



Desarrollo de un compósito reforzado con fibra de cáscara de naranja con la metodología Triz

Development of a composite reinforced with orange peel fiber with the Triz methodology

C.E. Hernández-San-Juan¹⁻², M.L. Méndez-Hernández¹, L. Cruz-Rivero¹, D. Ángeles-Herrera¹, F. Hernández-Lorenzo³

¹ Tecnológico Nacional de México – ITS Tantoyuca, Veracruz, México.

² Tecnológico Nacional de México – ITS Álamo Temapache, Veracruz, México.

³ Empresa BACHOCO, Papantla, Veracruz, México.

Recibido: 13-10-2021

Aceptado: 11-12-2021

Autor correspondal: cenia.hs@alamo.tecnm.mx

Resumen

En el 2019, México alcanzó una producción de 4.736 millones de toneladas de naranja, ocupando el quinto lugar en la producción mundial. El estado de Veracruz, fue el primer productor a nivel nacional, con un 44.7% del volumen de producción (SIAP, 2020). El municipio de Álamo-Temapache, considerado como el “valle dorado de la naranja” genera aproximadamente 648 mil toneladas anuales de residuos agroindustriales. El objetivo de esta investigación fue obtener un compósito reforzado con fibra de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), con propiedades mecánicas similares a una resina comercial, con la aplicación de la metodología TRIZ. Para la obtención del compósito se emplearon fibra de cáscara de naranja valencia al 0%, 13% y 25% en peso y dos tipos de resina isoftáltica (RPI) y ortoftáltica (RPO). La matriz de contradicciones ayudó a identificar la solución al problema analizando los parámetros que se desean mejorar y el que empeora, remplazando cierto porcentaje de fibra de cáscara de naranja en lugar del polímero poliéster. Se analizaron las propiedades fisicoquímicas por FTIR, la degradación térmica por DSC y propiedades físico-mecánicas (tensión-elongación), observándose que la RPO tiene una mayor elasticidad que la RPI y que adicionalmente al agregar el 25% en peso de fibra de cáscara de naranja se obtiene mayor tensión. En general, el valor de la temperatura de transición vítrea (T_g) se modificó de acuerdo con el contenido del porcentaje de fibra de cáscara de naranja en la resina disminuyendo cuando el contenido aumenta, debido a una mejor interacción entre segmentos blandos de la resina RPO y RPI.

Palabras clave: TRIZ, Compósito, Resina Poliéster, FTIR, DSC.

Abstract

In 2019, Mexico reached a production of 4.736 millions of tons of oranges, ranking fifth in world production. The state of Veracruz was the first producer nationwide, with 44.7% of the production volume (SIAP, 2020). The municipality of Álamo-Temapache, considered the “golden valley of the orange”, generates approximately 648 thousand tons of agro-industrial waste per year. The objective of this research was to obtain a composite reinforced with orange peel fiber (*Citrus sinensis*), with mechanical properties similar to a commercial resin, with the application of the TRIZ methodology. 0%, 13% and 25% by weight of valence orange peel fiber and two types of isophthaltic (RPI) and orthophthaltic (RPO) resin were used to obtain the

composite. The matrix of contradictions helped to identify the solution to the problem by analyzing the parameters that need to be improved and the one that worsens, replacing a certain percentage of orange peel fiber instead of the polyester polymer. The physicochemical properties were analyzed by FTIR, the thermal degradation by DSC and physical-mechanical properties (tension-elongation), observing that the RPO has a greater elasticity than the RPI and that additionally when adding 25% by weight of husk fiber orange you get higher tension. In general, the value of the glass transition temperature (T_g) value was modified according to the content of the percentage of orange peel fiber in the resin decreasing when the content increases, due to a better interaction between soft segments of the RPO resin and RPI.

Keywords: TRIZ, Composite, Polyester Resin, FTIR, DSC.

1. Introducción

En los últimos años, el volumen de plásticos y su eliminación han generado problemas ambientales y un interés de la sociedad ante la necesidad de reducir la cantidad de plásticos desechados en el medio ambiente. Por ello se han incrementado los estudios por el desarrollo de materiales compuestos de matriz termoplástica reforzados con fibra natural debido a su buena resistencia y módulo específicos, baja huella de carbono y reciclabilidad (Barrios et al., 2015). El aprovechamiento de residuos generados en procesos agroindustriales, es de importancia en el ámbito mundial. De acuerdo con Cordova et al., 2020 se estima que más del 40% de naranjas son procesadas por la industria de alimentos cada año, lo cual genera 6.8 millones de toneladas de residuos de cáscara de naranja. Según Velázquez (2016) la lignina es un polímero que resulta de la unión de alcoholes fenilpropílicos, que brindan rigidez a la pared celular, haciéndola resistente al impacto y la flexión; es hidrofóbica, resiste la hidrólisis ácida, es soluble en álcali caliente y de fácil oxidación. Domingos et al., (2019) analizaron la posibilidad de convertir eficientemente los desechos de cáscara de naranja en un material licuado para la producción de espumas de poliuretano (PU). Elanchezhian et al., (2018) estudiaron las propiedades mecánicas de las fibras naturales Abaca, Yute, Sisal que tienen características amigables con el medio ambiente y que se utilizan en muchas aplicaciones de ingeniería.

