



ULL

Universidad de La Laguna

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES
COMPUESTOS FABRICADOS CON FIBRAS DE PLATANERA

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

Alumno: Israel Rodríguez Santos

Tutoras: María Milagros Laz Pavón
María Hernández Molina

Julio 2017

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

Memoria

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES
COMPUESTOS FABRICADOS CON FIBRAS DE PLATANERA**

AUTOR

Israel Rodríguez Santos

TUTORAS

María Milagros Laz Pavón, María Hernández Molina

HOJA DE IDENTIFICACIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES
COMPUESTOS FABRICADOS CON FIBRAS DE PLATANERA

DATOS DEL PETICIONARIO

RAZÓN SOCIAL: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA.
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

DOMICILIO: CAMPUS DE ANCHIETA. AVDA. ASTROFÍSICO FCO. SÁNCHEZ S/N.
EDIFICIO GAROÉ 38206, LA LAGUNA, TENERIFE, ESPAÑA.

TELEFONO: 922 845089/90/91

DATOS DEL AUTOR

ISRAEL RODRÍGUEZ SANTOS

DNI: 54061025-P

DATOS DE LAS TUTORAS

MARÍA MILAGROS LAZ PAVÓN, MARÍA HERNANDEZ MOLINA

FECHA

04/07/2017

ÍNDICE

1. Objeto.....	21
1.1 Español.....	21
1.2 English.....	22
2. Introducción.....	23
3. Materiales compuestos.....	27
3.1. Compuestos reforzados con fibras.....	27
3.2. Resinas.....	31
3.3. Caracterización de las fibras.....	32
4. Obtención de las fibras de platanera.....	35
4.1 Proceso de obtención de las fibras.....	35
4.2 Secado.....	38
4.3 Tratamiento químico de las fibras.....	39
5. Preparación y fabricación de las probetas.....	41
5.1. Fabricación de probetas normalizadas con refuerzo de fibra de platanera no tratada y disposición longitudinal.....	41
5.2. Fabricación de probetas normalizadas con refuerzo de fibra de platanera tratada y disposición longitudinal.....	45
5.3. Fabricación de probetas normalizadas con carga de refuerzo de polvo de platanera tratado.....	49
5.4. Fabricación de probetas normalizadas con refuerzo de fibrillas de platanera tratada en disposición aleatoria.....	51
5.5. Fabricación de probetas tubulares de resina sin refuerzo.....	56
5.6. Fabricación de probetas tubulares con refuerzo de fibra de platanera tratada en disposición longitudinal.....	63
5.7. Fabricación de probetas tubulares con carga de refuerzo de polvo de platanera tratado.....	68

5.8. Fabricación de probetas tubulares con refuerzo de fibrillas de platanera tratada en disposición aleatoria.....	69
6 Ensayos realizados a las probetas.	72
6.1 Ensayo a flexión de las probetas normalizadas.....	72
6.2. Determinación de la resistencia a flexión de los tubos.	78
7. Análisis y resultados de los ensayos a flexión.	82
7.1 Probetas normalizadas de conformado longitudinal no tratado.....	82
7.2 Probetas normalizadas de conformado longitudinal tratado.	84
7.3 Probetas normalizadas de polvo de platanera al 1%.....	88
7.4 Probetas normalizadas de polvo de platanera al 5%.....	91
7.5 Probetas normalizadas de polvo de platanera al 15%.....	93
7.6 Probetas normalizadas de polvo de platanera al 20%.....	94
7.7 Probetas normalizadas de MAT tratadas.	96
7.8 Comparación de los resultados del ensayo de flexión de las probetas normalizadas	98
7.9 Ensayo a flexión de las probetas tubulares de resina de poliéster.	101
7.10 Ensayo a flexión de las probetas tubulares de conformado longitudinal tratado químicamente.....	104
7.11 Ensayo de flexión de las probetas tubulares de polvo de platanera al 25 %.....	106
7.12 Comparación de las probetas tubulares.....	109
8. Conclusiones	110
8.1 Español.....	110
8.2 English	111
9. Bibliografía.	113
10. Anexos.	115
Anexo A: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas normalizadas reforzadas con fibras en disposición longitudinal sin tratamiento químico.....	117
Anexo B: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas normalizadas reforzadas con fibras en disposición longitudinal con tratamiento químico.....	125

Anexo D: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas normalizadas reforzadas con fibras aleatorias tratadas químicamente.	171
Anexo E: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas tubulares de resina de poliéster sin refuerzo.....	179
Anexo F: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas tubulares de resina de poliéster con refuerzo de fibras de plataneras tratadas, en disposición axial.	187
Anexo G: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas tubulares de resina de poliéster sin refuerzo.....	193
Anexo H: Dimensiones de las probetas normalizadas y sus desviaciones respecto a la Norma UNE-EN-ISO 178.	199

Índice de figuras

Figura 1.1: Estadística año 2014.....	26
Figura 3.1: Detalle de una platanera.....	29
Figura 3.2: Comportamiento de esfuerzo-deformación de varios tipos de fibras de refuerzo.....	31
Figura 3.3: Ejemplo longitud de las fibras, resistencia del compuesto.....	33
Figura 3.4: Efecto de la orientación de las fibras en la resistencia a la tensión.....	34
Figura 4.1: Detalle de la cara frágil y fibrosa, tras el corte de la badana.....	36
Figura 4.2: Cepillado de la badana.....	37
Figura 4.3: Tamiz de 1mm.....	37
Figura 4.4: Humedad relativa y Temperatura en grados Celcius.....	38
Figura 4.5: Fibras sumergidas en disolución 1N de NaOH (1).....	39
Figura 4.5: Fibras sumergidas en disolución 1N de NaOH (2).....	40
Figura 5.1: Figura 5.1: Material para preparación de la resina.....	43
Figura 5.2: Sistema de aplicación de la resina bajo campana extractora, pistola y prensa usada.....	44
Figura 5.3: Conformado longitudinal.....	44
Figura 5.4: Probeta normalizada de fibra longitudinal no tratada.....	45
Figura 5.5: Molde plástico.....	46
Figura 5.6: Sierra de marquetería durante el corte de las probetas.....	47
Figura 5.7: Probetas de fibras tratadas de platanera.....	48
Figura 5.8: Detalle de las probetas fabricadas con fibras tratadas químicamente.....	48
Figura 5.9: Mezcla de resina y polvo de platanera.....	50
Figura 5.10: Probetas de polvo de platanera al 15% antes de ser cortadas.....	50

Figura 5.11: Probetas de 1% en polvo de platanera.....	51
Figura 5.12: Preparación de las fibras aleatorias.....	53
Figura 5.13: Fibras aleatorias de 50 x 1mm.....	53
Figura 5.14: Cera desmoldante sobre la lámina de silicona de las placas.....	54
Figura 5.15: MAT de fibras aleatorias.....	55
Figura 5.16: Probeta normalizada de MAT.....	56
Figura 5.17: Sólido 3D sobre el esquema del molde desmontable.....	57
Figura 5.18: Tubo exterior del molde de aluminio.....	58
Figura 5.19: Vela dentro del molde.....	59
Figura 5.20: Tapón de cera dentro del vaso desechable.....	59
Figura 5.21: Molde en el soporte universal.....	60
Figura 5.22: Horno para el desmolde.....	62
Figura 5.23: Probeta tubular de resina.....	62
Figura 5.24: Tubo del molde.....	63
Figura 5.25: Tubo exterior del molde.....	64
Figura 5.26: Encerado del molde.....	65
Figura 5.27: Tubos de fibra longitudinal.....	65
Figura 5.28: Fibras dentro del molde.....	66
Figura 5.29: Probeta tubular con refuerzo de fibra de platanera tratada químicamente en disposición longitudinal.....	67
Figura 5.30: Tubo antes del desmolde.....	69
Figura 5.31: Resultado del acabado de la probeta de MAT.....	70
Figura 6.1: Esquema del ensayo de 3 puntos.	76
Figura 6.2: Esquema del ensayo de 3 puntos realizado sobre los tubos.....	79

Figura 7.1: Probeta normalizada de conformado longitudinal no tratado, F4 ensayada.....	84
Figura 7.2: Ensayo de 3 puntos probeta normalizada de fibra tratada químicamente y disposición longitudinal.....	87
Figura 7.3: Probeta normalizada de conformado longitudinal tratado, T1 ensayada.....	87
Figura 7.4: Ensayo de 3 puntos probeta normalizada de polvo de platanera al 1%.....	89
Figura 7.5: Ensayo de 3 puntos probeta normalizada de polvo de platanera al 20%.....	96
Figura 7.6: Probeta normalizada de fibras aleatorias tratadas, A5 ensayada.....	98
Figura 7.7: Propiedades mecánicas de diferentes productos de madera.....	100
Figura 7.8: Ensayo de 3 puntos tubo de resina.....	102
Figura 7.9: Probeta tubular de resina sin refuerzo, R2 ensayada.....	103
Figura 7.10: Ensayo de 3 puntos tubo de fibra de platanera.....	105
Figura 7.11: Probeta tubular de fibras longitudinales tratadas, T3 ensayada.....	106
Figura 7.12: Ensayo de 3 puntos tubo de polvo de platanera.....	107
Figura 7.13: Probeta tubular de polvo de platanera, P1 ensayada.....	108

Índice de tablas

Tabla 3.1: Ejemplo de materiales compuestos y sus aplicaciones.....	26
Tabla 3.2: Propiedades físicas de distintas fibras naturales.....	28
Tabla 3.3: Características de diferentes fibras empleadas en la modificación de termoplásticos.....	29
Tabla 3.4: Algunas propiedades de las resinas de poliéster y epóxicas moldeadas sin relleno.....	32
Tabla 6.1: Dimensiones de las probetas normalizadas de conformado longitudinal no tratado.....	72
Tabla 6.2: Dimensiones de las probetas normalizadas de conformado longitudinal tratado.....	73
Tabla 6.3: Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 1% tratado.....	73
Tabla 6.4: Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 5% tratado.....	74
Tabla 6.5: Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 15% tratado.....	74
Tabla 6.6: Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 20% tratado.....	74
Tabla 6.7: Dimensiones de las probetas normalizadas de conformado MAT tratado.....	75
Tabla 6.8: Dimensiones de las probetas tubulares de resina de poliéster.....	80
Tabla 6.9: Dimensiones de las probetas tubulares de conformado longitudinal no tratado.....	81
Tabla 6.10: Dimensiones de las probetas tubulares de polvo de platanera.....	81
Tabla 7.1: Propiedades a flexión de las fibras de plátano en disposición longitudinal.....	83

Tabla 7.2: Propiedades a flexión de las fibras de plátano tratadas químicamente, en disposición longitudinal.....	86
Tabla 7.3: Propiedades a flexión de las probetas de polvo de platanera al 1%.....	90
Tabla 7.4: Propiedades a flexión de las probetas de polvo de platanera al 5%.....	93
Tabla 7.5: Propiedades a flexión de las probetas de polvo de platanera al 15%.....	94
Tabla 7.6: Propiedades a flexión de las probetas de polvo de platanera al 20%.....	95
Tabla 7.7: Propiedades a flexión de las fibras de platanera en disposición aleatoria.....	97
Tabla 7.8: Comparación de las probetas normalizadas.....	99
Tabla 7.9: Propiedades a flexión de los tubos de resina sin refuerzo.....	103
Tabla 7.10: Propiedades a flexión de los tubos reforzados con fibra de platanera en disposición longitudinal.....	105
Tabla 7.11: Propiedades a flexión de los tubos reforzados con polvo de platanera.....	108
Tabla 7.12: Comparación de la resistencia a flexión de las probetas tubulares.....	109

Índice de gráficos

Gráfica 7.1: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas reforzadas con fibra longitudinal no tratada químicamente.....	82
Gráfica 7.2: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 1-5 reforzadas con fibra longitudinal tratada químicamente.....	85
Gráfica 7.3: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 6-10 reforzadas con fibra longitudinal tratada químicamente.....	85
Gráfica 7.4: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 1-5 reforzadas con polvo de platanera al 1%.....	88
Gráfica 7.5: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 6-10 reforzadas con polvo de platanera al 1%.....	89
Gráfica 7.6: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 1-5 reforzadas con polvo de platanera al 5%.....	91
Gráfica 7.7: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 6-10 reforzadas con polvo de platanera al 5%.....	92
Gráfica 7.8: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas reforzadas con polvo de platanera al 15%.....	93
Gráfica 7.9: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas reforzadas con polvo de platanera al 20%.....	95
Gráfica 7.9: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas reforzadas con fibra en disposición aleatoria.....	97
Gráfica 7.10: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas tubulares de resina.....	101
Gráfica 7.11: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas tubulares de resina reforzada con fibra de platanera.....	104
Gráfica 7.12: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas tubulares de resina reforzada con polvo de platanera.....	106

Glosario

1-Celulosa: Uno de los tres polímeros fundamentales que constituyen y forman la pared de las células vegetales.

2-Lignina: La lignina es un polímero natural, amorfo y tridimensional, con una estructura compleja, constituido por unidades orgánicas aromáticas, lo que lo dota de una rigidez alta que le permite actuar como adhesivo de los otros dos (celulosa y hemicelulosa), aportando a las plantas su integridad estructural.

3-Mica: Mineral cristalino que se caracteriza por su fácil exfoliación en delgadas láminas flexibles, elásticas y brillantes. Usado como carga en polímeros.

4-Kenaf: Planta leñosa de rápido crecimiento.

5-Bonote: Fibra natural extraída de la corteza exterior del coco.

6-Termoplástico: Son compuestos que pueden ser deformados bajo la influencia del calor y de la compresión, conservando su nueva forma al enfriarse y dejar de actuar la acción, pero que pueden ser nuevamente reblandecidos por el calor y vueltos a moldear.

7-Termoestables: Son polímeros que mediante la presión y la temperatura se reblandecen y pueden moldearse en su fase fluida una sola vez y antes de que la reacción de polimerización haya finalizado por completo. El producto final termoestable ya no se reblandece nuevamente por acción de la presión y la temperatura, pues a elevadas temperaturas experimenta su descomposición.

8-Hidrofóbo: Materia o sustancia que no absorbe el agua.

9-Hidrofílo: Materia o sustancia que absorbe el agua.

10-Composites: Materiales mezclados heterogéneamente formando un compuesto. Estos componentes pueden ser de dos tipos: los de cohesión y los de refuerzo. Los componentes de cohesión envuelven y unen los componentes de refuerzo manteniendo la rigidez y la posición de estos.

11-Teca: Árbol cuya madera se suele usar en construcciones navales.

12-Sisal: Fibra flexible y resistente obtenida de especies de agave.

13-Piña: Se denomina así al racimo de plátanos.

14-Badana: Cada una de las capas concéntricas del tallo de la platanera, una vez secas.

15-Anisotrópo: Dicho de una sustancia o de un cuerpo, que posee propiedades físicas distintas según la dirección que se mide.

16-Isotrópico: Dicho de una sustancia o de un cuerpo, que posee las mismas propiedades físicas en todas las direcciones.

1. Objeto.

1.1 Español.

El objeto del Trabajo Fin de Grado es la obtención del título universitario de Grado en Ingeniería mecánica, según indica el Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, y la Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial (BOE 20-2-2009).

El objeto específico es la obtención y preparación de las fibras de la platanera, y la fabricación y caracterización de las probetas normalizadas y tubulares, fabricados con las fibras obtenidas. Las fibras son obtenidas de plataneras de agricultores de la zona La Laguna - Tegueste, en la isla de Tenerife.

En cuanto a las limitaciones del trabajo, se han estudiado las características de las probetas normalizadas y las tubulares, con resina poliéster. Se prepararon tubos para ensayos preliminares con fibras, en disposición longitudinal y aleatoria, para ensayos a flexión. Estos tubos únicamente sirven de referencia, para poder fabricar unos tubos definitivos, con los que recoger unos resultados. Las probetas normalizadas fabricadas y ensayadas a flexión, con disposición longitudinal, aleatoria y en polvo al 1%, 5%, 15% y 20%, se compararán entre ellas, siendo estas tratadas químicamente, incluyendo probetas con refuerzo longitudinal sin tratamiento para visualizar los resultados del tratamiento químico. Finalmente se compararán tres tipos de tubos, de resina, con fibras en la longitud del eje y de polvo de platanera. De esta forma se compararán los resultados del beneficio, en caso de haberlo, de la utilización de las fibras, y de la mejor forma de aprovechar las fibras.

Las probetas normalizadas se ensayarán según la norma UNE-EN-ISO 178 [12]. Para los tubos, se hará un ensayo a flexión de 3 puntos, con las características indicadas, ya que no se tienen datos sobre normativa para probetas cilíndricas.

Quedan excluidos otros materiales, tratamientos químicos, ensayos y otras resinas comerciales en la elaboración de este trabajo.

Se harán probetas tubulares, porque en un principio se quería saber, de qué manera se podrían usar para la fabricación de un cuadro de bicicleta.

1.2 English.

The objective of the End of Degree Work is to obtain a university degree in Mechanical Engineering, according to *Real Decreto 1393/2007* of 29 October and *Orden CIN / 351/2009*, of 9 February, which The requirements for the verification of the official university qualifications that qualify for the exercise of the profession of Industrial Technical Engineer (BOE 20-2-2009) are established.

The specific object is the obtaining and preparation of the banana fibers, and the manufacture and characterization of the standard and tubular specimens, made with the fibers obtained. The fibers are obtained from banana farmers in the La Laguna - Tegueste area, on the island of Tenerife.

Regarding the limitations of the work, the characteristics of the standardized specimens and the tubular ones with polyester resin have been studied. Preliminary fiber test tubes were prepared in longitudinal and random arrangement for bending tests. These tubes are only a reference, to be able to manufacture definitive tubes, with which to collect results. Standardized specimens made and tested in bending, longitudinal, random and powdered at 1%, 5%, 15% and 20%, shall be compared to each other, being chemically treated, including untreated longitudinally reinforced specimens to visualize the Results of chemical treatment. Finally, three types of tubes, of resin, with fibers in the length of the axis and of banana dust will be compared. In this way the results of the benefit, if any, of the use of the fibers, and of the best way to take advantage of the fibers, will be compared.

The standardized test pieces shall be tested according to the UNE standard. For the tubes, a 3-point bending test, with the indicated characteristics, will be done, since no data on regulations for cylindrical specimens is available.

Other materials, chemical treatments, tests and other commercial resins in the elaboration of this work are excluded.

Tubular specimens will be made, because at first it was wanted to know, in what way they could be used for the manufacture of a bicycle frame.

2. Introducción.

La evolución de la humanidad, desde diferentes aspectos, tanto sociales como culturales y técnicos, ha sido condicionada por el descubrimiento de nuevos materiales.

Las edades de piedra, del cobre, del bronce, del hierro, constituyen etapas en la historia de la humanidad en las cuales a través del conocimiento y manejo de nuevos materiales y técnicas, permitieron al hombre desarrollar nuevas estructuras políticas y sociales gracias a esos materiales.

Al contrario de lo que se pudiera pensar, el concepto de material compuesto es tan antiguo como la naturaleza misma. Un ejemplo de ello lo tenemos en la madera, en la cual las fibras de *celulosa*¹ se unen mediante una matriz de *lignina*². En el caso de los huesos, existen también estructuras reforzadas y rigidizadas con fibras. Las chozas de adobe y paja constituyen otro ejemplo más de materiales compuestos.

Las fibras naturales se han utilizado y aún se utilizan, por lo general, en una gran variedad de aplicaciones. Sus principales usos son productos desechables o duraderos, de tipo estructural y de refuerzo o de relleno.

Productos como tapetes, redes, recipientes para grano, sombreros, mantas, vestuario, cuerdas, cestas y costales, entre otros, han sido fabricados tradicionalmente con fibras naturales. Sin embargo, con la aparición de los materiales sintéticos se vieron amenazados al punto que en muchos sectores fueron desplazados por fibras de nylon, PP (polipropileno), PEAD (polietileno de alta densidad), entre otros materiales, o incluso por nuevas tecnologías de fabricación.

Bajo ideas relacionadas con la "crisis del petróleo", el "desarrollo sostenible", los "productos verdes" y la "reducción del gasto energético", se retomó la investigación de los materiales compuestos, que permiten fabricar productos con materiales más eficientes en su relación peso-costos y con propiedades mecánicas óptimas.

La industria plástica ha consumido tradicionalmente talco, carbonato de calcio, *mica*³ y fibra de vidrio o de carbono para modificar las propiedades de los polímeros. Cerca de 2,5 billones de kilogramos de fibra y de refuerzo son usados anualmente.

Pese a que las fibras naturales como el *kenaf*⁴, el lino y el *bonote*⁵ del coco, entre otras, son materiales de fuentes renovables, de menor costo, menor densidad, menor peso y menos abrasivos para el proceso, las industrias del sector estaban pocas dispuestas a usarlas como

material de refuerzo, tanto para *termoplásticos*⁶ como para *termoestables*⁷, debido a su baja estabilidad térmica y a su tendencia a absorber la humedad del ambiente.

La humedad es una variable crítica en la industria del plástico, cuyo valor entre 1% y 2% es alto, principalmente porque los polímeros son materiales *hidrofóbicos*⁸ y las fibras naturales son de tipo *hidrofílico*⁹ y captan la humedad del ambiente rápidamente. Por otra parte, el manejo de materiales particulados de fibras naturales completamente secos representa un riesgo de incendio en su manipulación y almacenamiento, lo que conlleva que las condiciones de manejo deben ser bien controladas.

Sin embargo, el uso de materiales compuestos se ha visto fuertemente impulsado por el interés de conservar recursos no renovables y utilizar materiales de desecho de otros procesos, como es el caso del aserrín de la madera. Precisamente, alrededor de los años ochenta, en Europa y Estados Unidos se desarrollaron varias investigaciones sobre mezclas, aditivos y equipos para la manufactura de productos con materiales compuestos, reforzados con fibras naturales.

En los últimos años, la producción de materiales compuestos se ha desarrollado rápidamente en el mundo, con un incremento de aproximadamente 5,7% anual en cantidad, desde 1994 hasta 2000, según el estudio "Materiales Compuestos -- Estimaciones Nodal Consultants -- Año 2000", del Ministerio de Economía, Finanzas e Industria de la República de Francia. El reporte muestra que países como Alemania, Italia y Francia han sido los que más interés han expresado en este campo, y sus principales aplicaciones han sido en los sectores: automotriz, aeronáutica y construcción civil.

El crecimiento más favorable lo han presentado los compuestos termoplásticos en comparación con los termoestables (con el 9% y el 3% respectivamente). Esto debido en gran parte, a que los primeros son más recientes que los segundos. Sin embargo, inclusive los materiales compuestos termoestables representan las dos terceras partes del mercado.

