

Elaboración de Materiales de Matriz Polimérica Reforzados con Fibra de Vidrio Mediante el Método de Aspersión

Guerrero V. * Rodríguez M. * Villavicencio G. * Andrade L. *

* Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica
Quito, Ecuador (e-mail: {victor.guerrero ; luis.andrade}@epn.edu.ec ;
{rodricho_eltuli ; guille_ingmec77epn}@hotmail.com)

Resumen: *El presente artículo se describe el estudio realizado para la obtención de materiales híbridos, compuestos de una matriz polimérica y reforzados con fibra de vidrio reticulada. Se utilizó el método de aspersión para la fabricación de tableros de material compuesto, de los cuales se extrajeron probetas para la caracterización en función de las propiedades mecánicas, mediante ensayos de tracción, flexión e impacto, siguiendo los procedimientos establecidos en las normas ASTM correspondientes. Con el material seleccionado, se construyó una silla de espera, la cual se sometió a pruebas establecidas en normas INEN, demostrando que es factible su elaboración.*

Palabras clave: *Compuestos híbridos, matriz polimérica, poliéster, fibra de vidrio, método de aspersión.*

Abstract: *This article describes the study conducted to obtain hybrid materials, composed of a polymer matrix reinforced with cross-linked glass fiber. We used spray lay up method for the manufacture of composite boards, from which samples were removed for characterization in terms of the mechanical properties by tensile, bending and impact; following the procedures established in ASTM concerned. The prototype was manufactured with the material obtained with the best combination of the control parameters, which are the volume ratio of matrix and reinforcement, the process and curing time. With the selected material, we built a waiting chair, which was tested using INEN standards, showing that it is feasible to manufacture.*

Keywords: *Composite, polymeric matrix, polyester, glass fiber, spray lay up.*

1. INTRODUCCIÓN

La búsqueda de nuevas formas de combinar materias primas y procesos innovadores de producción, permite la obtención de un conjunto de propiedades y características de un nuevo material que satisfacen las expectativas del diseñador en ingeniería mecánica. Para justificar esta búsqueda, los nuevos materiales obtenidos tendrán ventaja sobre otros, principalmente en la reducción de costos de producción. Lo que se busca es una relación alta entre resistencia mecánica y densidad, facilidad de producción, bajo costo de materias primas y que el proceso de producción, así como el procesamiento y uso del material, no ocasione un impacto ambiental. En el estudio realizado, se determinó la combinación y distribución adecuada de las fibras de vidrio en una matriz polimérica mediante la caracterización de las propiedades mecánicas del material compuesto en función de las propiedades de cada componente. Además se establecieron las variables a controlar

del proceso de aspersión, de manera que la producción sea eficiente. El trabajo concluye con una aplicación directa del material en la fabricación de un elemento que actualmente se produce a escala industrial con materiales tradicionales. El objetivo fue el de construir una réplica de un asiento con el material obtenido, para evaluar la factibilidad de uso a escala industrial. De esta manera se pretende incursionar en el campo del desarrollo de materiales compuestos para la industria nacional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción del material

Se utilizó el método de aspersión para fabricar tableros para la extracción de probetas que permiten caracterizar el material mediante ensayos mecánicos. Estos tableros tienen diferentes composiciones en cuanto a proporciones volumétricas de los materiales que se describen en la tabla 1.

Tabla 1: Configuraciones del refuerzo del material compuesto híbrido.

Componente	Descripción	Función
Matriz	Resina poliéster insaturada	Define las propiedades físicas y químicas del material.
Refuerzo	Fibra de vidrio discontinua distribuida en dirección aleatoria	Provee de las características mecánicas del material como la resistencia y la rigidez.
Recubrimiento	Gelcoat	Mejora el acabado en la superficial visible del material terminado.

La determinación de composición de la matriz polimérica, se realizó en función de en función del desempeño de la máquina de aspersión. En la tabla 2, se indica la composición de estireno y octoato de cobalto en 8 litros de resina poliéster, para la cual se verificó el correcto funcionamiento de la máquina de aspersión.

Tabla 2: Composición de la matriz polimérica.