Pulido et al., (2014) evaluaron la posibilidad de utilizar la brea natural de pino (en forma pura o maleinizada) como agente de acoplamiento, polipropileno (matriz) y fibra de agave de desecho a diferentes concentraciones (agente de refuerzo), fueron acoplados con cada uno de los agentes utilizados.

Yusof et al., (2020) desarrollaron un diseño conceptual de caja de choque automotriz (ACB) compuesta de polímero de palma de aceite, en el que aplicaron una combinación de teoría de resolución de problemas inventiva (TRIZ), gráficos morfológicos y biomiméticos. El método híbrido del método TRIZ-Cuadro morfológico-Biomimético demostró la capacidad de ser utilizado para realizar la generación de ideas de diseño conceptual y la mejora del diseño, así como el desarrollo del diseño conceptual.

Se investiga sobre la biomasa lignocelulósica con el propósito de obtener energía, combustibles, biomateriales y productos químicos mediante tecnologías limpias y sistemas

cerrados que permitan conservar el medio ambiente. Desde hace más de medio siglo, los polímeros sintéticos como los plásticos han llegado a reemplazar a otros materiales como metales, madera, vidrio y cartón, debido a su gran versatilidad, buenas propiedades físicas, excelente barrera, facilidad para su fabricación y su bajo costo de producción (Garrido et al., 2020). Incluso, investigadores han puesto gran interés en temas como la hibridación de compuestos combinando dos o más tipos de fibras para producir un nuevo material con características mejoradas en comparación con las de los materiales originales (Hamidon et al., 2019).

El presente artículo propone desarrollar un compuesto de matriz polimérica a partir de fibra de cáscara de naranja valencia (*Citrus sinensis*) con la aplicación de la metodología TRIZ de tal manera que ayude al medio ambiente a mitigar y/o disminuir la desertificación de suelos que se genera al ser depositado este desecho a campo abierto, así como también generar actividad económica dentro del municipio donde las industrias del polímeros (productos desechables), automotriz y aeroespacial vean viabilidad para la creación de fábricas socialmente responsables con visión y misión de disminuir a nivel nacional la fabricación de polímeros a base de recursos no renovables como el petróleo. Con esta propuesta se quiere transformar las 648 mil toneladas anuales de residuos agroindustriales generados por las cinco industrias extractoras de jugo, asentadas en el municipio de Álamo Temapache Veracruz.

Según Ishak et al., (2018) analizaron la aplicación de TRIZ sobre laminado metálico de fibra natural para reducir el peso del capó delantero del automóvil, las contradicciones asociadas con el uso de laminado de metal de fibra natural como el capó delantero del automóvil se identifican mediante las palabras clave "Si", "Entonces" y "Pero" para determinar los parámetros utilizados para la selección, de los 40 principios inventivos a través de la matriz de contradicciones TRIZ. Camposo et al., (2019) evaluaron la pérdida de energía del proyectil en compuesto de poliéster reforzado con tejido y fibra estante, ensayaron las fibras y los tejidos incorporados en planchas compuestas de poliéster con fracción de volumen de 10, 20 y 30%. Las muestras ensayadas se trataron estadísticamente mediante el análisis de Weibull y se examinaron mediante microscopía electrónica de barrido. En este estudio se obtuvieron probetas con las configuraciones 0%, 13% y 25% de fibra de cáscara de naranja y se estudiaron 2 tipos de resina, resina poliéster isoftálica (RPI) y la resina poliéster ortoftálica (RPO). Al compuesto obtenido se le realizaron pruebas de Tensión, espectroscopía infrarroja

(FTIR) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). El poliéster tiene una participación de mercado de alrededor del 51% de la producción mundial total de fibra. Se producen más de 53 millones de toneladas de poliéster al año (Singh, 2020).

Frizziero et al., (2017) adoptaron los análisis QFD y TRIZ para validar un método de diseño de moldes abiertos directos mediante una nueva estrategia: la fabricación híbrida puede reducir el tiempo de producción, el uso de material y el consumo de energía y residuos, empleando técnicas sustractivas y aditivas, combinado eficientemente.

El objetivo de esta investigación fue obtener un compuesto reforzado con fibra de cáscara de naranja valencia (*Citrus sinensis*), con propiedades mecánicas iguales o mayores a una resina comercial, con la aplicación de la metodología Triz. Este documento se estructura en 4 secciones: introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones y agradecimientos; la sección de introducción abarca la revisión de la literatura con base en la consulta de fuentes bibliográficas que sustentan la importancia de realizar este estudio. La sección de materiales y métodos, describe la metodología Triz y la sección de resultados muestra las gráficas obtenidas en la caracterización del compuesto.

2. Materiales y métodos

La metodología TRIZ se ha utilizado para resolver problemas inventivos en industrias de ingeniería. La industria de la ingeniería química es una de las industrias que están comenzando a aplicar TRIZ, Se ha descubierto que TRIZ puede ayudar tanto al desarrollo de productos como a los procesos (Abdul et al., 2015). En una encuesta realizada, los datos arrojaron que los 40 principios inventivos son de los más utilizados, así como otras herramientas, entre ellas idealidad/IFR, matriz de contradicciones, patrones de evolución técnica, análisis de funciones y análisis de campos (Ilevbare et al., 2013). Una contradicción física es una situación en la que un sujeto o un objeto tiene que estar en dos estados físicos mutuamente excluyentes; mientras que una contradicción técnica es una situación en la que los esfuerzos por mejorar algunos atributos técnicos de un sistema pueden conducir al deterioro de otros atributos técnicos (Chou, 2014).

