



VI Congreso de Ingeniería Industrial COINI 2013
7 y 8 de noviembre de 2013

Centro Tecnológico de Desarrollo Regional
Facultad Regional San Rafael - Universidad Tecnológica Nacional
Los Reyunos, San Rafael, Mendoza, Argentina

**PROCEDIMIENTO NOVEDOSO DE FABRICACIÓN DE PANELES “SANDWICH”
COMPUESTOS**

*Cano, Federico**, *Romía, José N.*, *Tonno, Miguel Á.*, *García, Guillermo D.*, *Sánchez Varretti, Fabricio O.*, *Martínez, Cinthia G.*
Grupo de Físico Química de Sistemas Complejos (GFQSC), Universidad Tecnológica Nacional,
Facultad Regional San Rafael.
Gral. J. J. de Urquiza 340M5602GCH.
fede_cano_24@hotmail.com
nicolasromia@hotmail.com
migueltonno@hotmail.com.ar
ggarcia@frsr.utn.edu.ar
fsanchez@frsr.utn.edu.ar
cinthiagmartinez@hotmail.com

RESUMEN.

En la actualidad la necesidad de incrementar la calidad de los productos ofrecidos, su eficiencia y la reducción de los costos es una realidad sin discusión. A pesar de la gran cantidad de investigaciones y desarrollos tecnológicos llevados a cabo en la última mitad del siglo pasado y a comienzos de este, el aprovechamiento completo de esta clase de materiales no ha sido llevado a cabo todavía. Los materiales compuestos se diferencian de los materiales tradicionales en que los compuestos están fabricados por, al menos, dos tipos de materiales: un refuerzo y una matriz; que al combinarse, a pesar de ser un sistema heterogéneo, funcionan interactuando para formar un nuevo material cuyas propiedades no son la suma de las propiedades de las sustancias que lo componen.

En este trabajo se ha investigado y experimentado con nuevos métodos de producción de núcleos del tipo panal de abeja para paneles compuestos, que sirvan como alternativa para el mercado de los materiales compuestos en particular el de medios de transporte aeronáutico y naval. La metodología de producción para la obtención de este tipo de núcleo ha sido modificada al permitir la organización y redistribución individual de cada elemento que constituye el núcleo. De este modo podemos variar la forma del núcleo en cualquiera de sus superficies. Esto lleva a una optimización del proceso de fabricación de paneles que posean caras asimétricas.

Los objetivos del presente trabajo son: elaborar mediante un nuevo procedimiento un nuevo tipo de núcleo de similares características al panal de abeja comercial; ensayar y caracterizar probetas con este nuevo tipo de núcleo. Realizamos pruebas estándares para analizar las propiedades de flexión y compresión de un material compuesto de matriz polimérica. Los resultados de los ensayos permiten proponer el producto como mecánicamente apto para el uso industrial, además, el costo de producción es bajo en relación con el del núcleo comercial.

Palabras Claves: Materiales compuestos, núcleo, fabricación, esfuerzo.

INTRODUCCIÓN.

En el ámbito comercial existe una necesidad continua y creciente de mejorar la calidad de los productos ofrecidos, incrementando la eficiencia y reduciendo los costos debido a los desperdicios. Si la atención está centrada en los incrementos de los niveles de producción solamente esto puede resultar en una degradación y mal aprovechamiento de las propiedades y capacidades de los componentes fabricados.

Las muchas ventajas de las construcciones tipo “sándwich”, el desarrollo de nuevos materiales y la necesidad de un alto rendimiento y estructuras de bajo peso aseguran que este tipo de construcción seguirá teniendo una demanda creciente, un detalle de estos elementos se puede ver en la Figura 1. Dichas construcciones están siendo consideradas para su aplicación a las partes sensibles de las estructuras aeronáuticas en los que se exige una alta fiabilidad. Su aplicación ha sido hasta ahora limitada por el escaso conocimiento del comportamiento de las mismas bajo cargas dinámicas complejas [1].

