

Caracterización mecánica de un compuesto de fibra de vidrio y resina epóxica mediante la prueba de tracción

Mechanical characterization of a fiberglass and epoxy resin composite using the tensile test

Alejandro Palacios Méndez¹, Karla Isabel Zermeño de Lojo², Lorena Guerra Martínez¹, Iván Castán Ricaño¹, Ilse J. Santa Rosa Vargas¹

¹Tecnológico Nacional de México. Campus Poza Rica

²Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Universidad Veracruzana. Región Poza Rica-Tuxpan
Corresponding autor: alejandro.palacios@itspozarica.edu.mx

RESUMEN

Se realiza el estudio de un material compuesto por fibra de vidrio tipo E y resina epóxica color Pt-Co, con porcentajes de (28.69-71.31%) respectivamente. Este compuesto se evaluará utilizando una prueba de tracción con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas características de este tipo de ensayos. Al conocer estas propiedades se identifican sus fortalezas y oportunidades en las que puede optimizar el material y el proceso de fabricación. En el estudio se desarrolló un análisis estadístico para conocer los factores que influyen en los resultados de la prueba de tracción. Al analizar los resultados de los estudios, basados en la literatura consultada, el esfuerzo máximo promedio obtenido se considera adecuado. Con respecto al módulo de Young, los resultados no son los esperados, determinando que esto ocurre debido a que durante la preparación del compuesto no se orientaron de forma correcta las fibras.

Palabras clave: Compuesto, Fibra, Esfuerzo, Epóxica

ABSTRACT

The study of a material composed of type E glass fiber and Pt-Co colored epoxy resin were analysed, with percentages of (28.69-71.31%) respectively. This compound will be evaluated using a tensile test to determine the characteristic mechanical properties of this type of test. Knowing these properties identifies your strengths and opportunities where you can optimize the material and the manufacturing process. In the study, a statistical analysis was developed to know the factors that influence the results of the traction test. When analyzing the results of the studies, based on the literature consulted, the average maximum stress obtained was considered adequate. Regarding the Young's modulus, the results are not as expected, determining that this occurs because, during the preparation of the composite, the fibers were not oriented correctly.

Keywords: Composite, Fiber, Stress, Epoxy

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de materiales compuestos se realiza con la finalidad de conocer las propiedades que se pueden obtener y cuánto pueden resistir de acuerdo con su composición, condiciones de fabricación, entre otros. Las fibras de vidrio se encuentran entre los materiales industriales más versátiles, puesto que se producen fácilmente y la materia prima está disponible de manera casi ilimitada. Este material es considerado como el refuerzo inorgánico más importante para los compuestos reforzados por fibra. Rocha-Rangel, et al. (2011) dice que cuando los materiales compuestos son sometidos a tensión, las fibras transmiten los esfuerzos entre ellas y el material falla hasta que se acumula la energía necesaria para romper todas las fibras de una sola vez.

En estudios previos, se presenta un artículo titulado “Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz”, en el cual se realiza una investigación sobre el ensayo de tracción, trabajando con porcentajes similares de fibra de vidrio a los del presente estudio, teniendo como objetivo preparar un compuesto con base de fibra de vidrio 375 (FV), con adiciones de fibra natural de cabuya (FC), en estratificaciones de fibra natural corta de cabuya (FCO1-30%) y fibra larga del mismo (FL-30%) (Paredes Salinas et al., 2017). Otro estudio relacionado es “Evaluación de las propiedades mecánicas del compuesto de fibra de vidrio bagazo-reforzado”, en el que se desarrolla un material compuesto reforzado con fibra de vidrio bagazo con diferentes porcentajes en peso de fibra de bagazo y de fibra de vidrio mezclada en resina. Los resultados indican que las fibras reforzadas con vidrio de bagazo mejoran la resistencia al impacto de los materiales epóxicos, debido a que la fibra tiene más elasticidad en comparación con el material de la matriz. La adición de fibras aumenta la capacidad de absorción de agua, así como la adición de fibra de bagazo reduce la resistencia a la flexión. Pero la adición de fibra de vidrio aumenta aún más la resistencia a la flexión en

comparación con el compuesto a base de bagazo comercialmente disponible (Maneesh Tewari et, al., 2011).

