



**CARACTERIZACION DE PROPIEDADES MECANICAS DE ESFUERZO Y
DEFORMACION DE PROBETAS DE MATERIAL FIBRADO COMPUESTO**

EDNA MILENA TOVAR GAITAN

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍAS
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ, D.C.
2017**

**CARACTERIZACION DE PROPIEDADES MECANICAS DE ESFUERZO Y
DEFORMACION DE PROBETAS DE MATERIAL FIBRADO COMPUESTO**

EDNA MILENA TOVAR GAITAN

**Proyecto de investigación, trabajo de grado para optar al título de:
INGENIERÍA BIOMÉDICA**

ING. INGRID MERCEDES CRUZ BERNAL M.Sc.

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍAS
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ, D.C.
2017**

ACEPTACIÓN

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Bogotá D.C., 07 de abril de 2017

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud a mis padres por su ejemplo, amor y apoyo incondicional, quienes con sus enseñanzas desde el seno materno han logrado que después de tanto esfuerzo y tiempo, me encuentre cumpliendo un logro más en mi vida que refleja el crecimiento profesional, a mi novio quien me ha brindado apoyo técnico con los softwares requeridos para el desarrollo de este trabajo, a la Ingeniera Ingrid Cruz Bernal, de quién no sólo he recibido un cúmulo de enseñanzas decisivas en mi formación, sino también su firme apoyo durante este proceso, que fue fundamental para la conclusión del presente trabajo, por su amable asesoría y esclarecedoras disertaciones en temas avanzados en la temática tratada, las cuales he disfrutado profundamente.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN	15
1. ANTECEDENTES	16
1.1 MATERIALES FIBRADOS	17
1.2 SIMULACIONES EN PROGRAMAS CAD	19
1.3 PRÓTESIS DE PIE	19
1.4 DISEÑO DE PROBETAS Y PRUEBAS DE TENSIÓN.....	20
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
2. MARCO TEÓRICO	22
2.1 BIOMATERIALES	22
2.2 MATERIALES ESTUDIADOS	23
2.2.1 Resina de poliéster	24
2.2.2 Resina de poliuretano	25
2.2.3 Silicona blanda	26
2.2.4 Resina Acrílica	27
2.2.5 Hidrogeles.....	27
2.2.6 Resinas compuestas.....	28
2.2.7 Materiales compuestos	29
2.3 ENSAYO DE TENSIÓN	31
2.3.1 Tipos de probeta.....	32
2.3.2 Comportamiento de los distintos materiales frente al ensayo de tensión ..	33
2.3.3 Tipos de Rotura	34

2.4	MÓDULO DE YOUNG	34
2.5	COEFICIENTE DE POISSON.....	35
2.6	FLUENCIA.....	36
3.	METODOLOGÍA	38
3.1	MATERIALES.....	38
3.2	PROTOCOLO PARA ELABORACIÓN DE PROBETAS	40
3.2.1	Probeta de Cascaron Achiote - poliuretano	50
3.2.2	Probeta de Cascaron Achiote - Poliéster	51
3.2.3	Probeta de Cascaron de Achiote – Silicona.....	51
3.2.4	Probeta de Semillas de achiote - Poliuretano	52
3.2.5	Probeta de Fibra Apio - Poliuretano.....	53
3.2.6	Probeta de Fibra Apio - Acrílico	53
3.2.7	Probeta de Fibra Pelo de Maíz - Poliuretano	54
3.2.8	Probeta de Fibra Pelo de Maíz - Acrílico	54
3.2.9	Probeta de Fibra Yuca - Poliuretano.....	55
3.2.10	Probeta de Fibra Yuca - Acrílico.....	55
4.	SIMULACIÓN.....	57
4.1	GEOMETRÍA	57
4.2	CONDICIONES INICIALES	58
4.2.1	Modelo Poliuretano	58
4.2.2	Modelo de Resina Acrílica	59
4.2.3	Modelo de Resina de poliéster	59
4.2.4	Modelo de Silicona	60
5.	ANALISIS Y RESULTADOS.....	61
5.1	Simulación - resina de poliuretano.....	61
5.1.1	Ensayo de tensión poliuretano - Cascara de achiote.....	63
5.1.2	Ensayo de tensión poliuretano - Semillas de achiote	65
5.1.3	Ensayo de tensión poliuretano - Apio	66
5.1.4	Ensayo de tensión poliuretano – Pelo de maíz.....	68
5.1.5	Ensayo de tensión poliuretano - Yuca	70

5.2 Simulación - resina acrílica	72
5.2.1 Ensayo de tensión en resina acrílica - Apio.....	74
5.2.2 Ensayo de tensión acrílico - Yuca.....	76
5.3 Simulación Resina de poliéster	78
5.3.1 Ensayo de tensión poliéster – Cascara de Achiote.....	79
5.4 Silicona	81
5.4.1 Ensayo de tensión Silicona - Cascara de Achiote	83
6. CONCLUSIONES	86
6.1 TRABAJOS FUTUROS	87
7. BIBLIOGRAFÍA	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas para una Geometría tridimensional básica. Fuente: [39]	58
Tabla 2: Resultados generales prueba de Tensión. Fuente Autor.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Propiedades a tener en cuenta en el diseño de un nuevo material para regeneración de piel. [24]	23
Figura 2: Preparación de resina de poliéster a) resina y catalizador, b) adición a recipiente plástico de la resina, c) adición de catalizador, d) mezcla de componentes para ser aplicados en las probetas. Fuente: [13].....	24
Figura 3: Preparación resina de poliuretano, a) resina y catalizador, b) adición a recipiente plástico de la resina, c) en otro recipiente en la misma proporción adición de catalizador, d) adición de catalizador al recipiente donde está la resina, e) mezcla de componentes para ser aplicados en las probetas. Fuente: [13].....	26
Figura 4: comparación de los tres tipos de materiales compuestos, a) Con partículas, b) con fibras, c) Laminares. Fuente: [31]	30
Figura 5: Esquema del procedimiento para el ensayo de tensión. Fuente: [32]	31
Figura 6: Evolución de la probeta durante el ensayo de tracción. Fuente: [32]	31
Figura 7: Tipos de probetas empleados en los ensayos de tracción en plásticos. Fuente: [33].....	32
Figura 8: Curvas de esfuerzo deformación a la tensión, para distintos materiales. Fuente: [32].....	34
Figura 9: Descripción módulo de Young. Fuente: [34].....	35
Figura 10: Coeficiente de Poisson. Fuente: [23]	36
Figura 11: zona y Límite de Fluencia. Fuente: [13]	37
Figura 12: Bixa Orellana, a) Conjunto de vainas de semillas, b) Vaina de una semilla partida, c) semillas. Fuente: [6].....	38
Figura 13: planta de Apium graveolens. Fuente: [35].....	39
Figura 14: Pelos de maíz o barbas de choclo. [36]	39
Figura 15: Yuca, Tubérculo. [37].....	40
Figura 16: Tipos I, II, III y V de probetas, w_0 : ancho total, w : ancho de la sección estrecha, L : longitud de la sección estrecha, L_0 . Longitud total, G : longitud de referencia, D : distancia entre las mordazas, R : radio. [38].....	41
Figura 17: Protocolo para elaboración de probetas de resina de poliuretano compuestos por fibras naturales. Fuente Autor.	42
Figura 18: Protocolo para elaboración de probetas de resina acrílica compuestos por fibras naturales. Fuente Autor.....	44
Figura 19: Protocolo para elaboración de probetas de resina poliéster compuesto por fibras naturales. Fuente Autor.....	46
Figura 20: Protocolo para elaboración de probetas de silicona blanda compuesta por fibras naturales. Fuente Autor.....	48
Figura 21: Proceso de acondicionamiento del achiote compuesto por la apertura de capsula del fruto y la recolección de semillas. b) Dosificación de componentes para la	

elaboración de la resina de poliuretano con su respectivo catalizador, c) Preparación de molde, d) Mezcla de componentes, e) Base de resina, Ubicación de fibras en la probeta Fuente: autor.....	50
Figura 22: Probeta de resina de poliuretano compuesta con Cascaron de achiote. Fuente: Autor.....	51
Figura 23: Probeta de resina de poliéster compuesta con Cascaron de achiote. Fuente: Autor.....	51
Figura 24: Probeta de silicona compuesta con Cascaron de achiote. Fuente: Autor.	52
Figura 25: Probeta de resina de poliéster compuesta con semillas de achiote. Fuente: Autor.....	52
Figura 26: Probeta de resina de poliuretano compuesta con fibras de apio. Fuente: Autor.	53
Figura 27: Probeta de resina acrílica compuesta con fibras de apio. Fuente: Autor.....	53
Figura 28: Probeta de resina de poliuretano compuesta con fibras de pelo de maíz. Fuente: Autor.	54
Figura 29: Probeta de resina acrílica compuesta con fibras de pelo de maíz. Fuente: Autor.....	55
Figura 30: Probeta de resina de poliuretano compuesta con fibras de yuca. Fuente: Autor.	55
Figura 31: Probeta de resina acrílica compuesta con fibras de yuca. Fuente: Autor.....	56
Figura 32: Geometría básica Tridimensional (a) y Geometría básica tridimensional mallada (b) Fuente: autor.....	57
Figura 33: Diseño de Probeta con las propiedades de la resina de poliuretano. Fuente: autor	59
Figura 34: Diseño de Probeta con las propiedades de la resina de acrílica. Fuente: autor.	59
Figura 35: Diseño de Probeta con las propiedades de la resina de poliéster. Fuente: autor.	59
Figura 36: Diseño de Probeta con las propiedades de la silicona. Fuente: autor.	60
Figura 37: Modelo isométrico fuerzas actuantes en la probeta, con las propiedades del poliuretano. Fuente: autor.....	61
Figura 38: vistas de proyección ortogonal de la probeta, con las propiedades del poliuretano. Fuente: autor.....	62
Figura 39: Resultado de la simulación probeta con las propiedades de la resina de poliuretano. Fuente: autor.....	63
Figura 40: Gráfica esfuerzo vs deformación de la resina de poliuretano compuesto con achote Fuente: Autor	63
Figura 41: Gráfica esfuerzo vs deformación de la resina de poliuretano compuesta con achote Fuente: Autor	64
Figura 42: Ruptura Probeta de resina de poliuretano compuesta con cascaron de achiote, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.....	64

Figura 43: Gráfica de fuerza vs extensión de la resina de poliuretano compuesta por semillas de achote. Fuente: Autor.....	65
Figura 44: Gráfica de esfuerzo vs deformación de la resina de poliuretano compuesta por semillas de achote. Fuente: Autor.....	66
Figura 45: Ruptura Probeta de resina de poliuretano compuesta con semillas de achiote, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.....	66
Figura 46: gráfica de fuerza vs extensión de la resina de poliuretano compuesta de fibras de apio. Fuente: Autor.....	67
Figura 47: gráfica de esfuerzo vs deformación de la resina de poliuretano compuesta de fibras de apio. Fuente: Autor.....	68
Figura 48: Ruptura Probeta de resina de poliuretano compuesta con cascara de achiote, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.....	68
Figura 49: Gráfica de fuerza vs extensión de la resina de poliuretano compuesta con pelo de mazorca. Fuente: Autor.....	69
Figura 50: Gráfica de esfuerzo vs deformación de la resina de poliuretano compuesta con pelo de mazorca. Fuente: Autor.....	70
Figura 51: Ruptura Probeta de resina de poliuretano compuesta con pelo de mazorca, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.....	70
Figura 52: Grafica fuerza vs extensión de la resina de poliuretano compuesto de fibras de yuca. Fuente: Autor.....	71
Figura 53: Grafica esfuerzo vs deformación de la resina de polipropileno compuesto de fibras de yuca. Fuente: Autor.....	71
Figura 54: Ruptura Probeta de resina poliuretano compuesta con fibras de yuca. Fuente: Autor.....	72
Figura 55: Modelo isométrico fuerzas actuantes en la probeta, con las propiedades del poliuretano. Fuente: autor.....	72
Figura 56: vistas de proyección ortogonal de la probeta, con las propiedades de la resina acrílica. Fuente: autor.....	73
Figura 57: Resultado de la simulación probeta con las propiedades de la resina de poliuretano. Fuente: autor.....	73
Figura 58: Gráfica de fuerza vs extensión de la resina acrílica compuesta de fibras de apio. Fuente: Autor.....	74
Figura 59: Gráfica de esfuerzo vs deformación de la resina acrílica compuesta de fibras de apio. Fuente: Autor.....	75
Figura 60: Ruptura Probeta de resina acrílica compuesta con fibras de apio. Fuente: Autor.....	76
Figura 61: gráfica de fuerza vs extensión de la resina acrílica compuesto de fibras de yuca. Fuente: Autor.....	76
Figura 62: Grafica esfuerzo vs deformación de la resina acrílica compuesto de fibras de yuca. Fuente: Autor.....	77

Figura 63: Ruptura Probeta de resina acrílica compuesta con fibras de pelo de maíz. Fuente: Autor	77
Figura 64: Modelo isométrico fuerzas actuantes en la probeta, con las propiedades del poliéster. Fuente: autor.	78
Figura 65: vistas de proyección ortogonal de la probeta, con las propiedades del poliéster. Fuente: autor.....	78
Figura 66: Resultado de la simulación probeta con las propiedades de la resina de poliéster. Fuente: autor.	79
Figura 67: Gráfica de fuerza vs extensión de la resina de poliéster compuesta de cascara de achote Fuente: Autor.....	79
Figura 68: Gráfica esfuerzo vs deformación de la resina de poliéster compuesta de cascara de achote. Fuente: Autor	80
Figura 69: Ruptura Probeta de resina de poliéster compuesta con cascaron de achiote, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.....	81
Figura 70: Modelo isométrico fuerzas actuantes en la probeta, con las propiedades de la silicona. Fuente: autor.	82
Figura 71: vistas de proyección ortogonal de la probeta, con las propiedades del poliuretano. Fuente: autor.....	82
Figura 72: Resultado de la simulación probeta con las propiedades de la silicona. Fuente: autor.	82
Figura 73: Gráfica de fuerza vs extensión de la silicona compuesta con cascara de achote. Fuente: Autor.	83
Figura 74: Gráfica de esfuerzo vs deformación de la silicona compuesta de cascara de achote. Fuente: Autor.	84
Figura 75: Ruptura Probeta de silicona compuesta con Cascaron de achiote, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.	84

RESUMEN

La investigación propuesta en el presente trabajo está enfocada en un protocolo de elaboración de probetas de material fibrado, compuesto de varias resinas como polipropileno, poliéster, acrílico y silicona, a las cuales se les adicionaron fibras naturales de achiote, apio, pelos de maíz y yuca, se describen brevemente los materiales y pasos que deben seguirse para la elaboración de las probetas y para la realización de pruebas de tensión en los materiales mencionados anteriormente.

Así mismo se ejecutó la simulación del comportamiento de las propiedades mecánicas de las resinas en una probeta, de acuerdo a las medidas establecidas por la norma ATSM D683, mediante el análisis de elementos finitos y un software CAD para el diseño de piezas. Lo anterior con la finalidad de evaluar la resistencia de los materiales fibrados y caracterizarlos, además de poder comparar estos resultados con la resistencia de los materiales actuales con los que se elaboran prótesis de pie.

De acuerdo a lo anterior se procedió a analizar los resultados obtenidos concluyendo que, con las características dadas, que la resina de poliuretano presenta menor tiempo para su proceso de polimerización, en las simulaciones de las probetas a excepción de la resina acrílica los polímeros presentaron mayor tensión en las curvaturas, lo que sugiere a las pruebas de tensión una ruptura en este punto, lo cual pudo ser evidenciado experimentalmente.

Palabras claves: tensión, resistencia, material fibrado, probeta.

ABSTRACT

The research proposed in this work is focused on a protocol for the preparation of specimens of binder material, composed of several resins such as polypropylene, polyester, acrylic and silicone, to which natural fibers of achiote, celery, corn and yuca, briefly describe the materials and steps that must be followed for the preparation of the test pieces and for stress testing on the materials previously.

Simulation of the behavior of the mechanical properties of the resins in a specimen was carried out, according to the measures established by ATSM D683, through

finite element analysis and CAD software for the design of parts. The above in order to evaluate the resistance of the bib materials and characterize them, in addition to being able to compare these results with the resistance of the current materials with which to develop foot prostheses.

According to the above, we proceeded to analyze the results obtained concluding that with the characteristics given, that the polyurethane resin presents less time for its polymerization process, in the simulations of the test specimens with the exception of the acrylic resin, the polymers showed greater tension In the curvatures, which suggests to the stress tests a rupture at this point, which could be evidenced experimentally.

Key words: tension, resistance, bending material, tube.

INTRODUCCIÓN

Las prótesis han evolucionado con la investigación multidisciplinar y con la identificación de una necesidad, que aqueja a muchas personas a nivel mundial que sufren de mutilación en alguno de sus miembros debido a diferentes factores externos [1]. De la misma manera han evolucionado los materiales de construcción de las mismas y sus componentes, brindando la oportunidad de dar calidad de vida a los usuarios. Como es el caso de los pacientes diagnosticados con diabetes mellitus que sufrieron de pie diabético, lo que conlleva a la amputación del pie.

Varios estudios realizados han demostrado que el pie se comporta bajo la composición de varios tejidos [2] [3] [4], cada uno con propiedades mecánicas características y específicas. [5]. Por ello al pretender realizar un diseño de una prótesis de pie que permita dar estabilidad y adaptabilidad al paciente, se debe evaluar el material en el cual se va a realizar, para esto se ejecutan pruebas de tensión, las cuales revelan dichas propiedades y brindan mayores opciones a la hora de seleccionar un material.

De acuerdo a esto para evaluar un material se propone la realización de un protocolo que permita construir una probeta, la cual sea sometida a una prueba de tensión para evaluar las características mecánicas específicas del compuesto material. Sin embargo, ya existen estudios en diferentes áreas con diversos materiales e incluso materiales de origen natural [6], algunos de estos a nivel micromolecular lo que permite conocer sus propiedades de biocompatibilidad y toxicidad.

En contraste con lo anterior un estudio realizado en 2016 mostro que el Achote (Bixina) [6] una planta utilizada comúnmente para dar color a los alimentos, presenta propiedades bioactivas incluyendo efectos antioxidantes, que permiten una mayor interacción con el tejido para efectuar funciones celulares durante la regeneración a los pacientes con diabetes, teniendo en cuenta las anomalías durante la fase inflamatoria en las heridas, que causan daño extenso en los tejidos circundantes y que los tratamientos actuales son inestables para el mantenimiento cutáneo.

1. ANTECEDENTES

En el presente capítulo se hará una revisión de estudios hechos en materiales fibrados, importantes en el proceso de esta investigación para realizar una prueba de tensión, se mostrará el estado del arte de los modelos matemáticos que se han dedicado a estudiar el comportamiento mecánico de las diferentes fibras utilizadas en la actualidad para prótesis de pie. Finalmente se consultan los avances realizados en cuanto a estudio de resultados de tensión y resistencia, esfuerzo y deformación de materiales fibrados.

Las prótesis han logrado grandes avances tecnológicos directamente proporcionales a la realización de diferentes estudios de la biomecánica del cuerpo humano, los tejidos que lo componen, su interacción con diferentes patologías, lo que ha permitido descubrir diferentes materiales para su construcción, los cuales se asocian desde tiempos remotos y han permitido grandes avances a las civilizaciones.

En el siglo XVI se emplearon soluciones rústicas para reparación dental, empleando el oro y la plata como principal fuente de construcción de piezas, así como el hierro para inmovilizar fracturas óseas [7]. Los avances tecnológicos no se han detenido en ningún momento de la historia, en el siglo XIX, se destacaron el desarrollo de la anestesia en 1842 por el Dr. Crawford, condiciones estériles a los procedimientos quirúrgicos y de los rayos X, dando de esta manera impulso para búsquedas de dispositivos que pudieran utilizarse al interior del cuerpo, surgiendo los metales como primer recurso, aunque no tardaron en mostrar sus desventajas como la corrosión o la carencia de propiedades mecánicas necesarias para cumplir adecuadamente la función para la cual fue implantado. Siendo este un paso para el estudio de nuevas aleaciones metálicas. [8]

Como consecuencia de la segunda guerra mundial fueron los millones de inválidos con la necesidad de ser rehabilitados, permitiendo avances en la ciencia y la tecnología de materiales.

Wichterle y lim en los años 50, iniciaron un programa para la investigación de hidrogeles en aplicaciones biomédicas, permitiendo dar inicio al campo de la cirugía plástica y la oftalmología, que luego llamaríamos lentes de contacto, de uso muy frecuente en la época moderna. [9].

Para los años 60 se empezaba a documentar como literatura biomédica, todos los desarrollos obtenidos en la clínica médica, quirúrgica y dental [7]. De ahí que se generara la “primera generación” de los biomateriales mostrando la aplicación de técnicas para determinar la estructura y la superficie de los materiales, relacionándolas respuestas biológicas. También, con el remplazo piezas óseas por materiales cerámicos y el desarrollo de materiales compuestos [10].

La segunda y tercera generación surgieron entre los años 1980 y el 2000 [11] con el diseño de materiales capaces de alcanzar una respuesta biológica al estar en contacto con los tejidos vivos, acoplándose al cuerpo de tal forma creaban una interfaz que se denominó material bioactivo. Se adicionaron los términos bioreabsorbible que favorece la reparación de un tejido y biodegradable para algunos polímeros empleados para la liberación de medicamentos [12].

La mayoría de los materiales utilizados actualmente denominados cuarta generación son constituidos de diferentes compuestos manipulados en diferentes áreas de producción industrial [7]. Entre ellos los polímeros, que de acuerdo a las distintas propiedades da utilidad para diversas aplicaciones [13]. Una de las líneas de investigación en las que más se está trabajando es en la formulación de nuevos materiales con mejores propiedades mecánicas, siendo este uno de los puntos débiles de estos sistemas, así como dotarlos de un cierto grado de "inteligencia".

1.1 MATERIALES FIBRADOS

Siglos atrás hemos venido utilizando fibras para diferentes aplicaciones, muchos países han explorado la posibilidad de utilizar plantas para la construcción de estas fibras naturales, como guadua, paja de cereales, tallos de algodón, maíz, cascara de arroz, entre otros. La gran mayoría de las fibras han sido asociadas principalmente en a la industria, sin embargo por la aparición de los polímeros a partir del siglo XIX han tenido nuevos dimensionamientos para la utilización de fibras en campos más versátiles; las fibras naturales están ganando notoriedad en diferentes aplicaciones debido a sus propiedades dimensionales, este interés ha dado lugar a nuevas configuraciones y conformación de compuestos a base de fibras naturales que han logrado en algunos casos estar a la par de las sintéticas, lo que ha dado lugar a darles usos en aplicaciones significativas tanto en la industria como en los desarrollos médicos. [4]

En términos generales los polímeros por sus propiedades térmicas, aislantes eléctricas y magnéticas. Aparecen en la historia en la década de los 70's a causa de una reacción química que excedía catalizador para acelerar la polimerización, asemejando una modificación en las propiedades esperadas. A partir de este suceso se han desarrollado nuevos materiales que requieren menor tiempo para su procesamiento.

