68,75	0,55	37,81	5,6%		
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	11,1%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An	12,0%	75,00	2,96	222,00	32,7%		
Totales	100%	625,00	—	679,19	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhyd
Porcentajes x Volumen	28%	0%	55%	5,0%	0,0%	0,0%	12,0%
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	74,31	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

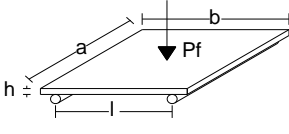
La mezcla fue muy espesa por la cantidad de agregados pétreos, La mezcla creció a más del doble de su Volumen y se generaron burbujas al interior de la estufa. SE RECOMIENDA TENER UNA RELACION MENOR DEL 17% DE AGREGADOS PETREOS POR 28% DE RESINA.

Pruebas físico mecánicas de tensión

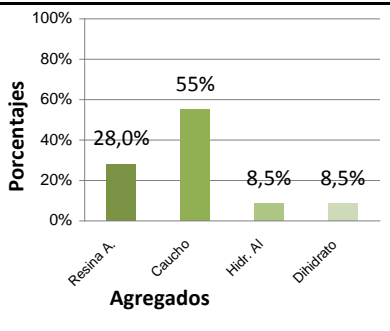
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	709	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,48 mm
b (mm)	247	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	3,82 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC28-13	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	246	13,5	150	610,20	813,65	0,750	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	30,4%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,1%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,8%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	11,9%	
Hidrato de Aluminio	8,5%	53,13	2,42	128,56	20,3%	
Dihidrato	8,5%	53,13	2,32	123,25	19,5%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	

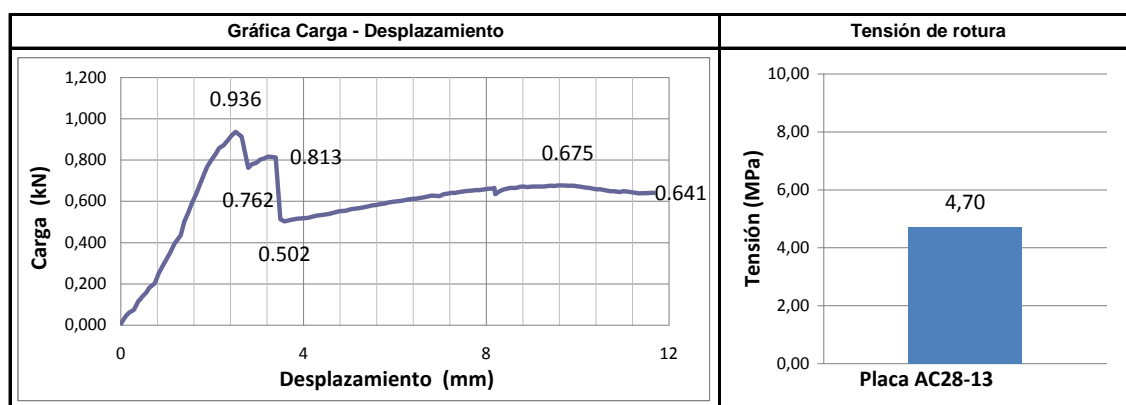
Totales	100%	625,00	—	633,38	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihid+anhid
Porcentajes x Volumen	28,0%	0%	55%	8,5%	8,5%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	73,17 g		2 g		0 g		3 g

Observaciones del proceso de elaboración

Mezcla espesa, buena trabajabilidad en molde, no se tiene mucha emisión de material al interior de la estufa.

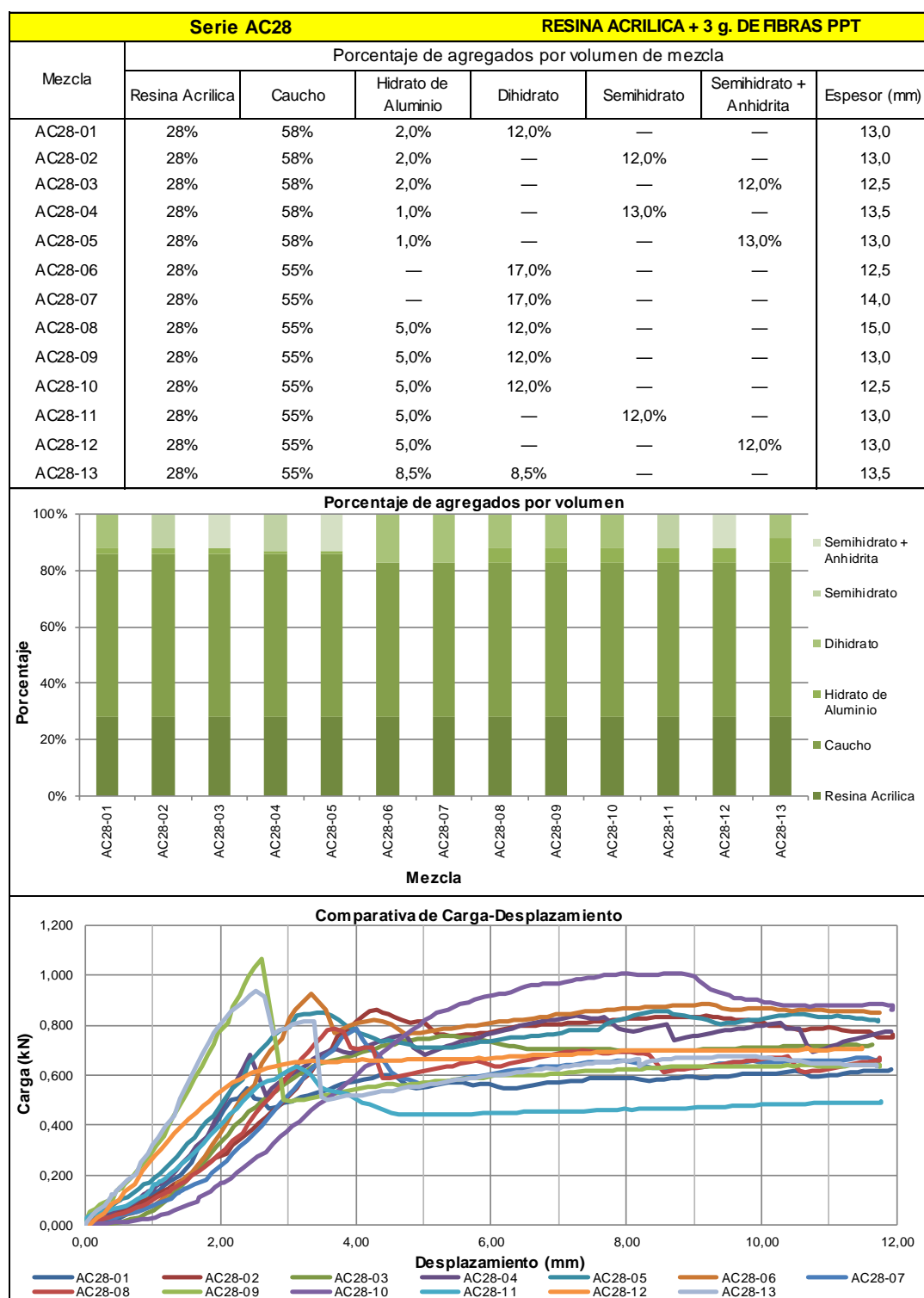
Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	936	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,74 mm
b (mm)	246	h (mm)	13,5	σ flexión (N/mm ²)	4,70 MPa

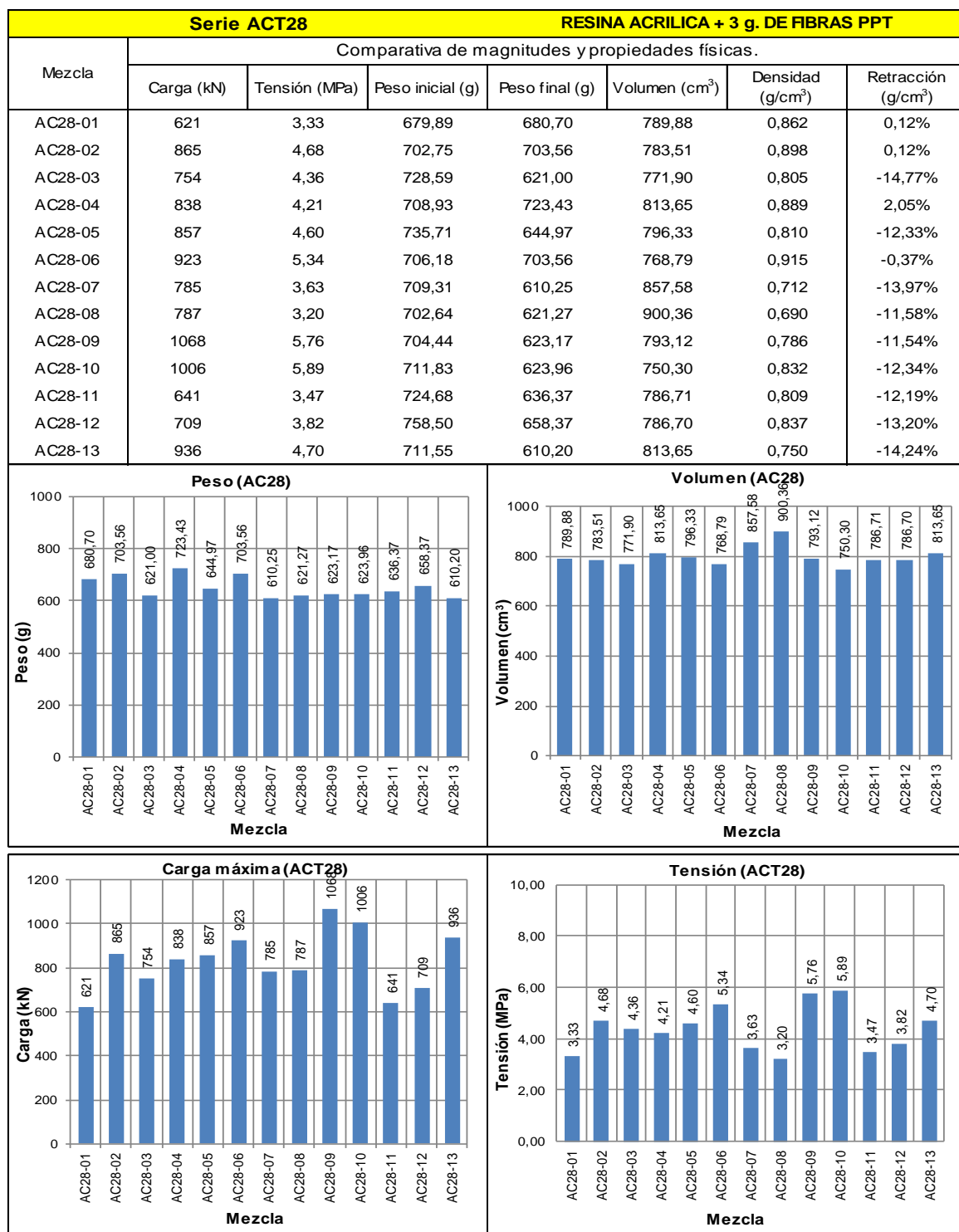


Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Ficha comparativa de las mezclas de la Serie AC28



Ficha comparativa de las mezclas de la Serie AC28



Conclusiones de la SERIE AC28

Tres placas de esta serie soportaron cargas de **más de 900 kN**, sin embargo ninguna llegó a los 6 MPa, debido a su espesor medio. Estas mezclas tienen al Dihidrato como agregado principal y siendo en una de ellas, el único agregado además del caucho reciclado en la matriz acrílica.

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhidrita
AC28-10	12.5	1006	5.89	28	55	5.0	12.0	--	--
AC28-06	12.5	923	5.34	28	55	--	17.0	--	--
AC28-09	13.0	1068	5.76	28	55	5.0	12.0	--	--

Haciendo una comparativa entre las placas con mayores resistencias, menores contracciones y mayor estabilidad dimensional, se observa que el Dihidrato en combinación con Hidrato de Aluminio, otorga mejores propiedades a la placa. Posiblemente sea por la pérdida de más cadenas de H₂O durante el proceso de curación, lo que genere que estos elementos creen mayores uniones cristalinas al interior de la placa.

Las mezclas que soportaron menor carga en el ensayo a tensión fueron:

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Anhidrita	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhidrita
AC28-01	13.0	621	3.33	28	58	2.0	12.0	--	--
AC28-11	13.0	641	3.47	28	55	5.0	--	12.0	--

Al disminuir el volumen de resina y aumentar el volumen de caucho, se reduce la cantidad de carga que soportan las mezclas. Se observa que la relación mínima de resina-caucho debe estar comprendida entre un 28% de resina y un 55%, pudiendo aumentar o disminuir de manera conjunta, pero no inversamente.

Se hizo una comparativa de diferentes mezclas, teniendo como base un 28% de resina, 58% de caucho y 2-5% de Hidrato de Aluminio, realizando la comparativa de los resultados que se obtenían en los ensayos de resistencia, empleando variaciones en los otros agregados.

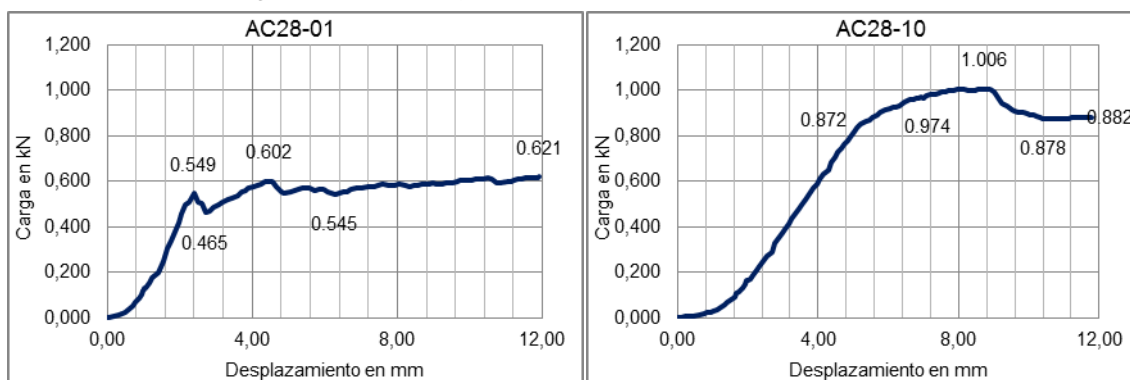
Los resultados fueron los siguientes:

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhidrita
AC28-01	13.0	621	3.33	28	58	2.0	12.0	--	--
AC28-02	13.0	865	4.68	28	58	2.0	--	12.0	--
AC28-03	12.5	754	4.36	28	58	2.0	--	--	12.0
AC28-10	12.5	1006	5.89	28	55	5.0	12.0	--	--
AC28-11	13.0	641	3.47	28	55	5.0	--	12.0	--
AC28-12	13.0	709	3.82	28	55	5.0	--	--	12.0

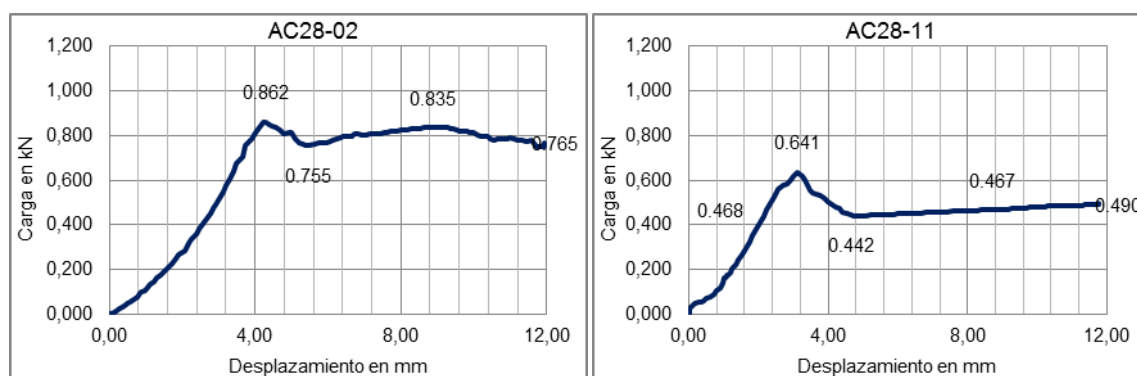
La formación de conexiones entre las moléculas de la estructura interna de la matriz, utilizando Dihidrato, disminuyen cuando se emplea 1:3 de Hidrato de Aluminio como agregado secundario, sin embargo, cuando se emplean proporciones cercanas al 1:2, la resistencia aumenta notablemente.

El Semihidrato y Semihidrato + Anhidrita tienen un mejor comportamiento comparadas con el Dihidrato en proporciones 1:6 cuando son mezcladas con Hidrato de Aluminio. Se propone tener combinaciones de Dihidrato e Hidrato de aluminio con al menos una proporción de 1:2 o 1:1 para aumentar la resistencia de las placas.

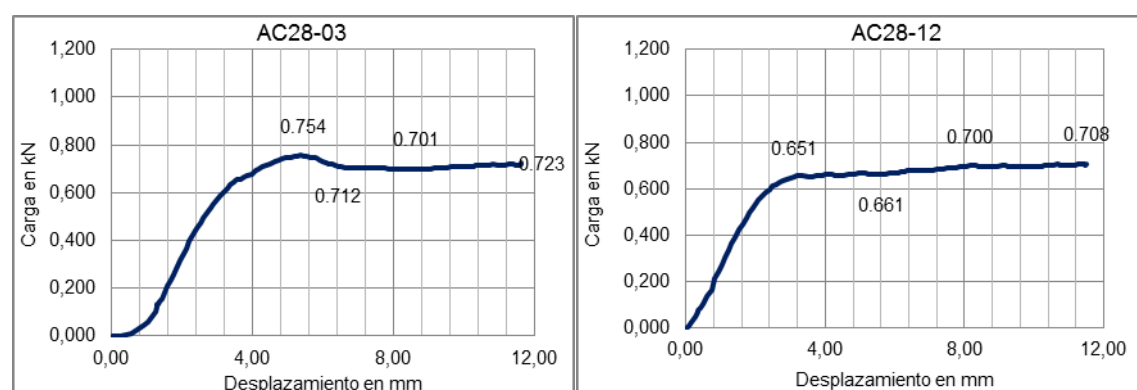
Comparativa de las gráficas de ensayo a tensión:



Las placas AC28-01 y AC28-10 elaboradas con mezclas cuyo agregado principal es el Dihidrato, tienen un comportamiento muy distinto en las dos proporciones utilizadas (1:6 gráfica izquierda y 1:2.4 gráfica derecha) notando un aumento considerable tanto en tenacidad como en resistencia a tensión al disminuir la diferencia de proporción entre la anhidrita y el hidrato de aluminio.



Las placas AC28-02 y AC28-11 elaboradas con mezclas cuyo agregado principal es el semihidrato tienen un comportamiento similar en los ensayos a tensión, sin importar la diferencia de proporción en combinación con el hidrato de aluminio. Estas mezclas tienen un índice de tenacidad menor comparado a los resultados obtenidos con la anhidrita y el semihidrato + anhidrita. Asimismo la deformación inicial tiene una rotura frágil ya que tiene una resistencia máxima que cae y se transforma en una deformación dúctil.



Las mezclas AC28-03 y AC28-12 elaboradas con semihidrato + anhidrita como agregado principal, muestran una deformación completamente dúctil, manteniendo la carga uniformemente hasta su deformación final. Si bien estas mezclas no tienen los mejores resultados de resistencia a tensión, es muy probablemente que sea debido al incremento del volumen producido por la combinación con la resina acrílica. El Hidrato de Aluminio estabiliza un poco la mezcla, evitando que se expanda más de un 200%.

En esta comparativa empleando la misma cantidad de agregados, observamos que el Semihidrato y Semihidrato + anhidrita en combinación con el hidrato de aluminio en proporción 1:6 dan mejores resultados que el Dihidrato en la misma proporción.

Variando la proporción de Dihidrato en combinación con Hidrato de Aluminio a 1:2.4 se obtienen mejores resistencias a tensión que las mezclas con Semihidrato y Semihidrato + anhidrita en la misma proporción.

Las mezclas con mayor retracción:

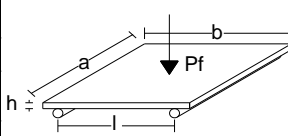
Mezcla	Retracción	Composición
AC28-03	- 14.77%	58% caucho, 2% hidrato de aluminio + 12% Semihidrato + anhidrita
AC28-13	- 14.24%	55% caucho, 8.5% hidrato de aluminio, 8.5% Dihidrato
AC28-07	- 13.97%	55% caucho, 17% Dihidrato

Las mezclas con menor retracción fueron:

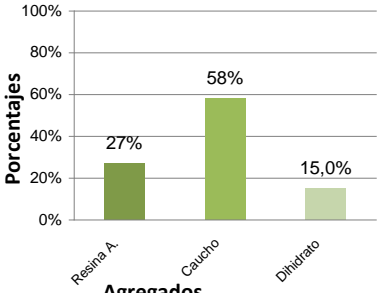
Mezcla	Retracción	Composición
AC28-01	0.12%	58% caucho, 2% hidrato de aluminio + 12% Dihidrato
AC28-02	0.12%	58% caucho, 2% hidrato de aluminio, 12% Semihidrato
AC28-04	2.05%	58% caucho, 1% hidrato de aluminio, 13% Semihidrato

9.3.4 SERIE AC27

(Resina acrílica en base agua + 2 g. de fibras PPT + 3 g. de fibras de vidrio)

Placa	AC27-01	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	248	12	150	631,72	729,12	0,866	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	27,0%	168,75	1,10	185,63	30,8%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,6%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	11,4%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	23,0%	143,75	0,55	79,06	13,1%	
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	15,0%	93,75	2,32	217,50	36,1%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	602,50	100%	

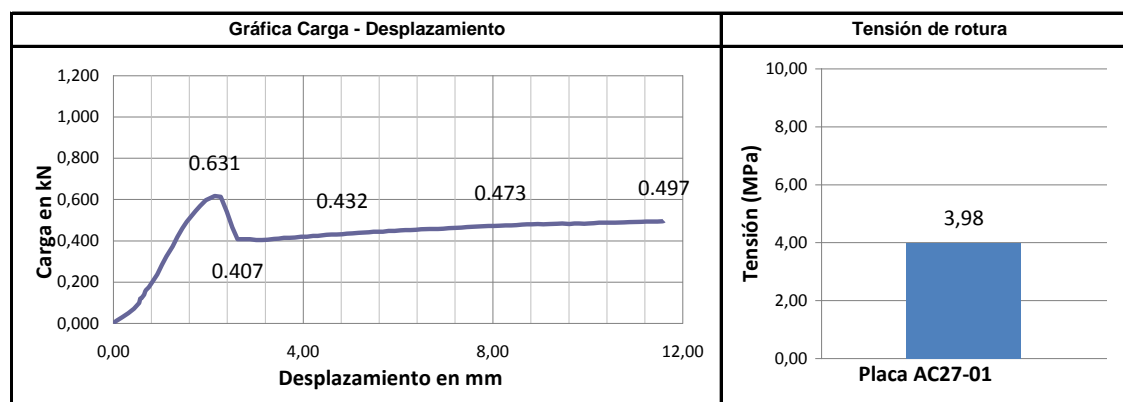
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	27%	0%	58%	0,0%	15,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	80,86	g	2	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

Mezcla blanda, de fácil manejo en vaso y en molde. Hay emisión de material al interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	631	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,61 mm
b (mm)	248	h (mm)	12,0	σ flexión (N/mm ²)	3,98 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC27-02	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	246	13	150	607,93	783,51	0,776	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	27,0%	168,75	1,10	185,63	29,1%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	21,0%	131,25	0,55	72,19	11,3%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	25,0%	156,25	0,55	85,94	13,5%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	12,0%	75,00	0,55	41,25	6,5%	
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%	
Semihidrato	15,0%	93,75	2,70	253,13	39,7%	
Semihidrato + An	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	638,13	100%	

Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	27%	0%	58%	0,0%	0,0%	15,0%	0,0%

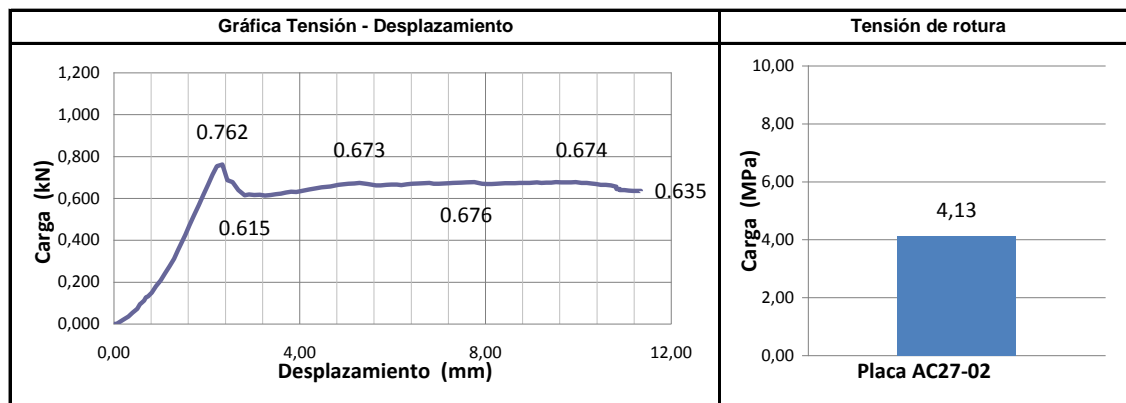
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	69,59	g	2	g	0	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

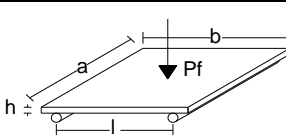
Mezcla uniforme y de fácil manejo al interior de molde. Se observa que al utilizar escayola o sulfato de calcio, las mezclas tienden a ser estables, sin hincharse demasiado como cuando se utiliza yeso. No se tienen emisiones de material al interior de la estufa. La temperatura ideal para el curado de las muestras es sobre 140-960°C durante unos 60-70 min.