Resina Poliéster (l)	Estireno (%)	Octoato de cobalto (%)	Funcionamiento de la máquina de aspersión
8	30	0,5	Deficiente
8	30	0,25	Deficiente
8	15	0,5	Correcto
8	15	0,25	Correcto
8	10	0,5	Deficiente
8	10	0,25	Deficiente

2.2 Elaboración y caracterización del material

Se utilizó el moldeo por aspersión (spray lay-up) para la elaboración de tableros de material compuesto. Este es un proceso manual que permite la distribución uniforme de la fibra discontinua y la resina. De los tableros obtenidos con las diferentes combinaciones, se procedió a la extracción de probetas para la caracterización del material obtenido mediante la ejecución de ensayos mecánicos de tracción, flexión e impacto; descritos en las normas ASTM D3039-90, ASTM D7264-00 y ASTM D5628-00. Como resultado de las pruebas y ensayos mecánicos realizados, se logró determinar la combinación óptima y el proceso adecuado para la fabricación de un prototipo elaborado enteramente con el material obtenido en función del de uso, facilidad de producción y disminución de costos. Se construyó un sillón de espera tipo modular doble convencional como prototipo, luego de seleccionarse mediante comparación con otras alternativas. Los criterios de comparación fueron: confortabilidad, costo, funcionalidad, resistencia al desgaste y utilidad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se elaboró en un inicio cuatro configuraciones para determinar la posición de bombeo adecuada de Peróxido de

metil-etil cetona (MEKP) que funciona como acelerador del proceso de curado, mediante la comparación de los resultados de los e. En la figura 1 se muestran las curvas esfuerzo vs. deformación para estas configuraciones y la matriz de resina poliéster, en donde se aprecia el comportamiento mecánico al variar la posición de bombeo de MEKP en el proceso de aspersión.

3.1 Determinación de la posición de bombeo

Se establecen las cantidades de estireno y octoato de cobalto de la matriz resina poliéster, y se elaboraron tableros del material compuesto con cuatro configuraciones para determinar la posición de bombeo adecuada de MEKP, mediante la comparación de las propiedades mecánicas. En la Figura 1, se señalan las curvas de esfuerzo vs. deformación tomadas en los ensayos de tracción. Aquí, se puede apreciar el comportamiento mecánico al variar la posición de bombeo de MEKP en el proceso de aspersión y su comparación con las propiedades mecánicas de la matriz polimérica.

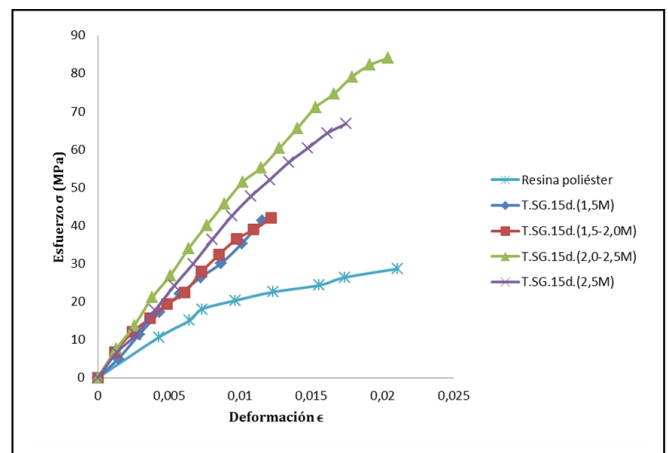


Figura 1: Curva esfuerzo vs. deformación de cuatro configuraciones de material compuesto y de la matriz de resina poliéster.

En las cuatro configuraciones se obtuvo un incremento del esfuerzo máximo a tracción y la rigidez al introducir la fibra de vidrio como refuerzo, consiguiendo que el material T.SG.15d.(2,0-2,5M) presentara la mayor resistencia a tracción con un valor de 80,71 MPa, lo que significa un incremento del 188,46% con respecto a la resina poliéster. Al igual que la resistencia a la tracción la probeta T.SG.15d.(2,0-2,5M) ofrece la mayor rigidez con un valor de 5068,04 MPa, teniendo un incremento del 265,5% respecto a la resina. Al tener una cantidad adecuada de MEKP la resina poliéster adquiere las mejores propiedades mecánicas, lo que se evidencia en los resultados obtenidos, mostrados en la tabla 3.

En la figura 2, se muestran los resultados obtenidos luego de los ensayos de flexión.

Tabla 3: Incremento de la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad con respecto a la matriz.