En presente artículo se estudian las propiedades mecánicas del material compuesto que se utiliza para la manufactura de tolvas y ménsulas que se utilizan en las casas de filtros, de una planta termoeléctrica de ciclo combinado. Conociendo el proceso de manufactura de la fibra de vidrio se analiza qué aspectos pueden ser mejorados al estudiar las propiedades del compuesto, mediante ensayos de tracción, identificando las variables que pueden influir directamente en los resultados. La importancia de este trabajo de investigación reside en el aumento de los materiales compuestos en la industria; sin embargo, es necesario conocer las características mecánicas principales del compuesto, su comportamiento en distintas condiciones de carga a las que puede estar expuesto, debido a que pueden provocar fallas y no desempeñar su función correcta de acuerdo con su aplicación.

2. Métodos o Metodología

2.1 Manufactura de probetas

Debido al tipo de material, las probetas se realizan de forma artesanal. Para realizar el molde de las probetas se utiliza la norma ASTM D638, seleccionado el espécimen tipo I y III con espesor menor a 7 mm y 14 mm respectivamente; las dimensiones en mm de la probeta se muestran en la Figura 1.

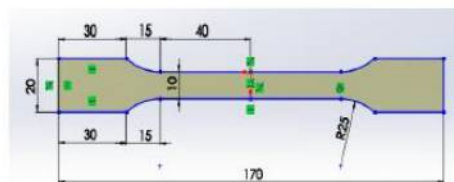


Figura 1. Dimensiones de las probetas.

Se fabricaron 10 probetas de cada tipo utilizando moldes de madera, en las cuales se prepararon los materiales, y se fueron

desarrollando según el siguiente procedimiento:

En la Figura 2, a, b y c se ilustra el procedimiento para fabricar las probetas de fibra de vidrio.

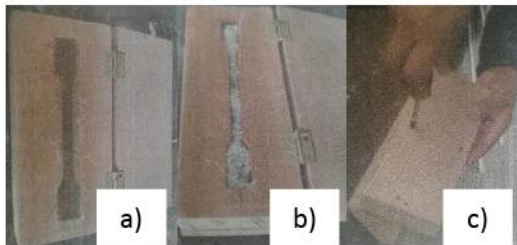


Figura 2. Proceso de manufactura de las probetas: a) Molde de probeta; b) Aplicación de material en el molde; c) Desmolde de la pieza.

Para la preparación de la muestra se utilizaron los siguientes materiales:

- Fibra de vidrio tipo E
 - Resina epóxica
 - Catalizador K-2000
1. Se elaboraron moldes de madera con las dimensiones con las que se deseaba obtener las probetas.
 2. Se limpiaron los moldes para que no existiera presencia de impurezas que dañaran al compuesto.
 3. Se determinaron los porcentajes de los materiales: 29.59% de fibra de vidrio y 71.31% de resina epóxica.
 4. Se prepararon los materiales:
 - Resina epóxica catalizada, utilizando 15 ml de resina con 4 ml de catalizador.
 - Fibra vidrió, 18 capas de 14 g de fibra de vidrio cada una.
 5. Se comenzaron a aplicar los materiales dentro de los moldes, primeramente, una capa de resina epóxica, posteriormente se aplicó una capa de fibra de vidrio (esperar 5 min aproximadamente entre cada aplicación de capa).
 6. Después de aplicar todo el material, es necesario esperar a que este seque adecuadamente (40 min) a temperatura ambiente.

7. Finalmente, las piezas son desmoldadas y lijadas eliminando los residuos (Luna, 2016).

Una vez manufacturadas, las probetas se midieron y enumeraron para llevar un control durante las pruebas. La Figura 3 representa la medición de dichas probetas.



Figura 3. Medición de probetas.