Pruebas físico mecánicas de tensión

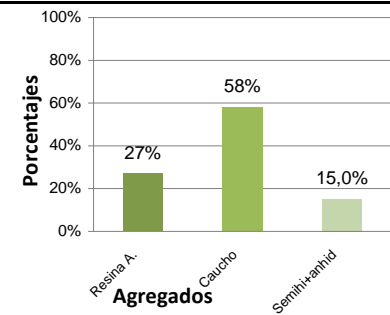
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	763	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,94 mm
b (mm)	246	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	4,13 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acrídur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC27-03	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
243	244	15	150	654,29	889,38	0,736	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

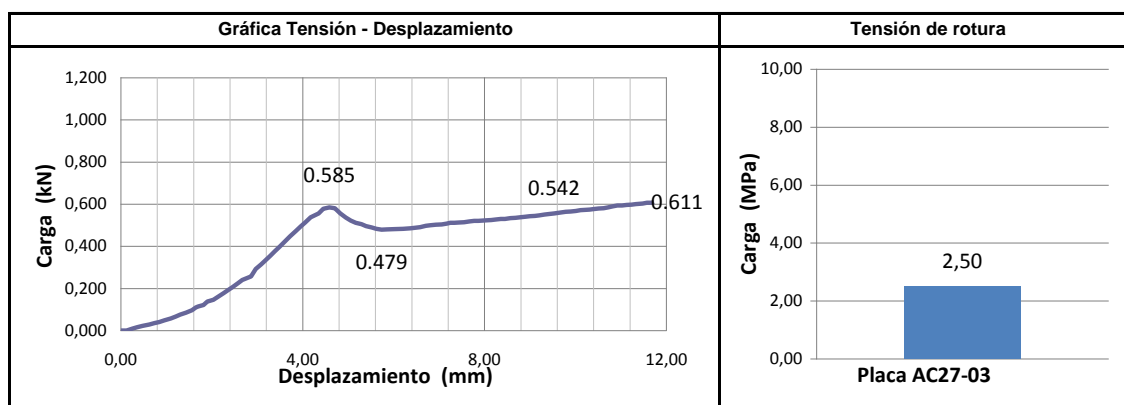
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrilica	27,0%	168,75	1,10	185,63	28,0%		
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	21,0%	131,25	0,55	72,19	10,9%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	25,0%	156,25	0,55	85,94	13,0%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	12,0%	75,00	0,55	41,25	6,2%		
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%		
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An	15,0%	93,75	2,96	277,50	41,9%		
Totales	100%	625,00	—	662,50	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhyd
Porcentajes x Volumen	27%	0%	58%	0,0%	0,0%	0,0%	15,0%
Fibras	Arpillera de yute		PPT (Termofusionable)		PPM (multifilamento)		Fibras de vidrio 20 mm.
	92,15	g	0	g	2	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

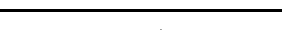
Mezcla espesa y pegajosa, de difícil manejo con la adición de fibras, tiende a hincharse dentro de molde y muy difícil para dar uniformidad a la placa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	611	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,73 mm
b (mm)	244	h (mm)	15,0	σ flexión (N/mm ²)	2,50 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC27-04	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
248	248	11	150	590,61	676,544	0,873	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	27,0%	168,75	1,10	185,63	29,2%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,1%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,7%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	11,9%	
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%	
Dihidrato	18,0%	112,50	2,32	261,00	41,1%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	635,69	100%	

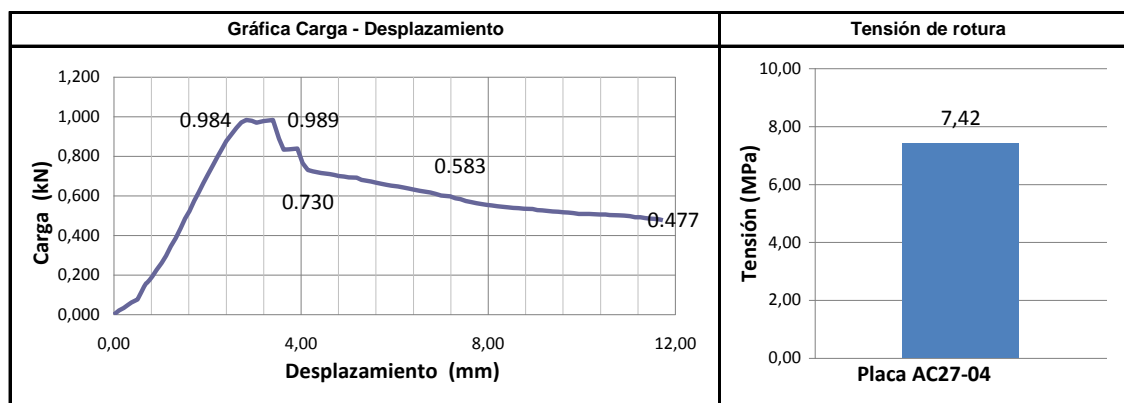
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihid+anhid
Porcentajes x Volumen	27%	0%	55%	0,0%	18,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	80,86	g	0	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

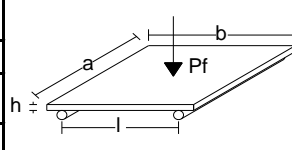
Mezcla blanda de consistencia líquida, tiene buena trabajabilidad en molde y hay emisión de material al interior de la estufa. No se añaden fibras de PPT.

Pruebas físico mecánicas de tensión

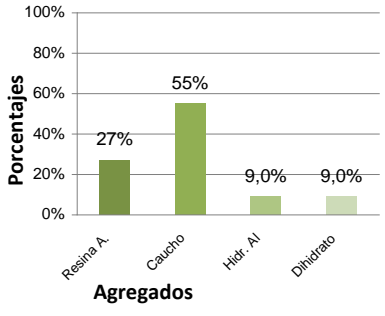
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	989	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,74 mm
b (mm)	248	h (mm)	11,0	σ flexión (N/mm ²)	7,42 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acrídur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC27-05	Composite de caucho y arpiller de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	249	12,5	150	629,26	768,7875	0,819	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	27,0%	168,75	1,10	185,63	28,9%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,0%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,6%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	11,8%	
Hidrato de Aluminio	9,0%	56,25	2,42	136,13	21,2%	
Dihidrato	9,0%	56,25	2,32	130,50	20,3%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	641,31	100%	

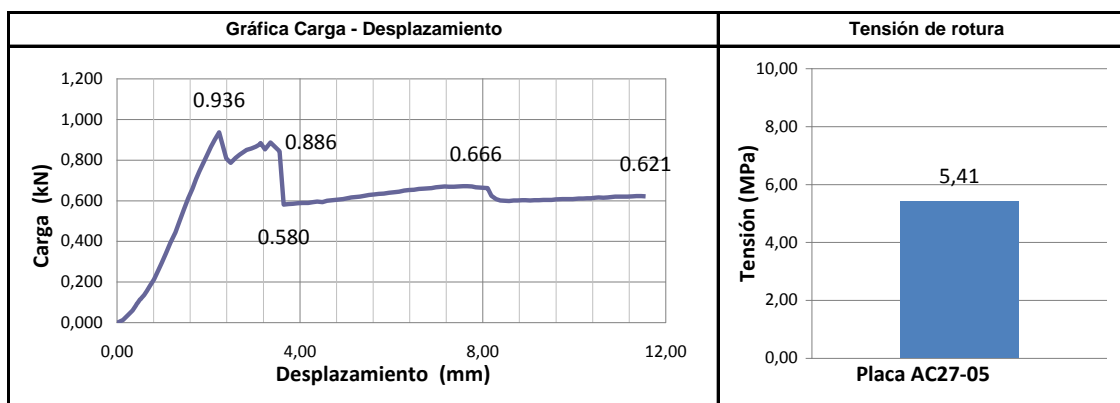
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	27%	0%	55%	9,0%	9,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	73,65 g		2 g		0 g		3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla muy consistente y espesa, de facil manejo al interior del molde.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	936	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,57 mm
b (mm)	249	h (mm)	12,5	σ flexión (N/mm ²)	5,41 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC27-06	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
249	249	11,5	150	626,48	713,0115	0,879	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

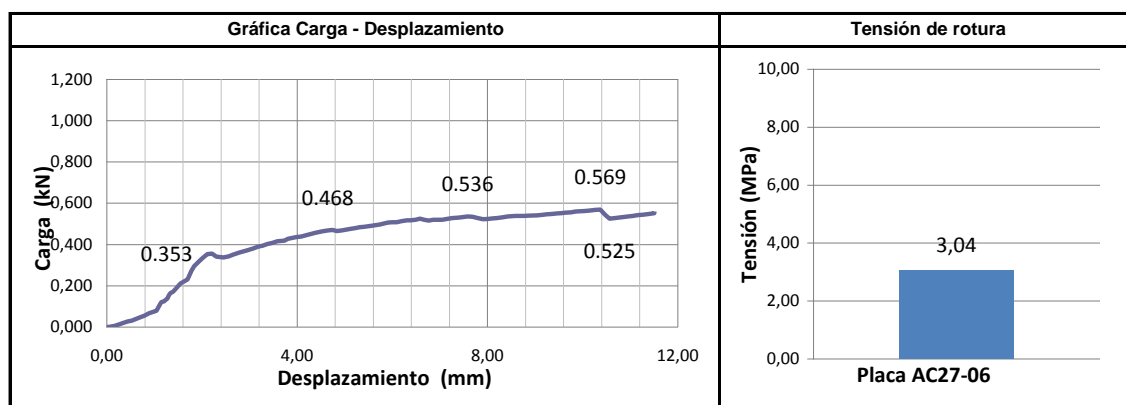
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	27,0%	168,75	1,10	185,63	29,0%		
Resina de poliester	0,00%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,1%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,7%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	11,8%		
Hidrato de Aluminio	6,0%	37,50	2,42	90,75	14,2%		
Dihidrato	12,0%	75,00	2,32	174,00	27,2%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	639,44	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhidr.
Porcentajes x Volumen	27%	0%	55%	6,0%	12,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	84,67	g	0	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

Mezcla espesa, buena trabajabilidad y fácil manejo dentro del molde

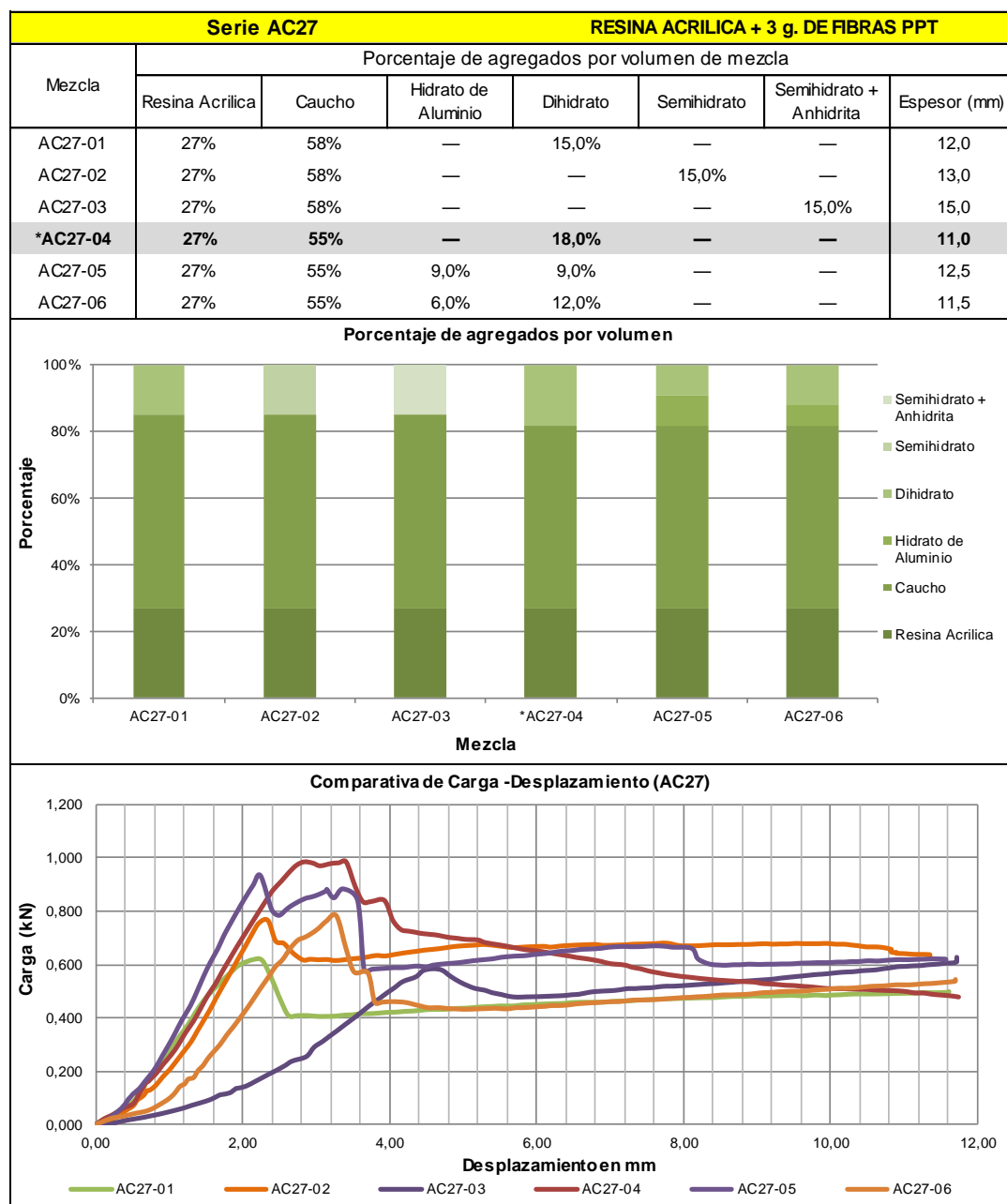
Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	$1.5(P \cdot L)/(b \cdot h^2)$
Carga P (N)	782	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,70 mm
b (mm)	249	h (mm)	11,5	σ flexión (N/mm ²)	5,34 MPa



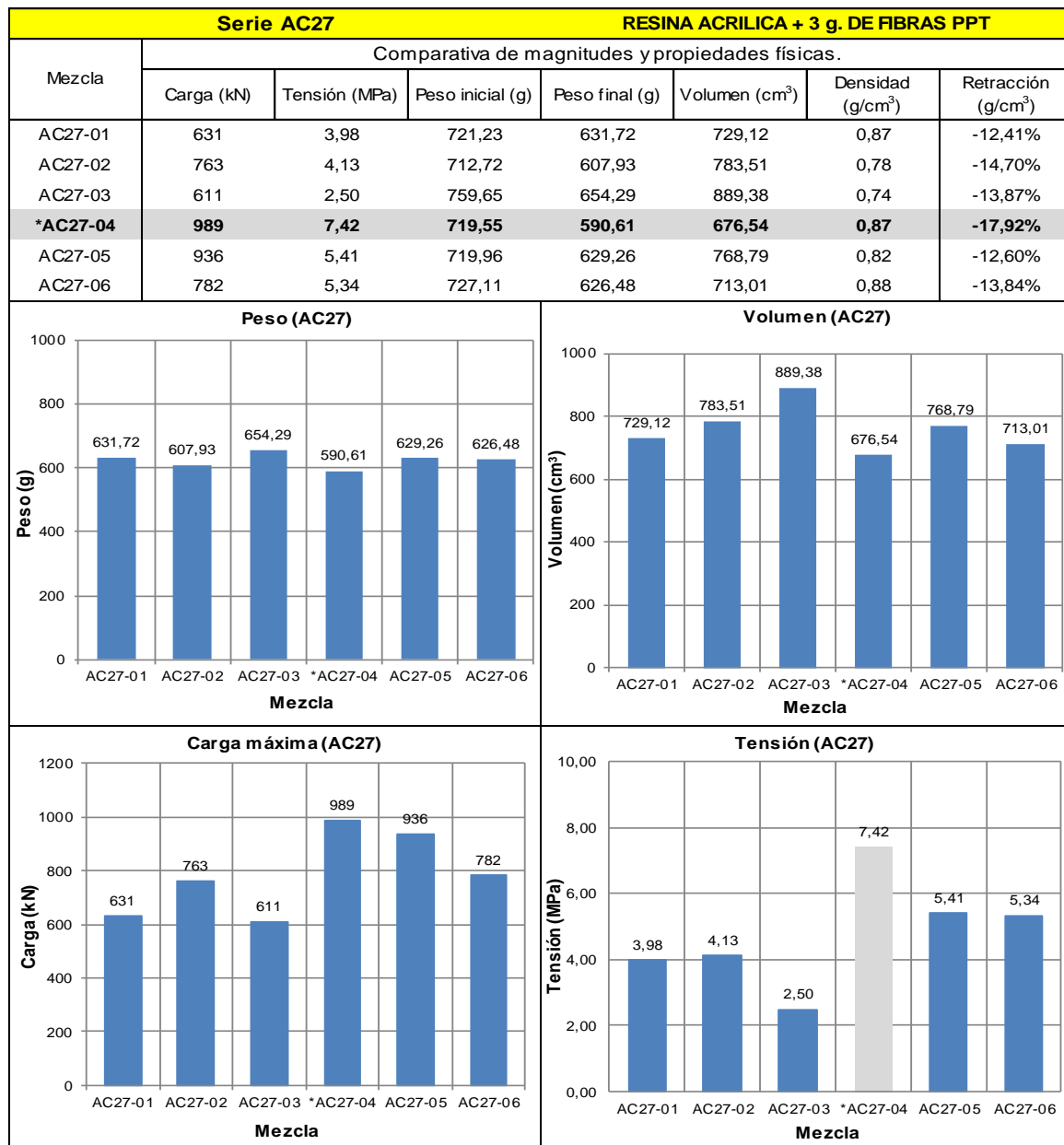
Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Ficha comparativa de las mezclas de la Serie AC27



* La mezcla que se resalta en color gris soporto una mayor tensión superior a 6 MPa.

Ficha comparativa de las mezclas de la Serie AC27



* La mezcla que se resalta en color gris soporta una mayor tensión superior a 6 MPa.

Conclusiones de la SERIE AC27

La serie AC27, se compone de seis mezclas, siendo la mezcla **AC27-04** la que mejor resistencia a flexo-tracción obtuvo, así como un menor espesor promedio, aunque fue la que mayor retracción presento. Esta placa fue elaborada con Dihidrato (18% de volumen en mezcla) como principal agregado y en comparación con las mezclas que tienen Dihidrato e Hidrato de Aluminio, se puede deducir que este último material en relación 1:1 o 1:2 estabiliza las diferencias de densidades (inicial-final) de la mezcla, al mismo tiempo que el Dihidrato otorga una mayor resistencia a la mezcla.

Las placas que soportaron mayor carga fueron:

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhídrita
AC27-04	11.0	989	7.42	27	55	--	18.0	--	--
AC27-05	12.5	936	5.41	27	55	9.0	9.0	--	--

Se observa nuevamente el aumento que el Dihidrato otorga a la placa, (mezclas AC27-04 y 05), así como la importancia de tener un 55% de volumen de caucho en mezcla. Este es un dato importante ya que al variar la cantidad de caucho-Dihidrato se tienen variaciones en las resistencias finales de la mezcla.

Comparando las placas con agregado único tenemos los siguientes resultados

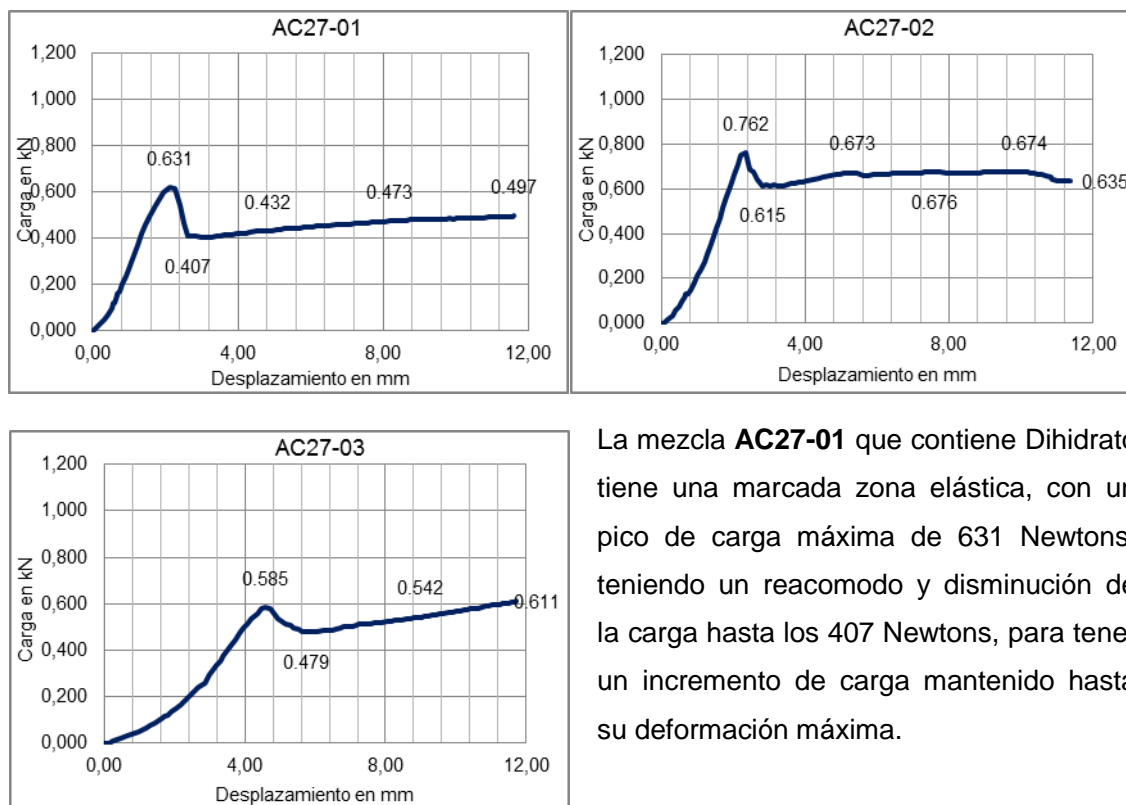
Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhídrita
AC27-01	12.0	631	3.98	27	58	--	15.0	--	--
AC27-02	13.0	763	4.13	27	58	--	--	15.0	--
AC27-03	15.0	611	2.50	27	58	--	--	--	15.0

Estas mezclas emplearon un mayor porcentaje de caucho (58%) presentando reducciones en la resistencia final del elemento. Asimismo el comportamiento del Dihidrato como agregado único desciende. El Semihidrato en este caso tuvo mejores resultados de resistencia a flexo-tracción aunque con un mayor espesor medio.

Se concluye que el porcentaje ideal de caucho en mezcla es de un 55%, ya que se obtienen mejores resultados de resistencia y uniformidad al interior de las placas.

Se observa que el Semihidrato + Anhidrita hace inestable la mezcla, al aumentar el espesor medio de las placas y disminuyendo su resistencia a flexo-tracción.

Comparativa de gráficas de los ensayos a tensión.



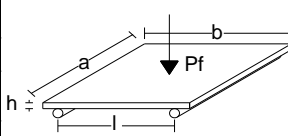
La mezcla **AC27-01** que contiene Dihidrato tiene una marcada zona elástica, con un pico de carga máxima de 631 Newtons, teniendo un reacomodo y disminución de la carga hasta los 407 Newtons, para tener un incremento de carga mantenido hasta su deformación máxima.

La mezcla **AC27-02** elaborada con Semihidrato como agregado principal, tiene un comportamiento en la deformación más estable. Presenta una definida y corta zona elástica, con un pequeño reacomodo y disminución de carga, para presentar una meseta de fluencia en la zona plástica, manteniendo una carga más o menos uniforme hasta su deformación final. Esta mezcla además de tener la mayor resistencia, también tiene un comportamiento más estable a la deformación por flexo-tracción.

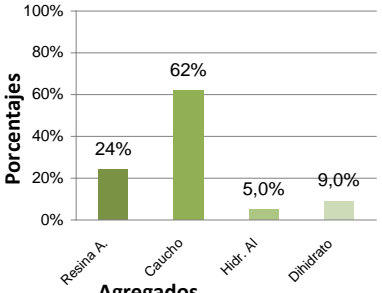
La mezcla **AC27-03** elaborada con Semihidrato + Anhidrita como agregado principal, presenta un periodo elástico mayor, comparado con las otras mezclas, un reacomodo con una pequeña disminución de carga en el periodo plástico, para volver a entrar en carga hasta su deformación máxima, donde se obtuvo la carga máxima. Esta placa, si bien obtuvo la menor resistencia a flexo-tracción, si tuvo un mejor índice de tenacidad debido al gran periodo elástico y gran ductilidad en la segunda parte de su deformación, que bien puede definirse como una deformación/rotura por fluencia.

9.3.5 MEZCLAS SINGULARES AC24 y AC22

(Resina acrílica en base agua + 2 g. de fibras PPT + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa	AC24-01	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
245	247	14	150	685,26	847,21	0,809	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado
	%	cm ³	g/cm ³	g	%	
Resina acrílica	24,0%	150,00	1,10	165,00	28,2%	
Resina de poliéster	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%	
Caucho (5,0-7,5 mm.)	12,0%	75,00	0,55	41,25	7,1%	
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	14,1%	
Caucho (0,5-1,5 mm.)	26,0%	162,50	0,55	89,38	15,3%	
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	12,9%	
Dihidrato	9,0%	56,25	2,32	130,50	22,3%	
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%	
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%	
Totales	100%	625,00	—	584,25	100%	

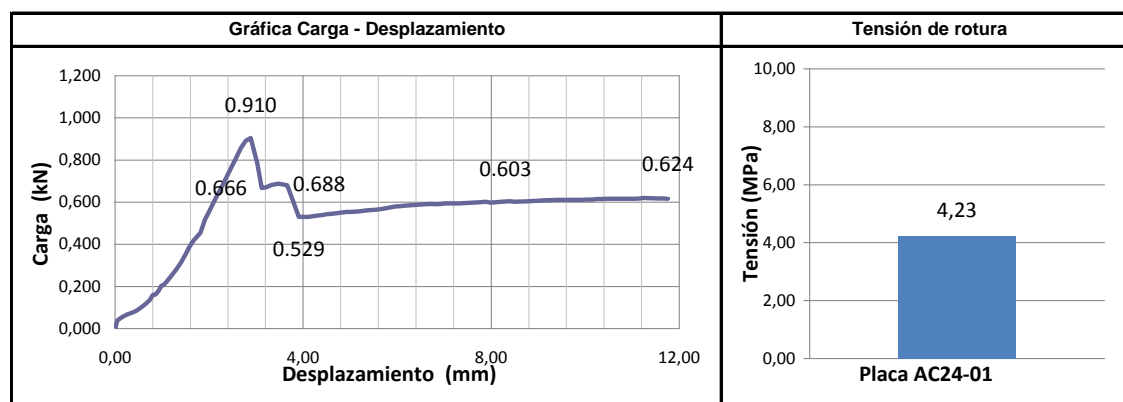
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihi+anhid
Porcentajes x Volumen	24%	0%	62%	5,0%	9,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	69,61	g	0	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración


Mezcla espesa, de fácil manejo al interior del molde, se pueden observar pequeños cristales de la resina y los agregados petreos, entre la masa de caucho. A esta mezcla no se añaden fibras de PP, únicamente fibras de vidrio como refuerzo en las caras superior e inferior de placa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	910	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,58 mm
b (mm)	247	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	4,23 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa	AC22-02	Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	247	14	150	602,94	854,126	0,706	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

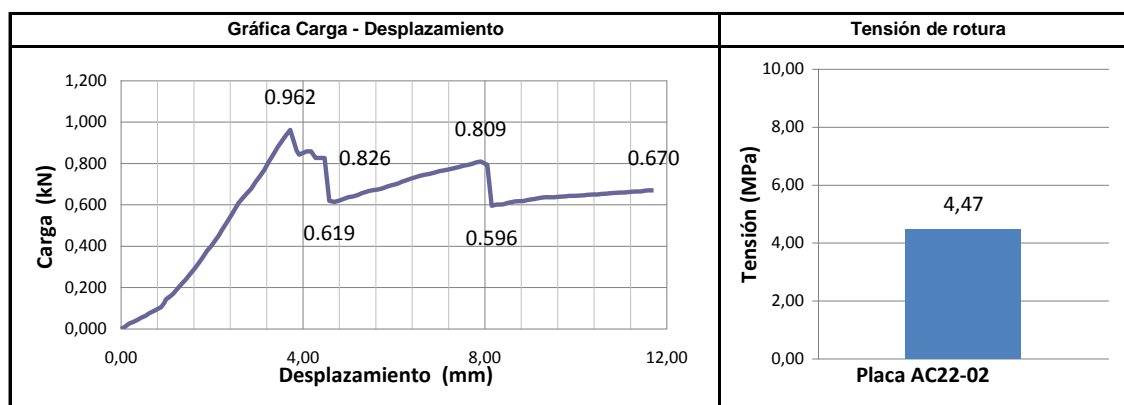
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	22,0%	137,50	1,10	151,25	25,7%		
Resina de poliéster	0,00%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	12,0%	75,00	0,55	41,25	7,0%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	24,0%	150,00	0,55	82,50	14,0%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	27,0%	168,75	0,55	92,81	15,8%		
Hidrato de Aluminio	4,0%	25,00	2,42	60,50	10,3%		
Dihidrato	11,0%	68,75	2,32	159,50	27,1%		
Semihidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semihidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%		
Totales	100%	625,00	—	587,81	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semihidrato	Semihidrato + anhid
Porcentajes x Volumen	22%	0%	63%	4,0%	11,0%	0,0%	0,0%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	88,09	g	0	g	0	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

Se decide probar cual es la menor cantidad de resina que puede soportar una mezcla adecuada con buena trabajabilidad y buenas características físicas, así que se toma la decisión de utilizar solo 22% de resina por Volumen total (625 cm³) y un total de 64% de caucho por Volumen. La trabajabilidad de la mezcla es muy buena y se tiene un resultado físico-visual final aceptable.