Configuración	$\sigma_{\text{máx}}$	Incremento	E	Incremento
	MPa	%	MPa	%
T.SG.15d.(1,5M)	37,93	35,56	4154,50	199,62
T.SG.15d.(1,5-2,0M)	39,19	40,06	3906,92	181,76
T.SG.15d.(2,0-2,5M)	80,71	188,46	5068,04	265,50
T.SG.15d.(2,5M)	63,12	125,59	4273,37	208,19
Resina	27,98	0,0	1386,61	0,0

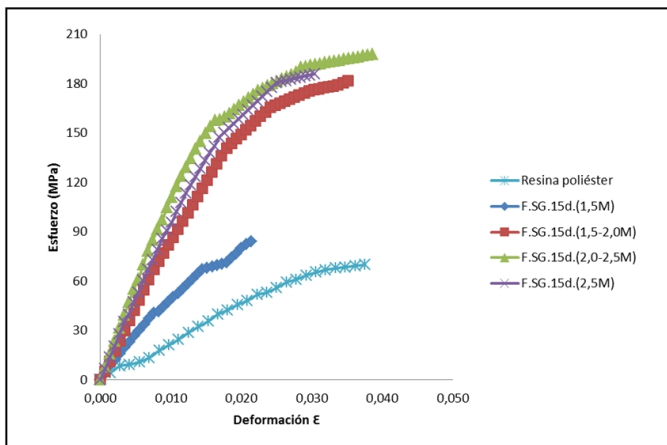


Figura 2: Curvas de esfuerzo vs. deformación en flexión de cuatro configuraciones de material compuesto y de la matriz de resina poliéster.

En las cuatro configuraciones se observa que aumenta el esfuerzo máximo a flexión y la rigidez al introducir la fibra de vidrio como refuerzo, consiguiendo que el material F.SG.15d.(2,0-2,5M) presentara la mayor resistencia a flexión con un valor de 200,02 MPa, lo que significa un incremento del 184,40% con respecto a la resina poliéster. Al igual que la resistencia a la tracción la probeta F.SG.15d.(2,0-2,5M) ofrece la mayor rigidez con un valor de 5144,11 MPa, teniendo un incremento del 141,59% respecto a la resina. Al tener una cantidad adecuada de MEKP la resina poliéster adquiere las mejores propiedades mecánicas. En incremento en la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad se muestran en la tabla 4.

3.2 Afectación a las propiedades mecánicas debido al uso de gelcoat

Definida la posición de bombeo de MEKP (2,0-2,5M) en la máquina de aspersión, se busca de tener un mejor acabado en la superficie mediante la adición de una capa de gelcoat al material compuesto. Para determinar la afectación del gelcoat en las propiedades mecánicas a tracción, se elabo-

raron dos tipos de configuraciones T.CG1.15d.(2,0-2,5M) y T.CG2.15d.(2,0-2,5M).

Tabla 4: Incremento de la resistencia a la flexión y módulo de elasticidad con respecto a la matriz.

Configuración	$\sigma_{\text{máx}}$	Incremento	E	Incremento
	MPa	%	MPa	%
F.SG.15d.(1,5M)	80,74	14,80	4874,9	128,95
F.SG.15d.(1,5-2,0M)	176,57	151,06	5584,38	162,27
F.SG.15d.(2,0-2,5M)	200,02	184,40	5144,11	141,59
F.SG.15d.(2,5M)	178,93	154,41	5424,09	154,74
Resina	70,33	0,00	2129,23	0,00

En la figura 3, se puede observar las curvas de esfuerzo vs. deformación tomadas en los ensayos de tracción realizados en las probetas con gelcoat junto con la mejor configuración escogida sin la capa de gelcoat T.SG.15d.(2,0-2,5M)

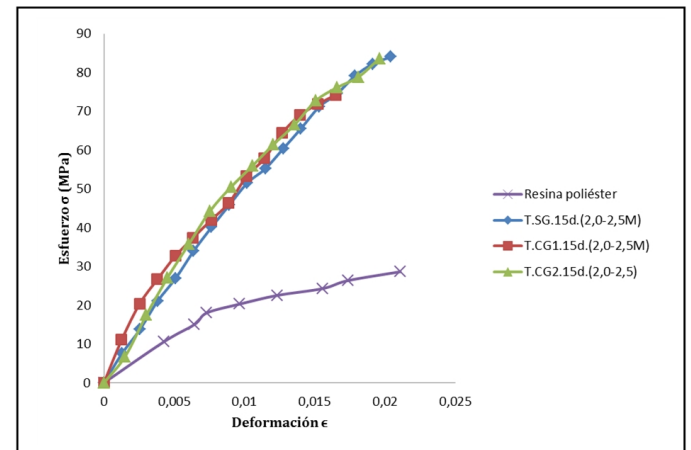


Figura 3: Curva de esfuerzo vs. deformación de las configuraciones T.SG.15d.(2,0-2,5M), T.CG1.15d.(2,0-2,5M) y T.CG2.15d.(2,0-2,5M).