Actualmente existen polímeros de origen natural capaces de absorber la humedad presente en ciertos materiales, biocompatibles, biodegradables, entre otras interacciones biológicas. Sin embargo, al presentar escasas propiedades mecánicas y biológicas, los pone en desventaja ante otros materiales. [14]. Los polímeros sintéticos por otro lado muestran mejores propiedades mecánicas y son más económicos, sin embargo, estos están siendo reemplazados por materiales que no afecten los ecosistemas y sean renovables. [15]

Estudios han puesto en evidencia el uso de diversas fibras naturales para la generación de polímeros compuestos más económicos, más resistentes y estables, para el tratamiento de diferentes funciones fisiológicas a causa de lesiones físicas y/o de enfermedades. De ello es muestra el estudio concluido a inicios del 2016 a la fibra del achiote, para la cicatrización de las heridas cutáneas en ratones diabéticos. El cual indico una eficiente aceleración de la cicatrización y una reducción del tejido cicatricial. Comparado con los tratamientos actuales que incluyen ungüentos, espumas y parches, enriquecidos de factores de crecimiento, sin embargo, estas son incapaces de mantener una forma estable de regeneración [16]. Por lo cual estos compuestos propiedades bioactivas como efectos antioxidantes, actividad anti proliferativa en células cancerosas, actividad antiinflamatoria y efectos hipoglucémicos. Este estudio fue concluyente hasta ahora con pruebas en ratones [6].

En este mismo sentido nos presenta un polímero mezclado con fibra de maíz, que presenta una gran biocompatibilidad y resistencia para desarrollo de ingeniería de tejidos, relacionado con las células hepáticas y fibroblásticas de ratones [17]. Este compuesto principalmente dopado de celulosa posee fibras altamente orientadas y una estructura porosa que permiten crecimiento óseo, un gran candidato para el uso de una plantilla que permite la reparación del hueso.

1.2 SIMULACIONES EN PROGRAMAS CAD

El uso de materiales compuestos reforzados con fibras naturales en matrices poliméricas ha incrementado en las últimas décadas, por tanto el mercado dispone de un sin número de software de ingeniería asistida. Estas herramientas informáticas permiten conocer diferentes variables para poder contar con una estimación preliminar altamente precisa tanto de la magnitud de las variables a controlar en el proceso de transformación como también propiedades dimensionales del producto a obtener.

Los programas CAD nacieron ante la necesidad de suplir el uso de tableros de dibujo para planos en 2D, tras evolucionar fueron creciendo las alternativas de diseño abarcando dibujos en 3D hasta llegar a modelaciones en superficies. [18] Esto en el año 1982 con el nacimiento de Autodesk.

En la actualidad los programas CAD permiten la reducción de tiempos al permitir ver el diseño en tiempo real y poder extremar las condiciones de simulación, del diseño propuesto, de esta manera evidenciar la respuesta a varios estímulos en condiciones e ideales [19]. Además reduce lentos y costosos experimentos en laboratorio, reduciendo a su vez el número de pruebas a un prototipo en diferentes campos, permitiendo evaluar diferentes resultados, entre estos la biomédica, permitiendo caracterizar dispositivos y materiales.

En 2015 se realizó una simulación CAD para evaluar la orientación de las fibras cortas de guadua en un biomaterial modelado mediante inyección, procesando las imágenes obtenidas de la simulación para luego realizar un proceso de tratamiento a las imágenes realizando una transformación en escala de grises, un filtrado de la imagen y posteriormente una binarización permitiendo de esta manera determinar el diámetro de las fibras.

1.3 PRÓTESIS DE PIE

Los dispositivos protésicos procuran mejorar o reemplazar una función, de una parte o un miembro completo del cuerpo humano, por ende para un paciente amputado debe ser un apoyo en su desarrollo psicológico, no solo brindándole una percepción de haber recobrado la movilidad sino también su aspecto [20].

Las prótesis datan sus inicios desde el año 2000 a.C. al encontrar en una tumba una momia con una prótesis en el antebrazo, la necesidad de brindar un aspecto de normalidad a un paciente ha hecho que evolucione rápidamente, en los años 50 una pata de palo una composición rustica que para la época brindaba cierta calidad de vida a los amputados. El siglo XIX trajo la innovación en dispositivos protésicos. Con la utilización del cuero, polímeros naturales y resortes daban pautas para nuevos mecanismos de elaboración de dispositivos de transmisión de la fuerza. [1]

En el siglo XX se realizan por el Dr. Gripoulleau [1] accesorios para brindarle a los amputados la posibilidad de realizar las acciones cotidianas de forma normal. Se da origen a prótesis activadas por los tejidos del muñón en Alemania. Permitiendo por medio de la neumática y la eléctrica dar movimiento debido a la contracción muscular [4].

En el siglo XXI se brindan prótesis de respuesta dinámica con resortes encargados de amortiguar la marcha e impulsar el pie hacia adelante, la comodidad y respuesta, debe ser pieza importante para darle al paciente avances hacia la normalidad de las acciones ejecutadas a diario. [1] Así como también la oportunidad de rehabilitar un atleta con un pie de alto desempeño, con materiales más livianos. Para obtener una ventaja competitiva, alcanzando el 95 % o más de la función de normalidad al ejecutar por ejemplo carreras o saltos. [21]

1.4 DISEÑO DE PROBETAS Y PRUEBAS DE TENSIÓN

Los diferentes ensayos que se pueden realizar a un material permiten que se realice un protocolo para la realización de una probeta, esto por la necesidad de estudiar de forma experimental un material y determinar su resistencia ante una prueba de tensión, estos protocolos son consecuencia de la cantidad de fibras que existen en la actualidad que son objeto de estudio y las que están aún por descubrir. Estas utilizadas en diferentes campos como la industria, la medicina, la construcción, entre otras. [22]

En 2009 se desarrolló un estudio de un material reforzado con bambú y una matriz polimérica, que proporcionaba menor peso, costo e impacto ambiental. Se evaluó teóricamente el bambú como una de las plantas de mayor resistencia mecánica y se procedió a comprobar de forma experimental dicha teoría. Concluyendo en este

la posibilidad de emplear la fibra de bambú para diferentes necesidades ante su resistencia similar al aluminio. [22]

En 2016 se han realizado varios estudios a materiales fibrados por medio de pruebas de tensión, estas se desarrollan en matrices poliméricas, para lo cual el proceso realizado para la elaboración de las probetas se hace repetitivo, iniciando por la evaluación y selección del material de refuerzo y posteriormente la elección de la resina, de estos se evalúan sus características mecánicas, que serán las que luego de la prueba experimental se compararan y se concluirá, si la resistencia es coincide con los datos teóricos. Lo anterior se resume en una metodología experimental de forma ordenada para la determinación de los valores característicos de resistencia mecánica. [23]

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las propiedades mecánicas de esfuerzo - deformación de probetas de material fibrado compuesto.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el material para el desarrollo de probetas en material compuesto fibrado.
- Diseñar el protocolo para la formación de probetas de material fibrado en una matriz compuesta de resina.
- Caracterización mecánica de material compuesto por medio de ensayos de tensión.

2. MARCO TEÓRICO

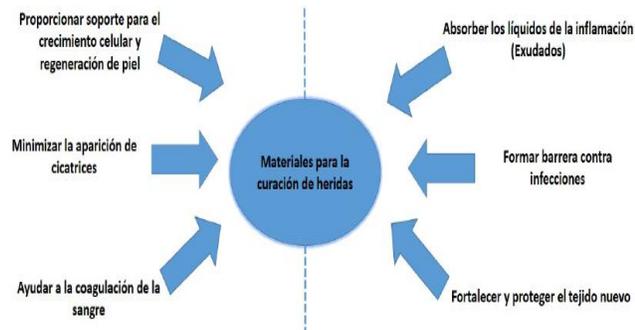
2.1 BIOMATERIALES

Los biomateriales se encuentran enmarcados dentro de la ingeniería biomédica, son sustancias sintéticas o naturales utilizadas en suministros médicos desechables, materiales protésicos, materiales dentales, implantes, apósitos, dispositivos extracorporales, encapsulantes, la administración de fármacos polimérico sistemas, productos de ingeniería tisular, y órtesis como las de metales y cerámica sustituyentes. Diseñados para interactuar con sistemas biológicos con la finalidad de tratar o reemplazar algún tejido del cuerpo humano. [10]

Existen materiales compuestos que son sólidos que contienen dos o más materiales distintos. Puede ser separados en dos fasos fases, en una escala macro y micro, en el que se diferencian propiedades tales como la elasticidad¹ se alteran significativamente en comparación con los de un material homogéneo. Los materiales biológicos naturales tienden a ser materiales compuestos incluyen hueso, madera, dentina, cartílago y la piel. Los materiales compuestos ofrecen una variedad de ventajas en comparación con los materiales homogéneos, ofrece la capacidad de ejercer un control considerable sobre las propiedades del material, [10]. En el caso de pretender desarrollarse un material se deben evaluar las diferentes propiedades de la aplicación a la cual se le quiere dar solución, algunas se muestran en la *figura 1*.

¹ La Elasticidad relaciona las fuerzas aplicadas a un cuerpo y la deformación que resulta.

Figura 1: Propiedades a tener en cuenta en el diseño de un nuevo material para regeneración de piel. [24]



Los biomateriales pueden dividirse en polímeros (sintéticos y naturales), metales, cerámicas, compuestos de carbono y materiales compuestos y/o modificados.

Los polímeros, naturales o sintéticos, representan la clase más extensa de biomateriales, son largas cadenas moleculares formadas por un gran número de pequeñas moléculas (monómeros) repetidas, representando varias características y propiedades, desde materiales hidrofóbicos como las siliconas o polipropileno (PP); los hidrofílicos como la poliacrilamida, el hidrosoluble polietilenglicol (PEG o PEO). Algunos son se degradan en el organismo, mientras otros perduran inalterados a lo largo del tiempo que están implantados. [25]. Las diferentes presentaciones son: elastómeros, fibras, hidrogeles, materiales biodegradables, biopolímeros naturales y biomateriales inteligentes.

Los polímeros lineales de silicón² pueden ser convertidos fácilmente en una red tridimensional (elastómero) mediante reacciones de enlaces, la mayoría de los elastómeros aprovecha los espacios intermoleculares para incorporar material de relleno que refuerza la matriz de la macromolécula. [25].

2.2 MATERIALES ESTUDIADOS

Dentro del presente trabajo se logró trabajar con algunos de los biomateriales anteriormente mencionados de los cuales describiremos sus características

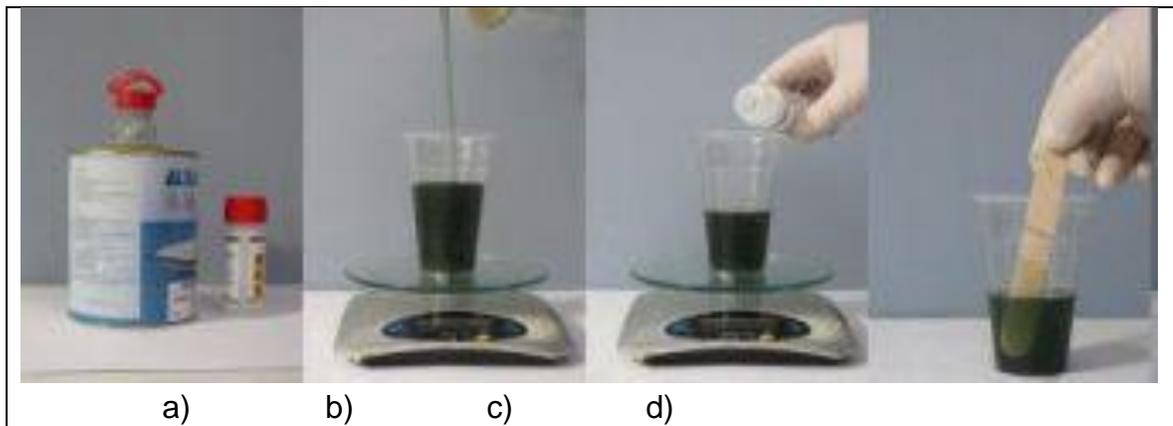
² la unidad repetitiva básica se denomina "siloxano", siendo la silicón más común el PDMS

principales y la solidificación de los mismos, para la elaboración de probetas de material fibrado en matrices poliméricas.

2.2.1 Resina de poliéster

La resina de poliéster es económica, pero tóxica y genera mal olor. Es recomendable para laminar con fibra, hacer duplicados de gran formato y poco peso, o armazones para moldes. Las resinas de poliéster son de aspecto líquido a temperatura ambiente y pueden cambiar a estado sólido, por la adición de un catalizador. El cambio de transformación del estado líquido a sólido se conoce como curado, polimerización o endurecimiento y viene atado a la reacción con un catalizador que produce una reacción exotérmica. El cambio de estado no se produce inmediatamente se añaden los iniciadores de curado (acelerador y catalizador), es una modificación que ocurre a medida que pasa el tiempo y se elabora de forma gradual, cambiando de estado líquido a estado gelatinoso (tiempo de gel) y por último pasa a estado sólido, de acuerdo a esto en la figura 2 se puede observar el proceso de preparación de la resina de poliéster y su relación es de 1:3, es decir por 1g de poliéster son 3g de catalizador, de acuerdo a la descripción dada por el fabricante.

Figura 2: Preparación de resina de poliéster a) resina y catalizador, b) adición a recipiente plástico de la resina, c) adición de catalizador, d) mezcla de componentes para ser aplicados en las probetas. Fuente: [13]



Los factores más importantes que participan en el proceso de curado son:

- La referencia y el tipo de resina empleada.
- A un mayor aumento de ambos, menos es el tiempo de gelificación.

- La temperatura ambiente, por lo general la gran mayoría de resinas no curan a temperaturas que sean inferiores a 16°C.
- La cantidad y la naturaleza del acelerador y catalizador.
- La cantidad y naturaleza de las cargas. Si se elevan atrasan el curado.
- La humedad relativa. Es recomendable que se encuentre entre 40 y el 54%.
- El aumento de la temperatura del proceso, la cual disminuye el tiempo de gelificación.
- A temperatura ambiente no debe exceder los 27°C. Espesor del laminado, cuyo aumento reduce el tiempo de gelificación.

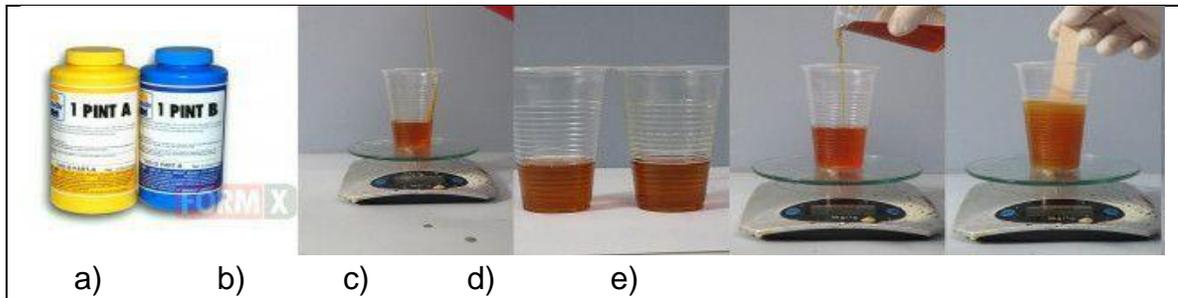
Almacenamiento y Manejo

- Guardar en lugar fresco (18°C - 21°C)
- Conserve el producto y sus recipientes apartados de fuentes de calor, chispas o llamas abiertas.
- Conserve los recipientes sellados cuando no se estén utilizando.
- No fumar.
- Evite contacto con los ojos, piel y ropa.
- Los vapores causan sofocación o mareo.
- Use el producto con la correcta ventilación y después de utilizarlo lávese.
- Los vapores logran viajar a una zona de incendio y regresan en flamas.
- Hay riesgo de envenenamiento y explosión por el vapor adentro y fuera de un lugar o en las alcantarillas.
- El contenedor puede estallar con el calor del fuego.

2.2.2 Resina de poliuretano

El poliuretano se elabora a partir de la reacción química de alcoholes. Con menor olor y más rápida acción de curado. La mejor elección para reproducciones por colada. Produce menos exotérmica que el poliéster, además posee una densidad muy baja, siendo una resina muy líquida con un óptimo registro y escasa burbuja. En la *figura 3* se muestra una secuencia gráfica para la solidificación de la resina, la relación de esta resina es de 3:1.

Figura 3: Preparación resina de poliuretano, a) resina y catalizador, b) adición a recipiente plástico de la resina, c) en otro recipiente en la misma proporción adición de catalizador, d) adición de catalizador al recipiente donde está la resina, e) mezcla de componentes para ser aplicados en las probetas. Fuente: [13]



Por lo general los poliuretanos son termoestables, sin embargo algunos son usados para aplicaciones especiales. Tienen un coeficiente de transmisión muy bajo de calor, mucho mejor que el de los aislantes tradicionales, dejando usar espesores mucho menores en aislaciones equivalentes. Mediante equipos adecuados se realiza su aplicación "in situ" lo cual genera una rápida ejecución de la obra, logrando una capa de aislación continua.

Las características de los poliuretanos son:

- Optima tenacidad.
- Alta capacidad de alargamiento, flexibilidad.
- Gran resistencia química.
- Relleno de holgura.
- Se puede pintar una vez curado.

2.2.3 Silicona blanda

Dada su estructura química de Oxígeno-Silicio, la silicona es suave y flexible al tacto, no envejece, ni se desgasta ni mancha, no exuda nunca, impidiendo su deterioro, corrosión y ensuciamiento sobre los materiales que entren en contacto con la silicona, posee una gran resistencia a todo tipo de uso, no contamina y tiene una gran variedad de colores.

La silicona tiene una resistencia de 70 Kg/cm^2 a la tracción, con una elongación promedio de 400%. Con referencia a otros materiales, estos valores se conservan luego de extensas exposiciones a extremas temperaturas.

La biocompatibilidad de la misma, está regida por la FDA Biocompatibility Guidelines para productos medicinales, es insípida, inolora, y no sirve de apoyo para el desarrollo de bacterias, ni tampoco es corrosiva con otros materiales.

La silicona curada con platino en un copolímero de dimetil y metilvinil siloxano fortalecido con silicio térmicamente curado por platino, translúcido y altamente flexible bajo cualquier situación, hace que se considere dentro de la USP Clase VI considerada a una batería de tesis biológicos definidos en USP XXIV-sección 88, usado por la FDA para aprobar artículos médicos. De acuerdo a su composición química, esta silicona curada con Platino tiene la mayor nitidez y no es contaminante. [26]

2.2.4 Resina Acrílica

Las resinas acrílicas son polímeros utilizados en restauraciones odontológicas, de acuerdo a su sencilla manipulación, costo bajo y fácil biocompatibilidad, se utilizan en la elaboración de dientes artificiales, en soportes de prótesis y como sellantes de fisuras y puntos. El elemento básico empleado para la elaboración de los dientes era el polimetilmetacrilato, que consistía en la unión rectilínea a través de enlaces covalentes y moléculas de metacrilato de metilo [27]. Los dientes se hacían por moldes a alta temperatura. Dentro de sus ventajas estaban: integración química a la base de la prótesis, aspecto natural, mayor firmeza al impacto y a la flexión. Así mismo, las desventajas de ser poco duros al desgaste y no mostraban estabilidad de color. Las resinas acrílicas presentan baja resistencia a la fractura, suficientemente flexible, frágil y blanda. Tienen poca conductividad térmica, lo que inducirá en el paciente una baja substancial de la estimulación térmica de los tejidos orales bajo la dentadura

La temperatura de distorsión del material es muy baja. La alta acuosidad del material ayuda a la contracción por polimerización. De acuerdo del tipo de polimerización, las resinas de PMMA pueden contener entre 0.1% y 5% de monómero residual en su composición. [28] [29]

2.2.5 Hidrogeles

Dentro de los biomateriales se encuentran los hidrogeles, son materiales

poliméricos entrecruzados e hidrofílicos importantes en medicina y biotecnología debido a que su biocompatibilidad es alta, causa respuestas pequeñas de daño del tejido y de inflamación. Además, pueden absorber grandes cantidades de agua sin la disolución del polímero debido a su estructura hidrofílica, pero a la vez entrecruzada, la cual les confiere características físicas similares a las de los tejidos suaves [30].

Las matrices poliméricas o hidrogeles tienen diferentes funciones en el área de la ingeniería de tejido: son utilizadas en agentes de relleno, sirviendo de transporte celular, y son estructuras tridimensionales que ordenan las células y muestran estímulos que rigen la formación de un tejido establecido. [30]

Los agentes de relleno comprenden las matrices poliméricas que se utilizan para rellenar, prevenir adhesión o servir como bioadhesivos. La propiedad fundamental de un hidrogel de relleno es su capacidad de mantener un volumen deseado y una integridad estructural por un periodo de tiempo determinado. Estos materiales se han empleado para tratar enfermedades como incontinencia urinaria, así como en cirugía plástica y reconstructiva [10].

Los hidrogeles también pueden ser utilizados para estabilizar y transportar moléculas bioactivas y encapsular células secretoras. Actualmente, la mayoría de las drogas de estructura molecular grande y pequeña son aplicadas a los pacientes sistemáticamente sin el uso de una matriz polimérica. En consecuencia, se requiere grandes dosis para obtener un efecto local determinado debido a la biotransformación de la droga y su absorción no específica por parte de otros tejidos. Esto no solamente es costoso, sino que puede traer consigo efectos secundarios. Por ejemplo, el transporte en el sistema de grandes cantidades de factores de crecimiento endoteliales vasculares (VEGF), el cual debería promover angiogénesis sólo a nivel local, puede traer consigo la neovascularización no deseada de otros tejidos o el crecimiento de tumores. Además, lo que es necesario o benéfico para un tejido, puede ser tóxico para otro. En este sentido, un hidrogel que permita el transporte local y específico es altamente deseable en muchas situaciones. [14]

2.2.6 Resinas compuestas

La expresión de material compuesto, hace referencia a una mezcla tridimensional de dos sustancias distintas químicamente entre sí con una interface bien clara que aísla y une al mismo tiempo los componentes. Esta mezcla, provee un material

con propiedades muy altas a las que se obtendrían en cualquiera de los elementos actuando por separado.

Estas resinas son de uso dental generalmente y consisten en partículas de relleno inorgánicas sumergidas en una matriz orgánica de polímeros donde las partículas inorgánicas están envueltas con un compuesto de silano activo que acopla a las partículas de relleno con la resina, facilitando la unión de la fase inorgánica con la orgánica, lo cual dota a la restauración final con excelentes propiedades que se tendrían en forma individual y por si solas en cada fase.

Las etapas orgánicas de las resinas compuestas muestran otros componentes que se le agregan para mejorar y favorecer cada una de sus propiedades:

- Inhibidores: Son compuestos que se incluyen para advertir la polimerización prematura de la resina. Los componentes más utilizados son: 4-metoxifenol (PMP), 2 4 6 Terciarbutil fenol (BHT) y se usan en cantidades del 0.1%. El inhibidor más utilizado es el BHT, ya que puede suministrar restauraciones con resultados más gratos por tener una permanencia de color más aceptable.
- Aceleradores: En estos sistemas de resinas compuestas, se utiliza una amina terciaria aromática que funciona como donador de electrón, tal como la N,N dihidroxietil-p-toluidina para que actúe con el agente iniciador produciendo los radicales libres requeridos, con el fin de iniciar la reacción de polimerización de la matriz orgánica. Otras aminas se utilizan como activadores de la reacción, pero la dimetil-p-toluidina ha mostrado tener la ventaja de generar un compuesto con mayor estabilidad de color.
- Iniciadores: El iniciador más conocido y usado en las resinas compuestas, es: el Peróxido de Benzoilo (BP).