La metodología para desarrollar el compuesto reforzado con fibra vegetal se muestra en la figura 1.

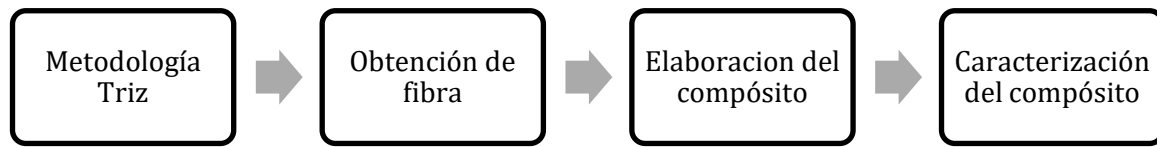


Figura 1. Proceso del desarrollo del compuesto.

Los fundamentos de la metodología Triz indican 3 pasos: 1. Formular la mejora en términos de parámetros ingenieriles, 2. detectar el efecto indeseable que la mejora natural generaría en otros parámetros ingenieriles, es decir, identificar la contradicción en la tabla de contradicciones y 3. Obtener los posibles principios inventivos. Aunque la metodología Triz se puede apoyar de otras herramientas que se utilizan con frecuencia como idealidad/IFR, matriz de contradicciones, patrones de evolución técnica, análisis de funciones y análisis de campos y nueve ventanas (Ilevbare et al., 2013). En este estudio se analizaron las nueve ventanas para realizar un análisis sistémico del problema, que a su vez es un insumo para el uso de la matriz de contradicciones. Se analizó el sistema técnico con las nueve ventanas, en la cual se definió el sistema técnico y/o la matriz polimérica como la Resina poliéster (figura 2)

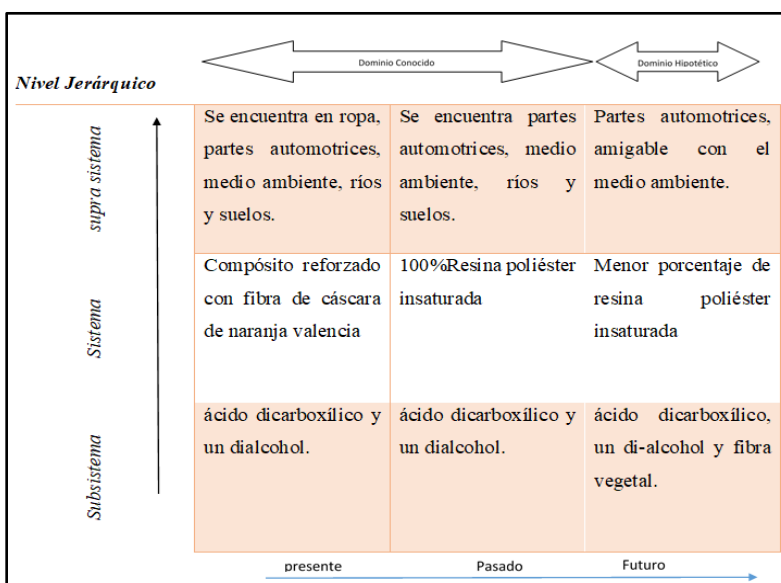


Figura 2. Nueve ventanas

Fuente:Elaboración propia

Se seleccionó el poliéster por ser un polímero de bajo costo y son lo que mayormente se utilizan en el reforzamiento de plásticos. Para el reforzamiento se utilizó la fibra de cáscara de naranja porque contiene celulosa que es el componente estructural más importante en la mayoría de las fibras naturales de origen vegetal, presentándose en forma de microfibrillas cristalinas alineadas a lo largo la longitud de la fibra. Es resistente a la hidrólisis y a agentes oxidantes, pero puede degradarse parcialmente cuando se expone a ácidos fuertes. La lignina es un polímero que resulta de la unión de varios alcoholes fenilpropílicos, que brindan rigidez a la pared celular, haciéndola resistente al impacto y la flexión; es hidrofóbica, resiste la hidrólisis ácida, es soluble en álcali caliente y de fácil oxidación (Velázquez, 2016). Al realizar el análisis del compósito con la matriz de contradicciones, se requiere que el compósito cuente con las mismas propiedades como son fuerza y resistencia. Para ello se identifica como parámetro de mejora la fuerza, pero al mejorar la fuerza se observa que los parámetros que pueden empeorar son los siguientes: Parámetro 32: Manufacturabilidad, Parámetro 27: Confiabilidad, Parámetro 28: Precisión de medición y Parámetro 33: Conveniencia de uso. Se obtuvo una lista de principios de inventiva que son los que guiarán para la solución del parámetro A. En la Tabla 1 se observan los principios de inventiva resultantes del parámetro A con los respectivos parámetros B, que se encuentran concentrados en la matriz de contradicciones de la metodología TRIZ. Al intersectar el parámetro A con el parámetro B, se obtienen los principios de inventiva.

Tabla 1. Parámetros de contradicción

Parámetro que mejora	Parámetro que empeora	Principios de inventiva
10. fuerza(elongación)	32. Manufacturabilidad	15. Dinamicidad 37. Expansión térmica 18. Vibración mecánica 1. Segmentación
	27. confiabilidad	3. Calidad local 35. Cambio de parámetros 13. Inversión 21. Despachar rápidamente
	28. precisión de medición	35. Cambio de parámetros 10. Acción previa. 23. Retroalimentación 24. Mediador
	33. Conveniencia de uso	1. Segmentación 28. Reemplazo de sistemas mecánicos. 3. Calidad local 25. Autoservicio.