En la Tabla 1 se muestran las dimensiones de ancho y espesor obtenidos de las probetas tipo I. En la Tabla 2 se muestran las dimensiones con la desviación estándar de las probetas tipo III. La fórmula 1 es utilizada para el cálculo de la desviación estándar. Donde, Σ : "sumatoria de", x : valor de un conjunto de datos, μ : media del conjunto de datos, N : número total de datos.

Tabla 1. Dimensiones de probetas tipo I.

Nombre	Ancho de estrecha (mm)	área	Espesor (mm)
P01	10.18		5.11
P02	10.20		5.10
P03	10.18		5.09
P04	10.18		5.10
P05	10.18		5.09
P06	10.18		5.11
P07	10.18		5.11
P08	10.18		5.11
P09	10.18		2.09
P10	10.18		5.09

Tabla 2. Dimensiones y desviación estándar probetas tipo III

Nombre	Ancho de estrecha (mm)	área	Espesor (mm)
P01	11.38 ± 0.41		12.54 ± 0.18
P02	9.96 ± 0.41		11.71 ± 0.05
P03	11.07 ± 0.55		12.91 ± 0.33
P04	10.42 ± 0.58		13.49 ± 0.28
P05	10.39 ± 0.30		13.34 ± 0.07
P06	10.59 ± 0.53		13.22 ± 0.33

P07	11.07 ± 0.46	13.59 ± 0.11
P08	10.40 ± 0.38	12.73 ± 0.34
P09	10.61 ± 0.38	13.27 ± 0.50
P10	11.74 ± 0.38	12.88 ± 0.08

$$\sqrt{\frac{\sum |x - \mu|^2}{N}} \quad (1)$$

2.2. Prueba de tracción

Este método de ensayo es diseñado para determinar las propiedades mecánicas en tracción para el control y especificación de materiales. El procedimiento utilizado en este estudio fue basado en la norma ASTM D638, el cual especifica que para que la prueba se lleve a cabo correctamente, debe conocerse el proceso de preparación de la muestra para obtener un resultado preciso. El ensayo consta de colocar la muestra en las cabezas de la máquina de prueba y se somete a una carga axial por medio de un sistema de carga palanca, mecánico o hidráulico. La fuerza se indica en un disco calibrado. El equipo utilizado es una máquina universal Autograph de 10 Toneladas. Después de realizar el ensayo se procede a obtener las curvas de esfuerzo-deformación (σ - ϵ) para ser analizadas y calcular las propiedades que se requieren

2.2.1 Preparación de la prueba de tracción

La máquina universal “Autograph” de 10 toneladas tiene dos mordazas de ajuste con cruceta en las cuales se posicionarán las muestras. Cuenta con un miembro fijo, y otro móvil en el que se aplica la fuerza. El software del equipo es “Trapezium” en el que se especifican los datos de entrada para realizar los experimentos.

2.3 Análisis Estadístico

Para realizar el diseño de experimentos, se consultó a Montgomery (2004), así mismo, con el apoyo del software STATGRAPHICS Centurion XVI. I (2010), se capturaron los datos en el software que se determinaron en la prueba de tracción. Para comenzar con la prueba de normalidad se obtiene el valor P y su respectivo gráfico de normalidad, para identificar si los datos tienen un

comportamiento normal de acuerdo con las variables esfuerzos máximos y módulos de Young. Posteriormente, se realiza el análisis de varianza en el que se propone una hipótesis sobre las variables de respuesta a analizar y así demostrar si se cumple o no el supuesto planteado; además de identificar qué factores se pueden mejorar en el experimento.

Hipótesis del experimento:

H_0 : Las propiedades mecánicas de las probetas de fibra de vidrio y resina epóxica se ven afectadas por la geometría de estas.

H_1 : Las propiedades mecánicas de las probetas de fibra de vidrio y resina epóxica no se ven afectadas por la geometría de estas.

Las variables de respuesta son las propiedades mecánicas, para analizar si la geometría de la probeta influye en los resultados determinados.