La luz, el calor y algunos agentes químicos causan la desintegración o la separación del BP, obteniendo como resultado radicales libres que inician la polimerización. Es así, que se aconseja que los materiales a base de resina compuesta este almacenados en un ambiente limpio, frío y oscuro.

2.2.7 Materiales compuestos

Un material compuesto tiene dos o más componentes y se distingue porque las propiedades del material final son superiores a los materiales constituyentes por separado. [31]

Estos se componen por dos fases; una continua llamada matriz y otra dispersa denominada refuerzo. El refuerzo suministra las propiedades mecánicas al material compuesto y la matriz la resistencia ambiental y térmica. Refuerzo y Matriz se hallan separadas por la interfase.

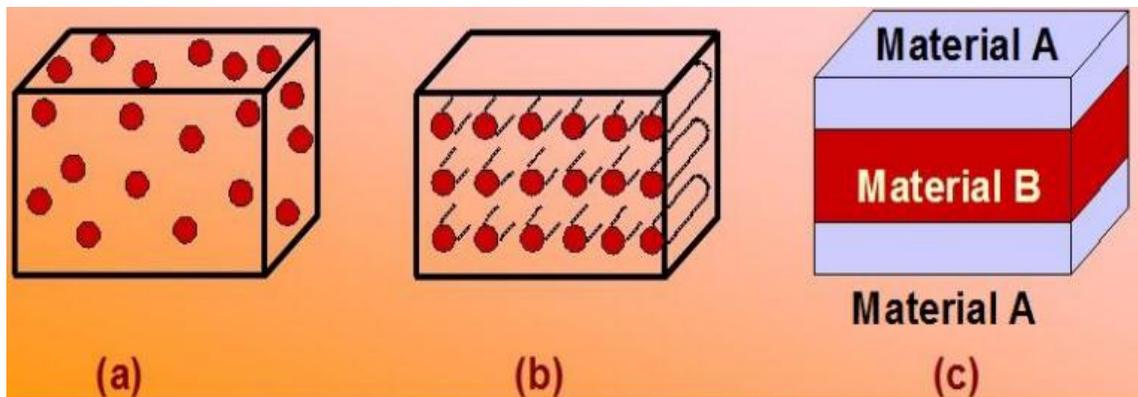
Factores de las propiedades de los materiales compuestos:

- a) contenido de refuerzo
- b) orientación del refuerzo
- c) propiedades del refuerzo y la matriz
- d) método de producción del material compuesto

Según la forma de sus compuestos se clasifican en (ver Figura4):

- **Fibrosos:** el refuerzo es una fibra, un material con una relación longitud-diámetro muy alta. Las fibras pueden ser discontinuas o continuas (estas últimas pueden ser unidireccionales o aleatorias). Ejemplo: *epoxi con fibra de vidrio*.
- **Particulados:** el refuerzo son partículas equiaxiales, los tamaños de las partículas son casi iguales en todas las direcciones. Ejemplo: *caucho reforzado con negro de humo*.
- **Estructurales o laminares:** es la unión de materiales compuestos y materiales homogéneos. Que a la vez se clasifican en materiales laminados (constituidos por apilamiento de láminas paralelas) o paneles sándwich (compuestos de núcleo y tapas).

Figura 4: comparación de los tres tipos de materiales compuestos, a) Con partículas, b) con fibras, c) Laminares. Fuente: [31]

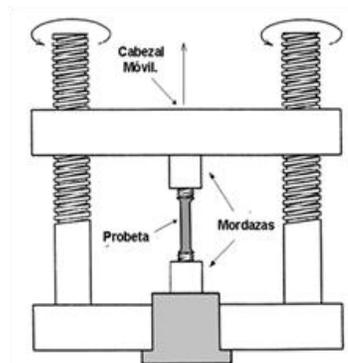


Las aplicaciones de hoy en día requieren materiales de baja densidad y buenas propiedades mecánicas (elevada rigidez y resistencia). Estas mezclas de propiedades no se consiguen con los materiales convencionales: metales, polímeros y cerámicos. El progreso de los compuestos ha generado la mejora de las propiedades de los materiales.

2.3 ENSAYO DE TENSIÓN

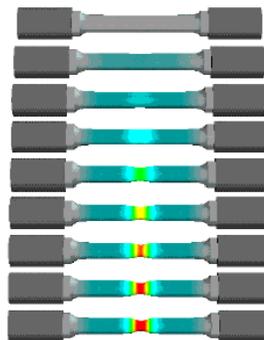
El ensayo de tensión se realiza estableciendo una probeta en sus extremos a una mordaza móvil y otra fija (Fig. 5), se gradúa una velocidad de desplazamiento de la mordaza fija, la cual emplea una carga cuasiestática (muy bajas velocidades) de tensión en la probeta.

Figura 5: Esquema del procedimiento para el ensayo de tensión. Fuente: [32]



Una vez se logra el valor de esfuerzo último, la probeta falla, separándose en dos mitades; en este punto se finaliza el ensayo. (Fig. 5)

Figura 6: Evolución de la probeta durante el ensayo de tracción. Fuente: [32]



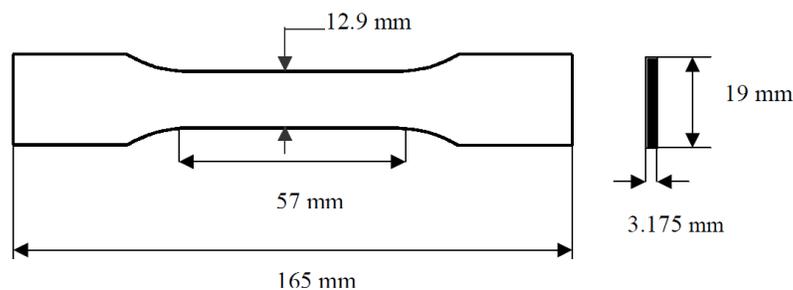
2.3.1 Tipos de probeta

Las probetas de ensayo de materiales metálicos se adquieren, por mecanizado de una muestra del producto objeto de ensayo, o de una muestra moldeada. Para los productos que tengan una sección continua (perfiles, barras) o de barras obtenidas por moldeo, se pueden manejar como probetas las muestras sin mecanizar. La sección de la probeta puede ser cuadrada, circular o rectangular.

Por lo general las probetas de ensayo de materiales no metálicos se preparan por prensado, por inyección o bien por arranque de viruta a través de corte de planchas. Hay tres tipos de probeta:

- a) **plásticos rígidos y semirrígidos:** Las probetas se establecen de acuerdo a las dimensiones de la figura 7. El tipo de muestra M-I es la muestra preferida y se usará cuando haya material suficiente tendiendo un espesor de 10 mm o menor. El tipo de probeta M-III se utilizará cuando el material sometido al ensayo presente un espesor de 4 mm o menor y el tipo de probeta M-II se utilizará cuando se requieran comparaciones directas en materiales con diferente rigidez (semi-rígido y no rígido).
- b) **plásticos no rígidos:** Se emplea el tipo de probeta M-II con espesores de 4 mm o menores. El tipo de probeta M-I debe ser utilizado para todos los materiales con espesores establecidos entre 4 y 10 mm [33].

Figura 7: Tipos de probetas empleados en los ensayos de tracción en plásticos. Fuente: [33]



- c) **Materiales compuestos reforzados:** Las probetas de materiales compuestos reforzadas serán del tipo M-I. Siempre el espesor máximo de las probetas será de 10 mm. Las probetas deben presentar superficies libres de defectos visibles, imperfecciones o arañazos. Las marcas proporcionadas a las operaciones del mecanizado de la probeta serán eliminadas con una lima fina

o un abrasivo y las superficies limadas serán suavizados con papel abrasivo. El terminado final se hará en una dirección paralela al eje largo de la probeta.

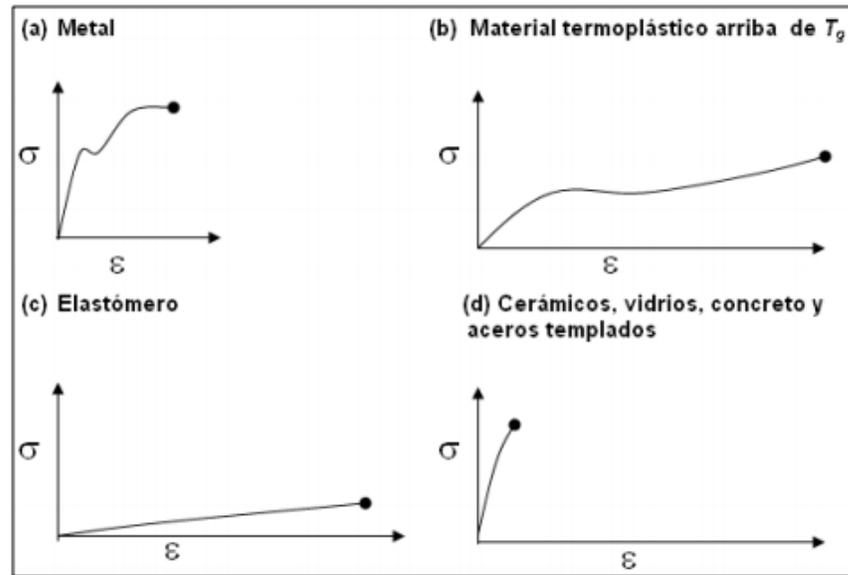
Si se requiere hacer marcas para las mordazas, se harán con pinturas de cera o tinta china, las cuales no alteran el material. Jamás se permiten arañazos o marcas con punzones. Si se sospecha de la presencia de anisotropía en las propiedades mecánicas, se realizarán probetas con idénticas dimensiones considerando sus ejes largos paralelos y perpendiculares a la dirección sospechada de anisotropía.

2.3.2 Comportamiento de los distintos materiales frente al ensayo de tensión

Un ensayo mecánico tensión-deformación más frecuente es el realizado a tracción. El ensayo de tracción se utiliza para establecer varias propiedades de los materiales. Regularmente se deforma una probeta hasta rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta.

El uso de los diferentes materiales frente al ensayo se encuentra ilustrado en la siguiente gráfica. La *figura 8* muestra en forma cualitativa las curvas de esfuerzo-deformación unitario normales para un metal, un material termoplástico, un cerámico y un elastómero. En esta Figura, las escalas son cualitativas y diferentes para cada material. En la práctica, las magnitudes reales de los esfuerzos y las deformaciones pueden ser muy contrarias entre sí. Se cree que el material plástico está arriba de su temperatura de transformación vítrea (T_g), mientras que los materiales metálicos y termoplásticos dejan ver una región inicial elástica, continua por una región plástica no lineal. Así mismo se comprende una curva aparte para los elastómeros (es decir, siliconas o hules), ya que la conducta de esos materiales es desigual del de otros materiales poliméricos. Para los elastómeros, una parte de la deformación es elástica y no lineal. Por otra parte, los cerámicos y los vidrios solo dejan ver una región elástica lineal y nunca muestran deformación plástica a temperatura ambiente. [32]

Figura 8: Curvas de esfuerzo deformación a la tensión, para distintos materiales. Fuente: [32]



2.3.3 Tipos de Rotura

La resistencia a la rotura no es una propiedad, es el resultado de un ensayo que da la tensión o carga requerida por unidad de sección para generar la rotura del material ensayado. Como la rotura de un material puede generarse por tracción, por compresión, por torsión o por cizalladura. Habrá una resistencia a la rotura por tracción, otra por compresión, otra por torsión y otra por cizalladura.

La fractura o rotura simple es la disociación de un cuerpo en dos o más piezas en contestación a una tensión aplicada estática (quiere decir, constante o que cambia gradualmente con el tiempo) y a temperaturas que son respectivamente bajas en comparación con la temperatura de fusión del material. Se interpretarán las fracturas que se derivan de cargas de tracción uniaxiales.

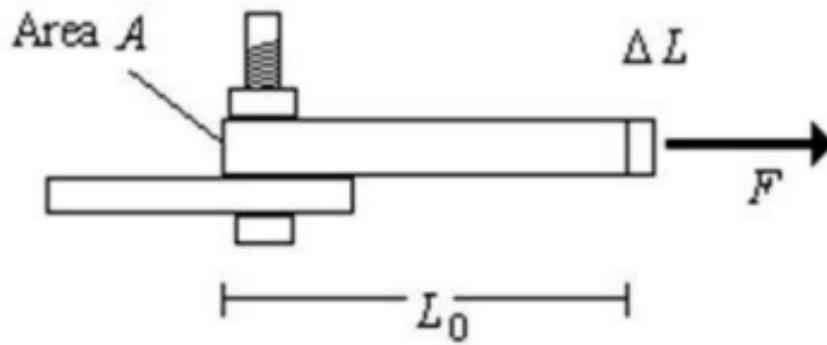
2.4 MÓDULO DE YOUNG

Para la representación de las propiedades elásticas de los objetos lineales, como alambres, varillas, volúmenes, tejidos, entre otros, que logran ser tanto extendidos como comprimidos, un parámetro provechoso es la proporción entre la fuerza y la deformación, parámetro llamado módulo de Young del material. Este puede

usarse para anunciar el estiramiento o la compresión de un objeto, teniendo en cuenta que la fuerza no exceda el límite elástico del material, se describe mediante la *figura 9*. [34]

$$\gamma \equiv \frac{\text{Esfuerzo de tensión}}{\text{deformación de tensión}} = \frac{F/A}{\Delta L/L_0} \quad (\text{ecuación 1})$$

Figura 9: Descripción módulo de Young. Fuente: [34]

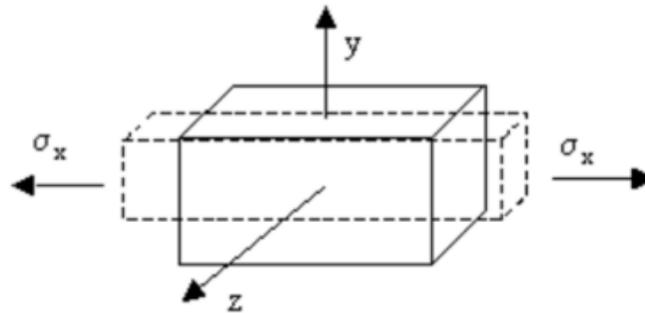


Es la correlación de la tensión realizada y la deformación adquirida en el parte lineal de la curva tensión-deformación (región elástica). Sus unidades son MPa o N/mm². Se estima mediante la tangente a la recta en el tramo línea.

2.5 COEFICIENTE DE POISSON

Es la medida característica de cada material que muestra la relación entre las deformaciones longitudinal que soporta el material en sentido perpendicular a la fuerza aplicada y las imperfecciones longitudinales en dirección de la fuerza de tracción, en dirección X se genera un alargamiento relativo en esa dirección y una reducción relativa y en las dos direcciones transversales, dicho efecto se puede observar en la *figura 10*. [23]

Figura 10: Coeficiente de Poisson. Fuente: [23]



$$V = \left| \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \right| = \left| \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x} \right| \quad (\text{ecuación 2})$$

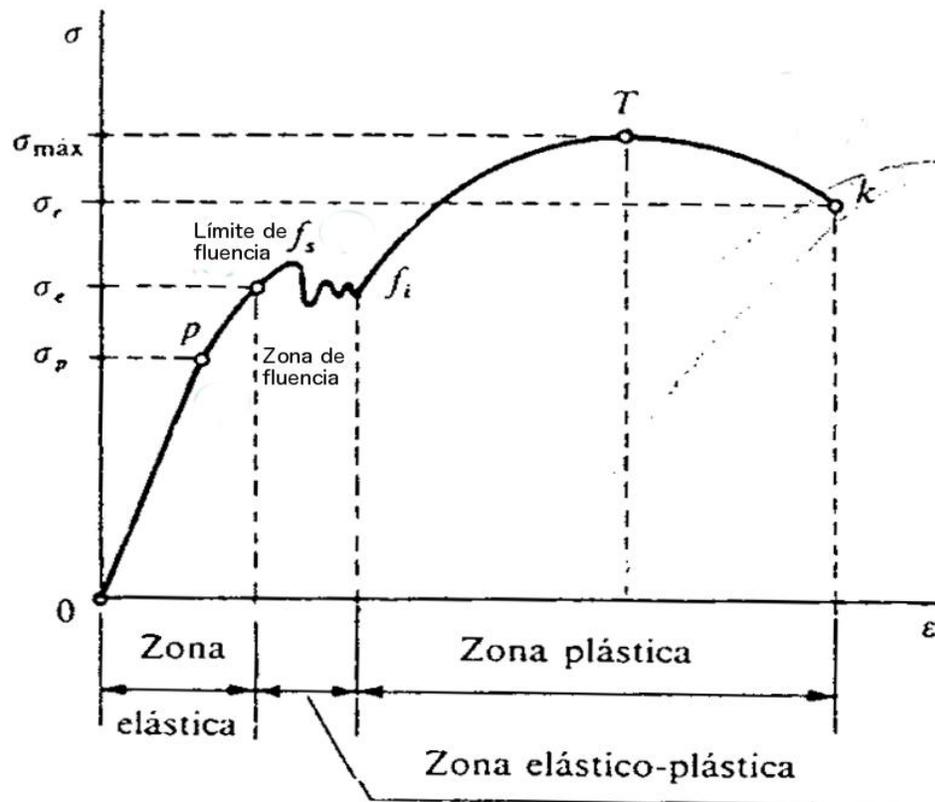
El coeficiente de Poisson se calcula entre 0 y 0.5, siendo su valor alrededor de 0.3 en gran parte de materiales, como el acero.

2.6 FLUENCIA

Deformación que se genera en un periodo de tiempo cuando un material está sometido a un esfuerzo continuo y a temperatura constante. La deformación irrecuperable de la probeta, donde sólo se recuperará la parte de su deformación correspondiente a la deformación elástica, quedando una deformación irreversible. Esta manifestación se sitúa encima del límite elástico, y se genera un alargamiento muy rápido sin modificar la tensión aplicada. Mediante el ensayo de tracción se calcula esta deformación particular que no todos los materiales experimentan. El fenómeno de fluencia se produce cuando las impurezas o los elementos de aleación aíslan las dislocaciones de la red cristalina frenando su deslizamiento, haciendo que el material se deforme plásticamente. Alcanzado el límite de fluencia se llegan a liberar las dislocaciones, originándose una brusca deformación. La deformación se distribuye uniformemente a lo largo de la probeta, pero reuniéndose en las zonas en las que se ha logrado liberar las dislocaciones. No todos los materiales muestran este fenómeno, en cuyo caso la transición entre la deformación elástica y plástica del material no se aprecia de forma clara, tales efectos se muestran en la *figura 11*.

En algunos materiales no se muestra notoriamente el límite de fluencia a partir de la curva del ensayo de tracción, por lo que por convenio se determina como límite de fluencia la tensión para la que la deformación longitudinal unitaria permanente alcanza el 0.2 %.

Figura 11: zona y Límite de Fluencia. Fuente: [13]



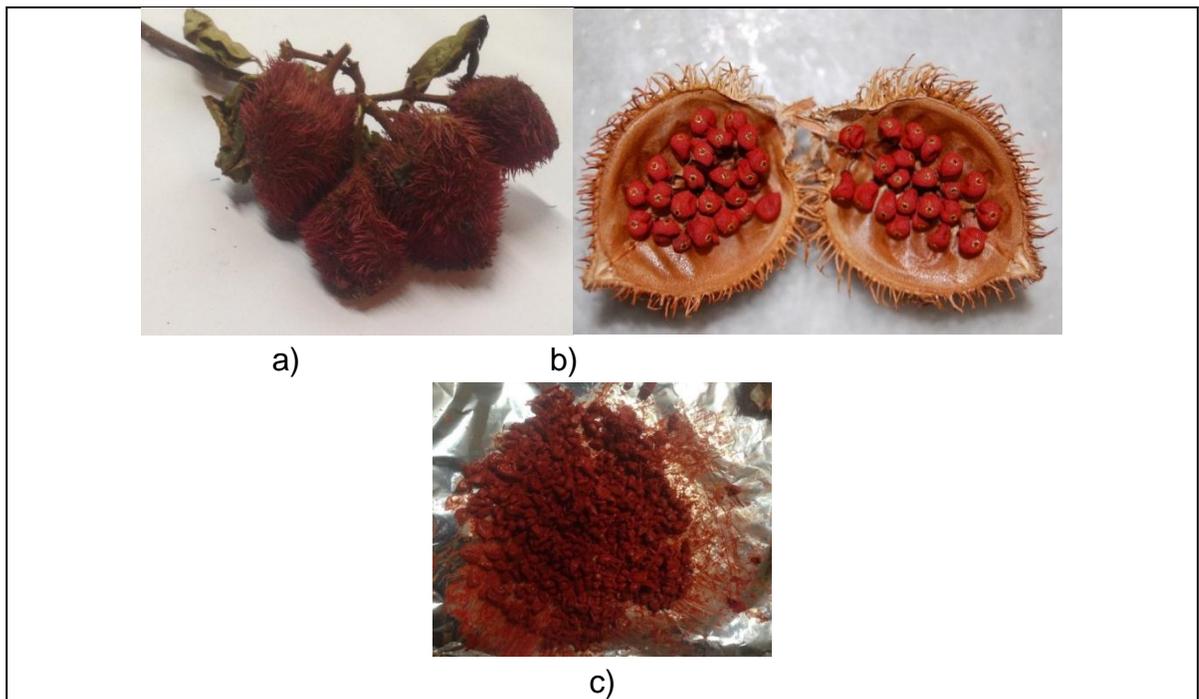
3. METODOLOGÍA

3.1 MATERIALES

Para llevar a cabo el presente trabajo se realizó inicialmente la selección de las resinas de poliuretano, acrílica, poliéster y la silicona, que presentan en la literatura propiedades que se pueden relacionar a tejidos corporales, seguidamente se eligieron las fibras naturales de achote, pelo de maíz, apio y yuca.

- Achote Cascara y semilla, (*Bixa Orellana*), especie botánica originaria de América, usada en la culinaria para dar color y un sabor particular a los alimento. La cascara de su semilla tiene una cubierta resinosa y aceitosa, sus semillas contienen una sustancia llamada annatto, formado fundamentalmente por bixina y otros apocarotenoides, en la *figura 12* se puede ver la planta.

Figura 12: Bixa Orellana, a) Conjunto de vainas de semillas, b) Vaina de una semilla partida, c) semillas. Fuente: [6]



- Apio, (*Apium graveolens*) especie vegetal, que posee tallos estriados que forman una gruesa penca con hojas acunadas. Es empleado por la medicina naturista como diurético, con un ligero efecto laxante, sedante, digestivo, regenerador sanguíneo y han evidenciado que ayuda a la formación del esmalte dentario, en la *figura 13* se observa la planta de apio [35].

