



---

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA**

---

---

**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**“APLICACIÓN DE TRIZ EN EL DESARROLLO DE UN  
COMPÓSITO REFORZADO CON FIBRA DE CÁSCARA DE NARANJA  
VALENCIA (*Citrus sinensis*)”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRA EN INGENIERIA INDUSTRIAL**

**NOMBRE DE LA ALUMNA**

**CENIA EDITH HERNÁNDEZ SAN JUAN**

**NOMBRE DEL DIRECTOR DE TESIS**

**DRA. MARÍA LEONOR MÉNDEZ  
HERNÁNDEZ**

**NOMBRE DEL CODIRECTOR DE TESIS**

**M.C. FRANCISCO HERNÁNDEZ  
LORENZO**

**TANTOYUCA, VERACRUZ.**

**Julio del 2021**



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN  
TECNOLÓGICA DEL ESTADO  
DE VERACRUZ



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA**  
**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

FORMATO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN  
DE TESIS DE POSGRADO

Tantoyuca, Ver., a 28 de Junio de 2021.

**C. Cenia Edith Hernández San Juan**

PRESENTE:

De acuerdo al dictamen emitido por el jurado asignado para la revisión de su Trabajo Profesional, integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE: **Dra. María Leonor Méndez Hernández**

SECRETARIO: **Dr. Daniel Angeles Herrera**

VOCAL: **Dra. Lidilia Cruz Rivero**

SUPLENTE: **M.C. Rogelio García Rodríguez**

Y considerando que cumple con todos los requisitos del reglamento de titulación en vigor del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, doy a usted la autorización para que proceda a imprimir su Trabajo de Posgrado para titulación por la:


Opción de "TESIS" cuyo nombre del trabajo es:

**"APLICACIÓN DE TRIZ EN EL DESARROLLO DE UN COMPÓSITO REFORZADO CON FIBRA DE CÁSCARA DE NARANJA VALENCIA (Citrus sinensis)"**

Lo anterior lo hago de su conocimiento para los fines correspondientes a su Examen de Grado de **Maestro en Ingeniería Industrial**, por lo cual deberá entregar al encargado de Titulación de Posgrado un ejemplar de su documento final de tesis empastado en color vino con letras doradas y cuatro CD's (debidamente rotulados) en archivo PDF, así como donar un libro (nuevo) de su LGAC al Centro de Información (Biblioteca).

Esperando que el logro del mismo sea congruente con sus deseos profesionales.

ATENTAMENTE

  
Encargado de la  
Dirección académica

C.o.p. Servicios Escolares.  
Titulación de Posgrado

R02/0820

F-PG-03



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO  
NACIONAL DE ESTADÍSTICA  
E INFORMÁTICA



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
SECRETARÍA  
DE EDUCACIÓN



DET  
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN  
TECNOLÓGICA



## INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA

### CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Tantoyuca, Veracruz a 28 de junio de 2021

Yo, Cenia Edith Hernandez San Juan, alumno (a) de la carrera de Maestría en ingeniería industrial, con numero de control M183S0024, por medio del presente declaro mi conformidad para ceder los derechos del proyecto: APLICACIÓN DE TRIZ EN EL DESARROLLO DE UN COMPÓSITO REFORZADO CON FIBRA DE CÁSCARA DE NARANJA VALENCIA (Citrus sinensis), desarrollado en el: INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ALAMO TEMAPACHE, durante el periodo comprendido del 7 de Enero al 31 de Julio del año 2020 del cual declaro:

- Que es inédito
- Que es de mi autoría y me hago responsable por su contenido
- Que autorizo al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca para que, en el caso de que sea requerido pueda hacer uso libre de la totalidad del contenido del proyecto, para que sea desarrollado o divulgado en cualquier medio impreso o electrónico.
- El presente instrumento no contempla remuneración alguna por la transferencia de los derechos sobre dicho proyecto.

Lo anterior con el fin de que quede expresamente asentado mi consentimiento total a favor del instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca en todo lo relativo al proyecto en mención.

Para constancia firma:

Vc. Bo.

CENIA EDITH HERNÁNDEZ SAN JUAN

Nombre y firma del(a) alumno(a)

DRA. MA. LEONOR MÉNDEZ  
HERNÁNDEZ

Nombre y firma del asesor interno.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	V
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	VI
<b>DEDICATORIAS</b> .....	VII
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	VII
<b>RESUMEN</b> .....	VIII
<b>ABSTRAC</b> .....	IX
<b>CAPÍTULO I. GENERALIDADES</b> .....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación .....	3
1.4 Objetivos .....	3
1.4.1 General .....	3
1.4.2 Específicos .....	4
1.5 Hipótesis .....	4
1.6 Alcances y limitaciones.....	4
1.7 Estado del arte.....	4
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	9
2.1 Naranja .....	9
2.1.1 Características de la naranja .....	9
2.1.1.1 Caída y cuajado de frutos .....	9
2.1.1.2 Crecimiento de los frutos .....	10
2.1.1.3 Calidad de los frutos.....	10
2.2 Polímeros.....	11
2.2.1 Polímeros termoestables .....	12
2.3 Poliéster.....	13
2.4 Fibras naturales .....	14
2.5 Materiales compuestos .....	15
2.5.1 Compuesto de matriz de polímero.....	16
2.5.2 Propiedades de los compuestos poliméricos.....	17
2.6 Propiedades de las matrices.....	18
2.7 Biopolímeros .....	19

2.8 Propiedades mecánicas.....	19
2.8.1 Tensión uniaxial.....	19
2.8.1.1 Curva esfuerzo-deformación.....	19
2.9 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).....	22
2.9.1 Principios básicos de funcionamiento del IR.....	22
2.10 Fundamentos de la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	24
2.11 Metodología Triz.....	24
2.11.1 Uso de la matriz Altshuller.....	27
2.11.2 Nueve ventanas TRIZ.....	27
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>29</b>
3.1 Objeto de estudio.....	29
3.2 Tipos de investigación.....	29
3.3 Teoría Triz.....	29
3.3.1 Nueve ventanas de triz.....	30
3.3.2 Matriz de contradicciones.....	31
3.4 Obtención de la fibra de cáscara de naranja.....	32
3.4.1 Recolección de la fibra de cáscara de naranja.....	32
3.4.2 Proceso de triturado.....	33
3.4.3 Diseño del molde.....	33
3.4.4 Diseño de la probeta.....	34
3.5. Métodos de caracterización.....	35
3.5.1. Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).....	35
3.5.2 Prueba de tensión uniaxial.....	36
3.5.3 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	36
4.1 Aplicación de la metodología de resolución de problemas de inventiva (TRIZ).....	37
4.1.1 Nueve ventanas.....	37
4.1.2. Matriz de contradicciones.....	38
4.1.3 Principios de inventiva.....	39
4.1.4 Aplicación de los principios de inventiva.....	40
4.2 Proceso para la obtención de la fibra de cáscara de naranja.....	41
4.3 Caracterización fisicoquímica de la fibra de cáscara de naranja.....	42
4.4 Elaboración del compósito.....	42
4.4.1 Compósito con 13% y 25% de fibra y resina Isoftálica.....	42

4.4.2 Compósito con 13% y 25% de fibra y resina Ortoftálica. ....	43
4.4.2 Compósito con 0% de fibra .....	43
4.3 Resultados de los métodos de caracterización. ....	43
4.3.1 Análisis de las Pruebas Ténsiles.....	43
4.3.2 Espectroscopía infrarroja (FTIR) .....	45
4.3.3 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	48
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>49</b>
5.1 Conclusiones.....	49
5.2 Recomendaciones .....	50
<b>CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>51</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición químico proximal de los desperdicios frescos de cáscara de naranja (OPW) y los desperdicios de cáscara de naranja tratados con acetona (sólido 1) de acuerdo con los protocolos de NREL .....	10
Tabla 2. Propiedades de polímeros termoplásticos típicos .....	12
Tabla 3. Longitud de onda para distintos rangos en el infrarrojo .....	23
Tabla 4. Los 40 principios de TRIZ.....	25
Tabla 5. Los 39 parámetros de TRIZ. ....	26
Tabla 6. Formulaciones para elaboración de probetas .....	35
Tabla 7. Principios de inventiva.....	40
Tabla 8. Principios de solución específicos para la contradicción 1.....	40
Tabla 9. Principios de solución específicos para la contradicción 2.....	41
Tabla 10. Tratamientos fisicoquímicos.....	42
Tabla 11.- 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 .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fibras naturales clasificadas según su origen. . . . .	15
Figura 2. Espécimen estándar de tensión antes y después de la tracción. . . . .	20
Figura 3. Esquema de la carga y descarga de un espécimen de ensayo de tensión. . . . .	21
Figura 4. Curva esfuerzo-deformación obtenida de un ensayo de tensión. . . . .	22
Figura 5. Las Nueve ventanas de Triz. . . . .	28
Figura 6. Grado de uso de algunas herramientas TRIZ . . . . .	31
Figura 7. Cáscara fresca de naranja, . . . . .	32
Figura 8. Horno Thermal Contol Status . . . . .	32
Figura 9. Molino de cuchillas . . . . .	33
Figura 11. Diseño de la probeta . . . . .	34
Figura 12. Panorama de la situación del sistema mediante las nueve ventanas de Triz . . . . .	38
Figura 13. Matriz de contradicciones . . . . .	39
Figura 14. Diagrama de flujo del proceso de obtencion de la fibra de cáscara de naranja . . . . .	42
Figura 15. Probeta compósito con 0%,13% y 25% de fibra de cáscara de naranja. . . . .	43
Figura 16. Resina Poliéster Isoftálica (RPI), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPI-0%, RPI-13%, RPI-25%, respectivamente. . . . .	44
Figura 17. Resina Poliéster Ortoftálica (RPO), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPO-0%, RPO-13%, RPO-25% con 0%, 13% y 25% fibra, respectivamente . . . . .	45
Figura 18. Resina Poliéster Ortoftálica (RPO), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPO-0%, RPO-13%, RPO-25% con 0%, 13% y 25% fibra, respectivamente. . . . .	46
Figura 19. Resina Poliéster Isoftálica (RPI), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPI-0%, RPI-13%, RPI-25% con 0%, 13% y 25% fibra, respectivamente . . . . .	47

## **DEDICATORIAS**

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto, por la salud y sabiduría para lograr mis objetivos, además por su infinita bondad y amor, en los momentos de desesperación.

A mis hijos, por su paciencia y el tiempo que no les apoyé.

A mis padres, que siempre me apoyaron con sus consejos y motivación.

A mi esposo, por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera expresar mi agradecimiento a mi directora de tesis la Dra. María. Leonor Méndez Hernández y a mis asesores, el Dr. Daniel Ángeles Herrera y la Dra. Lidilia Cruz Rivero, por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales.

Al instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, por otorgarme la oportunidad de formarme como profesionista.

Al Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, por haberme permitido estudiar la maestría en sus instalaciones y por el apoyo económico brindado.

## RESUMEN

En el 2017, México alcanzó una producción de alrededor de 4,630,000 toneladas de naranja valencia, ocupando el quinto lugar en la producción mundial, siendo, el estado de Veracruz, el primer productor a nivel nacional, teniendo cerca del 50% del volumen de producción (SIAP, 2018).

El municipio de Álamo-Temapache, considerado como el “valle dorado de la naranja”, genera aproximadamente 648,000 toneladas anuales de residuos agroindustriales. El objetivo de esta investigación fue obtener un compósito 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 de la Teoría de Resolución de Problemas (TRIZ) por su acrónimo en ruso. Para la obtención del compósito se emplearon fibra de cáscara de naranja valencia (*Citrus sinensis*) al 0%,13% y 25% en peso y dos tipos de resina (isofáltica y ortoftáltica).

La metodología TRIZ sirvió para comprender el problema en una forma desagregada e identificar aspectos asociados al mismo que no son evidentes desde un análisis puramente funcional. Por otro lado, la matriz de contradicciones ayudó a identificar la solución al problema específico que en este caso al analizar los parámetros que se desean mejorar(resistencia) y el que empeora(tensión) dio como resultado el principio de inventiva 40, materiales compuestos, que consiste en reemplazar materiales homogéneos con compuestos, es decir se reemplazó cierto porcentaje de fibra de cáscara de naranja en lugar de 100% de polímero poliéster.

Se analizaron las propiedades fisicoquímicas por Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), la degradación térmica por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y propiedades físico-mecánicas (tensión -elongación), donde se observó que la resina ortoftáltica (RPO), demuestra tener una mayor elasticidad que la RPI y que adicionalmente al agregar el 25% en peso de fibra de cáscara de naranja valencia (*Citrus sinensis*) se obtiene mayor tensión. En general, el valor de la Temperatura de Transición Vítrea (Tg) se modificó de acuerdo con el contenido de 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.

## **ABSTRAC**

In 2017, Mexico reached a production of around 4,630,000 tons of Valencian orange, occupying the fifth place in world production, being the state of Veracruz, the first producer at the national level, having about 50% of the production volume ( SIAP, 2018).

The municipality of Álamo-Temapache, considered the “golden valley of the orange”, generates approximately 648,000 tons of agro-industrial waste per year. The objective of this research was to obtain a composite reinforced with Valencia orange peel fiber (*Citrus sinensis*), with mechanical properties equal to or greater than a commercial resin, with the application of the Problem Solving Theory (TRIZ) methodology by its acronym in Russian. To obtain the composite, Valencia orange peel fiber (*Citrus sinensis*) at 0%, 13% and 25% by weight and two types of resin (isophthalic and orthophthalic) were used.

The TRIZ methodology served to understand the problem in a disaggregated way and to identify aspects associated with it that are not evident from a purely functional analysis. On the other hand, the matrix of contradictions helped to identify the solution to the specific problem that in this case, when analyzing the parameters that are desired to improve (resistance) and the one that worsens (tension), resulted in the inventive principle 40, composite materials, which consists of replacing homogeneous materials with composites, that is, a certain percentage of orange peel fiber was replaced instead of 100% polyester polymer.

The physicochemical properties were analyzed by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), the thermal degradation by Differential Scanning Calorimetry (DSC) and physical-mechanical properties (stress-elongation), where it was observed that the orthophthalic resin (RPO) demonstrates have a greater elasticity than RPI and that additionally by adding 25% by weight of Valencia orange peel fiber (*Citrus sinensis*), greater tension is obtained. In general, the value of the Glass Transition Temperature ( $T_g$ ) was modified according to the percentage content 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.

# **CAPÍTULO I.**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

Actualmente en México, existe un consumo per cápita de fruta fresca de naranja de aproximadamente 37 kg, donde cerca del 73% de la fruta fresca es comestible, el resto corresponde a las cáscaras y semillas. En el 2017, México alcanzó una producción de alrededor de 4,630,000 toneladas ocupando el quinto lugar en la producción mundial. Por otro lado, el estado de Veracruz fue el máximo productor del fruto en el país; cerca del 50% del volumen cosechado provino de esta entidad, estableciéndose así, como el primer lugar a nivel nacional (SIAP, 2018).

El municipio de Álamo-Temapache es considerado como el “valle dorado de la naranja”, donde cinco industrias extractoras de jugo, están asentadas en este municipio generando aproximadamente 648,000 toneladas anuales de residuos agroindustriales. Entre los cítricos que México oferta al exterior, el volumen de naranja participa con un 9%, misma que registró un máximo histórico en cantidad y valor exportado en 2017, así mismo el jugo de naranja, su principal derivado, registró niveles destacables de venta externa de aproximadamente 228 millones de litros y 540 millones de dólares (FAO, 2018).

El aprovechamiento de residuos agroindustriales se ha evaluado para materiales compuestos, existiendo como una alternativa para erradicar las prácticas de eliminación de estos desechos y entre las principales razones, se tiene la disponibilidad, diversidad y renovabilidad de las fibras, así como, el bajo consumo energético en su fabricación, los costos competitivos y su baja densidad. En el área de polímeros, la implementación de fibras naturales como refuerzos, tiene como principales inconvenientes su carácter hidrófilo, su baja estabilidad dimensional y térmica, su degradabilidad en presencia de microorganismos, la luz ultravioleta, ácidos y bases fuertes y la tendencia a la inflamabilidad (Quesada, *et al.* 2005).