Fuente: Elaboración propia

Con este análisis se obtuvieron 4 contradicciones. Como se aprecia en la Tabla 1 existen principios de inventiva repetidos en las contradicciones. Para ello se seleccionan los principios que están repetidos, como el principio 3, 35 y el 1. Por lo tanto, son los principios que se utilizaron para encontrar la solución al problema planteado.

La materia prima se colectó de los desechos agroindustriales de las empresas extractoras de jugo situadas en el municipio de Álamo Temapache. Se realizaron tratamientos fisicoquímicos a la cáscara de naranja siguiendo la metodología de las normas ASTM D 1102-56, ASTM D 1104-56, ASTM D 1103-60, ASTM D1106-56, ASTM D 1110-56 y ASTM D110756,

respectivamente. En la figura 3 se muestra el proceso de obtención de la fibra de cáscara de naranja, el cual consta de 5 pasos:

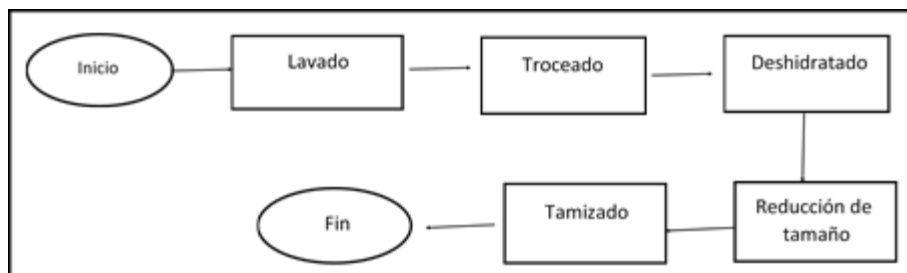


Figura 3. Proceso de obtención de la fibra de cáscara de naranja

Fuente:Elaboración propia

La resina poliéster que se utilizó es poliéster pre-acelerada ortoftálica (RPO) y resina poliéster isoftálica (RPI). Se diseñó un molde de acuerdo a lo especificado en la norma ASTM-A370 y la Norma PDVSA para Ensayo de Tracción para Materiales Metálicos. Tomando como referencia estas medidas y las especificaciones de la norma se procedió a realizar un diseño de la probeta y el molde en software de diseño Solidworks.

Los compósitos se caracterizaron mediante análisis de Tensión, FTIR y DSC. Para el análisis de tensión se utilizó el equipo Instron modelo 4301, equipado con una celda de 500 N y sistema de adquisición de datos, para medir las propiedades mecánicas de las probetas con los dos tipos de resinas. Con el análisis FTIR se determinaron los grupos funcionales de las muestras en el equipo Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR, la prueba de calorimetría diferencial de barrido se realizó en el equipo Perkin Elmer DSC8000, el método empleado consistió en un primer ciclo de calentamiento de 30°C a 230°C a 10°C/min. El primer ciclo de calentamiento es seguido por un ciclo de enfriamiento desde 230 °C hasta -100 °C, la muestra se mantuvo durante 5 min y una segunda rampa de calentamiento de -100 a 230 °C, con una velocidad de calentamiento de 5 °C / min. La cantidad de la muestra era 10 ± 2 mg usando como nitrógeno del gas con 20 ml/min de tarifa.

2.3. Resultados y discusión

De acuerdo a las contradicciones obtenidas se aplicaron los siguientes principios de inventiva. La contradicción 3 y 4 ya no se desarrolló porque son los principios que están repetidos en las contradicciones 1 y 2. Ver Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 2. Principios de solución específicos para la contradicción 1.

Principios de la solución Triz	Descripción de la solución	Descripción de la estrategia.
# 1 Segmentación	Incrementar el grado de fragmentación, lo cual representan los distintos materiales a utilizar en forma segmentada.	Variar la configuración de del compuesto reforzado con fibra de cáscara de naranja, para aumentar la fuerza y resistencia.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Principios de solución específicos para la contradicción 2.

Principios de la solución Triz	Descripción de la solución	Descripción de la estrategia.
# 3 Calidad local.	Cambio de una estructura homogénea a otra heterogénea.	Es un compuesto que está conformado por fibra molida de cáscara de naranja y resina poliéster líquida.
#35 Cambio de parámetros	La resina poliéster es líquida y la fibra de cáscara de naranja es sólida.	Al combinar la resina poliéster con fibra molida de cáscara de naranja, cambio su densidad y su estado físico.

Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración compósito se aplicaron los principios de inventiva #1, #3 y #35, se pesaron las cantidades correspondientes de resina y catalizador, que a continuación se muestran en la tabla 4. Para el proceso de curado se utilizó el acelerante o acelerador (octato de cobalto y el catalizador MEK (metil-etil-cetona) peróxido. Se analizaron 3 porcentajes de fibra 0%,13% y 25%.