Como se observa, las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción y módulo de elasticidad disminuyen ligeramente en comparación con las propiedades del material sin gelcoat. Esto se debe a que existe una cantidad mínima de refuerzo menos. La configuración T.CG1.15d.(2,0-2,5M) presenta un esfuerzo máximo a tracción de 71,27 MPa, con lo que posee un incremento del 154,72% con respecta a la resina poliéster y una disminución del 11,70% respecto a la composición SG. Para la probeta T.CG2.15d.(2,0-2,5M) que tiene una resistencia de 77,24 MPa, posee un incremento del 176,05% respecto a la resina poliéster y de igual manera presenta una disminución del 4,30% respecto a la composición SG. En cuanto al módulo elástico se aprecia una disminución del 3,37% y 5,45% para las configuraciones CG1 y CG2, comparadas con la muestra SG respectivamente. Estos nuevos materiales, al presentar propiedades similares a los que no tienen capa de gelcoat,

resultarían beneficiosos para el acabado estético final de un prototipo a fabricarse.

En la figura 4 se presentan los resultados de los ensayos de flexión, y se puede observar que la composición F.CG2.15d.(2,0-2,5M) tiene propiedades menores al material SG y CG1, esto se debe a que existe una cantidad menor de refuerzo. La configuración F.CG1.15d.(2,0-2,5M) presenta un esfuerzo máximo a flexión de 176,53 MPa, con lo que posee un incremento del 150,72% con respecto a la resina poliéster y una disminución del 11,74% respecto a la composición SG. Para la probeta F.CG2.15d.(2,0-2,5M) que tiene una resistencia de 117,24 MPa, posee un incremento del 166,70% respecto a la resina poliéster y de igual manera presenta una disminución del 41,39% respecto a la composición SG. En cuanto al módulo elástico se aprecia un aumento del 22,42% y una disminución 15,84% para las configuraciones CG1 y CG2, comparadas con la probeta SG respectivamente.

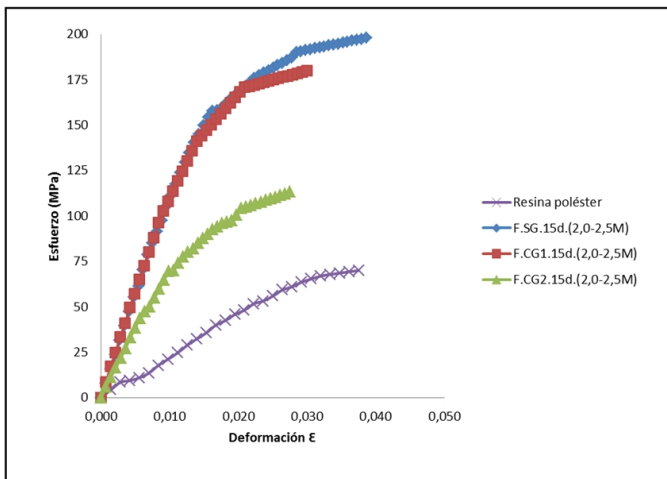


Figura 4: Curva de esfuerzo vs. deformación a flexión de las configuraciones F.SG.15d.(2,0-2,5M), F.CG1.15d.(2,0-2,5M) y F.CG2.15d.(2,0-2,5M).

El material F.CG1.15d.(2,0-2,5M) al presentar propiedades similares a la original, resultarían beneficiosos para el acabado estético final de un prototipo a fabricarse, tomando en cuenta que representa un aumento en el costo del material.

3.3 Tiempo de curado

En busca de reducir el tiempo de fabricación y conociendo que el material requiere de tiempo de curado de 15 días para desarrollar las propiedades químicas y mecánicas adecuadas, se estableció la posibilidad de reducir este tiempo mediante el uso de una estufa con temperatura controlada. Se planteó las temperaturas de curado a 35°C y otra a 45°C, cada una de ellas se experimentó a 12,24 y 36 horas. En la figura 5, se observa las curvas esfuerzo vs. deformación de los ensayos de tracción realizados en las probetas que se curaron con diferentes condiciones.