Figura 13: planta de Apium graveolens. Fuente: [35]



- Pelos de maíz o barbas de choclo, planta gramínea utilizada por la medicina naturista para dolores renales, para reducir la presión arterial o el colesterol, para controlar la diabetes o para tratar las molestias digestivas, ayudan a limpiar las vías urinarias, en su presentación de infusión, la planta la podemos ver en la *figura 14* . [36]

Figura 14: Pelos de maíz o barbas de choclo. [36]



- Yuca, (mandioca), es originaria del centro de América del Sur y cultivada en zonas tropicales y subtropicales del continente americano. Se ha evidenciado que su raíz tienen una sustancia venenosa en algunas variedades, lo que hace que sea inutilizable sin una adecuada cocción, necesaria además para reducir la rigidez de la pulpa, en la *figura 15* se aprecia una foto del tubérculo. [37]

Figura 15: Yuca, Tubérculo. [37]

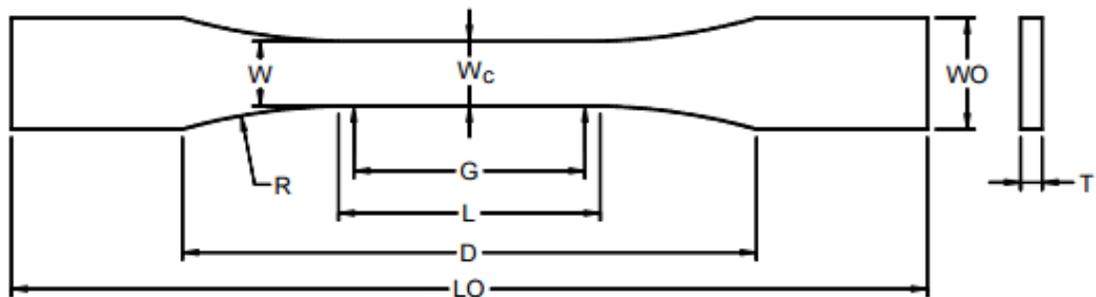


3.2 PROTOCOLO PARA ELABORACIÓN DE PROBETAS

Se elaboraron los moldes de acuerdo a la norma ASTM D638, la cual es la norma general para evaluar el esfuerzo de tensión de los polímeros, se seleccionó el tipo de probeta V ya que estas son utilizadas cuando se realizan estudios con

limitaciones de material a ensayar y materiales experimentales, se manejó la geometría propuesta de cinta o probeta rectangular.

Figura 16: Tipos I, II, III y V de probetas, w_0 : ancho total, w : ancho de la sección estrecha, L : longitud de la sección estrecha, L_0 : Longitud total, G : longitud de referencia, D : distancia entre las mordazas, R : radio. [38]



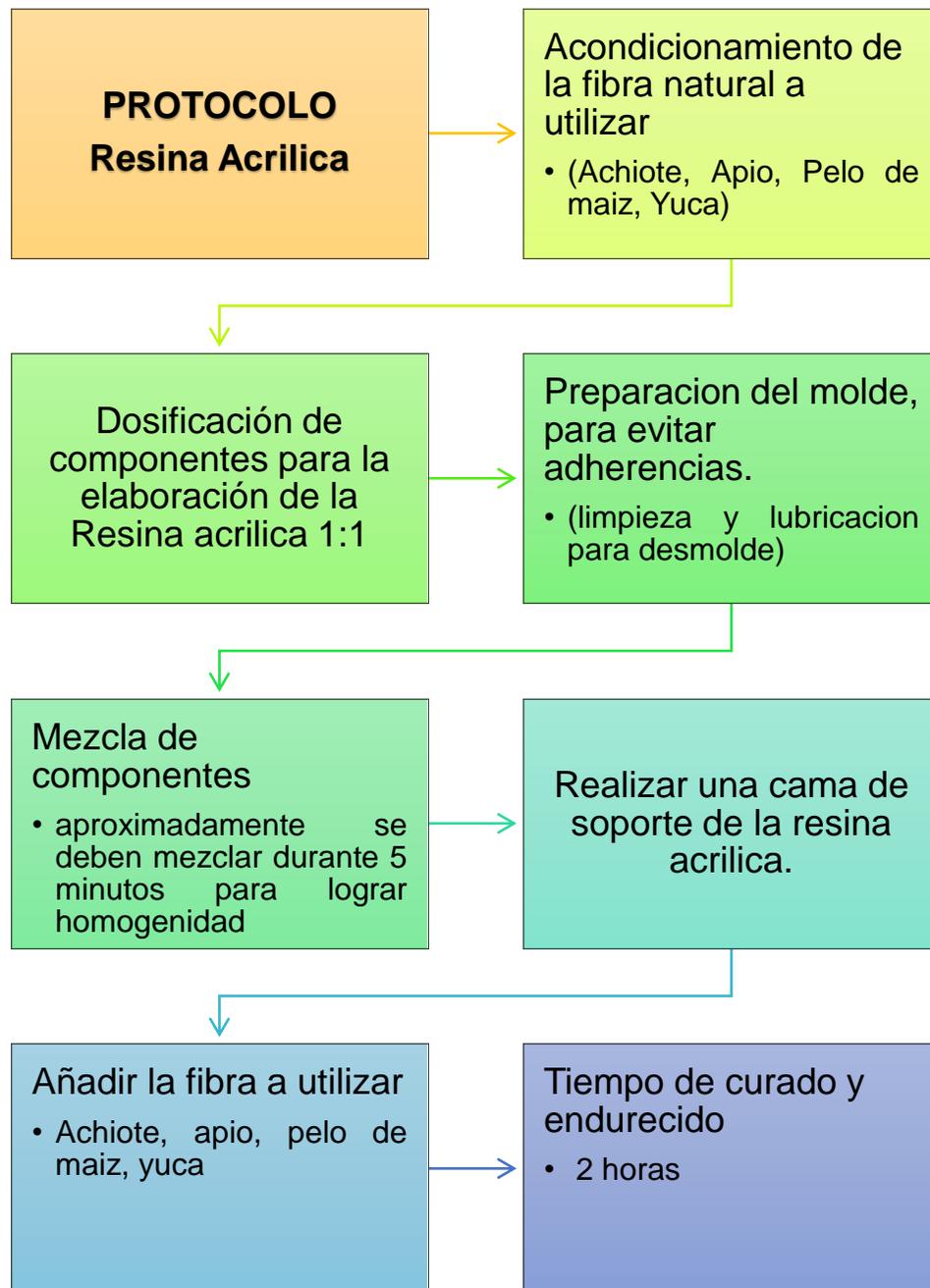
En la figura 17 se describe el protocolo utilizado para la elaboración de la probeta de resina de poliuretano, lo cual iniciamos con la consecución de la resina con el catalizador y las descripciones del fabricante para su solidificación, estas implican que se realice en una relación de 3:1, se procede al acondicionamiento de la fibra a utilizar, la cual en la mayoría de los casos debe dejarse secar por 4 horas para evitar que cree una capa aislante con la resina, se aplica en un recipiente plástico 3mg de resina y 1mg de catalizador, los cuales deben ser mezclados uniformemente para garantizar su polimerización, previamente se ha realizado una lubricación al molde con la finalidad de evitar adherencias de la resina, con ello procedemos a aplicar en el molde una fina capa de resina que funciona como cama de la fibra para evitar capsulas de aire al interior de la matriz, de forma vertical y rápidamente se van poniendo las fibras e inmediatamente se cubre con una capa de la resina impregnado la probeta, para dar paso a dejarla por 45 minutos en la cámara extractora de gases. Una vez pasado el tiempo de curado se procede con cuidado a desmoldar y de esta manera se obtiene la probeta, que será sometida a la prueba de tensión.

Figura 17: Protocolo para elaboración de probetas de resina de poliuretano compuestos por fibras naturales. Fuente Autor.



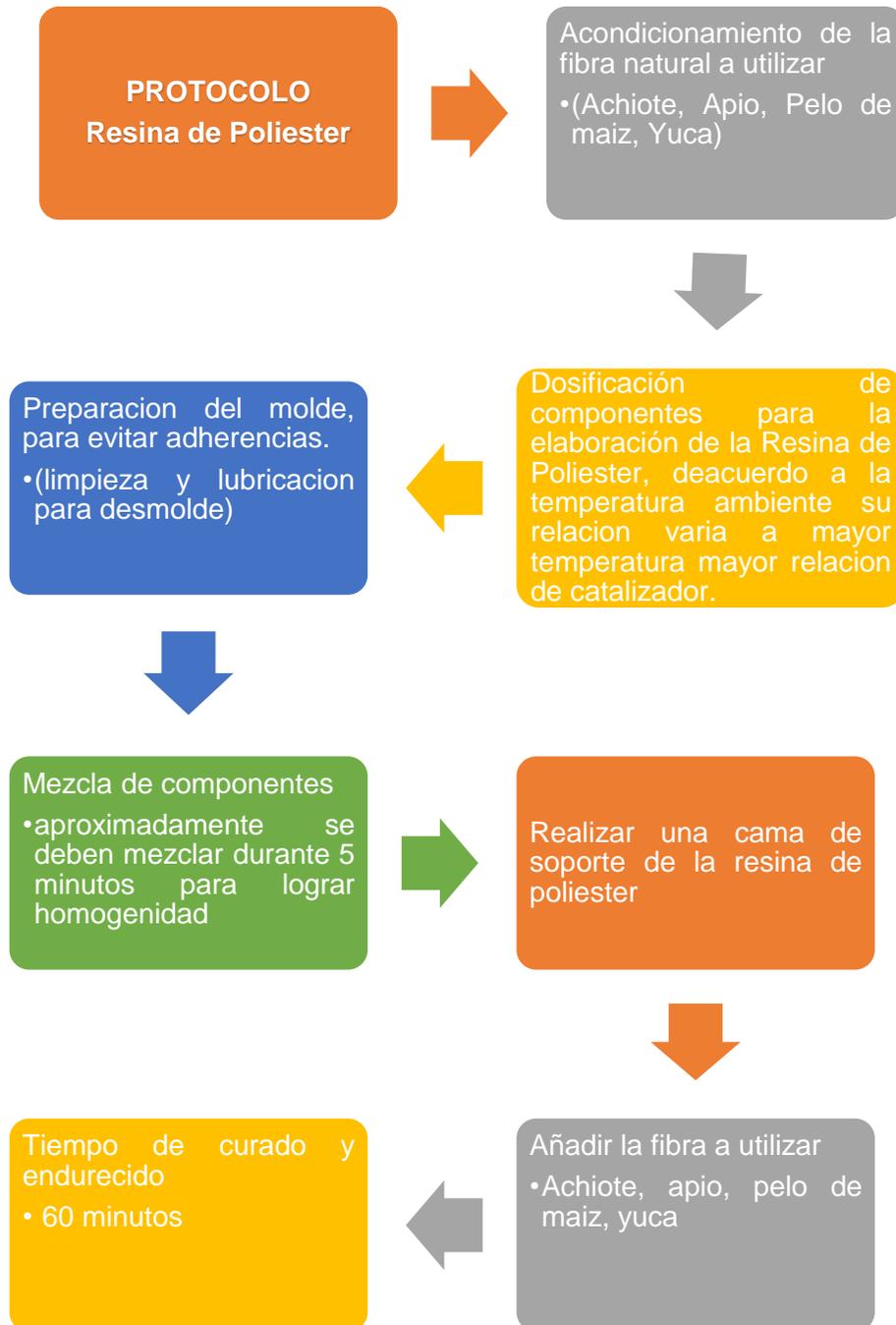
En la figura 18 se describe el protocolo utilizado para la elaboración de la probeta de resina Acrílica, lo cual iniciamos con la consecución de la resina con el catalizador y las descripciones del fabricante para su solidificación, estas implican que se realice en una relación de 1:1, se procede al acondicionamiento de la fibra a utilizar, la cual en la mayoría de los casos debe dejarse secar por 4 horas para evitar que cree una capa aislante con la resina, se aplica en un recipiente plástico *1mg* de resina y *1mg* de catalizador, los cuales deben ser mezclados uniformemente para garantizar su polimerización, previamente se ha realizado una lubricación al molde con la finalidad de evitar adherencias de la resina, con ello procedemos a aplicar en el molde una fina capa de resina que funciona como cama de la fibra para evitar capsulas de aire al interior de la matriz, de forma vertical y rápidamente se van poniendo las fibras e inmediatamente se cubre con una capa de la resina impregnado la probeta, para dar paso a dejarla por 45 minutos en la cámara extractora de gases. Una vez pasado el tiempo de curado se procede con cuidado a desmoldar y de esta manera se obtiene la probeta, que será sometida a la prueba de tensión.

Figura 18: Protocolo para elaboración de probetas de resina acrílica compuestos por fibras naturales. Fuente Autor.



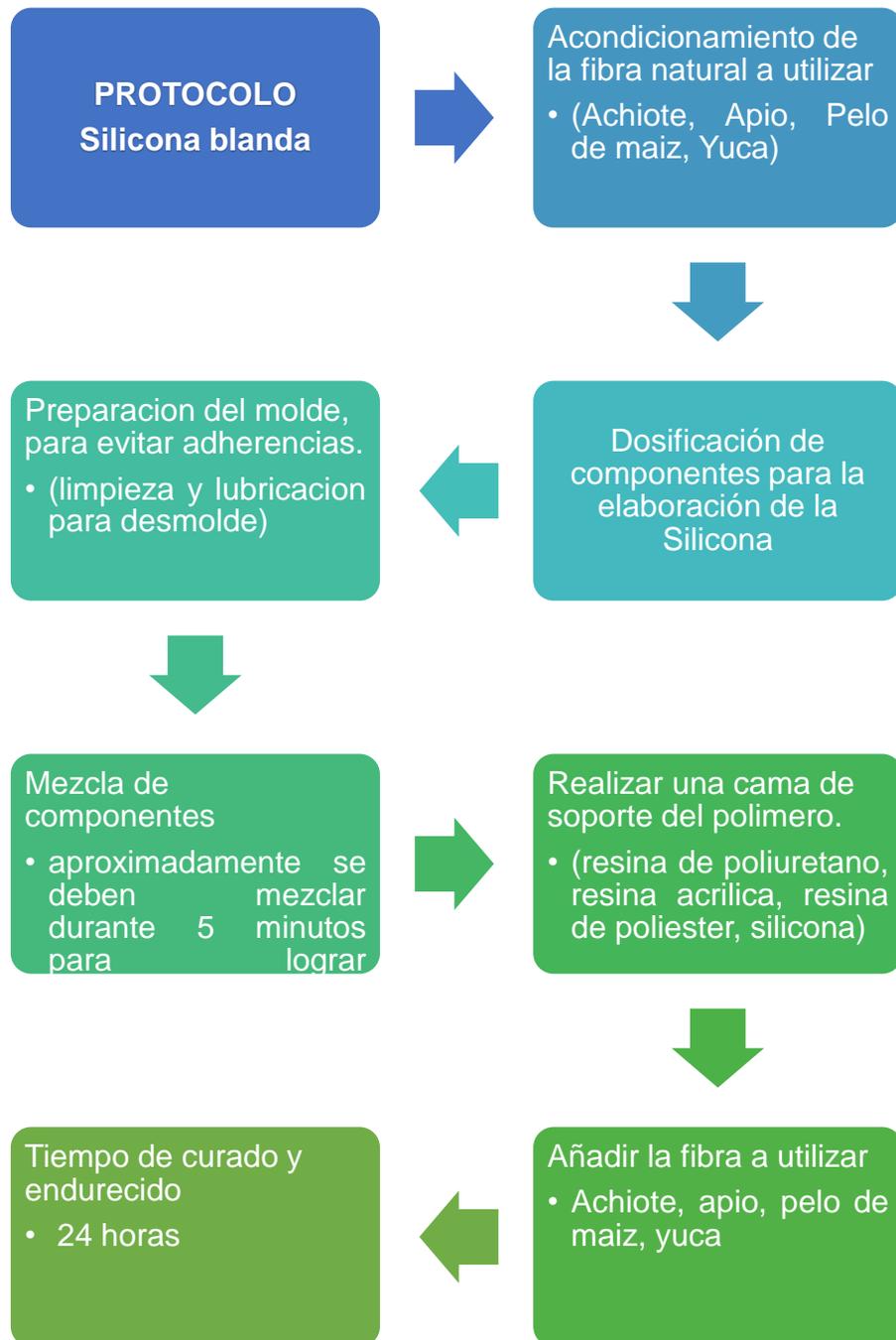
En la figura 19 se describe el protocolo utilizado para la elaboración de la probeta de resina de poliéster, lo cual iniciamos con la consecución de la resina con el catalizador y las descripciones del fabricante para su solidificación, estas implican que se realice en una relación de 1:3 dependiendo de la temperatura externa, se procede al acondicionamiento de la fibra a utilizar, la cual en la mayoría de los casos debe dejarse secar por 4 horas para evitar que cree una capa aislante con la resina, se aplica en un recipiente plástico *1mg* de resina y *3mg* de catalizador, los cuales deben ser mezclados uniformemente para garantizar su polimerización, previamente se ha realizado una lubricación al molde con la finalidad de evitar adherencias de la resina, con ello procedemos a aplicar en el molde una fina capa de resina que funciona como cama de la fibra para evitar capsulas de aire al interior de la matriz, de forma vertical y rápidamente se van poniendo las fibras e inmediatamente se cubre con una capa de la resina impregnado la probeta, para dar paso a dejarla por 45 minutos en la cámara extractora de gases. Una vez pasado el tiempo de curado se procede con cuidado a desmoldar y de esta manera se obtiene la probeta, que será sometida a la prueba de tensión.

Figura 19: Protocolo para elaboración de probetas de resina poliéster compuesto por fibras naturales. Fuente Autor.



En la figura 20 se describe el protocolo utilizado para la elaboración de la probeta de silicona blanda, lo cual iniciamos con la consecución de la resina con el catalizador y las descripciones del fabricante para su solidificación, estas implican que se realice en una relación de 1:1, se procede al acondicionamiento de la fibra a utilizar, la cual en la mayoría de los casos debe dejarse secar por 4 horas para evitar que cree una capa aislante con la resina, se aplica en un recipiente plástico *1mg* de resina y *1mg* de catalizador, los cuales deben ser mezclados uniformemente para garantizar su polimerización, previamente se ha realizado una lubricación al molde con la finalidad de evitar adherencias de la resina, con ello procedemos a aplicar en el molde una fina capa de resina que funciona como cama de la fibra para evitar capsulas de aire al interior de la matriz, de forma vertical y rápidamente se van poniendo las fibras e inmediatamente se cubre con una capa de la resina impregnado la probeta, para dar paso a dejarla por 45 minutos en la cámara extractora de gases. Una vez pasado el tiempo de curado se procede con cuidado a desmoldar y de esta manera se obtiene la probeta, que será sometida a la prueba de tensión.

Figura 20: Protocolo para elaboración de probetas de silicona blanda compuesta por fibras naturales. Fuente Autor.



De acuerdo a lo anterior se mostrará gráficamente la descripción de la elaboración de la probeta de achiote. Inicialmente se realiza un acondicionamiento de la fibra, en el caso del achiote se abren los frutos que tienen forma de capsula, que contiene las semillas redondeadas de color rojizo, estas se ponen a secar durante 24 horas para eliminar el exceso de líquido y evitar presente una reacción con las resinas, este proceso se puede ver en la *figura 21 a*).

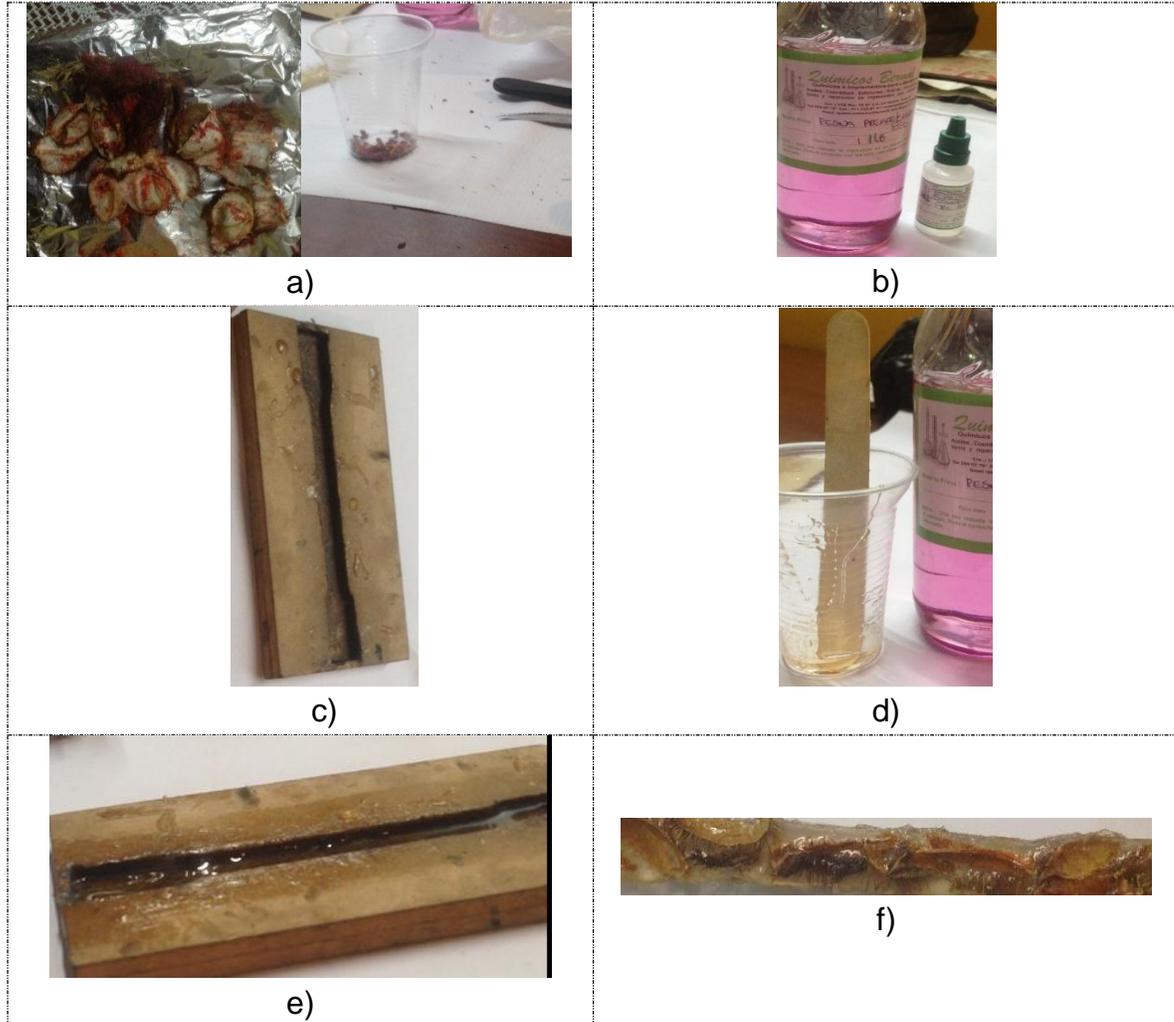
Al ejecutar la dosificación de componentes para la elaboración de las resinas es imprescindible contar con elementos de protección personal para evitar riesgos de contacto con estas sustancias, adicionalmente tener en cuenta las características del fabricante para la elaboración de las mismas, por ejemplo, la resina de poliuretano se recomienda una relación de 3:1 con su respectivo catalizador. En la *figura 21 b*) se observan los componentes para la solidificación de esta resina.

Los moldes deben ser tratados previamente con un agente de liberación para evitar que los materiales obtenidos finalmente se adhieran al molde, como se observa en la *figura 21 c*).

Se hace la mezcla de componentes y podemos ver en la *figura 21 d*) que cambia de color rosa a color amarillento a medida que el catalizador va actuando, este efecto se ve desde el segundo minuto de la mezcla.