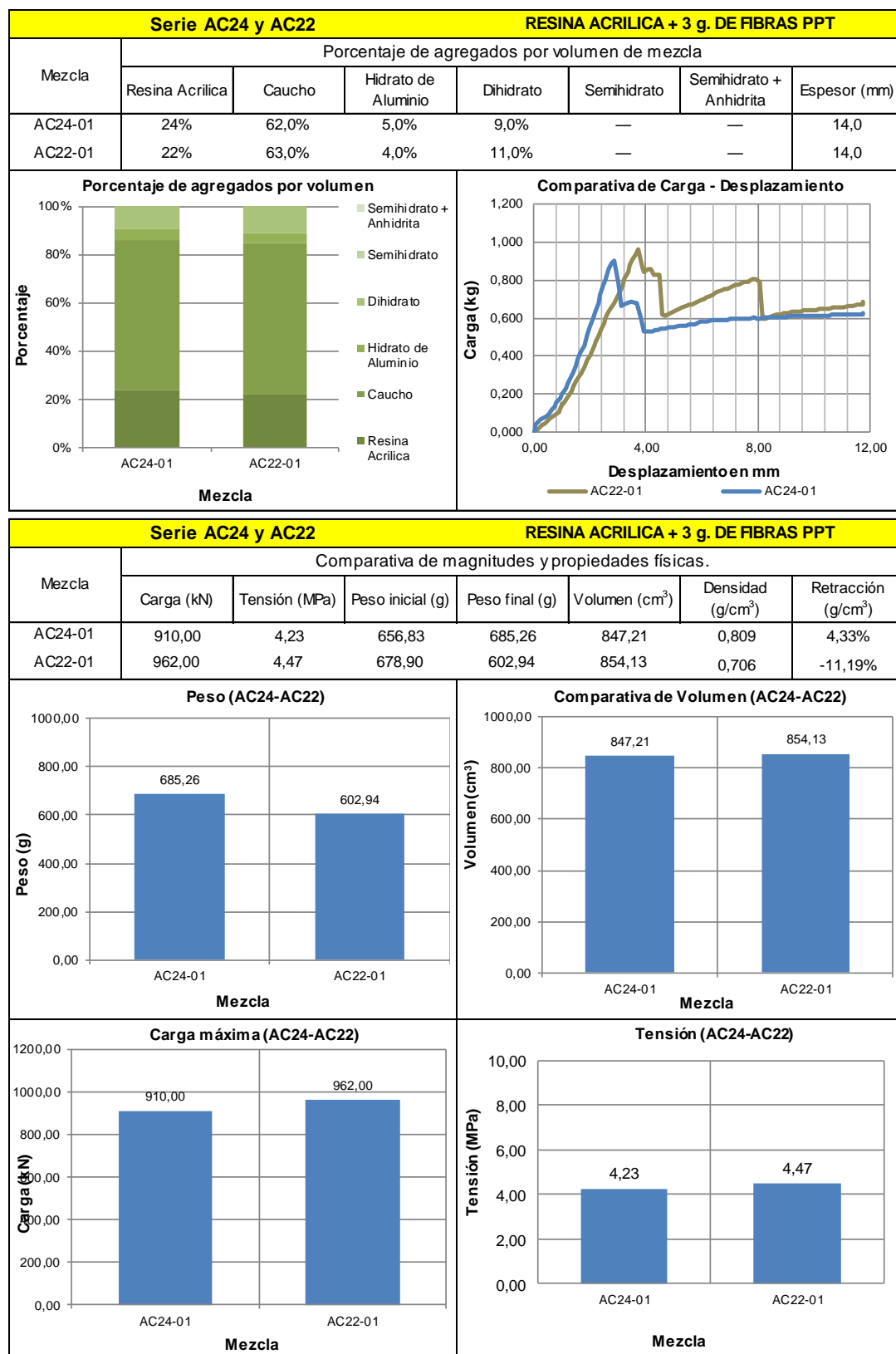
Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	962	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,74 mm
b (mm)	247	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	4,47 MPa



Las placas de la serie AC, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato más Anhidrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Comparativa de las mezclas de la serie AC24 y AC22.



Conclusiones de las mezclas singulares AC24 y AC22

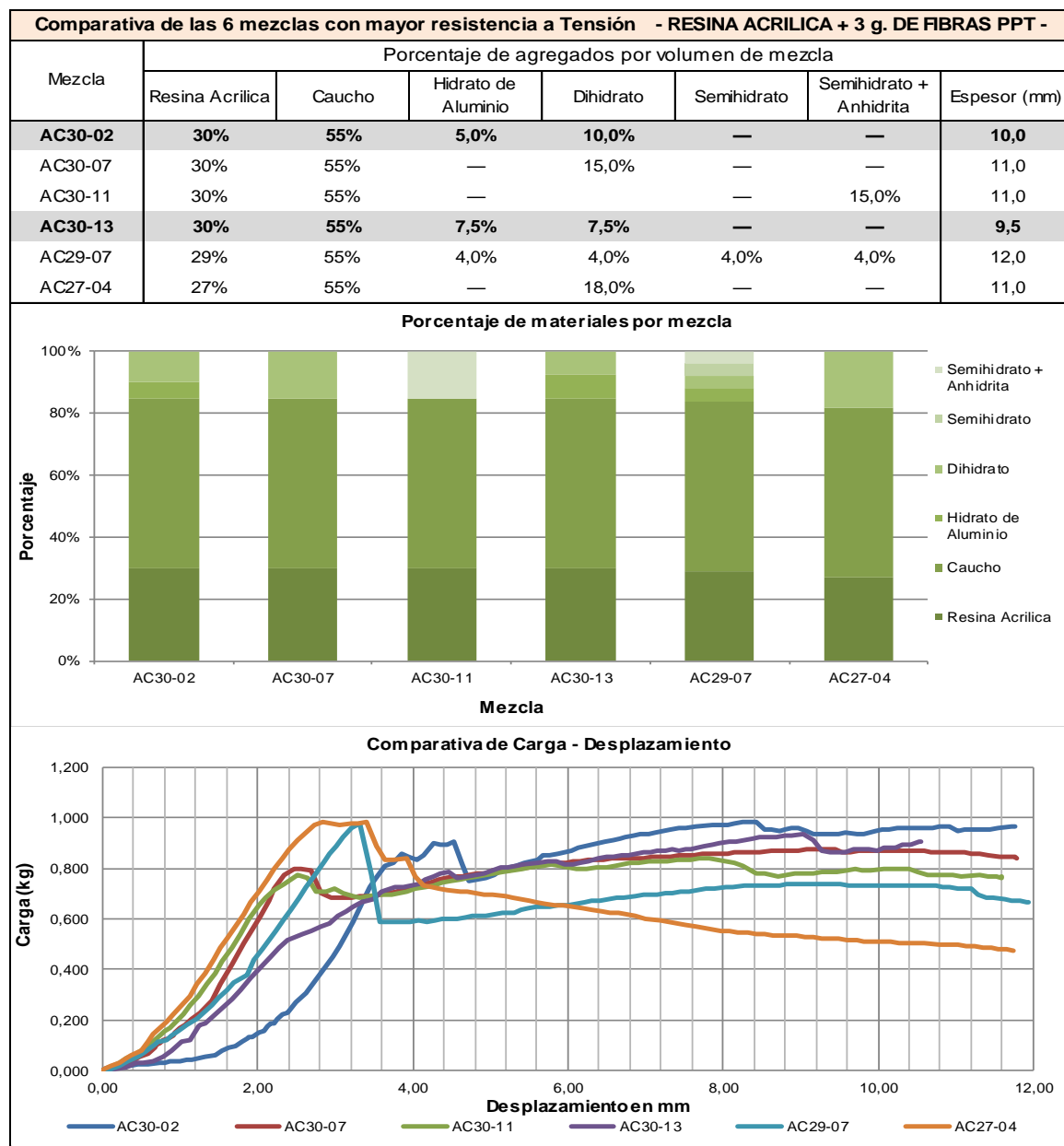
Después de los resultados obtenidos con las demás mezclas de la Serie AC, se estudió la posibilidad de realizar mezclas con saturación de caucho y evaluar su comportamiento físico de deformación y resistencia a flexo-tracción. Se decidió hacer dos mezclas con un 22% y 24% de volumen de resina y un 64% y 62% de volumen de caucho respectivamente. Se utilizó una combinación de Hidrato de Aluminio y Dihidrato como agregados pétreos, al ver que eran los materiales que brindaban una mayor estabilidad y mejores resistencias en las pruebas de flexo-tracción.

Los resultados físicos de las mezclas, muestran que ambas tuvieron un idéntico espesor medio (14mm) y un volumen similar. Sin embargo la retracción fue diferente, teniendo que la mezcla AC22 tuvo una retracción de más 11% entre su densidad inicial y final, y para la mezcla AC24, tuvo por el contrario una expansión, aumentando su densidad final en comparación con la densidad inicial.

Contrario a los resultados que sobre papel, se esperaban, la placa elaborada con un menor porcentaje de volumen de resina obtuvo mejores resultados de resistencia a flexo-tracción, así como un mayor periodo elástico e índice de tenacidad. De este ensayo y comparativa se concluye que la cantidad de agregados por volumen mínimo es de un 15%. Siendo la relación 1:2 (Hidrato de Aluminio/Dihidrato) la que mejor resultado presenta.

Ambas mezclas superaron los **4 MPa**, con una relación muy baja de resina, por lo que se comprueba que es posible generar materiales con una resistencia media a flexo-tracción. Este dato permite asentar una base de diseño en donde la generación de los elementos se adapte a la función a desempeñar, optimizando los agregados y disminuyendo el coste final del producto.

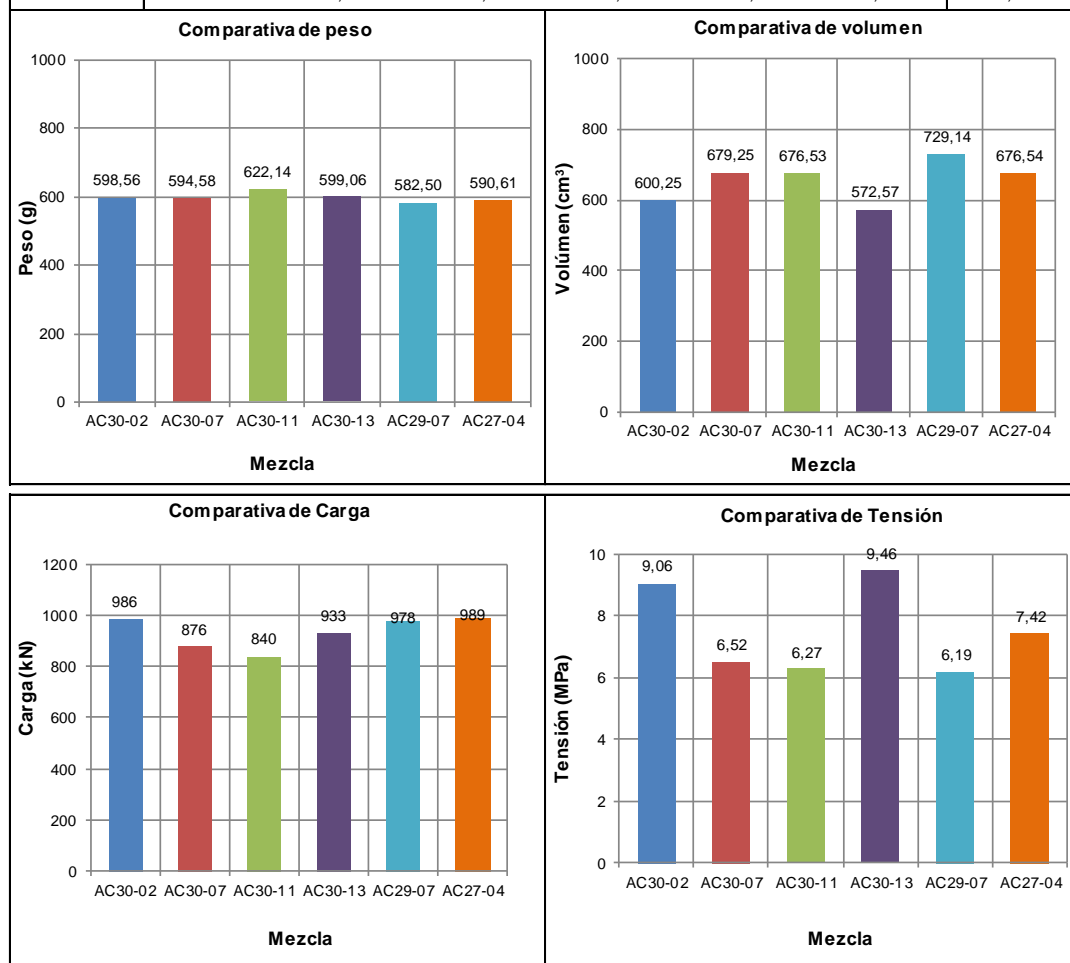
9.3.6 COMPARATIVA DE LAS MEJORES MEZCLAS (SERIE AC)



* Las mezclas resaltadas en color gris han sido las que tuvieron mayores resistencias a tensión.

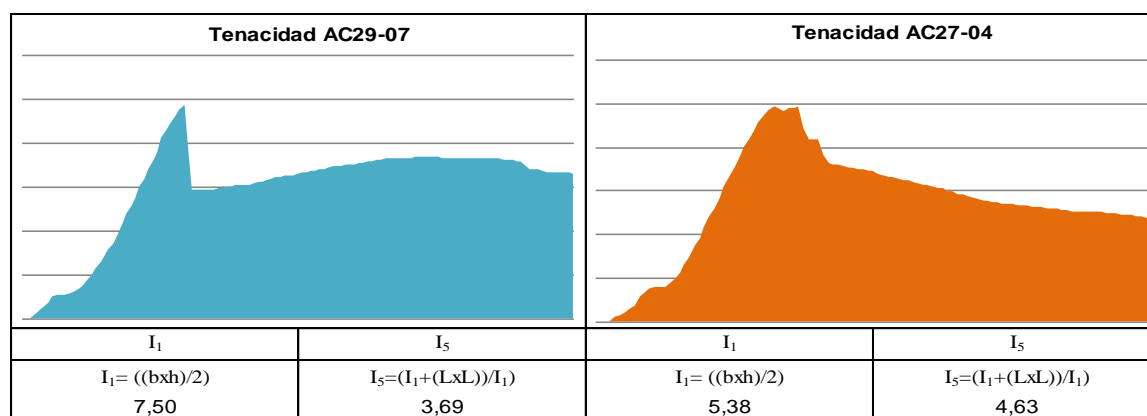
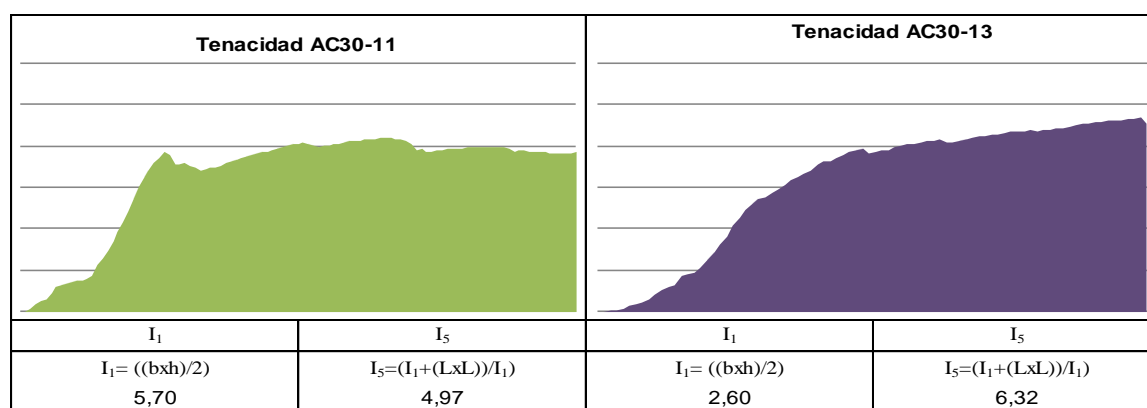
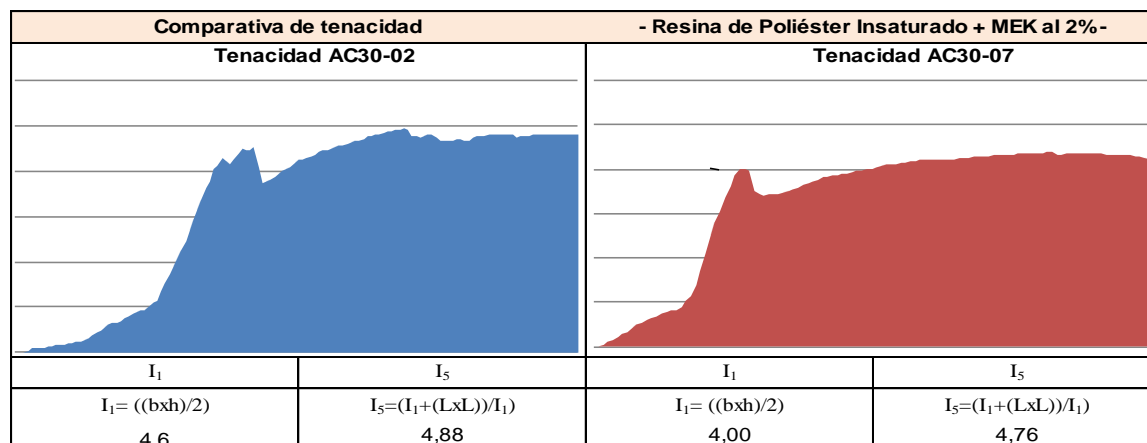
COMPARATIVA DE LAS MEJORES MEZCLAS (SERIE AC)

Comparativa de las 6 mezclas con mayor resistencia a Tensión - RESINA ACRILICA + 3 g. DE FIBRAS PPT -							
Mezcla	Comparativa de magnitudes y propiedades físicas.						
	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Retracción (g/cm ³)
AC30-02	986	9,06	688,18	598,56	600,25	0,997	-13,02%
AC30-07	876	6,52	686,15	594,58	679,25	0,875	-13,35%
AC30-11	840	6,27	791,57	622,14	676,53	0,920	-21,40%
AC30-13	933	9,46	691,97	599,06	572,57	1,046	-13,43%
AC29-07	978	6,19	737,95	582,50	729,14	0,799	-21,07%
AC27-04	989	7,42	719,55	590,61	676,54	0,87	-17,92%



* Las mezclas resaltadas en color gris han sido las que tuvieron mayores resistencias a tensión.

COMPARATIVA DE TENACIDAD DE LAS MEJORES MEZCLAS SERIE AC



Conclusiones de la SERIE AC

En la mezcla AC30-13 se observa una relación directa entre la tenacidad y el aumento de resistencia a tensión de las placas, ya que fue la que mayores valores tuvo en ambos casos.

La mezcla AC29-07, AC30-02 y AC30-07 tuvieron una deformación por fluencia, ya que se ve claramente el límite de elasticidad, después una meseta por fluencia, pasando por un endurecimiento por deformación hasta llegar a una estricción de fluencia o adelgazamiento de la sección.

Por último la mezcla AC27-04 muestra una deformación más similar a la rotura por fatiga, en donde se tiene clara zona de trabajo con el límite elástico, una zona de deformación sin reacomodos o endurecimiento por deformación y una gran zona de rotura en donde llega hasta su deformación máxima.

En esta serie elaborada con resina acrílica, se tiene un comportamiento totalmente distinto al de la serie elaborada con resina de poliéster insaturado, obteniendo placas con un aspecto más uniforme, mejor apariencia, mayor resistencia a flexión, facilidad en el proceso de elaboración y la ausencia de emisión de olores fuertes desde su proceso de elaboración hasta la elaboración de los ensayos físicos.

Los resultados de los ensayos a flexión fueron los siguientes:

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Dihidrato	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhidrita
AC30-02	10.0	986	9.06	30	55	5.0	10.0	--	--
AC30-13	9.5	933	9.46	30	55	7.5	7.5	--	--
AC27-04	11.0	989	7.42	27	55	--	18.0	--	--

- Las **mayores resistencias a flexión se obtuvieron agregados de Dihidrato y Dihidrato con hidrato de aluminio en relación 1:1 y 1:2**. Nuevamente el Dihidrato es un material determinante en el aumento de la resistencia de las placas.
- Se concluye que **el Dihidrato** por su alta pureza mineral, solo o en combinación con hidrato de aluminio, **es un agregado más estable** que el Semihidrato y Semihidrato + Anhidrita ya que las mezclas realizadas con este árido, **tienen generalmente menor volumen y retracción**.
- El **Semihidrato + Anhidrita provoca un aumento en el volumen de la mezcla de hasta un 300%**, debido a las impurezas que contiene que hace reacción con la

resina acrílica. Generando que las placas que contienen este material sean generalmente las de mayor espesor.

- El **hidrato de aluminio estabiliza la mezcla de Semihidrato + Anhidrita** con la resina acrílica, pero no impide que incremente su volumen hasta en un 200% del volumen inicial.
- La mezcla **AC30-13** es la que tuvo menor espesor medio, mayor resistencia a la tensión, mejor índice de tenacidad y uno de los menores porcentajes de retracción.
- Los **mejores resultados a tensión lo tuvieron las mezclas con 30% de resina, 55% de caucho y un 15% de agregados pétreos pulverizados.**
- Las mezclas que contienen una mayor cantidad de Dihidrato son las que tuvieron una menor retracción.
- Se concluye que los mejores resultados son las mezclas que emplean una mayor cantidad de Dihidrato como agregado en combinación con el hidrato de aluminio.

9.4 COMPOSITES ELABORADOS CON RESINA ACRILICA Y FIBRAS DE PP MULTIFILAMENTO (SERIE ACT).

Las mezclas que componen la serie ACT al igual que la serie anterior, fueron elaboradas empleando resina acrílica en base agua de la marca BASF, modelo Acrodur 950L. Se decidió elaborar esta serie como una comprobación de las propiedades obtenidas en la serie AC, además de aumentar un 50% (3g.) la cantidad de fibras de refuerzo y empleando en este caso las fibras de PP multifilamento.

La serie ACT cuenta con 4 denominaciones:

ACT 30, ACT29, ACT28 y ACT27.

La denominación se basa en el porcentaje por volumen de resina empleada para la elaboración del elemento, es decir que en la serie ACT32 todas las mezclas contenían un 32% de volumen de resina del volumen total del elemento. El volumen de las placas se obtenía multiplicando los valores de longitud, anchura y espesor de la placa, obteniendo datos en cm^3 , estos datos posteriormente se multiplicaban por las densidades de cada material (g/cm^3) para obtener la cantidad en peso de cada uno de los agregados. Cada serie comparte únicamente un valor nominal de volumen de resina, teniendo distintas proporciones para el resto de agregados, fibras de refuerzo y tiempos de curación dentro de la estufa.

Al conocer todos los resultados de esta serie, se decidió experimentar con menores porcentajes de volumen de resina empleando cantidades de 24% y 22% para conocer la cantidad mínima de resina para obtener un material sólido y de buen aspecto físico.

La información del proceso de experimentación se muestra en tres partes:

- 1) Primero se muestran las fichas de las mezclas que contiene cada serie, en ellas se detalla la información sobre el proceso de elaboración, datos físicos sobre los valores aparentes de la placa (longitud, anchura, espesor, peso, densidad, etc.).
- 2) Después se describen los agregados empleados para cada mezcla, con sus porcentajes en volumen y peso, la densidad de cada agregado, el peso de la malla utilizada, y la cantidad y tipo de fibras que se ocuparon para cada caso.
- 3) Posteriormente encontramos otro apartado donde se mencionan los tipos de fibras de refuerzo utilizado, así como las anotaciones que se realizaron durante el proceso de elaboración de la placa.
- 4) En la parte baja de cada ficha, encontramos las dimensiones de la placa tomados antes del ensayo a tensión, así como las magnitudes obtenidas una vez finalizado en ensayo.

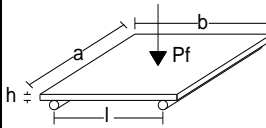
En cada ficha se observan tres gráficas con datos que nos dan la información necesaria para entender de manera rápida que tipo de mezcla se tiene y la relación de los agregados con la resistencia obtenida de cada mezcla, estas gráficas son:

- Porcentaje de agregados por volumen de mezcla
 - Gráfica de carga desplazamiento
 - Tensión final de la placa
- 5) Resumen de cada serie en donde se hace una comparativa de densidad, volumen, carga y tensión de las mejores mezclas de cada serie, mostrando gráficas para cada uno de los apartados mencionados anteriormente.
- 6) Por último se tienen las conclusiones y observaciones de cada una de las series, que pueden estar acompañadas con gráficas y tablas, dependiendo de la cantidad de mezclas de cada serie y de los datos obtenidos.

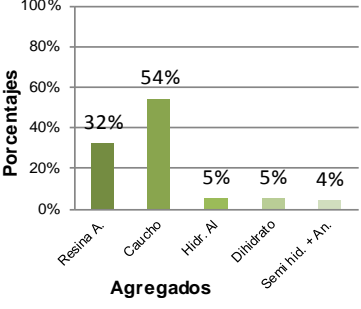
En la parte final de cada subcapítulo, se tiene un resumen y comparativa de las mezclas que tuvieron mayores resistencias en el ensayo a tensión, entre todas las series. Conclusiones finales de la serie y una comparativa de tenacidad entre las mejores mezclas.