Los núcleos de los materiales compuestos tipo sándwich han estado elaborados por décadas con componentes a base de resinas termorígidas, sin embargo un nuevo enfoque está siendo implementado al utilizar materiales termoplásticos. Los materiales termoplásticos poseen el potencial de reducir significativamente el costo de las estructuras de materiales compuestos. Los beneficios de los termoplásticos son su vida útil indefinida, el procesamiento sin necesidad de autoclave, resistencia a la temperatura, resistencia al impacto y bajo punto de fusión en su elaboración [2]. Es por esto que se requiere una investigación constante sobre el tratamiento y la unión de materiales termoplásticos avanzados junto al análisis de estas estructuras sometidas a diferentes esfuerzos.

Mientras que es común para las ciencias básicas comprender las diferentes opciones de manufactura, para el fabricante esto no siempre se cumple ya que no puede, generalmente, confrontar los diversos aspectos de la ciencia y la tecnología del procesamiento de materiales avanzados, los cuales son muy relevantes e inexplorados en la actualidad [3]. La alta resistencia y el bajo peso son la combinación que impulsa a los materiales compuestos dentro de nuevos escenarios a nivel mundial [4].

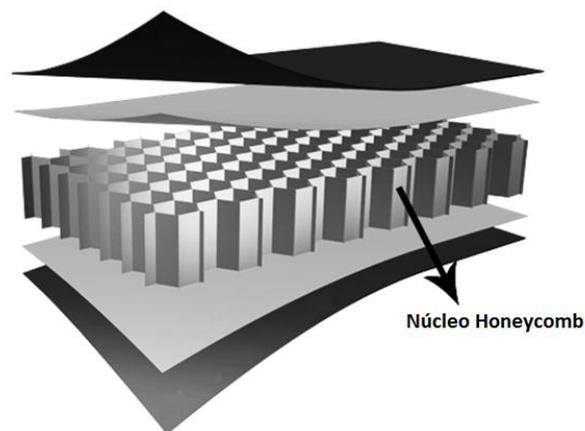


Figura1 *Panel compuesto con núcleo de panal de abeja.*

Los paneles compuestos poseen otras propiedades que los hacen sumamente interesantes, ofrecen amortiguamiento acústico y bajo coeficiente de expansión térmica además de ser resistentes a la fatiga y de proveer flexibilidad en el diseño/fabricación lo cual puede disminuir significativamente el número de partes necesarias para una aplicación específica. La necesidad de economizar combustibles hace que la disminución del peso sea una prioridad dentro del diseño de una pieza. Los materiales compuestos “composites” difieren de los materiales tradicionales en que los primeros están compuestos por dos tipos de materiales, fibras y una matriz por lo general polimérica, que cuando se combinan a pesar de estar separadas (sistema heterogéneo) funcionan interactuando para hacer un nuevo material cuyas propiedades no pueden ser predichas por la simple suma de las propiedades de las sustancias que lo componen. De hecho una de las mayores ventajas de los composites es la naturaleza complementaria de sus propiedades, por ejemplo las fibras poseen una muy alta resistencia a la tracción, pero son susceptibles al daño. En cambio las resinas poliméricas son frágiles pero son extremadamente maleables y resistentes al daño.

Los materiales compuestos avanzados ofrecen características superiores a los materiales convencionales de las mismas aplicaciones, encontrando aplicación en la actualidad en satélites de comunicaciones, aviones, elementos deportivos, transporte, industria pesada y en el sector de energía tanto en el gas como el petróleo y en la fabricación de turbinas de viento [5-7]. La matriz

puede ser polimérica pero también cerámica o metálica siendo la primera la de mayor uso y aplicación hasta el momento. Las fibras más comúnmente utilizadas son las de vidrio y de carbono.