En el mundo, se puede observar que si bien Estados Unidos es por mucho el mercado más importante y representa 47% de la transformación mundial de "*composites*¹⁰", es el mercado con menor crecimiento, a una tasa de 4,5% anual. Mientras que los mercados de Europa y Asia representan 28% y 23%, respectivamente, con un crecimiento anual de 7%. Estas cifras demuestran que los materiales compuestos ofrecen múltiples oportunidades de crecimiento y desarrollo. [1]

Las fibras naturales son un recurso renovable por excelencia. Cosechar una tonelada de fibra de yute requiere menos de 10% de la energía utilizada en la producción de polipropileno. Las fibras naturales tienen emisiones neutrales de dióxido de carbono. Al procesarlas se crean residuos que puedan ser utilizados en materiales compuestos para la construcción de viviendas o para generar electricidad. Y al final de su ciclo de vida, las fibras naturales son 100% biodegradables.

Las fibras naturales tienen una buena resistencia mecánica, poco peso y bajo costo. Esto las ha hecho especialmente atractivas a la industria automotriz. En Europa, los fabricantes de automóviles están utilizando un estimado de 80 000 toneladas de fibras naturales al año para reforzar los paneles termoplásticos. La India ha desarrollado láminas de materiales compuestos hechas de fibra de coco, que son más resistentes a la pudrición que la *teca*¹¹. Brasil está haciendo material de techumbre reforzada con *sisal*¹². En Europa, los residuos del cáñamo se utilizan en el cemento, y China usó materiales de construcción a base de cáñamo para los Juegos Olímpicos del 2008.

La producción, procesamiento y exportación de las fibras naturales son de gran importancia económica para muchos países en vía de desarrollo y vital para la subsistencia y la seguridad alimentaria de millones de pequeños agricultores y procesadores. Entre ellos se incluyen 10 millones de personas en el sector del algodón en África central y occidental, cuatro millones de pequeños agricultores de yute en Bangladesh y la India, un millón de trabajadores de la industria de la seda en China, y 120 000 familias de pastores de alpacas en los Andes. Al optar por las fibras naturales que impulsan la contribución del sector al crecimiento económico y a la lucha contra el hambre y la pobreza. Pero podemos hacer más – aumentando las inversiones en las industrias de fibras naturales de los países en vía de desarrollo y adoptando políticas comerciales que garanticen la igualdad de condiciones para sus exportaciones. [2]

Refiriéndose a Canarias las primeras plantas de platanera llegan a comienzos del siglo XV procedentes del sudeste asiático. Actualmente, el plátano de Canarias se produce en seis islas con una media de producción anual de 375 millones de kilogramos. Desde el comienzo del siglo XX, el cultivo del plátano en las Islas Canarias ha aumentado hasta las 9.000 hectáreas actuales. [3]

En las Islas Canarias se desechan cada año casi 25.000 toneladas de plataneros tras cosechar su fruto. [4] Para entender mejor dicho dato se debe conocer el ciclo de vida del plátano, ya que a diferencia de otros cultivos, por cada tallo o tronco se obtiene únicamente una

“*piña*¹³” de plátanos, y tras la recogida, es el retoño de la planta el que crece para dar un nuevo fruto.

Primer año: Plantación (junio - agosto) Selección (octubre - noviembre)

Segundo año: Deshijado (marzo) Parición (septiembre- octubre - noviembre)

Tercer año: Recolección

La rentabilidad económica de la platanera tiene una vida de quince o veinte años, a partir de cuyo momento las producciones decrecen. En Canarias, y salvo algunas posibles excepciones, los cultivos establecidos son prácticamente indefinidos, existiendo cultivos de más de setenta años, sin que por ello las producciones hayan decrecido. [5]

A continuación se muestran los datos de la producción de plátanos desde 2004 al 2014, los cuales generan los desechos de las casi 25.000 toneladas de plataneras.

DATOS EN TONELADAS DE LA PRODUCCIÓN AÑOS 2004 - 2014											
ISLAS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
TENERIFE	181.099	149.830	153.949	157.944	159.164	154.748	190.531	145.983	159.669	151.738	151.968
LA PALMA	147.101	120.362	117.908	135.502	138.270	131.719	147.181	124.625	131.759	125.866	127.672
GRAN CANARIA	79.136	66.015	67.577	66.918	73.041	69.821	84.724	70.485	77.217	78.022	76.984
LA GOMERA	7.400	6.024	5.798	6.085	5.609	5.475	6.298	5.324	6.023	5.122	4.780
EL HIERRO	3.048	2.602	2.984	2.819	2.824	2.892	3.425	2.613	2.761	2.886	2.738
FUERTEVENTURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	115
LANZAROTE	184	171	0	105	185	179	121	103	99	137	-
TOTALES	417.968	345.004	348.216	369.373	379.093	364.834	432.280	349.133	377.528	363.771	364.257

Figura 1.1: Estadística año 2014. Fuente: ASPROCAN [6]

Este trabajo consta en buscar una solución, para el aprovechamiento de los residuos generados por el cultivo del plátano. En este caso, en la posible fabricación de elementos estructurales formado por fibras de la *badana*¹⁴ rodeada de una matriz plástica, en forma de tubo.

3. Materiales compuestos.

Los materiales compuestos están formados por dos o más materiales distintos, que funcionan en conjuntos para producir propiedades diferentes, y en general mejores que las de los componentes individuales. Los materiales compuestos típicos tienen una matriz polimérica de resina, con un material fibroso de refuerzo disperso dentro de ella.

La carga o fase dispersa es un material fuerte y rígido, mientras que la matriz o fase continua tiene una densidad relativamente baja. Cuando se unen entre sí los dos materiales, gran parte de la capacidad de resistencia del material compuesto se debe al material de la carga. La matriz sirve para mantener la fuerza en una orientación favorable para la manera en la que está dispuesta la carga, y para distribuir los esfuerzos al material fibroso. El resultado es un material compuesto algo optimizado, que tiene alta resistencia y rigidez, con poco peso. La tabla 3.1 muestra alguno de los materiales compuestos obtenidos con combinaciones de resinas y fibras, y sus características y usos generales. [7]

Tipo de compuesto	Aplicaciones típicas
Vidrio-epoxi	Piezas para automóvil y aviones, depósitos, artículos deportivos, tarjetas de circuitos impresos.
Boro-epoxi	Estructuras y estabilizadores de aviones, artículos deportivos.
Grafito-epoxi	Estructuras de aviones y aeroespaciales, artículos deportivos, equipos agrícolas, aparatos de manejo de materiales, aparatos médicos.
Aramida-epoxi	Recipientes a presión de filamento devanado, estructuras y equipos aeroespaciales, ropa de protección, componentes de automóvil.
Vidrio-poliéster	Compuestos de lámina moldeada (SMC), carrocerías para camiones y automóviles, cajas grandes.

Tabla 3.1: Ejemplo de materiales compuestos y sus aplicaciones. Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas - Robert L. Mott. [7]

3.1. Compuestos reforzados con fibras.

La mayoría de los compuestos reforzados con fibras consiguen mejor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia-peso, al incorporar fibras resistentes y rígidas aunque frágiles, en una matriz más blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. La resistencia del compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas.

Se emplean muchos tipos de materiales de refuerzo. Por siglos se ha utilizado la paja para reforzar ladrillos de barro o adobes. En las estructuras se introducen varilla de acero de refuerzo. Las fibras de vidrio en una matriz polimérica producen un material para aplicaciones en la industria del transporte y la industria aeroespacial. Las fibras de boro, carbono, polímeros y materiales cerámicos aportan un refuerzo excepcional en compuestos avanzados basados en matriz polimérica, metálica y cerámica. [8]

3.1.1. Fibras naturales.

Como fibras naturales, se entienden los materiales fibrosos que pueden extraerse de la naturaleza, principalmente están constituidos por celulosa y lignina, además de otros componentes en menor cantidad.

Las fibras presentan diferentes composiciones y propiedades físicas que presentan una elevada influencia en la compatibilidad con las matrices poliméricas y por tanto en las propiedades finales del compuesto. La tabla 3.2 recoge algunos de los parámetros físicos más importantes de algunas de las fibras investigadas.

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Humedad (%)
Cáñamo	1,48	88-90	7-10	1,5-2,0	3,5-8,0
Sisal	1,45	65	12	9,9	10
Plátano	1,35	63-64	19	5	10-11
Piña	1,53	81	-	12,7	13,5

Tabla 3.2: Propiedades físicas de distintas fibras naturales. Fuente: Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticos M.D. Salvador, V. Amigó, A. Nuez, O. Sahuquillo, R. Llorens, F. Martí² [9]

Las propiedades mecánicas de las fibras resultan bastante diversas y dependen mucho de las condiciones en las que se encuentra la fibra, principalmente en cuanto a su grado de humedad. En la tabla 3.3 se recogen algunos parámetros mecánicos de diferentes fibras. [9]

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Módulo de elasticidad (GPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Alargamiento a la rotura (%)
Algodón		4,98-10,92	264-254	3,0-7,0
Lino		24,00	300-900	2,7-3,2

Cáñamo	1,48		285	1,3
Plátano	1,35	20,00	550	5,0-6,0
Sisal	1,45	10,40	444-552	2,0-2,5
Piña	1,53	4,20	413	3,0-4,0
Yute		43,80	342-672	1,7-1,8

Tabla 3.3: Características de diferentes fibras empleadas en la modificación de termoplásticos.

Fuente: Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas M.D. Salvador, V. Amigó, A. Nuez, O. Sahuquillo, R. Llorens, F. Martí2 [9]

3.1.2. Fibras de platanera.

De esta planta se aprovechan para el consumo su fruta, el resto de la planta se convierte en un desecho.

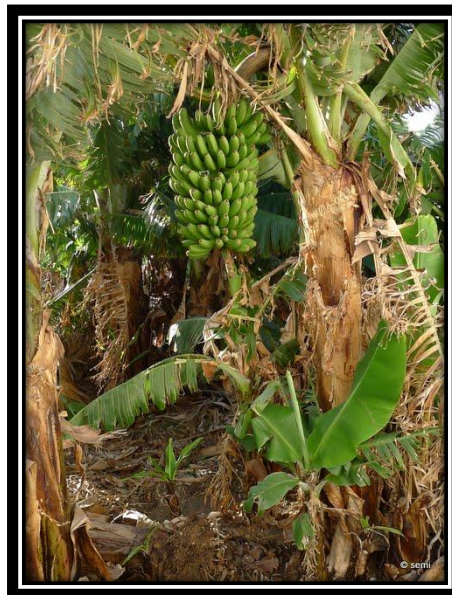


Figura 3.1: Detalle de una platanera.

<http://blogdesemi.blogspot.com.es/2011/01/la-badana.html>

Las fibras naturales del pseudotallo o badana del plátano como refuerzo en compuestos poliméricos presentan muchas ventajas como baja densidad, bajo costo, menor contaminación ambiental, biodegradabilidad, etc., por sobre otras fibras sintéticas como la fibra de vidrio, sin embargo estas deben ser químicamente tratadas con el fin de mejorar la poca adhesión que existe entre la matriz polimérica (hidrófoba) y las fibras de carácter hidrofílicas. [10]

Algunas de sus propiedades quedan descritas en la Tabla 3.2 y la Tabla 3.3.

3.1.3. Fibra de carbono.

Los materiales compuestos que se fabrican utilizando fibras de carbono para reforzar matrices de resina plástica, se caracterizan por tener una combinación de ligereza de peso, muy alta resistencia y elevada módulo de elasticidad.

Las fibras de carbono producidas por el material precursor PAN tienen una resistencia a la tensión que fluctúa entre 3.10 y 4.45 GPa, aproximadamente, y un módulo de elasticidad que oscila entre 193 a 241 GPa. En general, las fibras con más alto módulo de elasticidad tienen menos resistencia a la tensión y viceversa. La densidad de las fibras suele ser de entre 1.7 y 2.1 g/cm³, mientras que su diámetro final es de 7 a 10 μ m, aproximadamente. [11]

3.1.4. Fibra de vidrio.

Las fibras de vidrio se usan como refuerzo de matrices de plástico para formar compuestos estructurales y compuestos de moldeo. Los materiales compuestos de plástico con fibra de vidrio tienen las siguientes características favorables: alta relación entre resistencia y peso; buena estabilidad dimensional; buena resistencia al calor, el frío, la humedad y a la corrosión; buenas propiedades de aislamiento eléctrico; facilidad de fabricación y costo relativamente bajo.

Los dos tipos más importantes de vidrio que se utilizan en la producción de fibra de vidrio para compuestos son los vidrios E (eléctricos) y S (alta resistencia).

El vidrio E es el que se usa más comúnmente en fibras continuas. El vidrio E tiene una resistencia a la tensión de 3.44 GPa, aproximadamente, en estado virgen y un módulo de elasticidad de 72.3 GPa.

El vidrio S tiene una relación entre resistencia y peso más alta y es más caro que el vidrio E; se usa sobre todo en aplicaciones militares y aeroespaciales. La resistencia a la tensión del vidrio S es superior a 4.48 GPa y su módulo de elasticidad es de 85.4 GPa, aproximadamente. [11]

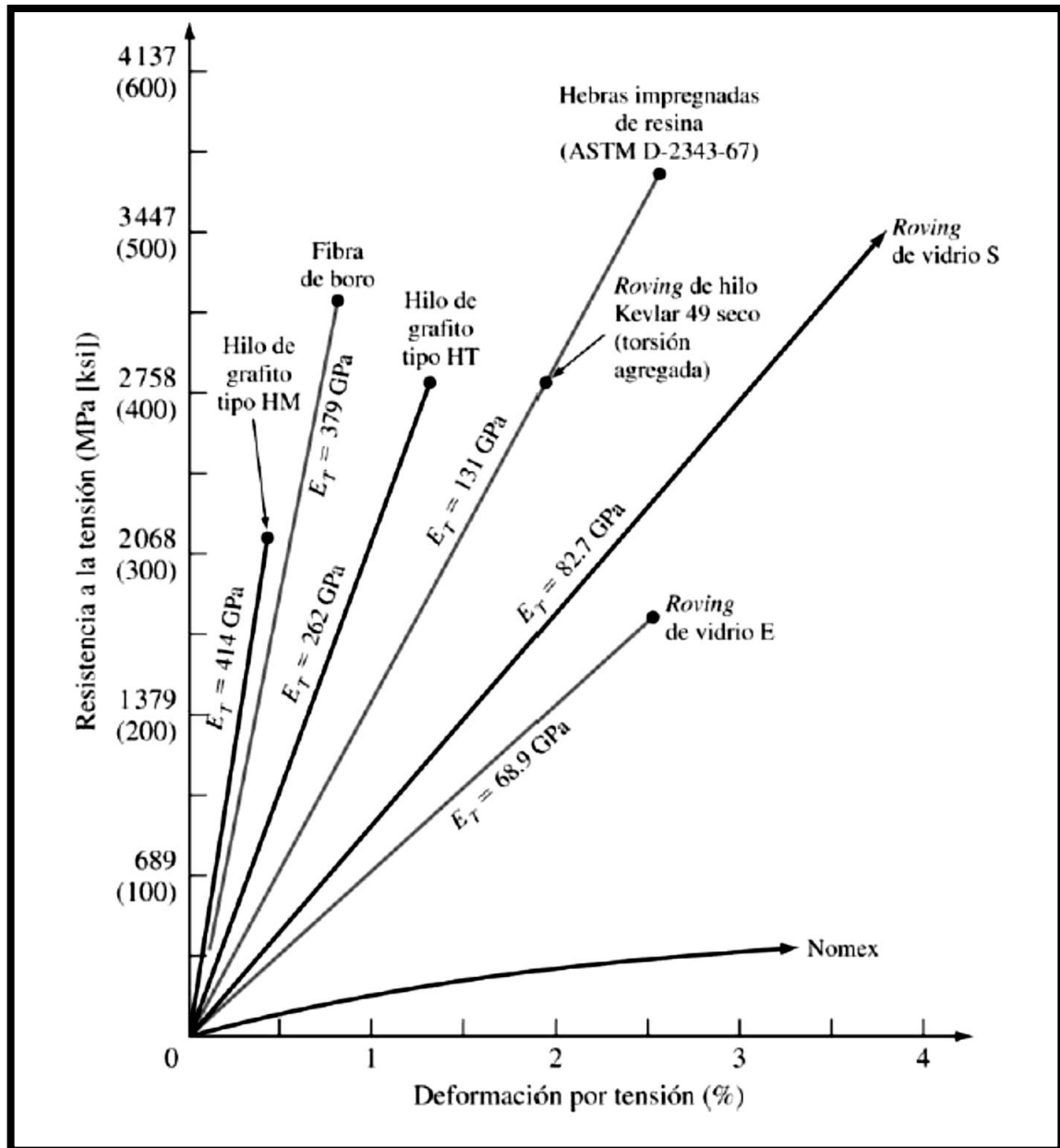


Figura 3.2: Comportamiento de esfuerzo-deformación de varios tipos de fibras de refuerzo.

“Kevlar 49 Data Manual”, E. I. Du Pont de Nemours & Co., 1974. [11]

3.2. Resinas.

Dos de las más importantes resinas plásticas utilizadas como matriz para la fabricación de plástico reforzado con fibra son: la resina de poliéster insaturados y la resina epoxi.

Algunas de las propiedades de la resina epoxi y de poliéster sin refuerzo de fibras se recogen en la Tabla 3.4. Las resinas de poliéster son de menor coste pero no son habitualmente tan resistentes como la resina epoxi. Éstas son utilizadas ampliamente como matrices de plástico reforzado con fibra, normalmente fibra de vidrio. Las aplicaciones de estos materiales incluyen

su empleo en cascos de barco, paneles de construcción y paneles estructurales de automóviles, aeronaves y accesorios. Las resinas epoxi en cambio tienen buenas propiedades en relación a su resistencia y además cuentan con una menor contracción después del curado que las resinas de poliéster. Por otro lado, se utiliza habitualmente como matrices de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono. [11]

	Poliéster	Epóxica
Resistencia a la tensión (MPa)	40 - 90	55 - 130
Módulo de la elasticidad bajo tensión (GPa)	2.0 – 4.4	2.8 – 4.2
Esfuerzo de fluencia a la flexión (MPa)	60 - 160	125
Resistencia al impacto (J/m)	10.6 – 21.2	5.3 – 53
Densidad (g/cm ³)	1.10 – 1.46	1.2 – 1.3

Tabla 3.4: Algunas propiedades de las resinas de poliéster y epóxicas moldeadas sin relleno. [11]

3.3. Caracterización de las fibras.

Al diseñar un compuesto reforzado con fibras se debe tomar en consideración muchos factores como la longitud, el diámetro, la orientación, la cantidad y propiedades de las fibras; las propiedades de la matriz; y la unión entre fibras y matriz.

Las dimensiones de las fibras se caracterizan mediante la relación de forma l/d , la longitud dividida entre el diámetro.

La resistencia del compuesto mejora cuando la relación de forma es grande. A menudo las fibras se fracturan debido a defectos en la superficie. Fabricarlas con un diámetro lo más pequeño posible, le da a la fibra menos área superficial, por lo que hay menos defectos que pueden propagarse bajo carga. Los extremos de las fibras soportan menos carga que el resto, a menos extremos, mayor capacidad de las fibras para soportar carga. Como muestra la Figura

3.3, al incrementar la longitud de las fibras recortadas de vidrio en una matriz epóxica aumenta la resistencia del compuesto. [8]

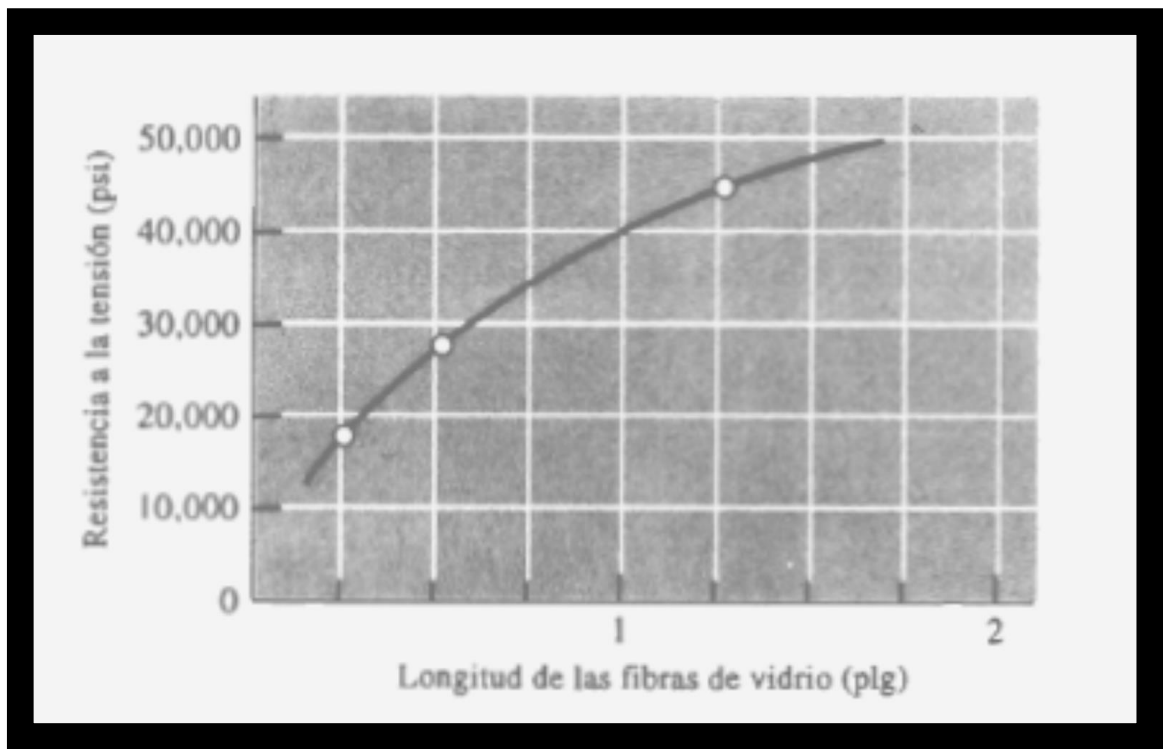


Figura 3.3: Ejemplo longitud de las fibras, resistencia del compuesto. [8]

Una fracción mayor de volumen de fibras incrementa la resistencia y la rigidez del compuesto. Sin embargo, el volumen máximo de fibras es aproximadamente del 80%, más allá de esta cantidad de fibras ya no quedan totalmente rodeadas por la matriz.

Las fibras de refuerzo pueden introducirse en la matriz con diversas orientaciones. Los arreglos unidireccionales con fibras largas e incluso continuas producen propiedades *anisotrópicas*¹⁵, con resistencia y rigidez paralelas a la fibra particularmente buenas. Sin embargo, si la carga es perpendicular a las fibras, la orientación unidireccional origina propiedades pobres.

Las fibras cortas con una orientación aleatoria y una relación de forma típicas en el compuesto reforzado con fibra de vidrio, se pueden introducir con facilidad en la matriz, dando lugar un comportamiento relativamente *isotrópico*¹⁶.