Tabla 4. Formulaciones para elaboración de probetas

Tipo de resina	CANTIDAD DE RESINA (g)	PORCENTAJE DE FIBRA (%)	CANTIDAD DE FIBRA (g)	CATALIZADOR (GOTAS)	Acelerador (octato de cobalto) gotas
Resina poliéster instaurada ortoftálica (RPO)	10	0	0	0	4
Resina poliéster instaurada Isoftálica (RPI)	10	13	1.3	15	4
Resina poliéster instaurada Isoftálica (RPI)	10	25	2.5	15	4

Fuente: Elaboracion propia

Para la elaboración del compósito de 10% de fibra, se procedió a pesar 10g de resina poliéster insaturada, 1.3g de fibra, 15 gotas de catalizador y 4 gotas de acelerador. Enseguida en un vaso de precipitado se vaciaron los distintos reactivos y se revolvió manualmente hasta obtener una mezcla homogénea. Una vez revuelta la mezcla, con aproximadamente 10 vueltas, se vació al molde de silicón y se dejó curar durante 24 horas. Para el caso del compósito de 25% de fibra, se pesaron 2.5g de fibra y los demás reactivos en las mismas cantidades. Con ello se obtuvieron las 2 probetas con 2 configuraciones. En total se obtuvieron 8 probetas de cada configuración para las diferentes pruebas, es decir 16 probetas de resina isoftálica. Ver Figura 4



Figura 4. Probeta compuesto con 0%,13% y 25% de fibra de cáscara de naranja.
Fuente: Elaboración propia

El mismo proceso se aplicó para la elaboración del compuesto de resina ortoftálica, Además se elaboró una probeta testigo, la cual no contiene fibra de cáscara de naranja, más sin embargo se si se le agregaron los demás reactivos, de esta se obtuvieron 8 probetas de resina Isoftálica y 8 probetas de resina ortoftálica.

La figura 5 muestra los resultados de la prueba de tensión de la resina poliéster Isoftálica (RPI), reforzada con fibra, en ella se puede observar que la probeta con el 13% de fibra es más elástica que la del 25% pues se desplaza 1.5 mm al aplicar tan solo 981 N, mientras que la de 25% se necesitan de 756 N para alcanzar un desplazamiento de 1mm.

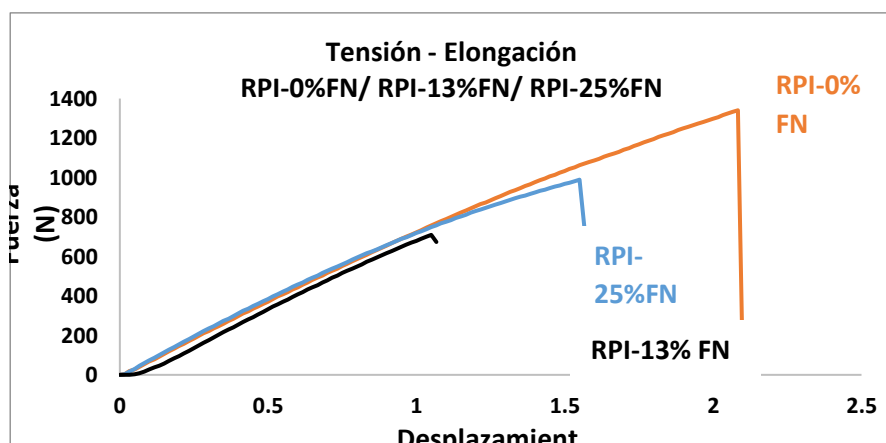


Figura 5. Resina Poliéster Isoftálica (RPI), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPI-0%, RPI-13%, RPI-25%, respectivamente. Fuente: Elaboracion propia

Por otro lado, la figura 6 muestra la resina poliéster ortoftálica (RPO) y se puede observar que la probeta con el 25% de fibra es más elástica que la del 13% pues se desplaza 1.6 mm al aplicar tan solo 637 N, mientras que la de 13% se necesitan de 1032 N para alcanzar el mismo desplazamiento. Tanto los compuestos de fibras y tejidos de 30% vol. mostraron una característica interesante para aplicaciones de impactos múltiples, como una alta absorción de energía y una buena integridad después del impacto. Se puede decir que la RPO tiene mayor elasticidad que la RPI y que agregando un 25% de fibra se obtiene mayor fuerza.

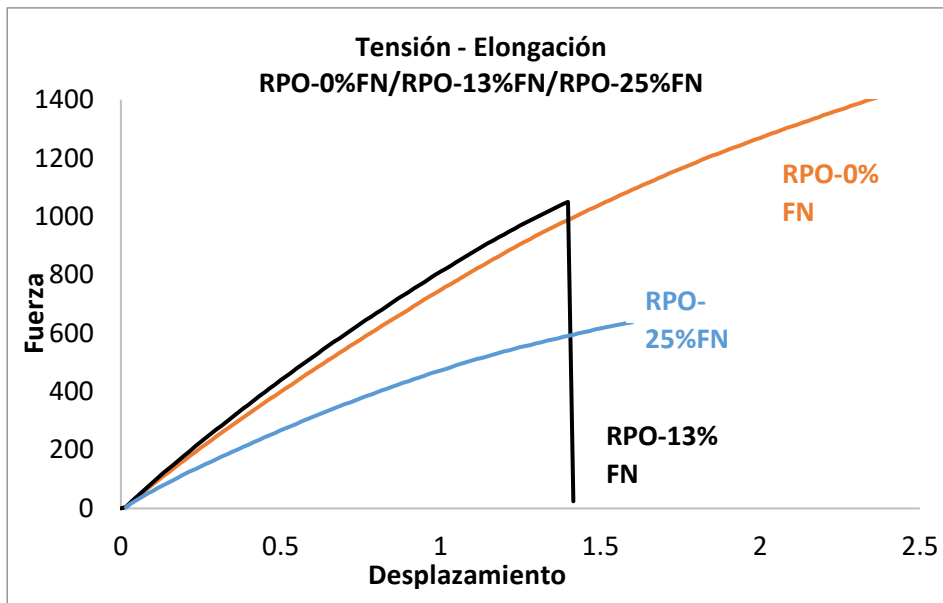


Figura 6. Resina Poliéster Ortoftálica (RPO), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPO-0%, RPO-13%, RPO-25% con 0%, 13% y 25% fibra, respectivamente