Todas estas combinaciones de materiales no pueden ser trabajadas con un solo método de moldeo por lo que este varía de acuerdo a la aplicación y a los materiales involucrados. Podemos citar los más comunes como son: el moldeo manual, por aspersión, por enrollamiento, por pultrusión, por prensado, por inyección de resina, por centrifugado, mediante vacío, por colada, métodos especiales, etc. [8]. Junto a todas estas formas de fabricación tenemos también las características propias de la estructura que deseamos generar, que, a pesar de utilizar distintas combinaciones de los métodos de fabricación debemos considerar la forma estructural o geométrica en que las combinamos. En este caso se tiene en cuenta la relación entre los criterios del diseño de las piezas que deseamos obtener con el tipo de fibra, la forma de la estructura y la orientación.

La construcción en sándwich tiene infinidad de aplicaciones entre las cuales podemos citar la utilización de estos materiales para ahorrar peso en los pisos y paneles separadores en cualquier tipo de vehículo aéreo, marítimo y también terrestre. Como testimonio de este uso podemos decir que mientras algunas aerolíneas están implementando programas para reducir costos operativos, ciertas aerolíneas han establecido iniciativas estratégicas que tienen por objetivo la reducción del consumo de combustible especialmente a través de la reducción del peso de sus aeronaves [9]. Nuestro propósito es incursionar en la tecnología de fabricación de paneles sándwich con núcleo de panal de abeja introduciendo nuevas técnicas operativas que reducirían los tiempos de fabricación mejorando el diseño de las piezas terminadas sin sacrificar ninguna propiedad mecánica-estática de las mismas tratando de reducir costos y desperdicios en los materiales utilizados para la fabricación. También pretendemos trabajar con materiales que reduzcan la contaminación de nuestro medio ambiente. A continuación se presenta el proceso propuesto para la elaboración de este tipo de núcleo, posteriormente se ensayan los mismos para caracterizarlos para que finalmente presentemos las conclusiones alcanzadas.

2. METODOLOGÍA.

2.1 Fabricación tradicional

Los núcleos de panal de abeja se han fabricado históricamente mediante la unión de láminas de papel, o del material a utilizar en el núcleo, al aplicarles adhesivo en bandas longitudinales en una de las caras de la hoja del papel [10]. La posterior disposición de estas láminas una sobre otra y su prensado permiten la conformación de un bloque que, un vez seco el pegamento, debe traccionarse para producir la separación de las bandas que no poseen adhesivo. Este hecho genera una geometría hexagonal en un plano transversal al eje de desplazamiento.

Una vez obtenido este bloque con núcleos de panal de abeja, se procede a un baño de resina para lograr así una mayor resistencia del material. Una vez logrado el endurecimiento (curado) de la resina; se cortan secciones planas y paralelas a una de las caras del bloque logrando de esta forma el núcleo del panel, Figura 2.



Figura 2: Proceso tradicional de fabricación de núcleo de panal de abeja.

El proceso a realizar en este trabajo modifica el procedimiento de elaboración del núcleo mediante la unión de columnas hexagonales individuales. Para analizar su comportamiento se ensayan las probetas de paneles con núcleo honeycomb y caras reforzadas mediante un análisis mecánico;

flexión, para determinar parámetros de resistencia mecánica y de esta forma compararlos con paneles comerciales.

Cuando un nuevo concepto técnico aporta una contribución substancial o una solución efectivamente útil para algún problema que presenta el empleo de determinados materiales, inmediatamente la práctica se apodera de él para probarlo en variadas aplicaciones. Es por esto que profundizar en el conocimiento experimental y teórico de los materiales compuestos y proponer mejoras en los procesos productivos tendientes a la obtención de un material de mejores características es el objetivo propuesto en este trabajo. Por otro lado la reducción de los costos de fabricación tanto en insumos como en tiempo de elaboración son metas deseables junto con las mejoras de las características mecánicas del material propuesto.