Una de las características únicas de los compuestos reforzados con fibra es que sus propiedades se pueden diseñar para soportar condiciones de carga diferentes. [8]

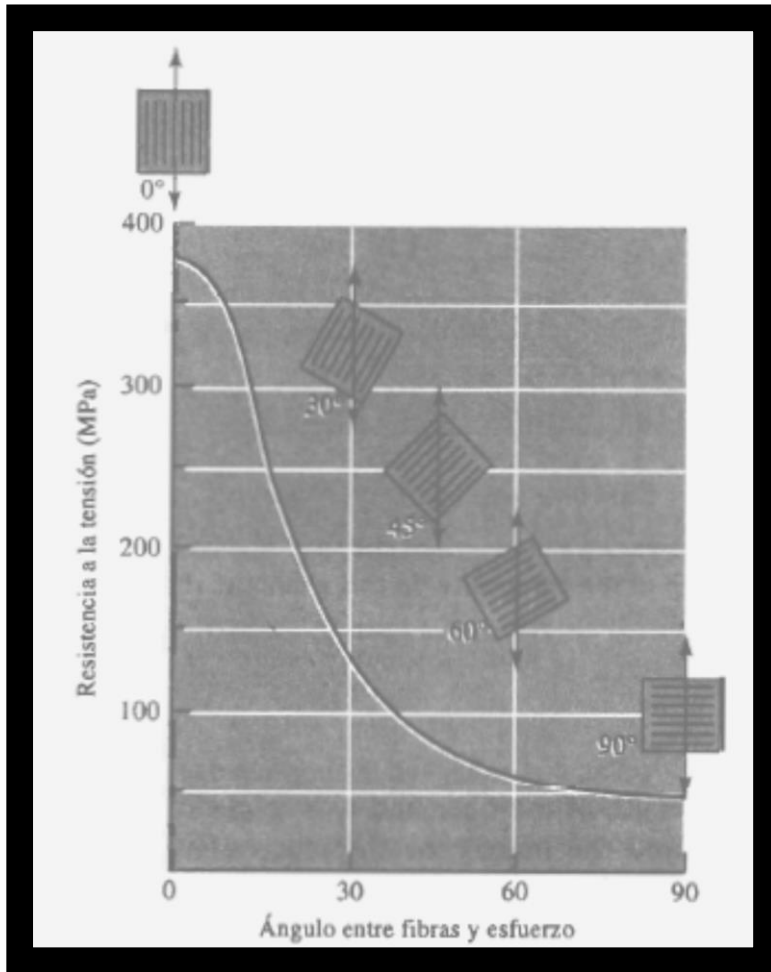


Figura 3.4: Efecto de la orientación de las fibras en la resistencia a la tensión. [8]

4. Obtención de las fibras de platanera.

Las fibras de plataneras utilizadas como refuerzo de la matriz polimérica se obtuvieron a partir del falso tallo o badana.

La materia prima se recolecta en terrenos de agricultores locales, de una pequeña finca en el municipio de Tegueste y de una explotación agraria en la localidad de Valle de Guerra.

La materia prima se lleva al laboratorio, después de ser separada la badana del tallo, ya que al tallo, en este trabajo, no le vamos a dar utilidad.

Estas fibras se procesaron de tres formas diferentes:

Las dos primeras buscan reducir el grosor y la masa del producto, manteniendo sus propiedades mecánicas; y la tercera, es la obtención de polvo como carga de refuerzo de la matriz polimérica.

A continuación se detallan los pasos del procedimiento, el secado y el tratamiento químico. En último lugar son secadas nuevamente y utilizadas como refuerzo de la matriz polimérica.

4.1 Proceso de obtención de las fibras.

Procedimiento 4.1.1

En el primer proceso realizado, se separaron manualmente, las capas de la badana, y se cortó, con la ayuda de un cuchillo, dicha badana en forma de tiras de aproximadamente 4 centímetros. Para poder separar ambas caras, véase Figura 4.1, y desechar la cara frágil de la misma, se usó el cuchillo cortando el plano paralelo a las caras de la badana. La cara frágil de la badana se identifica fácilmente, por no incluir fibras y romperse con facilidad, véase en color verde la cara frágil y en rojo la cara fibrosa en la Figura 4.1. Posteriormente las fibras se dejan secar, como indica el apartado 4.2 Secado.

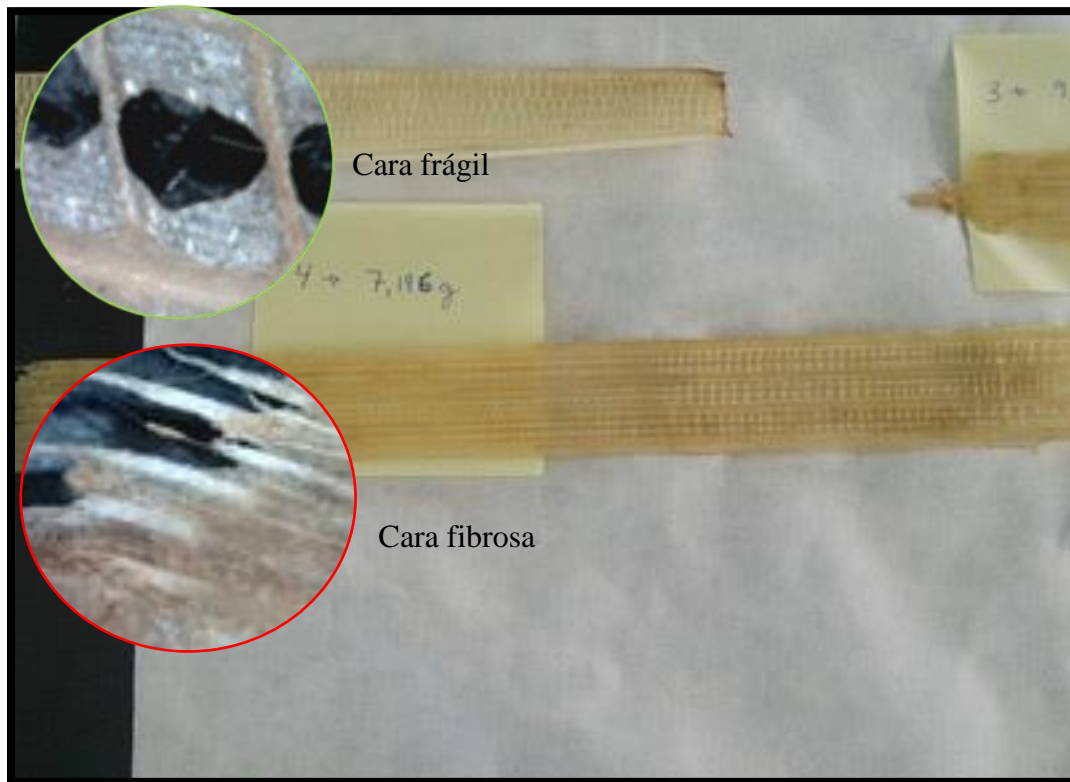


Figura 4.1: Detalle de la cara frágil y fibrosa, tras el corte de la badana. Fuente: propia.

Procedimiento 4.1.2

En el segundo proceso, primero se secaron las tiras de badana y posteriormente con un cepillo con cerdas metálicas, véase Figura 4.2, se desprendió de la superficie la cara frágil, dejando el material en el estado deseado. Con el cúter se cortaron a unas dimensiones aproximadas, mayores que las medidas de las probetas, para la posterior fabricación de las probetas.

Después del cepillado se le aplicó presión para evitar el curvado de cara y el curvado de canto y dejar el material lo más plano posible. [15] Los restos desprendidos se usarán posteriormente para producir el polvo, como carga de refuerzo.



Figura 4.2: Cepillado de la badana. Fuente: propia.

Procedimiento 4.1.3

El tercer proceso, será la obtención del polvo a partir de los restos obtenidos en el segundo, tras el tratamiento químico que se describe en el siguiente apartado 4.3, en este se tamizan los restos del material cepillado, véase Figura 4.3.

El material se tamiza mediante un tamiz de 1mm. El material tamizado, será la carga utilizada, en el refuerzo de la matriz polimérica.



Figura 4.3: Tamiz de 1mm. Fuente: propia.

4.2 Secado.

El proceso de secado se realizó en una habitación, donde el aire pudiera circular, pero con una temperatura alta y humedad relativa lo más baja posible.

Esto se consiguió a partir de un calefactor, manteniendo, dentro del aislamiento que nos ofrece la habitación, una temperatura de 30°C y una humedad relativa entre 50% y 60 %, véase Figura 4.4, para favorecer el secado. También se usó papel absorbente entre la badana, para capturar la humedad de la misma. Para evitar el curvado de cara y el curvado de canto, defectos del secado, se le aplicó presión a través del peso de unas planchas metálicas lisas y piezas de bloques y ladrillos.



Figura 4.4: Humedad relativa y Temperatura en grados Celsius. Fuente: Propia

La duración del proceso depende del grosor de las láminas de badana cortadas, ya que es un material irregular, las capas internas y externas tienen espesores diferentes, al igual que una misma badana en sus extremos, tiene un espesor inferior que en el centro de la misma. Cada 2 días se observó el papel, si éste está muy humedecido se sustituye por otro, para evitar la podredumbre de la badana. Igualmente, cada dos días, se tomaban datos de la masa, hasta obtener masa constante, lo cual indica el secado del material.

En el segundo proceso de obtención de las fibras, no se le aplicó presión al material durante el secado, ya que los defectos de secado no importan. Como se explicó en el apartado anterior, la presión se aplica al finalizar el proceso de cepillado para eliminar los defectos del secado ya mencionados.

4.3 Tratamiento químico de las fibras.

La extracción química de la celulosa de las fibras con hidróxido de sodio (NaOH) permite disolver la lignina en las mismas y mejora su tenacidad, a su vez que aumenta su resistencia a la ruptura. El contenido de celulosa en la badana es alto, al igual que el contenido de lignina, si se compara con el de otras fibras vegetales. Esta se puede retirar haciéndola reaccionar con hidróxido de sodio.

A partir del estudio *“Efectos del tratamiento químico en las propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales como sustitutas de la fibra de vidrio en composites. Flores Manrique Nadia, González Olga”* [10] se deduce que el mejor resultado se obtiene para una disolución 1N, que nos da un resultado de 40 g de NaOH por litro de agua.

Las fibras se sumergen 24 h en la disolución a temperatura ambiente, véase Figura 4.5 y Figura 4.6.



Figura 4.5: Fibras sumergidas en disolución 1N de NaOH (1). Fuente: Propia.



Figura 4.6: Fibras sumergidas en disolución 1N de NaOH (2). Fuente: Propia.

Tras las 24h sumergidas se procede posteriormente al secado de las mismas.

Las fibras que fueron sumergidas, se usaron en la fabricación de las probetas para flexión con una disposición aleatoria de las fibras y longitudinales.

5. Preparación y fabricación de las probetas.

Después de algunos ensayos preliminares y ante la gran variedad de parámetros que deben tenerse en cuenta para conseguir unas condiciones de fabricación óptima, se decidió comenzar preparando los siguientes tipos de probetas normalizadas y tubulares:

Probetas normalizadas fabricadas con resina de poliéster:

- Probetas normalizadas reforzadas con fibra de platanera no tratada químicamente, en disposición longitudinal.
- Probetas normalizadas, reforzadas con fibra de platanera tratada químicamente, en disposición longitudinal.
- Probetas normalizadas, reforzadas con polvo de platanera tratado químicamente, como carga de refuerzo al 1% del volumen de resina, al 5%, al 15% y al 20%.
- Probetas normalizadas, reforzadas con fibra de platanera tratada químicamente, en disposición aleatoria.

Probetas tubulares con resina de poliéster:

- Probetas tubulares sin refuerzo.
- Probetas preliminares tubulares, reforzadas con fibra de platanera no tratadas químicamente, en disposición axial.
- Probetas tubulares, reforzadas con fibra de platanera tratada químicamente, en disposición axial.
- Probetas tubulares, reforzadas con polvo de platanera no tratado químicamente, como carga de refuerzo al 25% del volumen de resina.
- Probeta preliminar tubular, reforzadas con MAT de platanera tratado químicamente, en disposición aleatoria.

En los apartados siguientes se describen pormenorizadamente los procedimientos de preparación de estos materiales compuestos.

5.1. Fabricación de probetas normalizadas con refuerzo de fibra de platanera no tratada y disposición longitudinal.

Para las probetas normalizadas fabricadas con matriz poliéster y refuerzo de fibra de platanera, se procede siguiendo la norma UNE-EN-ISO 178 [12], para ello se preparan 5

probetas de poliéster con varias capas de fibra de platanera hasta el espesor requerido por la norma.

Las medidas que la norma propone como recomendadas para las probetas son 80 mm x 10mm x 4 mm

Para el comienzo de la fabricación se usó el material obtenido del procedimiento 4.1.1, con el cual preparó una lámina longitudinal de fibras, que se llamará, en siguientes apartados, como “conformado longitudinal”.

Para la fabricación del conformado longitudinal de las fibras, se necesitó de la ayuda de dos placas plásticas de 20 x 25 cm recubiertas con una fina lámina de silicona, ya que la resina se desprende mejor de la superficie de silicona y así facilitar su posterior desmolde. Con estas placas se aplica presión al conformado longitudinal durante el proceso de curado, proceso en el cual pasa de estado líquido a sólido, para así conseguir una presión uniforme sobre el conformado longitudinal y con ello obtener una lámina fina y plana .

El proceso se inicia aplicando cera desmoldante sobre las láminas de silicona y preparando la mezcla de resina de poliéster, que se describe a continuación:

En primer lugar, se precisa obtener una resina menos viscosa que la que se obtiene comercialmente, esto es necesario para poder aplicarla mediante una pistola de compresor o mediante un bote con dispensador por spray. Para esto, se contactó con la empresa suministradora de la resina, y se pidió información sobre cómo conseguir disminuir la viscosidad de la preparación de la resina poliéster. Para ello, el personal nos recomienda las siguientes anotaciones:

“Añadir 10% en volumen de acetona y 10% en volumen de estireno”, con lo cual diluimos la resina, consiguiendo menos viscosidad de la mezcla.

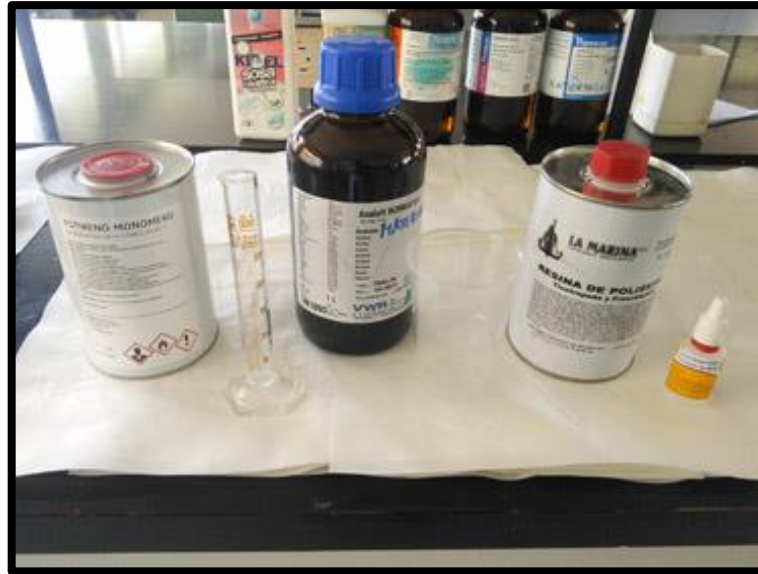


Figura 5.1: Material para preparación de la resina. Fuente: Propia.

Para la correcta dosificación de la resina, las recomendaciones del fabricante, indican las proporciones de 49 ml de resina para 1 ml de catalizador.

Para su preparación, los volúmenes se miden en una probeta cilíndrica y una pipeta respectivamente y se añaden a un vaso desechable, la resina, la acetona y el estireno, posteriormente se remueve la mezcla hasta homogenizar, durante aproximadamente 2 minutos.

Todo el proceso se realiza a temperatura ambiente y cada vez que se necesita más resina de poliéster se elabora en las mismas proporciones siguiendo los pasos anteriores.

Una vez preparada la resina y habiéndose aplicado cera desmoldante a las placas, se colocaron las fibras longitudinalmente sobre las mismas. Y bajo la campana extractora, ya que está contraindicado respirar los vapores, tanto de la resina como del estireno empleado, se aplicó la resina mediante compresor y pistola de gravedad, usada comúnmente para realizar trabajos de pintura. El motivo de la utilización de la pistola, es conseguir aplicar una fina capa de resina, la cual, tras su curado, deje el conformado longitudinal moldeable para usarlo posteriormente en la fabricación de las probetas.

Por último, se colocó la segunda placa sobre el conformado y se le aplicó presión mediante una prensa, Figura 5.2, durante el proceso de curado. Este proceso de curado se efectúa bajo las mismas condiciones en las que se produce el secado de las fibras de platanera, descritas en el apartado “4.2. Secado”.



Figura 5.2: Sistema de aplicación de la resina bajo campana extractora, pistola y prensa usada. Fuente: Propia.

Tras tres días de curado, se procedió a desmoldar el resultado con la ayuda de una espátula, quedando un resultado final como se muestra en la Figura 5.3



Figura 5.3: Conformado longitudinal. Fuente: Propia.

Una vez obtenido el conformado longitudinal, se cortó el mismo a la medida de las placas plásticas de silicona de 20x25 cm.

Sobre las placas se vuelve a aplicar cera desmoldante, y se coloca el recorte de conformado longitudinal entre las mismas, tres capas de conformado longitudinal, y se aplica resina, elaborada como se describió anteriormente, sobre el conformado.

Por último se le vuelve a aplicar presión con la prensa y tras el curado a las condiciones ambientales descritas en el apartado 4.2, tras tres días, se procedió al desmolde con la ayuda de una espátula.

Finalmente se cortaron las probetas con la sierra de mano, a la medida requerida por la norma, 80x10x4 mm, quedando como resultado la probeta normalizada con refuerzo de fibra de platanera no tratada y disposición longitudinal, mostrada en la Figura 5.4.



Figura 5.4: Probeta normalizada de fibra longitudinal no tratada. Fuente: Propia.

5.2. Fabricación de probetas normalizadas con refuerzo de fibra de platanera tratada y disposición longitudinal.

Para las probetas fabricadas con matriz poliéster y refuerzo de fibra de platanera, se procede siguiendo la norma UNE-EN-ISO 178 [12], para ello se preparan 10 probetas de poliéster con cuatro capas de fibra de platanera consiguiendo el espesor requerido por la norma.

Las medidas que la norma propone como recomendadas para las probetas son 80 mm x 10mm x 4 mm

Para el comienzo de la fabricación se usó el material obtenido del procedimiento 4.1.2, el cual se continuó con el tratamiento químico expuesto en el apartado 4.3. En este caso, a

diferencia del caso anterior, se omite el paso de la fabricación del conformado longitudinal, puesto que se consigue optimizar el proceso de la forma que a continuación se describe.

En este proceso, no hizo falta la preparación del conformado longitudinal mediante presión entre placas, puesto que con la utilización del molde (Figura 5.5), y en un solo proceso, conseguimos obtener probetas cuyas dimensiones, de espesor son suficientes y pueden cortarse para obtener las probetas normalizadas.



Figura 5.5: Molde plástico. Fuente: Propia.

Como se observa en la Figura 5.5, el molde es desmontable separándose en el plano medio, y con tapas para cada una de las cavidades.

En primer lugar, se aplica cera desmoldante en las cavidades del molde y a las tapas del mismo. Posteriormente se cortan las fibras obtenidas tras el tratamiento químico a las dimensiones de las cavidades del molde, estas dimensiones son superiores a las de las probetas normalizadas, colocándose en el interior 4 capas de fibra, alternando resina y fibra, por último se coloca la tapa sobre cada una de las cavidades en las que se ha colocado la resina y las fibras y se aplica presión mediante la misma prensa que se usó anteriormente, Figura 5.2.

Tras el curado durante tres días, bajo las condiciones del apartado 4.2, se procedió al desmolde, quitando la tapa, se desmolda con facilidad.

Finalmente se cortaron las probetas con la sierra de marquetería, Figura 5.6, a la medida requerida.



Figura 5.6: Sierra de marquetería durante el corte de las probetas. Fuente: Propia.

Quedando como resultado las probetas normalizadas con refuerzo de fibra de platanera tratada químicamente y disposición longitudinal, mostradas en la Figura 5.7.

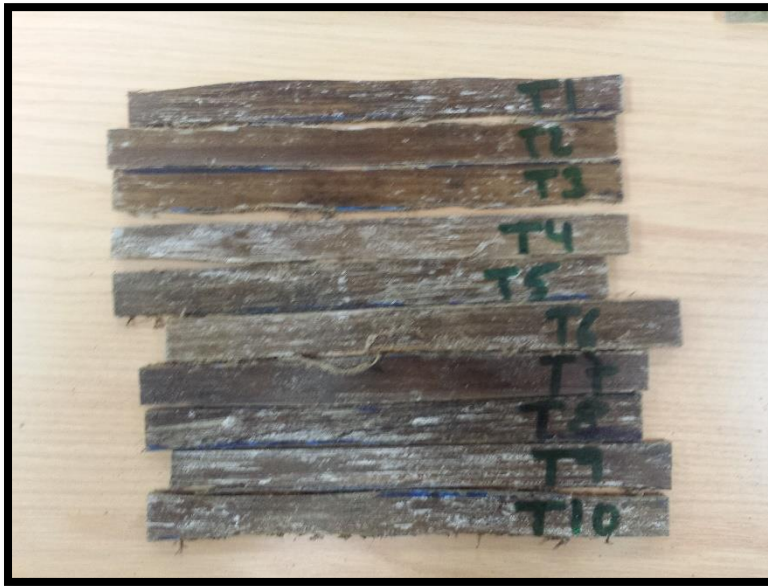


Figura 5.7: Probetas de fibras tratadas de platanera. Fuente: Propia.

En la Figura 5.8 se puede observar el detalle del aspecto final, muy similar a la madera.



Figura 5.8: Detalle de las probetas fabricadas con fibras tratadas químicamente. Fuente: Propia.

5.3. Fabricación de probetas normalizadas con carga de refuerzo de polvo de platanera tratado.

Para las probetas fabricadas con matriz poliéster y polvo de fibra de plátano se realiza siguiendo la norma UNE-EN-ISO 178 [12], para ello se preparan probetas de poliéster con varios porcentajes en la carga de refuerzo, 10 para el 1% y 10 para el 5%, 6 para el 15% y 6 para el 20% de polvo de platanera en volumen.

Se escogen estos porcentajes tras analizar las cargas que son habituales en otros productos comerciales similares, donde se encontró que para ello, se indicaba mezclar hasta densidad y viscosidad deseada [17].