Para determinar la normalidad de los datos, se plantea que:

$$H_0: x \sim \text{normal}$$

$$H_1: x \neq \text{normal}$$

3. RESULTADOS

3.1 Ensayo de tracción

Inicialmente, se realizaron pruebas con 10 probetas tipo I, ver Figura 3. Se utilizó una fuerza de 50000 N y una velocidad de 10 mm/min; al realizar las pruebas, 7 de las 10 probetas fracturaron fuera de la zona calibrada, como se aprecia en la Figura 4. Tres probetas fracturaron dentro de la zona calibrada, los resultados de estas pruebas se visualizan en la Tabla 3. Después de realizar estas pruebas y con la finalidad de validar los estudios, se realizaron ensayos a 10 probetas de tipo III. Se inició el ensayo de tracción con 2 probetas para observar el comportamiento de acuerdo con las especificaciones de la prueba. Estas se realizaron con las mismas condiciones de prueba que las del tipo I, teniendo como resultado una carga de falla de 13907.3 N para la probeta P01 y 11373.4 N para la probeta

P02. Los resultados que se obtuvieron fueron analizados, lo que demostró que, en las probetas, al ser sometidas a una fuerza de tracción, estas fracturaron fuera del área calibrada, lo que se determina que no son óptimas para analizar. En la Figura 5, se muestran las probetas.

Tabla 3. Resultados de la prueba de tracción probetas tipo I.

Espécimen No.	Área en (mm ²)	Carga de falla en (N)	Esfuerzo máximo en (MPa)	Módulo de Young (MPa)
P01	52.01	3935.93	78.71	3127
P02	52.02	3134.37	135.59	2361.6
P03	51.81	2960.93	59.68	2306
P04	51.91	5585.93	111.81	2296.7
P05	51.81	5571.87	111.56	2142.2
P06	52.01	4489.68	89.73	1046.8
P07	52.01	3746.56	74.93	1096.4
P08	50	6431.25	160.68	2136.7
P09	40	4784.37	119.6	2739.1
P10	40	6287.5	157.18	3873.9
Promedio	49.35	4692.84	109.88	2312.6



Figura 4. Fractura en el cuello.



Figura 5. Probetas.

La fórmula 2 se utiliza para determinar los esfuerzos máximos:

$$\sigma = \frac{C}{A} \quad (2)$$

Donde, σ : Esfuerzo, C: carga aplicada y A: área de la probeta.

El módulo de Young se determinó mediante la gráfica esfuerzo-deformación obtenida en Excel, en la que se identificó el punto en el que la gráfica se presenta de manera lineal y así obtener el módulo elástico de cada una.

Derivado de las pruebas a las probetas tipo I y de las dos probetas del tipo III, se determinó que debería modificarse la geometría de la probeta, esto para provocar que la fractura se encuentre dentro del área calibrada. Al realizar estas modificaciones y no ser un procedimiento estándar se requiere de un análisis estadístico para ver la confiabilidad de la prueba.

Las probetas fueron modificadas con una muesca en la parte central de la probeta, barrenadas con una broca de 1/2" y una profundidad de 2 mm, como se muestra en la Figura 6. Para realizar los ensayos en estas probetas modificadas, se calibra la nueva área de sección transversal en la máquina de ensayos.

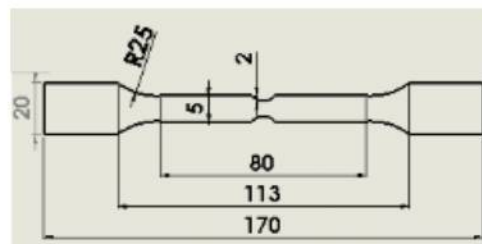


Figura 6. Rediseño de geometría de la probeta.

Otra modificación en la prueba fue la velocidad. En la Tabla 4 se presentan las especificaciones.

Tabla 4. Datos del experimento de probetas modificadas.

Carga aplicada:	50000 N
Velocidad de Prueba:	2 mm/min
Espesor:	1/2"

Longitud:	80 mm
Anchura promedio:	12.18 mm



Figura 7. Imagen representativa de la prueba de tensión.