Es importante aplicar una base de resina *figura 21 e*) en el molde y sobre este colocar las fibras que simulen una matriz para que no quede con vacíos y sus caras sean lo más lisas posibles. De forma ordenada se van poniendo las fibras en este caso se pusieron de forma vertical, tratando de no dejar espacios sin fibra, como se puede ver en la *figura 21 f*). Por último, se procede a dejar las probetas en cámara de extracción de gases, dejando un tiempo de curado y endurecido, según la resina, o según lo especifique el fabricante, de acuerdo a las características.

Figura 21: Proceso de acondicionamiento del achiotte compuesto por la apertura de capsula del fruto y la recolección de semillas. b) Dosificación de componentes para la elaboración de la resina de poliuretano con su respectivo catalizador, c) Preparación de molde, d) Mezcla de componentes, e) Base de resina, Ubicación de fibras en la probeta Fuente: autor.



3.2.1 Probeta de Cascaron Achiotte - poliuretano

Se hizo una probeta con fibra natural de cascara de achiotte con resina de poliuretano como se observa en la figura 22, de la cual se describen sus dimensiones a continuación:

Probeta rectangular, con un ancho de 12.70 mm , espesor 6.70 mm , con un área de sección transversal de $85,09\text{ mm}^2$, y una longitud calibrada para el ensayo uniaxial de $95,00\text{ mm}$, a una velocidad de $3,00\text{ mm/min}$.

Figura 22: Probeta de resina de poliuretano compuesta con Cascaron de achiote. Fuente: Autor.



3.2.2 Probeta de Cascaron Achiote - Poliéster

Se hizo una probeta con fibra natural de cascara de achiote con resina de poliéster como se observa en la *figura 23*, de la cual se describen sus dimensiones a continuación:

Probeta rectangular, con un ancho de *12,50 mm*, un espesor de *6,00 mm*, con un área de sección transversal de *75,00 mm²*, y una longitud calibrada para el ensayo uniaxial de *90,0000 mm* a una velocidad de *2,00 mm/min*.

Figura 23: Probeta de resina de poliéster compuesta con Cascaron de achiote. Fuente: Autor.



3.2.3 Probeta de Cascaron de Achiote – Silicona

Se hizo una probeta con fibra natural de cascara de achiote con silicona como se observa en la *figura 24*, de la cual se describen sus dimensiones a continuación:

Probeta rectangular, con un ancho de $11,00\text{ mm}$, y un espeso de $6,00\text{ mm}$, con un área de sección transversal de $66,00\text{ mm}^2$, y una longitud calibrada para el ensayo uniaxial de $95,00\text{ mm}$ a una velocidad de $2,00\text{ mm/min}$.

Figura 24: Probeta de silicona compuesta con Cascaron de achiote. Fuente: Autor.



3.2.4 Probeta de Semillas de achiote - Poliuretano

Se hizo una probeta con fibra natural de semillas de achiote con resina de poliuretano como se observa en la *figura 25*, de la cual se describen sus dimensiones a continuación:

Probeta rectangular, con un ancho de $13,00\text{ mm}$, y un espesor de $6,00\text{ mm}$, con un área de sección transversal de $78,00\text{ mm}^2$, y una longitud calibrada para el ensayo uniaxial de $90,00\text{ mm}$ a una velocidad de $2,00\text{ mm/min}$.

Figura 25: Probeta de resina de poliéster compuesta con semillas de achiote. Fuente: Autor.



3.2.5 Probeta de Fibra Apio - Poliuretano

Se hizo una probeta con fibra natural de apio con resina de poliuretano, como se observa en la *figura 26*, de la cual se describen sus dimensiones a continuación:

Probeta rectangular, con un ancho de $16,00\text{ mm}$, un espesor de $3,00\text{ mm}$, con un área de sección transversal de $48,00\text{ mm}^2$ y una longitud calibrada para el ensayo uniaxial de $97,00\text{ mm}$ a una velocidad de $2,00\text{ mm/min}$.

Figura 26: Probeta de resina de poliuretano compuesta con fibras de apio. Fuente: Autor.



3.2.6 Probeta de Fibra Apio - Acrílico

Se hizo una probeta con fibra natural de apio con resina acrílica, como se observa en la *figura 27*, de la cual se describen sus dimensiones a continuación:

Probeta rectangular, con un ancho de $15,00\text{ mm}$ y un espesor de $4,00\text{ mm}$, con un área de sección transversal de $60,00\text{ mm}^2$ y una longitud calibrada para el ensayo uniaxial de $94,00\text{ mm}$ a una velocidad de $2,00\text{ mm/min}$.

Figura 27: Probeta de resina acrílica compuesta con fibras de apio. Fuente: Autor.



3.2.7 Probeta de Fibra Pelo de Maíz - Poliuretano

Se hizo una probeta con fibra natural de pelo de maíz con resina de poliuretano, como se observa en la *figura 28*, de la cual se describen sus dimensiones a continuación:

Probeta rectangular, con un ancho de $16,00\text{ mm}$ y un espesor de $3,00\text{ mm}$, con un área transversal de $48,00\text{ mm}^2$ y una longitud calibrada para el ensayo uniaxial de $91,00\text{ mm}$ a una velocidad de $2,00\text{ mm/min}$.

Figura 28: Probeta de resina de poliuretano compuesta con fibras de pelo de maíz.
Fuente: Autor.



3.2.8 Probeta de Fibra Pelo de Maíz - Acrílico

Se hizo una probeta con fibra natural de pelo de maíz con resina Acrílica, como se observa en la *figura 29*, de la cual se describen sus dimensiones a continuación:

Probeta rectangular, con un ancho de $16,00\text{ mm}$ y un espesor de $4,00\text{ mm}$, con un área transversal de $64,00\text{ mm}^2$ y una longitud calibrada para el ensayo uniaxial de $88,00\text{ mm}$ a una velocidad de $2,00\text{ mm/min}$.

Figura 29: Probeta de resina acrílica compuesta con fibras de pelo de maíz. Fuente: Autor.



3.2.9 Probeta de Fibra Yuca - Poliuretano

Se hizo una probeta con fibra natural de yuca con resina de poliuretano, como se observa en la *figura 30*, de la cual se describen sus dimensiones a continuación:

Probeta rectangular, con un ancho de *15,40 mm* y un espesor de *5,00 mm*, con un área trasversal de *77,00 mm²* y una longitud calibrada para el ensayo uniaxial de *89,00 mm* a una velocidad de *2,00 mm/min*.

Figura 30: Probeta de resina de poliuretano compuesta con fibras de yuca. Fuente: Autor.



3.2.10 Probeta de Fibra Yuca - Acrílico

Se hizo una probeta con fibra natural de yuca con resina acrílica, como se observa en la *figura 31*, de la cual se describen sus dimensiones a continuación:

Probeta rectangular, con un ancho de $14,00\text{ mm}$ y un espesor de $4,00\text{ mm}$, con un área transversal de $56,00\text{ mm}^2$ y una longitud calibrada para el ensayo uniaxial de $93,00$ a una velocidad de $2,00\text{ mm/min}$.

Figura 31: Probeta de resina acrílica compuesta con fibras de yuca. Fuente: Autor.



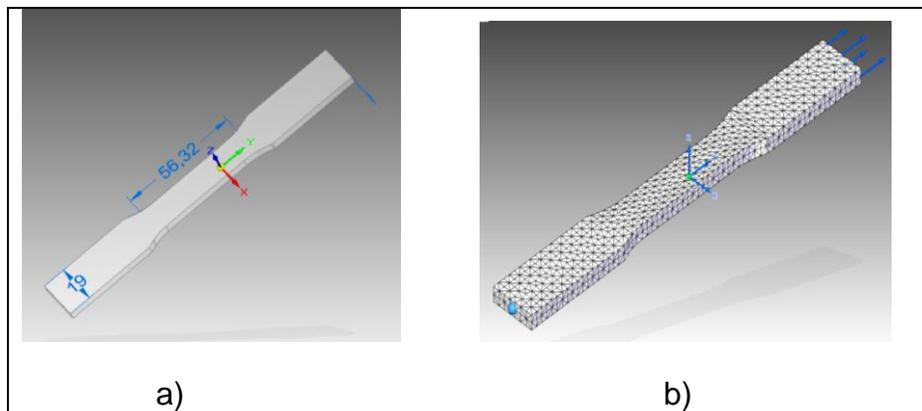
4. SIMULACIÓN

En este capítulo se presenta una simulación de las probetas diseñadas bajo la norma ATSM D638, teniendo en cuenta las propiedades de las resinas de poliuretano, acrílico, poliéster y silicona, desarrollada usando el Método de Elementos Finitos MEF, por medio de un usuario académico en el software comercial SOLID EDGE ST8 (Simulia System, USA), fundamentado en el diseño básico de piezas y simulaciones realizadas sobre estas. Los resultados se obtuvieron usando un Computador personal con procesador Intel(R) Core™ i5-3320M CPU @2.6Hz, memoria RAM 8GB, sistema operativo de 64 bits, con un bajo costo computacional promedio.

4.1 GEOMETRÍA

Se diseñó una geometría tridimensional de 25,37 mm de largo por 9,53mm de alto y un ancho de 6mm, de acuerdo a la norma ATSM D638, para la adecuada simulación con las propiedades de cada material polimérico, usando un mallado tetraédrico y condición de un estudio estático lineal, (figura 32).

Figura 32: Geometría básica Tridimensional (a) y Geometría básica tridimensional mallada (b) Fuente: autor



Las geometrías están compuestas de nodos representados en los tres ejes coordenados en globales y locales, teniendo en cuenta si esta será aplicada a todos los elementos que componen la cara o en su lugar a uno específico.

Las geometrías están compuestas de nodos representados en los tres ejes Coordenados en globales y locales, teniendo en cuenta si esta será aplicada a todos los elementos que componen la cara o en su lugar a uno específico.

Tabla 1: Coordenadas para una Geometría tridimensional básica. Fuente: [39]

Coordenadas	Valor
Local	$X_j = (X, Y, Z)$
Global	$X_j = (X, Y, Z) \forall (0, 0, 0)$

4.2 CONDICIONES INICIALES

Las condiciones iniciales simulan las variables de fuerzas según el peso de las probetas es decir de 23g, para una geometría 3D que se le aplica una fuerza de tensión 0,22N en la coordenada Y en sentido positivo distribuida en los bordes de la cara superior, se aplica una restricción en la coordenada X opuesta a la fuerza como se observa en los modelos diseñados para cada material, de acuerdo a lo anterior lo desarrollaremos la simulación de 4 probetas en resinas diferentes cada una con sus propiedades mecánicas las cuales se nombran en la tabla 2. En los próximos enunciados se describirán las condiciones aplicadas a las simulaciones.

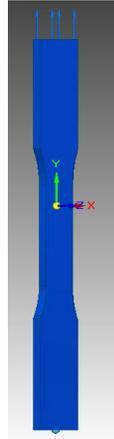
Tabla 2: propiedades mecánicas de los materiales. Fuente: [5]

zona del modelo	Material	Módulo elástico (MPa)	Coefficiente de poisson	Densidad (Kg/m ³)	Limite elástico (Mpa)
pie protésico	poliuretano	25,00	0,40	1.000	30,0
talón	silicona	6,10	0,49	1.110	92.000
hueso	poliéster	3,40	0,40	0,250	37,9
	acrílico	3,80	0,40	116	26,2

4.2.1 Modelo Poliuretano

Teniendo en cuenta las condiciones iniciales se aplicaron las propiedades mecánicas de la resina de poliuretano, se asignaron los parámetros de modulo elástico, densidad, coeficiente de Poisson, de acuerdo a la literatura, como se observa en la figura 33, para el desarrollo de la simulación.

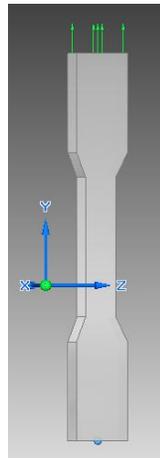
Figura 33: Diseño de Probeta con las propiedades de la resina de poliuretano. Fuente: autor



4.2.2 Modelo de Resina Acrílica

Teniendo en cuenta las condiciones iniciales en la figura 34 se muestra el modelo de probeta aplicando las propiedades mecánicas de la resina acrílica como modulo elástico, densidad, coeficiente de Poisson, para el desarrollo de la simulación.

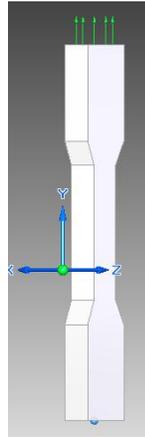
Figura 34: Diseño de Probeta con las propiedades de la resina de acrílica. Fuente: autor.



4.2.3 Modelo de Resina de poliéster

Teniendo en cuenta las condiciones iniciales en la figura 35 se muestra el modelo de probeta aplicando las propiedades mecánicas de la resina de poliéster como modulo elástico, densidad, coeficiente de Poisson, para el desarrollo de la simulación.

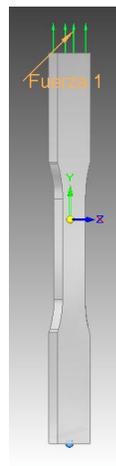
Figura 35: Diseño de Probeta con las propiedades de la resina de poliéster. Fuente: autor.



4.2.4 Modelo de Silicona

Teniendo en cuenta las condiciones iniciales en la figura 36 se muestra el modelo de probeta aplicando las propiedades de la silicona blanda como modulo elástico, densidad, coeficiente de Poisson, para el desarrollo de la simulación.

Figura 36: Diseño de Probeta con las propiedades de la silicona. Fuente: autor.



5. ANALISIS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos de la simulación en el software CAD y la prueba de tensión realizada a las probetas generadas, luego de realizar paso a paso el protocolo propuesto. Las pruebas que se exponen a continuación plantean la posibilidad de obtener a partir de fibras existentes en la naturaleza, un material compuesto a base de resinas que permita incrementar las propiedades de resistencia.

Teniendo en cuenta las condiciones iniciales, se determinará el comportamiento mecánico que presentan los polímeros compuestos por fibras naturales, diferenciando resultados de tensión las gráficas de fuerza Vs. extensión y esfuerzo Vs. deformación, los cuales se presentarán en cada compuesto trabajado.

Se tomaron las fibras naturales de achiote, apio, pelos de maíz y yuca, con la finalidad de compararlas con los diferentes tejidos que componen el pie, estas fueron sometidas a pruebas de tensión en una Máquina de prueba universal TINUS OLSEN serie T con una carga máxima de 10KN, una precisión de $\pm 0.5\%$ sobre el valor de carga aplicada desde el 2% hasta el 100% de la capacidad de la célula de carga.

5.1 Simulación - resina de poliuretano

De acuerdo a las condiciones iniciales, en la figura 37 se presentan los esfuerzos mecánicos según el criterio de von Mises, cuyos valores oscilan entre $0,106 \text{ MPa}$ y $54,7 \text{ MPa}$, evidenciando mayor tensión en las curvaturas y la longitud calibrada de la geometría de la probeta, oscilando entre $0,81 \text{ MPa}$ a $1,37 \text{ MPa}$. En la figura 38 se observan las vistas de proyección ortogonal al aplicarse la carga se logra notar que no hay una región que varíe la tensión de von Mises, y en la figura 39 se puede observar la deformación del poliuretano, que se encuentra entre 0 mm y $11,3 \text{ mm}$.

Figura 37: Modelo isométrico fuerzas actuantes en la probeta, con las propiedades del poliuretano. Fuente: autor.

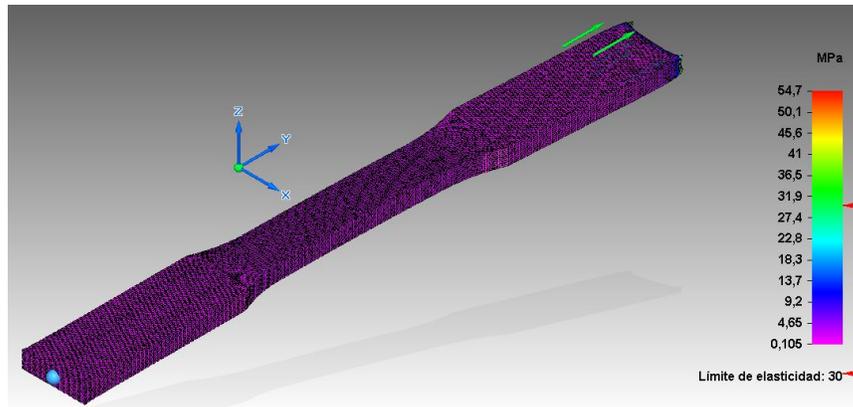


Figura 38: vistas de proyección ortogonal de la probeta, con las propiedades del poliuretano. Fuente: autor.

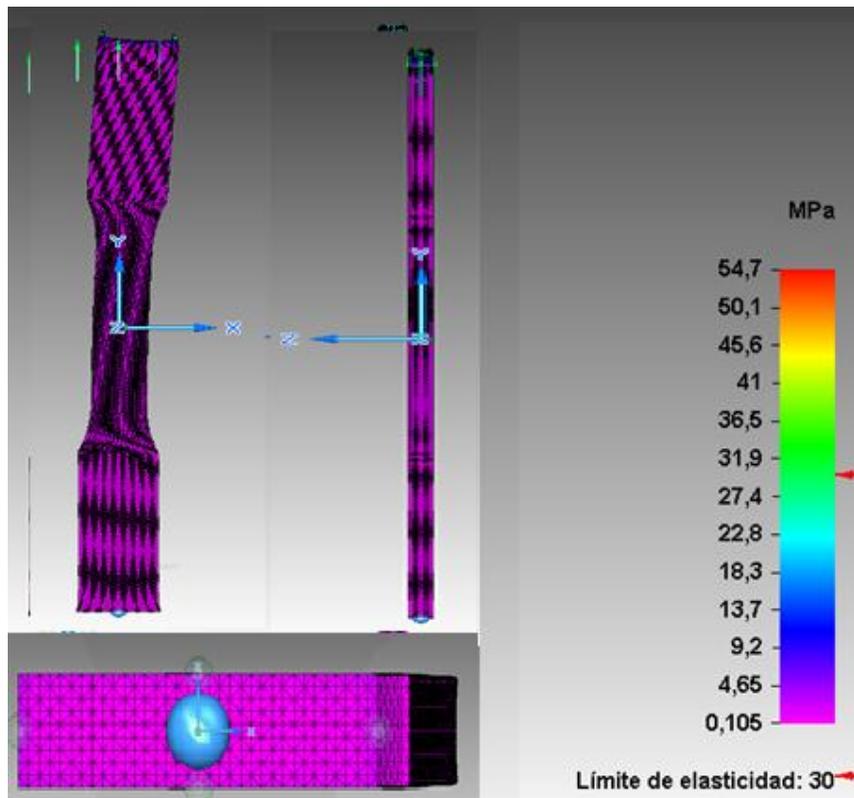
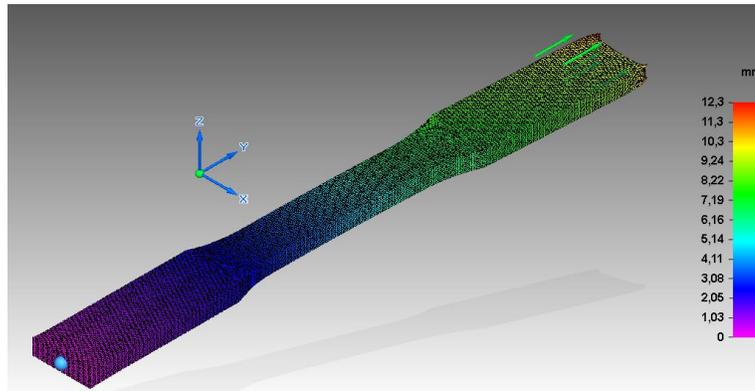


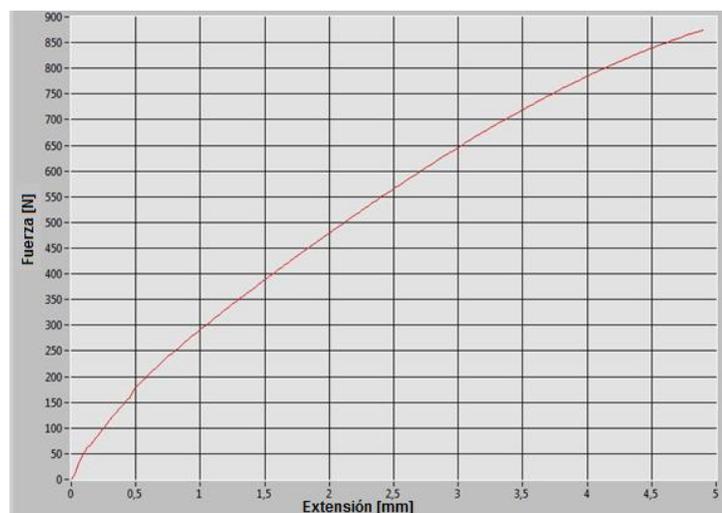
Figura 39: Resultado de la simulación probeta con las propiedades de la resina de poliuretano. Fuente: autor.



5.1.1 Ensayo de tensión poliuretano - Cascara de achote

En la *figura 40* se muestra la gráfica esfuerzo vs deformación obtenidas en el ensayo de tensión realizado la resina de poliuretano compuesto de achote (bixina), en la que se puede observar la relación que existe entre estas, a medida que el material es tensionado.

Figura 40: Gráfica esfuerzo vs deformación de la resina de poliuretano compuesto con achote Fuente: Autor



La *figura 41* muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación, el cual se calcula dividiendo la fuerza sobre área para obtener esfuerzo y la extensión sobre la longitud calibrada para obtener deformación, de ella se obtiene que el esfuerzo máximo de la probeta es de $10,49 \text{ MPa}$, el esfuerzo de ruptura de $5,53 \text{ MPa}$ y el

esfuerzo de fluencia de 9,91 Mpa y en la figura 42 se muestra la probeta luego de ser sometida a la prueba de tensión.