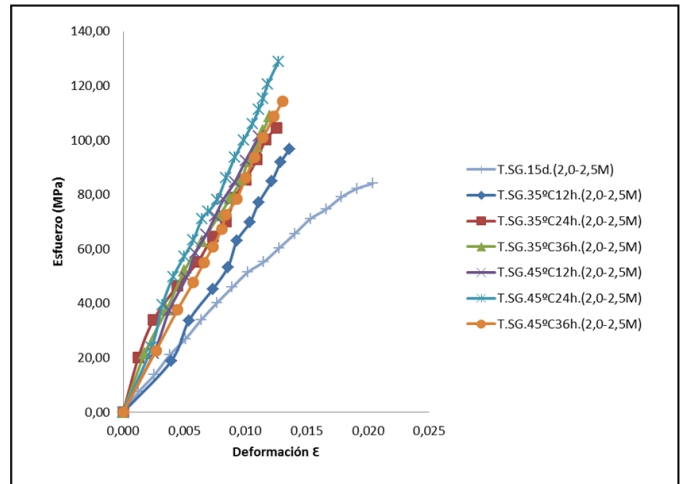


Figura 5: Curva esfuerzo vs. deformación de las muestras que curaron a diferente tiempo y temperatura.

Como se observa, se ha conseguido mejorar las propiedades mecánicas con respecto al material curado durante 15 días al medio ambiente. Así, para la configuración T.SG.45-24h.(2,0-2,5M) se tiene un esfuerzo máximo de 125,74 MPa, es decir tiene un incremento del 55,79% en relación a la probeta curada al ambiente. De igual manera, el valor del módulo elástico se ha incrementado en un 110,97%. Este material alcanzó las mejores propiedades de las seis configuraciones, pero su costo no sería tan rentable por la utilización de mas recursos energéticos. Cabe indicar que el aumento de la rigidez del material produjo una disminución en su capacidad de elongación.

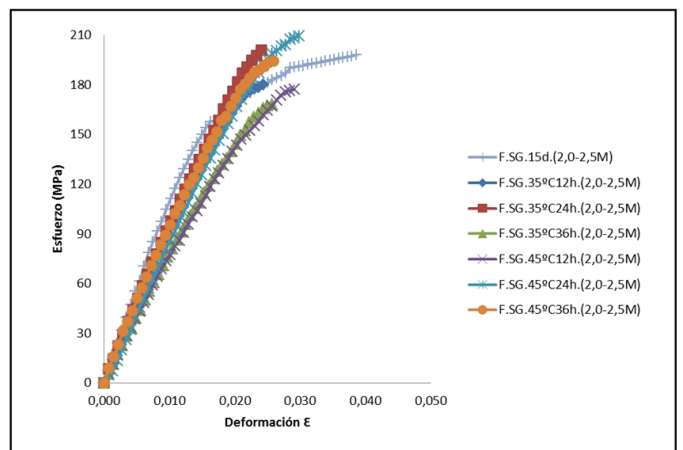


Figura 6: Curva de esfuerzo vs. deformación a flexión de las configuraciones F.SG.15d.(2,0-2,5M), F.CG1.15d.(2,0-2,5M) y F.CG2.15d.(2,0-2,5M).

Como resultado del análisis, se tiene que el esfuerzo máximo a tracción y el módulo elástico se han incrementado y se verifica la disminución de la elongación a la ruptura tanto a 35 °C como 45°C en que el material es curado. Al no tener una diferencia estadísticamente significativa entre las seis configuraciones de curado, se trabajará con la configuración en la cual se utilice menor energía y tiempo para disminuir los costos. Con esto, el proceso de curado

se puede reducir de días a pocas horas, provocando un aumento en la productividad. En la figura 6, se muestran las curvas de esfuerzo a flexión vs. deformación para las mismas condiciones de curado.

3.4 Selección de la configuración adecuada

Se observa que el material que brinda los mejores resultados se obtiene cuando la posición de bombeo del MEKP se encuentra en (2,0-2,5M), ya que presenta se obtiene mejores propiedades mecánicas en los materiales elaborados con esta configuración. Al mejorar el acabado ingresando gelcoat en las superficies del nuevo material resultó que las propiedades presentarían valores menores al material sin gelcoat, pero el material CG2 (con gelcoat en las 2 superficies del material) no presenta una diferencia estadísticamente significativa, lo que da una alternativa nueva para prototipos que sea necesario una buena presentación y acabado.