A partir del 25% de carga de fibra de platanera, la resina se vuelve demasiado viscosa, con lo cual no fluye en los moldes. Por esto, se decidió restringir al 20% en volumen la carga máxima de polvo de platanera en nuestros materiales compuestos así como comprobar como afectaba a la resistencia a flexión.

Para ello, en primer lugar se reduce el tamaño de partícula del material seco hasta obtener el volumen de polvo de platanera requerido según el porcentaje de las probetas que se querían fabricar.

El polvo de platanera se obtiene como se describe en el proceso 4.1.3, tras tener el polvo de platanera, este ha de medirse en volumen para la proporción requerida en cada caso, este se efectúa mediante un vaso desechable de la siguiente forma:

Se mide en una probeta la cantidad de agua igual al volumen de polvo de platanera que se requiere, una vez se tiene el volumen de agua igual al del polvo, se vierte el agua en el vaso desechable, de esta manera podemos marcar en el vaso con un rotulador el nivel, en volumen, que ha alcanzado el agua dentro del vaso. Ya marcado el vaso con el volumen requerido, se desecha el agua y se rellena con polvo de platanera haciendo presión, para eliminar en cuanto sea posible, los huecos rellenos por aire.

En el paso siguiente se añadió la resina, obteniendo la mezcla en el porcentaje requerido de resina y polvo de platanera, véase Figura 5.9.



Figura 5.9: Mezcla de resina y polvo de platanera. Fuente: Propia.

Esta mezcla se vierte en los moldes plásticos, los cuales han sido encerados con el agente desmoldante, véase Figura 5.5, rellenando 4mm de altura que requiere la probeta, a continuación se coloca la tapa del molde y sin hacer presión se deja curar bajo las condiciones de secado del apartado 4.2 durante 3 días.

Tras tres días de curado se obtienen las probetas, véase Figura 5.10.



Figura 5.10: Probetas de polvo de platanera al 15% antes de ser cortadas. Fuente: Propia.

Por último se cortan con la ayuda de la sierra de marquetería, véase Figura 5.6, a las medidas requeridas, 80mm x 10mm x 4mm, quedando como resultado las probetas normalizadas con carga de refuerzo de polvo de platanera tratado, mostradas en la Figura 5.11.



Figura 5.11: Probetas de 1% en polvo de platanera. Fuente: Propia

Este proceso se repite exactamente para la preparación de las cuatro composiciones al 1%, 5%, 15% y 20%.

5.4. Fabricación de probetas normalizadas con refuerzo de fibrillas de platanera tratada en disposición aleatoria.

Para las probetas fabricadas con matriz poliéster y refuerzo de fibrillas de platanera, se procede siguiendo la norma UNE-EN-ISO 178 [12], para ello se preparan 6 probetas de poliéster con fibrillas de platanera en disposición aleatoria consiguiendo el espesor requerido por la norma. Y con las medidas que la norma propone como recomendadas para las probetas: 80 mm x 10mm x 4 mm.

Para comenzar, se necesita preparar una manta de fibrillas de platanera similar a los MAT de fibra de vidrio. La palabra MAT hace referencia a una estera (mat en inglés), una estera o manta de fibrillas de platanera en nuestro caso. Esto se le llamará MAT de fibras de platanera y el proceso de obtención de este MAT se describe a continuación:

Primero se tomó la decisión de caracterizar la fibra incluida aleatoriamente en el MAT, para ello se escogió una longitud y diámetro de las fibras, que hiciera posible la extracción a mano de las mismas y su reproducibilidad dimensional. También se tuvo en cuenta, que la resistencia aumenta cuando la relación entre la longitud de la fibra y el diámetro es grande. Se prefieren fibras con un diámetro lo más pequeño posible (contienen menos defectos superficiales) y que también sean fibras largas, estas fibras muy largas tienen en ocasiones la dificultad que no se pueden introducir para formar el MAT. [7]

Para optimizar la longitud que se deseaba se comparó un MAT de fibra de vidrio, llegando a la conclusión que las más adecuadas serían fibras de 50 mm de longitud y 1 mm de diámetro.

Llegados a este punto se procede a la separación de las fibras de platanera individualmente con la ayuda de un alfiler o aguja, del material obtenido mediante el procedimiento 4.1.1. Se extrajeron las fibras manualmente de 1mm de diámetro, perforando la badana y tirando hacia uno de los extremos, obteniendo así hilos largos a los cuales se le aplicó el tratamiento químico explicado en el apartado 4.3, véase Figura 4.5.

Tras el secado, apartado 4.2, se cortan a 50mm obteniendo las fibras individuales, véase Figura 5.12.



Figura 5.12: Preparación de las fibras aleatorias. Fuente: Propia

Una vez se tienen las fibras individuales de 1mm de diámetro y 50mm de largo, se procede a la fabricación del MAT. Este se hizo con 11g de fibras sobre una superficie de 20x25 cm, véase Figura 5.13.



Figura 5.13: Fibras aleatorias de 50 x 1mm. Fuente: Propia

Con la intención de obtener un MAT flexible para poder moldearlo con posterioridad, las fibras debían ser unidas por una fina capa de resina o por pequeñas gotas. Para ello, como en el conformado longitudinal, se usó un compresor y una pistola de pintura, para pulverizar la resina, también fue utilizada una pequeña botella reciclada de limpiavidrios, para pulverizar la resina. Ya que la limpieza, de la pistola del compresor, se volvía compleja tras varios usos.

Para mejorar el posterior desmolde, se aplicó previamente cera desmoldante, véase Figura 5.14.

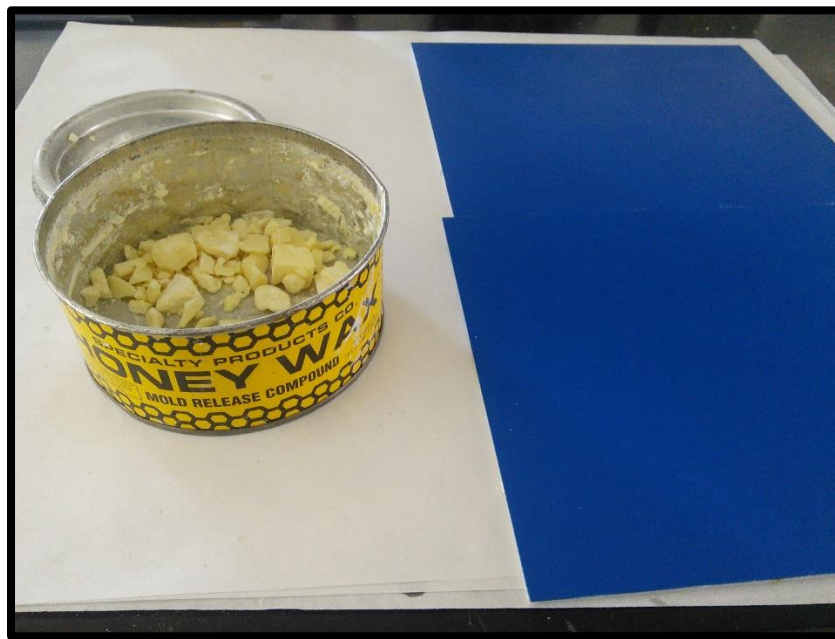


Figura 5.14: Cera desmoldante sobre la lámina de silicona de las placas. Fuente: Propia.

Habiéndose aplicado la cera, se prosiguió con la aplicación de la resina bajo la campana extractora, dando una fina capa que dejara una lámina flexible lo más parecida a un MAT de fibra de vidrio. Por último se le aplicó presión con la prensa Figura 5.2 y se dejó curar durante tres días.

Tras tres días de curado, bajo las mismas condiciones de secado del apartado 4.2, el resultado es el mostrado en la 5.15. Quedando una lámina completamente flexible, el MAT de fibra de platanera en disposición aleatoria, el cual se adaptaría a la forma que se deseara dar.



Figura 5.15: MAT de fibras aleatorias. Fuente: Propia.

Una vez obtenido el conformado de MAT, se vuelve a aplicar cera desmoldante a las placas, y se coloca el MAT entre las mismas, dos capas de MAT y se aplica resina, colocando la segunda placa sobre el MAT.

Por último se aplica presión con la prensa y tras el curado a las condiciones ambientales descritas en el apartado 4.2, tras tres días, se procedió al desmolde con la ayuda de una espátula.

Finalmente se cortaron las probetas con la sierra de mano, a la medida requerida por la norma, 80x10x4 mm, quedando como resultado las probetas normalizadas con refuerzo de MAT de platanera tratada en disposición aleatoria, mostrada en la Figura 5.16.



Figura 5.16: Probeta normalizada de MAT. Fuente: Propia.

5.5. Fabricación de probetas tubulares de resina sin refuerzo.

Para la fabricación de las probetas tubulares, lo primero fue decidir qué tipo de molde se quería usar, para ello se pensó en la posibilidad de fabricar un molde desmontable, para poder ser usado múltiples veces, por lo que se llegó a la siguiente conclusión:

Se usarían dos tubos de diferente diámetro o, un tubo exterior y una vela de cera como tubo interior, la diferencia de diámetro sería el espesor de la probeta tubular. El tubo exterior se cortaría axialmente, quedando dos mitades del tubo, estas serían el cierre del molde, haciendo el exterior, dejando en su interior el tubo de menor diámetro o la vela de cera, como se muestra en la figura esquemática, Figura 5.17.

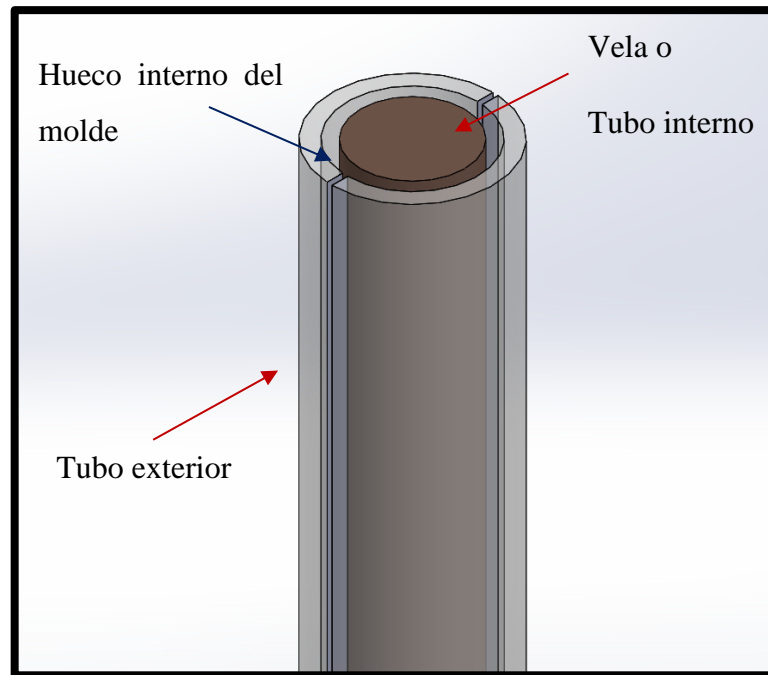


Figura 5.17: Sólido 3D sobre el esquema del molde desmontable. Fuente: Propia.

Para decidir qué tipo de molde usar en el caso del tubo de resina se hicieron unas pruebas preliminares, decidiendo usar un tubo exterior cortado axialmente y una vela en su interior, ya que usando un tubo interior, fue imposible desmoldar la probeta sin ser rota.

En primer lugar para la preparación de los moldes, se compró tubo de aluminio de 25mm de diámetro interno, los cuales se cortaron axialmente, para poder ser desmontado y desmoldar las probetas con mayor facilidad, a su vez se cortaron a una longitud de 25cm, Figura 5.18. Este trabajo de corte, se realizó con la ayuda de una amoladora eléctrica. Por último para acabar con la preparación del tubo exterior se limaron los bordes cortantes creados al ser cortados con la amoladora, se tuvo especial cuidado en no dañar el interior de los tubos, ya que manteniendo el acabado superficial del tubo interior, se conseguiría mejorar el desmolde y la calidad superficial de las probetas tubulares.



Figura 5.18: Tubo exterior del molde de aluminio. Fuente: Propia.

Como molde interior se utilizaron velas, cuya baja temperatura de ablandamiento, permite la separación y posterior desmolde, de 20 mm de diámetro. En la Figura 5.19 se ve como queda colocada la vela en el interior del tubo, formando el molde de la probeta.

Para iniciar la fabricación de las probetas tubulares de resina, teniendo los moldes preparados, se limpian los mismos, si se han usado con anterioridad, con agua caliente, cepillo y un trapo. Con el molde limpio, se encera su interior, la cara interna del tubo de aluminio que crea el exterior del molde. La vela se coloca dentro del tubo y con ayuda de cinta aislante se aumenta el diámetro hasta conseguir que quede la vela a presión dentro del molde, consiguiendo que la vela quede recta en el interior del molde, como se puede observar en la Figura 5.19. Por último se cierra el molde, y se envuelve con cinta aislante para cerrar cualquier posible hueco en la unión de los tubos, por donde pueda fluir la resina.



Figura 5.19: Vela dentro del molde. Fuente: Propia.

A la vez, se pone a calentar parte de cera en un recipiente metálico, sobre un plato calentador y una vez se tiene la cera líquida, se vierte un poco en el fondo de un vaso desechable, este último paso, consigue formar un tapón en el fondo del molde, para que la resina no se vierta fuera del mismo, figura 5.20.



Figura 5.20: Tapón de cera dentro del vaso desechable. Fuente: Propia.

Para finalizar, se coloca el molde en un soporte universal con la ayuda de una pinza, figura 5.21, de este modo el tubo quedará recto.

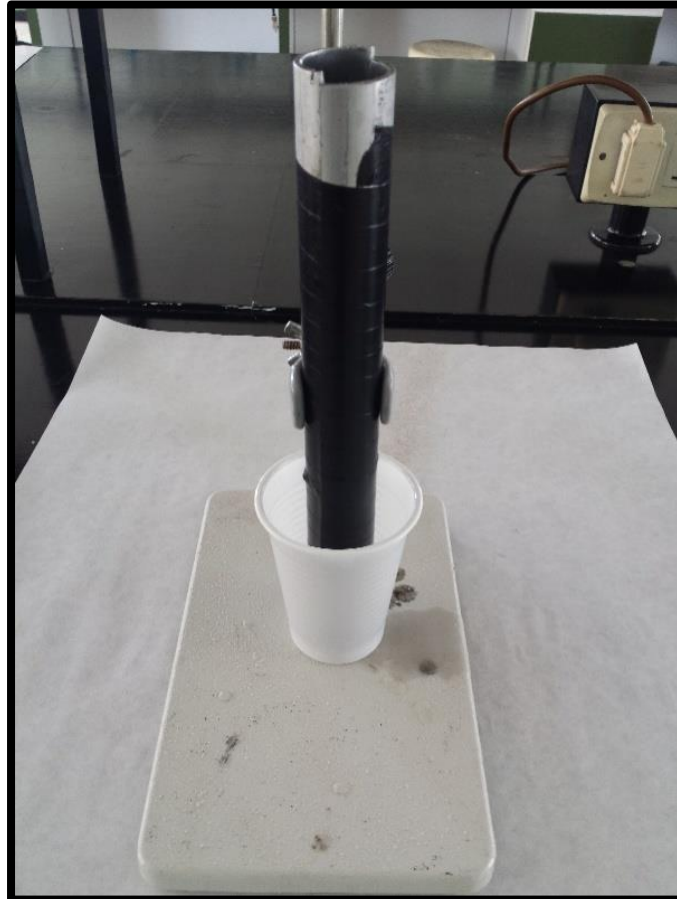


Figura 5.21: Molde en el soporte universal. Fuente: Propia.

Se tiene todo el molde preparado para poder verter la resina, para ello y sin malgastar resina, se estimó el volumen entre la vela y el molde, y así preparar la resina justa:

Datos medidos:

- Longitud de la vela (L_v)= 17 cm
- Diámetro de la vela (\varnothing_v)= 2 cm
- Diámetro interno del tubo (\varnothing_t)= 2,5 cm

Se calcula el volumen de la vela y se le resta al volumen interno del molde, para obtener el volumen de entre los mismos, el cual será relleno por la resina.

$$\text{Volúmen vela} = \pi \cdot \frac{\varnothing v^2}{4} \cdot Lv = \pi \cdot \frac{2^2}{4} \cdot 17 = 53,407 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volúmen molde} = \pi \cdot \frac{\varnothing t^2}{4} \cdot Lv = \pi \cdot \frac{2.5^2}{4} \cdot 17 = 83,449 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volúmen requerido de resina} = \text{Volúmen molde} - \text{Volúmen vela}$$

$$\text{Volúmen requerido de resina} = 83,449 - 53,407 = 30,042 \text{ cm}^3$$

Se prepara la cantidad de resina a partir de este dato, según los tubos a fabricar. Por cada tubo $30,042 \text{ cm}^3$ de resina.

La resina se vierte con cuidado dentro del molde y se deja curar durante tres días bajo las condiciones del apartado 4.2 de secado.

Para desmoldarlo después de pasar los tres días, se quita la cinta aislante que rodea el tubo y se tira de los extremos del molde, sacando medio tubo por un lado, y deslizando la otra mitad del tubo. De esta manera obtenemos la probeta tubular de resina, con la vela en su interior.

El último paso para conseguir la probeta final tras el desmolde, consiste en colocar los tubos en un soporte de tubos de ensayo, verticalmente. Estos se colocan dentro del horno a una temperatura de entre 45°C y 65°C , figura 5.22, temperatura a la cual, la cera se ablanda y pasa a estado líquido. [14]



Figura 5.22: Horno para el desmolde. Fuente: Propia.

Habiendo pasado tres horas, toda la cera ha sido fundida, y se obtiene la probeta tubular de resina, figura 5.23.



Figura 5.23: Probeta tubular de resina. Fuente: Propia.

Obtenidas las seis probetas tubulares fabricadas, se cortan a una medida siempre superior a 90 mm, puesto que el puente de flexión, donde se realizan los ensayos, tiene dicha dimensión.

5.6. Fabricación de probetas tubulares con refuerzo de fibra de platanera tratada en disposición longitudinal.

Para la fabricación de estas probetas, se hizo una prueba preliminar, con probetas de conformado longitudinal sin tratamiento químico. Tras obtener las conclusiones, que a continuación se describen, se tomó la decisión de usar otro molde para medidas de tubo diferente y usar fibras tratadas químicamente.

Para la fabricación de las probetas preliminares, se comenzó por la fabricación de un molde para conformar los tubos. Como se explicó en el apartado anterior, se usa un molde desmontable con un tubo interior y otro exterior cortado axialmente.

Para ello se compraron unos tubos de acero inoxidable 304, un tubo para conformar el interior del molde de 70 mm de diámetro y 1.5mm de espesor, y un segundo tubo exterior de 76 mm de diámetro y 1.5mm de espesor. Los tubos se cortaron con una amoladora eléctrica, a una longitud de 50 cm (véase Figura 5.24) y el tubo que conforma el exterior del molde (76mm y 1,5mm de espesor) se cortó axialmente para poder cerrar el molde (véase Figura 5.25) y así, posteriormente, facilitar la operación de desmolde. La composición final del molde queda como indica la Figura 5.17.



Figura 5.24: Tubo del molde. Fuente: Propia.



Figura 5.25: Tubo exterior del molde. Fuente: Propia.

Tras cortar los tubos se limaron los bordes cortantes, con una lima para metales. Durante todo el proceso se tuvo mucha precaución para no dañar el interior de los tubos que conforman el molde, ya que a la hora de conformar las probetas tubulares, la resina podría incrustarse, dificultando las tareas de desmolde y empeorando la calidad superficial de las probetas.

Se fabricaron dos tubos preliminares:

En primer lugar se fabricaron dos probetas preliminares, se enceraron los tubos del molde, Figura 5.26, posteriormente, con la ayuda del tubo interior del molde, se colocaron las 3 capas del conformado longitudinal, descrito en el apartado 5.1 y se le aplicó la resina, rápidamente se colocó el tubo exterior, cerrando así el molde y se presionó el exterior del molde con la ayuda de unos sargentos.



Figura 5.26: Encerado del molde. Fuente: Propia.

Tras el curado, durante tres días a las condiciones del apartado 4.2, el resultado fue el observado en la Figura 5.27.



Figura 5.27: Tubos de fibra longitudinal. Fuente: Propia.

Se desmoldó sacando los tubos exteriores del molde, y con la ayuda de una pequeña espátula fina, se separó el tubo interior del molde, con mucha precaución, puesto que se fractura con facilidad.

Estas dos probetas fueron ensayadas, mediante un ensayo de flexión de tres puntos, llegando a colapsar por compresión sobre la cara exterior de la probeta, antes de llegar a producirse flexión. Se llega a la conclusión que eran probetas con muy poca esbeltez, por esto se decidió usar para realizar las probetas finales, los moldes de aluminio, más finos con una vela interior como contramolde.

Al igual que en las probetas de resina, una vez preparados los moldes, se limpian los mismos, si han sido usados con anterioridad, con agua caliente, cepillo y un trapo. Una vez limpio, se encera su interior, la cara interna del tubo de aluminio que forma el exterior del molde. Sobre la vela se enrollan dos capas de fibras de platanera tratadas químicamente y se coloca dentro del tubo, Figura 5.27, y con ayuda de cinta aislante se aumenta el diámetro hasta conseguir que quede la vela a presión dentro del molde, consiguiendo que la vela quede recta en el interior del molde. Por último se cierra el molde, y se envuelve con cinta aislante para cerrar cualquier posible hueco en la unión de los tubos, por donde pueda fluir la resina.

A la vez, se pone a calentar parte de cera en un recipiente metálico, sobre un plato calentador y una vez se tiene la cera líquida, se vierte un poco en el fondo de un vaso desechable, este último paso, consigue formar un tapón en el fondo del molde, para que la resina no se vierta fuera del mismo, figura 5.20.

Se revisa que la vela, respecto al molde, deja la separación requerida. En este caso, gracias a las tiras de fibra, figura 5.28, es mucho más fácil conseguir la separación entre la vela y el molde.



Figura 5.28: Fibras dentro del molde. Fuente: Propia.

Para finalizar, se coloca el molde en un soporte universal con la ayuda de una pinza, de este modo el tubo quedará recto, y se vierte la resina preparada. Las fibras ocupan, aproximadamente el 50% del espacio, por lo que se usó la mitad de los ingredientes para la resina vertida, por cada tubo. Para ello, conocida la densidad de la fibra de platanera, y sabiendo el volumen que tenía que ocupar (50%), se pesaban las tiras y se colocó la cantidad necesaria para obtener los tubos al 50% de resina – fibras.

El curado del tubo se produce bajo las mismas condiciones del apartado 4.2.