Figura 41: Gráfica esfuerzo vs deformación de la resina de poliuretano compuesta con achote Fuente: Autor

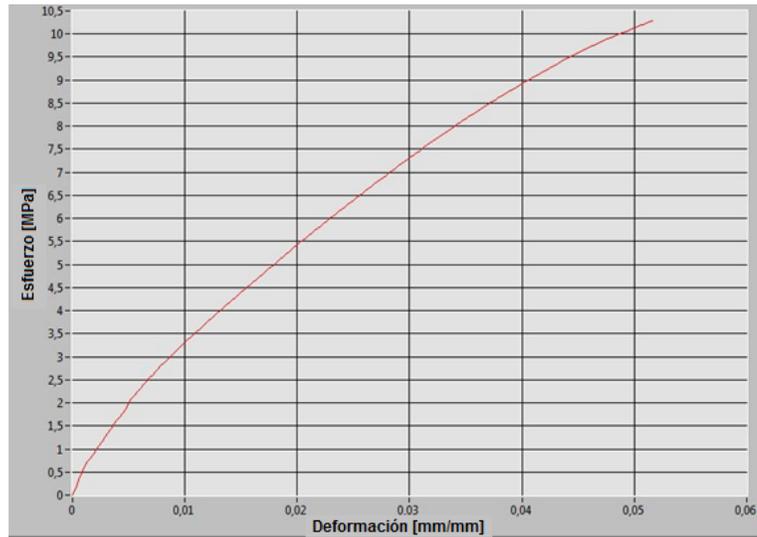


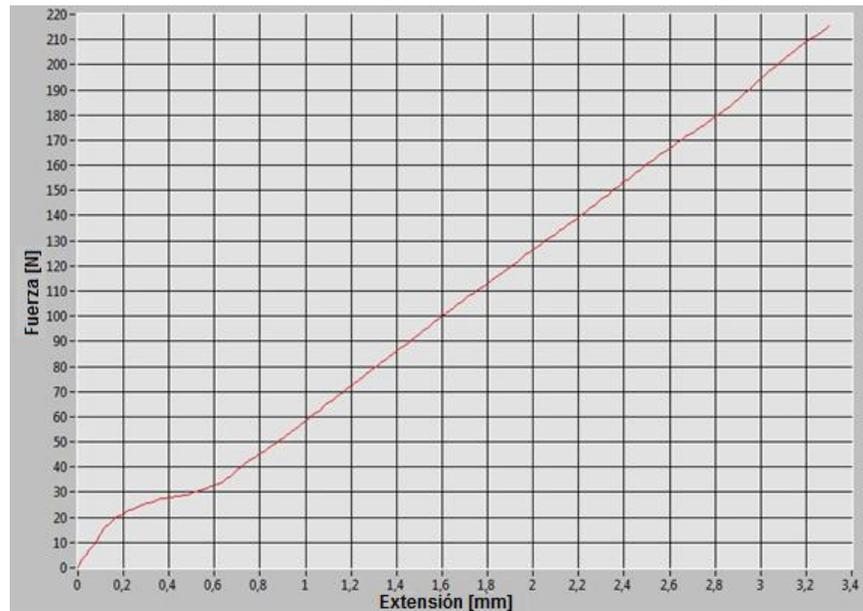
Figura 42: Ruptura Probeta de resina de poliuretano compuesta con cascara de achote, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.



5.1.2 Ensayo de tensión poliuretano - Semillas de achote

En la *figura 43* se muestra la gráfica esfuerzo vs deformación obtenidas en el ensayo de tensión realizado la resina de poliuretano compuesto de achote (bixina), en la que se puede observar la relación que existe entre estas, a medida que el material es tensionado, evidenciando a los $30N$ en los $6mm$ extensión iniciales, que representan de precarga del equipo.

Figura 43: Gráfica de fuerza vs extensión de la resina de poliuretano compuesta por semillas de achote. Fuente: Autor.



La *figura 44* muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación, el cual se calcula dividiendo la fuerza sobre área para obtener esfuerzo y la extensión sobre la longitud calibrada para obtener deformación, de ella se obtiene que el esfuerzo máximo de la probeta es de $3,39 MPa$, el esfuerzo de ruptura de $0,08 MPa$ y el esfuerzo de fluencia de $2,20 MPa$ y en la *figura 45* se muestra la probeta luego de ser sometida a la prueba de tensión.

Figura 44: Gráfica de esfuerzo vs deformación de la resina de poliuretano compuesta por semillas de achote. Fuente: Autor.

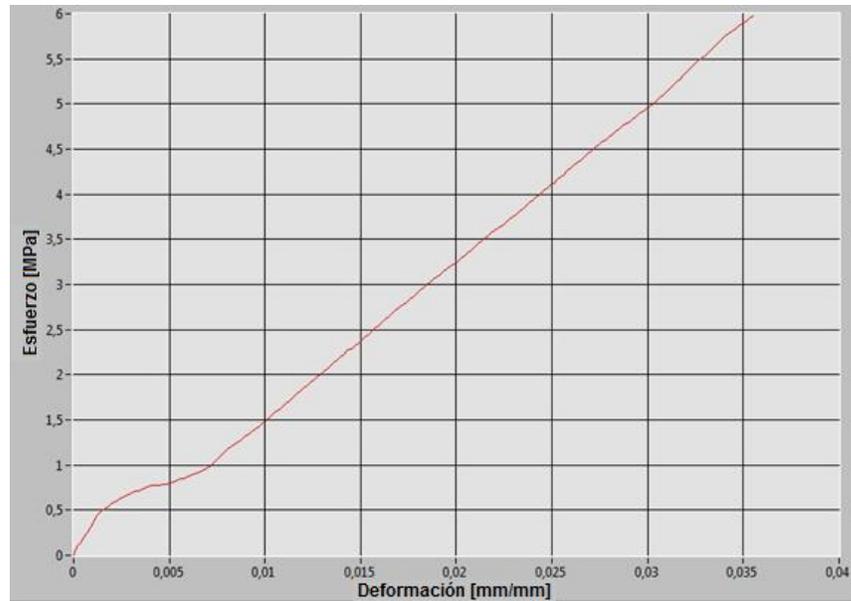
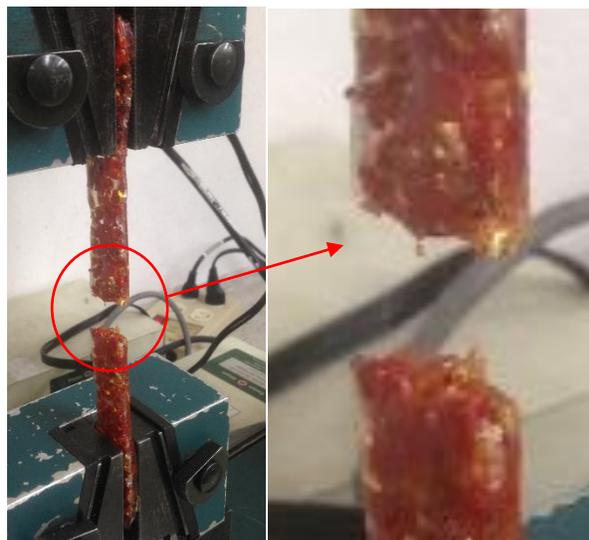


Figura 45: Ruptura Probeta de resina de poliuretano compuesta con semillas de achiote, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.

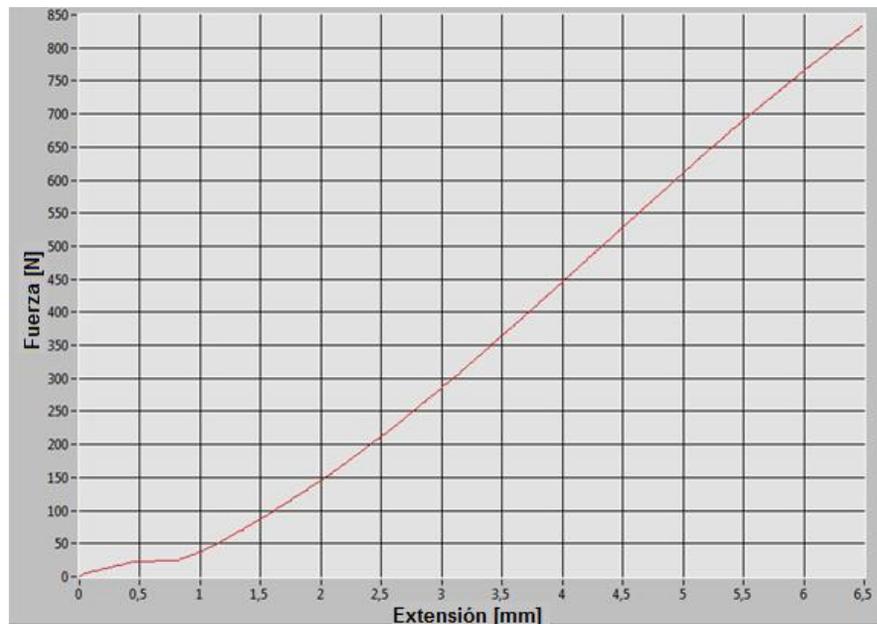


5.1.3 Ensayo de tensión poliuretano - Apio

En la figura 46 se muestra la gráfica esfuerzo vs deformación obtenidas en el ensayo de tensión realizado la resina de poliuretano compuesto de apio, en la que

se puede observar la relación que existe entre estas, a medida que el material es tensionado, se observa que finaliza la precarga en los 50N.

Figura 46: gráfica de fuerza vs extensión de la resina de poliuretano compuesta de fibras de apio. Fuente: Autor.



La *figura 47* muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación, el cual se calcula dividiendo la fuerza sobre área para obtener esfuerzo y la extensión sobre la longitud calibrada para obtener deformación, de ella se obtiene que el esfuerzo máximo de la probeta es de $18,15 \text{ MPa}$, el esfuerzo de ruptura de $18,15 \text{ MPa}$ y el esfuerzo de fluencia de $6,06 \text{ Mpa}$ y en la *figura 48* se muestra la probeta luego de ser sometida a la prueba de tensión.

Figura 47: gráfica de esfuerzo vs deformación de la resina de poliuretano compuesta de fibras de apio. Fuente: Autor.

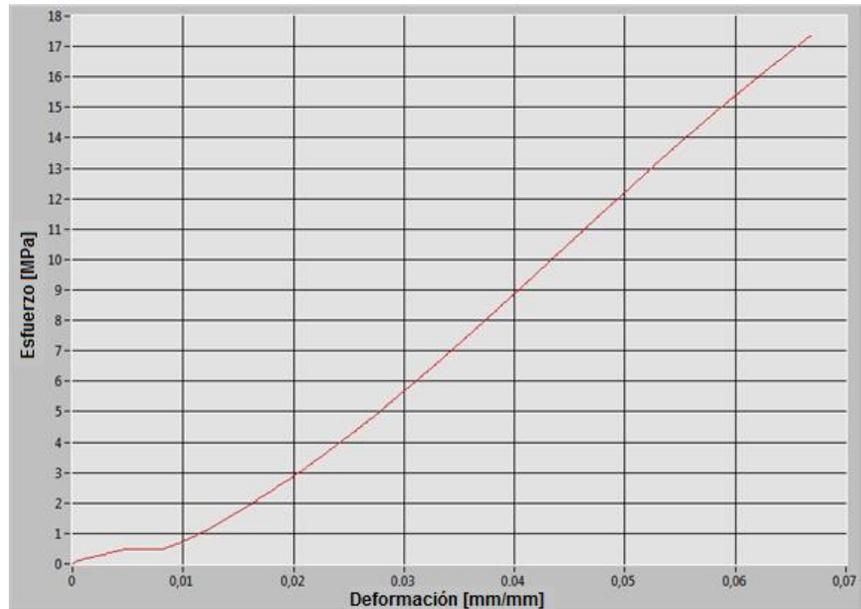
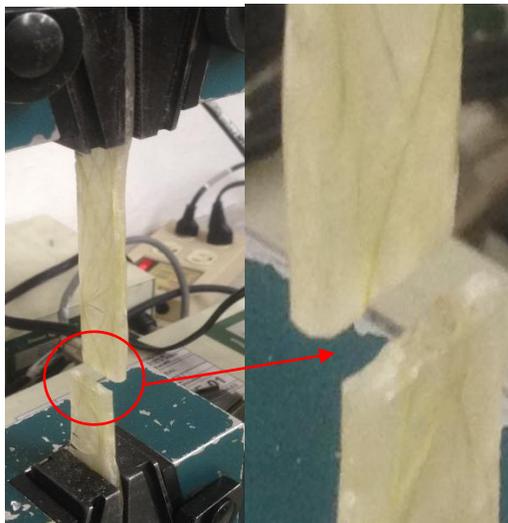


Figura 48: Ruptura Probeta de resina de poliuretano compuesta con cascara de achiote, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.

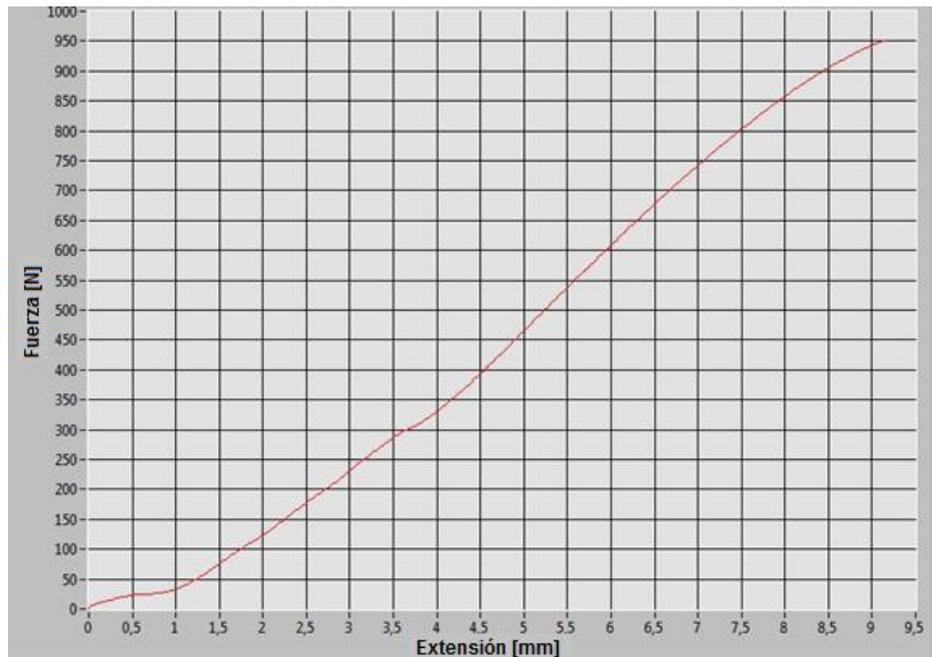


5.1.4 Ensayo de tensión poliuretano – Pelo de maíz

En la figura 49 se muestra la gráfica esfuerzo vs deformación obtenidas en el ensayo de tensión realizado la resina de poliuretano compuesto de pelo de maíz, en la que se puede observar la relación que existe entre estas, a medida que el

material es tensionado, se logra observar en la grafica el tiempo de precarga del equipo a los 50N de Fuerza.

Figura 49: Gráfica de fuerza vs extensión de la resina de poliuretano compuesta con pelo de mazorca. Fuente: Autor.



La figura 50 muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación, el cual se calcula dividiendo la fuerza sobre área para obtener esfuerzo y la extensión sobre la longitud calibrada para obtener deformación, de ella se obtiene que el esfuerzo máximo de la probeta es de $17,19 \text{ MPa}$, el esfuerzo de ruptura de $17,15 \text{ MPa}$ y el esfuerzo de fluencia de $4,21 \text{ MPa}$ y en la figura 51 se muestra la probeta luego de ser sometida a la prueba de tensión.

Figura 50: Gráfica de esfuerzo vs deformación de la resina de poliuretano compuesta con pelo de mazorca. Fuente: Autor.

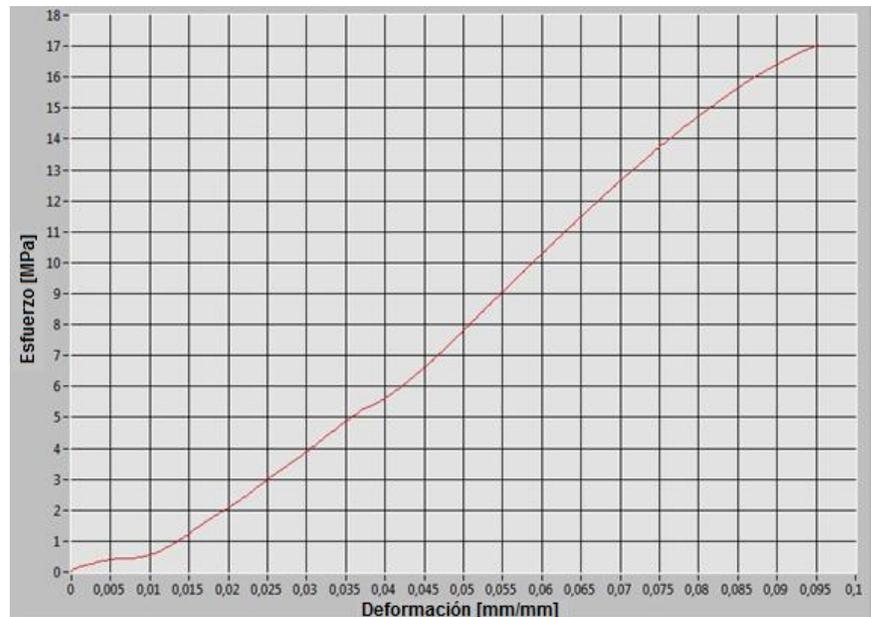


Figura 51: Ruptura Probeta de resina de poliuretano compuesta con pelo de mazorca, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.



5.1.5 Ensayo de tensión poliuretano - Yuca

En la figura 52 se muestra la gráfica esfuerzo vs deformación obtenidas en el ensayo de tensión realizado la resina de poliuretano compuesto de yuca, en la que se puede observar la relación que existe entre estas, a medida que el material es tensionado.

Figura 52: Grafica fuerza vs extensión de la resina de poluretano compuesto de fibras de yuca. Fuente: Autor.



La figura 53 muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación, el cual se calcula dividiendo la fuerza sobre área para obtener esfuerzo y la extensión sobre la longitud calibrada para obtener deformación, de ella se obtiene que el esfuerzo máximo de la probeta es de 11,09 MPa, el esfuerzo de ruptura de 6,23 MPa y el esfuerzo de fluencia de 7,92 Mpa y en la figura 54 se muestra la probeta luego de ser sometida a la prueba de tensión.

Figura 53: Grafica esfuerzo vs deformación de la resina de polipropileno compuesto de fibras de yuca. Fuente: Autor.

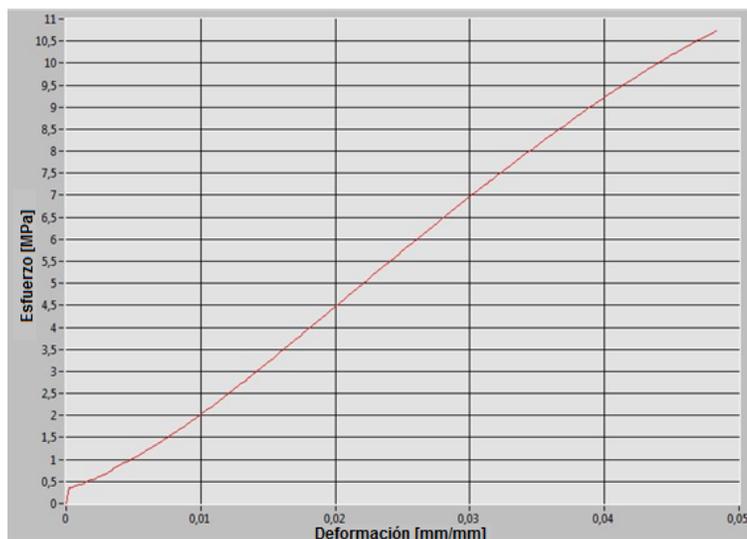


Figura 54: Ruptura Probeta de resina poliuretano compuesta con fibras de yuca. Fuente: Autor



5.2 Simulación - resina acrílica

En la *figura 55* se presentan los esfuerzos mecánicos según el criterio de von mises y se logra notar que no hay una región que varíe la tensión entre el rango de $0,7 \text{ MPa}$ y 32 MPa , evidenciando mayor tensión en parte superior donde se aplica la fuerza.

Se aplican las fuerzas en los bordes de la probeta y como se evidencia en la simulación, la tensión en la parte superior, llega a ser de 12 MPa a 32 MPa .

En la geometría de la *figura 55* se puede observar la deformación del acrílico, donde presenta mayor deformación es en el extremo de la probeta con un desplazamiento máximo de $0,14 \text{ mm}$ y en la parte de la restricción no presenta ningún desplazamiento.

Figura 55: Modelo isométrico fuerzas actuantes en la probeta, con las propiedades del poliuretano. Fuente: autor.

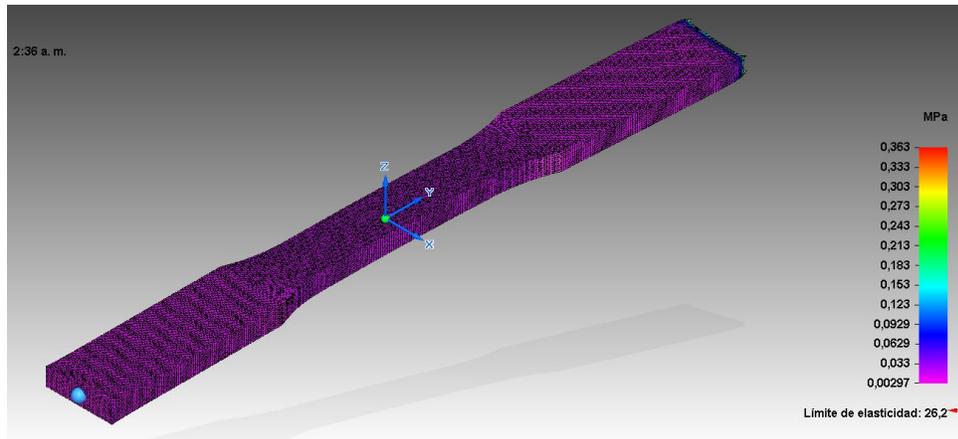


Figura 56: vistas de proyección ortogonal de la probeta, con las propiedades de la resina acrílica. Fuente: autor.