El interés actual en los materiales y la conciencia relacionada con el medio ambiente lleva a los investigadores, al uso de fibras vegetales como materiales sustitutos para el refuerzo en compuestos de polímeros. Los compuestos reforzados con fibras vegetales, se pueden usar en varios campos

como el automotriz, empaque, marino, construcciones y militares debido a sus características atractivas como menos peso, biodegradable, ecológico, no tóxico, menos costosas y mejores propiedades mecánicas. Las fibras naturales se pueden dividir básicamente en fibras animales, vegetales y minerales. (Quesada, *et al.* 2005).

## **1.2 Planteamiento del problema**

Debido a los múltiples y constantes desechos, arrojados a los suelos en campo abierto en la ciudad de Álamo, Temapache, Veracruz, por las diferentes empresas extractoras de jugo, se toma como iniciativa este proyecto para mitigar o disminuir la desertificación en suelos.

Tomando como dato alarmante la cantidad de toneladas anuales de desechos que son arrojados a los mismos, de aproximadamente 648 000 toneladas anuales; como consecuencia de estas acciones conlleva a la degradación de los suelos, perdiendo total o parcialmente el potencial de producción, disminución de la vegetación e incluso contaminando cuerpos de agua como el río Pantepec, entre otros.

Por otro lado, 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. Incluso en el 2018 la producción mundial de plástico fue de aproximadamente 359 millones de toneladas según el último informe de la Asociación de Fabricantes de Plásticos (Garrido, *et al.* 2020).

Las fibras naturales son abundantes, fáciles de manejar y con grandes ventajas en términos de respeto al medio ambiente. Por tal motivo algunos investigadores volcaron su 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).

Con base en la información anterior surge la siguiente interrogante: ¿se puede obtener un compósito de poliéster reforzado con fibra de cáscara de naranja, con características superiores o iguales al poliéster comercial?

### **1.3 Justificación**

En los últimos años, ha surgido un particular interés 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. El aprovechamiento de residuos generados en procesos agroindustriales, es de interés en el ámbito mundial. En la actualidad 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.

Por ello el enfoque de esta propuesta es transformar las 648,000 toneladas anuales de residuos agroindustriales generados por las cinco industrias extractoras de jugo, asentadas en el municipio de Álamo Temapache Veracruz, con el fin de aprovechar estos recursos para la obtención de un compósito a partir de fibra de cáscara de naranja valencia, con características superiores o iguales a la resina comercial, de tal manera que ayude al municipio y al país a mitigar o disminuir la desertificación de suelos que se genera al ser depositado este desecho a campo abierto.

Recientemente, los materiales compuestos se han empleado ampliamente en la industria aeroespacial. Básicamente, hay dos tipos de materiales reforzados con fibra que se han utilizado en la industria aeroespacial, a saber, compuestos de carbono/epoxi y vidrio/fenólicos. Los materiales compuestos de carbono/epoxi se aplican principalmente a estructuras portantes de grandes cargas, mientras que las estructuras de vidrio/fenólicas están destinadas a muebles de cabina.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 General**

Obtener un compósito 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.

### **1.4.2 Específicos.**

1. Analizar el sistema con la metodología TRIZ
2. Diseñar el compuesto a partir de diferentes formulaciones.
3. Validar el prototipo en relación a los resultados obtenidos en las diferentes pruebas.

### **1.5 Hipótesis**

Con el uso de la metodología Triz se obtiene un compuesto reforzado con fibra de cáscara de naranja, con propiedades iguales o superiores a las de una resina comercial.

### **1.6 Alcances y limitaciones**

#### **Alcances**

Obtener una matriz polimérica reforzado con fibra de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), con propiedades mecánicas iguales o superiores a la resina comercial.

#### **Limitaciones**

Falta de equipo especializado y recurso económico, para la realización de las pruebas mecánicas.

### **1.7 Estado del arte**

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). Se determinó la densidad de PU y las propiedades mecánicas. Observándose que al aumentar el catalizador (isocianato) aplicando un 10% de deformación, el esfuerzo a la compresión y el módulo de Young se incrementan de 3.5 kPa a 6.6 kPa y de 186 kPa a 321 kPa, respectivamente, sin embargo, después del 10% el módulo de Young disminuye llegando a 300 kPa. En general, mayores cantidades de isocianato aumentan las propiedades físicas y mecánicas de las espumas, lo que conduce a una mayor densidad, resistencia a la compresión y módulo Young.

Santosha, *et al.* (2018), analizaron la conductividad térmica y capacidad térmica específica de los compuestos a base de poliéster reforzados con fibra de hoja de plátano y piña con respecto al contenido de fibra y la temperatura. Las fibras se utilizaron como refuerzo con varias fracciones de

volumen de 0.112, 0.166, 0.213, 0.274 y 0.346. Los resultados revelaron que la conductividad térmica del compuesto disminuyó con el aumento del contenido de fibra y se observó una tendencia bastante opuesta con respecto a la temperatura. La capacidad térmica específica del compuesto, medida por el calorímetro diferencial de barrido, mostró una tendencia similar a la de la conductividad térmica.

Elanchezhian, *et al.* (2018), analizaron 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; se comparó el efecto en las propiedades mecánicas con el de un agente comercial de polipropileno modificado (Epolene E-43). El desempeño dinámico – mecánico y estático – mecánico de los materiales muestra claramente el incremento de propiedades mecánicas con los tres agentes utilizados. La brea maleinizada mostró similitud o ligera superioridad sobre el agente comercial en el efecto logrado.

Abdala, *et al.* (2017), compararon el potencial de los métodos de los principios inventivos (DPI) de TRIZ (MIPT) y BioTRIZ (MIPB) en relación a estimular la creatividad en la resolución de problemas. Los dos métodos fueron aplicados a diferentes temas y las soluciones fueron evaluadas en términos de creatividad. Se realizó un estudio experimental para comparar los dos métodos. El análisis cuantitativo proporcionó evidencia de que los dos métodos son iguales en términos de contribuciones creativas. Sin embargo, otros análisis indican que los PI derivados de sistemas biológicos (Bio Triz) tienden a aportar una contribución creativa mayor que los basados en sistemas técnicos.

Castro, *et al.* (2016). Elaboraron y caracterizaron compuestos de resina de poliéster reforzados con tela tejida bidireccional de fibra de ramio en diferente contenido por volumen. Estos compósitos fueron testeados experimental y numéricamente como caras de paneles sándwiches con núcleos de esponja de calabaza impregnados con resina de poliéster y poliestireno expandido-EPS. La caracterización mecánica de estos materiales se realizó en el laboratorio a partir de ensayos de tracción y flexión, y simulación numérica mediante el Método de Elementos Finitos (FEM). El

material compuesto se analizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Con las pruebas se demostró que los compósitos con 50% de volumen de fibra son adecuados para presentar mejores propiedades mecánicas, resistencia a la tracción y módulo elástico de 61.88 MPa y 14.61 GPa, respectivamente. Las micrografías de los compuestos mostraron una buena compatibilidad entre resina y fibras.

Kaison, *et al.* (2016), prepararon espumas compuestas de ácido poliláctico (PLA), caucho natural y fibras de coco modificadas utilizando un método de moldeo por compresión adecuado para la fabricación de compuestos que contienen un alto contenido de fibra. En los resultados observaron que al incorporar caucho natural en espumas compuestas aumentó la tensión de compresión a 101,17 kN/m<sup>2</sup>. También observaron que al aumentar el 10% en peso de fibra de coco modificada añadida a las espumas compuestas aumentó la tensión de compresión a 105.24 kN/m<sup>2</sup>. Por lo tanto, la combinación de fibras de coco modificadas en espumas compuestas podría conducir a una adhesión mejorada entre el área superficial de la matriz de PLA y la fase de caucho natural.

Barrios, *et al.* (2015), elaboraron biocompósitos de almidón de maíz reforzado con partículas de madera de fresno, por el método de termo-compresión. Los biocompósitos se elaboraron con tamaños de partícula de 425 µm, 600 µm y 1.4 mm, así como en diferentes proporciones (5, 10 y 20%) y una matriz termoplástica fue utilizada como referencia. El tratamiento térmico aplicado a las probetas tuvo un gran efecto en los resultados de resistencia a tracción. Los compósitos con 10% y 20% de partículas de madera y tamaño de partícula 600 µm presentaron los mayores valores de resistencia mecánica. Con este estudio se comprobó que el almidón termoplástico con partículas de madera es inflamable, pero su ignición tiende a auto-extinguirse.

Dhakal, H. & Zhang, Z. (2015), evaluaron las propiedades de la fibra de cáñamo, los problemas de cultivo y calidad, la modificación de la superficie y su efecto sobre las propiedades, así como las aplicaciones de los materiales compuestos reforzados con fibra de cáñamo. Debido a su buena relación resistencia-peso, la fibra de cáñamo es un refuerzo compuesto deseable desde el punto de vista técnico, ecológico y económico. Sin embargo, las aplicaciones hasta ahora se han limitado a componentes no estructurales que utilizan fibras cortas.

Tacle, *et al.* (2018), ellos expusieron los resultados del análisis de la matriz de contradicciones y de los principios de ingeniería, tomando como base el desarrollo científico tecnológico actual, así

como las modificaciones requeridas en el campo de la ingeniería mecánica en general, aplicadas al diseño de transmisiones por engranajes cilíndricos de dientes rectos exteriores de material plástico.

Ishak, *et al.* (2018), En este estudio analizaron la aplicación de TRIZ sobre laminado metálico de fibra natural para reducir el peso del capó delantero del automóvil. Al aplicar el método TRIZ, 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. Se identificaron tres contradicciones y se determinaron ideas de solución específicas mediante la aplicación del método TRIZ. Los principios de la solución TRIZ utilizados para generar las ideas de soluciones específicas fueron: material compuesto no. 40, segmentación no. 1, calidad local no. 3, expansión térmica no.37, no.2 extracción y no.11 amortiguación previa. Este estudio ha demostrado que la aplicación del método TRIZ puede proporcionar soluciones y ayudar a desarrollar conceptos e ideas inventivos y prácticos.

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%. La pérdida de energía calculada del proyectil indicó una disipación de energía relativamente grande por parte del compuesto. Las muestras ensayadas se trataron estadísticamente mediante el análisis de Weibull y se examinaron mediante microscopía electrónica de barrido.

Yusof, *et al.* (2020), estudiaron un enfoque de diseño conceptual híbrido para desarrollar un diseño conceptual de caja de choque automotriz (ACB) compuesta de polímero de palma de aceite. Aplicaron una combinación de teoría de resolución de problemas inventiva (TRIZ), gráficos morfológicos y biomiméticos. Se eligió como diseño conceptual final el diseño con mayor puntuación (26.6%), que era el que tenía una estructura de nido de abeja para el perfil más externo, reforzado con una estructura de telaraña en el interior de la pieza, soportado por una estructura de fibra de espuma extraída del pájaro carpintero, esponja tejido en el centro para maximizar la capacidad de absorción de energía. 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.

Frizziero, *et al.* (2017), en este trabajo 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 trabajo se desarrolló a través de un análisis QFD consistente en análisis Sixquestions, matrices de evaluación y análisis de matrices morfológicas, Salida del análisis QFD como Requisitos del producto y Arquitectura conceptual del producto, análisis TRIZ utilizando como Entrada la Salida QFD mencionada anteriormente y por último la solución final optimizada QFD & TRIZ lograda.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Naranja**

La naranja dulce es cultivada y comercializada en todo el mundo, la producción de este tipo de fruta en los cinco continentes, aunque la lista estuvo liderada por América con una producción del 47.7% y Asia con 31.4%. En el año 2013, los cinco mejores productores del mundo fueron Brasil, Estados Unidos de América, China, China Continental e India. Brasil encabezó este listado con un total de 17, 549, 536.00 toneladas de naranja. Anatómicamente, en el fruto se logra evidenciar dos regiones el pericarpio y el endocarpio, la primera conocida como piel o cáscara, la cual cubre a todo el fruto y el lugar donde se alojan hongos y bacterias endófitas. La segunda región tiene una consistencia carnosa dividiéndose de 10 a 14 segmentos gracias a tabiques delgados que se desarrollan dentro de esta; aquí se aloja la pulpa y por consiguiente las vesículas que contienen el jugo (Montalvo, 2018).

A nivel mundial, en el 2018 se produjo 84,8 Millones de toneladas de naranja aproximadamente. Se estima que más del 40% de naranjas son procesadas por la industria de alimentos cada año. Esto genera grandes cantidades de residuos de cáscara de naranja (6,8 Millones de toneladas) considerando que la cáscara representa el 20% del peso del fruto aproximado), en lugar de obtener un producto de mayor valor agregado (Cordova, *et al.* 2020).

#### **2.1.1 Características de la naranja**

##### **2.1.1.1 Caída y cuajado de frutos**

En la naranja las flores y los pequeños frutos se caen normalmente en forma abundante, hasta casi dos meses después de la floración. Se puede decir que, de cada 100 flores, tan sólo un promedio de 4 no se desprende del árbol y se desarrollan hasta convertirse en frutos maduros y cosechables. En la naranja la caída de las flores y los frutos ocurre aceleradamente durante mes y medio siguiente a la fecha de la floración. Después de 70 días, prácticamente se detiene la caída de los frutos, y los retenidos para entonces llegan a desarrollarse completamente en su mayoría. En esta variedad sólo un promedio de 5 flores de cada 100 se transforman en frutos cosechables.

### 2.1.1.2 Crecimiento de los frutos

Las naranjas alcanzan un diámetro promedio definitivo de 6 cm. A los 70 días después de la floración ya se encuentran frutos con un promedio de 3 cm. de diámetro, y a partir de esa época continúan creciendo más lentamente.

### 2.1.1.3 Calidad de los frutos

En la variedad se observa que el mayor peso, alrededor de 150 g, y el mayor porcentaje de jugo, un 45% se logran después de los 13 meses, pero poco tiempo después comienzan a decaer significativamente. Así mismo se encuentra que la acidez disminuye con la edad, mientras aumentan los azúcares o sólidos solubles del jugo (Montalvo, 2018).

De acuerdo con los criterios de calidad más aceptados para la fruta (Tabla 1), la naranja debe cosecharse entre los 12 y 13 meses y medio, después de la floración. En ese período es más adecuada tanto la relación entre azúcares y la acidez, como el tamaño y la cantidad de jugo de la fruta.

Tabla 1. Composición químico proximal de los desperdicios frescos de cáscara de naranja (OPW) y los desperdicios de cáscara de naranja tratados con acetona (sólido 1) de acuerdo con los protocolos de NREL.

Componentes en peso seco(%)	OPW	Solid 1
Extractos de grasa y cloroformo	0	0
Extractos de agua	38.0 ± 0.5	26.4 ± 0.6
(glucosa libre + fructuosa)	35.2 ± 0.3	25.9 ± 0.4
Pectina (% galacturónica)	18.6 ± 1.9	27.3 ± 2.1
Lignina	6.5 ± 0.6	7.8 ± 0.3
Hemicelulosa	14.3 ± 0.2	12.3 ± 0.4
Celulosa	18.6 ± 0.1	22.3 ± 0.2
Ceniza	3.7 ± 0.1	4.5 ± 0.2
Sólidos totales	19.5 ± 0.2	93.5 ± 0.5

Fuente: Senit, *et al.* 2019

La cáscara de naranja valenciana (*citrus x sinensis*) es un residuo industrial que se obtiene luego de la producción de jugo y aceite esencial (por arrastre de vapor), por ello su costo es sumamente bajo y se le estaría agregando valor y evitando que sea un elemento contaminante. La naranja contiene 14,27 por ciento másico de cáscara; a su vez, la cáscara seca contiene 53,27 por ciento másico de carbohidratos. De otro lado, los residuos de naranja contienen los porcentajes másicos

siguientes: pectina, 29,8; celulosa, 18,7; y, hemicelulosa, 20,9. Se puede decir que el contenido de celulosa es cercano al veinte por ciento (Alata, *et al.* 2020).