Para desmoldarlo, se quita la cinta aislante que rodea el tubo y se tira de los extremos del molde, sacando medio tubo por un lado, y el otro medio se desliza fácilmente por el tubo. De esta manera obtenemos la probeta tubular con refuerzo de fibras de platanera tratada en disposición axial, con la vela.

El último paso del desmolde, consiste en colocar los tubos en el soporte de los tubos de ensayo, verticalmente. Estos se colocan dentro del horno a una temperatura de entre 45°C y 65°C, temperatura a la cual, la cera de la vela interior pasa a estado líquido. [14]

Tras tres horas de tratamiento en el horno, toda la cera se ha fundido, y se obtienen las cinco probetas tubulares fabricadas con refuerzo de fibra de platanera tratada químicamente en disposición longitudinal, figura 5.29, lista para cortarla a la medida requerida, siempre de tamaño mayor a 90mm.



Figura 5.29: Probeta tubular con refuerzo de fibra de platanera tratada químicamente en disposición longitudinal. Fuente: Propia.

5.7. Fabricación de probetas tubulares con carga de refuerzo de polvo de platanera tratado.

Para la fabricación de las probetas tubulares con carga de refuerzo de polvo de platanera tratado químicamente, en una composición del 25%, se usaron como moldes, el tubo exterior de aluminio de 25mm de diámetro y en su interior una vela.

En primer lugar se limpia el molde, si se ha usado con anterioridad, con agua caliente, cepillo y un trapo. Con el molde limpio, se encera su interior, la cara interna del tubo de aluminio que crea el exterior del molde. La vela se coloca dentro del tubo y con ayuda de cinta aislante se aumenta el diámetro hasta conseguir que quede la vela a presión dentro del molde, consiguiendo que la vela quede recta en el interior del molde. Figura 5.19. Por último se cierra el molde, y se repite el proceso mencionado anteriormente.

Análogamente a otros apartados anteriores, se forma un tapón en el fondo del molde, para que la resina no se vierta fuera del mismo. Se revisa que se deja la separación requerida entre vela y molde exterior, de no ser así, se coloca bien respecto al molde.

Para finalizar, se coloca el molde en un soporte universal con la ayuda de una pinza, de este modo el tubo quedará recto.

Inicialmente se prepara una mezcla del 25% de polvo de platanera con resina en las mismas proporciones anteriormente descritas. Se usó un 25 %, de polvo de platanera en volumen, porque se pudo observar que si se incluye más %, la mezcla se hacía demasiado viscosa, como para fluir dentro del molde y ocupar todos los espacios creando el tubo.

Solo preparamos probetas al 25% de polvo de platanera, ya que nuestro interés reside en conocer el comportamiento del material con refuerzo al añadir polvo como carga de refuerzo a las probetas, y se quería estudiar como afectaba la distinta composición al resultado final.

Después de tres días de curado bajo las condiciones de secado del apartado 4.2, se procede a la separación del molde.

Para desmoldarlo, se quita la cinta aislante que rodea el tubo y se tira de los extremos del molde, sacando medio tubo por un lado, y el otro medio se desliza fácilmente por el tubo. De esta manera obtenemos la probeta tubular reforzada con polvo de platanera.

El último paso del desmolde, consiste en colocar los tubos en el soporte de los tubos de ensayo verticalmente, figura 5.30. Estos se colocan dentro del horno a una temperatura de entre 45°C y 65°C, temperatura a la cual, la cera pasa a estado líquido. [14]



Figura 5.30: Tubo antes del desmolde. Fuente: Propia.

Tras tres horas de tratamiento en el horno, toda la cera ha sido fundida, y se obtienen las cuatro probetas tubulares listas para ser cortadas, a una longitud mayor de 90mm.

5.8. Fabricación de probetas tubulares con refuerzo de fibrillas de platanera tratada en disposición aleatoria.

Para fabricar las probetas tubulares de MAT se decidió hacer inicialmente una prueba de un único tubo. Como se explica a continuación, el resultado condujo a no hacer una tanda de probetas tubulares de MAT.

Para fabricar la probeta se usó, el molde de acero inoxidable, y el MAT de fibras de platanera, tal y como se explicó su fabricación en el apartado de la fabricación de las probetas normalizadas de MAT.

En primer lugar, se aplicó cera desmoldante al molde, véase Figura 5.25, a la cara exterior del tubo interno y la cara interna del tubo externo del molde.

Posteriormente, con la ayuda de la cara exterior del tubo interno del molde, se colocaron 3 capas de MAT, se le aplicó la resina y cerró el molde con la ayuda del tubo exterior, se presionó el tubo exterior del molde con los sargentos, consiguiendo aplicar presión sobre el MAT.

Tras tres días de curado bajo las condiciones de secado del apartado 4.2, se prosiguió con el desmolde con la ayuda de una espátula fina y larga. Una tarea complicada, puesto que había muchas superficie en contacto e incluso habiéndose encerado la cara externa del tubo interno, costó mucho poder sacar finalmente la probeta tubular de MAT, Figura 5.31.



Figura 5.31: Resultado del acabado de la probeta de MAT. Fuente: Propia.

Debido a la gran dificultad en tiempo y esfuerzo de obtención de las fibras individuales para la fabricación del MAT, solo se fabricó una probeta preliminar, ya que se obtienen manualmente una a una, se decidió no optar a la fabricación de más probetas tubulares de MAT mediante el proceso descrito en los casos anteriores con el tubo de aluminio y la vela, como molde.

Tras el resultado del ensayo de flexión, como en el caso de las probetas preliminares de fibra en disposición longitudinal, no se consiguió flexión, sino compresión en la cara de la probeta, por lo que igualmente, se decidió no fabricar más probetas tubulares de MAT.

6 Ensayos realizados a las probetas.

Sobre las probetas fabricadas siguiendo los modelos explicados en el capítulo anterior, deben realizarse una serie de ensayos con la intención de caracterizar el material preparado, así como la forma y disposición de las fibras de refuerzo usadas. Estos ensayos se realizan para determinar la Resistencia a Flexión, tanto de probetas normalizadas como de probetas tubulares, siguiendo las condiciones más ajustadas a las normas europeas.

6.1 Ensayo a flexión de las probetas normalizadas.

La resistencia a flexión se obtiene ensayando las probetas normalizadas conforme a la Norma UNE-EN-ISO 178. “Plásticos. Determinación de las Propiedades a flexión” [11].

En todo momento se intenta estar dentro de los rangos de espesores nominales y ancho que se propone en el apartado 6.1 de la Norma UNE-EN-ISO 178, sobre dimensiones de otras probetas. Las medidas que la norma recomienda para las probetas son 80 mm x 10 mm x 4 mm.

A continuación se muestran tabuladas las dimensiones reales de las probetas normalizadas, donde, “b” representa el ancho de la probeta y h el espesor de la probeta, y en el Anexo H se representan además las desviaciones respecto a la probeta normalizada que propone el apartado 6.1 de la Norma UNE-EN-ISO 178:

Código de la probeta	h (mm)	b (mm)
F1	2,83	10,00
F2	2,82	10,00
F3	1,86	10,00
F4	2,02	10,00
F5	2,48	10,00

Tabla 6.1: Dimensiones de las probetas normalizadas de conformado longitudinal no tratado.

Aunque los ensayos realizados con las probetas longitudinales no tratadas, no siguen estrictamente las condiciones dimensionales recomendadas por la norma, su realización nos proporciona información valiosa y nos permite comparar dichos resultados, con el resto de las probetas, longitudinales, tratadas o no químicamente, o incluso con refuerzo aleatorio.

Código de la probeta	h (mm)	b (mm)
T1	3,22	10,08
T2	3,55	9,24
T3	3,38	10,88
T4	3,81	10,17
T5	3,30	11,36
T6	3,81	10,34
T7	3,52	11,25
T8	3,49	10,00
T9	3,11	9,98
T10	3,58	9,62

Tabla 6.2: Dimensiones de las probetas normalizadas de conformado longitudinal tratado.

Código de la probeta	h (mm)	b (mm)
C1	4,37	10,93
C2	4,14	10,98
C3	4,18	10,15
C4	4,36	10,57
C5	4,23	10,72
C6	3,99	10,40
C7	4,23	9,87
C8	4,07	10,21
C9	4,12	9,86
C10	4,14	10,45

Tabla 6.3: Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 1% tratado.

Código de la probeta	h (mm)	b (mm)
D1	4,73	11,05
D2	4,30	10,47
D3	3,64	10,21
D4	4,15	10,94
D5	3,84	10,19
D6	4,50	10,51
D7	4,71	10,94
D8	4,12	10,00
D9	3,79	10,64
D10	3,76	10,54

Tabla 6.4: Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 5% tratado.

Código de la probeta	h (mm)	b (mm)
E1	6,01	10,35
E2	7,02	11,43
E3	6,76	11,25
E4	5,99	10,63
E5	5,56	9,50
E6	6,26	9,00

Tabla 6.5: Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 15% tratado.

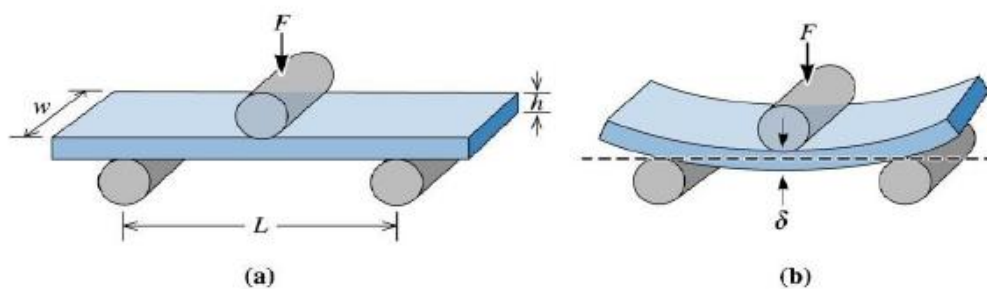
Código de la probeta	h (mm)	b (mm)
G1	6,38	10,36
G2	6,13	12,34
G3	6,42	9,55
G4	6,17	9,59
G5	6,25	9,85
G6	6,50	10,17

Tabla 6.6: Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 20% tratado.

Código de la probeta	h (mm)	b (mm)
A1	3,17	11,63
A2	6,03	14,66
A3	4,43	12,40
A4	3,40	12,28
A5	4,09	11,53
A6	3,09	13,12

Tabla 6.7: Dimensiones de las probetas normalizadas de conformado MAT tratado.

Los ensayos de flexión se realizaron con la Máquina Universal *ShimadzuAutograph*, perteneciente al Laboratorio de Materiales del Dpto. de Ingeniería Industrial (ULL), mediante la aplicación de una fuerza en el centro de las probetas a ensayar que se sitúa simplemente apoyada por los dos extremos en el puente de flexión y nos permiten determinar la resistencia a flexión (como función de la fuerza máxima aplicada y las variables geométricas), módulo de elasticidad a flexión (como una función de la pendiente de la curva en la zona elástica) y la deformación a flexión (en función de la deflexión).



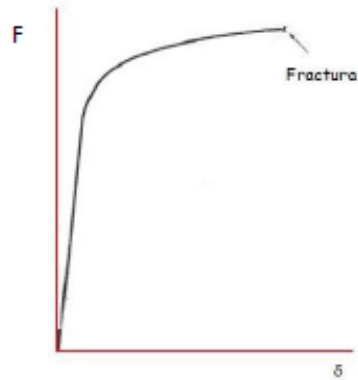


Figura 6.1: Esquema del ensayo de 3 puntos. Fuente: [16]

Todas las probetas se ensayaron manteniendo los siguientes parámetros:

- Método del ensayo: Se utilizó el Método A de la norma aplicada (UNE-EN-ISO 178), en el cual se emplea una velocidad de movimiento del bastidor constante durante todo el ensayo hasta la rotura del material.
- Velocidad de ensayo: 2 mm/min.
- Distancia entre los apoyos: 60 mm.

Para el cálculo de la resistencia a la flexión, el módulo de elasticidad a flexión y la deformación a flexión a partir de los datos obtenidos en este ensayo, se utilizó la norma UNEEN- ISO 178 [12] que permite estimar los siguientes parámetros:

- La determinación de la resistencia a la flexión (σ_f), se calcula mediante la ecuación dada por:

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot f \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

Donde:

σ_f es la resistencia a flexión (MPa).

f es la carga aplicada a la probeta (N).

L es la distancia entre soportes (mm).

b es la anchura de la probeta (mm).

h es el espesor de la probeta (mm).

- El módulo de elasticidad en flexión (E_f), se calcula mediante la expresión:

$$E_f = \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot h^3}$$

Donde:

E_f es el módulo de elasticidad a flexión (MPa).

L es la distancia entre soportes (mm).

m es la pendiente de la curva de flexión en la zona elástica lineal (N/mm).

b es la anchura de la probeta (mm).

h es el espesor de la probeta (mm).

- La deformación a flexión (ε_f), viene dada por la ecuación:

$$\varepsilon_f = \frac{600 \cdot \delta \cdot h}{L^2}$$

Donde:

ε_f es la deformación a flexión (%).

h es el espesor de la probeta (mm).

δ es la flecha (mm).

L es la distancia entre soportes (mm).

- La desviación típica (s), se calcula mediante la expresión:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{n - 1}}$$

Donde:

s es la desviación típica.

n es el número total de las probetas medidas.

σ_i es el valor de la resistencia a flexión en la medición i -ésima.

$\bar{\sigma}$ es la media aritmética de las n medidas calculadas.

- El intervalo de confianza bilateral del 95% de probabilidad, viene dada por:

$$\bar{\sigma} - \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot s < \bar{\sigma} < \bar{\sigma} + \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot s$$

Donde:

$\bar{\sigma}$ es la media aritmética de las n medidas calculadas.

s es la desviación típica.

n es el número total de las probetas medidas.

t valor de la distribución t de Student.

6.2. Determinación de la resistencia a flexión de los tubos.

Para la determinación de la resistencia a flexión en el caso de las probetas tubulares (geometría que no se adapta a la misma normativa) se ha acudido a las normas UNE revisando para identificar alguna normativa relacionada con ensayos en probetas cilíndricas, sin éxito. Por lo cual se ha decidido adaptar el ensayo de flexión en tres puntos y analizar los resultados obtenidos para dichas probetas, tratándolas como una viga simple apoyada en sus extremos, con la carga aplicada en el centro geométrico de la misma.

Después de resolver la distribución de fuerzas y tensiones sobre la probeta tubular, y teniendo en cuenta sus condicionantes geométricos, con los datos obtenidos del ensayo se

obtienen los parámetros propios del ensayo, y se calcula la resistencia a flexión y el resto de los parámetros como el módulo de elasticidad en flexión.

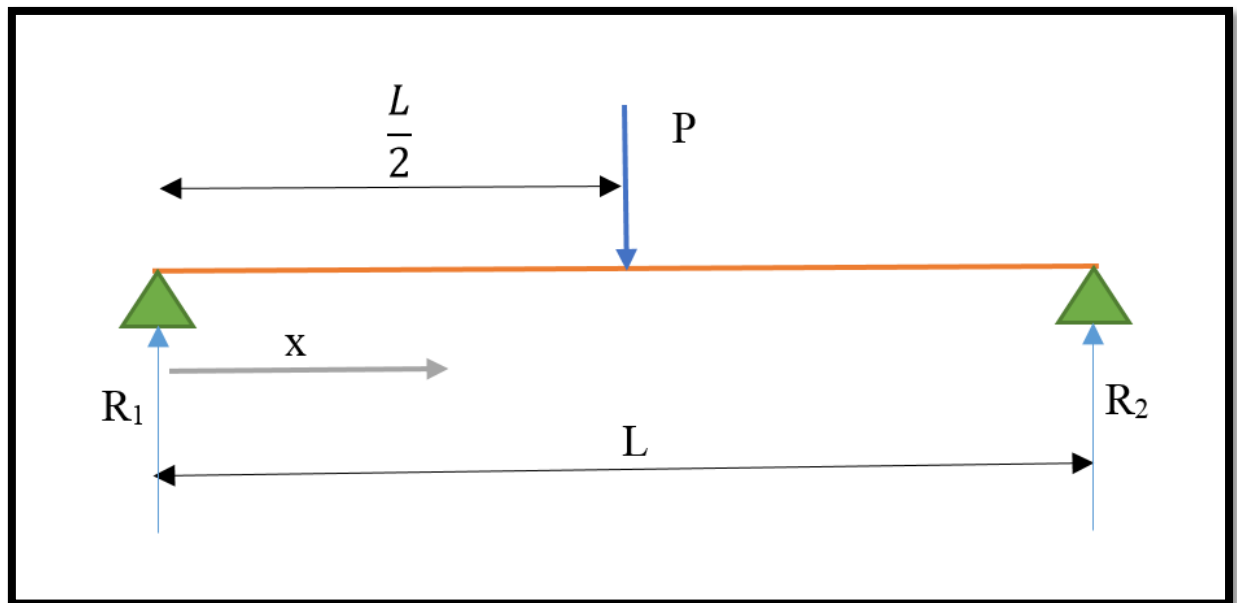


Figura 6.2: Esquema del ensayo de 3 puntos realizado sobre los tubos. Fuente: Propia.

Donde:

L = Longitud entre apoyos.

P = Carga aplicada.

R = Reacciones en los apoyos.

x = Valor de la longitud, en el punto donde se quiere obtener el valor del momento flector.

M = Momento flector.

W = Módulo resistente a la flexión.

I = Inercia respecto a un plano.

d_e = Diámetro exterior de la probeta.

d_i = Diámetro interior de la probeta.

f = Flecha

r = Radio

$$\text{A) Cuando } 0 \leq x \leq \frac{L}{2} : \quad M = \frac{P}{2} \cdot x \quad \text{Cuando } x = \frac{L}{2} \text{ entonces: } M = \frac{P \cdot L}{4}$$

$$\text{B) Cuando } \frac{L}{2} < x \leq L \quad M = \frac{P}{2} \cdot x - P \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right) = \frac{P \cdot L}{2} - \frac{P \cdot x}{2}$$

Para una probeta circular, resistencia a flexión [13]:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{W_x} = \frac{\frac{P \cdot L}{4}}{\frac{I_x}{r}}$$

$$I_x = \frac{\pi \cdot (d_e^4 - d_i^4)}{64}$$

El m3dulo de elasticidad en flexi3n se calcula [13]:

$$E = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot I_x \cdot f}$$

A continuaci3n se muestran tabuladas las dimensiones de las probetas tubulares, donde, De representa el diámetro externo de la probeta tubular y Di representa el diámetro interno de la probeta tubular:

C3digo de la probeta	De (mm)	Di (mm)
R1	24,81	20,95
R2	23,43	19,92
R3	23,71	20,04
R4	24,47	19,97
R5	24,85	19,95
R6	24,65	19,53

Tabla 6.8: Dimensiones de las probetas tubulares de resina de poliéster.

Código de la probeta	De (mm)	Di (mm)
T1	24,12	18,79
T2	24,19	20,32
T3	25,24	19,47
T4	25,68	20,19
T5	25,5	19,42

Tabla 6.9: Dimensiones de las probetas tubulares de conformado longitudinal no tratado.

Código de la probeta	De (mm)	Di (mm)
P1	25,22	21,36
P2	25,03	20,86
P3	24,67	20,43
P4	24,16	20,7

Tabla 6.10: Dimensiones de las probetas tubulares de polvo de platanera.

Todas las probetas se ensayaron manteniendo los siguientes parámetros:

- Velocidad de ensayo: 2 mm/min.
- Distancia entre los apoyos: 90 mm en todas las ocasiones excepto en los tubos preliminares, en los cuales se usó una distancia de 100mm.

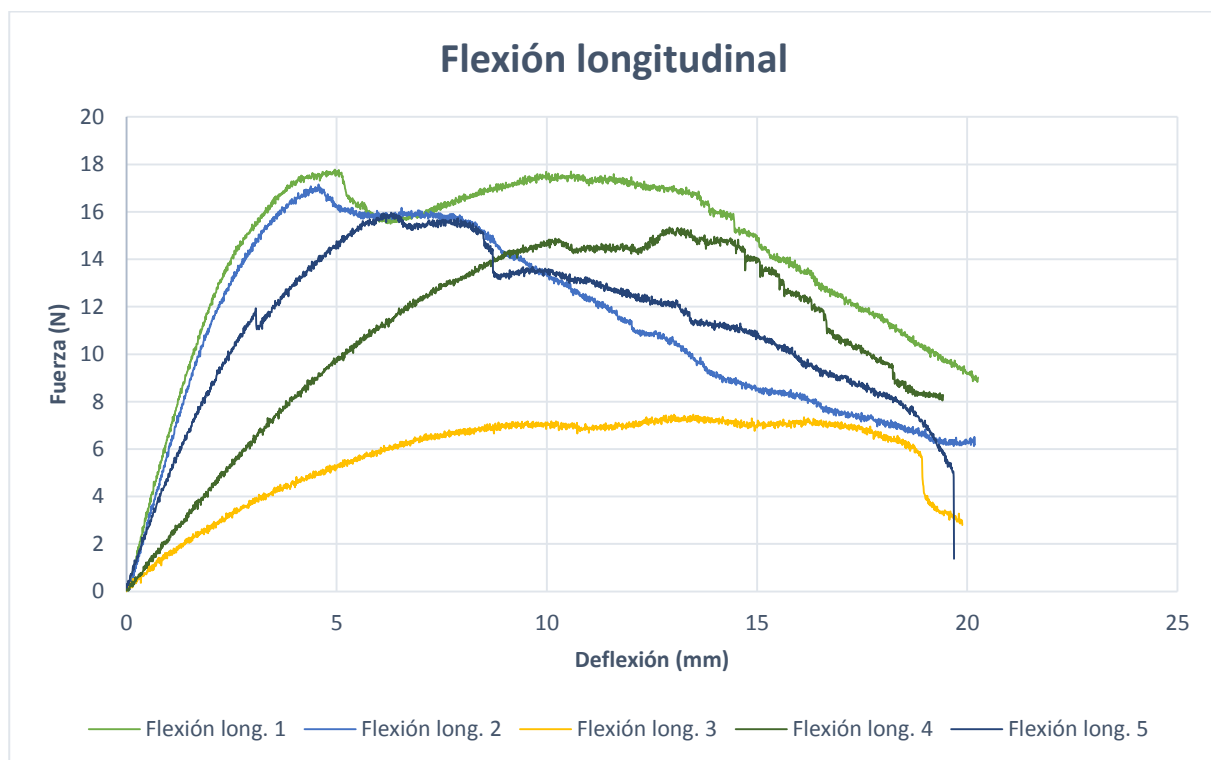
7. Análisis y resultados de los ensayos a flexión.

En este apartado se exponen los resultados de los ensayos realizados a las probetas normalizadas y las probetas tubulares.

Se presentan a continuación los resultados de los ensayos a flexión en 3 puntos, y tras analizar los resultados de cada una de ellas se comparan los resultados obtenidos entre las probetas normalizadas y entre las probetas tubulares.