3. NUEVO PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN

La idea base del nuevo proceso de elaboración surge ante la necesidad de materiales con características específicas tales como baja densidad y alta resistencia a distintos tipos de esfuerzos mecánicos. Materiales con estas características se encuentran en diversas formas en el mercado, pero debido a sus altos costos y su procedencia internacional es que se comenzó a investigar y experimentar con nuevos métodos de producción de materiales que sirvan como opción al mercado local, dicho esto desarrollaremos un nuevo procedimiento alternativo.

Para el proceso de producción utilizamos los siguientes materiales: cilindros de polipropileno; ADCOTE 775 A+C ®, es un adhesivo poliuretano base solvente, de 2 componentes; y lámina de alto impacto de 0.3mm de espesor. El proceso comienza con el armado de un bloque de cilindros que se disponen en forma paralela y sobre una superficie plana para luego ser unidos con adhesivo sintético, como indica la Figura 3.



Figura 3: Fila de cilindros dispuestos en forma paralela.

Añadiendo 3 nuevas capas de cilindros siguiendo el procedimiento descrito anteriormente y colocados cada cilindro de una capa en los intersticios de la capa superior y uniendo entre si cada capa con adhesivo, se completa el bloque necesario para pasar a la próxima etapa, Figura 4.

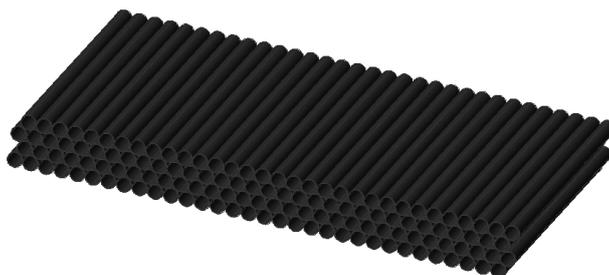


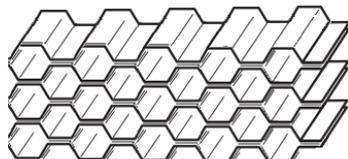
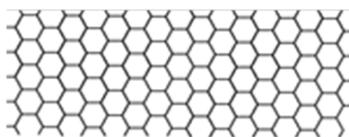
Figura 4: Bloque de Cilindros.

Una vez que ha actuado el adhesivo fijando todo el bloque, este último es cortado en forma transversal al eje longitudinal de los cilindros formando láminas. El corte se realiza mediante un filamento incandescente que secciona los cilindros al espesor deseado. Estas láminas conformaran el núcleo de la probeta al disponer secciones de cilindro unidas lateralmente unas con otras y con sus ejes perpendiculares a las caras de la probeta.

4. CONSTRUCCIÓN DE LAS PROBETAS

Para la obtención de las probetas nos basamos en la norma ASTM D 7264/D 7264M – 07 [11]. La cual establece relaciones entre las dimensiones de las probetas y métodos para realizar el ensayo. Como el núcleo honeycomb presenta características diferentes según su disposición geométrica, incurrimos en el análisis, teniendo en cuenta dos disposiciones según Figura 5.

Disposición Longitudinal



Disposición Transversal

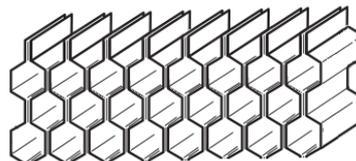
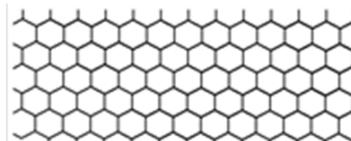


Figura 5: *Distintas disposiciones del núcleo original.*

El sentido depende de la dirección de las láminas de papel que componen al núcleo.

Para obtener el núcleo con disposición longitudinal se corta el material en la dirección de las láminas, en cambio, para obtener el núcleo con disposición transversal se corta el material en forma normal al sentido de las mismas.

En la siguiente figura podemos apreciar las diferentes reacciones ante el esfuerzo de flexión, producto de su propio peso, de los dos núcleos en sus distintas disposiciones.