## 2.2 Polímeros

La palabra plásticos se utilizó por primera vez como sustantivo en 1909 y suele emplearse como sinónimo de polímeros. Los plásticos son uno de los numerosos materiales poliméricos y tienen moléculas extremadamente grandes (macromoléculas o moléculas gigantes). Entre los productos de consumo e industriales fabricados con polímeros están los recipientes para alimentos y bebidas, empaques, artículos de señalización, partes o piezas de computadoras y monitores, textiles, material médico, espumas, pinturas, blindajes de seguridad, juguetes, aparatos domésticos y electrodomésticos, lentes, engranes, productos eléctricos y electrónicos, así como carrocerías y componentes para automóviles. película, lámina, placa, barras y tubos de diversas secciones transversales (Kalpakjian, *et al.* 2008).

Los polímeros que abarcan materiales tan diversos como los plásticos, el hule o caucho y los adhesivos, son moléculas orgánicas gigantes en cadena, con pesos moleculares desde 10,000 hasta más de 1,000,000 g mol<sup>-1</sup>. La polimerización es el proceso mediante el cual moléculas más pequeñas se unen para crear estas moléculas gigantes. Los polímeros a menudo son utilizados como fibra o como matriz en compuestos (Askeland, 1998).

Un polímero es un compuesto que consiste en moléculas de cadena larga, cada una de las cuales está hecha de unidades que se repiten y conectan entre sí. En una sola molécula de polímero puede haber miles, incluso millones, de unidades. La palabra se deriva de los vocablos griegos *poly*, que significa muchos, y *meros* (que se contrae a *mero*), que es parte. La mayoría de los polímeros se basan en el carbono, y por ello se les considera productos químicos orgánicos (Groover, 2007).

Para estudiar los polímeros como materia técnica, es apropiado dividirlos en las siguientes tres categorías, donde 1) y 2) son plásticos y 3) es el caucho:

1. Los *polímeros termoplásticos*, también llamados *termoplásticos* (TP), son materiales sólidos a temperatura ambiente, pero si se les calienta a temperaturas de apenas unos cuantos cientos de grados, se vuelven líquidos viscosos. Esta característica permite que

adopten formas de productos de modo fácil y económico. Se pueden sujetar repetidas veces al ciclo de calentamiento y enfriamiento sin que el polímero se degrade en forma significativa.

2. A diferencia de los termoplásticos, los *polímeros termofijos*, o *termoestables* (TS), no toleran ciclos repetidos de calentamiento. Cuando se calientan de inicio, se suavizan y fluyen de modo que se pueden moldear, pero las temperaturas elevadas también producen una reacción química que endurece el material y lo convierte en un sólido que no se puede fundir. Si se le vuelve a calentar, los polímeros termofijos o termoestables se degradan y carbonizan, en vez de suavizarse.
3. Los *elastómeros* (E) son los cauchos. Se trata de polímeros que presentan alargamiento elástico extremo si se le sujeta a un esfuerzo mecánico relativamente débil. Algunos elastómeros son capaces de estirarse en un factor de 10 y aun así recuperar su forma original por completo. Aunque sus propiedades son muy distintas de las de los termofijos, tienen una estructura molecular similar a la de éstos, pero diferente de la de los termoplásticos.

De los tres tipos, los de mayor importancia comercial son los termoplásticos, pues constituyen alrededor de 70% del peso total de todos los polímeros sintéticos que se producen.

### **2.2.1 Polímeros termoestables**

Los termoestables son cadenas de polímeros con enlaces altamente cruzados, que forman una estructura de red tridimensional. Ya que las cadenas no pueden girar ni deslizarse, estos polímeros poseen buena resistencia, rigidez y dureza. Sin embargo, tienen baja ductilidad y propiedades al impacto y una alta temperatura de transición vítrea. En el ensayo a la tensión los polímeros termoestables presentan el mismo comportamiento de los metales o las cerámicas frágiles. Ejemplos de los polímeros TS son los fenoles, epóxicos y ciertos poliésteres. Algunas de las propiedades de los termoplásticos son las que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades de polímeros termoplásticos típicos

Fuente: Groover, 2007

<b>Material</b>	<b>Resistencia a la tensión (PSI)</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Módulo de elasticidad (PSI)</b>	<b>Densidad (g cm<sup>-3</sup>)</b>
Fenólicos	9,000	2	1300	1.27
Aminas	10,000	1	1600	1.50
Poliésteres	13,000	3	650	1.28
Epóxidos	15,000	6	500	1.25
Uretanos	10,000	6		1.30
Siliconas	4,000	0	1200	1.55

### **2.3 Poliéster**

Los poliésteres, que contienen las uniones características de los ésteres (CO–O), son termofijos, así como termoplásticos. Los poliésteres termofijos se emplean mucho en plásticos reforzados (compuestos) para fabricar objetos grandes tales como tubos, tanques, cascos de lanchas, piezas de carrocerías automotrices y paneles para la construcción. También se utilizan en diversos procesos de moldeo para producir piezas pequeñas.

La síntesis del polímero inicial involucra la reacción de un ácido o anhídrido tal como el anhídrido maleico (C<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) con un glicol como el etilenglicol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>). Esto produce un poliéster insaturado de peso molecular relativamente bajo (MW = 1000 a 3000 dalton). Este ingrediente se mezcla con un monómero capaz de polimerizarse y entrecruzarse con el poliéster. Esta mezcla forma el sistema de resina de poliéster que se suministra al fabricante.

Los poliésteres se curan ya sea con calor (sistemas activados por temperatura) o por medio de un catalizador que se agrega a la resina de poliéster (sistema activado por catalizador). El curado se realiza en el momento de la fabricación (proceso de moldeo o de otro tipo) y da como resultado el entrecruzamiento del polímero.

Los sistemas de resina de poliéster se han utilizado ampliamente en el pasado. Los poliésteres son una categoría de polímeros que contienen los grupos funcionales éster en su cadena principal. Cabe señalar que los poliésteres se agrupan de acuerdo con la composición de su cadena principal. Pueden ser alifáticos, semi-aromáticos o aromáticos. Los poliésteres alifáticos son homopolímeros (como el ácido poliácido) o copolímeros (como el poli butileno succinato), mientras que el semi-aromáticos más común es el tereftalato de polietileno. Un ejemplo de poliéster aromático es

vectran, poliéster producido por poli condensación de ácido 4-hidroxibenzoico y ácido 6-hidroxinaftaleno-2-carboxílico (George, *et al.* 2016).

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).

## **2.4 Fibras naturales**

Las fibras naturales se clasifican según su origen vegetal, animal o mineral. En la figura 1 se muestra una clasificación según su origen. La celulosa 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.

Las microfibrillas de la celulosa están recubiertas por la hemicelulosa, una estructura de cadenas lineales ramificadas compuestas por polisacáridos de peso molecular inferior, que permiten el enlace de las fibras de celulosa con la pectina. La hemicelulosa es hidrófila y puede ser fácilmente hidrolizada por ácidos y bases diluidas. 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).

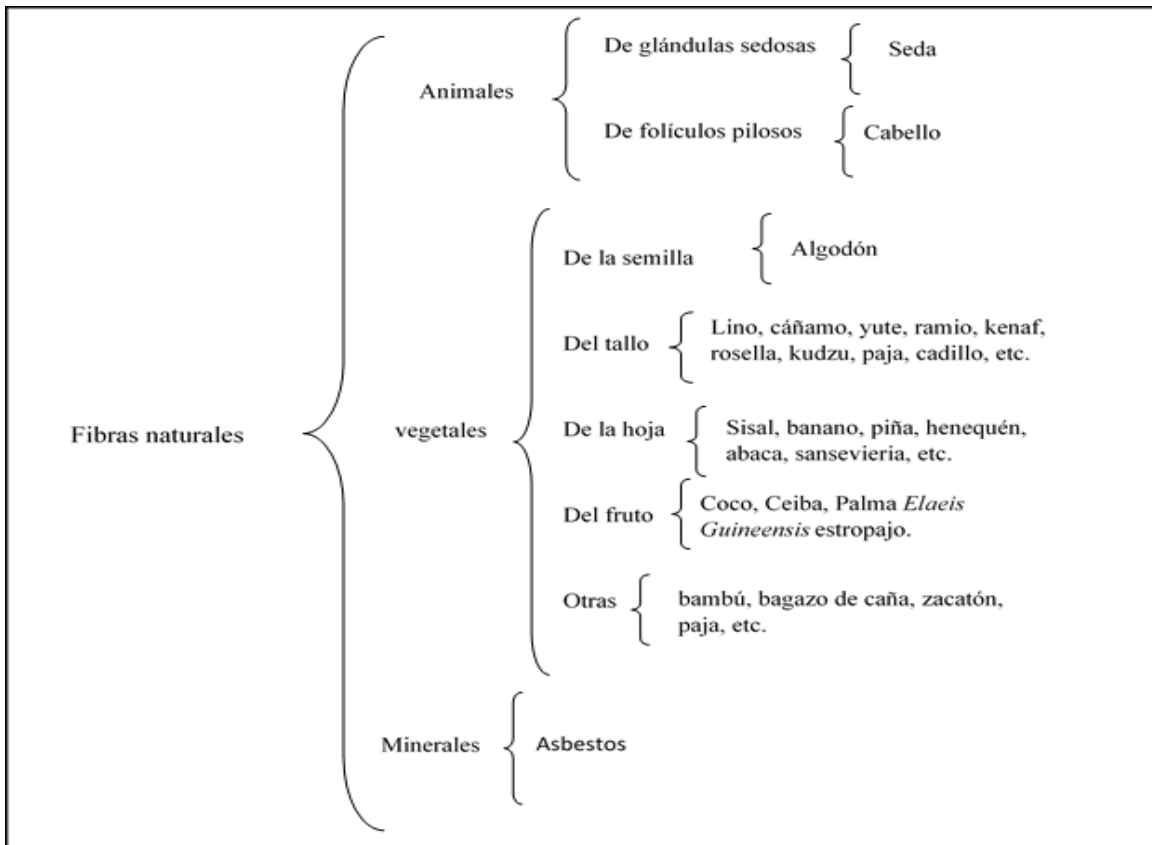


Figura 1. Fibras naturales clasificadas según su origen. Fuente: Velazquez, *et al.*, 2016.

## 2.5 Materiales compuestos

Un material compuesto es un sistema de materiales compuesto por dos o más fases distintas físicamente cuya combinación produce propiedades agregadas diferentes de las de sus componentes. Un material compuesto consiste en dos fases: una primaria y otra secundaria. La fase primaria forma la matriz en la que se encuentra incrustada la fase secundaria. En ocasiones a la fase incrustada se le denomina como agente reforzador (o algún término similar), porque por lo general sirve para reforzar al compuesto.

La fase reforzadora está en forma de fibras, partículas o algunas otras, como se verá. Generalmente, las fases son insolubles una en la otra, pero puede haber gran adhesividad en la interfaz. La fase de la matriz es cualquiera de los tres tipos básicos de materiales: polímeros, metales o cerámicos. La fase secundaria también es uno de los tres materiales básicos, o un elemento como el carbono o el boro. Las combinaciones posibles en un material compuesto por dos constituyentes pueden

organizarse en arreglo de  $3 \times 4$ . Se observa que ciertas combinaciones no son factibles, como la de un polímero en una matriz cerámica. También se ve que las posibilidades incluyen dos estructuras de fase que consisten en componentes del mismo tipo de material, como fibras de Kevlar (polímero) en una matriz de plástico (polímero). En otros compuestos, el material incrustado es un elemento como el carbono o el boro. A continuación, se enlista la clasificación de los materiales compuestos:

1. Compuestos de matriz metálica (MMC) incluyen mezclas cerámicas y metales, tales como los carburos cementados y otros cermets, así como aluminio o magnesio reforzado por fibras fuertes de alta rigidez.
2. Compuestos de matriz cerámica (CMC) son los de la categoría menos común. El óxido de aluminio y el carburo de silicio son los materiales que es posible incrustar con fibras para mejorar sus propiedades, en especial en aplicaciones de temperatura elevada.
3. Compuestos de matriz de polímero (PMC). Las resinas termofijas son los polímeros de mayor uso como PMC. Es común mezclar epóxicos y poliéster con fibras de refuerzo, y se mezcla fenol con polvos. Con frecuencia, los compuestos de termoplástico moldeado son reforzados con polvos.

Los materiales compuestos reforzados con fibras naturales han mostrado mejores propiedades que la matriz de polímero puro en muchos casos. El 75.8% de la resistencia a la tracción del PLA se mejoró mediante la introducción de fibras de yute. Las propiedades de los compuestos de PP se mejoraron mediante la incorporación de fibras de kenaf, algodón y cáñamo (Singh, 2020).

### **2. 5.1 Compuesto de matriz de polímero**

Un material compósito es una combinación de dos o más fases químicamente distintas e insolubles con una interfaz reconocible, de manera que sus propiedades y su desempeño estructural son superiores a las de sus componentes cuando actúan de modo independiente. A estas combinaciones se les llama compósitos de matriz metálica y de matriz cerámica. Los plásticos reforzados, también conocidos como compósitos de matriz polimérica (PMC, por sus siglas en inglés) y plásticos reforzados con fibra (FRP), están constituidos por fibras (fase discontinua o dispersa) en una matriz polimérica (Kalpakjian, *et al.* 2008).

En las últimas décadas las fibras naturales han sido consideradas como alternativa de refuerzo en compuestos poliméricos. Estas presentan buenas propiedades mecánicas, son biodegradables, reciclables, de bajo costo y baja densidad. Sus principales desventajas en la elaboración y desempeño de compuestos poliméricos son: absorción de agua, formación de agregados, inestabilidad térmica, incompatibilidad fibra (hidrofílica)–polímero (hidrofóbica) (Delgado, *et al.*, 2014).

Un compuesto o compuesto de matriz de polímero consiste en una fase primaria de polímero en la que está incrustada una fase secundaria en forma de fibras, partículas u hojuelas. En el comercio, los PMC son los más importantes de las tres clases de compuestos sintéticos. Incluyen la mayoría de compuestos de plástico moldeado, caucho reforzado con negro de humo y polímeros reforzados con fibras. De los tres, los FRP son los que se identifican más de cerca con el término compuesto. Las fibras de los CMP adoptan formas diversas: discontinua (en trozos), continua o tejido como tela. Los materiales principales de la fibra en los FRP son el vidrio, el carbono y el Kevlar 49.

Las fibras menos comunes incluyen el boro, SiC y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y el acero. El vidrio (en particular el vidrio E) es el material de fibra más común en los FRP de hoy; su uso como reforzador de plásticos data de 1920, aproximadamente. El término compuestos avanzados se emplea en ocasiones en relación con los FRP desarrollados a partir del final de la década de 1960 y que emplean boro, carbono o Kevlar como fibras reforzadoras. La matriz de polímero más común es epóxica (George *et al.*, 2016).

Las propiedades mecánicas de los polímeros son inadecuadas para muchos propósitos estructurales, en particular su resistencia y rigidez, que son inferiores a las de las cerámicas y los metales. Sin embargo, esta dificultad se supera comúnmente reforzándolos con componentes más fuertes y rígidos, como fibras sintéticas y naturales. El refuerzo conduce a propiedades mecánicas mejoradas y amplía las aplicaciones estructurales de los polímeros (Fadele *et al.*, 2018).

### **2.5.2 Propiedades de los compuestos poliméricos.**

Hay cierto número de características atractivas que distinguen a los plásticos reforzados con fibra entre los materiales de la ingeniería. Las más notables son:

- 1) relación elevada resistencia a peso.
- 2) razón grande módulo a peso
- 3) gravedad específica baja.