7.1 Probetas normalizadas de conformado longitudinal no tratado.

A continuación se muestran gráficamente los resultados obtenidos del ensayo de flexión para las probetas fabricadas con fibras de platanera no tratadas químicamente y una disposición longitudinal.



Gráfica 7.1: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas reforzadas con fibra longitudinal no tratada químicamente.

En la Tabla 7.1 se muestran los valores obtenidos del ensayo de flexión de las probetas reforzadas con fibra longitudinal, cuyos resultados gráficos por separados se muestran en el Anexo A.

Resina	Disposición de las fibras	Código	σ_f (MPa)	E_f (MPa)	ε_f (%)
Poliéster	Longitudinal	F1	19,98	1320,41	2,32
		F2	19,42	1406,34	2,14
		F3	18,21	953,90	2,98
		F4	31,63	1187,39	3,07
		F5	23,37	1289,62	2,60
Media ($\bar{\sigma}$)			22,52	1231,53	2,62
Desviación (s)			5,44	173,82	0,41
Intervalo de confianza 95%			17,62 < $\bar{\sigma}$ < 27,42	1074,89 < $\bar{\sigma}$ < 1388,17	2,26 < $\bar{\sigma}$ < 2,99

Tabla 7.1: Propiedades a flexión de las fibras de plátano en disposición longitudinal.

De los valores recogidos a partir del ensayo a flexión, se obtiene que el 95% de las probetas fabricadas siguiendo el método explicado estarán dentro de los valores del intervalo de confianza mostrado en la Tabla 7.1.

Cabe destacar los valores de deflexión de hasta 20 mm, habiendo pasado el valor de carga máxima, lo cual es debido al deslizamiento, debido a la rotura entre los planos de unión de la resina con las fibras, de esta forma el material pierde rigidez, llegando a una gran deflexión sin colapso de la probeta.

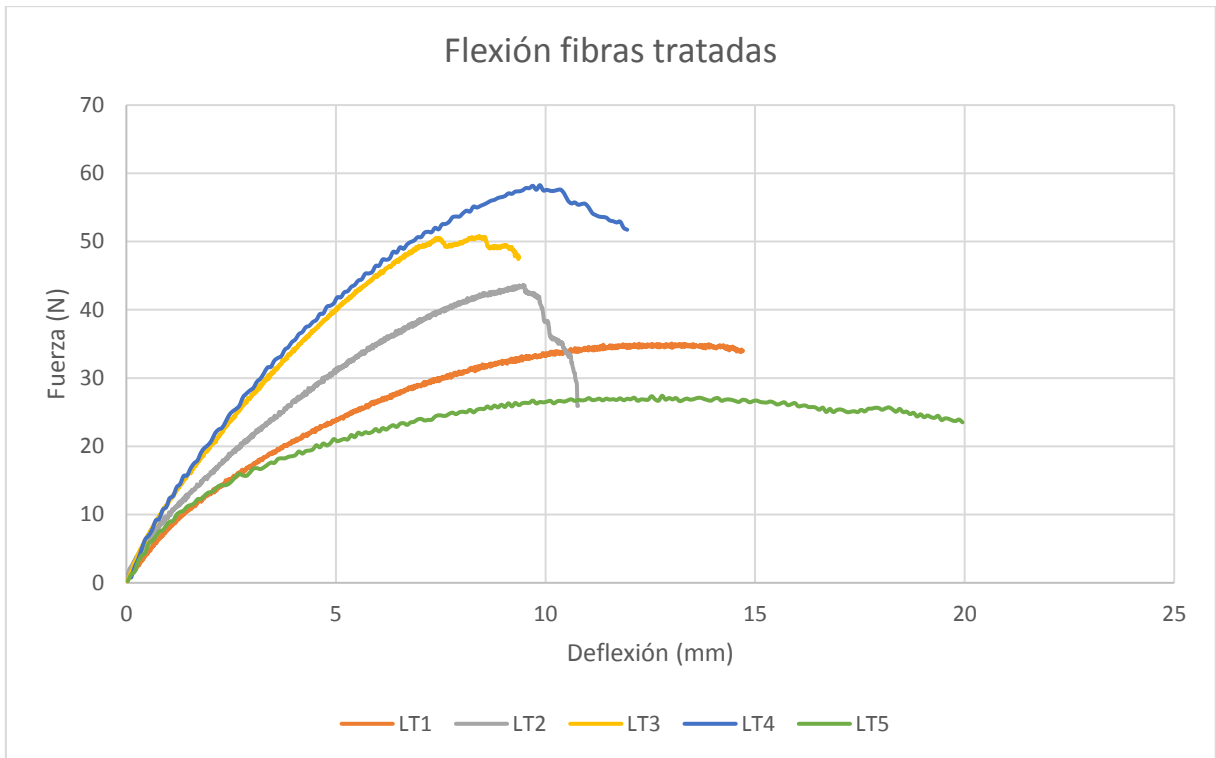
Ninguna de las probetas llegó a la rotura completa del material, en todas ellas la fractura se produjo en la resina, y desprendiéndose las capas de fibras al no haber una correcta adhesión entre las fibras y la matriz, como se puede ver como ejemplo en la Figura 7.1 y con todas las probetas en el Anexo A.



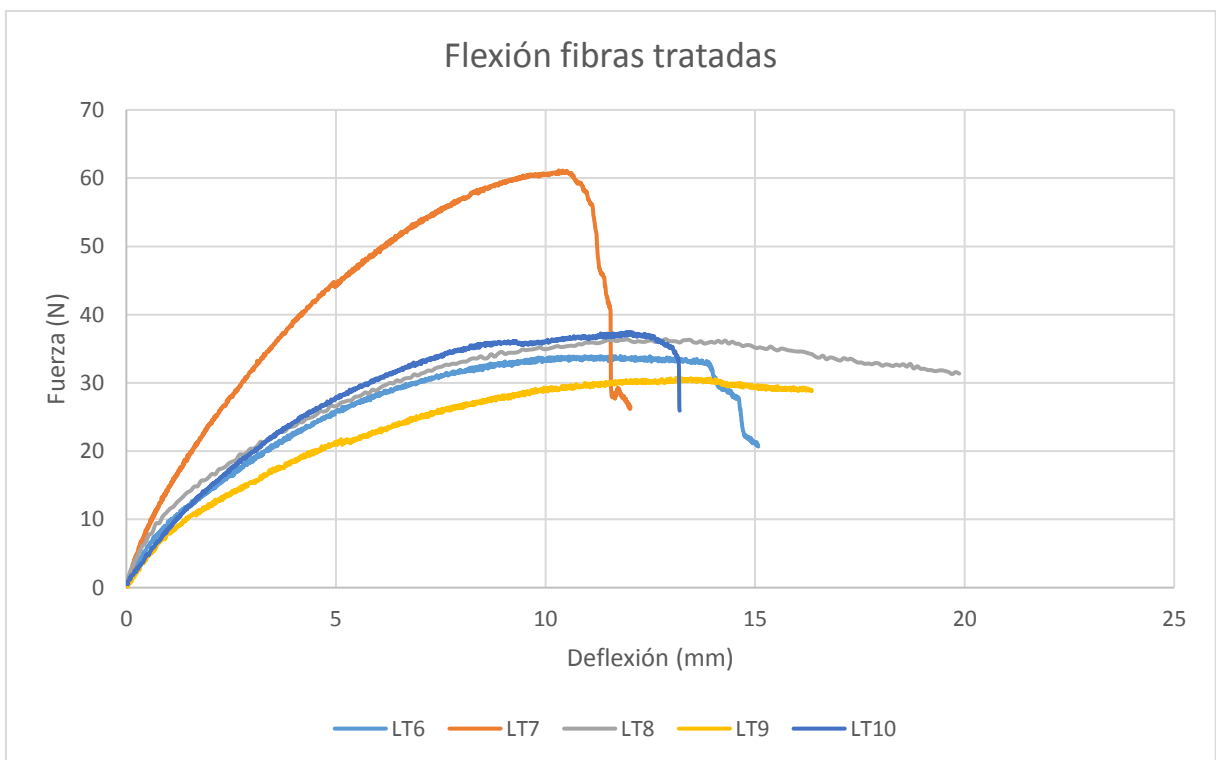
Figura 7.1: Probeta normalizada de conformado longitudinal no tratado, F4 ensayada. Fuente: Propia.

7.2 Probetas normalizadas de conformado longitudinal tratado.

A continuación se muestran gráficamente los resultados obtenidos del ensayo de flexión para las probetas fabricadas con fibras de platanera tratadas químicamente y una disposición longitudinal. Se representa en dos gráficos para visualizar mejor el resultado de las diez probetas.



Gráfica 7.2: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 1-5 reforzadas con fibra longitudinal tratada químicamente.



Gráfica 7.3: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 6-10 reforzadas con fibra longitudinal tratada químicamente.

En la Tabla 7.2 se muestran los valores obtenidos del ensayo de flexión de las probetas reforzadas con fibra longitudinal tratada químicamente, cuyos resultados gráficos por separados se muestran en el Anexo B.

Resina	Disposición de las fibras	Código	σ_f (MPa)	E_f (MPa)	ε_f (%)
Poliéster	Longitudinal	T1	30,19	1305,16	7,07
		T2	37,88	1817,32	5,31
		T3	36,59	1700,36	4,19
		T4	35,52	745,01	6,21
		T5	19,94	510,58	7,35
		T6	20,35	1210,56	7,10
		T7	39,48	1760,12	6,04
		T8	26,90	517,74	6,76
		T9	28,66	1672,38	6,72
		T10	26,31	953,73	5,38
Media ($\bar{\sigma}$)			30,18	1219,35	6,21
Desviación (s)			7,03	514,76	1,00
Intervalo de confianza 95%			26,15 < $\bar{\sigma}$ <34,21	924,38 < $\bar{\sigma}$ < 1514,31	5,64 < $\bar{\sigma}$ < 6,79

Tabla 7.2: Propiedades a flexión de las fibras de plátano tratadas químicamente, en disposición longitudinal.

Al contrario que en el caso anterior con la deflexión de las probetas, se observa como obteniendo una mejor adhesión entre la matriz y las fibras, la deflexión disminuye, aun así son valores altos que nos indican una gran flexibilidad del material.

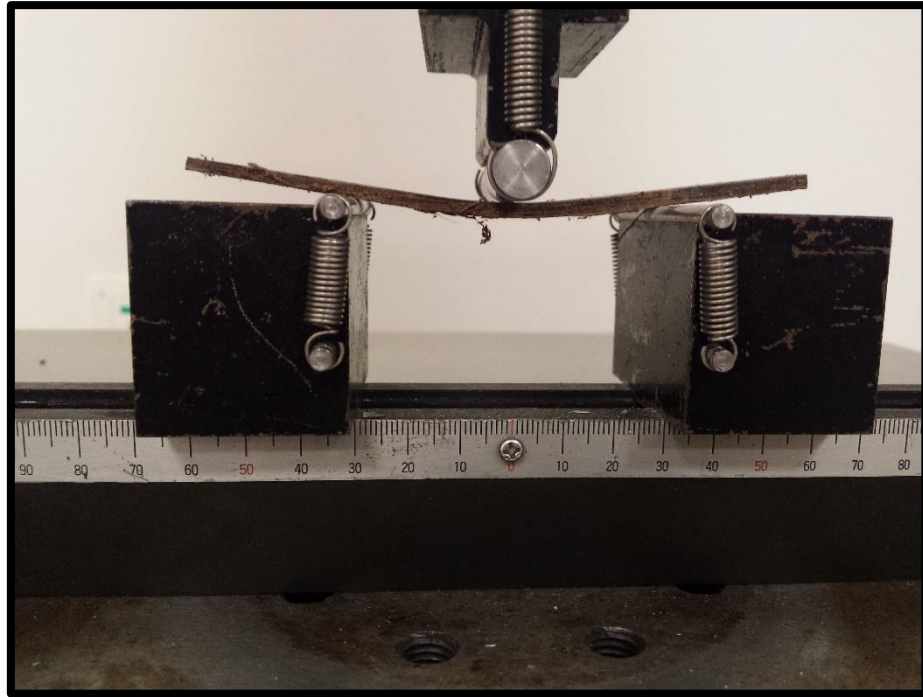


Figura 7.2: Ensayo de 3 puntos probeta normalizada de fibra tratada químicamente y disposición longitudinal. Fuente: Propia.

Se puede ver como los valores de la resistencia a flexión de las probetas de fibras tratadas son, por poco, superiores a las probetas de fibras sin tratar (30,18 MPa), aumentando la resistencia a flexión en 7.66 MPa y también a las probetas de fibra tratadas en disposición aleatoria, lo cual se verá en la comparación final.

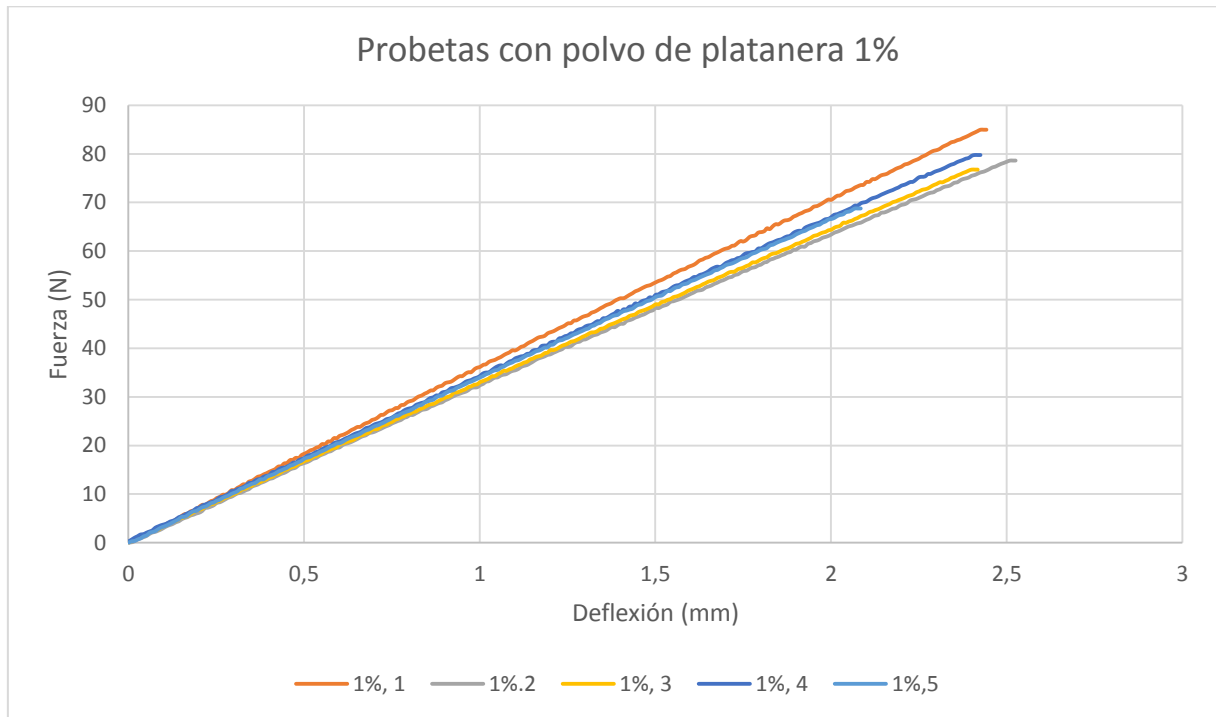
Ninguna de las probetas llegó a la rotura completa del material y en muchas de ellas no se aprecia a simple vista la rotura, como se puede ver en el Anexo B y en la Figura 7.3.



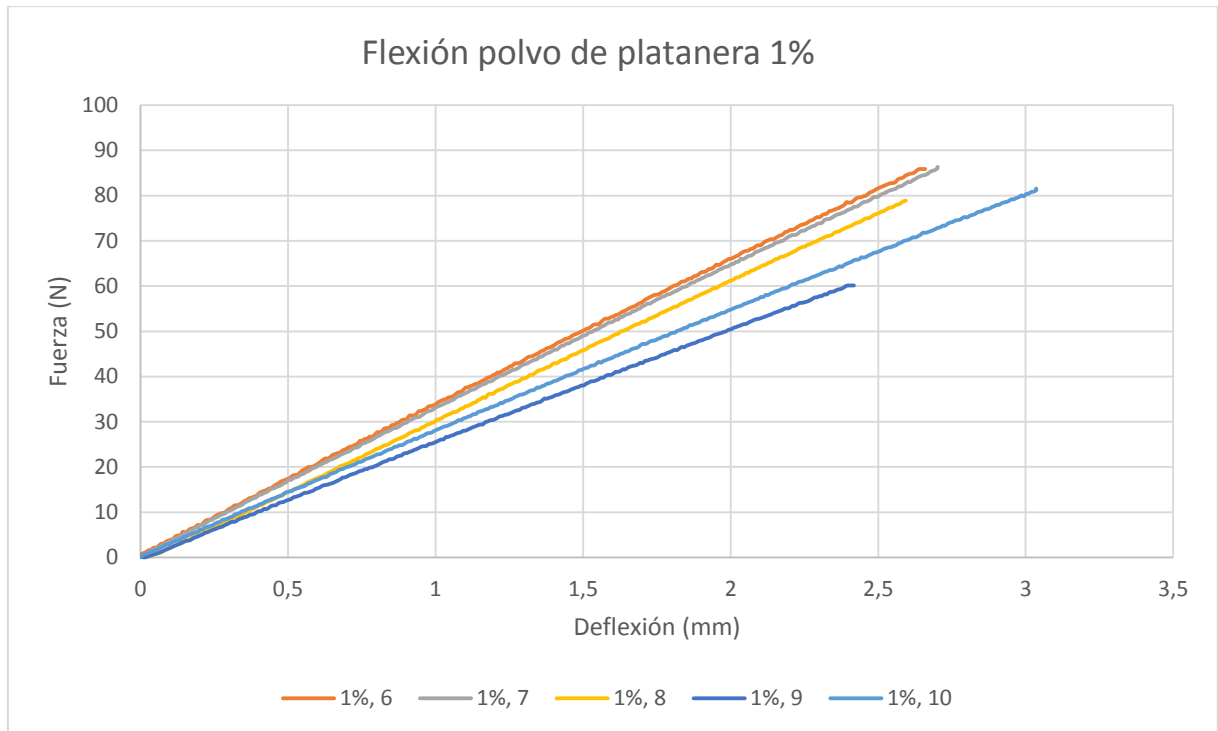
Figura 7.3: Probeta normalizada de conformado longitudinal tratado, T1 ensayada. Fuente: Propia.

7.3 Probetas normalizadas de polvo de platanera al 1%.

A continuación se muestran gráficamente los resultados obtenidos del ensayo de flexión para las probetas fabricadas con polvo de platanera al 1%.



Gráfica 7.4: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 1-5 reforzadas con polvo de platanera al 1%.



Gráfica 7.5: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 6-10 reforzadas con polvo de platanera al 1%.

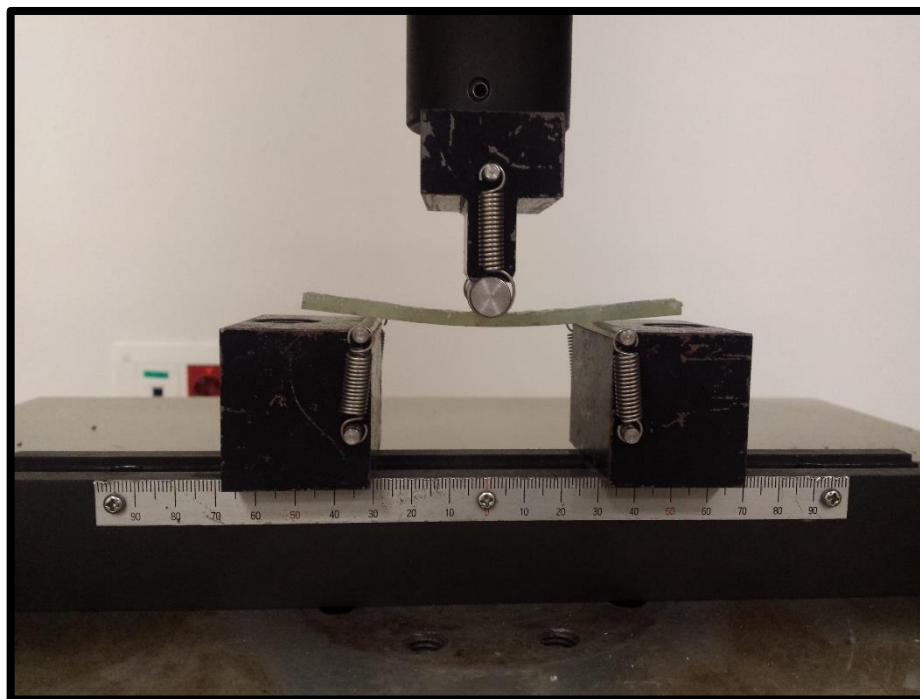


Figura 7.4: Ensayo de 3 puntos probeta normalizada de polvo de platanera al 1%. Fuente: Propia.

En la Tabla 7.3 se muestran los valores obtenidos del ensayo de flexión de las probetas reforzadas con polvo de platanera al 1%, cuyos resultados gráficos por separados se muestran en el Anexo C.

Resina	Disposición de las fibras	Código	σ_f (MPa)	E_f (MPa)	ε_f (%)
Poliéster	Dispersa	E1	34,64	2073,81	1,77
		E2	37,60	2175,89	1,73
		E3	38,96	2326,66	1,67
		E4	35,73	2038,36	1,75
		E5	32,27	2215,20	1,47
		E6	46,67	2637,55	1,76
		E7	44,00	2293,93	1,90
		E8	41,98	2428,14	1,76
		E9	32,33	1973,37	1,68
		E10	40,98	1835,10	2,09
Media ($\bar{\sigma}$)			38,72	2199,80	1,76
Desviación (s)			4,76	234,70	0,16
Intervalo de confianza 95%			35,99 < $\bar{\sigma}$ < 41,44	2065,32 < $\bar{\sigma}$ < 2334,28	1,67 < $\bar{\sigma}$ < 1,85

Tabla 7.3: Propiedades a flexión de las probetas de polvo de platanera al 1%.

Se obtiene un módulo elástico superior, mostrando un material compuesto más rígido.