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7 se observa el espectro de infrarrojo (IR) de la Resina Poliéster Ortoftálica (RPO) con diferente concentración de Fibra de Cáscara de Naranja (FN), al 0% FN, 13% FN y 25% FN de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} se visualiza una banda de absorción desde 3800 cm^{-1} hasta 3000 cm^{-1} asociadas a la glucosa, un pico en 2900 cm^{-1} relacionada al estiramiento de los grupos metilo y metileno, vibración de alargamiento del hidrógeno y estiramiento alifático C-H derivado de la lignina. El número de onda 1400 cm^{-1} a 950 cm^{-1} se debe a la presencia de fructuosa y sacarosa. De forma que para la glucosa se asigna el número de onda de 1080 cm^{-1} y 1050 cm^{-1} deformación simétrica de CH_2 en grupos aromáticos de lignina, hemicelulosa y celulosa; C-C vibraciones de estiramiento de grupos metoxi (O-CH_3) del fenol de lignina, OH flexión de

ácidos en hemicelulosa y lignina, las vibraciones en 965 cm^{-1} , 910 cm^{-1} y 897 cm^{-1} muestran la evidencia de deformaciones de carbono aromático insaturado.

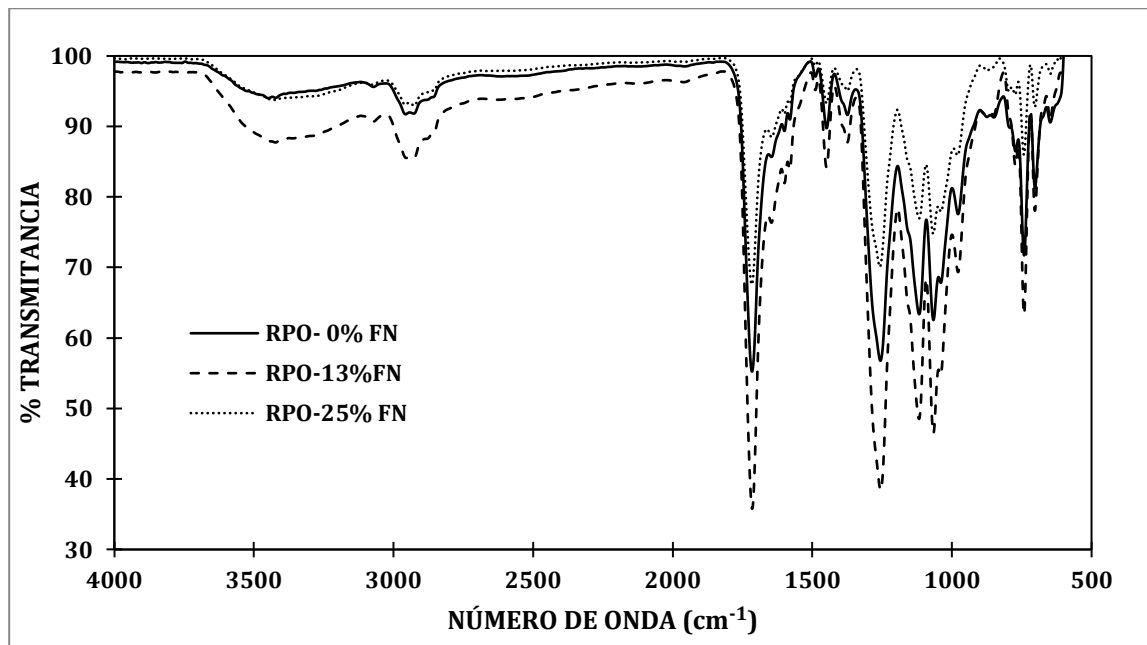


Figura 7. Resina Poliéster Ortoftálica (RPO), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPO-0%, RPO-13%, RPO-25% con 0%, 13% y 25% fibra, respectivamente Fuente: Elaboración propia

El espectro FTIR-ATR de fibra de cáscara de naranja y poliéster, se muestra en la Figura 8 el espectro de infrarrojo (IR) de la Resina Poliéster Isoftálica (RPI) con diferente concentración de Fibra de Cáscara de Naranja (FN), al 0% FN, 13% FN y 25% FN de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} . Las vibraciones de estiramiento observadas en números de onda de 1730 cm^{-1} muestran bandas de absorción de grupos característicos presentes en la estructura del esclerénquima, como celulosa, hemicelulosa y lignina. A partir de la comparación de los diferentes porcentajes de fibra, es posible verificar que se ha producido la modificación en la superficie de las fibras. La desaparición de las bandas a 1730 y 1240 cm^{-1} , atribuida al estiramiento vibracional de $\text{C}=\text{O}$ y $\text{C}-\text{O}-\text{C}$, específicamente, son características de la lignina y la hemicelulosa. Después del tratamiento de las fibras con solución de NaOH , esta señal desaparece, lo que indica que se eliminaron las impurezas correspondientes a los grupos hidroxilo de la fibra. Se observó una señal de vibración de estiramiento a 3350 cm^{-1} y hemicelulosa de las superficies de las fibras que sirven para exponer los grupos OH y, en consecuencia, para crear una superficie más reactiva. El tratamiento de fibra alcalina revela una señal a 2908 cm^{-1} . Esta señal se origina en

las vibraciones de estiramiento de los enlaces C-H habilitados por la eliminación de los recubrimientos de grasa natural.