Un FRP común pesa sólo la quinta parte que el acero, pero su resistencia y módulo son similares en la dirección de la fibra. Otras propiedades y características de los plásticos de fibra reforzada incluyen:

- 4) buena resistencia a la fatiga
- 5) buena resistencia a la corrosión, aunque los polímeros son solubles en diferentes productos químicos
- 6) expansión térmica baja de muchos FRP, lo que lleva a una estabilidad dimensional apropiada.
- 7) anisotropía significativa de sus propiedades.

Durante las últimas tres décadas ha habido un crecimiento sostenido en la aplicación de polímeros reforzados con fibra en productos que requieren mucha resistencia y poco peso, con frecuencia como sustitutos de metales. La industria aeroespacial es uno de los usuarios más grandes de los materiales compuestos. Los diseñadores luchan de manera continua para reducir el peso de las aeronaves a fin de incrementar la eficiencia del combustible y la capacidad de carga. Las aplicaciones de materiales compuestos en la aviación tanto militar como comercial han crecido en forma sostenida. Gran parte del peso. La industria automotriz es otro usuario importante de FRP.

Las aplicaciones más obvias de los FRP son en paneles de la carrocería de autos y camiones. Un ejemplo notable es el Chevrolet Corvette, que durante décadas ha sido producido con carrocería de FRP. En ciertos chasis y partes de motores hay aplicaciones menos evidentes.

## **2.6 Propiedades de las matrices**

La matriz de un material compuesto soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta; transfiere la carga a las fibras fuertes, las protege de sufrir daños durante su manufactura y su uso y evitan la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto.

Las matrices poliméricas son las más comunes. La mayoría de los polímeros, tanto termoplásticos como termoestables, están disponibles en grados correspondientes a reforzamiento con fibras de vidrio cortas.

## **2.7 Biopolímeros**

Los polímeros biodegradables se dividen en polímeros de base biológica o de base petroquímica según su origen. Los polímeros de base biológica se denominan biopolímeros o “polímeros verdes” porque se derivan de fuentes renovables como animales, plantas, algas y bacterias. (Antunes, *et al.*, 2020).

## **2.8 Propiedades mecánicas**

### **2.8.1 Tensión uniaxial**

El ensayo de tensión es el más común para determinar propiedades mecánicas de los materiales, como resistencia, ductilidad, tenacidad, módulos elásticos y capacidad de endurecimiento por deformación. Primero, requiere la preparación de un espécimen de prueba. En Estados Unidos el espécimen se prepara de acuerdo con las especificaciones de la ASTM. En caso contrario, se le dispone según los criterios de la organización correspondiente en otros países. Aunque la mayoría de los especímenes de ensayo de tensión son sólidos y redondos, también pueden ser planos o tubulares. Típicamente, el espécimen tiene una longitud original calibrada ( $l_0$ ) en general de 50 mm (2 pulgadas), y una sección transversal ( $A_0$ ) por lo común con un diámetro de 12.5 mm (0.5 pulgadas). El espécimen se monta entre las mordazas de una máquina de ensayo de tensión. Estas máquinas están equipadas con diversos accesorios y controles para probar el espécimen a diferentes temperaturas y velocidades de deformación.

#### **2.8.1.1 Curva esfuerzo-deformación**

En la Figura 2 se muestra una secuencia típica de deformación del espécimen de ensayo de tensión. Cuando se aplica la carga por primera vez, el espécimen se alarga en proporción a ella; a este comportamiento se le llama elástico lineal. Si se retira la carga, el espécimen recupera su longitud y forma originales de manera elástica, como una banda de hule cuando se estira y se suelta.

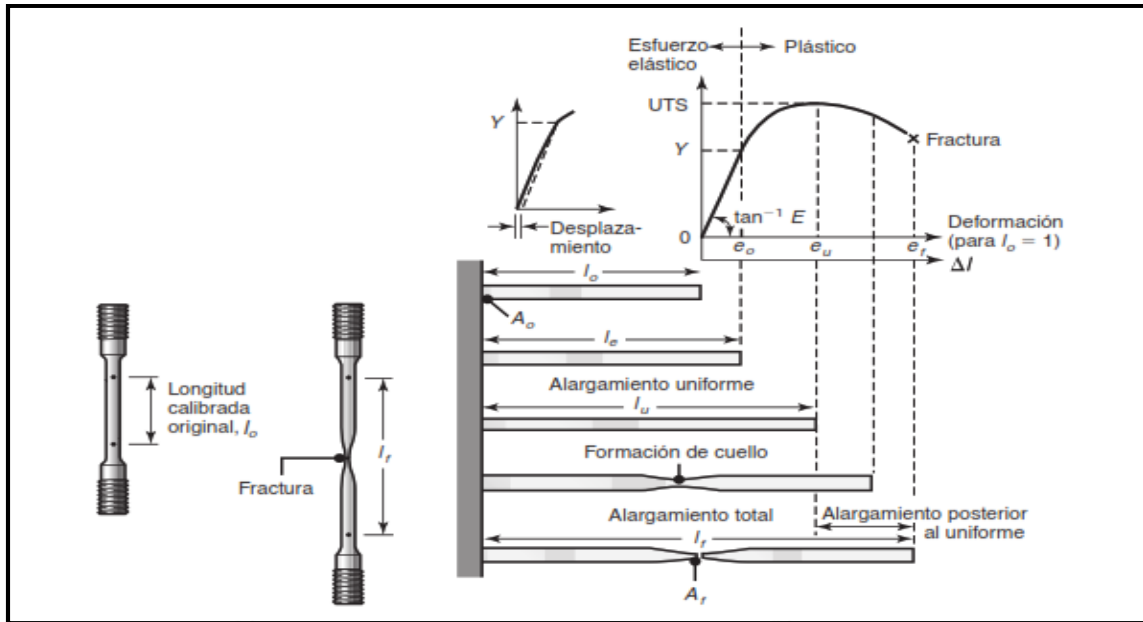


Figura 2. Espécimen estándar de tensión antes y después de la tracción. Fuente: Kalpakjian y Schmid, 2008

El esfuerzo ingenieril (esfuerzo nominal) se define como la relación de la carga aplicada (P) al área transversal original ( $A_0$ ) del espécimen:

$$\text{Esfuerzo ingenieril, } \sigma = \frac{P}{A_0}$$

La deformación ingenieril se define como:

$$\text{Deformación ingenieril, } e = \left( \frac{l - l_0}{l_0} \right)$$

donde  $l$  es la longitud instantánea del espécimen.

Al aumentar la carga, el espécimen (en cierto nivel de esfuerzo) empieza a sufrir una deformación permanente (plástica). Más allá de ese nivel, el esfuerzo y la deformación ya no son proporcionales, como lo eran en la región elástica. El esfuerzo con que ocurre este fenómeno se conoce como esfuerzo de fluencia (o esfuerzo de cedencia) ( $Y$ ) del material. Conforme el espécimen comienza a alargarse bajo una carga continuamente creciente, el área de su sección transversal disminuye permanente y uniformemente a toda su longitud calibrada. Si se retira la carga del espécimen en un nivel de esfuerzo superior al esfuerzo de fluencia, la curva sigue una línea recta hacia abajo y

paralela a la pendiente original de la curva figura 2. Al aumentar aún más la carga, el esfuerzo ingenieril finalmente alcanza un máximo y después comienza a decrecer (figura 3). Al esfuerzo ingenieril máximo se le llama resistencia a la tensión, o resistencia máxima de tensión (UTS) del material.

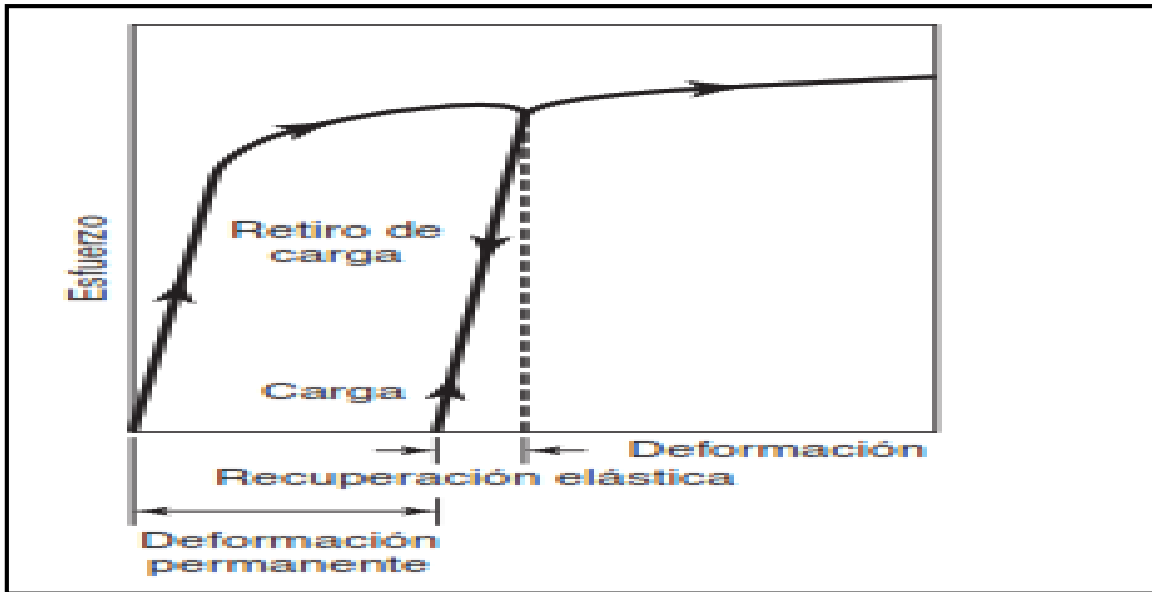


Figura 3. Esquema de la carga y descarga de un espécimen de ensayo de tensión. Fuente: Kalpakjian y Schmid, 2008

Si se agrega carga al espécimen más allá de su resistencia máxima de tensión, comienza a estrecharse, es decir, la formación de cuello. El área de la sección transversal del espécimen ya no es uniforme a lo largo de la longitud calibrada y es menor en la región del cuello. Al avanzar la prueba, el esfuerzo ingenieril se reduce más y el espécimen finalmente se fractura en la región del cuello (figura 4). Al esfuerzo de ingeniería en el punto de fractura se le conoce como esfuerzo de ruptura o de fractura.

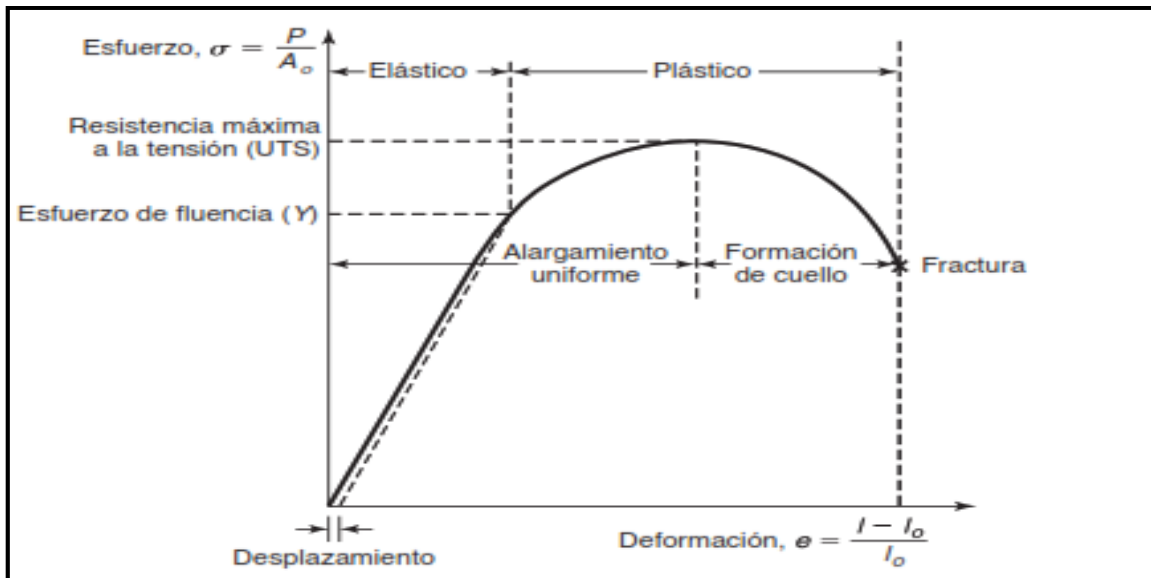


Figura 4. Curva esfuerzo-deformación obtenida de un ensayo de tensión. Fuente: Kalpakjian y Schmid, 2008

## 2.9 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La Espectroscopia Infrarroja (IR) tiene su aplicación más inmediata en el análisis cualitativo y cuantitativo de los grupos funcionales presentes en el material. Las áreas de aplicación pueden ser: la determinación del progreso en la hidratación, las reacciones con distintos aditivos, la cristalinidad de los productos de hidratación y la identificación de las distintas fases. El estudio de las fases hidratadas está limitado a una estimación cualitativa.

El desarrollo de cualquier material requiere su caracterización completa para encontrar posibles aplicaciones. Esta técnica parece ser uno de los métodos más interesantes utilizados por muchos investigadores para evaluar con precisión la composición de los materiales lignocelulósicos en términos de estructura de madera, celulosa y lignina (Hernández *et al.*, 2018).

### 2.9.1 Principios básicos de funcionamiento del IR

La espectroscopia IR es el método por el cual se estudia la absorción o emisión de energía radiante originada por la interacción entre la radiación electromagnética y el material en estudio. La IR se basa en que las moléculas tienen la posibilidad de rotar y vibrar a distintas frecuencias (modos normales vibracionales). O sea que, una molécula puede absorber la energía de fotones en el rango energético de IR en el caso en que exista una diferencia en el momento bipolar de la molécula mientras ocurre un movimiento vibracional rotacional y cuando la frecuencia asociada con la

radiación resuena con el movimiento vibracional. En la tabla 3 se muestran las longitudes de onda para los distintos rangos en el infrarrojo. Los componentes de los enlaces químicos tienen movimientos vibracionales con frecuencias naturales dentro del rango de frecuencias del infrarrojo (Piqué y Vázquez, 2012).

Tabla 3. Longitud de onda para distintos rangos en el infrarrojo

<b>Infrarrojo</b>	<b>cm<sup>-1</sup></b>
Lejano	10 a 650
Medio(IR)	650 a 4000
Próximo	4000 a 12500

Fuente: Piqué y Vazquez, 2012

Existen modos vibracionales que inducen oscilaciones que pueden entrar en resonancia con un haz de IR. Esto produce un intercambio de energía entre el haz y las moléculas constituyentes. Existe un comportamiento característico para un enlace con un tipo atómico, un entorno químico y una concentración de enlaces determinadas. Se puede decir entonces, que en un espectro infrarrojo se pueden manifestar bandas asociadas a prácticamente todos los compuestos moleculares. Cada una de estas bandas correspondería a un movimiento de vibración de uno de los enlaces dentro de la molécula. Se sostiene entonces que el conjunto constituye la huella dactilar del compuesto.

Cada compuesto tendrá entonces un comportamiento particular frente a un haz de infrarrojos, en esto se basa la eficacia de la IR. Cuando se hace un análisis IR se mide la intensidad del haz antes ( $I_0$ ) y después ( $I$ ) de que interaccione con la muestra. El resultado se expresa en función de la frecuencia de la luz incidente. Para estudiar las frecuencias se utiliza el modelo del Oscilador Armónico Simple (OAS) basado en la Ley de Hooke. La molécula será considerada como las dos masas ( $m_1$  y  $m_2$ ) que están unidas por un resorte de constante  $K$ .

Si hay resonancia entre la frecuencia de la vibración, la luz es absorbida y se produce un desplazamiento que genera una energía potencial ( $E$ ).

$$E = 1/2Ky^2$$

siendo  $K$  la constante de la fuerza del enlace e  $y$  el desplazamiento.