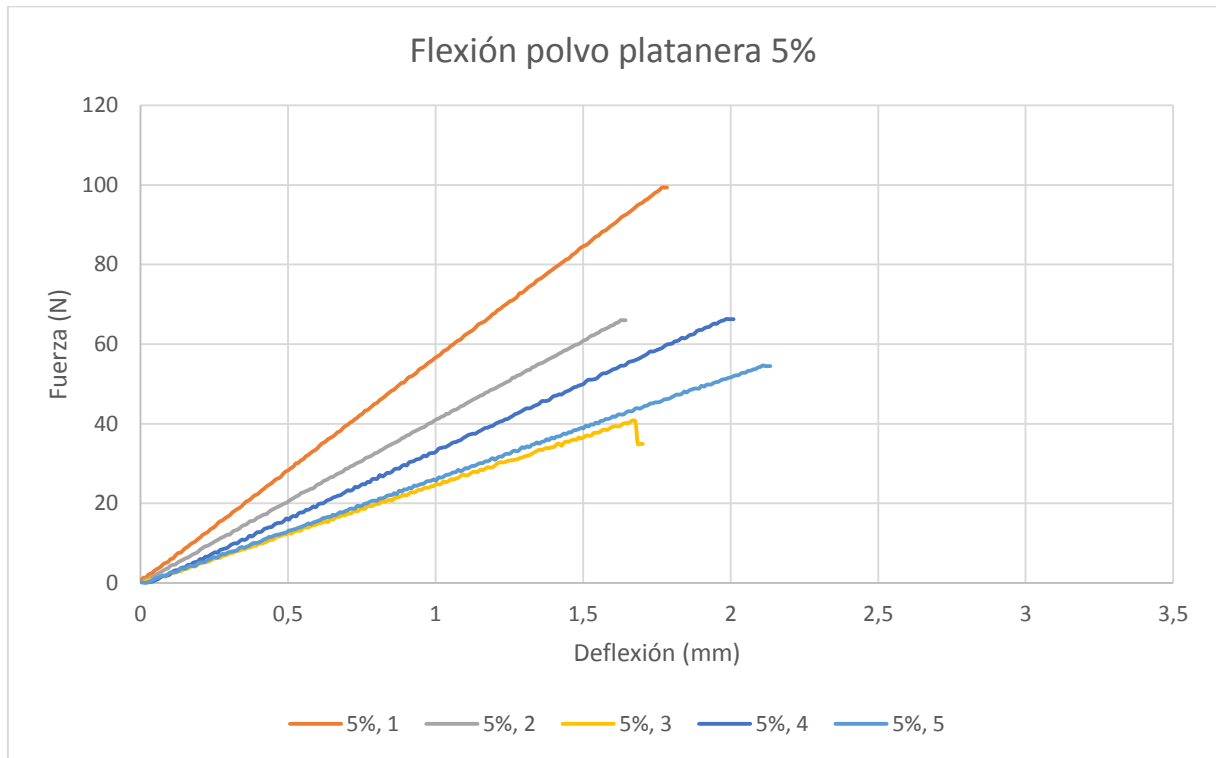
Se observa una mejora de la resistencia a flexión, respecto a las probetas de refuerzo longitudinal tratado, aumentando la resistencia a flexión en 8.54 MPa.

La deflexión de las probetas es muy pequeña en comparación con las probetas vistas anteriormente, esto es debido a que estas probetas tienen un comportamiento frágil llegando a romper con poca deformación.

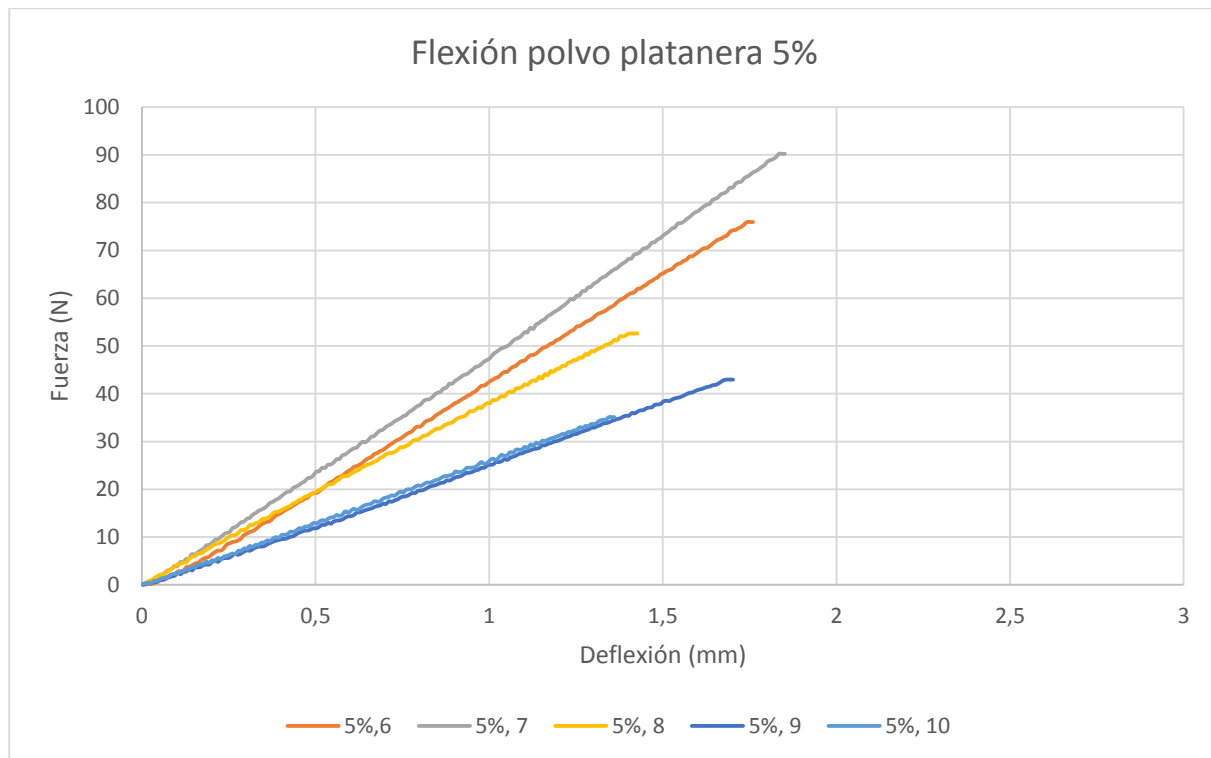
En todas las probetas la fractura se produjo en la cara sometida a esfuerzos de compresión. Ésta rotura del material fue similar en todas las probetas, como se puede ver en el Anexo C.

7.4 Probetas normalizadas de polvo de platanera al 5%.

En el siguiente apartado, se muestran gráficamente los resultados obtenidos del ensayo de flexión para las probetas fabricadas con polvo de platanera al 5%.



Gráfica 7.6: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 1-5 reforzadas con polvo de platanera al 5%.



Gráfica 7.7: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas 6-10 reforzadas con polvo de platanera al 5%.

En la Tabla 7.4 se muestran los valores obtenidos del ensayo de flexión de las probetas reforzadas con polvo de platanera al 5%, cuyos resultados gráficos por separados se muestran en el Anexo C.

Resina	Disposición de las fibras	Código	σ_f (MPa)	E_f (MPa)	ε_f (%)
Poliéster	Dispersa	D1	39,76	2849,61	1,43
		D2	30,68	2627,74	1,16
		D3	27,17	2757,83	1,02
		D4	31,68	2344,96	1,36
		D5	32,74	2430,42	1,94
		D6	32,11	2539,97	1,29
		D7	33,46	2340,57	1,44
		D8	27,89	2884,83	0,97
		D9	25,29	2406,62	1,06
		D10	21,20	2520,55	0,84
Media ($\bar{\sigma}$)			30,20	2570,31	1,25

Desviación (s)	2570,31	202,41	0,32
Intervalo de confianza 95%	27,28 < $\bar{\sigma}$ < 33,12	2454,33 < $\bar{\sigma}$ < 2686,29	1,07 < $\bar{\sigma}$ < 1,43

Tabla 7.4: Propiedades a flexión de las probetas de polvo de platanera al 5%.

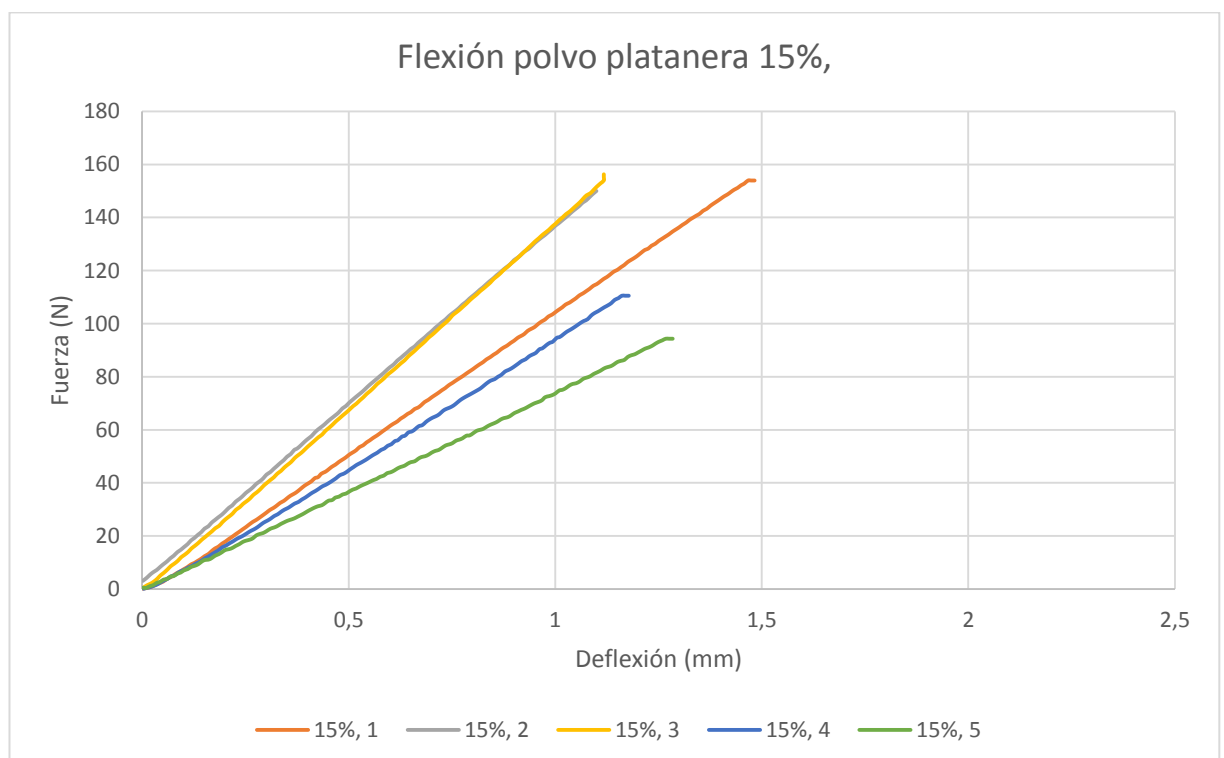
Se tiene un caso similar al anterior, donde se ha mejorado el módulo elástico del material compuesto.

La resistencia a flexión respecto a las probetas longitudinales tratadas ha disminuido.

En todas las probetas la fractura se produjo en la cara sometida a esfuerzos de compresión. Ésta rotura del material fue similar en todas las probetas, como se puede ver en el Anexo C.

7.5 Probetas normalizadas de polvo de platanera al 15%.

En este apartado, se muestran gráficamente los resultados obtenidos del ensayo de flexión para las probetas fabricadas con polvo de platanera al 15%.



Gráfica 7.8: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas reforzadas con polvo de platanera al 15%.

En la Tabla 7.5 se muestran los valores obtenidos del ensayo de flexión de las probetas reforzadas con polvo de platanera al 15%, cuyos resultados gráficos por separados se muestran en el Anexo C.

Resina	Disposición del refuerzo	Código	σ_f (MPa)	E_f (MPa)	ε_f (%)
Poliéster	Dispersa	E1	37,06	2576,71	1,51
		E2	23,96	1836,92	1,29
		E3	27,36	2163,08	1,26
		E4	26,08	2288,23	1,16
		E5	24,07	1822,10	1,34
Media ($\bar{\sigma}$)			27,71	2137,41	1,31
Desviación (s)			5,42	318,63	0,13
Intervalo de confianza 95%			22,82 < $\bar{\sigma}$ < 32,59	1850,28 < $\bar{\sigma}$ < 2424,54	1,19 < $\bar{\sigma}$ < 1,43

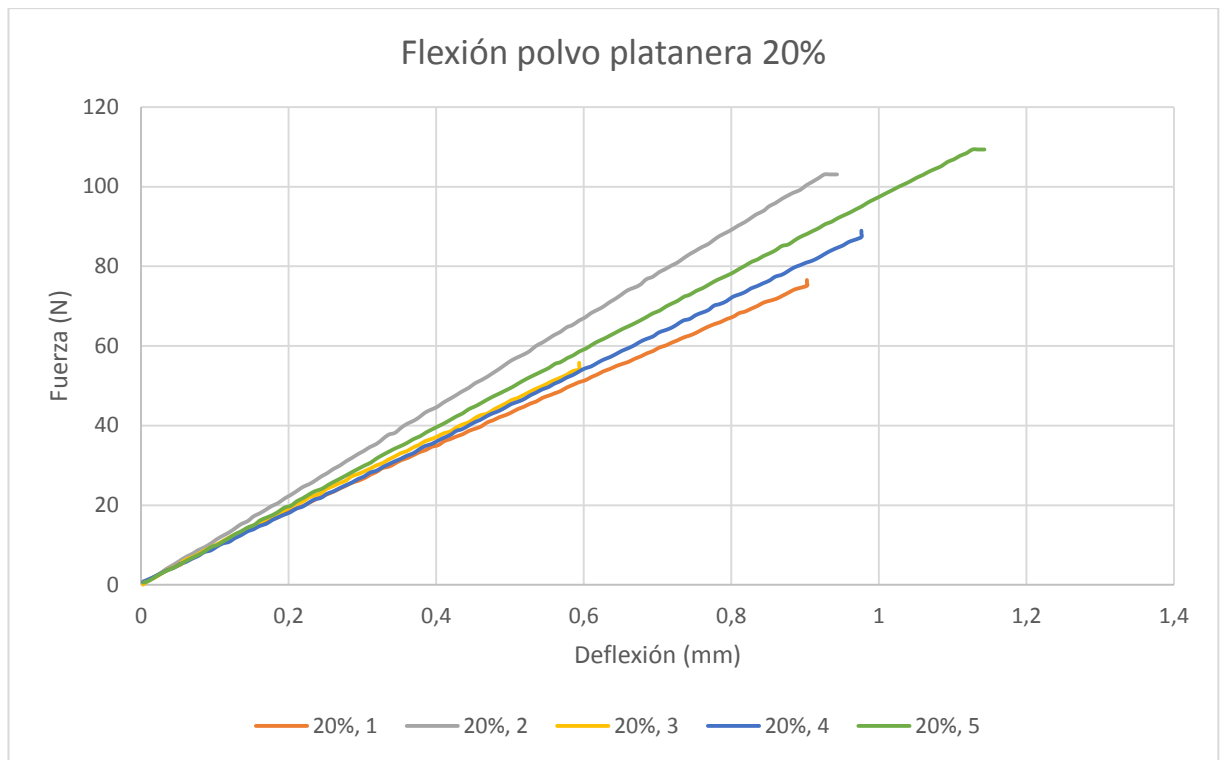
Tabla 7.5: Propiedades a flexión de las probetas de polvo de platanera al 15%.

Con las probetas fabricadas con un 15% de carga, se vuelven a obtener datos donde se puede ver que sigue disminuyendo la resistencia a flexión y el módulo elástico.

En todas las probetas la fractura se produjo en la cara sometida a esfuerzos de compresión. Ésta rotura del material fue similar en todas las probetas, como se puede ver en el Anexo C.

7.6 Probetas normalizadas de polvo de platanera al 20%.

A continuación se muestran gráficamente los resultados obtenidos del ensayo de flexión para las probetas fabricadas con polvo de platanera al 20%.



Gráfica 7.9: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas reforzadas con polvo de platanera al 20%.

En la Tabla 7.6 se muestran los valores obtenidos del ensayo de flexión de las probetas reforzadas con polvo de platanera al 20%, cuyos resultados gráficos por separados se muestran en el Anexo C.

Resina	Disposición de las fibras	Código	σ_f (MPa)	E_f (MPa)	ε_f (%)
Poliéster	Dispersa	G1	16,46	1654,20	0,96
		G2	20,01	2113,29	1,05
		G3	12,91	1937,94	0,64
		G4	21,93	2146,53	1,00
		G5	25,58	2176,63	1,20
Media ($\bar{\sigma}$)			19,38	2005,72	0,97
Desviación (s)			4,89	217,24	0,21
Intervalo de confianza 95%			14,97 < $\bar{\sigma}$ < 23,78	1809,96 < $\bar{\sigma}$ < 2201,48	0,78 < $\bar{\sigma}$ < 1,16

Tabla 7.6: Propiedades a flexión de las probetas de polvo de platanera al 20%.

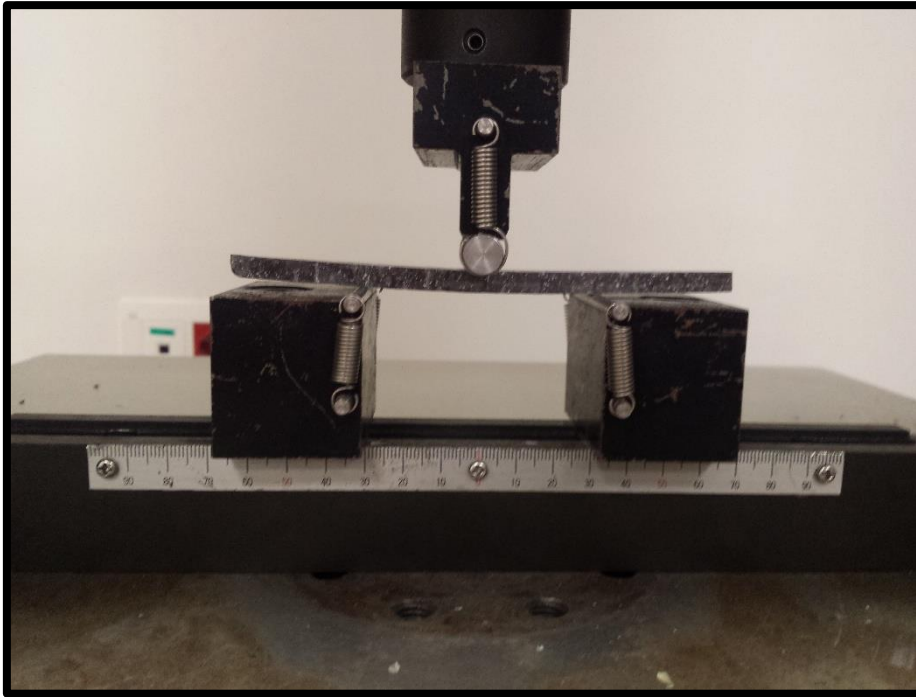


Figura 7.5: Ensayo de 3 puntos probeta normalizada de polvo de platanera al 20%. Fuente: Propia.

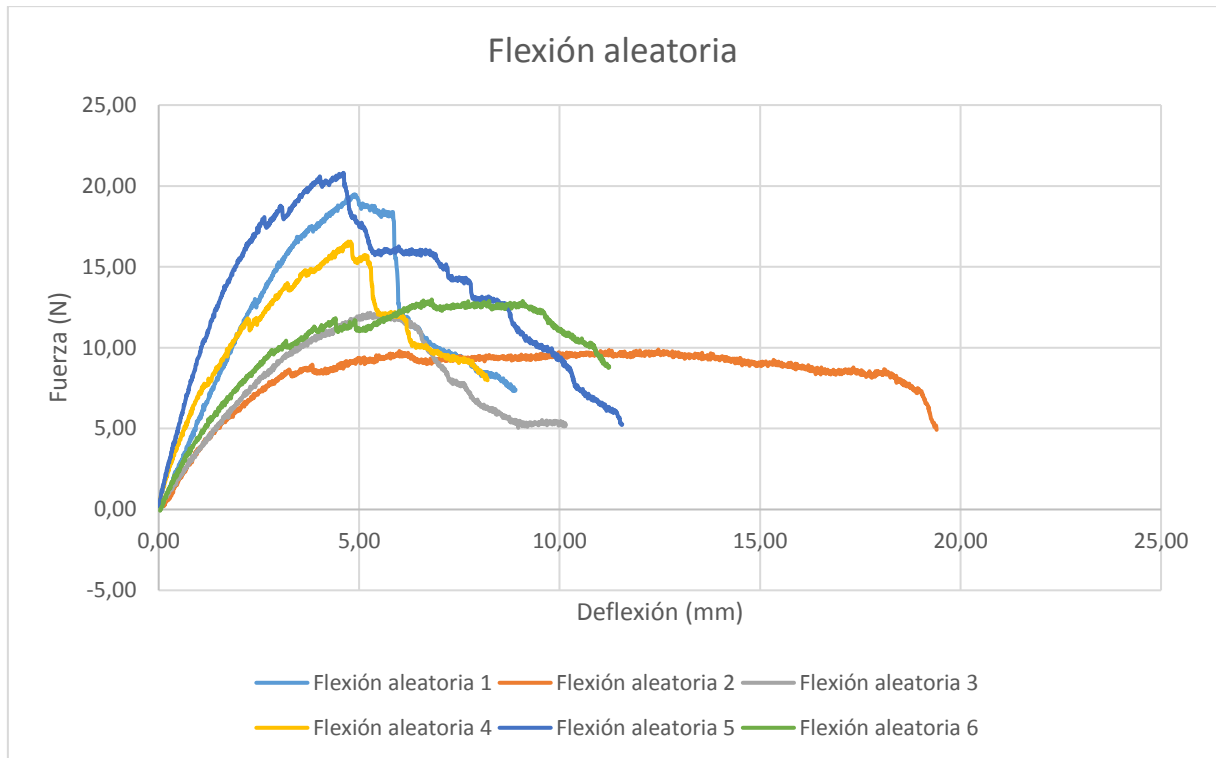
Este es el caso en el que la media de la resistencia a flexión da el peor resultado, de entre las probetas cargadas con polvo de platanera.

Como se ha podido observar las probetas cargadas con polvo de platanera, aun siendo complejas en su fabricación son más fáciles de reproducir que las demás probetas normalizadas, lo cual queda reflejado en la homogeneidad, en comparación siempre con las probetas que se han realizado para este trabajo.

En todas las probetas la fractura se produjo en la cara a compresión, de la misma forma en todas, como se puede ver en el Anexo C.

7.7 Probetas normalizadas de MAT tratadas.

A continuación se muestran gráficamente los resultados obtenidos del ensayo de flexión para las probetas fabricadas con fibras de platanera tratadas químicamente y una disposición aleatoria.



Gráfica 7.9: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas reforzadas con fibra en disposición aleatoria.

En la Tabla 7.7 se muestran los valores obtenidos del ensayo de flexión de las probetas reforzadas con fibra aleatoria, cuyos resultados gráficos por separados se muestran en el Anexo D.