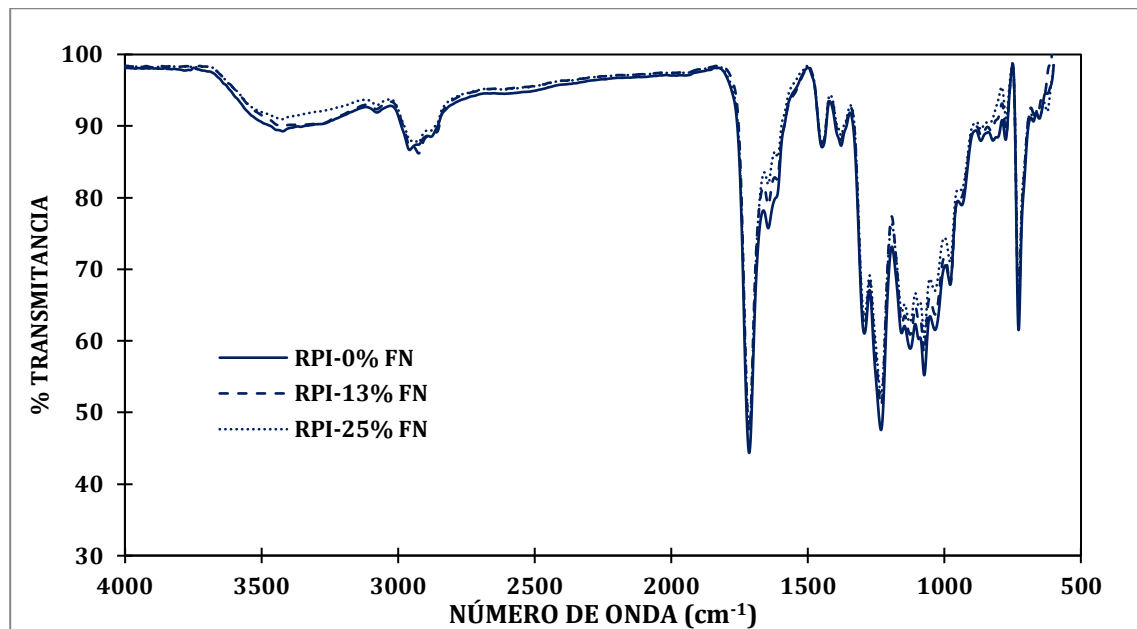


Figura 8. Resina Poliéster Isoftálica (RPO), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPI-0%, RPI-13%, RPI-25% con 0%, 13% y 25% fibra, respectivamente, Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5 se presentan los resultados de DSC para Resina Poliéster Isoftálica (RPI), Resina Poliéster Ortoftálica (RPO), Fibra de Cáscara de Naranja (FN) con diferente concentración de (FN), al 0% FN, 13% FN y 25% FN, respectivamente para RPI y RPO. Se observó que la RPO mostró dos transiciones, un alrededor de -18.5°C y el segundo alrededor de 125°C , atribuidas a la temperatura de fusión cristalina de la resina, el principal componente de la RPO y de la RPI. Estos resultados indican que se mejora la suavidad de los materiales. Se identificó una segunda transición en compuestos RPO-0%FN, RPO -13%FN, RPO-25%FN alrededor de 154°C , se puede atribuir a la Fibra de naranja y la disminución se debe al contenido de agua, en este caso los grupos OH son características de la lignina y la hemicelulosa que proporciona al material una característica suave.

Tabla 5 Valores de Transición para Resina Poliéster Isoftálica (RPO), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPI-0%, RPI-13%, RPI-25% con 0%, 13% y 25% fibra, respectivamente

Material	Transición $^{\circ}\text{C}$	
Resina Poliéster Ortoftálica (RPO)	-18.5	125.4
Resina Poliéster Isoftálica (RPI)	-18.0	98
Fibra Cáscara de Naranja (FN)	-52	-35
RPI-0%FN	30	119
RPI-13%FN	21	125
RPI-25%FN	15	108
RPO-0%FN	35	154
RPO-13%FN	28	132
RPO-25%FN	20	115

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Este estudio informa que utilizando el enfoque de la metodología TRIZ, se puede obtener un compósito reforzado con fibra de cáscara de naranja. Para obtener este compuesto se hizo primero un análisis del sistema técnico con las nueve ventanas, donde se determinó el poliéster como sistema por ser un polímero de bajo costo y el que mayormente se usa en el reforzamiento de plásticos. De las soluciones de la metodología TRIZ, se seleccionaron los principios de inventiva 1. Segmentación, 3. Calidad local y 35. Cambio de parámetros, porque de acuerdo al análisis de los parámetros de mejora (#10 Fuerza) y empeoramiento (#32 Manufacturabilidad, #27 confiabilidad, #28 precisión de medición y #33 conveniencia de uso). Para el principio #1 se varió la configuración del compósito se analizaron 3 porcentajes 0%,13% y 25%. Respecto al principio #3, se cambió la estructura de homogénea a heterogénea y para el principio #35 cambio de parámetros, al elaborar el parámetro se cambió su densidad y el estado físico.