Dada la información específica, se continuaron las pruebas de las probetas de la 3 a la 10, las cuales ya con la modificación de su geometría lograron fracturarse en la parte del área calibrada. En la Figura 7 se ilustra el montaje de una de las probetas. De la misma manera se determinaron los esfuerzos máximos y los módulos de Young, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la prueba de tracción probetas tipo III.

Espécimen No.	Área en (mm ²)	Carga de falla en (N)	Esfuerzo Máximo en (MPa)	Módulo de Young (MPa)
P03	142.87	10770.3	75.38	439.95
P04	140.65	9857.81	70.08	432.35
P05	138.68	9356.25	67.46	525.62
P06	139.96	11429.7	81.17	315.65
P07	145.9	12781.3	91.32	572.63
P08	135.94	11825	86.98	517.63
P09	140.8	9903.13	70.33	423.76
P10	151.17	12021.9	86.68	574.69
Promedio	141.99	10993.2	78.67	475.28

En la Figura 8, se representan la gráfica de los resultados de las probetas de la 3 a la 10, las cuales, con la modificación realizada, fracturaron en la zona esperada.

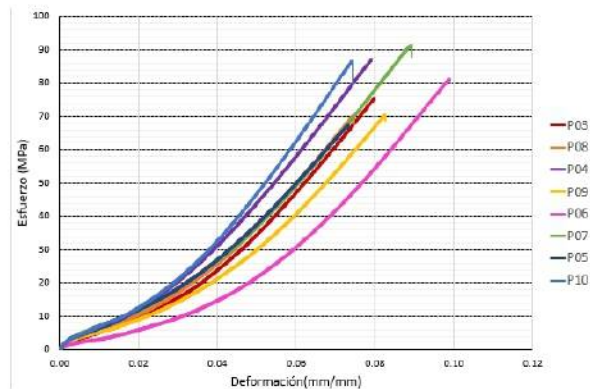


Figura 8. Gráfica de esfuerzo-deformación. Probetas modificadas.

En estas curvas de esfuerzo-deformación, se observa el comportamiento de cada una de las probetas estudiadas. En el caso de los esfuerzos máximos en relación con la Tabla 5 estos reflejan un comportamiento relacionado de acuerdo con literatura consultada; sin embargo, en la misma tabla se puede notar la diferencia de resultados de las P01 y P02 sin muesca tipo III, debido a la fractura que se presentó en los radios de las probetas. Por lo tanto, en la gráfica de la Figura 8, esas probetas se excluyeron.

3.2 Análisis estadístico mediante diseño de experimentos

Para validar los datos, se debe comprobar que el valor de P debe ser mayor que alfa ($P > \alpha$) y de esta manera aceptar que los datos llevan una distribución normal. En la Figura 9, a y b se muestra la captura de los datos en el software.

	Pruebas	Esfuerzo máximo
	0.5in	MPa
1	1	278.15
2	1	227.4
3	2	75.38
4	2	70.08
5	2	67.46
6	2	81.17
7	2	91.32
8	2	86.98
9	2	70.33
10	2	86.68

a)

	Pruebas	Módulo de Young
	0.5 in	MPa
1	1	4090.9
2	1	3247.9
3	2	439.95
4	2	432.35
5	2	525.62
6	2	315.65
7	2	572.63
8	2	517.63
9	2	423.76
10	2	574.69

b)

Figura 9. Captura de datos: a) esfuerzos máximos; b) módulos de Young.

Las probetas sin muesca están representadas con el número 1 en la columna de pruebas y con el número 2 las que tienen muesca. Dentro del software se selecciona el análisis que se realiza y de acuerdo con la prueba de normalidad se obtienen los gráficos de la Figura 10, a y b.