9.4.1 SERIE ACT32

(Resina acrílica en base agua + 3 g. de fibras PPM + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa ACT32-01		Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
247	247	10	150	708,68	610,09	1,162	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

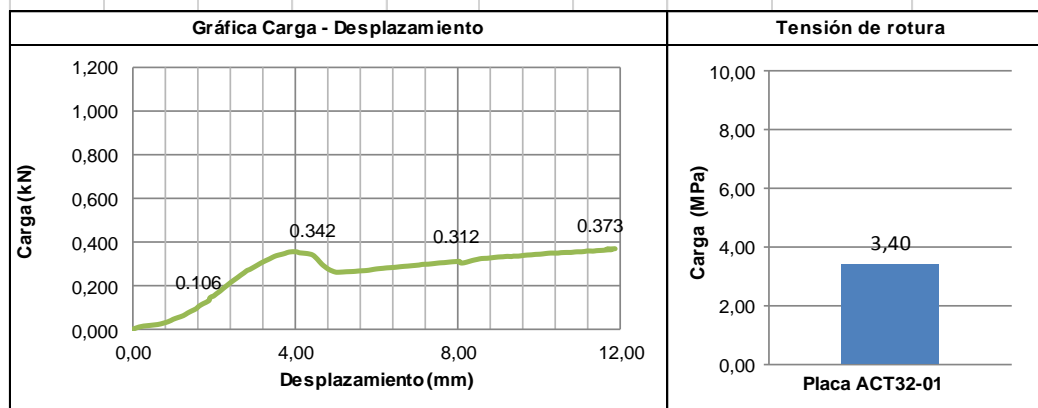
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado	
	%	cm ³	g/cm ³	g	%		
Resina acrílica	32,0%	200,00	1,10	220,00	35,0%		
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%		
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,2%		
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,9%		
Caucho (0,5-1,5 mm.)	21,0%	131,25	0,55	72,19	11,5%		
Hidrato de Aluminio	5,0%	31,25	2,42	75,63	12,0%		
Dihidrato	5,0%	31,25	2,32	72,50	11,5%		
Semi hidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%		
Semi hidrato + An.	4,0%	25,00	2,96	74,00	11,8%		
Totales	100%	625,00	—	627,75	100%		
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semi hidr.	Semi hidr. + An.
Porcentajes x Volumen	32%	0%	54%	5%	5%	0%	4%
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.
	69,87	g	0	g	3	g	3 g

Observaciones del proceso de elaboración

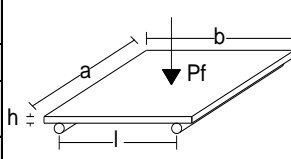
La mezcla con buena trabajabilidad en la elaboración y molde, de consistencia blanduzca después del desmoldeo.

Pruebas físico mecánicas de tensión

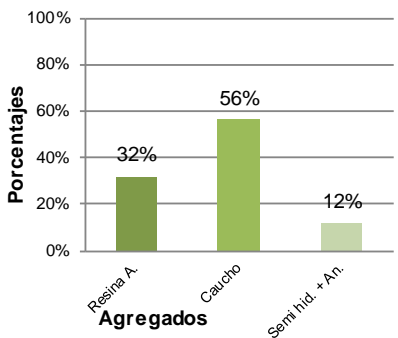
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	373	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,47 mm
b (mm)	247	h (mm)	10,0	σ flexión (N/mm ²)	3,40 MPa



Las placas de la SERIE ACT, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acrídur", caucho reciclado en tres granulometrías (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semi hidrato y Semi hidrato + Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa ACT32-02		Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)	
246	248	14	150	602,00	854,11	0,705	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

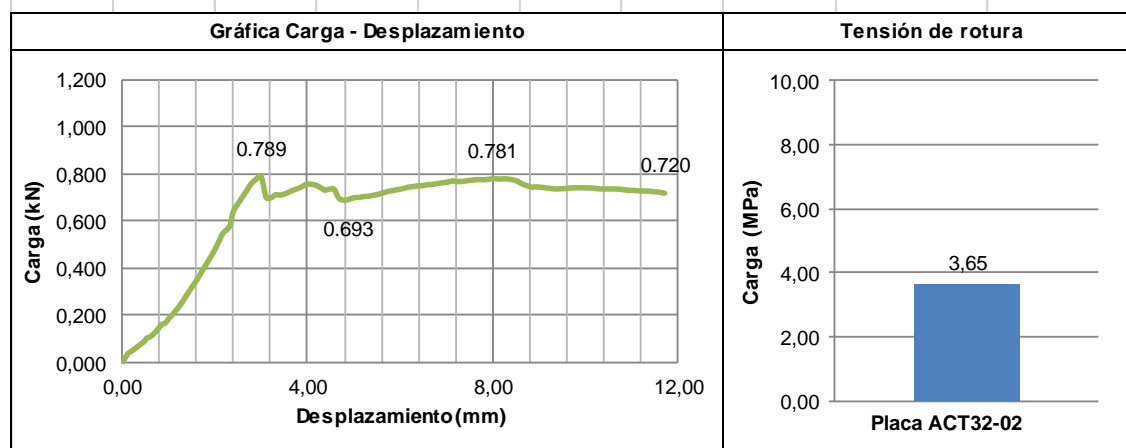
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%			
Resina acrílica	32,0%	200,00	1,10	220,00	34,7%			
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%			
Caucho (5,0-7,5 mm.)	16,0%	100,00	0,55	55,00	8,7%			
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,0%	112,50	0,55	61,88	9,8%			
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,0%	137,50	0,55	75,63	11,9%			
Hidrato de Aluminio	0,0%	0,00	2,42	0,00	0,0%			
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%			
Semi hidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%			
Semi hidrato + An.	12,0%	75,00	2,96	222,00	35,0%			
Totales	100%	625,00	—	634,50	100%			
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semi hid.	Semi hid. + An.	
Porcentajes x Volumen	32%	0%	56%	0%	0%	0%	12%	
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	85,34	g	0	g	3	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

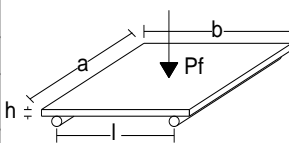
La mezcla tiende a hincharse, tiene buena trabajabilidad durante la elaboración y en molde.

Pruebas físico mecánicas de tensión

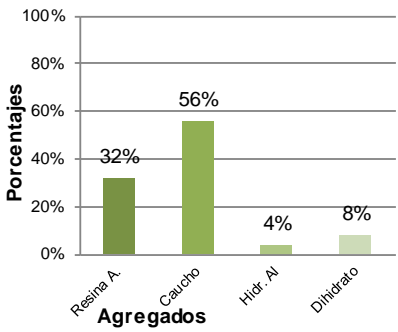
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	789	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,73 mm
b (mm)	248	h (mm)	14,0	σ flexión (N/mm ²)	3,65 MPa



Las placas de la SERIE ACT, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semi hidrato y Semi hidrato + Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa ACT32-03		Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)	
248	249	13	150	582,10	802,78	0,725	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

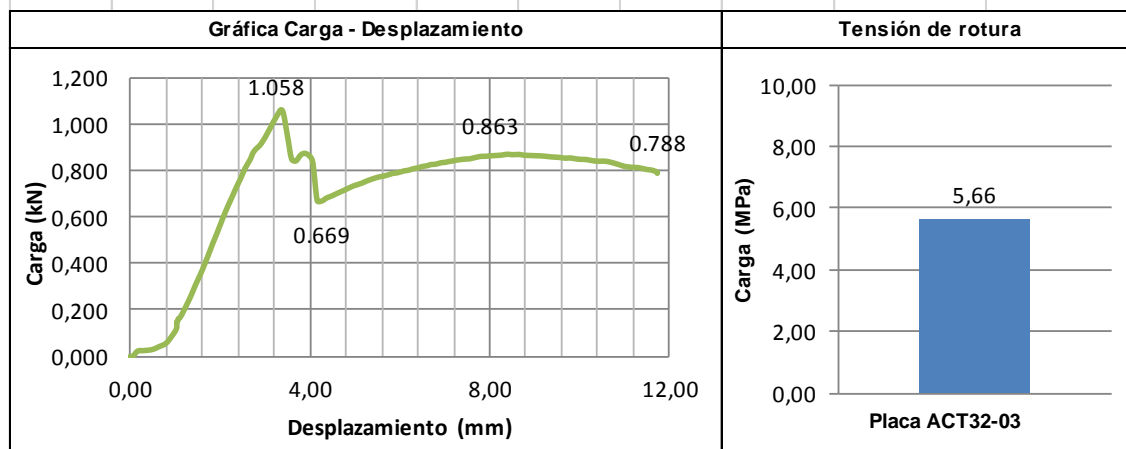
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%			
Resina acrílica	32,0%	200,00	1,10	220,00	37,4%			
Resina de poliéster	0,00%	0,00	1,20	0,00	0,0%			
Caucho (5,0-7,5 mm.)	16,00%	100,00	0,55	55,00	9,3%			
Caucho (2,0-5,0 mm.)	18,00%	112,50	0,55	61,88	10,5%			
Caucho (0,5-1,5 mm.)	22,00%	137,50	0,55	75,63	12,8%			
Hidrato de Aluminio	4,00%	25,00	2,42	60,50	10,3%			
Dihidrato	8,00%	50,00	2,32	116,00	19,7%			
Semi hidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%			
Semi hidrato + An.	0,00%	0,00	2,96	0,00	0,0%			
Totales	100%	625,00	—	589,00	100%			
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semi hid.	Semi hid. + An.	
Porcentajes x Volumen	32%	0%	56%	4%	8%	0%	0%	
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	76,34	g	0	g	3	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

Mezcla uniforme, generó burbujas al interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	1058	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,62 mm
b (mm)	249	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	5,66 MPa



Las placas de la SERIE ACT, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato + Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Comparativa de las mezclas de la serie ACT32



* La mezcla que se resalta en color gris ha sido la que tuvo una mayor resistencia a la tensión.

Conclusiones de la SERIE ACT32

En esta Serie ACT, se tienen mezclas con un 32% de volumen de resina, las cuales se probaron con las proporciones aproximadas de las mezclas con mejores resistencias de la Serie AC.

Se puede observar mediante el análisis de las gráficas de carga-desplazamiento que la combinación de Dihidrato con Semihidrato + Anhidrita, no genera una gran cantidad de cristales al interior de la mezcla, lo que ocasiona una disminución en la resistencia a tensión. Aunque el comportamiento general de su deformación sea de gran ductilidad y con un buen índice de tenacidad.

Se observa que la mezcla con Semihidrato + Anhidrita como agregado principal, aumenta el espesor medio de la placa, confirmando la tendencia encontrada en las series anteriores.

La placa que combina Dihidrato con Semihidrato + Anhidrita en relación 1:2 fue la que soportó una mayor carga (64% más que la placa con menor carga) y tuvo una mejor resistencia a tensión.

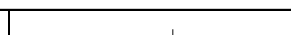
El aumento de volumen de resina de 30% a 32% no ha demostrado un aumento en la carga soportada ni en la resistencia a tensión final de las placas, por lo que se concluye que la resistencia final la otorga una relación de 30% de resina, 55% de caucho y un 15% de agregados pétreos, entre los que destacan el Dihidrato más Hidrato de Aluminio por los resultados obtenidos en las series anteriores.

La serie ACT se elaboró con fibras PP multifilamento. En estas primeras gráficas de carga-desplazamiento no se observan grandes diferencias en el comportamiento y la deformación de las placas, en comparación con la Serie AC donde se utilizaron fibras PET termofusionable.

Mezcla	Espesor (mm)	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Porcentaje de agregados por volumen (%)					
				Resina	Caucho	Hidrato de Aluminio	Anhidrita	Semi hidrato	Semi hidrato + Anhidrita
ACT32-01	10.0	373	3.40	32	54	5.0	5.0	--	4.0
ACT32-02	14.0	789	3.65	32	56	--	--	--	12.0
ACT32-03	13.0	1058	5.66	32	56	4.0	8.0	--	--

9.4.2 SERIE ACT29

(Resina acrílica en base agua + 3 g. de fibras PPM + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa ACT29-01		Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)	
244	248	12	150	498,90	726,14	0,687	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

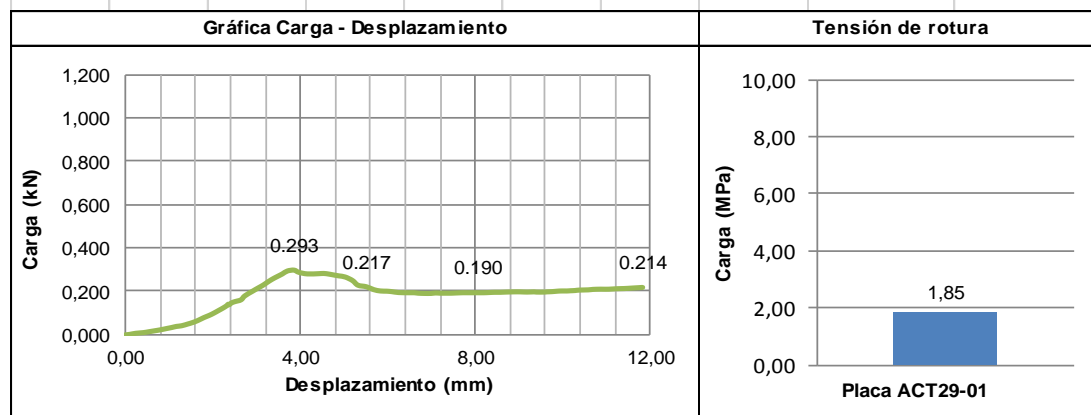
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%			
Resina acrílica	29,0%	181,25	1,10	199,38	33,0%			
Resina de poliester	0,00%	0,00	1,20	0,00	0,0%			
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,00%	93,75	0,55	51,56	8,5%			
Caucho (2,0-5,0 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	11,4%			
Caucho (0,5-1,5 mm.)	23,00%	143,75	0,55	79,06	13,1%			
Hidrato de Aluminio	2,00%	12,50	2,42	30,25	5,0%			
Sulfato de Calcio	7,00%	43,75	2,32	101,50	16,8%			
Escayola	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%			
Yeso	4,00%	25,00	2,96	74,00	12,2%			
Totales	100%	625,00	—	604,50	100%			
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semi hid.	Semi hid. + An.	
Porcentajes x Volumen	29%	0%	58%	2%	7%	0%	4%	
Fibras	Arpiller de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	65,78	g	0	g	3	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

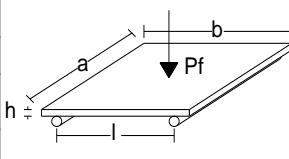
Buena consistencia y trabajabilidad de la mezcla, es fácil de esparcir al interior del molde. No presenta salida del material al interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

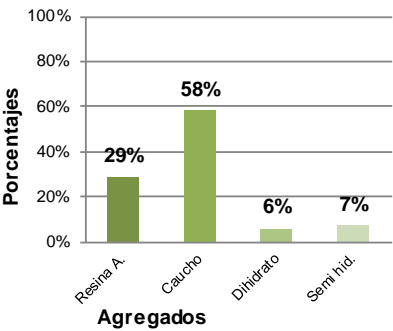
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	293	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,84 mm
b (mm)	248	h (mm)	12,0	σ flexión (N/mm ²)	1,85 MPa



Las placas de la SERIE ACT, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato + Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa ACT29-02		Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
243	244	13	150	516,98	770,80	0,671	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

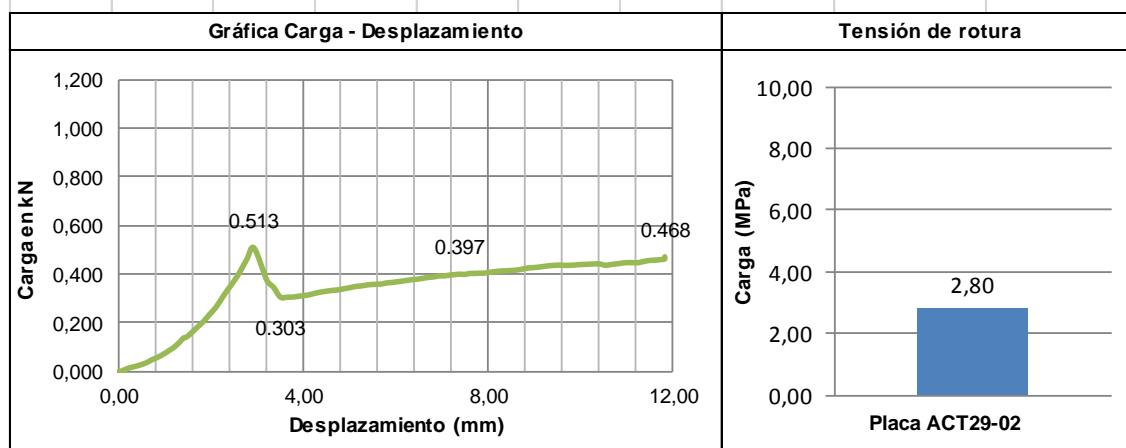
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%			
Resina acrílica	29,0%	181,25	1,10	199,38	33,0%			
Resina de poliéster	0,00%	0,00	1,20	0,00	0,0%			
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,00%	93,75	0,55	51,56	8,5%			
Caucho (2,0-5,0 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	11,4%			
Caucho (0,5-1,5 mm.)	23,00%	143,75	0,55	79,06	13,1%			
Hidrato de Aluminio	0,00%	0,00	2,42	0,00	0,0%			
Sulfato de Calcio	6,00%	37,50	2,32	87,00	14,4%			
Escayola	7,00%	43,75	2,70	118,13	19,6%			
Yeso	0,00%	0,00	2,96	0,00	0,0%			
Totales	100%	625,00	—	603,88	100%			
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semi hid.	Semi hid. + An.	
Porcentajes x Volumen	29%	0%	58%	0%	6%	7%	0%	
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	73,15	g	0	g	3	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

Mezcla fácil de manejar, de consistencia acuosa. Se dejó curando durante 20 horas a 140°C. Existe una decoloración en la arpillera a un tono más oscuro.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	513	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,86 mm
b (mm)	244	h (mm)	13,0	σ flexión (N/mm ²)	2,80 MPa



Las placas de la SERIE ACT, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato + Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Comparativa de las mezclas de la Serie ACT29



* Las mezclas resaltadas en color gris han sido las que tuvieron mayores resistencias a tensión.

¡Error! Vínculo no válido.

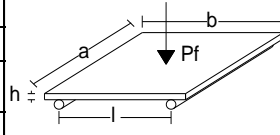
Conclusiones de la SERIE ACT29

Esta Serie fue elaborada para conocer el comportamiento de las placas al aumentar el contenido de caucho, teniendo un volumen de resina de 29% y dos variables de agregados pétreos, la primera con tres materiales (Hidrato de Aluminio, Dihidrato y Semihidrato + Anhidrita) y la segunda dos materiales (Dihidrato con Semihidrato). Se tuvieron mejores resultados en la segunda mezcla, sin embargo ninguna de estas placas alcanzo a tener una resistencia a tensión de 3MPa.

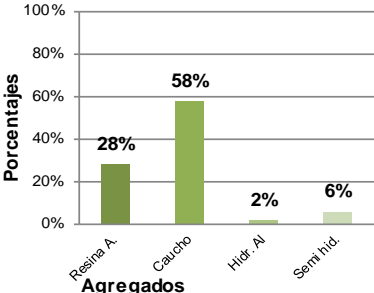
Se observa nuevamente una disminución en la resistencia de las placas, en comparación con ejemplares de similares características elaboradas en la Serie AC. Se hace una observación sobre la posibilidad de que el comportamiento interior de las placas en unión con las fibras de PP multifilamento, sea la causante de esta bajada de resistencia. Pudiendo ser ocasionada por el mayor grado de temperatura a la que fusionan estas fibras, quedando aisladas de la matriz polimérica debido a que la resina acrílica tiene una menor temperatura para su completa curación.

9.4.3 SERIE ACT28

(Resina acrílica en base agua + 3 g. de fibras PPM + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa ACT28-01		Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
241	241	10	150	529,62	580,81	0,912	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

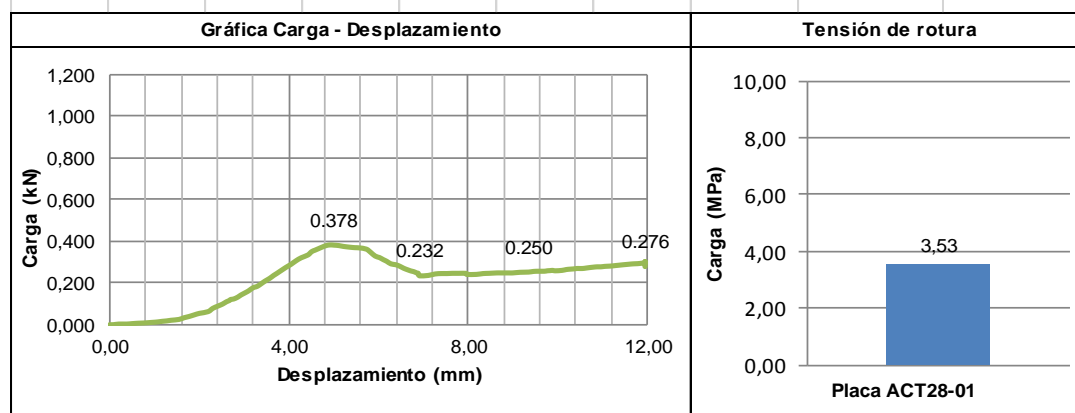
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%			
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	30,3%			
Resina de poliester	0,00%	0,00	1,20	0,00	0,0%			
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,00%	93,75	0,55	51,56	8,1%			
Caucho (2,0-5,0 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	10,8%			
Caucho (0,5-1,5 mm.)	23,00%	143,75	0,55	79,06	12,5%			
Hidrato de Aluminio	2,00%	12,50	2,42	30,25	4,8%			
Sulfato de Calcio	0,00%	0,00	2,32	0,00	0,0%			
Escayola	6,00%	37,50	2,70	101,25	16,0%			
Yeso	6,00%	37,50	2,96	111,00	17,5%			
Totales	100%	625,00	—	634,38	100%			
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semi hid.	Semi hid. + An.	
Porcentajes x Volumen	28%	0%	58%	2%	0%	6%	6%	
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusible		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.	
	65,89	g	0	g	3	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

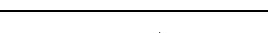
Mezcla espesa, difícil manejo al interior del molde. Se dejó curando en la estufa a 140°C durante un periodo de 12 horas. Se observa una gran retracción en su Volumen y una deshidratación de las fibras de yute y presumiblemente en el interior del composite, afectando su resistencia final.

Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	378	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,86 mm
b (mm)	241	h (mm)	10,0	σ flexión (N/mm ²)	3,53 MPa



Las placas de la SERIE ACT, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Sulfato de Calcio, Escayola y Yeso. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusible y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa ACT28-02		Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)	
248	249	11	150	597,03	679,27	0,879	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

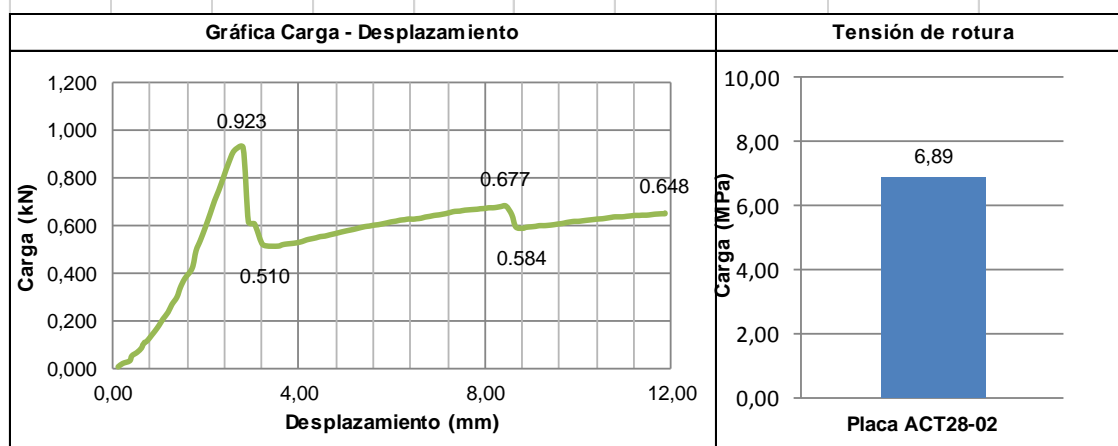
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%			
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	30,8%			
Resina de poliester	0%	0,00	1,20	0,00	0,0%			
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15%	93,75	0,55	51,56	8,3%			
Caucho (2,0-5,0 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	11,0%			
Caucho (0,5-1,5 mm.)	23,0%	143,75	0,55	79,06	12,7%			
Hidrato de Aluminio	2,0%	12,50	2,42	30,25	4,8%			
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%			
Semi hidrato	12,0%	75,00	2,70	202,50	32,4%			
Semi hidrato + An.	0,0%	0,00	2,96	0,00	0,0%			
Totales	100%	625,00	—	624,63	100%			
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semi hidr.	Semi hidr. + An.	
Porcentajes x Volumen	28%	0%	58%	2,0%	0,0%	12%	0%	
Fibras	Arpillera de yute		PPT (Termofusionable), PPM (multifilamento)			Fibras de vidrio 20 mm.		
	88,07	g	0	g	3	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

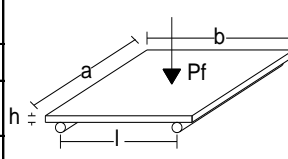
Difícil trabajabilidad dentro de molde, la mezcla es espesa y hubo emisiones del material al interior de la estufa.

Pruebas físico mecánicas de tensión

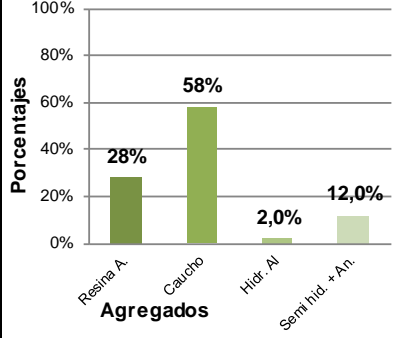
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	923	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,68 mm
b (mm)	249	h (mm)	11,0	σ flexión (N/mm ²)	6,89 MPa



Las placas de la SERIE ACT, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato + Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Placa ACT28-03		Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm³					
Propiedades físicas reales promediados							
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)	
244	249	12	150	595,03	729,07	0,816	

Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.