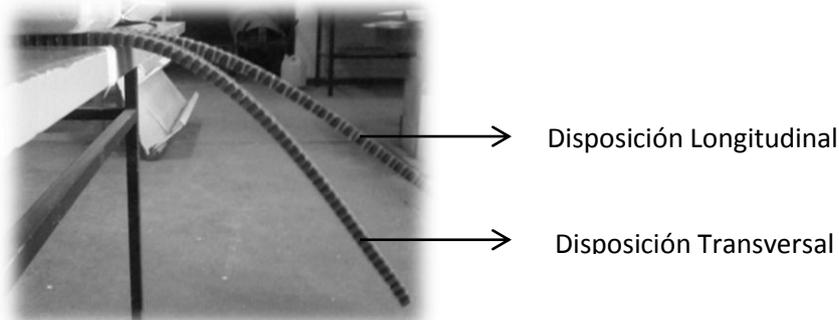


Figura 6: *Núcleos en sus distintas disposiciones.*

En cuanto a la construcción de las probetas a partir del núcleo alternativo, tuvimos en cuenta las dimensiones anteriormente descritas para que los resultados de los ensayos sean comparables. Es necesario aclarar que el núcleo alternativo tiene una sola disposición gracias a la geometría cilíndrica de sus componentes.

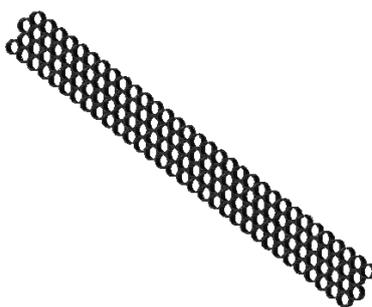


Figura 7: *Corte de núcleo alternativo según dimensiones de probeta.*

Para la construcción de las capas de las probetas se utilizó poliestireno de alto impacto de 0,3mm de espesor, se tomó este valor ya que no influye de manera significativa en la resistencia propia del núcleo.

Se realiza el cortado de la lámina de alto impacto a las medidas especificadas por la norma y según las dimensiones de la probeta a ensayar, conformando con estas láminas las caras inferior y superior de la probeta, que deberán adherirse a las caras del núcleo obtenido. Una vez que actúa el adhesivo queda finaliza la elaboración de la probeta, Figura 8.

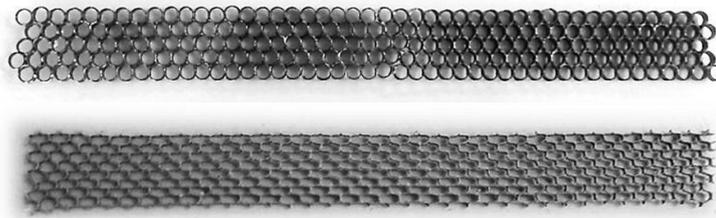


Figura 8: *Fotografías de núcleo alternativo (imagen superior) y original (imagen inferior).*

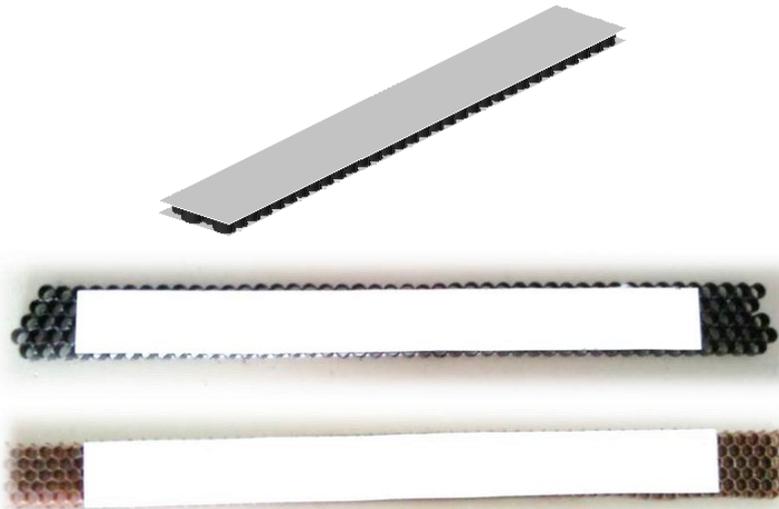


Figura 9: *Esquema (imagen superior) y fotografías de probetas con núcleo alternativo (imagen intermedia) y original (imagen inferior).*