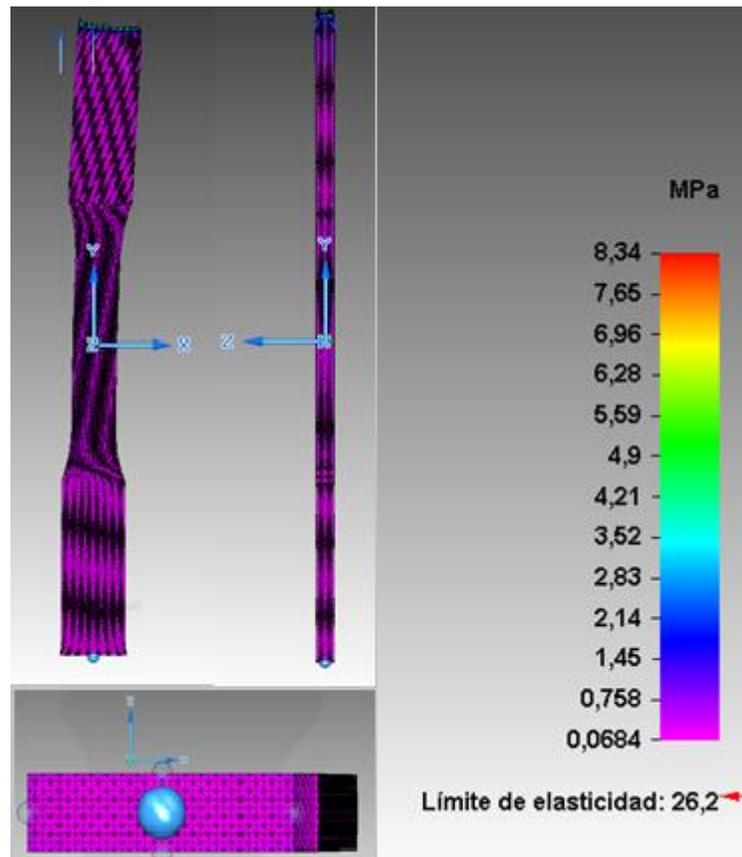
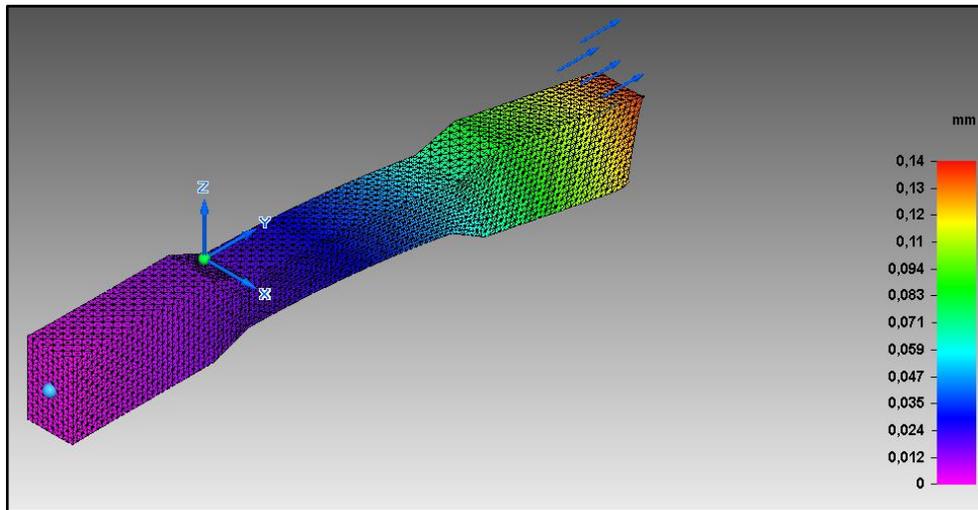


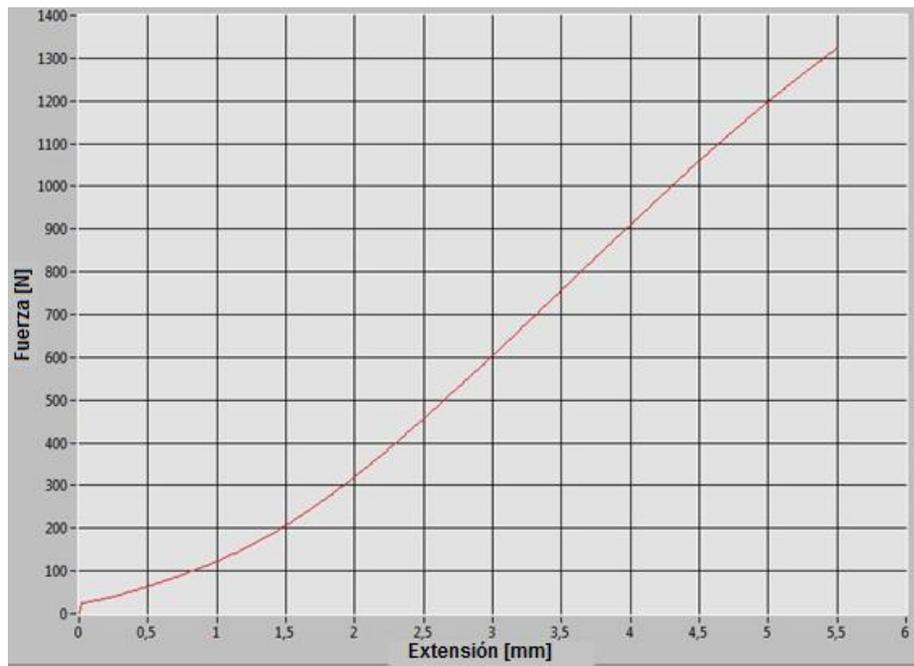
Figura 57: Resultado de la simulación probeta con las propiedades de la resina de poliuretano. Fuente: autor.



5.2.1 Ensayo de tensión en resina acrílica - Apio

En la *figura 58* se muestra la gráfica esfuerzo vs deformación obtenidas en el ensayo de tensión realizado la resina acrílica compuesto de fibras de apio, en la que se puede observar la relación que existe entre estas, a medida que el material es tensionado.

Figura 58: Gráfica de fuerza vs extensión de la resina acrílica compuesta de fibras de apio. Fuente: Autor.



La *figura 59* muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación, el cual se calcula dividiendo la fuerza sobre área para obtener esfuerzo y la extensión sobre la longitud calibrada para obtener deformación, de ella se obtiene que el esfuerzo máximo de la probeta es de $23,07 \text{ MPa}$, el esfuerzo de ruptura de $23,07 \text{ MPa}$ y el esfuerzo de fluencia de $10,23 \text{ Mpa}$ y en la *figura 60* se muestra la probeta luego de ser sometida a la prueba de tensión.

Figura 59: Gráfica de esfuerzo vs deformación de la resina acrílica compuesta de fibras de apio. Fuente: Autor.

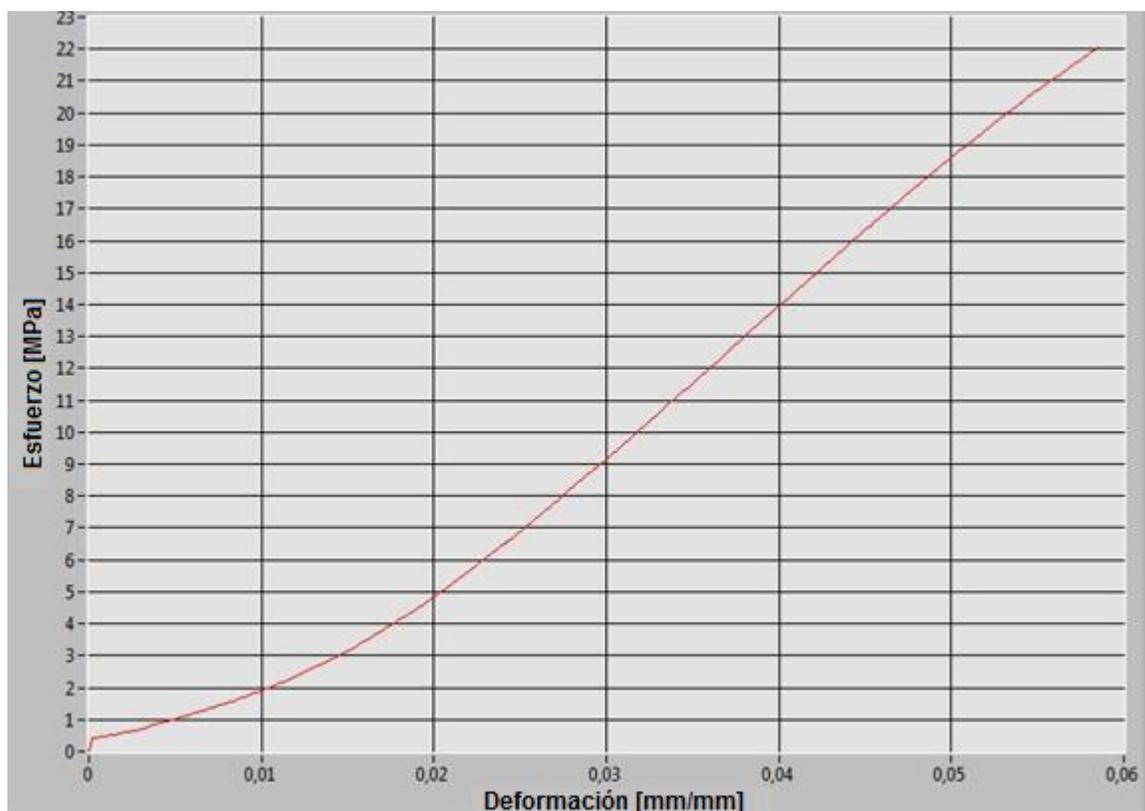
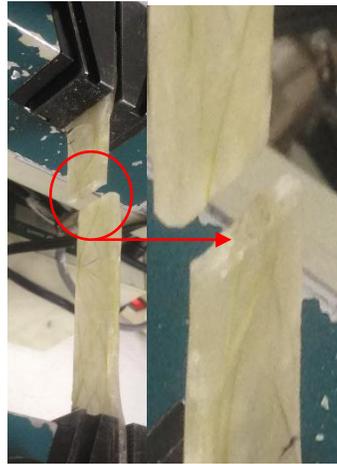


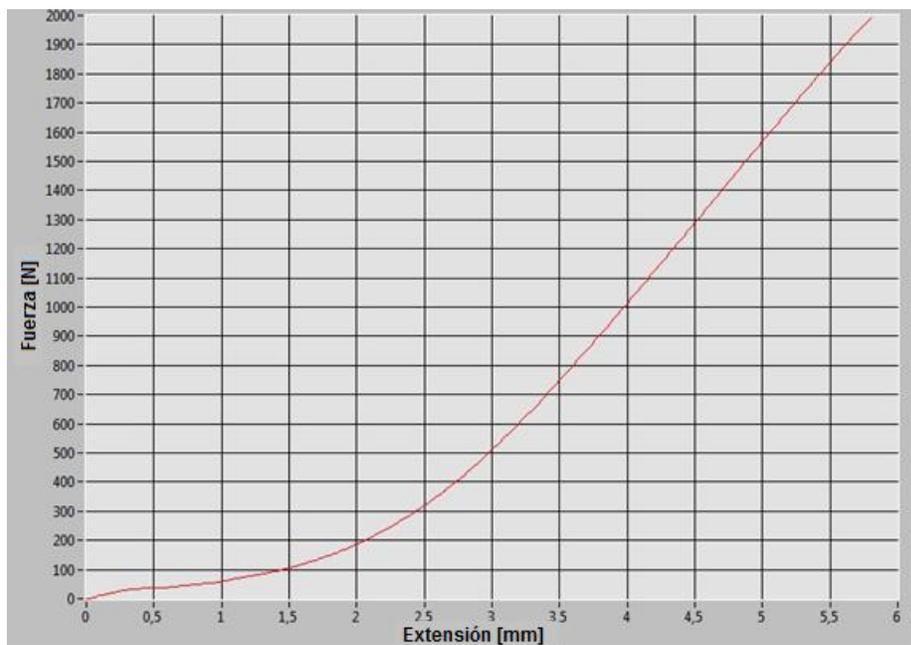
Figura 60: Ruptura Probeta de resina acrílica compuesta con fibras de apio. Fuente: Autor



5.2.2 Ensayo de tensión acrílico - Yuca

En la figura 61 se muestra la gráfica esfuerzo vs deformación obtenidas en el ensayo de tensión realizado la resina acrílica compuesto de fibras de yuca, en la que se puede observar la relación que existe entre estas, a medida que el material es tensionado.

Figura 61: gráfica de fuerza vs extensión de la resina acrílica compuesto de fibras de yuca. Fuente: Autor.



La *figura 62* muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación, el cual se calcula dividiendo la fuerza sobre área para obtener esfuerzo y la extensión sobre la longitud calibrada para obtener deformación, de ella se obtiene que el esfuerzo máximo de la probeta es de $13,02 \text{ MPa}$, el esfuerzo de ruptura de $13,02 \text{ MPa}$ y el esfuerzo de fluencia de $9,86 \text{ MPa}$ y en la *figura 63* se muestra la probeta luego de ser sometida a la prueba de tensión.

Figura 62: Grafica esfuerzo vs deformación de la resina acrílica compuesto de fibras de yuca. Fuente: Autor

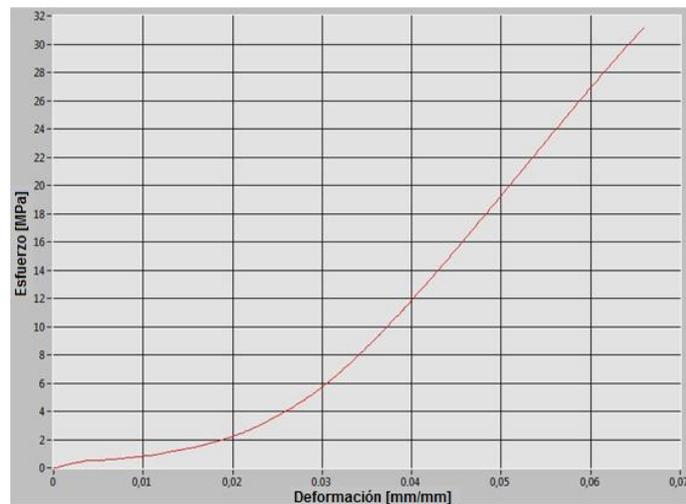


Figura 63: Ruptura Probeta de resina acrílica compuesta con fibras de pelo de maíz. Fuente: Autor.



5.3 Simulación Resina de poliéster

De acuerdo a las condiciones iniciales, en la figura 64 se presentan los esfuerzos mecánicos según el criterio de von misses, cuyos valores oscilan entre $0,02 \text{ MPa}$ y $7,7 \text{ MPa}$. En la figura 64 se observan las vistas de proyección ortogonal al aplicarse la carga se logra notar que no hay una región que varíe la tensión de von misses, y en la figura 65 se puede observar la deformación del poliéster, que se encuentra entre 0 mm y $2,3 \times 10^3 \text{ mm}$.

Figura 64: Modelo isométrico fuerzas actuantes en la probeta, con las propiedades del poliéster. Fuente: autor.

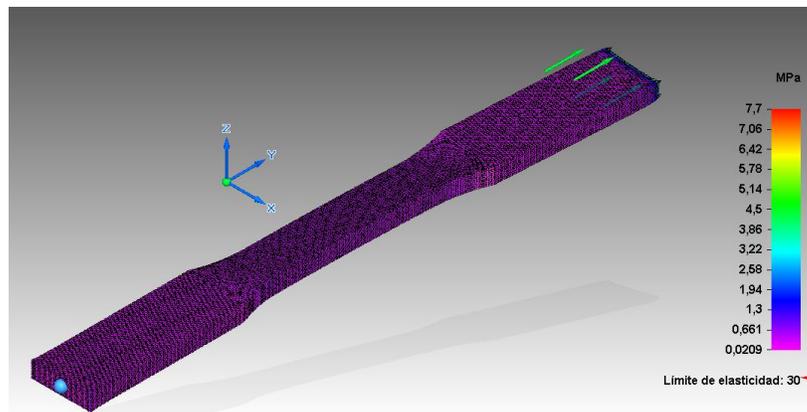


Figura 65: vistas de proyección ortogonal de la probeta, con las propiedades del poliéster. Fuente: autor.

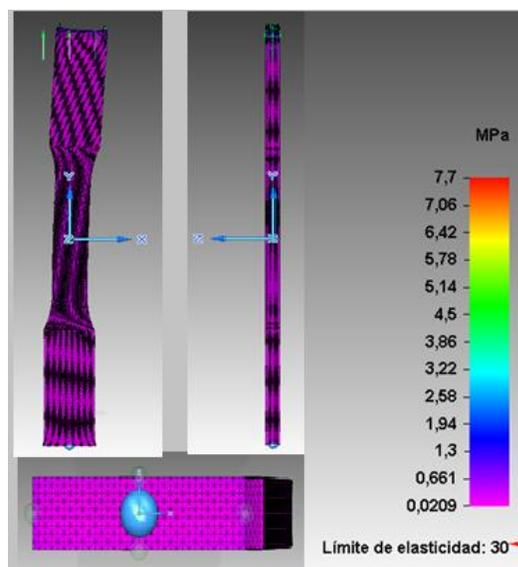
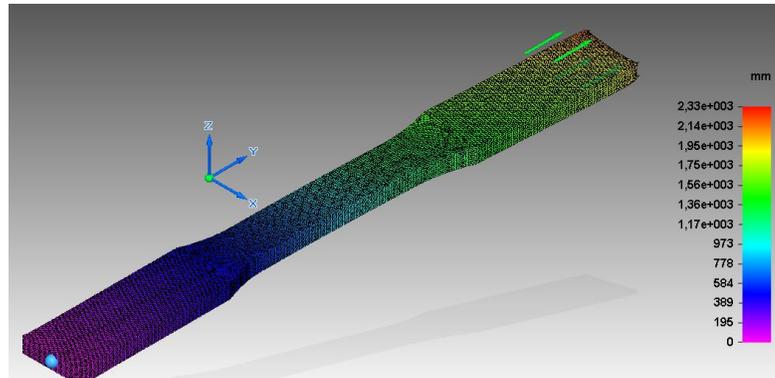


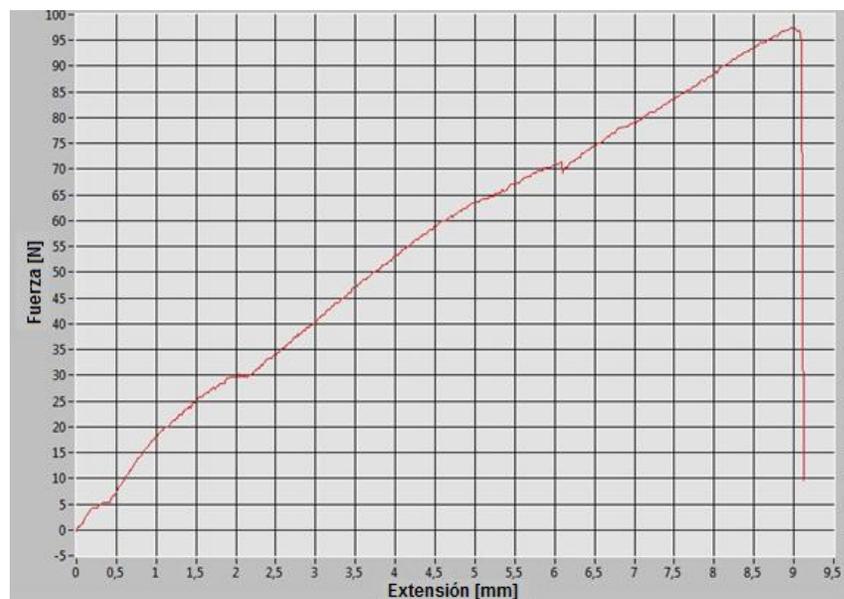
Figura 66: Resultado de la simulación probeta con las propiedades de la resina de poliéster. Fuente: autor.



5.3.1 Ensayo de tensión poliéster – Cascara de Achote

En la figura 67 se muestra la gráfica esfuerzo vs deformación obtenidas en el ensayo de tensión realizado la resina de poliéster compuesto de cascara de achote (bixina), en la que se puede observar la relación que existe entre estas, a medida que el material es tensionado.

Figura 67: Gráfica de fuerza vs extensión de la resina de poliéster compuesta de cascara de achote Fuente: Autor.



La *figura 68* muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación, el cual se calcula dividiendo la fuerza sobre área para obtener esfuerzo y la extensión sobre la longitud calibrada para obtener deformación, de ella se obtiene que el esfuerzo máximo de la probeta es de $1,29 \text{ MPa}$, el esfuerzo de ruptura de $1,25 \text{ MPa}$ y el esfuerzo de fluencia de $0,54 \text{ MPa}$ y en la *figura 69* se muestra la probeta luego de ser sometida a la prueba de tensión.

Figura 68: Gráfica esfuerzo vs deformación de la resina de poliéster compuesta de cascara de achote. Fuente: Autor

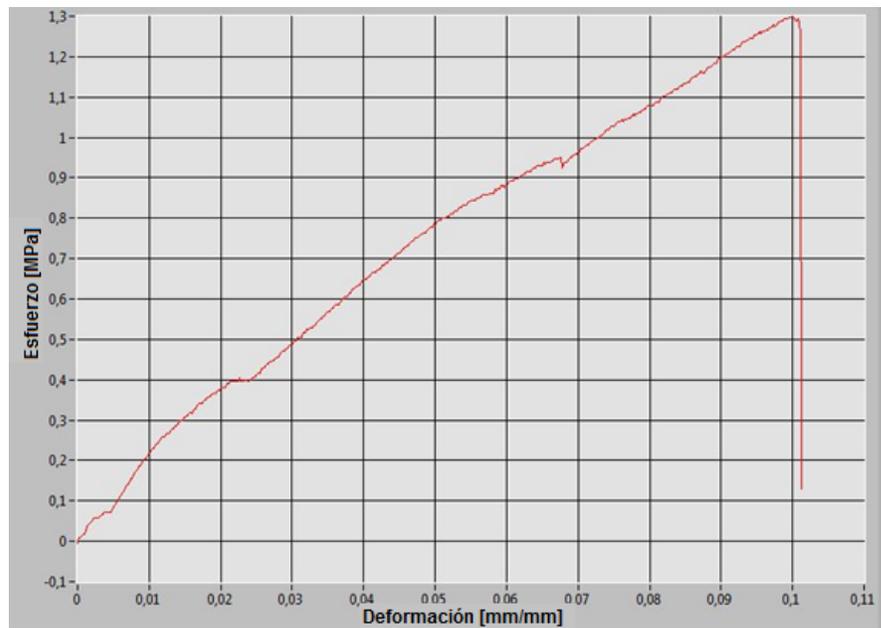


Figura 69: Ruptura Probeta de resina de poliéster compuesta con cascaron de achiote, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.



5.4 Simulación Silicona

De acuerdo a las condiciones iniciales, en la figura 70 se presentan los esfuerzos mecánicos según el criterio de von mises, cuyos valores oscilan entre $0,02 MPa$ y $7,7MPa$. En la figura 71 se observan las vistas de proyección ortogonal al aplicarse la carga se logra notar que no hay una región que varíe la tensión de von mises, y en la figura 72 se puede observar la deformación de la silicona, que se encuentra entre $0mm$ y $101mm$.

Figura 70: Modelo isométrico fuerzas actuantes en la probeta, con las propiedades de la silicona. Fuente: autor.

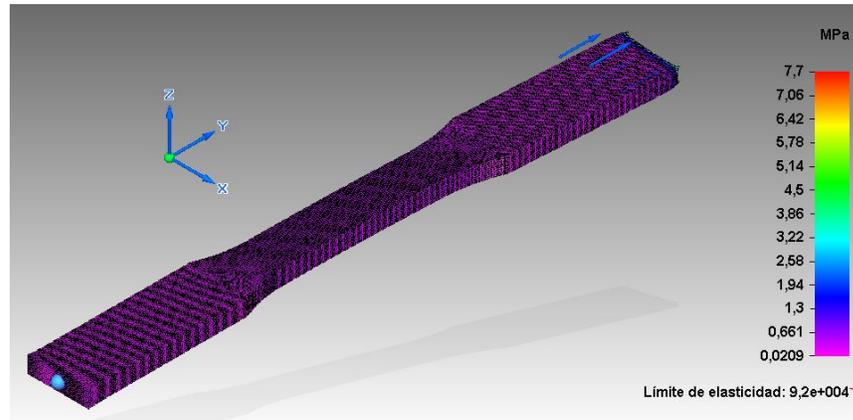


Figura 71: vistas de proyección ortogonal de la probeta, con las propiedades del poliuretano. Fuente: autor.