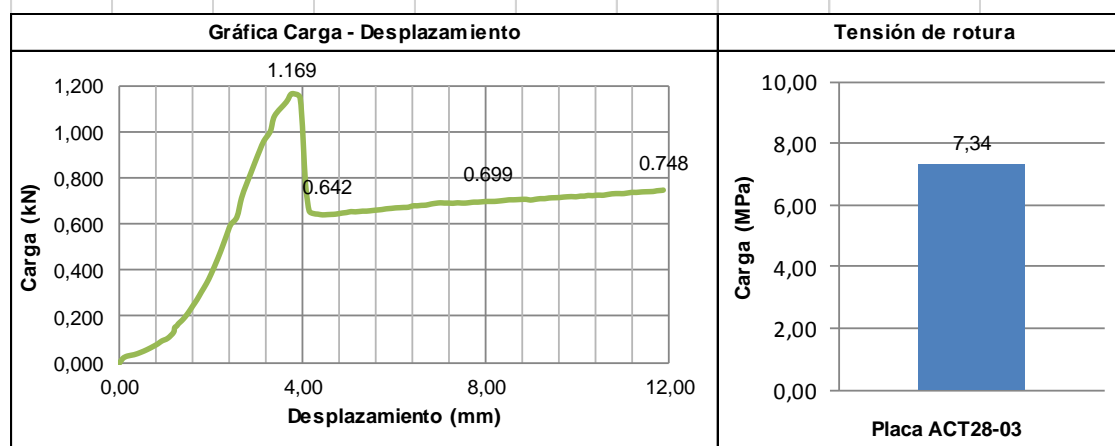
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado		
	%	cm ³	g/cm ³	g	%			
Resina acrílica	28,0%	175,00	1,10	192,50	29,9%			
Resina de poliester	0,0%	0,00	1,20	0,00	0,0%			
Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,0%	93,75	0,55	51,56	8,0%			
Caucho (2,0-5,0 mm.)	20,0%	125,00	0,55	68,75	10,7%			
Caucho (0,5-1,5 mm.)	23,0%	143,75	0,55	79,06	12,3%			
Hidrato de Aluminio	2,0%	12,50	2,42	30,25	4,7%			
Dihidrato	0,0%	0,00	2,32	0,00	0,0%			
Semi hidrato	0,0%	0,00	2,70	0,00	0,0%			
Semi hidrato + An.	12,0%	75,00	2,96	222,00	34,5%			
Totales	100%	625,00	—	644,13	100%			
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semi hid.	Semi hid. + An.	
Porcentajes x Volumen	28%	0%	58%	2,0%	0,0%	0,0%	12,0%	
Fibras	Arpiller de yute		PPT (Termofusionable)		PPM (multifilamento)		Fibras de vidrio 20 mm.	
	75,86	g	3	g	0	g	3	g

Observaciones del proceso de elaboración

La mezcla se hincha y genera burbujas al interior del molde. El uso de 3 gramos de fibras de PP termofusionable hace que la mezcla se espese y tenga más uniformidad, es difícil mezclar con el caucho. Tiene buena trabajabilidad dentro de molde.

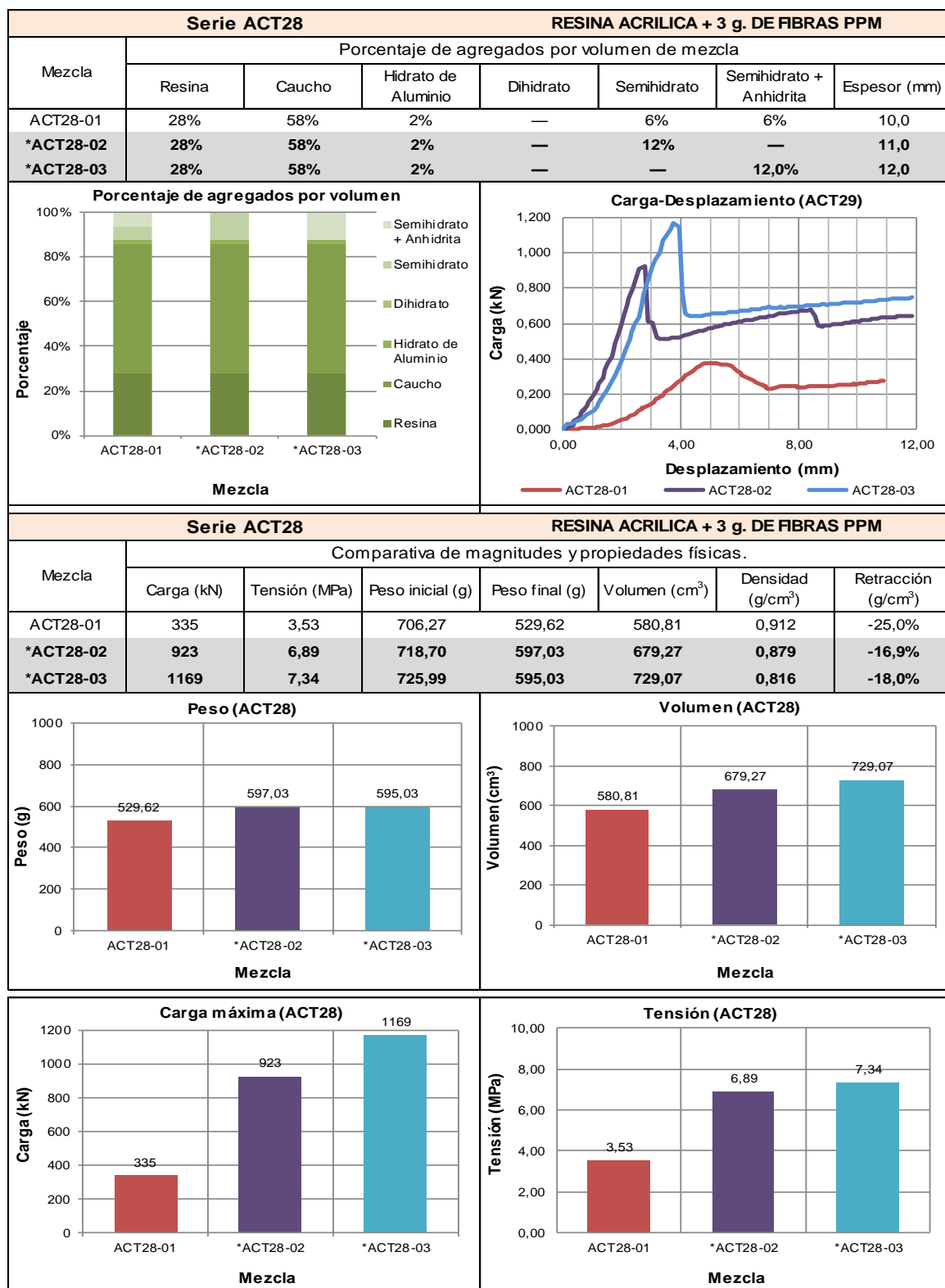
Pruebas físico mecánicas de tensión

Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática	1.5(P·L)/(b·h ²)
Carga P (N)	1169	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,88 mm
b (mm)	249	h (mm)	12,0	σ flexión (N/mm ²)	7,34 MPa



Las placas de la SERIE ACT, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato + Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.

Comparativa de las mezclas de la Serie ACT28



* Las mezclas resaltadas en color gris han sido las que tuvieron mayores resistencias a tensión.

Conclusiones de la SERIE ACT28

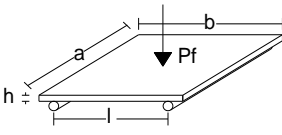
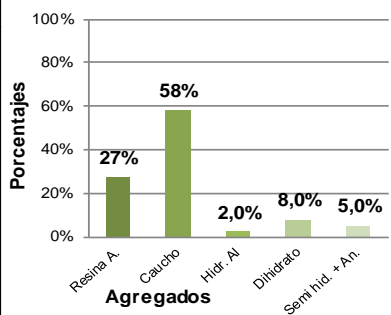
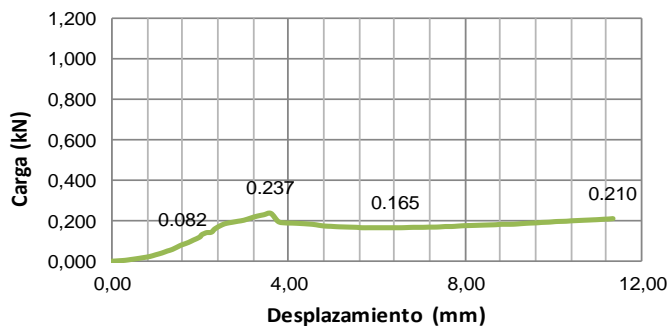
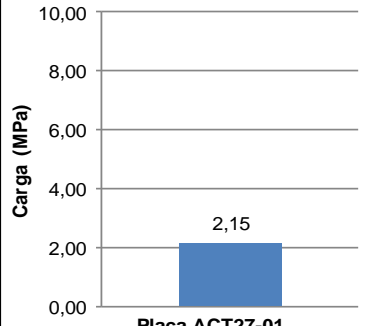
Con esta serie, elaborada con un 28% de volumen de resina, podemos obtener varias conclusiones:

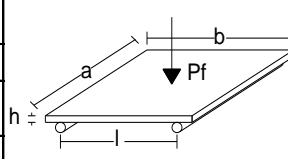
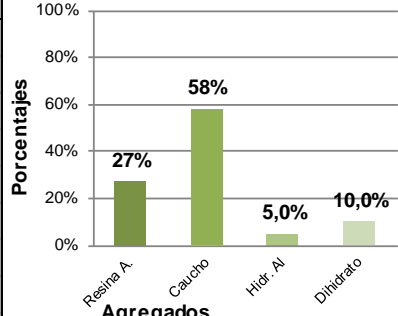
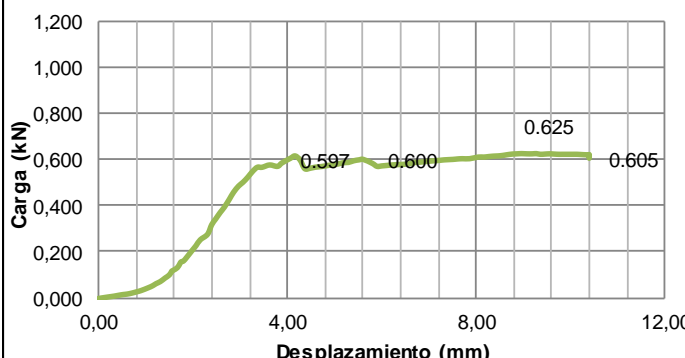
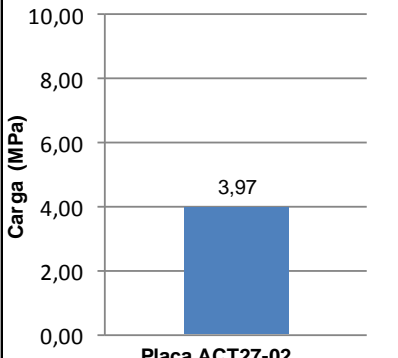
1. El uso de más de dos agregados pétreos en la mezcla tiene como resultado una disminución de resistencia a tensión.
2. Debido a la reiterada baja resistencia de las placas elaboradas con Semihidrato + Anhidrita y para comprobar la diferencia en el uso de las fibras de refuerzo (PP/PET) se utilizó 3 gr de fibra PET termofusionable, aumentando sustancialmente la resistencia a tensión de la placa. Obteniendo una resistencia a tensión de **7.34 MPa**, situándose en una de las 10 mezclas con mejor desempeño en los ensayos a tensión, combinando Semihidrato + Anhidrita con Hidrato de Aluminio en relación 1:6.
3. El índice de pureza mineral de los agregados pétreos, afecta directamente el grado de retracción de la placa, teniendo que para esta serie el Semihidrato combinado con Hidrato de Aluminio tuvo una menor retracción, que el resto de las placas.

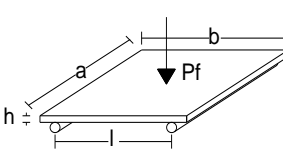
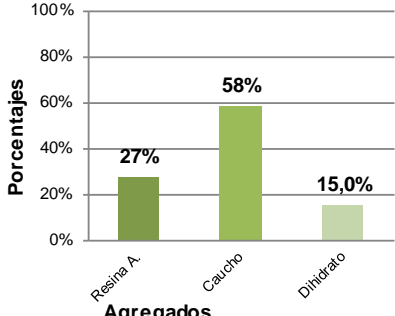
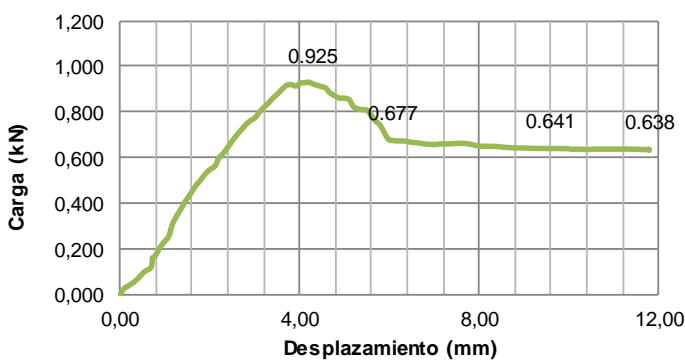
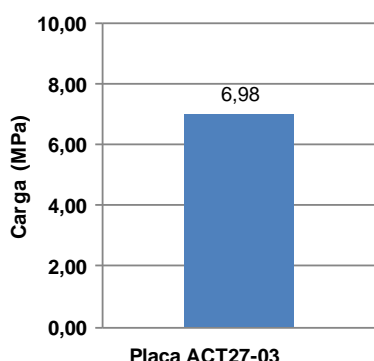
La modificación en el tiempo de curado, hace que las tres mezclas que componen esta serie, tenga una disminución de más del 20% de su peso, así como retracciones de más de un 15%, llegando incluso en la mezcla ACT28-01 a un 25% de retracción comparado con su densidad inicial, acompañada de una notoria disminución de resistencia a tensión.

9.4.4 SERIE ACT27

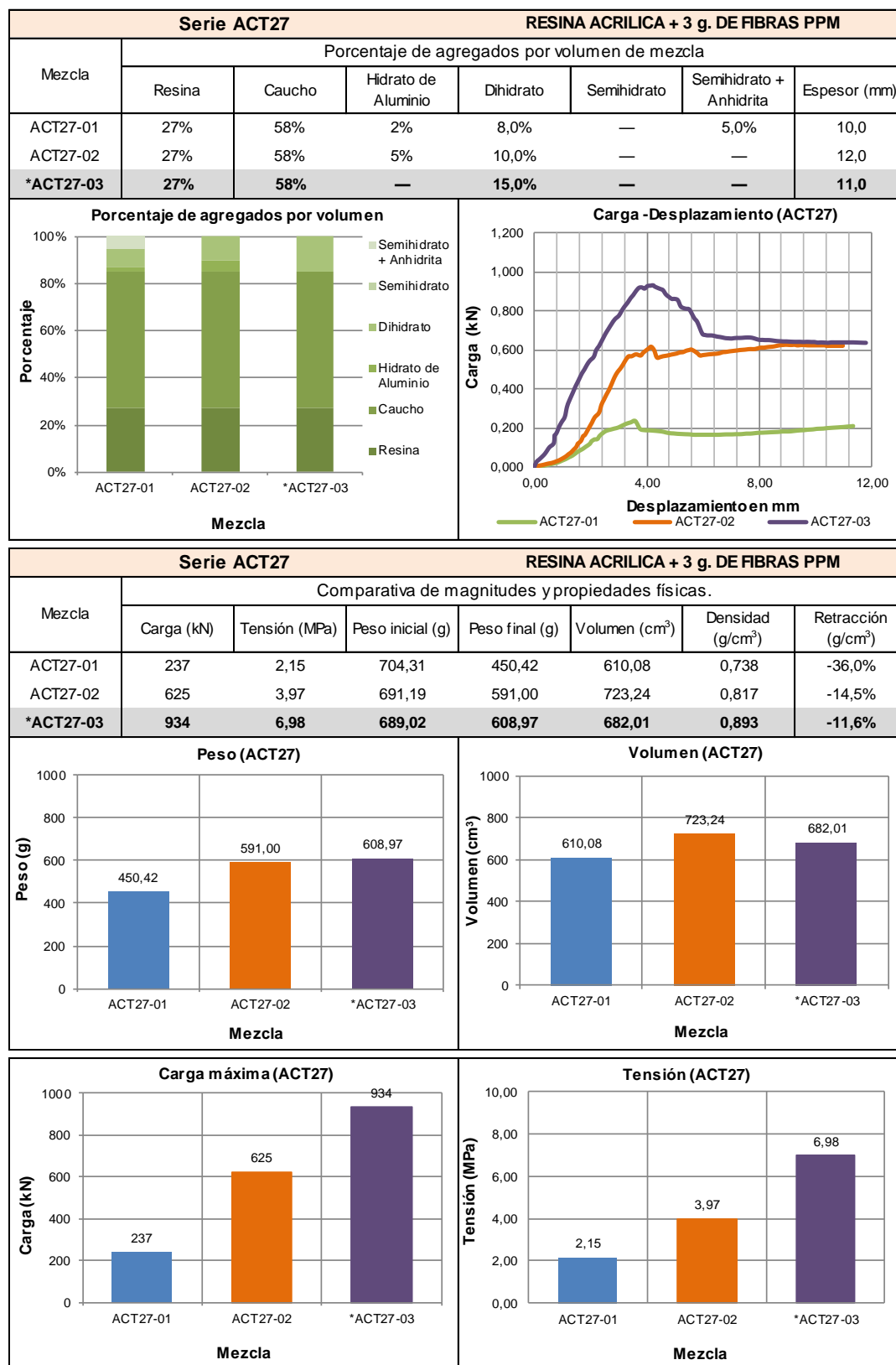
(Resina acrílica en base agua + 3 g. de fibras PPM + 3 g. de fibras de vidrio).

Placa ACT27-01		Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm ³							
Propiedades físicas reales promediados									
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)			
246	248	10	150	450,42	610,08	0,738			
Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.									
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado			
	%	cm ³	g/cm ³	g	%				
	Resina acrílica	27,0%	168,75	1,10	185,63	29,8%			
	Resina de poliester	0,00%	0,00	1,20	0,00	0,0%			
	Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,00%	93,75	0,55	51,56	8,3%			
	Caucho (2,0-5,0 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	11,0%			
	Caucho (0,5-1,5 mm.)	23,00%	143,75	0,55	79,06	12,7%			
	Hidrato de Aluminio	2,00%	12,50	2,42	30,25	4,8%			
	Dihidrato	8,00%	50,00	2,32	116,00	18,6%			
Semi hidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%				
Semi hidrato + An.	5,00%	31,25	2,96	92,50	14,8%				
Totales	100%	625,00	—	623,75	100%				
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semi hid.	Semi hid. + An.		
Porcentajes x Volumen	27%	0%	58%	2,0%	8,0%	0,0%	5,0%		
Fibras	Arpillera de yute		PP Termofusionable		PP multifilamento		Fibras de vidrio 20 mm.		
	74,56	g	0	g	3	g	3	g	
Observaciones del proceso de elaboración									
Mezcla blanda, fácil de manejar. Hay emisión de material al interior de la estufa.									
Pruebas fisico mecánicas de tensión									
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática		1.5(P·L)/(b·h ²)			
Carga P	(N)	237	L (mm)	150	Deformación max (mm)		11,32 mm		
b (mm)	248	h (mm)	10,0	σ flexión (N/mm ²)		2,15 MPa			
Gráfica Carga - Desplazamiento					Tensión de rotura				
									
Las placas de la SERIE ACT, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato + Anhídrida. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.									

Placa ACT27-02		Composite de caucho y arpiller de yute de 25x25x1 = 625 cm³							
Propiedades físicas reales promediados									
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)			
245	246	12	150	591,00	723,24	0,817			
Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.									
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado			
	%	cm³	g/cm³	g	%				
	Resina acrílica	27,0%	168,75	1,10	185,63	30,7%			
	Resina de poliester	0,00%	0,00	1,20	0,00	0,0%			
	Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,00%	93,75	0,55	51,56	8,5%			
	Caucho (2,0-5,0 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	11,4%			
	Caucho (0,5-1,5 mm.)	23,00%	143,75	0,55	79,06	13,1%			
	Hidrato de Aluminio	5,00%	31,25	2,42	75,63	12,5%			
	Dihidrato	10,00%	62,50	2,32	145,00	23,9%			
Semi hidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%				
Semi hidrato + An.	0,00%	0,00	2,96	0,00	0,0%				
Totales	100%	625,00	—	605,63	100%				
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semi hid.	Semi hid. + An.		
Porcentajes x Volumen	27%	0%	58%	5,0%	10,0%	0,0%	0,0%		
Fibras	Arpiller de yute		PPT (Termofusionable)	PPM (multifilamento)		Fibras de vidrio 20 mm.			
	79,56	g	0	g	3	g	3	g	
Observaciones del proceso de elaboración									
La mezcla tiene consistencia es lechosa, pero compacta, una buena mezcla para trabajar.									
Pruebas físico mecánicas de tensión									
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática		1.5(P·L)/(b·h²)			
Carga P	(N)	625	L (mm)	150	Deformación max (mm)	11,95 mm			
b (mm)	246	h (mm)	12,0	σ flexión (N/mm²)		3,97 MPa			
Gráfica Carga - Desplazamiento					Tensión de rotura				
									
Las placas de la SERIE ACT, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato + Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.									

Placa ACT27-03		Composite de caucho y arpillera de yute de 25x25x1 = 625 cm³							
Propiedades físicas reales promediados									
a (mm)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)			
249	249	11	150	608,97	682,011	0,893			
Las medidas de densidad aparente y Volumen aparente son aproximados, debido a fueron obtenidos mediante valores medios. Se tomaron 5 valores distintos que fueron promediados para obtener el valor medio de cada sección de la placa.									
Agregados pétreos	Volumen		Densidad	Peso		Proporciones por Volumen de agregado			
	%	cm³	g/cm³	g	%				
	Resina acrilica	27,0%	168,75	1,10	185,63	30,8%			
	Resina de poliester	0,00%	0,00	1,20	0,00	0,0%			
	Caucho (5,0-7,5 mm.)	15,00%	93,75	0,55	51,56	8,6%			
	Caucho (2,0-5,0 mm.)	20,00%	125,00	0,55	68,75	11,4%			
	Caucho (0,5-1,5 mm.)	23,00%	143,75	0,55	79,06	13,1%			
	Hidrato de Aluminio	0,00%	0,00	2,42	0,00	0,0%			
	Dihidrato	15,00%	93,75	2,32	217,50	36,1%			
	Semi hidrato	0,00%	0,00	2,70	0,00	0,0%			
Semi hidrato + An.	0,00%	0,00	2,96	0,00	0,0%				
Totales	100%	625,00	—	602,50	100%				
Agregados	Resina A.	Resina P.	Caucho	Hidr. Al	Dihidrato	Semi hid.	Semi hid. + An.		
Porcentajes x Volumen	27%	0%	58%	0,0%	15,0%	0,0%	0,0%		
Fibras	Arpillera de yute		PPT (Termofusionable)		PPM (multifilamento)		Fibras de vidrio 20 mm.		
	80,52	g	0	g	3	g	3	g	
Observaciones del proceso de elaboración									
Mezcla uniforme, facil de trabajar, la forma de la arpillera fue modificada y ha salido con una mejor uniformidad. Se sometio a una temperatura de 160°C.									
Pruebas fisico mecánicas de tensión									
Dimensiones medias y magnitud de la carga				Expresión matemática		1.5(P·L)/(b·h²)			
Carga P	(N)	934	L (mm)	150	Deformación max (mm)		11,81 mm		
b (mm)	249	h (mm)	11,0	σ flexión (N/mm²)		6,98 MPa			
Gráfica Carga - Desplazamiento					Tensión de rotura				
									
Las placas de la SERIE ACT, fueron elaboradas con resinas acrílicas "Acridur", caucho reciclado en tres granulometrias (0,5-1,0; 2,0-4,0; 5,0-7,0 mm.) agregados pétreos pulverizados de; Hidrato de Aluminio, Dihidrato, Semihidrato y Semihidrato + Anhídrita. Por último se utilizaron fibras de vidrio (20 mm.), fibras de polipropileno termofusionable y fibras de polipropileno multifilamento.									

Comparativa de las mezclas de la Serie ACT27



* La mezcla resaltada en color gris ha sido la que tuvo mayor resistencia a tensión.

Conclusiones de la SERIE ACT27

Esta Serie con un 27% de volumen de resina, se elaboró con un 58% de volumen de caucho y diferencias en los porcentajes de los agregados pétreos.

Se vuelve a observar el mal desempeño de las placas elaboradas con más de 2 agregados.

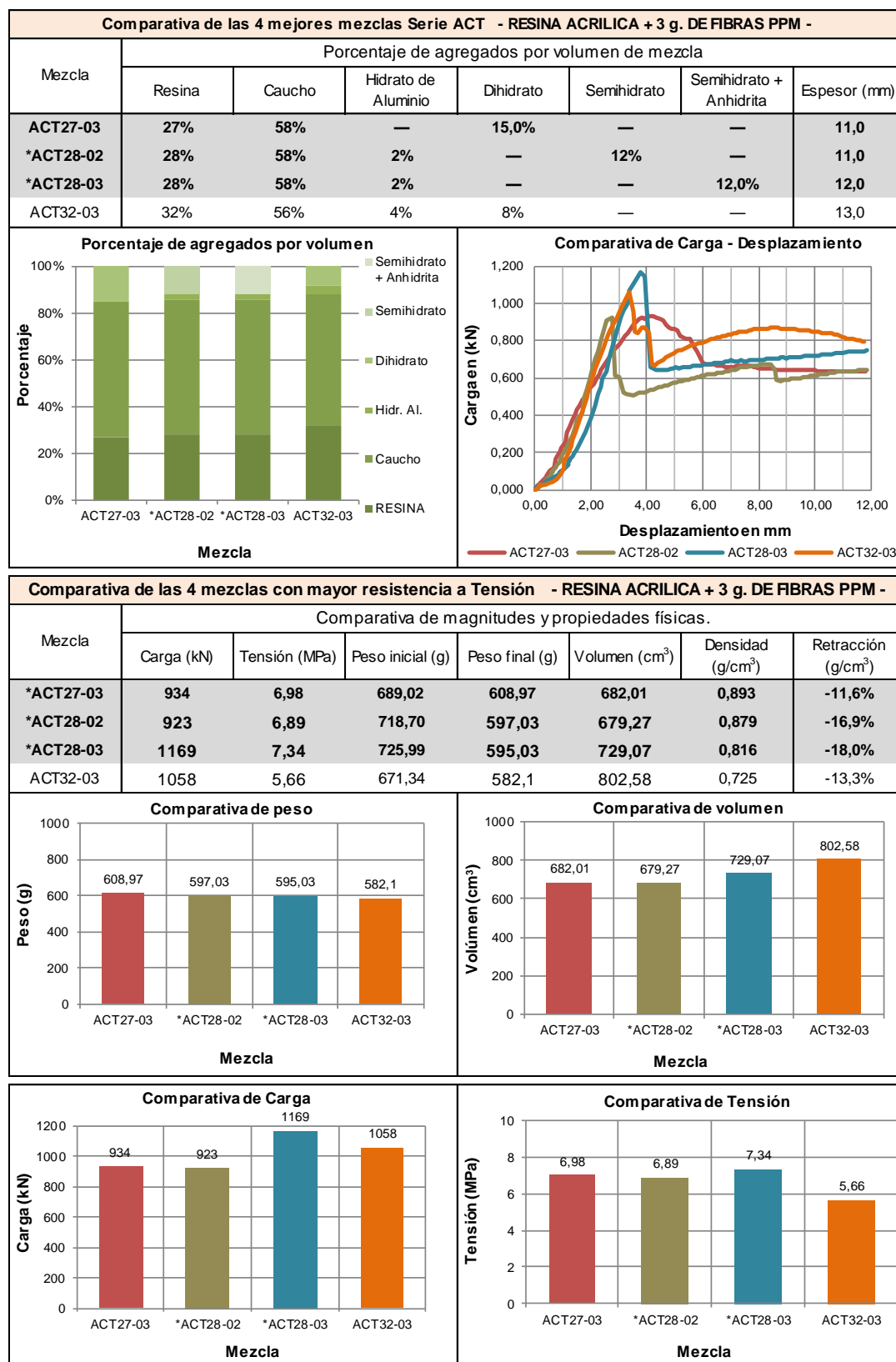
Si bien la placa que utiliza un 15% de Dihidrato como agregado principal soportó una mayor carga y resistencia a tensión, tuvo una deformación elástica pronunciada y una tenacidad menor, comparada con la placa elaborada con un 5% de Hidrato de Aluminio y un 10% de Dihidrato, la cual tuvo una deformación de gran ductilidad y mayor índice de tenacidad.