Este proceso de elaboración de probetas de ensayo es aplicable a la producción de paneles de caras planas y paralelas con un núcleo liviano y de gran resistencia mecánica. A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados a las probetas.

5. RESULTADOS.

Ensayo mecánico a la flexión

Se ensayaron 20 probetas de paneles con núcleo honeycomb comercial y 20 probetas con núcleo elaborado mediante el proceso propuesto en la sección anterior. Ambos poseen las superficies planas laterales cubiertas por láminas de poliestireno de alto Impacto.

En la Figura 10 se aprecia la experiencia de una de las probetas, el ensayo es a la flexión con 4 apoyos.



Figura 10: *Ensayo a la flexión con cuatro puntos.*

Se ha seguido la norma ASTM D 7264/D 7264M – 07 y los resultados se expresan debajo, en la Figura 11.

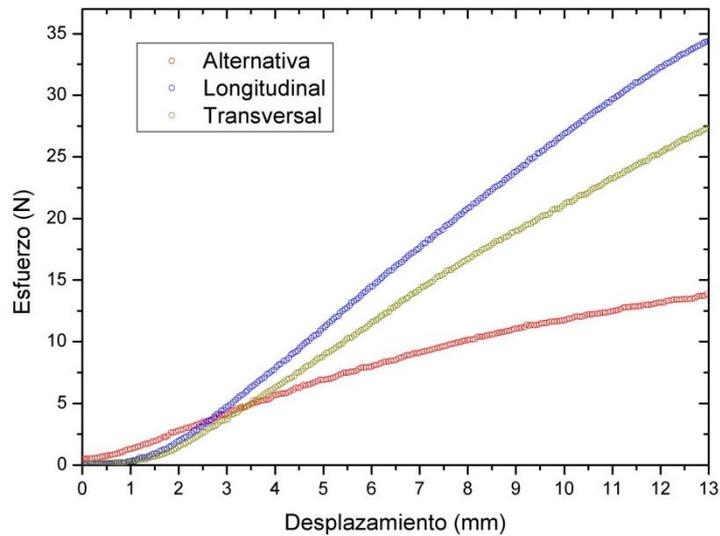


Figura 11. Esfuerzo en función del desplazamiento, ensayo a la flexión en 4 puntos.

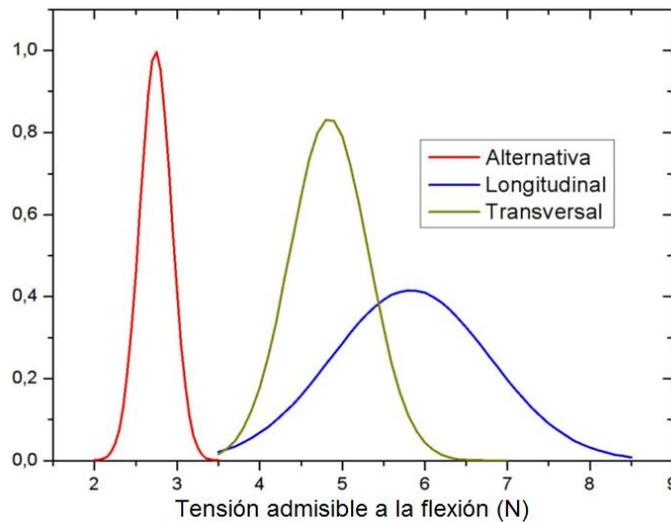


Figura 12. Distribuciones de las tensiones admisibles para las distintas muestras.