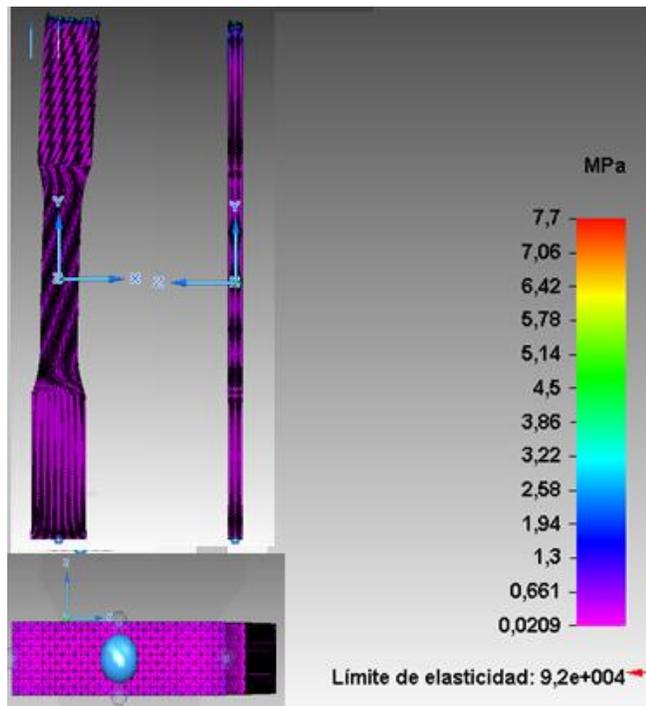
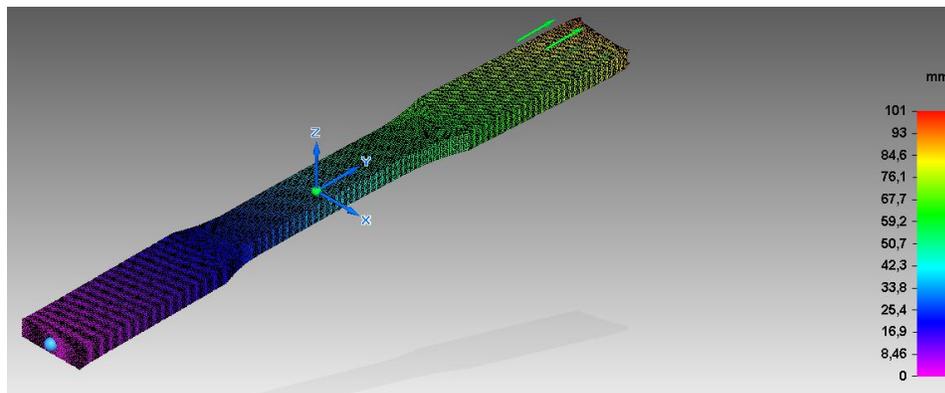


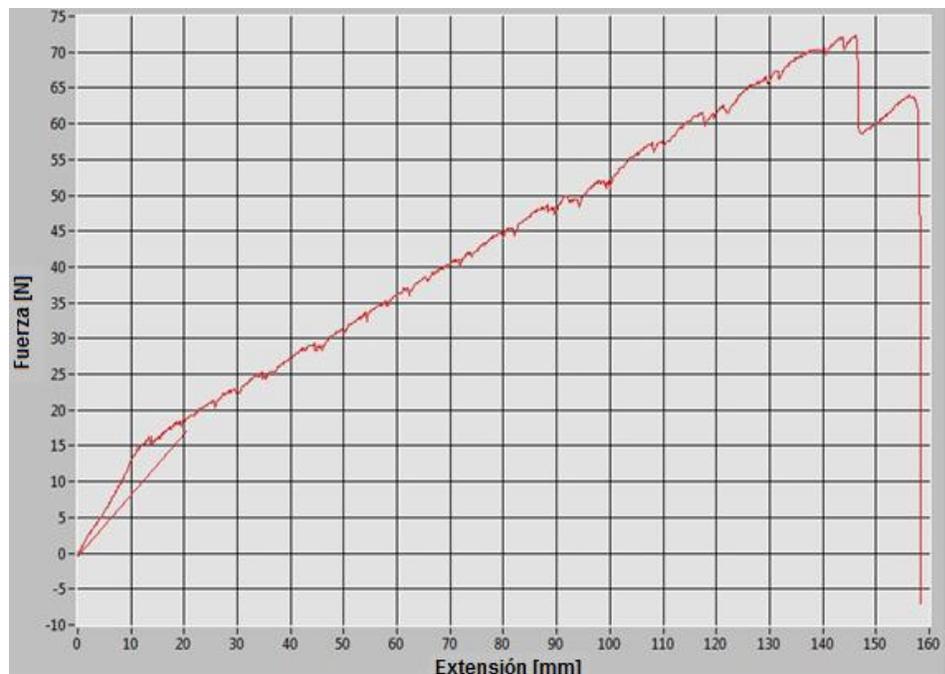
Figura 72: Resultado de la simulación probeta con las propiedades de la silicona. Fuente: autor.



5.4.1 Ensayo de tensión Silicona - Cascara de Achote

En la *figura 73* se muestra la gráfica esfuerzo vs deformación obtenidas en el ensayo de tensión realizado la silicona compuesto de achote (bixina), en la que se puede observar la relación que existe entre estas, a medida que el material es tensionado, evidenciando que hay una precarga a los 17N.

Figura 73: Gráfica de fuerza vs extensión de la silicona compuesta con cascara de achote. Fuente: Autor.



La *figura 74* muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación, el cual se calcula dividiendo la fuerza sobre área para obtener esfuerzo y la extensión sobre la

longitud calibrada para obtener deformación, de ella se obtiene que el esfuerzo máximo de la probeta es de $1,09 \text{ MPa}$, el esfuerzo de ruptura de $0,66 \text{ MPa}$ y el esfuerzo de fluencia de $0,73 \text{ MPa}$ y en la figura 75 se muestra la probeta luego de ser sometida a la prueba de tensión.

Figura 74: Gráfica de esfuerzo vs deformación de la silicona compuesta de cascara de achote. Fuente: Autor.

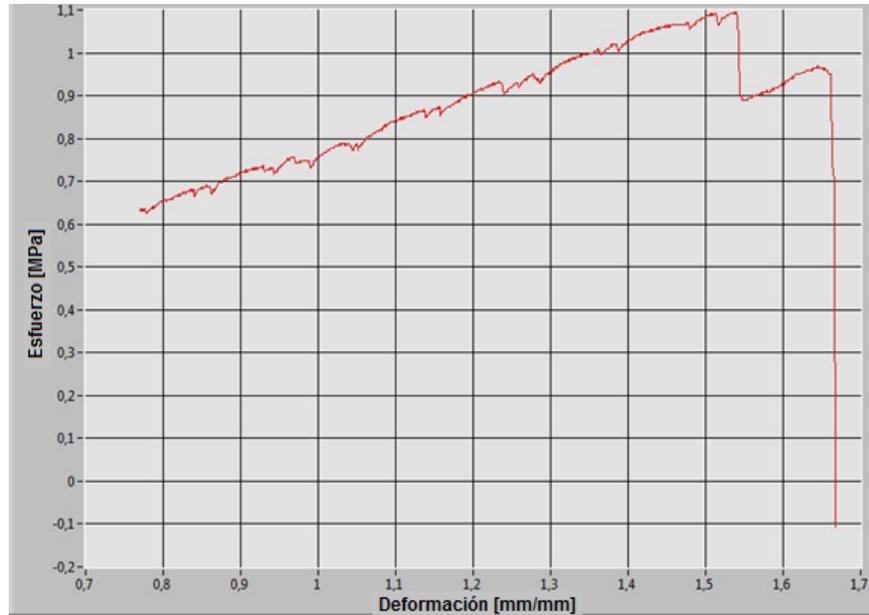


Figura 75: Ruptura Probeta de silicona compuesta con Cascaron de achote, al ejercer tensión máxima. Fuente: Autor.



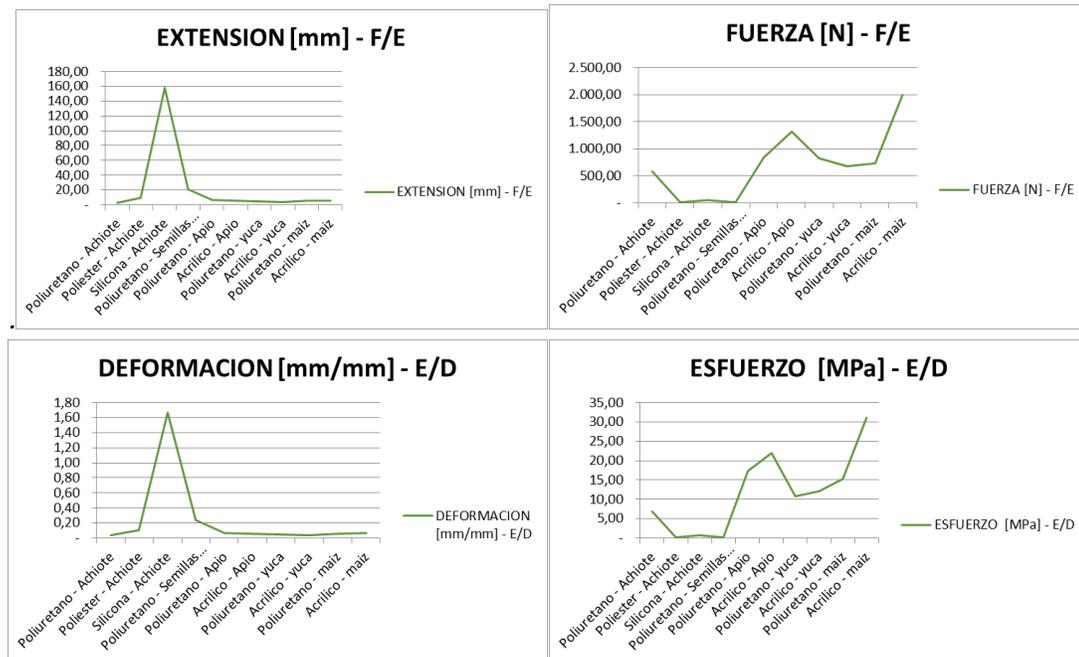
En la tabla dos podemos evidenciar los resultados obtenidos de las pruebas de tensión en la que el acrílico compuesto de las fibras de maíz con 1993N y el apio con 1322N de fuerza muestran los mejores resultados en cuanto a esfuerzo de ruptura, aunque la literatura muestra aplicaciones para el achote en regeneración celular a nivel macro no se obtienen resultados relevantes de resistencia.

Tabla 3: Resultados generales prueba de Tensión. Fuente Autor.

FIBRA	RESINA	EXTENSION [mm] - F/E	FUERZA [N] - F/E	DEFORMACION [mm/mm] - E/D	ESFUERZO [MPa] - E/D	ESFUERZO MAXIMO [MPa] -	ESFUERZO DE RUPTURA [MPa]	ESFUERZO DE FLUENCIA [Mpa]
achote	Poliuretano	3,27	583,33	0,03	6,86	7,00	3,69	6,61
	Poliester	9,12	9,67	0,10	0,13	1,30	1,26	0,54
	Silicona	158,26	47,00	1,67	0,67	1,10	0,67	0,73
achote semillas	Poliuretano	21,13	6,67	0,23	0,09	3,39	0,09	2,20
apio	Poliuretano	6,48	832,67	0,07	17,35	18,15	18,15	6,06
	Acrilico	5,50	1.322,67	0,06	22,04	23,08	23,08	10,23
yuca	Poliuretano	4,30	826,00	0,05	10,73	11,10	6,23	7,93
	Acrilico	3,68	681,67	0,04	12,17	13,03	13,03	9,86
maiz	Poliuretano	5,55	729,00	0,06	15,19	15,53	14,55	8,29
	Acrilico	5,80	1.993,33	0,07	31,15	33,44	33,44	8,21

De acuerdo a lo anterior se presenta la figura 76 en la que podemos ver de forma gráfica los resultados obtenidos en cuanto a tensión, deformación. Fuerza y esfuerzo.

Figura 76: Grafica . Fuente: Autor



6. CONCLUSIONES

- Se propuso una simulación de un modelo de probeta, en función de la norma ATSM D638, en estado estático lineal ante el esfuerzo de Von Misses, por medio de una geometría tridimensional en el software de uso comercial Solid Edge ST8 como modelo preliminar, generando una simulación que reflejó la deformación que presentan las resinas utilizadas en las pruebas de tensión, mostrando la resina acrílica la que presenta mejores propiedades de resistencia ante la tensión oscilando entre $0,7\text{MPa}$ y 32MPa .
- Para la elección de las fibras naturales se realizó la consulta de avances sobre estas fibras evidenciando desarrollos de el apio, el maíz, la yuca y el achiote, estos a nivel nano molecular, por lo que se definió ver el comportamiento a nivel macromolecular.
- En la elaboración de las probetas es importante generar una base de resina para impregnar totalmente las fibras y no permitir queden poros por los cuales se puede romper la probeta sin mostrar un resultado comparable.
- Se propuso la elaboración de un protocolo que permitiera la elaboración de probetas de forma ágil, determinando los parámetros necesarios para realizar una matriz de resina compuesta de fibras observando que el acrílico con maíz con un esfuerzo máximo de $33,44\text{MPa}$ y el apio $23,08\text{MPa}$ presentan mayor esfuerzo y un menor desplazamiento.
- La probeta de silicona por sus propiedades elásticas, requirió que la prueba se ejecutara a mayor velocidad, adicionalmente la gráfica presentada en la figura 70 no muestra una curva normal esfuerzo Vs deformación, evidenciando un esfuerzo de fluencia de $0,73\text{MPa}$. Esta es comparable con la resistencia de tejidos del talón del pie de acuerdo a la literatura.
- Las propiedades mecánicas de las probetas de resina acrílica compuestas de maíz y apio muestran los mayores esfuerzos de rotura $23,08\text{MPa}$ y $33,44\text{MPa}$. Lo que implica que son los materiales más resistentes del ensayo.
- La inclusión de fibras naturales es importante, debido a que mejora su desempeño. Por esto es importante a la hora de seleccionar la matriz de resina una que no produzca una reacción.

6.1 TRABAJOS FUTUROS

A lo largo del desarrollo de este trabajo se han identificado algunas propiedades mecánicas de las fibras naturales en una matriz compuesta de resina, por lo anterior se requiere probarlas dicha matriz, a través de métodos de producción de materiales que faciliten las pruebas de tensión y a su vez realizar nanoindentación. Posteriormente se pretende que estas fibras simulen una matriz extracelular, se espera continuar con estos planteamientos para poder aplicar los resultados en un modelo de prótesis de pie, que le permita dar funcionalidad al amputado y optimizar la adaptabilidad del muñón, teniendo en cuenta que la mayoría de los casos las fundas generan lesiones en los tejidos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Miller, «Material properties of the human calcaneal fat pad in compression: experiment and theory,» *El sevier*, vol. 35, pp. 1523-1531, 2002.
- [2] W. P. Villegas, «Desarrollo y biomecánica del arco plantar,» *medigraphic*, pp. 215-221, 2010.
- [3] K. Zaragoza, «Ligamentos y tendones del tobillo: anatomía y afecciones más frecuentes analizadas mediante resonancia magnética,» *Anales de Radiología*, pp. 81-94, 2013.
- [4] N. Balbuena, «Resistencia en las Infecciones de pie diabético.,» *UCE Ciencia*, vol. 5, nº 1, pp. 3-8, 2016.
- [5] M. A. L. O. Miyares, «Analysis of the functional qualities of trans-femoral orthopedic prostheses,» *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología*, vol. 2, nº 25, pp. 102-116, 2011.
- [6] A. D. P. Garcia, «Efficient cutaneous wound healing using bixin-loaded PCL nanofibers in diabetic mice,» *Society for Biomaterials*, pp. 1-12, 2016.
- [7] E. R. Rosas, «Materiales en la Medicina,» Escuela Complutense Latinoamericana, 16 Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://slideplayer.es/slide/168389/>. [Último acceso: 29 Mayo] 2016].
- [8] J. Torres, «Universidad De Granada,» UGR, 2014. [En línea]. Available: <http://www.ugr.es/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=WVLvULrUY7Ex9yOLg9m4WQ-fGZ4fB-wbGZRSMm5vQ>,. [Último acceso: 16 Junio 2016].
- [9] I. J. Pardo, «hidrogeles termosensibles y fotopolimerizables derivados de Pluronic para aplicaciones biomedicas,» zaragoza, 2014.
- [10] J. d. Bronzino, *Biomaterials principles and applications*, Boca Raton: CRC Press LLC, 2002.
- [11] H. Copete, «Biomateriales: calidad de vida,» *virtual pro*, vol. 162, nº 2, 2015.

- [12] A. P. gonzalez, «Mecapedia,» 24 junio 2014. [En línea]. Available: http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente_de_Poisson.htm.
- [13] P. Ardao, «El soporte para tus estructuras,» tenttoi, 20 01 2015. [En línea]. Available: <http://www.tenttoi.com/resina-de-poliester-y-resina-de-poliuretano/>. [Último acceso: 20 03 2017].
- [14] A. A. Peñaranda, «Hidrogeles. Potenciales biomateriales para la liberación controlada de medicamentos,» *Revista Ingeniería Biomédica*, pp. 83-94, 2009.
- [15] J. M. C. Ruiz, «Diseño de un sistema bioadhesivo de clorhexidina empleando pullulan como matriz para uso en mucosa oral,» *Tesis presentada como requisito para optar al título de: Magister en Ciencias Farmacéuticas*, pp. 5-10, 2014.
- [16] P. G. Barreno, «Materiales de aplicación en medicina,» 2015. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/1226295/MATERIALES_DE_APLICACION_EN_MEDICINA. [Último acceso: 19 03 2017].
- [17] J. Donga, «Basic study of corn protein, zein, as a biomaterial in tissue engineering, surface morphology and biocompatibility,» *El Sevier*, vol. 25, nº 3, pp. 91-97, 2004.
- [18] j. d. santos, *simulación del estado de orientación de fibras de guadua en un biomaterial compuesto modelado por inyección mediante sistemas CAD*, Cuenca: universidad politecnica salesiana de cuenca , 2015.
- [19] I. S. Pezzotti, *Introducción a la Teoría de Elementos Finitos*, Argentina: Estructuras, 2007.
- [20] M. Á. P. Verdún, «“Biomecánica del pie diabético: Estudio experimental de pacientes con diabetes mellitus tipo I con y sin neuropatía periférica,» Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga, Málaga, 2013.
- [21] «Empezar por la base: el pie. Unidad morfológica y funcional adaptada a la bipedación. - La almohadilla plantar anterior,» *Ciencia y Deporte.net*, vol. 2,

pp. 8-10, 2009.

- [22] M. P. Lucena, *Desarrollo de un material compuesto a base de fibras de bambu para aplicaciones aeronauticas*, Cartagena: Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 2009.
- [23] I. E. C. González, «Laboratorio de biomateriales,» UNAM- fes-cuautitlán, Mexico, 2014.
- [24] M. Estrada, «Apósitos de polímeros naturales para regeneración de piel,» *IB revista de Ingeniería biomédica*, vol. 37, nº 3, pp. 235-249, 2016.
- [25] C. D. Beltran, «Diseño de un prototipo para fabricación de probetas por el proceso de moldeo por transferencia de resina (rtm),» Pereira, 2016.
- [26] P. Hernandez, «Raholin SRL,» Raholin, [En línea]. Available: <http://www.raholin.com/pdf/silicona.pdf>. [Último acceso: 20 Marzo 2017].
- [27] D. I. M. Tulio, Tensiones y deformaciones.. revisión de principios físicos, UTN-FRBB Cátedra: Elementos de Máquinas, 2014.
- [28] R. S. Najera, «Evaluacion de Biocompatibilidad de acrilico y polipropileno, mediante la deteccion in situ de quimiocinas y, citocinas proinflamatorias y celulas del sistema inmune,» España, Universidad autonoma de Nuevo León, 2011, pp. 35-40.
- [29] C. E. C. Suárez, «Biocompatibilidad de los composites y cementos dentales,» *sant Joan de Deu*, vol. 5, nº 12, 2014.
- [30] V. R. Güiza, *Síntesis, caracterización y preparación de hidrogeles a partir de polietilenglicol diacrilado (pegda) y colágeno tipo I y su potencial aplicación en ingeniería de tejidos*, Bucaragamnga, 2009.
- [31] F. Stupenengo, «Materiales compuestos,» Materiales y materias primas, Argentina, 2011.
- [32] J. M. cogollo, «ylang-ylang.uninorte,» [En línea]. Available: <http://ylang-ylang.uninorte.edu.co:8080/objetos/Ingenieria/EnsayoDeTension/ensayo1.html>. [Último acceso: Marzo 2017].

- [33] E. Ramirez, «Ensayo de Tracción Universal,» Mexico, 2016.
- [34] C. A. D. Castro, «Teorías de falla bajo cargas estáticas».
- [35] P. Andrade, *Efectos de tratamientos de remojo en agua y en tres reguladores de crecimiento sobre la germinación de la semilla de apio, chile: ciencia e investigacion.*, 2009.
- [36] F. Gómez, *Mejoramiento y conservación del maiz*, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, 2014.
- [37] E. JAFFE, *Modificaciones químicas durante la conservación de raíces y tuberculos.*, Venezuela: Archivos Venezolanos de Nutricion, 2014.
- [38] N. 5. c. edición, *Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión en plásticos*, Bogota: ICONTEC, 2007.
- [39] M. Avellán, «Diseño 3D y análisis MEF de una caja para alojamiento de equipamiento electrónico en un,» Universitat Politècnica de València, Valencia, 2015.
- [40] È. H. Edo, «Estudio estructural y mecánico de la fase MAX Ti₃SiC₂,» UOC COMON, 2015.
- [41] Isotex, «Isotex,» Grupo Isotex, [En línea]. Available: <http://www.grupoisotex.com/propiedades-del-poliestireno-expandido-eps/>. [Último acceso: 20 Marzo 2017].
- [42] «Industrias JQ,» 20 07 2016. [En línea]. Available: <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/Poliuretano/Poliurprop/dtecnicos.htm>. [Último acceso: 20 03 2017].
- [43] D. F. Gomez, «Servicio de Traumatología y Ortopedia,,» Hospital Central de Maracay, Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://HospitalCentraldeMaracay/TraumaHCM/anatomia-ii-del-pie>. [Último acceso: mayo 2016].
- [44] Z. A. d. F. d. Lopez, *El Metodo de los elementos Finitos : una Introduccion*, Maracaibo, Venezuela: Biblioteca Universidad Rafael Urdaneta, 2011.

- [45] S. Julien, «HYPERGEO,» Thérèse Saint-Julien, [En línea]. Available: <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article503>. [Último acceso: 22 JUNIO 2016].
- [46] G. Tonga, «Technique to study the biomechanical properties of the human calcaneal heel pad,» *El Sevier Health*, vol. 13, pp. 83-91, 2003.
- [47] I. Katime, «Materiales inteligentes: hidrogeles macromoleculares, algunas aplicaciones biomedicas,» *Segunda Epoca*, pp. 36-50, 2005.
- [48] E. T. Natali Lopez, *Simulación de los efectos de las propiedades mecánicas (esfuerzo y deformación) en un modelo de pie sano*, Bogotá, 2016.
- [49] O. L. Rodríguez, «Modelación de órtesis personalizadas para alivio de presiones plantares en pie diabético,» Universidad Nacional de Colombia Facultad de Medicina, Maestría en Ingeniería Biomédica, Bogotá, 2015.
- [50] I. A. Cubillos, «Introducción al método de los elementos finitos,» Universidad de Ibagué Prog. Ingeniería Mecánica, Ibagué.
- [51] A. D. Pertierra, «La regeneración celular,» 2015.
- [52] J. Donga, «Basic study of corn protein, zein, as a biomaterial in tissue engineering, surface morphology and biocompatibility,» *El sevier*, 2016.
- [53] E. R. Rangel, «ESTUDIO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE MATERIALES,» *Avances en ciencias e ingeniería compuestos poliméricos reforzados*, vol. 2, nº 4, pp. 81-88, 2011.