El espesor medio de las placas es fundamental para aumentar su resistencia a tensión. Es necesario desarrollar un nuevo método de transformación que tenga un mayor control en el proceso de presión de la placa antes y durante el proceso de curación.

El mayor porcentaje de caucho en la mezcla mejora su proceso de elaboración, facilitando la trabajabilidad de la mezcla.

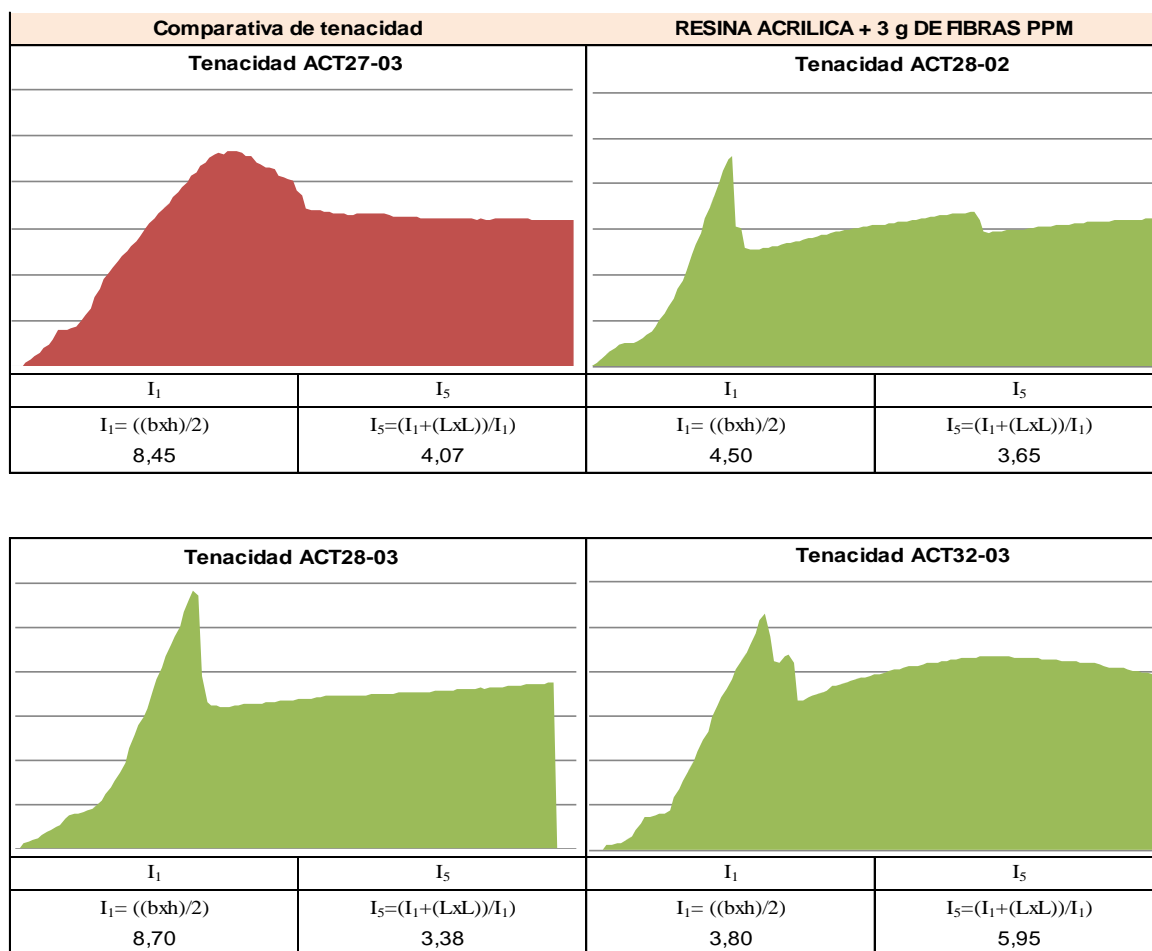
Las mezclas que se elaboraron utilizando resina acrílica, en combinación con Dihidrato e Hidrato de Aluminio, demostraron tener los mejores resultados a tensión además de ser las mezclas con menores porcentajes de retracción.

COMPARATIVA DE LAS MEJORES MEZCLAS (SERIE ACT)



* Las mezclas resaltadas en color gris han sido las que tuvieron mayores resistencias a tensión.

9.4.5 COMPARATIVA DE LAS MEJORES MEZCLAS (SERIE ACT)



En las mezclas **ACT28-02**, **ACT28-03** y **ACT32-03** se observa una clara división entre el límite del periodo elástico, después un límite mínimo de fluencia con un reacomodo (meseta de fluencia) que origina un endurecimiento por deformación, hasta su deformación máxima. La deformación de estas mezclas es similar al de rotura por fluencia. Con el aumento de volumen de resina en las mezclas **ACT28-02** y **ACT28-03**, se tiene un menor límite elástico aunque soportan una mayor carga. Seguido de algunos reacomodos en la estructura del material para nuevamente entrar en carga hasta su deformación máxima.

La mezcla **ACT27-03** en cambio tiene un amplio periodo elástico, seguido por una zona de deformación (meseta de fluencia) hasta su deformación máxima. Tiene una clara deformación por fatiga.

La mezcla **ACT3232-03** es la que tuvo un **mayor índice de tenacidad** comparado con el resto de las placas y más uniformidad en la deformación, manteniendo un nivel de carga importante a lo largo de toda su deformación. Tiene una clara deformación por fluencia.

Conclusiones de la SERIE ACT

Se concluye que el volumen de agregados en mezcla deben ser: 30% de resina acrílica, 55% de caucho reciclado y un 15% de agregados pétreos. Al modificarse estos valores la resistencia a tensión y la tenacidad del elemento se verá reducida.

Se concluye que el uso de **Dihidrato** como agregado principal permite a la mezcla tener **menos variaciones entre su densidad inicial y su densidad final**.

Las mezclas con mayor resistencia fueron las mezclas **ACT28-03** con un 28% de resina acrílica y un 12% de Semihidrato + 2% de Hidrato de Aluminio (**7.34 MPa**) y la **ACT28-02** con un 12% de Semihidrato + Anhídrita + 2% de Hidrato de Aluminio (**6.89 MPa**) esta última mezcla utilizó fibras de refuerzo de PET termofusionable.

Se observa una reducción generalizada de resistencia en las mezclas al cambiar el tipo de fibra de PET a PP multifilamento.

Se observa en esta serie una relación entre el porcentaje de retracción y el aumento de resistencia a tensión, ya que la mezcla **ACT28-03** tuvo un **18% de retracción** con una **resistencia de 7.34 MPa**.

Se observa que en estas cuatro mejores mezclas, existe una relación entre el aumento de volumen de caucho, con una mayor facilidad de trabajo y control dentro de molde, sin embargo disminuye el índice de tenacidad, aumentando únicamente en la mezcla **ACT32-03** debido a un mayor porcentaje de resina y una menor cantidad de caucho.

Las mezclas con un máximo de dos agregados pétreos (especialmente en mezcla con el Hidrato de Aluminio) han demostrado tener una mejor resistencia a tensión, que en mezclas de tres o más agregados.

Se observa que las mezclas de la **Serie AC** que fueron elaboradas con un 33% menos fibras de refuerzo (PPT) se obtuvieron mejores resultados que utilizando las fibras de PP multifilamento empleadas para la **Serie ACT**. Se deduce que esto es debido a que las primeras tienen un punto de fusión menor (110°C) y acompañan el proceso de curación de la resina, fundiéndose completamente con la temperatura máxima obtenida (160°C) en el proceso de transformación.

9.5 ENSAYOS DE RESISTENCIA TÉRMICA

Como parte de la caracterización del material, se consideró necesario realizar ensayos para conocer su conductividad térmica. Debido a que no era posible realizar ensayos normalizados, se sometieron las placas a dos pruebas distintas de manera que se pudieran contrastar los resultados.

9.5.1 CAJA CON TEMPERATURA CONTROLADA Y DOS COMPARTIMENTOS.

El primer método empleado, fue desarrollado por el doctorando Vicente Zetola, y se basa en la utilización de un equipo de medición de transmitancia térmica en condiciones estacionarias para determinar la conductividad térmica de las 4 mejores mezclas.

El ensayo se basa en calcular la transmitancia térmica en condiciones estacionarias, a partir de la igualdad que se produce entre el flujo de calor, a través de la placa y entre la placa y el ambiente externo. Existen algunos pormenores a mejorar, como la estimación de la resistencia superficial sobre la probeta, especialmente en la zona exterior. En general en ensayos reales el CTE considera que la resistencia superficial exterior, para este caso sería de 0,04 m²K/W, e incluso en ciertas condiciones se desprecia y solo se considera la resistencia superficial interna. Las diferencias de temperatura entre el ambiente interior y la superficie interior de la probeta, obtenidas en los ensayos, demuestran que esta resistencia térmica superficial está presente y debe ser considerada. Como solución a estos pormenores se empleó para los cálculos de temperatura exterior, la temperatura superficial exterior de la placa. Y para el caso de la temperatura interior, que reproduce las condiciones mencionadas en la CTE, se consideró para la estimación de la resistencia superficial interior, el valor entregado para flujo de calos a través de paredes verticales, es decir: 0,13 m²K/W.

La expresión matemática empleada para calcular la transmitancia fue la siguiente:

$$\frac{Q}{A} = (T_{si} - T_i) h_{ci} \quad \text{Ecuación 1 Flujo de calor ambiente-pared}$$

$$\frac{Q}{A} = U (T_e - T_i) \quad \text{Ecuación 2 Flujo de calor a través de una pared}$$

Igualando las ecuaciones 1 y 2 se obtiene la ecuación 3 para la determinación de la transmitancia térmica U en W/m²K

$$U = \frac{(T_{si} - T_i) h_{ci}}{(T_e - T_i)} \quad \text{Ecuación 3 Determinación de transmitancia}$$

La conductividad térmica se obtiene despejando de la fórmula de transmitancia térmica, según lo indicado en la ecuación 3.

$$\lambda = \frac{e}{\frac{1}{U} - R_{si}}$$

Ecuación 4 Determinación de conductividad térmica

en donde:

λ = conductividad térmica en W/km

e = es espesor en m

U = es la transmitancia térmica en W/m²K

R_{si} = es la resistencia superficial (0,13) en m²K/W

Caja compartimentada y aislada para la toma de mediciones:

Los ensayos de conductividad térmica se realizaron en una caja compartimentada (2 compartimentos). Uno de los compartimentos simula el ambiente exterior en condiciones de verano, con temperaturas que rondan los 35° C generados por mediante un secador de cabello, con una potencia de 350 W., el cual está conectado a un termostato que lo acciona cuando la temperatura en la cámara

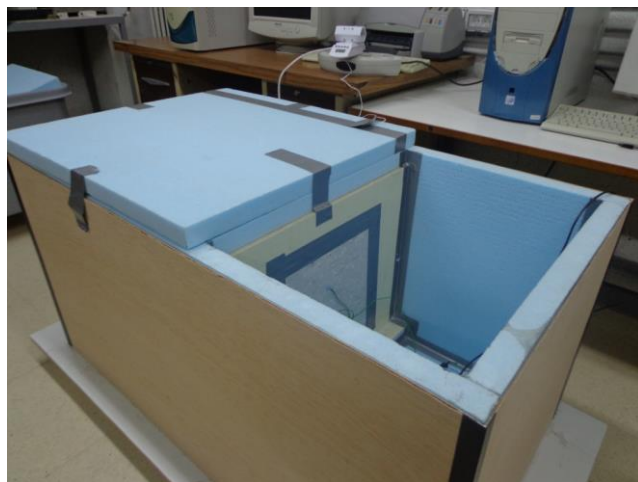


Fig. 54 Caja compartimentada para ensayos de resistencia térmica. Fuente: Vicente Zetola

desciende de la programada. Esta cámara fue construida con una capa interior de poliéstireno extruido de 4 cm y una capa exterior de 4 mm de madera contrachapada. La tapa de este compartimento fue elaborada con dos placas de poliéstireno extruido de 4 cm de espesor.

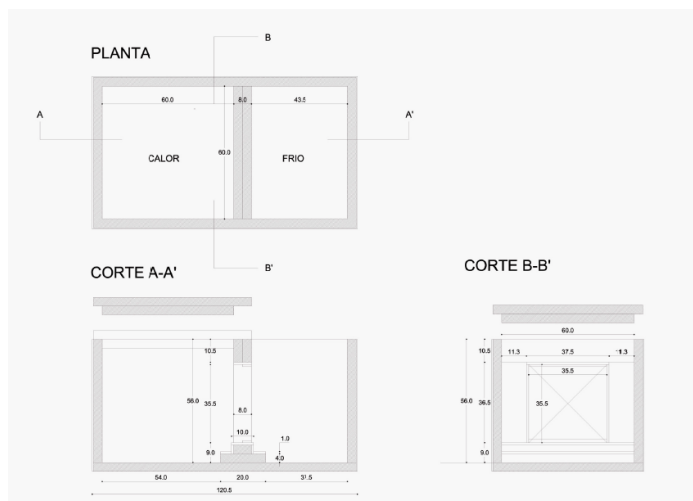


Fig. 55 Detalles en planta y cortes de la caja empleada para las mediciones. Fuente: Vicente Zetola

La separación entre ambas cámaras fue elaborada por un marco de poliéstireno extruido de 8 cm de espesor, reforzada en ambas caras, así como la zona donde se coloca la placa a ensayar, con madera aglomerada de 10 mm.

El segundo compartimento representa la temperatura interior de una vivienda, fue elaborada con los mismos materiales y proporciones que la otra cámara, con la única diferencia de que este compartimento no lleva tapa.

Equipos e instrumentos empleados:

Para realizar las medidas de temperatura necesarias para el calcular la conductividad térmica de las placas, se emplearon los siguientes instrumentos:

- Equipo de medición de temperatura y humedad con memoria de lectura, modelo Testo 635-2.
- Sonda con tres sensores para medir la temperatura superficial de la placa y otro para medir la temperatura ambiente, modelo 06141635, con valores aproximados de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ y $\pm 2\%$ del v.m.
- Sonda inalámbrica para medir temperatura y humedad modelo 06369736, La sonda está compuesta por una empuñadura por radio, modelo 055400189, cabezal de sonda modelo 06369736. Esta sonda se utilizó para medir la temperatura virtual exterior (interior de la caja) y tiene una precisión de $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$.
- Data Logger Testo 177H, se empleó para medir la temperatura superficial exterior de la probeta (compartimento interior con mayor temperatura) con una exactitud de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ en los sensores internos y de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ para los sensores externos.
- Sonda modelo 06287507 para temperatura superficial, con exactitud de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.
- Se empleó un termostato para regular la temperatura con una precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Secador de cabello con una potencia de 350 W. Se empleó este aparato para generar una temperatura interior cercana a los 35°C .

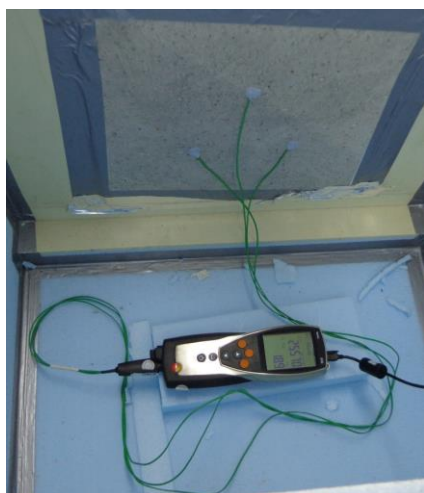


Fig. 56 Equipo Testo 635-2, midiendo la temperatura superficial interior de la placa. Fuente: Vicente Zetola

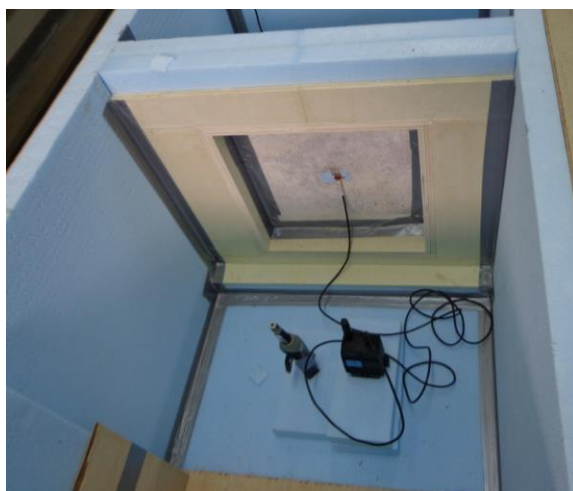


Fig. 57 Equipo Testo H177, midiendo la temperatura superficial exterior de la placa. Fuente: Vicente Zetola

Se utilizó el secador de cabello, después de hacer ensayos con otros aparatos como calefactores de una potencia mayor. Se descartaron estos aparatos porque producían grandes fluctuaciones de temperatura en el interior de la caja. La alteración de las fluctuaciones se generaban por efecto de la radiación de calor que emitía el mismo aparato que se calentaban demasiado, lo cual aumentaba la temperatura incluso después que el termostato exterior cortara la corriente eléctrica que alimentaba al aparato.

También se descartó el uso de bombillas luminiscentes (focos) ya que se podían producir distorsiones en las medidas registradas, debido a la radiación que podían emitir estos objetos sobre la placa.

El uso del secador también generaba fluctuaciones ya que al aumentar la temperatura del termostato a 40°C el compartimento requería una mayor cantidad de calor, aumentando el flujo de calor a través de las paredes de la caja, lo que producía que la fuente emisora se activara con mayor frecuencia, provocando que la curva de fluctuaciones tuviera menores fluctuaciones. En caso contrario, al bajar la temperatura del termostato se obtenían mayores fluctuaciones en la curva de temperatura que producían que el sistema saliera de sus condiciones estacionarias, necesitando un tiempo mayor para recuperar dichas condiciones. Sin embargo al final del ensayo, cuando se cumplían estas condiciones estacionarias, independientemente de las fluctuaciones (mayores o menores) las medidas tendían a un valor medio de transmitancia similar. Es por esta razón que se decidió trabajar con una temperatura de 35°C para no sobre cargar la fuente de calor.

Conductividad térmica del material constructivo.

La conductividad térmica es el tiempo que emplea el flujo de calor en estado estable al atravesar una unidad de área de un material homogéneo inducido por una unidad de gradiente de temperatura en una dirección perpendicular a esa unidad de área, W/m·K.

Procedimiento.

Los ensayos para determinar la conductividad térmica de las placas fue el siguiente:

1. Se colocó la placa de 30x30x1 cm (medidas aproximadas) en el hueco acondicionado para ello, entre los dos compartimentos de la caja.
2. Se selló el perímetro de la placa con cinta americana, para evitar el paso de aire por los bordes de la probeta.
3. Se colocaron las sondas de los instrumentos. Para el aparato Testo 635-2 se instalan las sondas para medir la temperatura ambiente interior, la temperatura superficial interior y a temperatura ambiente exterior. Para el aparato H177 se instalan las sondas que miden la temperatura ambiente exterior y temperatura superficial exterior.

4. Tras colocar las sondas, se activaron los instrumentos y se programan para tomar mediciones de temperatura a cada minuto.
5. Se conecta el termostato a la fuente de calor (secadora de cabello) y se programa una temperatura controlada de 35°C y se inicia con la toma de medidas.

Al estabilizarse las condiciones estacionarias, es decir cuando el compartimiento interior (cerrado) alcanzaba una temperatura de 35°C y se equilibraba el calor que la placa transmitía hacia el compartimiento exterior, se daba por finalizado el ensayo.

Se empleaban los datos de temperatura obtenidos para calcular el valor de transmitancia térmica y conductividad térmica.

El valor de conductividad representa la media de los valores obtenidos en el rango de minutos en que se logran las condiciones estacionarias.

Plan de ensayos.

Los ensayos térmicos se realizaron con las dos mezclas con mejores resistencias a flexión.

- C30-02
- C30-13
- A

Como se indicó anteriormente, se buscó obtener las condiciones estacionarias de temperatura, que para las placas AC30-13 y AC30-02 de 9.5 mm de espesor y 10 mm de espesor respectivamente, el periodo de tiempo fue alrededor de 3 horas.

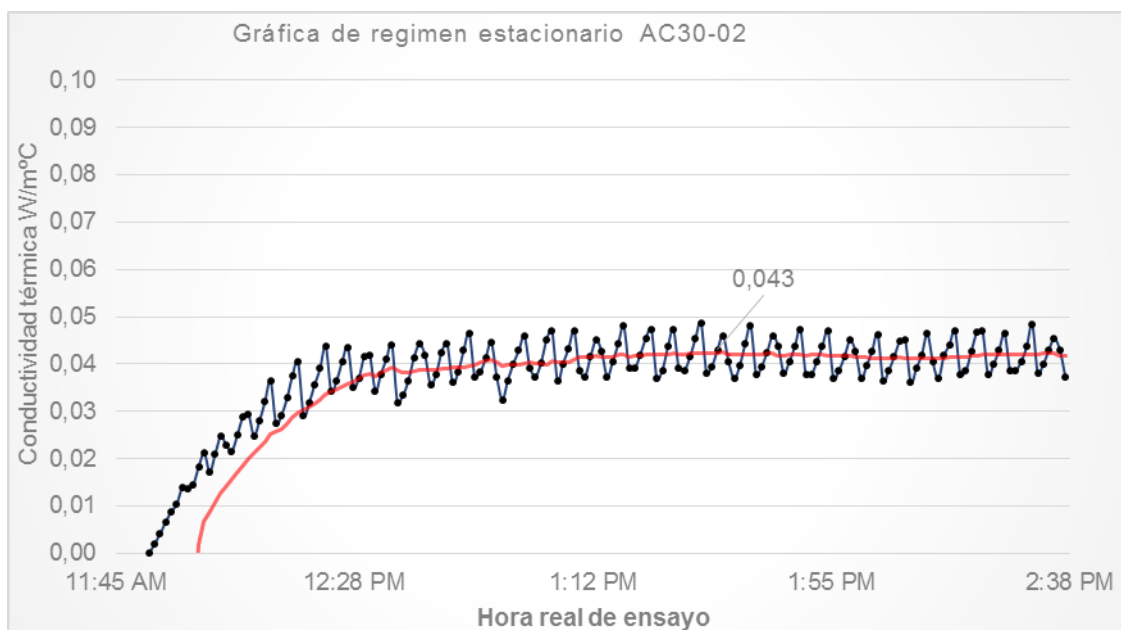


Fig. 58 Gráfica de régimen estacionario obtenida del ensayo de resistencia térmica correspondiente a la placa AC30-02. Fuente Propia

Las gráficas de los ensayos térmicos, demuestran el desarrollo del experimento, La línea azul zigzagueante representa las fluctuaciones de la temperatura que atravesaba la placa con valores en $W/m^{\circ}K$ a lo largo del tiempo que duró el ensayo. La línea roja en la parte central representa el valor medio de las fluctuaciones, en donde la zona más horizontal de la línea (roja) corresponde a la zona estacionaria del experimento.

Para conocer el valor de conductividad térmica, se realizó una suma de la zona más horizontal y la división entre el número de valores obtenidos en dicha zona estacionaria,

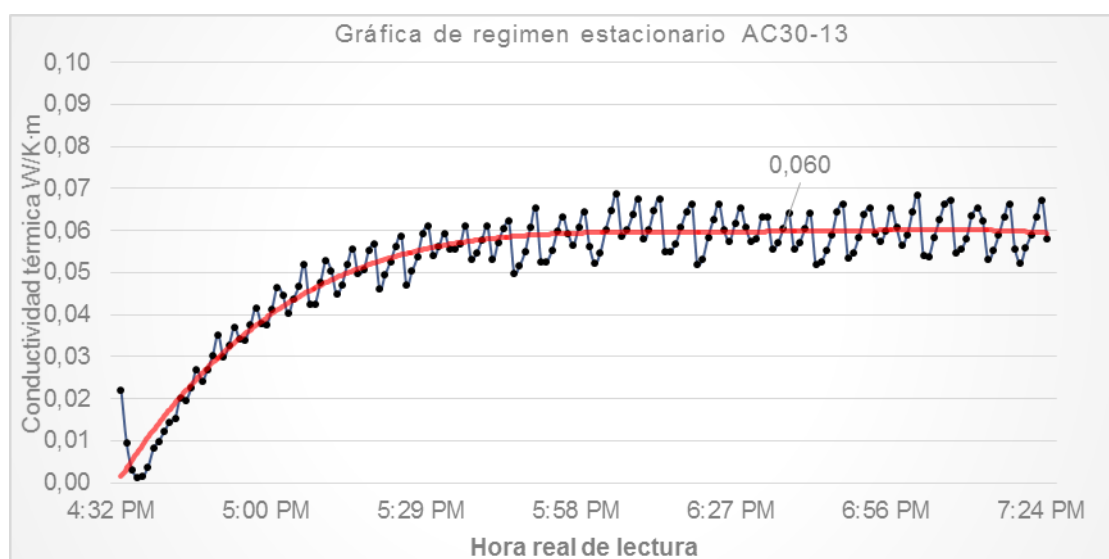


Fig. 59 Grafica de régimen estacionario obtenida del ensayo de resistencia térmica correspondiente a la placa AC30-13. Fuente Propia

obteniendo un valor medio promediado.

Al aplicar las expresiones matemáticas descritas en el capítulo anterior, se obtenían los valores de conductividad térmica. Los gráficos que están sobre estas líneas muestran los cambios de temperatura que se tuvieron durante los ensayos, así como una línea en color rojo que indica el índice promedio de conductividad térmica.

La mezcla AC30-02 tuvo un espesor medio 10 mm y un valor medio de conductividad de 0,43, mientras que la mezcla AC30-13 tuvo un espesor de 9,5 mm y un valor medio de conductividad térmica de 0,60 $W/m^{\circ}K$.

Conductividad térmica:

- λ de AC30-02 = **0,043** $W/m^{\circ}K$
- λ de AC30-13 = **0,060** $W/m^{\circ}K$

Resistencia térmica del material.

La Resistencia térmica es la diferencia de temperatura, en estado estable, entre dos superficies definidas de un material que induce una unidad de velocidad de flujo de calor al atravesar una unidad de área, ($\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$). Para conocer la resistencia térmica de las mezclas ensayadas se empleó la siguiente expresión matemática: **$R = e/\lambda$**

Donde;

- e = espesor medio de la placa (metros)
- λ = valor de conductividad térmica $\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m})$

Por lo tanto tenemos que para la mezcla AC30-02, el valor de resistencia térmica fue:

$$R = e/\lambda = (0,010/0,043) = \mathbf{0,232 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}}$$

Para la mezcla AC30-13 el valor de resistencia térmica fue:

$$R = e/\lambda = (0,0095/0,060) = \mathbf{0,158 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}}$$

9.5.2 CAJA CERRADA PARA MEDICION DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

La conductividad térmica de las muestras fue medida utilizando una caja aislada y cerrada de 400 x 400 x 400 mm con una tapa removible. La tapa está aislada con una placa de poliéstireno extruido de 5 cm, fijada al resto de la estructura de madera contrachapada por medio de cuatro tornillos. La base de la caja también está aislada con una placa de poliéstireno expandido de 5 cm. La caja cuenta con cuatro aberturas en cada lado vertical de 210 x 210 mm. Estas aberturas son cubiertas con las placas a ensayar que se fijan por medio de tornillos/tensores. Cada una de estas paredes exteriores lleva un perfil y un pequeño plato excéntrico para contener material aislante adicional. Cada cara interior de la caja, tiene un agujero de espuma aislante para la inserción de una sonda de medición de temperatura. La temperatura interior de la caja, se eleva por medio de una bombilla incandescente de 100 W. Dos tomas de corriente 3n forma de diodo en la parte exterior de la caja sirve para conectar un termostato a la sonda interior y poder regular la temperatura suministrada.