Se observa que el desempeño de los núcleos alternativos satisface aproximadamente el 40 % del correspondiente a la disposición transversal y aproximadamente un 50 % del de la disposición longitudinal. Esto se debe a que su geometría interna, debido al sentido aplicado en la realización del corte del núcleo comercial, influye en la resistencia que ofrecen estas probetas cuando son ensayadas a la flexión. Este inconveniente no lo posee el núcleo que se propone en este trabajo ya que las propiedades mecánicas son isotrópicas en cualquier dirección del plano normal al eje longitudinal del cilindro.

Para cualquier valor de desplazamiento en el ensayo a la flexión se observa que el esfuerzo ejercido por las probetas con núcleo comercial es mayor que las probetas con el núcleo propuesto en este trabajo, Figura 11. La siguiente imagen, Figura 12, muestra las distribuciones de las tensiones admisibles máxima alcanzada por las muestras. Se observa que en los valores de distribución de tensiones admisibles obtenidos de los ensayos a las probetas con núcleo original (longitudinal y transversal) existe mayor dispersión que en los valores correspondientes a las probetas con núcleo alternativo.

Nuestra intención es proponer una opción a la hora de elegir el material y aunque sus propiedades mecánicas son superadas por las del material original, el costo de producción de nuestro núcleo es inferior en relación con el material original.

6. CONCLUSIONES.

Los materiales compuestos son una parte importante de nuestro sistema productivo y con una participación creciente en el mercado de los medios de transporte. En este trabajo hemos propuesto profundizar en el conocimiento experimental y teórico de los materiales compuestos y

mejorar los procesos productivos tendientes a la obtención de un material de mejores características. La reducción de los costos de fabricación al disminuir el uso de insumos, simplificar los procesos y disminuir el tiempo de procesamiento, es posible mediante el procedimiento de elaboración del núcleo propuesto en este trabajo. Los ensayos realizados nos indican que el material propuesto posee características mecánicas a la flexión dentro del orden de magnitud correspondiente a un núcleo comercial. Sin embargo, para igualar semejantes características, un incremento en el espesor del núcleo compensaría este defecto sin que se incremente significativamente el costo de aplicación, logrando de este modo un balance altamente positivo.

7. REFERENCIAS.

- [1] Belouettar, S; Abbadi, A; Azari, Z; Belouettar, R; Freres, P; (2009) "Experimental investigation of static and fatigue behaviour of composites honeycomb materials using four point bending tests" *Composite Structures*. 87, 265-273. Elsevier.
- [2] McCarville, D. and Schaefer, H. (2001) *Processing and Joining of Thermoplastic Composites*, ASM Handbook, 21: Composites, ASM International, pp. 633-643.
- [3] Meter, E. D; Beaumont, W. R; (1995) *Applied Composite Materials*, 2 N°4, Kluwer Acad. Press.
- [4] Sourcebook 2008, (2007). 16. A Gardner Publication Supplement.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Sandwich-structured_composite.
- [6] <http://www.hexcel.com/sp/aaircraft-flooring>
- [7] http://www.nidodeabeja.com/spa/construccion_naval.php.
- [8] D´Arsié, D; (1980). *Los Plásticos Reforzados con Fibras de Vidrio*, América Lee.
- [9] The Doorway, M.C. Gill Corporation Group of Companies, (2007), Vol. 44, N° 3, Summer.
- [10] The Doorway, M.C. Gill Corporation Group of Companies, (1991), Vol. 28, N° 2, Spring.
- [11] ASTM, Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials, D 7264/D 7264M – 07.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) - Facultad Regional San Rafael (FRSR). A la secretaria de Ciencia y Técnica de la UTN – FRSR. También al Grupo de Físico Química de Sistemas Complejos (GFQSC) de la UTN - FRSR y a los organizadores del COINI.