3.5 Absorción de energía de impacto

Los ensayos de impacto se realizaron en las probetas extraídas de la configuración a la cual se obtuvieron las mejores propiedades mecánicas en los ensayos de tracción y flexión, comparando con la matriz y agregando una capa de gelcoat. En la figura 7, se puede visualizar la comparación de la energía de impacto absorbida por las muestras extraídas de los tableros elaborados con la configuración seleccionada. Se puede ver que la aplicación de la capa de gelcoat disminuye la capacidad de absorción de energía por impacto.

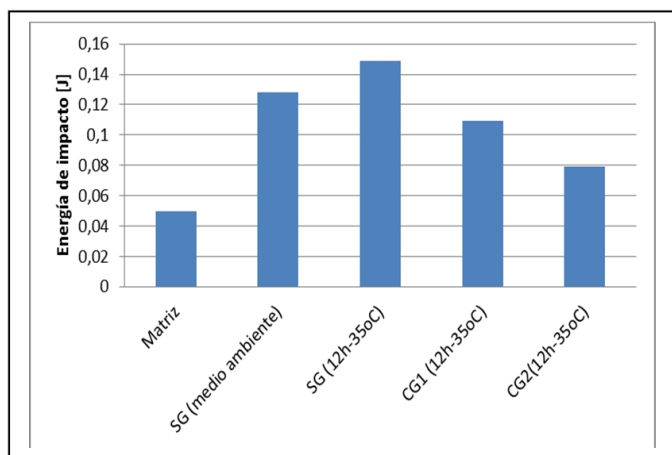


Figura 7: Energía media de impacto absorbida.

4. PROTOTIPO ELABORADO CON EL MATERIAL SELECCIONADO

De entre las alternativas planteadas para la elaboración de un prototipo, se seleccionó la construcción de un par de sillas de espera. De los parámetros de selección que se evaluaron para su selección, las características de aspecto del

material, la resistencia mecánica, el costo de producción, el acabado superficial, durabilidad del material y versatilidad de geometría y tamaño; se calificaron como favorables.



Figura 8: Silla de espera elaborada con la combinación adecuada.

El prototipo se sometió a las pruebas de carga de impacto, carga de funcionamiento y carga máxima de falla, descritas en la norma INEN NTE 1664 “Muebles de oficina: Asientos. Requisitos” arrojando en todas ellas resultados positivos, comparables con elementos similares que están disponibles en el mercado y fabricados con materiales convencionales.

5. CONCLUSIONES

La cantidad adecuada de Peróxido de metil-etil cetona (MEKP) se determinó a partir de las propiedades mecánicas obtenidas a partir de ensayos mecánicos de tracción y flexión y se estableció en la posición de bombeo de MEKP en 2,0 - 2,5M, 188,46% de incremento en la resistencia a la tracción y 184,4 en el módulo de elasticidad, respecto a la matriz polimérica sin refuerzo.

La aplicación de una capa de gelcoat, no afecta en más de una disminución de 4,3% de la resistencia a la tracción, pero es más significativo el decremento de la resistencia a la flexión que es de 41,39%.

Se observó que la resistencia a la tracción disminuye hasta en un 4,3% debido a la aplicación de una capa de gelcoat. Sin embargo, el decremento de la resistencia a la flexión se afecta en mayor grado, hasta en un 41,39 %.

El prototipo elaborado cumple con los requerimientos mecánicos de resistencia, y el proceso de fabricación es factible de realizarse en nuestro medio acorde con la norma INEN NTE 1664.

REFERENCIAS

- [1] J. Peraro, Limitations of Test Methods for Plastics, ASTM International, USA, 2000.

- [2] F. L. Neto, *Compósitos Estructurais: Ciencia e Tecnologia*, Sao Paulo, Edgard Blücher, 2006
- [3] D. Rosato, *Reinforced Plastics Handbook*, 3rd ed., Elsevier Science Technology, 2004.
- [4] M. Salkind, G. Holister, *Applications of Composite Materials*, ASTM International, USA, 1973.
- [5] K. Sanjay, *Composites Manufacturing*, Florida, CRC Press LLLC, 2002.
- [6] J. Valdez, *Análisis de una Pequeña Empresa de Fibra de Vidrio y su Entorno Para la Elección de una Estrategia*, Universidad de Las Américas Puebla, 2003, pp.34-53.
- [7] A.H. Zureich, A. Nettles. *Composite Materials: Testing, Design and Acceptance Criteria*, ASTM International, USA, 2002.