El termostato se sitúa al interior de la caja produciendo un estado de equilibrio con una temperatura interna de aproximadamente 50 ° C.

La temperatura de aire interior y exterior de la caja y de las paredes internas y externas de la placa fue medida por medio de termopares insertados por los agujeros a través de los agujeros elaborados previamente en la caja. Las lecturas fueron tomadas cuando los termopares alcanzaron un valor uniforme, para asegurarse de que el sistema estuviera en su estado estacionario. El método empleado no reproduce exactamente las especificaciones técnicas, sin embargo es un método fiable ya que tiene un valor de incertidumbre por debajo del 10%.

Las variables que toman parte en la transferencia de calor de la placa son la conducción, convección y radiación. Para reducir los efectos de la radiación, la bombilla al interior de la caja de ensayo, se coloca dentro otra pequeña caja, de color negro.

Siguiendo esta misma línea, la caja permite colocar placas de medición de hasta 5 centímetros de espesor. En general, la fracción de flujo transmitido por la radiación, que en el caso de superficies paralelas es independiente de la distancia entre ellos, puede ser comparable con el flujo transmitido por conducción (inversamente proporcional con el espesor de la muestra) cuando el espesor de las placas de medición aumenta [1].

El espesor de las placas de medición ejerce una influencia considerable, especialmente en los casos de malos conductores de calor. Por lo tanto, el flujo de energía térmica a través de una pared plana homogénea vertical, a temperaturas moderadas, se determina principalmente en el estado de equilibrio (estado permanente) por medio de la transferencia de calor de aire-pared y la conducción de calor en la pared [1].

La expresión matemática para calcular la transferencia de calor por convección entre las superficies interior y exterior de las placas de medición es la siguiente:

$$\Phi = h_{\text{int}} \cdot S \cdot (t_1 - t_2) \quad (1)$$

Donde;

- h_{int} , es el coeficiente interior de convección del aire.
- S , es el área de la placa de medición.
- $t_1 - t_2$ Son la temperatura al interior de la caja y de la superficie interior de la placa de medición respectivamente.

Transferencia de calor por conducción, a través de la placa de medición:

$$\Phi = k \cdot S \cdot \frac{(t_2 - t_3)}{d} \quad (2)$$

Donde;

- k Es la conductividad térmica.
- t_3 Es la temperatura exterior de la placa de medición
- d Espesor de la placa de medición

Transmisión de calor por convección entre la superficie exterior de la placa de medición y el aire exterior:

$$\Phi = h_{\text{ext}} \cdot S \cdot (t_3 - t_4) \quad (3)$$

Donde:

- h_{ext} Es el coeficiente de convección del aire exterior.
- t_4 La temperatura exterior del aire.

Un valor medio experimental de la relación $\frac{\Phi}{S}$ fue estimado de las expresiones (1) y (3).

Empleando este valor, el valor de k fue calculado empleando la ecuación (2). Para calcular los coeficiente h_{int} y h_{ext} , un valor de $8.1 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ fue utilizado por recomendación del fabricante del equipo de medición [1], empleado para los casos de movimiento de aire natural en espacios cerrados.

Los valores de **conductividad térmica** obtenidos para las placas fueron:

$$\text{AC30-02} = 0,08 \text{ W/k}\cdot\text{m}$$

$$\text{AC30-13} = 0,08 \text{ W/k}\cdot\text{m}$$

Los valores de **resistencia térmica** obtenidos por este método fueron:

$$\text{AC30-02} = (0.0100/0.08) = \mathbf{0.125 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}}$$

$$\text{AC30-13} = (0.0095/0.08) = \mathbf{0.118 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}}$$

Comparados con los obtenidos con el otro método de ensayo, estos valores son mucho más elevados, duplicando la conductividad media en ambos casos.

[1] P2360300 PHYWE series of publications, Laboratory Experiments, Physics, PHYWE SYSTEME GMBH & Co. KG, Göttingen

10. ■ ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

En este capítulo se estructuran las conclusiones y se analizan las mejores mezclas elaboradas. Se analizan los detalles del proceso de elaboración, tipos y cantidades de agregados y los resultados obtenidos.

Se recapitulan todos los resultados de los capítulos anteriores, especialmente los relativos a la normativa de reciclaje y de materiales constructivos, con la finalidad de fundamentar los datos que justifiquen la hipótesis inicial.

“El escribir es un ocio muy trabajoso.”.

Johann Wolfgang Von Goethe

10.1 CONCLUSIONES SOBRE EL PLÁSTICO

Una vez definido el plástico como “Un material conformado por polímeros (cadenas moleculares compuestas por monómeros), cargas (que brindan el peso del material) y aditivos (que les proporcionan características y propiedades distintas)”.

Estos materiales han pasado durante algún momento de su existencia por estados de gran deformación denominados estados plásticos, asimismo pueden ser deformables y moldeables por los efectos del calor en su estructura.

Los primeros plásticos se elaboraron a partir de materiales orgánicos como la celulosa y el hidrato de carbono (celuloide). La composición de los plásticos se basa en la unión de cadenas moleculares llamadas polímeros, compuestos por diferentes moléculas llamadas monómeros. Los monómeros se componen de varios átomos (que pueden ser de origen orgánico o sintético) que forman cadenas moleculares (macromoléculas). Dependiendo de su ordenación, estas macromoléculas pueden ser de tipo lineal o espacial, afectando el comportamiento elástico y la dureza superficial de los plásticos. Además de los polímeros, los plásticos contienen cargas, estabilizantes, retardantes, etc., que definen sus propiedades finales.

La caracterización de un plástico pasa por definir los siguientes apartados:

Clasificación: dependiendo de su estructura molecular y su comportamiento al calor son:

- **Termoplásticos:** de cadenas lineales, con monómeros simples unidos por métodos de adición y fácilmente reciclables.
- **Termoestables:** de cadenas espaciales unidas por métodos de condensación, no presentan deformación antes de su carbonización, tienen mejor dureza superficial.
- **Termoendurecidos:** es una conversión de un termoplástico en termoestable debido al entrelazamiento de las macromoléculas.

Estructura molecular:

- **Constitución:** Pudiendo ser Homopolímero, Copolímero o Polímero ramificado.
- **Conformación:** Depende del tipo de monómero. A mayor longitud de las cadenas moleculares así como a mayor número de monómeros que la conforman, se obtienen mejores resistencias mecánicas. Lo mismo que a mayor peso molecular mejor resistencia a la transformación.
- **Configuración:** Estructura Amorfa, Estructura Cristalina y Estructura Elastomérica. La configuración depende del tipo de monómero, los grupos laterales y la polaridad que existe entre ellos.

- **Estados cristalinos:** depende de la espacialidad de los enlaces, que son influenciados por la temperatura, pudiendo tener importantes variaciones en el exterior.

Densidad: baja, oscila entre los **1,0 y 1,8 gr/cm³**, así como una baja dureza superficial siendo menor en los termoplásticos.

La constitución de los polímeros nos da información sobre sus propiedades físicas y mecánicas del producto final, los cambios de temperatura afectan tanto el módulo de elasticidad como el módulo de transición vítrea de los polímeros, pudiendo deformarlos o manifestar estados viscosos antes de su carbonización, los termoplásticos pasan por estados viscosos antes de carbonizar, mientras que los termoestables no sufren cambios hasta el momento de su carbonización.

Cuanto mayor sea el peso molecular de un polímero, se tendrán menos efectos visco-elásticos, aumentando su resistencia a rotura por tracción, fisuración y a tensiones residuales, además de aumentar la resistencia a la fluencia y reduciendo la posibilidad de modificación de su forma.

Se puede concluir que en general los plásticos en general ofrecen un buen aislamiento debido a la baja densidad de los polímeros (tanto termoplásticos como termoestables).

El método de transformación del plástico determina las propiedades finales del plástico, ya que es durante este proceso cuando se eleva la temperatura del material permitiendo modificar sus propiedades físicas y químicas. Los elementos realizados en la parte experimental de esta investigación fueron elaborados por un método de termoconformación, empleando calor y presión durante su proceso de transformación. El proceso es sencillo se elabora la mezcla “matriz” con todos los agregados y aditivos, se introducen en una malla textil que se somete a presión para darle la forma al elemento. Posteriormente se introduce a una estufa donde recibe calor y presión para terminar su proceso de curación, donde se forman los enlaces tridimensionales covalentes. A este método de transformación en dos fases, también podría denominársele como de semiacabado. Hacen falta realizar pruebas de envejecimiento climático para conocer la resistencia a la degradación del material desarrollado y prever los mecanismos y causas de su degradación. Al pasar de ser un material polimérico a una placa de características calcáreas, analizar los procesos de degradación es esencial para determinar la vida útil del elemento.

10.2 CONCLUSIONES SOBRE PRODUCCIÓN Y CONSUMO

Se ha tenido un crecimiento de 10% anual en la producción de plástico desde 1950, cinco familias de termoplásticos (PE, PP, PET, PVC, PS) son los materiales que más se consumen anualmente (75% del consumo anual de plásticos). Englobando la mayoría en 4 sectores de producción: Envase y embalaje (40%), Construcción (20.4%), Industria automotriz (7%), aparatos eléctricos y electrónicos (5.6%), otros (26.9%).

A través del proceso experimental, así como en los datos de las investigaciones realizadas con PR, se demostró que los plásticos pueden servir como materia prima para ser empleados en nuevos procesos de transformación.

Los plásticos termoestables (como el caucho de neumáticos fuera de uso) que son difíciles de degradar, pueden ser aprovechados para emplearse como áridos en diferentes aplicaciones, transformando en ventaja la imposibilidad de alterar su estructura molecular. Se considera necesario elaborar un programa de recuperación y reciclaje adaptando los nuevos usos de transformación al tipo de plástico a utilizar, aprovechando los datos de consumo de plástico a nivel europeo y mundial. En lo que a Europa se refiere, se han sentado las bases para llevar a cabo este proceso mediante la Directiva Marco sobre residuos que promueve una simplificación y modernización en la legislación y gestión, estableciendo una jerarquía de residuos mediante la; Prevención, Reutilización, Reciclaje, Recuperación y Eliminación controlada (ganancia energética).

La normativa española prevé los siguientes puntos:

Incineración. Norma 2000/76/EC como objetivo el prevenir o reducir la contaminación del aire, agua y suelo, así como transformar las actividades de incineración de residuos plásticos en un programa de recuperación y valorización energética.

Vertederos. Norma 1999/31/EC contempla la reducción gradual de residuos plásticos en vertederos municipales, intentando reciclar el 80% de estos como máximo para el 2020.

Políticas sobre Plásticos. Directiva de “Embalaje y residuos de Envases” del consejo directivo 94/62/EC y la 2004/12/EC, promueven la reducción de residuos de envases y alentar a la reutilización de residuos de embalaje introduciendo sistemas de recolección.

En España, la ley 9/2006 de “**Evaluación Ambiental Estratégica**” implica una evaluación ambiental estratégica a los planes y programas que elaboren y aprueben las distintas Administraciones Públicas, basada íntegramente en la Directiva Marco sobre residuos de la UE.

10.3 DESECHOS PLASTICOS –RECICLAJE-

La degradación de los plásticos puede darse por: biodegradación, foto degradación, degradación por erosión ambiental o degradación química. Con excepción de la biodegradación, el resto de los mecanismos no elimina completamente las cadenas moleculares de los plásticos. Cuando son correctamente gestionados, la mayoría de estos desechos pasan por alguno de los siguientes métodos de reciclaje: reciclaje mecánico o reciclaje químico. La elección del proceso de reciclaje es muy importante para conservar las propiedades de los polímeros que componen a los plásticos y poder desarrollar nuevos elementos con buenas características.

La generación de residuos plásticos a nivel europeo ha tenido una tasa de incremento de 3% anual en la última década. El reciclaje mecánico y químico ha tenido una tasa de 10% anual durante el mismo periodo, sin embargo se mantuvo sin cambios el punto de recuperación energética. Los desechos de envase y embalaje son recuperados en torno a un 63% anual. Mientras que las cifras de reciclaje de plástico mixto, se mantienen bajas con apenas un 10% de volumen total reciclado.

Es necesario motivar e implementar estrategias más ambiciosas que combinen el reciclaje y la recuperación energética, ya que reciclando los plásticos se consumen menos hidrocarburos en la elaboración de nuevos materiales y con la recuperación energética se aprovecha su enorme potencial calorífico (45.000 KJ/Kg en promedio).

El consumo de plásticos en España aumentó un 2.3% en 2007 mientras que la tasa de reciclaje aumento un 5.7% (526 mil ton.) respecto al año anterior, teniendo una tasa total de reciclaje del 13% para el periodo del año 2000-2007. En España el PE (AD-BD) representa el 60% del total de plásticos reciclados, aumentando hasta un 74% la tasa de reciclaje en el sector de envases y embalajes.

Una mejora en el sistema de recolección de plásticos aumentaría la calidad y rapidez en la gestión de estos materiales. *Se propone es compartimentar los contenedores amarillos (plásticos) por el tipo de material de post consumo en 4 subproductos: bricks, botellas, films y envases.*

10.4 MATERIALES ELABORADOS CON PLÁSTICO RECICLADO

Desde hace unas décadas, la transformación del plástico reciclado en nuevos productos se ha desarrollado con éxito, existen muchos ejemplos estos esfuerzos, como la madera de plástico reciclado (MPR) que emplea un 70-80% de PE (AD-BD) y un 20-30% de cargas y refuerzos (fibras, retardantes, espumantes, etc.)

Este material es producido en dimensiones convencionales a la madera natural, se emplea generalmente en zonas húmedas, con existencia de insectos y organismos nocivos que afectarían a la madera natural. Inicialmente los productos de madera plástica no desempeñaban trabajos estructurales, debido a una degradación por rayos UV que ocasionaba la pérdida de dureza y estabilidad interna. Estos productos actualmente son empleados en sistemas mixtos de construcción, ejemplo de ello es la vivienda Eco-HAB, donde intervienen diversas técnicas de ahorro energético y está basado en un sistema constructivo compuesto por una estructura de hormigón y acero, recubierto con un enlucido de yeso al interior y por un aislante de poliuretano al exterior que sirve de soporte para la cubierta con placas de plástico reciclado.

El desarrollo de la madera de plástico reciclado en EE.UU. ha ido aumentando considerablemente. Para el año 2001, la Sociedad Americana para pruebas de materiales (ASTM), creó una normativa piloto para la madera de plástico reciclado y sus formas (D20.20.01) en donde se establecen los métodos de ensayo, especificaciones, prácticas recomendadas y definiciones de perfiles dimensionales para este tipo de productos. Así mismo la Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), proporciona fondos para el desarrollo de normas y especificaciones de la MPR relativas a: densidad aparente y peso específico, resistencia a compresión, flexión, fluencia y rotura. También se trabaja para definir los métodos de ensayo adecuados para medir la inflamabilidad y resistencia de sujeción.

Además de la MPR se describieron otros elementos y materiales constructivos que utilizan plástico reciclado como materia prima, que demostraron tener un gran potencial generando productos con un alto valor añadido, aprovechando las propiedades mecánicas, físicas y químicas que conservan estos productos después de su reciclaje. Un ejemplo son los paneles de cubierta elaborados con fibras de kenaf, yute o cáñamo en unión con materiales termoplásticos, de fácil producción y transportación, con una buena calidad estética y bajo coste. Los procesos de transformación de este material no son complicados y los sobrantes pueden ser nuevamente reciclados.

Una mejora en los procesos de elaboración de la madera de plástico reciclado, reforzando su estructura interna con fibras sintéticas, originó el desarrollo de elementos constructivos de alta resistencia y propiedades estructurales, capaces de soportar grandes cargas en ambiente agresivos, con agentes oxidantes como muelles o puentes sobre ríos y mares. Estos elementos fueron elaborados a partir de un 80% de plástico reciclado (PE, PP) y 20% de cargas (fibra de vidrio, estabilizantes, retardantes, etc.) siendo hasta el momento el mayor avance en el proceso de transformación de estos materiales, generando productos con un altísimo valor añadido.

Materiales reciclados como el ABS y el policarbonato, mantienen en torno al 85-90% de sus propiedades de resistencia a la flexión, compresión y rigidez, después de una segunda transformación (comparados con polímeros vírgenes). Esta característica está siendo aprovechada en el desarrollo de nuevos materiales en determinadas aplicaciones automotrices debido al alto porcentaje mecánico a largo plazo en condiciones de carga. Los nuevos materiales compuestos (composites) elaborados con plásticos reciclados y reforzados con fibras naturales, han favorecido la mejora de las propiedades mecánicas y en algunos casos, el comportamiento térmico de los cerramientos, sin representar un aumento en su costo de fabricación. Composites de poliéstereno reforzado con fibras de cáñamo utilizados en la industria automotriz, mejoran las propiedades mecánicas, la estabilidad térmica y mecánica de los materiales originales, sin afectar los ciclos de vida del material una vez reciclado, ya que el cáñamo se desintegra con el calor del reciclaje.

El Grupo CEVE de Argentina utilizó envases de plástico reciclado y films de envoltura para alimentos (PET, PE, PP, PVC) como reemplazo de áridos para la elaboración de morteros y hormigones comunes. Los resultados demostraron tener una buena resistencia mecánica, buen aislamiento térmico, bajo peso específico, baja absorción de agua, uniformidad en su apariencia y buen comportamiento a la intemperie. Así como buena adherencia en los revoques tradicionales. El proceso de fabricación es el mismo que para un hormigón normal. No se requiere que los agregados (plásticos) estén limpios ya que no se afectan las propiedades físicas, mecánicas o de adherencia del hormigón. Este proceso a diferencia de otros métodos de transformación, no necesita albercas de lavado, separadores de plásticos por flotación u otros medios físicos, representando una disminución en los costes de producción, una mejora en la rapidez de transformación y un cambio en la percepción sobre estos materiales, pasando de ser un desecho a una materia prima de valor añadido.

10.5 MATERIALES ELABORADOS CON CAUCHO RECICLADO DE NFU.

- **Piedras artificiales de caucho reciclado.**

Hamoush et al., emplearon caucho reciclado, agregados pétreos y resinas, para la elaboración de piedras artificiales, con aplicación ornamental en fachadas exteriores, ofreciendo una mejora en las resistencias físicas y comportamiento térmico, comparado con otros sistemas de cerramiento. El caucho reciclado empleado para su elaboración redujo el peso total del material, aumentando la ductilidad y dureza. El elemento final obtuvo los siguientes resultados:

- Baja densidad de entre 1,45-1,6 g/cm³, comparada con la densidad de la piedra natural que ronda los 2,8-3,5 g/cm³.
- Baja conductividad térmica 3.5 W/m°C y 2.5 W/m°C (capa superior e inferior respectivamente), mientras que la piedra natural tiene una transmisión de 5 W/m°C, suponiendo una mejora del 50% de conductividad térmica.
- Alta resistencia en su capa exterior, soportando hasta 97 MPa en ensayos a compresión, lo cual puede proteger a la capa inferior y demás componentes internos de los muros contra cargas puntuales.
- Incremento de dureza y ductilidad (75% capa superior y 220% capa inferior) del elemento comparado con la piedra natural, mejorando la resistencia al impacto y reduce la generación de fragmentos o escombros.
- Baja absorción de agua de 0,21% mientras que el ladrillo de arcilla común cuenta con un 8,15%.

Por último se realizaron ensayos de envejecimiento por exposición al medio ambiente y no demostraron grandes deterioros ni cambios en el color o textura. El uso del caucho para la elaboración de este tipo de elementos de fachada, abre un nuevo panorama en el desarrollo de materiales de construcción, ya que no se emplearon difíciles procesos de reciclaje y los elementos finales tuvieron muy buenos resultados físico-químicos, gracias a las propiedades del caucho reciclado.

- **Análisis del ciclo de vida del caucho reciclado de NFU.**

Fiksel et al Analizaron el ciclo de vida y los métodos de transformación de algunos materiales elaborados con caucho reciclado de neumáticos fuera de uso, evaluando las ventajas y desventajas sobre las alternativas que se tienen para su reutilización y el impacto generado al medio ambiente en forma de emisiones de CO₂.

Se utilizó el sistema TRACI para analizar las alternativas de este material empleado como:

1. Uso como combustible en plantas cementeras (sustituto de combustible fósil)
2. Mezcla con betún en forma de aditivo para la mejora de carpetas asfálticas.
3. Granza de caucho reciclado para usos en ingeniería civil (hormigón-caucho, etc.)
4. Diferentes productos para suelo, pistas de caucho, césped sintético, etc.

En la mayoría de los casos se tuvieron reducciones considerables en la emisión de gases, al ser comparado con el impacto que tiene este material si termina su ciclo de vida en vertederos o abandono. Un dato a tener en cuenta es el hecho de que, por cada tonelada de caucho reciclado utilizado como combustible sustituto de carbón en fábricas cementeras, se evita la emisión de 613 kg/ton (equivalentes a CO₂) tomando en cuenta la emisión de gases en los procesos de obtención de carbón y el impacto de este cuando es quemado para producir energía.

Se encontró que si los neumáticos terminan su ciclo de vida en rellenos sanitarios, generarán una emisión de 33 kg/ton., de desechos, sin contar las emisiones de metales pesados en suelo y agua. En sí mismo, el reciclaje del caucho de NFU disminuye las emisiones de gases (equivalentes a CO₂) a la atmósfera, sin embargo no todas las alternativas analizadas, tuvieron buenos resultados. El uso de este material para la producción de césped sintético y como combustible sustituto de carbón en cementeras, disminuye las emisiones, no es así cuando es utilizado como combustible para calderas o para la producción de asfalto ya que aumenta la peligrosidad de sus emisiones (gas arsénico) por la ausencia de equipos de filtración en estos procesos.

- **Mejora de materiales elaborados con caucho de NFU a través de software.**

El uso de nuevos sistemas de medición y predicción basados en software de ordenador, permite conocer la resistencia, ductilidad y rigidez de mezclas con diferentes materiales, previos a realizar ensayos físicos. Estos sistemas serán de gran ayuda para el desarrollo de nuevas aplicaciones para un número indeterminado de materiales reciclados. El caucho además de ser un material termoestable es un material difícil de reciclar, por eso mediante procesos mecánicos simples (trituration) puede transformarse esta desventaja en una oportunidad para utilizar el material como un árido/agregado en otros sistemas de transformación. Utilizando el caucho reciclado de NFU en la elaboración de hormigón, se obtienen productos con un bajo peso específico y una gran cantidad de aire en su interior, mejorando los niveles de aislamiento térmico/acústico de los cerramientos elaborados con este material y permitiéndolo ser bombeado y vertido con altas tasas de flujo.

- **Caucho reciclado de NFU para la elaboración de hormigón.**

Najim et al. Proponen varias vías de investigación, para el uso del caucho reciclado como agregado, enfocándose en su uso para la elaboración de un hormigón aislante y encofrados con pocos requerimientos estructurales. Las ventajas de estas aplicaciones son; unas buenas propiedades térmicas y un rápido vertido. Otras aplicaciones contemplan; la creación de autopistas que ofrezcan una reducción de ruido en el tráfico, estructuras de viviendas con mejoras en aislamiento térmico/acústico y mejoras en el aislamiento de suelos en edificios.

El hormigón de caucho mejora el comportamiento de cargas dinámicas y propiedades de absorción de impacto/vibración.

La limitación de estos materiales es que se emplea solo para elementos no estructurales, ya que el caucho reduce la dureza y resistencia mecánica del elemento. El problema reside en la zona de transición interfacial, (ITZ por sus siglas en inglés) que se define como la zona de adherencia entre agregado y hormigón. Se intentó dar solución a este problema empleando diferentes aditivos como el caucho-estireno-butadieno modificado, teniendo buenos resultados. Otras alternativas fueron emplear combinaciones de agregados en polvo de aditivos puzolánicos y un tratamiento superficial del agregado mediante procesos químicos (NaOH) o físicos (granallado/rugosidad). Las mejoras más significativas se tuvieron en el hormigón de caucho autonivelante en aplicaciones de ingeniería civil, en la fabricación de elementos prefabricados para edificios de varios niveles, elementos no estructurales, así como cerramientos con absorción acústica en techos y suelos.

La incorporación del caucho en el hormigón, permite una mayor deformabilidad del elemento bajo cargas previas al fallo, reduciendo la rotura del hormigón por contracción o por tensión, así como una mejora de la dureza superficial, resistencia al impacto y ductilidad en comparación con el hormigón auto nivelante normal.

- **Predicciones mecánicas en una matriz de betún modificado.**

Zhang et al., investigaron mezclas de PP, caucho y betún SEBS en diferentes concentraciones, utilizando un método de diseño de experimentos para optimizar la fórmula empleada en aplicaciones comerciales con altas propiedades mecánicas. Las mezclas fueron definidas previamente mediante “**Diseño Estadístico de Experimentos**”. Este software utiliza un método que reduce el número de experimentos preliminares,

posteriormente la optimización de la mezcla se realizó utilizando un sistema de algoritmo híbrido artificial, basado en una técnica de redes-genéticas (ANN-GA). Generando tres variables PP, Caucho y SEBS en siete mezclas cuyas formulaciones mejoraron la resistencia a tensión y pronosticó la elongación/distensión del elemento al punto de rotura.