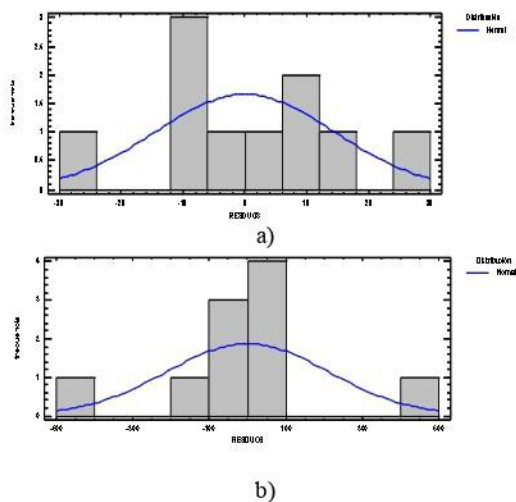


Figura 10. Histograma de normalidad: a) esfuerzos máximos y b) módulos de Young.

En los gráficos que se muestran en la Figura 10 se ilustra que ambos incisos representan una campana simétrica, sin embargo, su distribución va determinada por el valor de P resultante que está representado en la Tabla 6.

Tabla 6. Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

	Normal
DMAS (esfuerzos máx.)	0.118835
DMENOS (esfuerzos máx.)	0.118095
DN (esfuerzos máx.)	0.118835
Valor-P (esfuerzos máx.)	0.998928
DMAS (módulo de Young)	0.22075
DMENOS (módulo de Young)	0.204645
DN (módulo de Young)	0.22075
Valor-P (módulo de Young)	0.714441

Debido a que los valores de P más pequeños de las pruebas realizadas son mayores o iguales a 0.05 no se puede rechazar que los residuos provienen de una distribución normal con 95% de confianza, de acuerdo con los supuestos de Kolmogorov, para ambos experimentos.

Se calcula la tabla ANOVA para esfuerzos máximos y módulos de Young para determinar si la hipótesis nula se acepta o se rechaza. Se realiza el mismo procedimiento de capturar los datos en el software, pero ahora se selecciona el análisis de la varianza simple para obtener los valores de P como se representa en la Tabla 7.

Tabla 7. ANOVA para esfuerzos máximos y módulos de Young.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos (esfuerzos máx.)	48497.3	1	48497.3	207.8	0.0000
Entre grupos (esfuerzos máx.)	1867.1	8	233.388		
Total (Corr.) (esfuerzos máx.)	50364.4	9			
Entre grupos	1.63238E7	1	1.63238E7	318.3	0.0000

(módulo de Young)					
Entre grupos (módulo de Young)	410239.	8	51279.8		
Total (Corr.) (módulo de Young)	1.6734E7	9			

4 DISCUSIÓN

Los resultados de las probetas tipo I, que fracturan dentro de la zona calibrada, muestran similitudes al de las probetas con muesca tipo III. En la Tabla 8 se aprecian estos y sus promedios.

En la manufactura de las probetas de fibra de vidrio y resina epóxica, se observó que al medirlas se obtuvieron variaciones con respecto a la norma, por tanto, se determina que se debe tener un control sobre su proceso de fabricación, para obtener probetas de calidad con medidas tomadas por normas.

De acuerdo con el desarrollo experimental, el primer par de probetas ensayadas presentaron su fractura fuera del área calibrada, lo que impide el análisis apropiado de las propiedades mecánicas.

Con las probetas con muesca en los ensayos de tracción, se obtuvieron las rupturas dentro del área calibrada de las 8 probetas restantes. Determinando los esfuerzos máximos, se observa una uniformidad en los resultados, comparándolos con estudios similares anteriormente realizados, se consideran correctos.

En el análisis de la varianza se determina que al tener un valor de P menor a 0.05, se deduce que la hipótesis nula no puede ser aceptada.

El módulo de Young determinado a partir de la curva esfuerzo-deformación del compuesto no tiene resultados aproximados a los de estudios realizados por Paredes Salinas et al., (2017).

Tabla 8. Resultados de la prueba de tracción probetas tipo I dentro de la zona calibrada.