## 2.10 Fundamentos de la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La **calorimetría de barrido diferencial** (por sus siglas en inglés *Differential Scanning Calorimetry*) es una técnica termo analítica en la que la diferencia de calor entre una muestra y una referencia es medida como una función de la temperatura. La muestra y la referencia son mantenidas aproximadamente a la misma temperatura a través de un experimento. Lo que observamos como resultado de un análisis de DSC es una curva de flujo calorífico versus Temperatura o versus tiempo, se observan además los efectos térmicos como reacciones exotérmicas, ya sea como picos positivos o negativos, con ello se calculan las entalpías de transiciones. Este cálculo se realiza integrando el pico correspondiente a una transición dada. Así, la entalpía de la transición puede ser expresada por la siguiente ecuación:

$$\Delta H = KA$$

donde  $\Delta H$  es la entalpía de la transición,  $K$  es la constante calorimétrica y  $A$  es el área bajo la curva. La constante calorimétrica variará de instrumento a instrumento, y puede ser determinada analizando una muestra bien caracterizada con entalpías de transición conocidas.

## 2.11 Metodología Triz

La Teoría de Resolución de Problemas (TRIZ) fue elaborada por el científico soviético Genrix Altshuller, su primera obra sobre este tema fue publicada en 1956, destinada para la solución de problemas creativos y la formación del pensamiento inventivo. El pensamiento inventivo es el pensamiento sistemático que aclara y resuelve las contradicciones yacentes en el fondo de un problema complicado o problema inventivo (Petrov, 2015).

Actualmente, el método TRIZ ha evolucionado, y no sólo es efectivo en problemas técnicos, sino que da posibilidad de ser usado para problemas de carácter multidisciplinario, lo cual ha dado origen a la teoría del pensamiento poderoso OTSM-TRIZ esta evolución hace que TRIZ sea integrable a nuevas áreas del conocimiento.

La piedra angular de TRIZ Clásico radica en la formulación de contradicciones; una contradicción es un enfrentamiento entre dos aspectos conflictivos en un mismo sistema, el que debe vencerse para lograr un mejoramiento sustancial en el mismo. La formulación de contradicciones es el inicio

del proceso resolutivo, el cual permite focalizar los esfuerzos para la obtención de soluciones y búsqueda de oportunidades.

La aplicación de la metodología TRIZ comienza con presentar el problema particular encontrado como un problema análogo, transformando tal problema específico en un lenguaje analógico basado en parámetros simples de entender, cuya función es mostrar otros problemas análogos que han sido resueltos en otras instancias. Posteriormente, con los principios de inventiva se genera una solución análoga. Finalmente, se encuentra una solución específica que soluciona el problema específico inicial (Nikulín & Becker, 2013).

Los postulados TRIZ se basan en el hecho de que la evolución tecnológica tiene un proceso sistemático bien estructurado, la evolución de los sistemas se correlaciona con la evolución de las necesidades de los clientes y las tendencias sociales, y esto es bidireccional. Triz opera con solo 40 principios inventivos, ya que estos se repiten continuamente según los datos estadísticos del estudio, y además enseña que la evolución de los objetos y procesos siguen determinadas pautas cíclicas.

Del mismo modo, Triz opera con las contradicciones y si no se supera la contradicción básica el problema persiste. Esta herramienta también opera con la idealidad, es decir moverse hacia atrás del problema y si es posible llegar al RFI: resultado final ideal, sin hacer costosas reprocesamientos. Juntando la idealidad y contradicciones se tiene una poderosa herramienta de resolución de problemas, porque establecen concretamente el problema, al detectar las raíces del problema y finalmente descubren la idealidad. A continuación, se muestra la lista de los 40 principios. Los nombres se encuentran alternados de una variedad de traducciones de la investigación original rusa (Tabla 4).

Tabla 4. Los 40 principios de TRIZ

1. Segmentación	21. Aumentar la velocidad
2. Extracción	22. Convertir el perjuicio en beneficio
3. Calidad Local	23. Retroalimentación
4. Asimetría	24. Mediador
5. Combinación	25. Autoservicio

6. Universalidad	26. Utilizar copias
7. Anidación	27. Objetos desechables
8. Contrapeso	28. Reemplazar sistemas mecánicos
9. Reacción previa	29. Neumática e hidráulica
10. Acción previa	30. Membranas flexibles y películas
11. Amortiguamiento anticipado	31. Uso materiales porosos
12. Equipotencialidad	32. Cambios de color
13. Inversión	33. Homogeneidad
14. Esferoidalidad	34. Rechazar y reponer
15. Dinamicidad	35. Cambio de parámetros
16. Acción parcial ó sobrepasada	36. Transiciones de fase
17. Cambio dimensional	37. Expansión térmica
18. Vibración mecánica	38. Oxidantes fuertes
19. Acción periódica	39. Atmosfera inerte
20. Continuidad de una acción útil	40. Materiales compuestos

Fuente: Yan, Zhu y Ahmad, 2016

Tabla 5. Los 39 parámetros de TRIZ.

1. Peso de un objeto en movimiento	21. Potencia
2. Peso de un objeto sin movimiento	22. Desperdicio de energía
3. Longitud de un objeto en movimiento	23. Desperdicio de substancia
4. Longitud de un objeto sin movimiento	24. Pérdida de información
5. Área de un objeto en movimiento	25. Desperdicio de tiempo
6. Área de un objeto sin movimiento	26. Cantidad de substancia
7. Volumen de un objeto en movimiento	27. Confiabilidad
8. Volumen de un objeto sin movimiento	28. Precisión de mediciones
9. Velocidad	29. Precisión de manufactura
10. Fuerza	30. Factores perjudiciales actuando en un objeto
11. Tensión, presión	31. Efectos secundarios dañinos
12. Forma	32. Manufacturabilidad
13. Estabilidad de un objeto	33. Conveniencia de uso
14. Resistencia	34. Reparabilidad

15. Durabilidad de un objeto en movimiento	35. Adaptabilidad
16. Durabilidad de un objeto sin movimiento	36. Complejidad de un mecanismo
17. Temperatura	37. Complejidad de control
18. Brillo	38. Nivel de automatización
19. Energía gastada por un objeto en movimiento	39. Productividad
20. Energía gastada por un objeto sin movimiento	

Fuente: Yan, Zhu y Ahmad, 2016

La filosofía de TRIZ se basa en cinco elementos clave: idealidad, funcionalidad, recursos, contradicción y evolución, que en conjunto hacen que TRIZ sea diferente de otras estrategias de resolución de problemas. Los expertos en TRIZ reconocen que muchas soluciones innovadoras implican resolver contradicciones y aumentar la idealidad con recursos útiles (Chou, 2014).

### 2.11.1 Uso de la matriz Altshuller.

La utilización de la matriz está constituida por todos los parámetros de contradicción (39 líneas x 39 columnas). Los efectos positivos o deseados conforman el eje vertical, los efectos negativos o dañinos que se presentan cuando los efectos positivos se aplican y se colocan en el eje horizontal. Se selecciona enseguida los parámetros implicados (efectos negativos y positivos) para hallar los principios de innovación propuesta por TRIZ. En seguida estos principios deben ser adaptados para resolver el problema.

Las filas de la matriz indican las 39 características del sistema que deben mejorarse. Las columnas indican los resultados no deseables. Cada celda de la matriz de contradicciones muestra claramente los principios que se utilizan con frecuencia en las patentes para hacer frente a la contradicción (Yan, *et al.*, 2016).

### 2.11.2 Nueve ventanas TRIZ

Dentro del proceso TRIZ se plantea aplicar la técnica de las nueve ventanas que consisten en hacer una descripción y análisis del entorno exterior e interior en que se moviliza y movilizará el sistema dentro de una estructura jerárquica y bajo un margen de tiempo. Al entorno exterior se le denomina súper-sistema y al entorno interior sub- sistema. Por tanto, esta técnica que plantea TRIZ busca analizar el problema de forma desarticulada, para que de este modo se pueda evidenciar aspectos

asociados al problema que no son tan visibles en un análisis funcional. De esta manera la técnica de las nueve ventanas ayuda a focalizar los puntos críticos del problema para encontrar una posterior solución. Ver Figura 5.

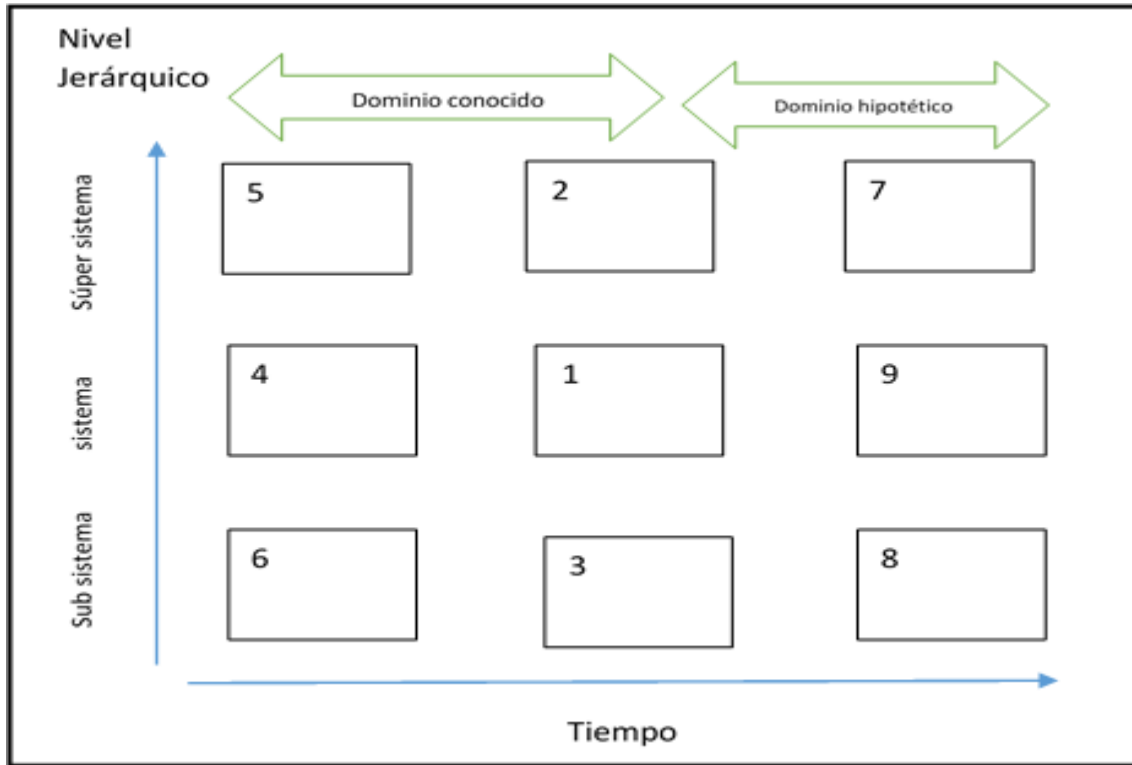


Figura 5. Las Nueve ventanas de Triz, Fuente: Elaboracion propia.

## **CAPÍTULO III.**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Objeto de estudio**

En este capítulo se hace referencia al tipo de investigación que se ha realizado, el caso de estudio expuesto y la descripción de la metodología Triz utilizada en el desarrollo de un compósito. El estudio presentado está dirigido al área ambiental, debido a la creciente conciencia ambiental, las nuevas legislaciones que son cada vez más estrictas y los altos costos del petróleo y sus derivados. La investigación tiene como objetivo principal desarrollar un compósito reforzado con fibra de cáscara de naranja valencia (*Citrus Sinensis*) combinado con poliéster insaturado, con la finalidad de crear un compuesto polimérico menos contaminante para el medio ambiente y que a su vez cumpla con las propiedades mecánicas similares o superiores a las de un poliéster comercial.

#### **3.2 Tipos de investigación**

La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema. Existen dos aproximaciones principales de la investigación: el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo. En este estudio se ocupó el enfoque cuantitativo ya que se determinaron magnitudes de las propiedades mecánicas del compósito, para ello se realizó un estudio del arte sobre los antecedentes del tema. Para realizar la recolección de datos y el desarrollo del compósito, se utilizó un proceso estandarizado en la toma de tiempos. Sin embargo, también es un estudio cualitativo, puesto que al aplicar la metodología TRIZ, se partió de lo particular a lo general (de los datos a las generalizaciones).

#### **3.3 Teoría Triz**

La metodología TRIZ se ha utilizado para resolver problemas inventivos en diversas 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).

TRIZ es una herramienta utilizada para soluciones inventivas y efectivas y fue elegida para ayudar y guiar en el desarrollo del diseño conceptual para la aplicación de FML como el capó delantero del automóvil (Ishak, et al, 2018). La matriz de contradicciones guía la elección de cuál de los cuarenta principios inventivos resuelve la contradicción técnica particular. Los fundamentos de la metodología TRIZ indican:

1. Formular la mejora en términos de Parámetros Ingenieriles (los 39)
2. Detectar el efecto indeseable que la mejora “natural” generaría en otros Parámetros Ingenieriles: Identificar la Contradicción.
3. Ir a la tabla de contradicciones de Altshuller y obtener los posibles Principios Inventivos (los 40) a utilizar.

### **3.3.1 Nueve ventanas de triz**

En una encuesta realizada se indica cuáles de las diversas herramientas y conceptos de TRIZ se aplican con mayor frecuencia, todos los encuestados indicaron que habían aplicado los 40 principios inventivos, que también parece ser una herramienta que se utiliza con mucha frecuencia. Otras herramientas que caen dentro de este grupo de herramientas que se utilizan con frecuencia son idealidad/IFR, matriz de contradicciones, patrones de evolución técnica, análisis de funciones y análisis de campos. Los que parecen tener una aplicación moderada son 2500 efectos, las soluciones estándar y nueve ventanas. Una proporción considerable de la muestra de la encuesta nunca había usado ARIZ y personas pequeñas inteligentes antes (Ilevbare, *et al.*, 2013). Ver Figura 6.

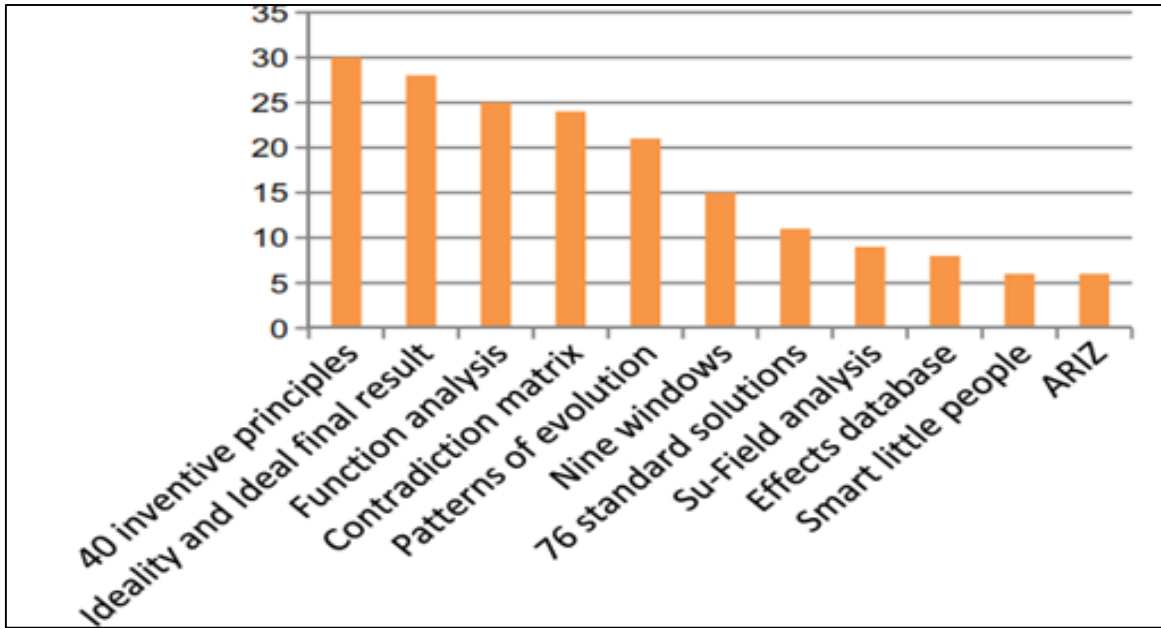


Figura 6. Grado de uso de algunas herramientas TRIZ , Fuente: Ilevbare, *et al.*, 2013

### 3.3.2 Matriz de contradicciones

La técnica de las nueve ventanas permite el análisis sistémico del problema que, a su vez, es un insumo para el uso de la técnica de la matriz de contradicciones. Una contradicción se define en TRIZ como una situación en la cual un determinado parámetro, que describe una cualidad de un sistema, se ve afectado negativamente cuando se busca mejorar otro y a la vez el comportamiento de un sistema.