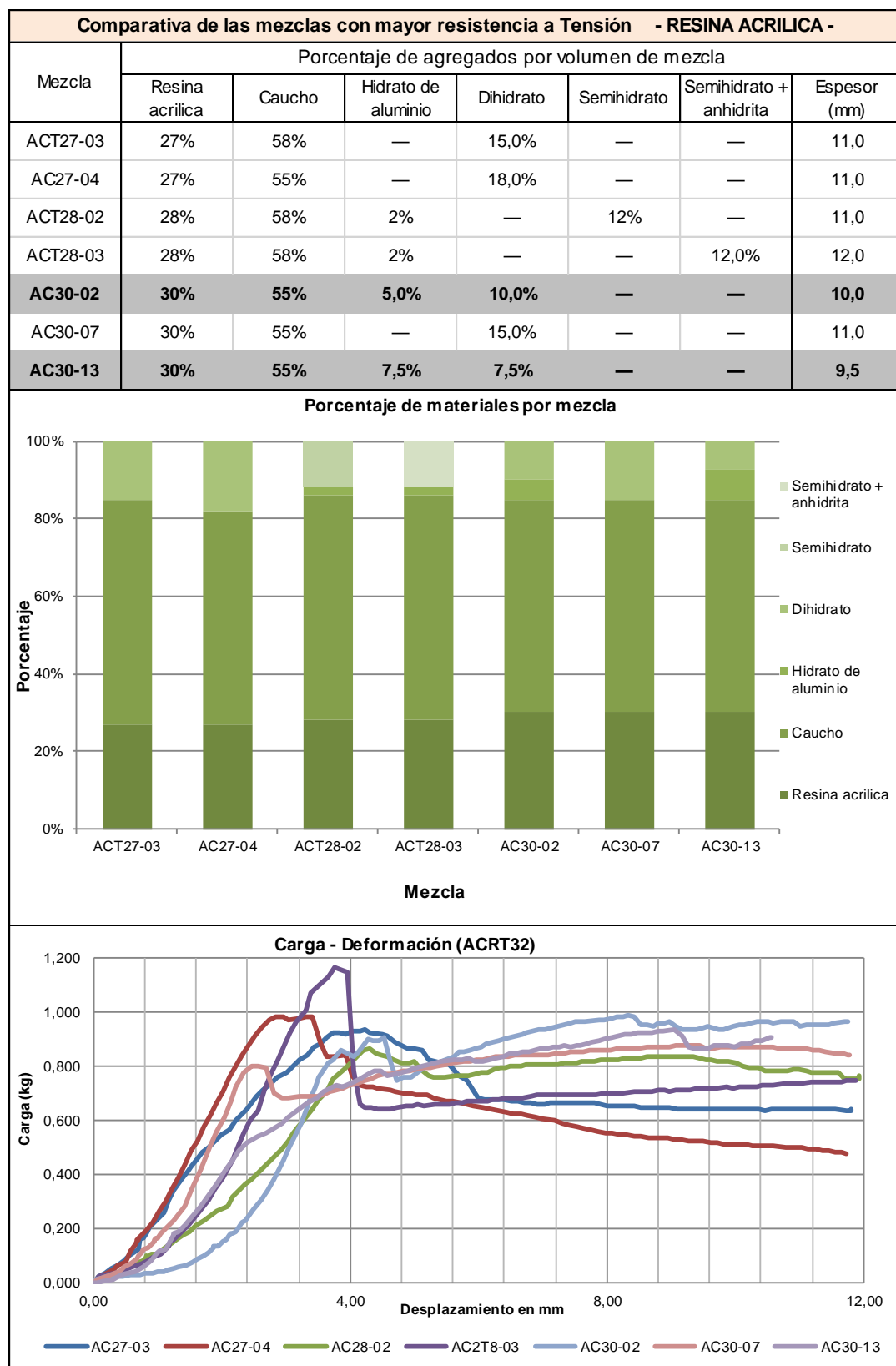
La formulación obtenida concordó con los porcentajes empleados en la parte experimental, validando la exactitud del método de diseño basado en un procedimiento de redes neuronales artificiales con algoritmos genéricos. Esto supone una vía en el desarrollo de mezclas de PP y caucho reciclado de alta calidad, para aplicaciones comerciales.

Se concluyó la necesidad de seguir caracterizando la morfología y propiedades químicas de los agregados de caucho reciclado para determinar el proceso menos costoso y con mejores resultados para conseguir la zona ideal de transición interfacial, generando nuevas oportunidades de negocio, mediante la disminución de costes en el tratamiento químico/físico del material y en la mejora de las propiedades mecánicas del elemento.

Tras el análisis de los materiales desarrollados con caucho reciclado, se llegó a las siguientes conclusiones:

- El reciclaje del caucho de NFU mediante procesos criogénicos conserva mejor las propiedades de este polímero, sin afectar demasiado su estructura molecular y favoreciendo un mejor desempeño en la unión con otros agregados.
- Los mejores resultados en la elaboración de nuevos materiales empleando caucho reciclado de NFU fueron obtenidos con una granulometría de entre 0.4 y 4.0 mm.
- Para mejorar la zona de transición interfacial del caucho con otros agregados se recomienda utilizar agentes químicos como tratamiento previo.
- El caucho de NFU utilizado como un agregado en hormigones, proporciona propiedades aislantes al elemento final. La propiedad aislante aumenta en proporción al peso de caucho en la mezcla, sin embargo esta relación afecta de manera inversa a la resistencia estructural del elemento.
- Las mezclas de cemento-caucho tienen propiedades de maleabilidad en fresco, mejora la velocidad de bombeo y vertido del material, y otorga propiedades auto compactantes a la mezcla.
- Es necesario tener un método válido de comparación entre los sistemas de transformación del caucho de NFU, con el objetivo de optimizar su uso en el desarrollo de nuevos materiales constructivos.

10.6 COMPARATIVA DE LAS MEZCLAS CON MEJORES RESULTADOS A TENSION.



* Las mezclas resaltadas en gris fueron las que tuvieron mayor resistencia a tensión.

Comparativa de las mezclas con mayor resistencia a Tensión - RESINA ACRILICA -							
Mezcla	Comparativa de magnitudes y propiedades físicas.						
	Carga (kN)	Tensión (MPa)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)	Retracción (g/cm³)
ACT27-03	934	6,98	689,02	608,97	682,01	0,893	-11,6%
AC27-04	989	7,42	719,55	590,61	676,54	0,87	-17,92%
ACT28-02	923	6,89	718,70	597,03	679,27	0,879	-16,9%
ACT28-03	1169	7,34	725,99	595,03	729,07	0,816	-18,0%
AC30-02	986	9,06	688,18	598,56	600,25	0,997	-13,02%
AC30-07	876	6,52	686,15	594,58	679,25	0,875	-13,35%
AC30-13	933	9,46	691,97	599,06	572,57	1,046	-13,43%

Comparativa de peso

Mezcla	Peso (g)
ACT27-03	689,02
AC27-04	719,55
ACT28-02	718,70
ACT28-03	725,99
AC30-02	688,18
AC30-07	686,15
AC30-13	691,97

Comparativa de volumen

Mezcla	Volumen (cm³)
ACT27-03	682,01
AC27-04	676,54
ACT28-02	679,27
ACT28-03	729,07
AC30-02	600,25
AC30-07	679,25
AC30-13	572,57

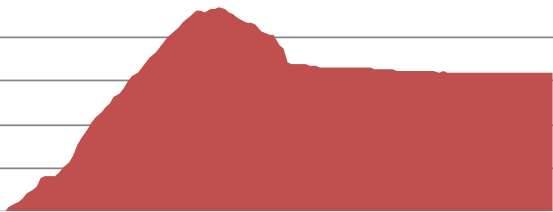
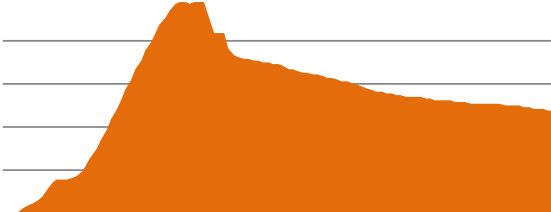
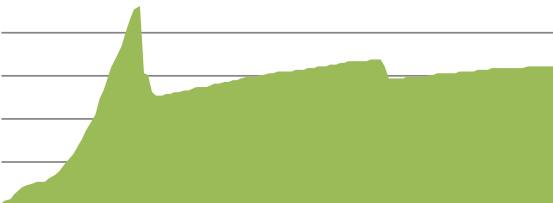
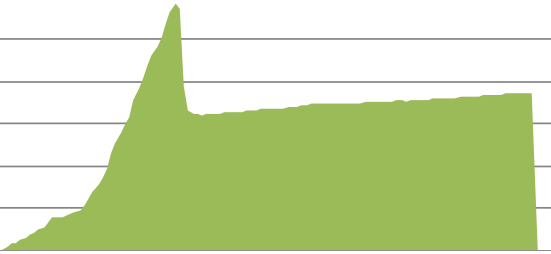
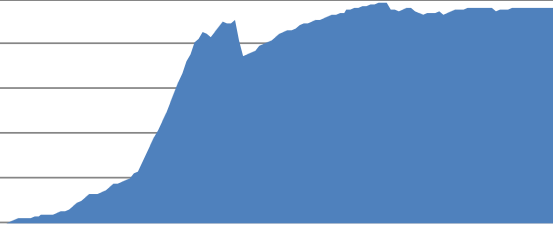
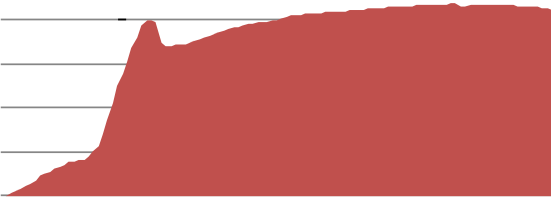
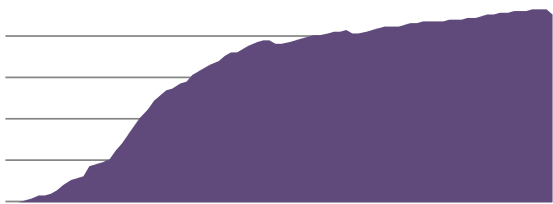
Comparativa de Carga

Mezcla	Carga (kN)
ACT27-03	934
AC27-04	989
ACT28-02	923
ACT28-03	1169
AC30-02	986
AC30-07	876
AC30-13	933

Comparativa de Tensión

Mezcla	Tensión (MPa)
ACT27-03	6,98
AC27-04	7,42
ACT28-02	6,89
ACT28-03	7,34
AC30-02	9,06
AC30-07	6,52
AC30-13	9,46

* Las mezclas resaltadas en gris fueron las que tuvieron mayor resistencia a tensión.

Comparativa de tenacidad de las mejores mezclas			
Tenacidad ACT27-03		Tenacidad AC27-04	
			
I_1	I_5	I_1	I_5
$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$	$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$
8,45	4,07	5,38	4,63
Tenacidad ACT28-02		Tenacidad ACT28-03	
			
I_1	I_5	I_1	I_5
$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$	$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$
4,50	3,65	8,70	3,38
Tenacidad AC30-02		Tenacidad AC30-07	
			
I_1	I_5	I_1	I_5
$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$	$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$
4,6	4,88	4,00	4,76
Tenacidad AC30-13			
			
I_1	I_5		
$I_1 = ((b \times h)/2)$	$I_5 = (I_1 + (L \times L))/I_1$		
2,60	6,32		

CONCLUSIONES DEL PROCESO EXPERIMENTAL.

Los elementos realizados en la parte experimental fueron elaborados por un método de termoconformación, empleando calor y presión durante su proceso de transformación. El proceso es sencillo se elabora la mezcla “matriz” con todos los agregados y aditivos, se introducen en una malla textil que se somete a presión para darle la forma al elemento. Posteriormente se introduce a una estufa y se somete a calor y presión (aquí es donde se forman los enlaces tridimensionales covalentes) para terminar su proceso de curación.

El material obtenido es un polímero atáctico de estructura amorfa (anisótropo) con una gran capacidad de deformación (estructura Elastomérica) un alto peso molecular y una formación por adición reticular.

El proceso de curación se compone de 4 fases: La primera es cuando se mezclan todos los agregados y la resina, la segunda cuando se eleva la temperatura a 65°C y es cuando el sulfato de calcio libera una molécula de H₂O generando los primeros enlaces con el resto de los agregados, la tercer fase se da a los 100°C cuando el hidrato de aluminio libera otra molécula de H₂O rehidratando a la anhidrita. Por último la cuarta fase se da a los 160°C cuando la resina evapora una tercer molécula de agua creando enlaces tridimensionales covalentes entre los agregados pétreos, las fibras y el caucho reciclado.

Es por esta reacción que la mezcla con Dihidrato tiene mejores resistencias mecánicas a flexión, además de una mayor estabilidad (menor retracción) y facilidad en los procesos de transformación.

La resina acrílica ha demostrado ser el mejor material ligante para la elaboración de elementos de gran resistencia, ya que esta resina durante su proceso de curación libera moléculas de agua (H₂O).

Las características físicas del material fueron estudiadas y podemos destacar la **baja densidad del elemento (+/- 950 kg/m³)**, una **gran resistencia a tensión** en una placa de 10 mm de espesor (+/- 9 MPa), así como una **baja conductividad térmica** ($\lambda=0,06$ W/m⁰K). Estas propiedades justifican el que se siga experimentando con más opciones de transformación, así como el uso de diferentes fibras de refuerzo y envolvente, conservando la mezcla base de 30% resina acrílica, 55% caucho reciclado, y 15% de agregados pétreos (anhidrita e hidrato de aluminio).

Las mezclas con mayores resistencias mecánicas a tensión fueron elaboradas con: Dihidrato e Hidrato de Aluminio ligero como agregados pétreos, Resina Acrílica como aglomerante, fibras PET termofusionable y fibras de vidrio, como fibras de refuerzo.

El Dihidrato en unión con el Hidrato de Aluminio (en relación 1:2 y 1:1), brindan a la mezcla una mejora de resistencia a tensión, así como una mayor estabilidad y planimetría.

Una tercera parte del total de las mezclas que obtuvieron mejores resistencia mecánicas a flexo-tracción, fueron elaboradas con el Dihidrato como agregado principal.

El espesor es determinante (en la mayoría de los casos) para incrementar la resistencia a tensión de las placas realizadas.

La resina acrílica por su alto contenido en sólidos, tiene un alto peso molecular favoreciendo a que la mezcla tenga menos efectos visco-elásticos. Esta situación hace que el producto final tenga un aumento en la resistencia a tensión, fisuración y a tensiones residuales.

Las placas elaboradas ofrecen un buen aislamiento térmico debido a su baja densidad, siendo un mal conductor del calor.

Las mezclas elaboradas con Semihidrato y Semihidrato + Anhidrita, tienen un corto periodo elástico con gran capacidad de carga, pero no ofrecen una tenacidad uniforme en la deformación plástica.

Se observa una relación entre el aumento de la tenacidad empleando una combinación de 15% de agregados pétreos y un 30% de resina acrílica. Dentro de esta combinación el Dihidrato junto con el Hidrato de Aluminio obtuvieron los mejores resultados.

La resina de Poliéster insaturado ocasiona que el elemento se comporte como un material termoplástico con poca resistencia mecánica y con una gran capacidad de deformación.

Existe una relación entre el incremento de la resistencia mecánica a tensión y la tenacidad obtenida, relacionada al uso de fibras de PPT como refuerzo en la matriz polimérica.

La arpillera de Yute soporta temperaturas de más de 180°C al interior de la estufa de secado sin que se observe carbonización o alteración visual en su superficie.

Se observa una relación entre el aumento de resistencia a tensión y tenacidad de los elementos con la uniformidad y planimetría de las placas. Es necesario un mayor control en el proceso de transformación de manera que puedan realizarse elementos que tengan las mismas características y puedan ser producidos en serie.

11 ■ CONCLUSIONES

En este capítulo se muestran las conclusiones finales de esta tesis.

Si bien es difícil condensar el conocimiento adquirido a lo largo de todos estos años, en esta parte se recogen los datos esenciales con los que poder desarrollar un material compuesto elaborado con caucho reciclado de NFU como agregado principal.

“La felicidad es saber unir el final, con el principio”

Pitágoras

Tras el análisis e interpretación de los resultados del material compuesto, elaborado a partir de una matriz de caucho reciclado, resinas poliméricas, cargas y fibras de refuerzo, diseñado y desarrollado a partir de un análisis sistemático sobre el comportamiento individual y colectivo de los agregados seleccionados, y que ha sido comprobado posteriormente mediante un proceso experimental sus propiedades físicas y mecánicas, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. Es posible realizar un elemento modular de fachada de 10 mm de espesor, mediante una matriz de: resina acrílica, caucho reciclado, hidrato de aluminio y dihidrato, reforzado con fibras de vidrio y PET termofusionable, capaz de soportar una carga a tensión de 9 MPa y que además tenga un bajo índice de conductividad térmica (0,60 W/m²K).
2. Para obtener elementos con buena resistencia a la tensión se debe utilizar: 30% de resina acrílica, 55% de caucho reciclado y un 15% de agregados pétreos pulverizados. Al modificarse estos valores la resistencia a tensión y la tenacidad del elemento se verá reducida.
3. La adición de agregados pétreos pulverizados de Dihidrato e Hidrato de Aluminio en relación 1:1 y 1:2, produce un incremento en la resistencia mecánica (tensión y tenacidad) de los elementos producidos.
4. El Dihidrato por su mayor pureza mineral (98%) permite a la mezcla tener menos variaciones entre su densidad inicial y su densidad final, ayudando a incrementar la tenacidad de la placa.
5. La resina acrílica permite elaborar placas con buena resistencia a tensión, tenacidad y libertad de forma, mediante un proceso de transformación en dos partes: Frío (proceso de elaboración y presión inicial de las placas) y Calor (curación dentro de la estufa de secado durante 120 min a 160°C).
6. Las fibras de PPT termofusionable por su baja temperatura de transición (110°C), genera una mezcla más uniforme, incrementando la resistencia a tensión de los elementos.
7. Existe una buena adherencia entre el caucho reciclado y las fibras de yute, con la mezcla polimérica de resina acrílica, Dihidrato e Hidrato de aluminio.

Se ha demostrado, tanto en los ejemplos mencionados en esta investigación como en el proceso experimental llevado a cabo, que los desechos plásticos pueden servir como materia prima en nuevos procesos de transformación, elaborando materiales con un alto valor añadido y que contribuyen a la disminución de emisiones contaminantes. Por lo tanto se confirma la viabilidad del uso de plásticos termoestables como el caucho de neumáticos fuera de uso, para emplearse como áridos en diferentes aplicaciones, transformando en ventaja la imposibilidad de alterar su estructura molecular.

12. ■ FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Después de todo el trabajo realizado hasta el momento, se puede decir que no está todo determinado ya que aún quedan muchas cosas por hacer. Esta investigación ha servido como una aportación más a los múltiples esfuerzos por reutilizar los desechos plásticos como materia prima en nuevos procesos de transformación y más específicamente, para su empleo en la elaboración de nuevos materiales constructivos.

“Es de importancia para quien desee alcanzar una certeza en su investigación, el saber dudar a tiempo.”

Aristóteles

Como futuro trabajo de investigación y a manera de continuación de esta tesis se plantea el desarrollo de las siguientes líneas de investigación:

1. Desarrollo de nuevos ensayos relacionados con la resistencia acústica del material. Este punto es importante ya que podrían ser aprovechadas las características de su compasión para minimizar el ruido por impacto y aéreo que afectan a los edificios que utilizan este tipo de fachadas.
2. Desarrollo de ensayos destructivos, para conocer la resistencia al fuego del material y del sistema constructivo una vez finalizados los análisis de viabilidad industrial del elemento.
3. Ensayos a nivel del material compuesto: con nuevas dosis de agregados, para mejorar las prestaciones del producto, especialmente los procesos de conformación y curación (fraguado).
4. Desarrollo de otros materiales constructivo de resinas poliméricas, caucho reciclado y agregados pétreos, reforzados con fibras. Mediante un proceso industrial – bloques, paneles, tableros y piezas especiales-, con ayuda de sistemas mecanizados en la fabricación, que faciliten la trabajabilidad del mismo.
5. Estudio de sistemas constructivos que permitan la incorporación de este material constructivo una vez que esté completamente desarrollado: complementar los experimentos ya realizados –enunciados en el estado del arte- para desarrollar productos de construcción definitivos, con perspectivas de comercialización y difusión.
6. Estudio en edificios–con diferentes usos y actividades- del comportamiento de las fachadas tras ventiladas, para justificar el uso de este material como un elemento de valor añadido capaz de contribuir a la mejora energética del edificio.
7. Diseño de una herramienta de cálculo, a partir de los resultados obtenidos en la monitorización de edificios, que permita obtener datos en términos de contribución al confort térmico, ahorro energético, reducción de emisiones de CO₂, tiempo de amortización de la inversión,..., que verifique la idoneidad de la instalación del sistema en cada caso.

13. ■ BIBLIOGRAFIA

El conocimiento humano se basa en dar continuidad con los trabajos que se han realizado durante las generaciones anteriores sobre un tema en específico. Este capítulo sirve para hacer énfasis en esta premisa, ya que se mencionan todas las investigaciones, libros, artículos y referencias que están involucradas en la realización de esta Tesis.

“La soberanía del hombre está oculta en la dimensión de sus conocimientos.”

Sir Francis Bacon

- ([1] Xingfu Li et al 2010). Comparison of end-of-life tire treatment technologies: A Chinese case study. Authors: Xingfu Li, He Xu *, Yingnan Gao, Yijun Tao Waste Management 30 (2010) 2235–2246
- ([2] PEMRG 2011).Plastic Europe Marketing Research Group. "The compelling facts about plastics 2010".
- ([3] R.A.E.), Definición de la Real Academia Española de la lengua.
- ([4] García Santos 2007) García Santos, Alfonso. Revista Tectónica núm. XI 2006, "Plásticos".
- ([5] CEP 1991). Centro Español del Plástico. Los plásticos: materiales de nuestro tiempo. Editorial ANAIP. Barcelona 1991.
- ([6] Plastic Europe 2010). Plastique Europe "The compelling facts about plastics 2010".
- ([7]) Herman Staudinger. Premio Nobel de Química por sus descubrimientos en el campo de la Química Macromolecular en 1953.
- ([8] García Santos 2001). García Santos, Alfonso. Los plásticos en la construcción I. Cuadernos del instituto Juan de Herrera. ETSAM 2001
- ([9] García Santos 2001). García Santos, Alfonso. Los plásticos en la construcción I. Cuadernos del instituto Juan de Herrera. ETSAM 2001
- ([10] Areizaga 2001). Areizaga Javier, Cortázar Milagros, Elorza José. Polímeros. Biblioteca de Químicas ed. Síntesis, año 2002.
- ([11] García Santos 2001). García Santos, Alfonso. "Los plásticos en la Construcción I, estructura y propiedades". Cuadernos del Instituto Juan de Herrera. ETSAM 2001.
- ([12] García Santos 2001). García Santos, Alfonso. "Los plásticos en la Construcción I, estructura y propiedades". Cuadernos del Instituto Juan de Herrera. ETSAM 2001.
- ([13] del latín grandía; tierra finaR.A.E.), Definición de granza, tomada del Diccionario de la Real Academia Española de la lengua.
- ([14] García Santos 2007) García Santos, Alfonso. Revista Tectónica núm. XI 2006, "Plásticos".
- ([15] Plastic Europe) The Compelling Facts about Plastics" Plastics Europe
- ([16] PEMRG). Plastic Europe Marketing and Research Group
- ([17] PEMRG). Plastic Europe Marketing and Research Group

- ([18] Plastic Europe). Plastics Europe, The Facts 2010 An analysis of European Plastics production, demand and recovery for 2009.
- ([19] R.A.E.) Real Academia Española de la lengua, definición de desecho.
- ([20] R.A.E.) Real Academia Española de la lengua, definición de residuo.
- ([21] C.E.P. 2001). Centro Español del Plástico
- ([22] EUWLD 2006) EU Waste Legislation. Directive 2006/12/EC. Directiva 2006/12/EC del parlamento Europeo y del Consejo sobre residuos del 5 de Abril de 2006.
- ([23] García Santos 2001) Alfonso García Santos. Los plásticos en la construcción I. Estructura y Propiedades. Cuadernos del instituto Juan de Herrera. ETSAM 2001.
- ([24] WRAP) Working together for a world without waste
www.wrap.org.uk/wrap_corporate/about_wrap/our_impact/download_and_read.html
- ([25] COREPLA)
- ([26] PEMRG), The compelling facts about plastics 2007
- ([27] PEMRG), The compelling facts about plastics 2007
- ([28] PEMRG 2007). The compelling facts about plastics 2007
- ([29] CEP 2001), Centro Español del Plástico 2001.
- ([30] CICLOPLAST 2007). Empresa española dedicada al manejo de desechos plásticos.
- ([31] CIWM 2000) California Integrated Waste Management 2000.
(<http://www.ciwmb.ca.gov/Plastic/Recycled/Lumber/RandD.htm>)
- ([32] ECO HAB) Ecological Habitation. Author: Adrian Quin.
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/8018305.stm>
<http://www.ecohab.co.uk/options.htm>
- ([33] Bargo 2000) Mechanical property characterization of recycled thermoplastics Bargo, Johnny Edward. ProQuest, UMI Dissertations Publishing 2000 ISBN 9780599997288, 0599997281
- ([34] Brown 2002). Recycled plastics find structural applications. Author Brown, Jeff L. American Society of Civil Engineers . May 2002. ISSN 08857024
- ([35] López 2004) López Sánchez Ángel Tesis Doctoral por la Universidad Politécnica de Cataluña. ISBN: 84-688-8618-1
- ([36] Mehta et al 2005) Novel Biocomposites Sheet Molding Compounds for Low Cost

Housing Panel Applications. Authors: Geeta Mehta, Amar K. Mohanty, Kelby Thayer, Manjusri Misra, and Lawrence T. Drzal. ISBN 1566-2543/05/0400-0169/0 _ 2005

[36] Berreta et al 2006) Centro experimental de la vivienda económica (CEVE) y el Instituto de investigación del consejo nacional de investigaciones científicas de la República Argentina (CONICET) Autores: Berretta, H. Argüello, R. Gatani, M. Gaggino, R..

[37] Hamoush et al 2011) Development of sustainable engineered stone cladding for toughness, durability, and energy conservation. Authors: Sameer Hamoush, Taher Abu-Lebdeh, Miguel Picornell, Salah Amer. Construction and Building Materials 25 (2011) 4006–4016

[38] Fiksel et al 2010) Comparative life cycle assessment of beneficial applications for scrap tires. Authors: Joseph Fiksel • Bhavik R. Bakshi • Anil Baral • Erika Guerra • Bernhard DeQuervain. Clean Techn Environ Policy (2011) 13:19–35 DOI 10.1007/s10098-010-0289-1

[39] TRACI) Tools for the Reduction Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts) método creado en Estados Unidos por la EPA (Agencia de Protección al Ambiente) para cuantificar métricamente, los ciclos de vida de los materiales, procesos de diseño, ecología industrial y prevención de emisiones.

[40] Zhang et al 2010) Prediction of mechanical properties of waste polypropylene/waste ground

rubber tire powder blends using artificial neural networks. Authors: Shu Ling Zhang, Zhen Xiu Zhang et al. Materials and Design 31 (2010) 3624-3629.

[41] Navarro et al 2010) Novel recycled polyethylene/ground tire rubbe /bitumen blends for use in roofing applications: Thermo-mechanical properties. Autores: Francisco Javier Navarro*, Pedro Partal, Francisco J. Martínez-Boza, Crispulo Gallegos. Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva, Campus del Carmen, 21071 Huelva, Spain Polymer Testing29(2010)588e595.

[42] Plastic Europe 2007) “The compelling facts about plastics 2007” Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME).

[43] Forzada et al 2005) F. Rozada et al. Activated carbons from sewage sludge and discarded tyres: production and optimization. 124 (2005) 181-191

[44] Najim 2010) A review of the fresh/hardened properties and applications for plain- (PRC) and self-compacting rubberised concrete (SCRC) Authors: K.B. Najim *, M.R. Hall. Construction and Building Materials 24 (2010) 2043–2051.

([45] Sherwood 1995) The use of waste and recycled materials in roads. Author: Sherwood PT. Proc Inst Civil Engineering Transport ISSN 1995;111:116–24.

([46] Jimenez-Espadafor 2011) Optimal design of acoustic material from tire fluff. Authors: Francisco José Jimenez-Espadafor, José A. Becerra Villanueva, Miguel Torres García, Elisa Carvajal Trujillo, Antonio Muñoz Blanco. Materials and Design 32 (2011) 3608–3616

([47] Sunthonpagasit 2004) Scrap tires to crumb rubber: feasibility analysis for processing facilities. Authors: Sunthonpagasit N, Duffhey M. Conserv Recy 2004;40:281-99

([48] Sukontasukkul) Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel. Author: Sukontasukkul P. Construct Build Mater 2009;23:1084–92.

([49] Siddique 2004) Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview. Author: Siddique R, Naik T. Waste Manage 2004;24:563–9.