A continuación, se resumen los resultados de las pruebas que se realizaron:

- En la prueba de tensión se observó que las probetas con 25% de fibra de cáscara de naranja son más elásticas que la del 13%, pues se desplaza 1.5 mm al aplicar tan solo 981 N, mientras que la de 25% se necesitan de 756 N para alcanzar un desplazamiento de 1mm.
- A través de la prueba de espectroscopía infrarroja (FTIR), a partir de la comparación de los diferentes porcentajes de fibra, se verificó una modificación en la superficie de las fibras. La desaparición de las bandas a 1730 y 1240 cm^{-1} , atribuida al estiramiento vibracional de $\text{C} = \text{O}$ y C-O-C , específicamente, son características de la lignina y la hemicelulosa, esto es debido al porcentaje de humedad, lo que podría dar mayor flexibilidad al material.
- En la prueba de Calorimetría diferencial de barrido (DSC), los resultados indicaron que se mejoró la suavidad de los materiales. Se identificó una segunda transición en compuestos RPO-0%FN, RPO -13%FN, RPO-25%FN alrededor de 154°C , la disminución se debe al contenido de agua y los grupos OH son características de la lignina y la hemicelulosa, lo que proporciona al material una característica suave, en otras palabras, menos rugoso.

Referencias bibliográficas

- Camposo A., Salgado, F., Garcia, F., Souza, M., souza, E., Colorado, H., Neves, S.(2019). Evaluation of the Projectile's loss of Energy in Polyester Composite Reinforced with Fique Fiber and Fabric. *Materials Research*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0146>
- Chou, (2014). An ARIZ-based life cycle engineering model for eco-design. *Journal of Cleaner Production*. Pag. 210-223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.037>
- Cordova, C., Guillén, J. & Tuesta, T. (2020). Solvent free microwave extraction of orange essential oil (*Citrus sinensis*), and the effect of the process conditions in its yield, composition and antimicrobial activity. *Rev Chil Nutr*, 47(6): 965-974. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000600965>.
- Domingos, I., Ferreira, J., Crus-Lopes, L., and Esteves, B. (2019). Polyurethane foams from liquefied orange peel wastes. *Food and Bioproducts Processing*, 115: 223-229.
- Elanchezhian, C., Vijaya, B., Ramakrishnan, G., Rajendrakumar, M., Naveenkumar, V. & Saravanakumar, M. (2016). Review on mechanical properties of natural fiber composites. *Materials Today: Proceedings* 5 (2018) 1785–1790
- Frizziero, L., Francia, D., Donnici, G., Liverani, A., & Caligiana, G. (02 de Enero de 2018). Sustainable design of open molds with QFD and TRIZ combination. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(1), 21 - 31, <https://doi.org/10.1080/21681015.2017.1385543>
- Garrido, K., Rivas, B., Perez, M., Fernandez, J., Monclus, M., Peña, C.(2020). Mechanical and morphological properties of poly(3-hydroxybutyrate)-thermoplastic starch/clay/eugenol bionanocomposites. *J. Chil. Chem. Soc.*, 65, N°4
- Hamidon, M.H., Sultan, M.T.H., Ariffin, A.H., and Shah, A.U.M. (2019). Effects of fibre treatment on mechanical properties of kenaf fibre reinforced composites: a review. *Journals of materials research and technology*, 8(3): 3327–3337.
- Ilevbare, I., Probert, D., Phaal, R., (2013). A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. *Technovation* 33 pag. 30–37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.003>

- Ishak, N. M., Sivakumar, D. & Mansor, M. R. (2018). The application of TRIZ on natural fibre metal laminate to reduce the weight of the car front hood. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 40:105. <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1039-2>
- Pulido, H., Hernández, E., Rabelero, M., Sanjuan, R.J. & Jasso C.F. (2014). Valoración mecanotérmica de una resina biodegradable como agente de acoplamiento de materiales compuestos celulósicos/polímero hidrofóbico. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, vol. 16, núm., 2014, pp. 463-486. DOI:10.4067/S0718-221X2014005000038
- Rahim, Z.A., Sheng, I.L.S. & Bakar, N.A. (2015). TRIZ Methodology for Applied Chemical Engineering: A Case Study of New Product Development, *Chemical Engineering Research and Design* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2015.08.027>
- SIAP. (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA: México.
- Singh, J. (2020). Natural Fibers: Applications. Generation, Development and Modifications of Natural Fibers. *Intech open*. Doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.86884>
- Velásquez, S., Pelaéz, G., Giraldo, D., (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *Informador Técnico (Colombia)* 80(1) enero - junio 2016: 77-86
- Yusof, N., Sapuan, S., Sultan, M. & Jawaid, M. (2020). Conceptual design of oil palm fibre reinforced polymer hybrid composite automotive crash box using integrated approach. *Journal of Central South University*, 27(1): 64–75. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11771-020-4278-1>.