Hay tres tipos de contradicciones, contradicciones administrativas, físicas y técnicas. Las contradicciones administrativas (situaciones iniciales) ocurren cuando las industrias necesitan obtener algunos resultados deseados o evitar algunos no deseados, pero no saben cómo hacerlo. 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).

### 3.4 Obtención de la fibra de cáscara de naranja

#### 3.4.1 Recolección de la fibra de cáscara de naranja

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. Se limpió la cáscara fresca de naranja, se le retiró el bagazo y semillas, después se deshidrató.

Una vez realizada la limpieza se realizó el secado de la cáscara de naranja exponiéndola al sol a temperatura ambiente promedio de 30° C, durante 1 día, después se sometió a proceso de deshidratación en la balanza de barra triple “ROHAUS-B2610P” del Centro de Investigación de Alimentos del Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, durante 19 horas con lo cual se obtuvo un peso de 2 950 kg.

En seguida se realizó la eliminación completa de humedad con el Horno Thermal Control status-Genlab limited. La cáscara de naranja se cortó en tamaños de 5cm x 3cm aproximadamente y se ingresó a la estufa horno en tiempo promedio dos horas a una temperatura de 75° C. hasta alcanzar peso constante. Ver figura 7 y 8.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Cáscara fresca de naranja.

Figura 8. Horno Thermal Control Status

### 3.4.2 Proceso de triturado

El proceso de triturado se realizó en el equipo “Homogenizer 2094” primero se realizó una reducción del tamaño de la cáscara mediante el triturado de la cáscara deshidratada que tenía un tamaño aproximado de 5cm x 3cm, hasta alcanzar un tamaño de .5cm x .5cm aproximadamente, ver figura 9. Después se procedió a moler la cáscara triturada con un molino de cuchillas “FOSS” CYCLOTTEC 1093 SAMPLE MILL, ver figura 10.



Figura 9. Molino de cuchillas,



Figura 10. Fibra de cáscara de naranja,

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3 Diseño del molde

En la Figura 11 se observa el diseño de los moldes se tomó en cuenta lo especificado de 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 y por cuestiones de los equipos a utilizar se modificaron las dimensiones de la probeta siempre y cuando cumpliendo con la norma como lo muestra el plano de diseño de probeta y el plano molde de tres cavidades.

Primero se diseñaron los moldes para elaboración de las probetas tomando en cuenta las normas ASTM-A370 y la Norma PDVSA para Ensayo de Tracción para Materiales Metálicos.

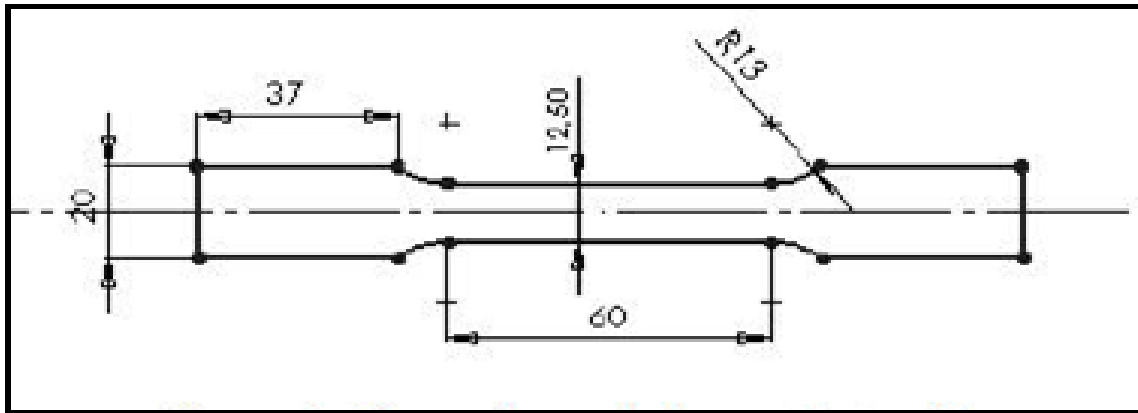


Figura 11. Diseño de la probeta, Fuente: Elaboracion propia

Para realizar los moldes se utilizaron los siguientes materiales: caucho de silicón P-53, Catalizador TP, plantilla de cartulina para vaciar el Silicón, espátulas planas y plásticas para mezclar y recipiente de plástico. Se realizaron las plantillas de cartulina 1 cm. más largas y anchas de las medidas de la probeta y de 1.5 cm. de altura una vez realizadas las plantillas se pegó la probeta madre. Se utilizaron 200g de silicón y 64 gotas de catalizador y se mezclaron para integrar el catalizador al silicón, se esperó un promedio de 5 minutos para que el catalizador empiece hacer reacción, en este periodo se debe vaciar la mezcla a la plantilla para generar el molde y esperar un tiempo de curado de 24 horas.

### 3.4.4 Diseño de la probeta

La resina poliéster que se utilizó en esta investigación es poliéster pre-acelerada ortoftálica e isoftálica. La RPO es de uso general en ambientes no agresivos. La RPI tiene buen desempeño mecánico, resistente al agua y agentes químicos.

Para la elaboración compósito se pesaron las cantidades correspondientes de resina y catalizador, se agregaron 10g de resina, 10% de fibra y 8 gotas de catalizador, manteniendo una longitud de fibra constante de 4mm. 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%. Las formulaciones se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Formulaciones para elaboración de probetas

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

Fuente: Elaboracion propia

### 3.5. Métodos de caracterización

#### 3.5.1. Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopía infrarroja es una de las técnicas de espectroscopía molecular, que, junto con la espectrofotometría UV-Vis, permiten obtener información estructural de la materia. En esta técnica, un haz de luz infrarroja incide sobre la materia y provoca vibraciones de los átomos de la molécula. Las vibraciones son específicas a determinadas frecuencias de los enlaces químicos, que corresponden a niveles de energía de la molécula, y van a depender de la forma de la superficie de energía potencial de la molécula, la geometría molecular, las masas atómicas y, posiblemente, el acoplamiento vibracional. Dado que las bandas vibracionales son características para muchos grupos funcionales, se emplea los espectros como conjunto para identificar a las moléculas.

Los compósitos se caracterizaron mediante análisis FTIR, con el fin de estimar cualitativamente la incorporación de los grupos funcionales de las muestras en el equipo Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR, la Reflectancia Total Atenuada (ATR), es una técnica de muestreo que se produce cuando una radiación infrarroja entra en un cristal ATR trasmisor y de alto índice de refracción, con el cual se obtienen espectros en la región del infrarrojo entre  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $400\text{ cm}^{-1}$ . Se coloca una pequeña porción de cada muestra para obtener el espectro en modo de % Transmitancia.

### **3.5.2 Prueba de tensión uniaxial**

El análisis de tensión es la prueba más común para determinar propiedades mecánicas de los materiales, como resistencia, ductilidad, tenacidad, módulos elásticos y capacidad de endurecimiento por deformación. Los compósitos tienen una concentración del 0%, 13% y 25% de fibra. Estos se montaron entre las mordazas de una máquina de ensayo de tensión. Estas máquinas están equipadas con diversos accesorios y controles para probar el espécimen a diferentes temperaturas y velocidades de deformación. 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.

### **3.5.3 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)**

Se utilizó la calorimetría diferencial de barrido (DSC) para determinar las transiciones térmicas de los compuestos, para ello se utilizó un equipo Perkin Elmer DSC8000. El método empleado consiste 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  $10 \pm 2$  mg usando como nitrógeno del gas con 20 ml/min de tarifa.

## **CAPÍTULO IV.**

### **MARCO OPERACIONAL**

#### **4.1 Aplicación de la metodología de resolución de problemas de inventiva (TRIZ).**

El problema que se plantea es el desarrollo de un compósito reforzado con fibra de cáscara de naranja que cumpla con características físico mecánicas similares o superiores a las de un polímero comercial. Para ello se analiza el sistema y se identifican las necesidades del sistema actual. Como bien se ha mencionado anteriormente las necesidades caen en 3 categorías: incrementar las funciones del sistema, incrementar su desempeño y disminuir sus costos. En este caso la necesidad que resuelve este sistema es mejorar su desempeño y disminuir su costo, puesto que al ocupar menos resina comercial y utilizar fibra natural de cáscara de naranja se reduce el costo del compósito, además que lo hace más eficiente porque contiene fibras naturales que son amigables con el medio ambiente. Una de las herramientas que utiliza la metodología Triz son las nueve ventanas.

##### **4.1.1 Nueve ventanas**

La Figura 12 muestra el diagrama de las nueve ventanas. En el eje horizontal se representa el tiempo, la parte central el tiempo actual, el pasado a la izquierda y el futuro a la derecha. El eje vertical representa la jerarquía del problema, el centro es el sistema técnico que desempeña alguna función, el nivel inferior es su composición o soporte del sistema para que lleve a cabo su función (el subsistema) y el nivel superior es el contexto donde se encuentra inmerso el sistema (súper sistema). En este caso el sistema técnico es una Resina poliéster insaturada ortoftálica PP-70X60 y otra Resina poliéster insaturada isoftáltica. PIS-65. En el pasado y presente este tipo de resina se puede encontrar en partes automotrices, de aviones, aunque también se puede encontrar en suelos y ríos como deshechos. Lo que se quiere en un futuro es disminuir el grado de contaminación al aplicar un cierto porcentaje de fibra vegetal al poliéster insaturado, así mismo utilizar un deshecho de las jugueras, lo cual también podría disminuir su costo.

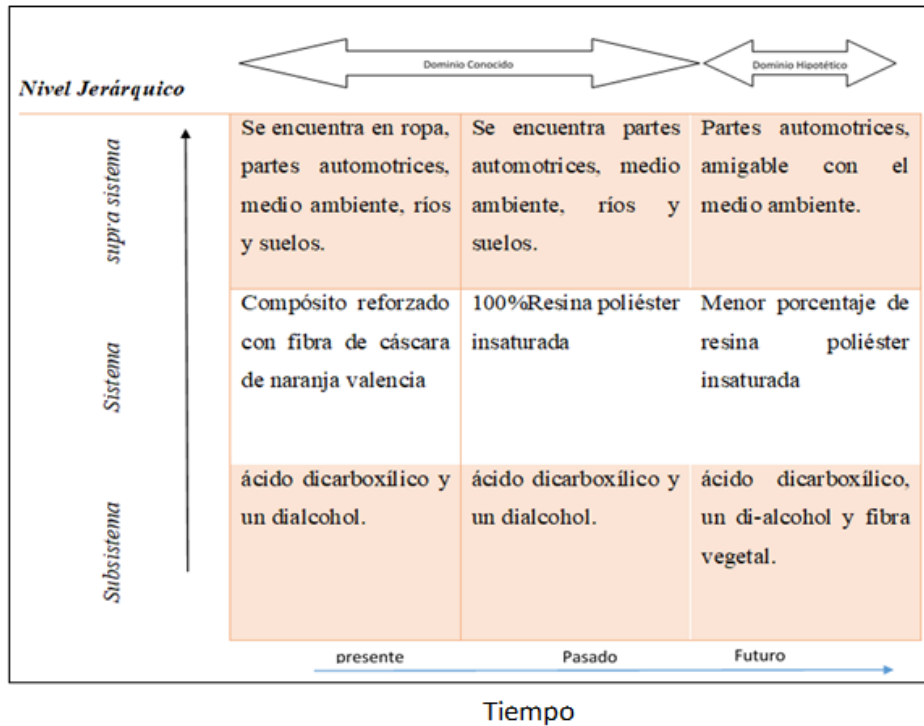


Figura 12. Panorama de la situación del sistema mediante las nueve ventanas de Triz, Elaboración propia

Una vez analizado el sistema con las nueve ventanas de TRIZ, el objetivo del diseño puede ser declarado como:

"Para obtener un compósito reforzado con fibras vegetales, que además sea amigable con el medio ambiente y que a su vez tenga un menor costo."

En este caso de estudio se puede afirmar como:

"Un nuevo compósito reforzado con fibras vegetales" que tenga las mismas propiedades mecánicas y que a su vez sea amigable con el medio ambiente"

#### 4.1.2. Matriz de contradicciones

En la figura 13 se analiza el sistema del compósito con la matriz de contradicciones, en la cual se busca que el compósito cuente con las mismas propiedades como son fuerza y resistencia. Para ello se procede a analizar los parámetros de mejora (A) y parámetros que empeoran(B). En este caso el parámetro a mejorar es la fuerza y los parámetros a empeorar son los siguientes:

- Parámetro 32: Manufacturabilidad
- Parámetro 27: Confiabilidad
- Parámetro 28: Precisión de medición
- Parámetro 33: Conveniencia de uso

	A	B	C	D	E	F	G	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
1		1	2	3	4	5	6	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
2	1							3.11, 1.27	25.25	26.30	16.27	21.09	1.25	2.24	20.11	15.9	26.34	26.32	10.12	24.27
3	2							13.2	10.28, 8.3	29	35.17	22.37	1.33	28.1.9	32	20.11	23	28.39	17.15	35
4	3							15.17.4	10.14, 23.40	8	23.37	24	11.15	1.25	15.25	1.25	1.35	1.35	25.24	26.15
5	4							17.1	10.40	15.23, 20	3	30	1.10	27	2.25	3	1.25	1.25	26	1.25
6	5							23.3	32.3	2.32	20.1	10.33	26.24	13.05	10.1	15.30	14.1.13	26.13	23.23	24.2
7	6							32.35, 40.4	32.3	15.35	23.25	40	40.15	15.4	15	15.15	25	20.13	23	17.7
8	7							14.1.40.17	23	2.15	27.35	40.1	40	20.12	10	15.23	26.1	4	15.24	2.34
9	8							2.35.35	25	15.27	35.4	35	35							
10	9							11.35, 27.28	1.24	32.25	35.23	32.23	0.1	12.12	28.27	25	4.34	22.15	10.15	
11	10							3.35, 13.21	25.30	28.23	1.35	10.3	15.37	1.28		15.17	26.35	26.37	3.20	
12	11							10.12, 19.25	25	3.35	27	27.30	11	2	25	25	27	35.24	35.27	
13	12							10.40.35	7	40	2.35	35.1	17.20	25	2.33.1	23	1.20	30	32	34.30
14	13								10	15	15.30	27.33	35.13	20	10.35	24.2	22.25	33.23	1.8.25	40.3
15	14								15	3.27	31.1	22.2	30.32	25.2	3	32	28	15.40	15	10.14
16	15								11.1	35.40	33.20	35.22	27.1.4	12.27	27	33	23.15	33.35	5.30	14.13
17	16								24.27, 5.40	24		40.33	22	25.30	1	1	2	6.35	1	35.30
18	17								10.35, 3.10	24	24	35.2	2.24	26.27	26.27	15	27	35	35.23	10.35
19	18								32	3.32	15.13	32.23	28.25	19	15.35	15.1.13	13	32.15	10	35
20	19								10.21, 11.27	3.1.32										
21	20								10.26.23											

Figura 13. Matriz de contradicciones, Fuente: propia

### 4.1.3 Principios de inventiva

Después de haber identificado los parámetros A y B, se procede a determinar los principios de inventiva que resultan de la matriz de contradicciones. Se obtuvo una lista de principios de inventiva que son los que guiarán para la solución del parámetro A.

En la Tabla 7 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 7. Principios de inventiva

<b>Parámetro que mejora</b>	<b>Parámetro que empeora</b>	<b>Principios de inventiva</b>
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: Elaboracion propia.