Espécimen No.	Área en (mm ²)	Carga de falla (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Young (MPa)
P01	52.01	3935.93	78.71	3127
P06	52.01	4489.68	89.73	1046.8
P07	52.01	3746.56	74.93	1096.4
Promedio	52.01	4057.39	81.123	1756.7

Ensayo	Esfuerzo Máximo en (MPa)	Módulo de Young (MPa)
FC 2-30%	51.88	6258
FL 30%	78.24	5272
FL 40%	92.20	5577
TP 30%	59.46	7948
Promedio:	70.44	6263.75

a)

Espécimen No.	Carga de falla en (N)	Esfuerzo Máximo en (MPa)	Módulo de Young (MPa)
P03	10770.31	75.38	439.95
P04	9857.813	70.08	432.35
P05	9356.25	67.46	525.62
P06	11429.69	81.17	315.65
P07	12781.25	91.32	572.63
P08	11825	86.98	517.63
P09	9903.125	70.33	423.76
P10	12021.88	86.68	574.69
Promedio:	10993.16	78.67	475.28

b)

Figura 11. Comparación de resultados: a) resultados de literatura; b) Resultados de prueba.

En las imágenes de la Figura 11 a se observa los resultados de Paredes Salinas et al. (2017), en la figura b se observa la diferencia significativa en los módulos de Young que se obtuvieron.

5 CONCLUSIONES

Las probetas del tipo III con muesca, muestran resultados cercanos en los esfuerzos a los del tipo I y al comparar con la literatura se observan similitudes; por lo que, se concluye que el procedimiento, las modificaciones y consideraciones realizadas a las probetas del tipo III son válidas para realizar estos estudios.

El análisis realizado obtuvo resultados óptimos en los esfuerzos máximos, sin embargo, las variaciones entre los ensayos se pueden reducir si el proceso de manufactura se estandariza siguiendo normas de calidad para las dimensiones y la geometría de las probetas.

En el módulo de Young se observa que se debe utilizar una orientación específica de las fibras para tener menor deformación. Con respecto al molde en este se debe modificar el material o diseño de este para realizar las muestras.

El análisis estadístico muestra que la variación en la geometría de las probetas influye en los resultados de esfuerzo máximo y módulo de elasticidad que se obtuvieron en la prueba de tracción. Esto se observó en los resultados en la curva esfuerzo-deformación.

En las probetas con muesca se concluye que, de acuerdo con las hipótesis para ambas propiedades, la modificación influye significativamente. Esto quiere decir que se demostró que los resultados de las probetas sin muesca son más altos y se consideran fuera del rango aceptable, en comparación con los que sí presentan la muesca, los cuales se consideran adecuados.

6 REFERENCIAS

- ASTM D638-03, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. <https://borgoltz.aoe.vt.edu/aoe3054/manual/expt5/D638.38935.pdf>
- Luna, T. M. (2016). Plan de mejora de la fabricación de tolvas y ménsulas de la casa de filtros tg-5 sol de Tuxpan. Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica.
- Maneesh, T., Singh, V. K., Gope, P. C., and Chaudhary, A. K. (2012). Evaluation of Mechanical Properties of Bagasse-Glass Fiber Reinforced Composite. *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (1), 171-184. https://www.researchgate.net/publication/327644461_Evaluation_of_mechanical_properties_of_bagasse-glass_fiber_reinforced_composite
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*, Limusa.
- Paredes-Salinas, J., Pérez-Salinas, C. y Castro-Miniguano, C. (2017). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicada a la industria automotriz. *Enfoque UTE*, 8(3), 1-15. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.163>
- Ramírez, A., Navarro, O. y Mendoza, R. (2014). Evaluación de las propiedades mecánicas de un material compuesto reforzado con fibra de fique y fibra de vidrio en una matriz de resina epóxica. Monografía. Universidad Autónoma Del Caribe, Barranquilla, 1-5. <http://repositorio.uac.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/804/Articulo.pdf>
- Rocha-Rangel, E., Rodríguez-García, J.A., Martínez-Peña, E., Refugio-García, E., Leal-Cruz, A. y Munive, G. (2011). Estudio de la resistencia mecánica de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras de carbono. *Avances en ciencias e ingeniería. ACI*, 2(4), 81-88. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323627684009>
- StatPoint Technologies Inc. (2010), STATGRAPHICS® Centurion XVI User Manual.