Con este análisis se obtuvieron 4 contradicciones. Como se aprecia en la Tabla 7 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.

#### **4.1.4 Aplicación de los principios de inventiva**

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 7 y Tabla 8

Tabla 8. Principios de solución específicos para la contradicción 1

<b>Principios de la solución Triz</b>	<b>Descripción de la solución</b>	<b>Descripción de la estrategia.</b>
# 1 Segmentación	Incrementar el grado de fragmentación, lo cual representan los distintos	Variar la configuración de del compuesto reforzado con fibra de cáscara de naranja, para

materiales a utilizar en forma segmentada. aumentar la fuerza y resistencia.

Fuente: Elaboracion propia.

Tabla 9. Principios de solución específicos para la contradicción 2

<b>Principios de la solución</b>	<b>Descripción de la solución</b>	<b>Descripción de la estrategia.</b>
<b>Triz</b>		
# 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: Elaboracion propia.

#### 4.2 Proceso para la obtención de la fibra de cáscara de naranja.

En la figura 14 se muestra el proceso de obtención de la fibra de cáscara de naranja, el cual consta de 4 pasos:

1. Lavado: Una vez recabada la cáscara de naranja de las industrias citrícolas, se procede a retirar el bagazo y semillas, hasta quedar completamente libre de los residuos. El peso inicial registrado es de 13kg
2. Troceado: La cáscara de naranja se cortó en tamaños de 5cm x 3cm aproximadamente.
3. Deshidratado: se procedió a Deshidratar la cáscara en una estufa-horno, en un tiempo promedio de 2 horas a una temperatura de 75°C, hasta alcanzar peso constante.
4. Reducción de tamaño: el triturado de la cáscara de naranja se realizó mediante un homogeneizador “Homogenizer 2094”, donde alcanzó un tamaño de 0.5cm x 0.5cm aproximadamente, después se procedió a moler la cáscara triturada en un molino de cuchillos “FOSS” CYCLOTEC 1093 SAMPLE MILL.
5. Tamizado: se utilizó un molino de cizalla hasta obtener un tamaño de partícula de 80 a 120 mallas, preferentemente de 100 mallas de diámetro de partícula.

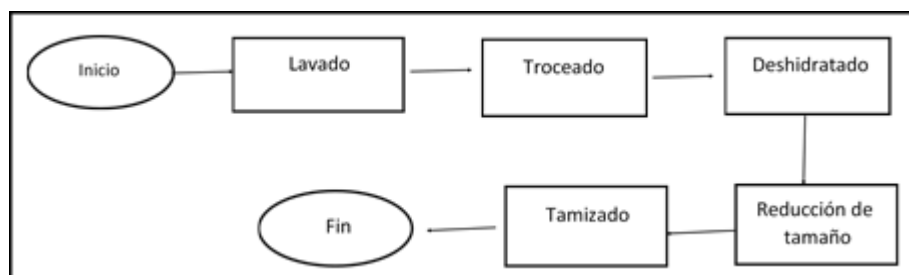


Figura 14. Diagrama de flujo del proceso de obtención de la fibra de cáscara de naranja Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Caracterización fisicoquímica de la fibra de cáscara de naranja.

En la caracterización se determina el % humedad, % cenizas, % lignina, % celulosa, % holocelulosa y solubilidad, lo cual sirve para determinar las características de la cáscara, que son importantes para elaborar el compósito y así tener un antecedente de los posibles resultados.

Tabla 10. Tratamientos fisicoquímicos.

Ensayos	Resultados (%)
Humedad	68.24%
Cenizas	3.96%
Solubilidad (agua fría)	No es soluble
Solubilidad (agua caliente)	No es soluble
Solubilidad (ciclohexano/etanol)	No es soluble
Holocelulosa	0.85%
Celulosa	0.94%
Lignina	1.11%

Fuente: Elaboración propia

### 4.4 Elaboración del compósito.

#### 4.4.1 Compósito con 13% y 25% de fibra y resina Isoftálica

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 15



Figura 15. Probeta compósito con 0%,13% y 25% de fibra de cáscara de naranja.

#### **4.4.2 Compósito con 13% y 25% de fibra y resina Ortoftálica.**

Para la elaboración del compósito de 10% de fibra, se procedió a pesar 10g de resina poliéster insaturada, 1.3g de fibra y 4 gotas de acelerador. En un vaso de precipitado se vaciaron los distintos reactivos y se revolvió manualmente con una palita de madera, 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. Se obtuvieron 16 probetas de resina ortoftálica.

#### **4.4.2 Compósito con 0% de fibra**

Para la elaboración del compósito de 0% de fibra, se realizó el mismo proceso anterior, se agregaron los diferentes reactivos excepto la fibra. Este proceso se realizó con los dos tipos de resina poliéster Isoftálica y ortoftálica. Se efectuó el proceso de curado de la misma forma y se obtuvieron 8 probetas de resina Isoftálica y 8 probetas de resina ortoftálica.

### **4.3 Resultados de los métodos de caracterización.**

#### **4.3.1 Análisis de las Pruebas Ténsiles**

La prueba de tensión es el más común para determinar propiedades mecánicas de los materiales, como resistencia, ductilidad, tenacidad, módulos elásticos y capacidad de endurecimiento por

deformación. Las probetas están configuradas con 0%, 13% y 25% de fibra. Las probetas se montan entre las mordazas de una máquina de ensayo de tensión. Estas máquinas están equipadas con diversos accesorios y controles para probar el espécimen a diferentes temperaturas y velocidades de deformación. 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. La figura 16 muestra la resina poliéster Isoftálica (RPI), reforzada con fibra, la cual relaciona la fuerza aplicada sobre la probeta respecto al desplazamiento sufrido, en ella se observa que la probeta testigo es más elástica que las que se realizaron con los porcentajes de fibras de 13% y 25%. Sin embargo, 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 1 mm.

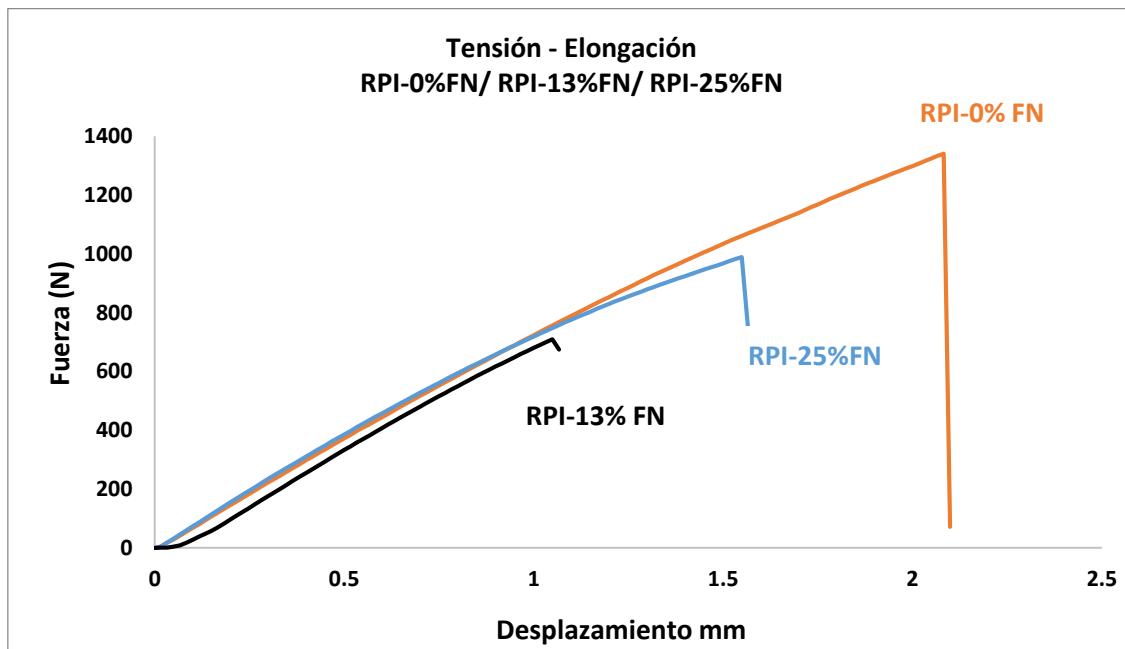


Figura 16. Resina Poliéster Isoftálica (RPI), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPI-0%, RPI-13%, RPI-25%, respectivamente. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la figura 17 muestra la resina poliéster ortoftálica (RPO) y se puede observar que la probeta testigo tiene un desplazamiento de 2.7 mm y 1551 N también es más elástica que las que se realizaron con los porcentajes de fibras de 13% y 25%.

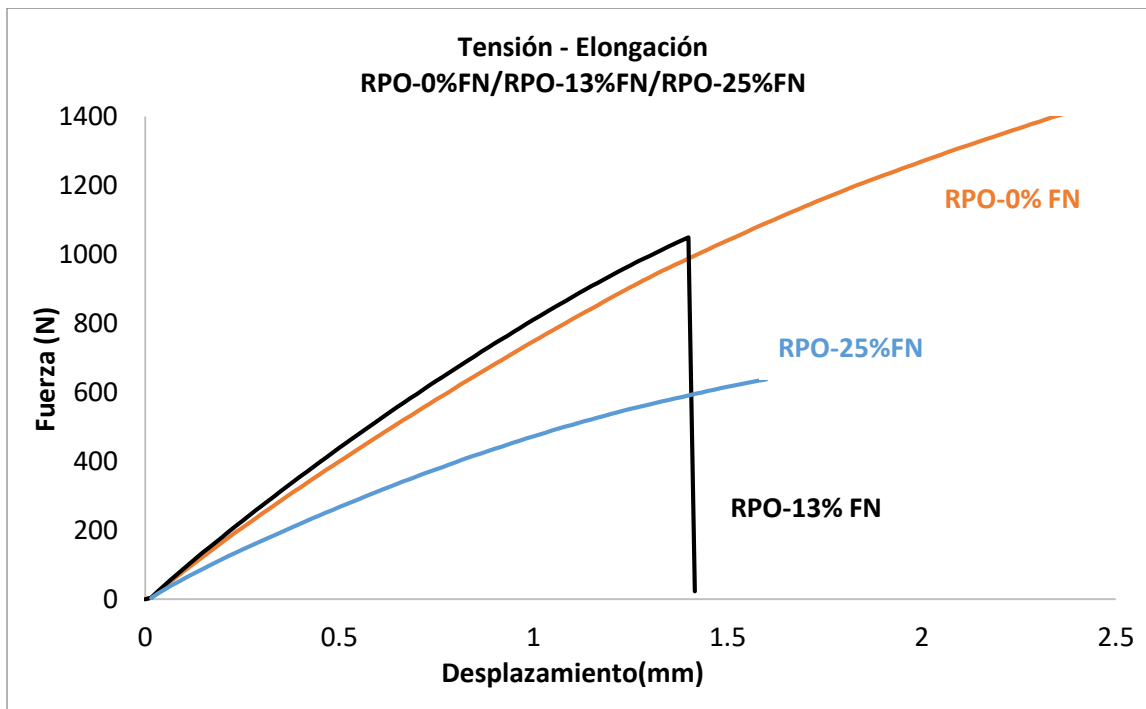


Figura 17. Resina Poliéster Ortoftálica (RPO), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPO-0%, RPO-13%, RPO-25% con 0%, 13% y 25% fibra, respectivamente Fuente: Elaboracion propia

Sin embargo, 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.

#### 4.3.2 Espectroscopía infrarroja (FTIR)

En la Figura 18 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  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $400\text{ cm}^{-1}$  se visualiza una banda de absorción desde  $3800\text{ cm}^{-1}$  hasta  $3000\text{ cm}^{-1}$  asociadas a la glucosa, un pico en  $2900\text{ cm}^{-1}$  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  $1400\text{ cm}^{-1}$  a  $950\text{ cm}^{-1}$  se debe a la presencia de fructuosa y sacarosa. Las bandas entre  $1200\text{ cm}^{-1}$  a  $900\text{ cm}^{-1}$  se asignan a los enlaces C – O y C – C mientras que las

comprendidas entre  $1400\text{ cm}^{-1}$  a  $1200\text{ cm}^{-1}$  son debidas a los enlaces  $\text{O}-\text{C}-\text{H}$ ,  $\text{C}-\text{C}-\text{H}$  y  $\text{C}-\text{O}-\text{H}$ . De forma que para la glucosa se asigna el número de onda de  $1080\text{ cm}^{-1}$  y  $1050\text{ cm}^{-1}$  deformación simétrica de  $\text{CH}_2$  en grupos aromáticos de lignina, hemicelulosa y celulosa;  $\text{C}-\text{C}$  vibraciones de estiramiento de grupos metoxi ( $\text{O}-\text{CH}_3$ ) del fenol de lignina,  $\text{OH}$  flexión de ácidos en hemicelulosa y lignina, las vibraciones en  $965\text{ cm}^{-1}$ ,  $910\text{ cm}^{-1}$  y  $897\text{ cm}^{-1}$  muestran la evidencia de deformaciones de carbono aromático insaturado.

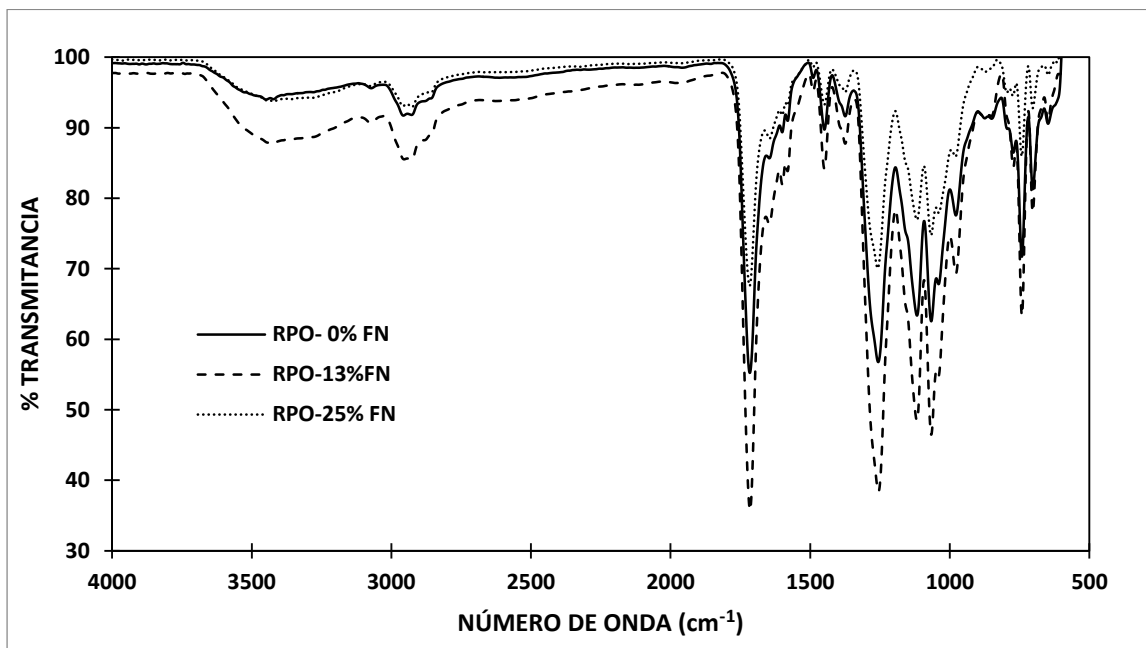


Figura 18. Resina Poliéster Ortoftálica (RPO), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPO-0%, RPO-13%, RPO-25% con 0%, 13% y 25% fibra, respectivamente Fuente: Elaboracion propia

El espectro FTIR-ATR de fibra de cáscara de naranja y poliéster, se muestra en la Figura 19 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  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $400\text{ cm}^{-1}$ . Las vibraciones de estiramiento observadas en números de onda de  $1730\text{ cm}^{-1}$  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  $1240\text{ cm}^{-1}$ , 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  $\text{NaOH}$ , esta señal desaparece, lo que indica que se eliminaron las impurezas

correspondientes a los grupos hidroxilo de la fibra. Hay un ligero aumento en la intensidad de la señal cuando las fibras se tratan con un medio alcalino. Esto sugiere la eliminación exitosa de impurezas como la lignina. Se observó una señal de vibración de estiramiento a  $3350\text{ cm}^{-1}$  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  $2908\text{ cm}^{-1}$ . Esta señal se origina en las vibraciones de estiramiento de los enlaces C-H habilitados por la eliminación de los recubrimientos de grasa natural.

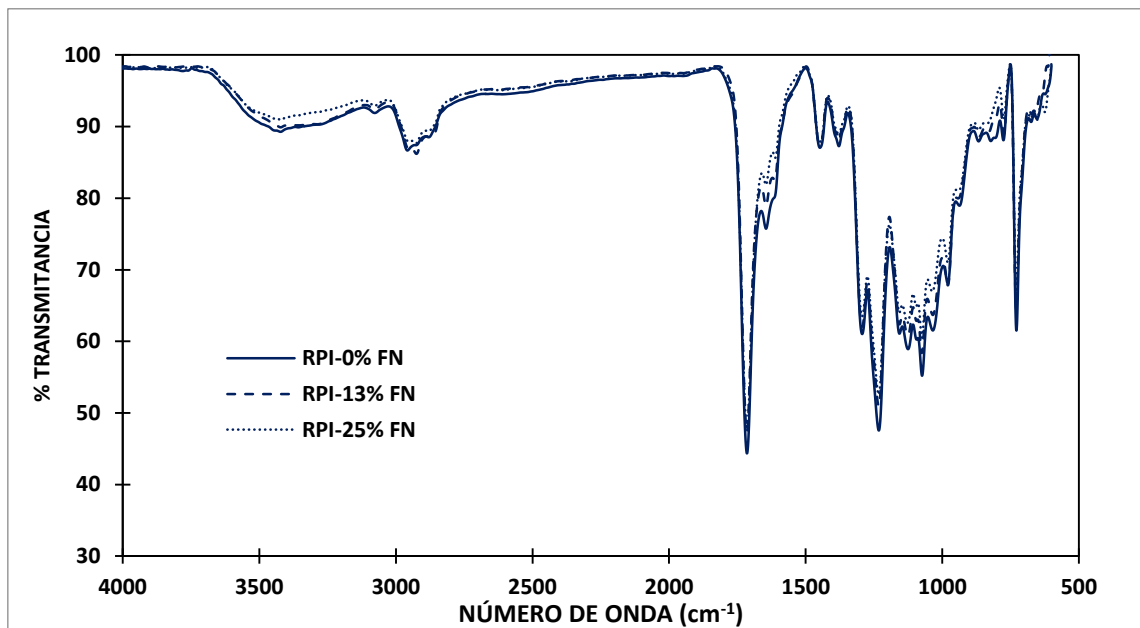


Figura 19. Resina Poliéster Isoftálica (RPI), Fibra de Cáscara de Naranja (FN), RPI-0%, RPI-13%, RPI-25% con 0%, 13% y 25% fibra, respectivamente, Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

En la Tabla 11 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  $-18.5^{\circ}\text{C}$  y la segunda alrededor de  $125^{\circ}\text{C}$ , atribuidas a la temperatura de fusión cristalina de la resina, el principal componente de la RPO y de la RPI. Los compuestos RPI-0%FN, RPI-13%FN, RPI-25%FN muestran la dependencia del contenido de porcentaje de FN en la resina  $30^{\circ}\text{C}$  para un menor contenido de FN en la resina y  $15^{\circ}\text{C}$  para un mayor contenido de FN, lo que es indicativo de que hay un efecto de segmentos duros de Fibra de cáscara de naranja en la estructura compuesta, debido a que la concentración de fibra fue constante.

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  $154^{\circ}\text{C}$ , 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 11.- 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

<b>Material</b>	<b>Transición <math>^{\circ}\text{C}</math></b>	
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

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- La metodología TRIZ sirvió para comprender el problema en una forma desagregada e identificar aspectos asociados al mismo que no son evidentes desde un análisis puramente funcional. Por otro lado, la matriz de contradicciones ayudó a identificar la solución al problema específico que en este caso al analizar los parámetros que se desean mejorar(resistencia) y el que empeora(tensión) dio como resultado el principio de inventiva 40, materiales compuestos, que consiste en reemplazar materiales homogéneos con compuestos, es decir se reemplazó cierto porcentaje de fibra de cáscara de naranja en lugar de 100% de polímero poliéster.
- La validación del prototipo se realizó mediante las pruebas fisicoquímicas a través de los análisis de espectroscopia infrarroja (FTIR) y pruebas mecánicas mediante técnicas de tensión – elongación, con estas pruebas se puede concluir que el reforzamiento con fibra de cáscara de naranja no afecta en sus propiedades ténsiles puesto que se puede observar que la resina ortoftálica tiene mayor elasticidad que la Isoftálica y que agregando un 25% de fibra se obtiene mayor tensión.
- En general, el valor de Tg se modificó de acuerdo con el contenido de 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.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda para futuras investigaciones utilizar un agente de acoplamiento para mejorar el grado de reticulación en la región de la interfaz y aumentar el área de superficie de la fibra, permitiendo una unión más fuerte entre la fibra y la matriz.
- Por otro lado, se recomienda reemplazar el cobalto que es uno de los reactivos utilizados en la elaboración del compuesto, por otro reactivo con características similares que se pueda utilizar en la industria alimentaria.
- También se recomienda la utilización de un equipo de extrusión para obtener un compuesto más homogéneo.
- Por último, se recomienda en un futuro realizar estudios con nanopartículas de fibras vegetales con lo cual se puede obtener mejores resultados en las pruebas físico-mecánicas.

## CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdala, L. N., Fernandes, R. B., Ogliari, A., Löwer, M., & Feldhusen, J. (2017). Creative Contributions of the Methods of Inventive Principles of TRIZ and BioTRIZ to Problem Solving. *Journal of Mechanical Design*, 139(8), 082001, <https://doi.org/10.1115/1.4036566>.
2. Alata, A., Cuadros, Y., Miranda, L. & Medina, E. (2019). Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Rev Soc Quím Perú*. 85(2).
3. Antunes, P., Juazeiro, R., Gomes., & Ferreira, S. (2020). Advances and perspectives in the use of polymers in the environmental area: a specific case of PBS in bioremediation. *Polímeros*, 30(2), e2020023, 2020. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.02220>
4. Askeland, D. R., (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales* (3ª ed.), México: International Thomson Editores.
5. Barrios, A. J., García, S., Manríquez, R., Rivera, J. D., & Lomelí, M. G. (15 de Enero de 2015). Compósitos biodegradables elaborados a partir de almidón termoplástico y partículas de madera de fresno. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 26 - 41, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i28.258>.
6. 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 Figue Fiber and Fabric. *Materials Research*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0146>
7. Castro. L., Sousa, L., Ramos, M., Cunha, J., Estabile, M. ( 2016). Painéis sanduíches de poliéster reforçado com fibras de rami para aplicação na Construção Civil. *Revista materia*. v.21, n.3, pp. 796– 806, ISSN 1517-7076 artigo 11745.
8. 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>
9. 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>.
10. Delgado, A., Aperador, W. & Gomez, W. (2014). Mejoramiento de las Propiedades de Tensión en WPC de LDPE: HIPS/Fibra Natural Mediante Entrecruzamiento con DCP. *Polímeros*. <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2014.026>
11. Dhakal, H.N. and Zhang, Z. (2015). The use of hemp fibres as reinforcements in composites, *In Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, pp 86103.
12. 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.

13. 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
14. Fedele, O., Oguocha, I., Odeshi, A., Soleimani, M., Karunakaran, Ch. (2018). Characterization of raffia palm fiber for use in polymer composites. *Journal of Wood Science*. <https://doi.org/10.1007/s10086-018-1748-2>.
15. 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>.
16. 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
17. George, M., Chae, M., & Bressler, D.C. (2016). Composite materials with bast fibres: Structural, technical, and environmental properties. *Progress in Materials Science*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2016.04.002>
18. Groover, M. P., (2007). Fundamentos de manufactura moderna (3ª ed.), México: McGraw-Hill.
19. 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.
20. Helena V. G. Navas, Alexandra M. B. R. Tenera, Virgílio A. Cruz Machado (2015). Integrating TRIZ in project management processes: an ARIZ contribution
21. Henrich, M. y Rojas, O.(2013). Aplicaciones de la metodología TRIZ en el diseño ergonómico de estaciones de trabajo. *Industrial Data*, vol. 16, núm. 1, pp. 102-107. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, Perú.
22. Hernandez, N.E., Lopez, V., Morales, V., Mendez W.D. y Calderon, E.S., (2018). Caracterización química de la Fibra de Coco (*Cocus nucifera* L.) de México utilizando Espectroscopía de Infrarrojo (FTIR). *Rev. Ingeniería y Región*. Vol. 20 DOI 10.25054/22161325.1914
23. 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>
24. 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>
25. Kaisone, T., Harnkarnsujarit, N., Leejarkpai, T., & Nampitch, T. (Agosto de 2016). Mechanical and Thermal Properties of Toughened PLA Composite Foams with Modified Coconut Fiber. *Applied Mechanics and Materials*, 851, 179 - 185, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.851.179>.

26. Kalisz, A., Grabowska, A., Sekara, A., Capecka, E., Libik, A., Jurkow, R. & Sulak, K. (2019). Biodegradable polymers as floating row covers in field production of radish. *Chilean journal of agricultural research* 79(2), doi:10.4067/S0718-58392019000200243
27. Kalpakjian, S.& Schmid, S.(2008). Manufactura, ingeniería y tecnología. Quinta edición.
28. Leonardelli, C., Silvestre, W. y Baldasso, C. (2020). Effect of Chitosan Addition in Whey-based Biodegradable Films. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol.63: e20200178, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2020200178> ISSN 1678-4324 Online Edition
29. Liu, W., Chen, T., Fei, M., Qiu, R., Yu, D., Fu, T., and Qiu, J. (2019). Properties of natural fiberreinforced biobased thermoset biocomposites: Effects of fiber type and resin composition. *Composites Part B: Engineering*, 171: 87-95.
30. Marques, A., Ribeiro, R., Ferreira, L., silva, S., Britto, D., Coêlho, M.(2020). Properties and characterization of biodegradable films obtained from different starch sources. *Centro de Ciências Agrárias – CCA, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Areia, PB, Brasil*, <https://doi.org/10.1590/fst.28520>
31. Montalvo, P.W.A. (2018). Diagnóstico de la tecnología local de la producción de la Naranja (*Citrus sinensis* L) en Caluma provincia de Bolívar. (Tesis de Licenciatura). Universidad De Guayaquil. Facultad De Ciencias Agrarias, Guayaquil.
32. Mota-Hernandez, Cinthya(2011). Metodología sistémica para solucionar problemas económico – financieros: caso mexder
33. Muñoz-Muñoz, D., Pantoja-Matta, A.J. y Cuatin-Guarin, M.F. (2014). Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12 (2): 10-19.
34. Nikulin, C. & Becker, G. (2015). Una metodología Sistémica y creativa para la gestión estratégica: Caso de Estudio Región de Atacama-Chile. *Journal of Technology Management & Innovation*. Vol.10 no.2. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242015000200009>
35. Petrov, V. (2015). Fundamentos de la teoría para la solución de los problemas inventivos TRIZ.
36. Piqué, T. and Vázquez, A. (2012). Uso de espectroscopía infrarroja con transformada de fourier (ftir) en el estudio de la hidratación del cemento.
37. 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. 4, 2014, pp. 463-486. DOI:10.4067/S0718-221X2014005000038
38. Quesada-Solís, K., Alvarado-Aguilar, P., Sibaja-Ballester, R., y Vega-Baudrit, J. (2005). Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comusus*, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 6 (2): 157-179.

39. Rahim, Z., Sheng, I., and Bakar, N. (2015) TRIZ Methodology for Applied Chemical Engineering: A Case Study of New Product Development. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2015.08.027>
40. Rodrigues, J., Souza, J. A. y Fujiyama, R. (2015). Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão. *revista Matéria*, v.20, n.4, pp. 946–960, 2015. doi:10.1590/s1517-707620150004.0099
41. Salazar, M., Cañas, J., Villada, H., Solanilla, J., Rodríguez, R., Ávalos, F.(2020). Biogenerated polymers: an environmental alternative. *Revista DYNA*, 87(214), pp. 75-84. DOI: <http://doi.org/10.15446/dyna.v87n214.82163>
42. Santosha, P., Shankare, S. & Manikanth, V. (2018). Effect of fiber loading on Thermal properties of Banana and Pineapple leaf fiber Reinforced Polyester Composites. *Materials Today: Proceedings* 5 (2018) 5631–5635. Doi:10.1016/j.matpr.2017.12.155
43. Şen, N., & Baykal, Y. (Octubre de 2019). Development of car wishbone using sheet metal tearing process via the theory of inventive problem-solving (TRIZ) method. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(10), 390, <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1884-7>.
44. Senit, J., Velasco, D., Gómez, A., Sánchez, M., Toledo, J., Santos, V., García, F., Yustos, P. & Ladero, M. (2019). Orange peel waste upstream integrated processing to terpenes, phenolics, pectin and monosaccharides: Optimization approaches. *Industrial Crops & Products* 134 (2019) 370–381. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.060>
45. SIAP. (2018). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. *Atlas Agroalimentario* 2012-2018. SAGARPA: México.
46. Singh, J. (2020). Natural Fibers: Applications. Generation, Development and Modifications of Natural Fibers. *Intech open*. Doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.86884>
47. Spierling, S., Knüpffer, E., Behnsen, H., Mudersbach, M., Krieg, H., Springer, S., Albrecht, S., Herrmann, C. & Endres, H-J. (2018). Bio-based plastics - A review of environmental, social and economic impact assessments. *Journal of Cleaner Production* 185 (2018) 476e491. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.014>
48. Tacle, P., Moya, J. & Marty, J. (2018). Modificaciones de la matriz de contradicciones para el diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos de material plástico. *Centro Azúcar*. Vol 46, No. 1. pp. 86-96)
49. Tan, R. (2015). Contradiction-oriented problem solving for innovations: five opportunities for China's companies. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*. DOI 10.1186/s13731-015-0017-5
50. Thyavihalli, Y., Mavinkere, S., Parameswaranpillai, J., & Siengchin, S. (2019). Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive Review. *Polymeric and Composite Materials a section of the journal Frontiers in Materials*, doi: 10.3389/fmats.2019.00226

51. Todkar, S.S., and Patil, S.A. (2019). Review on mechanical properties evaluation of pineapple leaf fibre (PALF) reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 174: 1-72.
52. Van Dam, J.(2008). The Netherlands Environmental benefits of natural fibre production and use. *Proceedings of the Symposium on Natural Fibres*
53. Velandia, J. (2016). Identificación de polímeros por espectroscopía infrarroja. *Revista Ontare*. Vol. 5, p 115-140. <https://doi.org/10.21158/23823399.v5.n0.2017.2005>
54. 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
55. Yan, W., Zhu, Y., Ahmad, N. (2016). Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) Based Contradiction Resolution Strategies for Shaanxi Aviation Industrial Upgrading. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. Doi: 10.1109 / IEEM.2016.7798050
56. 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>.
57. Zhang, L., Li, K., Yang, Z., Yang, Z., & Wang, Q. (2016). TRIZ based teaching strategy for wind turbine control. 2016 UKACC 11th *International Conference on Control (CONTROL)*, 1 - 6, <https://doi.org/10.1109/control.2016.7737586>.
58. Zhang, X., Geven, M., Grijpma, D., Gautrot, J. & Peijs, T. (2016). Polymer-polymer composites for the design of strong and tough degradable biomaterials. *Materials Today Communications* 8 (2016) 53–63, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mtcomm.2016.05.001>