Resina	Disposición de las fibras	Código	σ_f (MPa)	E_f (MPa)	ε_f (%)
Poliéster	Aleatoria	A1	15,00	816,82	2,59
		A2	1,48	41,84	3,67
		A3	4,50	146,33	3,90
		A4	10,50	435,09	2,71
		A5	9,71	580,76	3,09
		A6	9,28	433,98	4,42
Media ($\bar{\sigma}$)			9,80	482,60	3,34
Desviación (s)			3,74	244,46	0,79
Intervalo de confianza 95%			6,83 < $\bar{\sigma}$	288,69 < $\bar{\sigma}$	2,72 < $\bar{\sigma}$
			< 12,77	< 676,50	3,97

Tabla 7.7: Propiedades a flexión de las fibras de platanera en disposición aleatoria.

Las probetas fabricadas con fibras aleatorias son las que dan valores más alejados respecto una de la otra, esto es normal debido a la propia naturaleza de su fabricación, donde las fibras tienen una alineación aleatoria y no todas las probetas disponen de las mismas fibras actuando en la misma dirección, lo cual provoca diferencias, como se observa en la Tabla 7.7, entre probetas fabricadas bajo el mismo método y las mismas condiciones.

Se destaca en rojo de los valores obtenidos de la probeta A2, muy alejados respecto a las demás probetas, debido a un posible defecto de fabricación no detectado en el control visual, por lo que se ha dejado fuera de los cálculos de la media, puesto que incluirlo distorsiona el resultado real obtenido.



Figura 7.6: Probeta normalizada de fibras aleatorias tratadas, A5 ensayada. Fuente: Propia.

7.8 Comparación de los resultados del ensayo de flexión de las probetas normalizadas

A continuación, en la tabla 7.8 se muestran los valores de la media aritmética de la resistencia a flexión de las probetas fabricadas con fibras aleatorias tratadas químicamente, con fibras de disposición longitudinal fabricadas en este TFG, longitudinales obtenidos de otro TFG con fibras de platanera [15] y longitudinales tratadas químicamente, además de probetas preparadas con refuerzo de polvo de platanera, al 1%, 5%, 15%, y 20% y resina de poliéster sin refuerzo preparada por los alumnos de prácticas del Grado en Ingeniería Mecánica.

<i>MATERIAL COMPUESTO</i>	σ_f(MPa)	E_f(MPa)	ε_f(%)
Resina sin refuerzo	68,04	2647,04	2,73
Fibras longitudinales sin tratar	22,52	1231,53	2,62
Fibras longitudinales tratadas	30,18	1219,35	6,21
Fibras longitudinales sin tratar [15]	11,98	708,80	3,91
Fibras aleatorias tratadas	9,80	482,60	3,34
Polvo 1%	38,72	2199,80	1,76
Polvo 5%	30,20	2570,31	1,25
Polvo 15%	27,71	2137,41	1,31
Polvo 20%	19,38	2005,72	0,97

Tabla 7.8: Comparación de las probetas normalizadas.

En primer lugar, las probetas reforzadas con fibras longitudinales tratadas (30,18 MPa) mejoran la resistencia a flexión de las probetas reforzadas con fibras longitudinales sin tratar (22,52 MPa).

En el caso del refuerzo longitudinal sin tratar, debido a que no se adhiere correctamente entre las capas provoca que el esfuerzo cortante entre ellas, rompa la resina provocando la rotura prematura del material, sin llegar a romper las capas de fibra de refuerzo, de ahí la diferencia respecto a las fibras tratadas.

La mejora de la resistencia a la flexión y del módulo elástico de las probetas reforzadas con fibras longitudinales sin tratar, respecto al estudio desarrollado con anterioridad en el TFG [15], también sin tratamiento químico de las fibras, se debe a la diferencia en el método de fabricación explicado en este trabajo, donde la obtención de las fibras se efectúa de diferente manera, desprendiendo la cara frágil de la badana, dejando únicamente la cara que contiene las fibras vegetales.

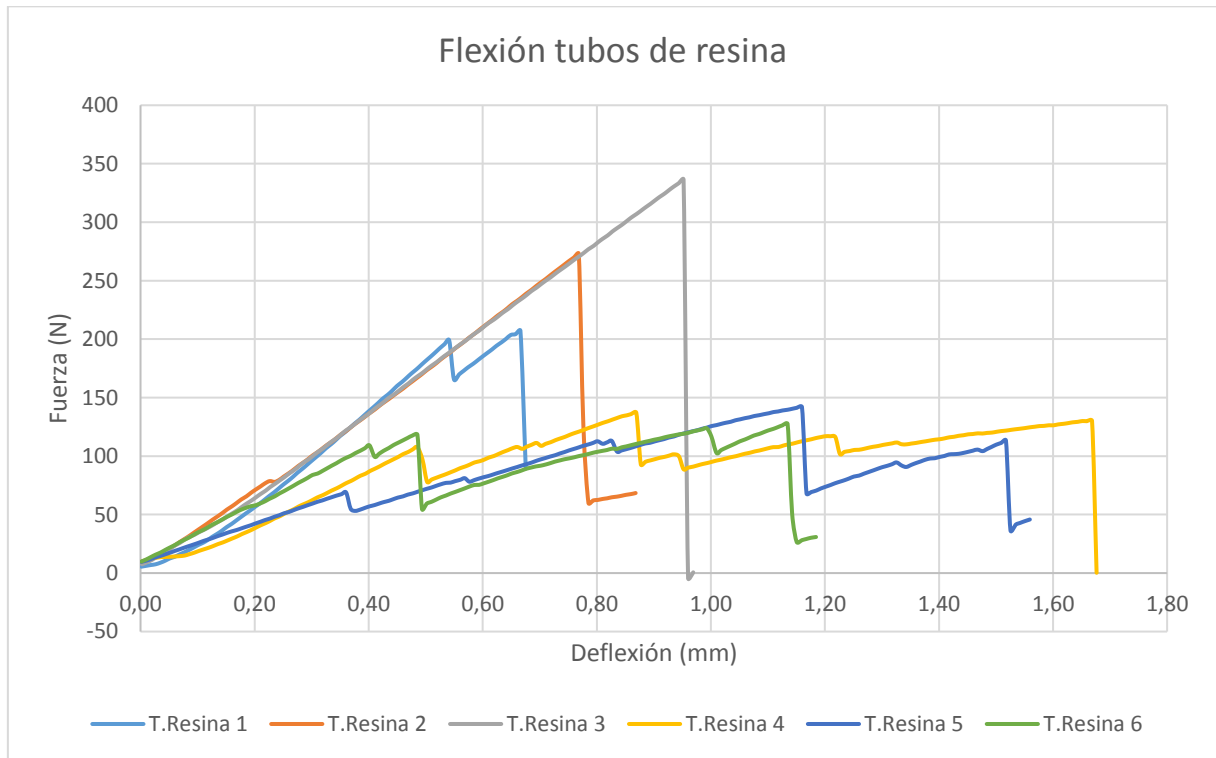
Las probetas con refuerzo longitudinal y tratado químicamente con hidróxido sódico, mejoran la resistencia a flexión de las probetas reforzadas con fibras longitudinales sin tratar. Por ello se puede concluir que el tratamiento químico consigue mejorar la adhesión entre la resina y las fibras, resultando en una mejora relativamente reducida de la resistencia a flexión.

La menor resistencia del refuerzo aleatorio, respecto a las probetas de fibra longitudinal sin tratar se debe a la diferencia en la adhesión entre la resina y las fibras; y a la disposición de las mismas respecto a la fuerza aplicada, donde en el caso de las fibras aleatorias, y la disposición de las mismas respecto a la fuerza aplicada, donde en el caso de las fibras aleatorias, no siempre es favorable la disposición, y en muchos casos hay fibras que no aportan resistencia.

Observando las probetas reforzadas con la carga de polvo de platanera, se obtiene que su resistencia máxima se encuentra en una proporción del 1%, con lo que vemos, como la resistencia va disminuyendo al ir aumentando del porcentaje de carga incluido.

7.9 Ensayo a flexión de las probetas tubulares de resina de poliéster.

A continuación se muestran gráficamente los resultados obtenidos del ensayo de flexión para las probetas tubulares fabricadas con resina poliéster sin refuerzo.



Gráfica 7.10: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas tubulares de resina.

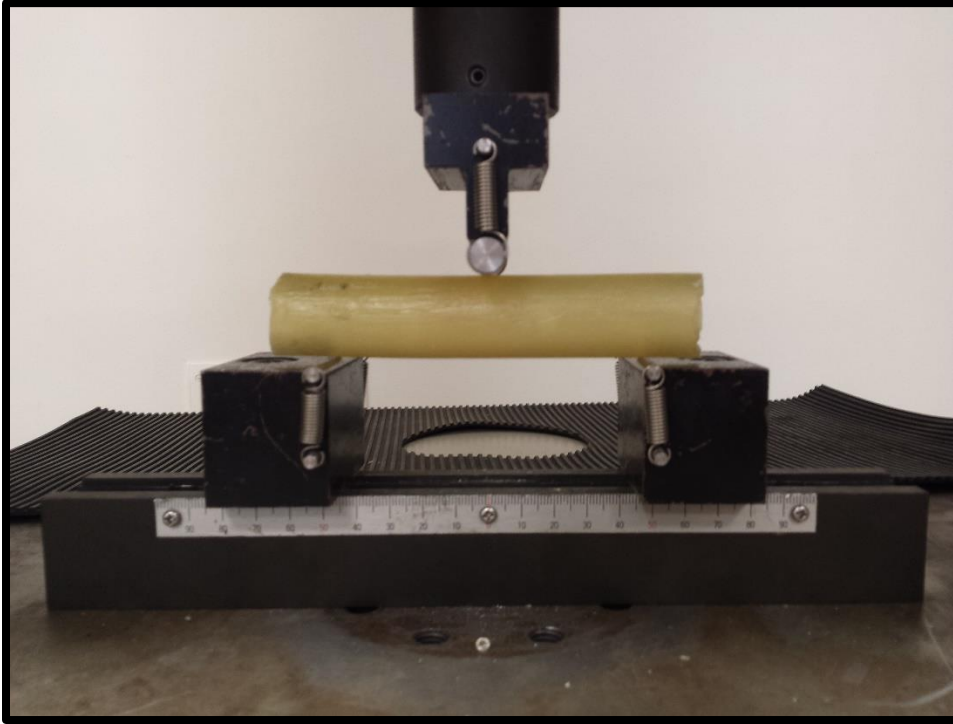


Figura 7.8: Ensayo de 3 puntos tubo de resina. Fuente: Propia.

En la Tabla 7.9 se muestran los valores obtenidos del ensayo de flexión de las probetas sin refuerzo, cuyos resultados gráficos por separados se muestran en el Anexo E, en estos no se muestra la deflexión de las probetas debido a que no se considera un dato relevante en las probetas tubulares ensayadas, ya que principalmente la parte de la probeta deformada es aquella donde se aplica la carga, y la opuesta no sufre la mismas deformaciones, por lo tanto es un dato que no nos indica la deflexión de toda la probeta, sino de la cara expuesta a la carga.

Resina	Disposición de las fibras	Código	σ_f (MPa)	E_f (MPa)
Poliéster	Sin fibras de refuerzo	R1	6,33	516,84
		R2	10,19	379,15
		R3	11,82	372,47
		R4	3,85	131,43
		R5	3,63	98,89
		R6	3,22	89,27
Media ($\bar{\sigma}$)			6,51	264,68
Desviación (s)			3,69	181,28
Intervalo de confianza 95%			3,58 < $\bar{\sigma}$ < 9,43	120,88 < $\bar{\sigma}$ < 408,47

Tabla 7.9: Propiedades a flexión de los tubos de resina sin refuerzo.

En este caso tenemos tres tipos de resultados debido a las pequeñas diferencias existentes en la fabricación. Estos tres tipos serían las probetas R1; R2 y R3; y R4, R5 y R6, de la Tabla 7.9. En este caso la media, aun siendo obtenida, no es representativa del conjunto.

Los distintos resultados entre las probetas tubulares fabricadas de resina, por lo que se dice que existen tres tipos de probeta, son pequeñas diferencias en el espesor de la probeta, puesto que este no es constante a lo largo de la misma y existen diferencias entre las probetas. Esto es inevitable con el tipo de molde que se usa en el cual la vela interna usada varía mucho sus dimensiones de unas a otras.

Los tubos presentan una fractura completa o fractura sobre la cara superior donde se aplica la fuerza, zona comprimida, creando un astillado del material, ver al completo en el Anexo E y en la figura 7.9.

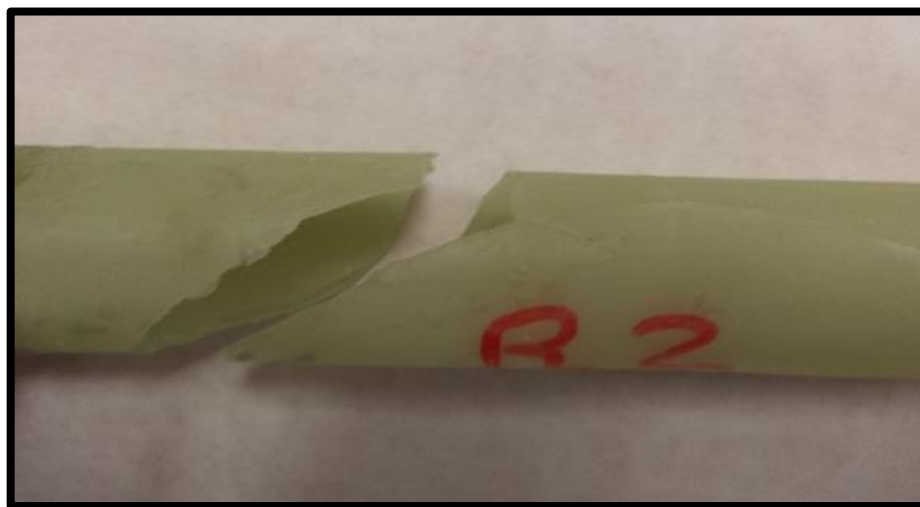
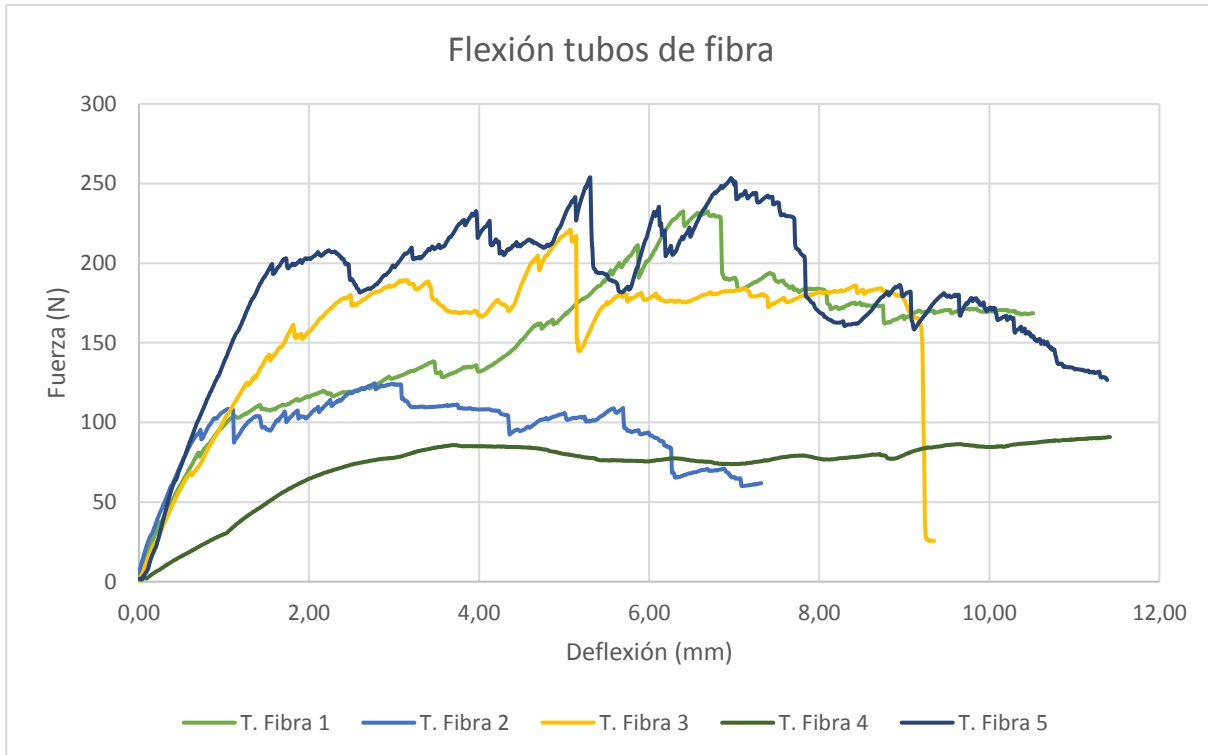


Figura 7.9: Probeta tubular de resina sin refuerzo, R2 ensayada. Fuente: Propia.

7.10 Ensayo a flexión de las probetas tubulares de conformado longitudinal tratado químicamente.

A continuación se muestran gráficamente los resultados obtenidos del ensayo de flexión para las probetas tubulares fabricadas con resina poliéster y refuerzo de fibra de platanera tratada químicamente en disposición longitudinal.



Gráfica 7.11: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas tubulares de resina reforzada con fibra de platanera.



Figura 7.10: Ensayo de 3 puntos tubo de fibra de platanera. Fuente: Propia.

En la Tabla 7.10 se muestran los valores obtenidos del ensayo de flexión de las probetas reforzadas con fibra longitudinal, cuyos resultados gráficos por separados se muestran en el Anexo F.

Resina	Disposición de las fibras	Código	σ_f (MPa)	E_f (MPa)
Poliéster	Longitudinal	T1	6,02	52,61
		T2	4,02	80,81
		T3	4,88	48,81
		T4	2,05	8,93
		T5	5,29	52,76
Media ($\bar{\sigma}$)			4,45	48,78
Desviación (s)			1,52	25,71
Intervalo de confianza 95%			3,24 < $\bar{\sigma}$ < 5,66	28,39 < $\bar{\sigma}$ < 69,18

Tabla 7.10: Propiedades a flexión de los tubos reforzados con fibra de platanera en disposición longitudinal.

Al añadir el refuerzo se observa como el comportamiento deja de ser frágil y se vuelve dúctil, alcanzando mayor deformación antes de la rotura.

La rotura se produce en la resina, en la unión resina-fibra, únicamente un caso llega a fracturar las fibras, la probeta T3 Figura 7.11, como se puede observar con la caída brusca en la Gráfica 7.11. Por lo que a simple vista las fibras no parecen haber sufrido ningún tipo de esfuerzo.

En el anexo F se encuentra en detalle los resultados de las roturas de las probetas.



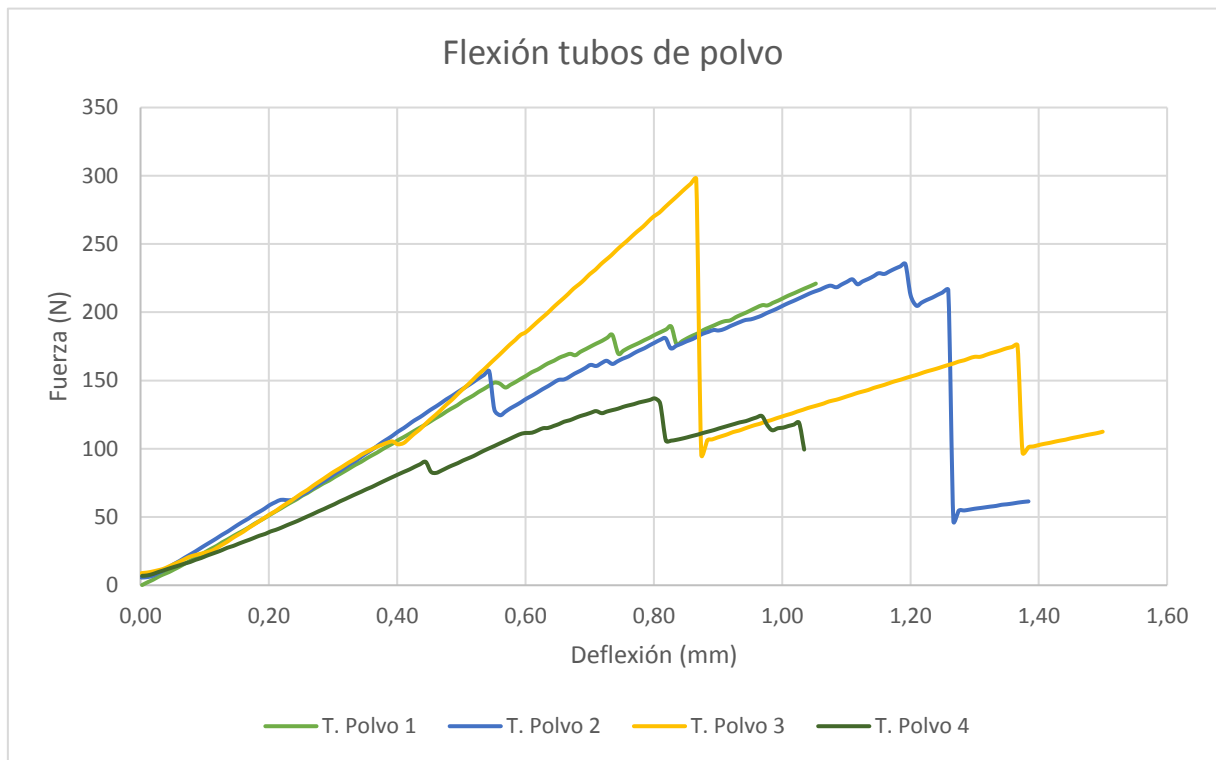
Figura 7.11: Probeta tubular de fibras longitudinales tratadas, T3 ensayada. Fuente: Propia.

7.11 Ensayo de flexión de las probetas tubulares de polvo de platanera al 25 %.

A continuación se muestran gráficamente los resultados obtenidos del ensayo de flexión para las probetas tubulares fabricadas con resina poliéster, reforzadas con polvo de platanera al 25%.

En este caso se realizaron unas 20 probetas en varias tandas, de las cuales sólo se ensayaron 4, por la gran dificultad de fabricar los tubos, muchos de ellos, tras varias tandas de fabricación no presentaban una calidad mínima para poder ser ensayados, debido a pequeños agujeros que quedan, al no fluir correctamente la mezcla, de resina y carga de polvo de platanera, al alcanzar la mezcla una viscosidad superior a la que permitiría fluir correctamente

la misma. Esto también provoca, en muchos de los casos, la rotura de la probeta tras el desmolde



Gráfica 7.12: Curva Fuerza – Deflexión de las probetas tubulares de resina reforzada con polvo de platanera.

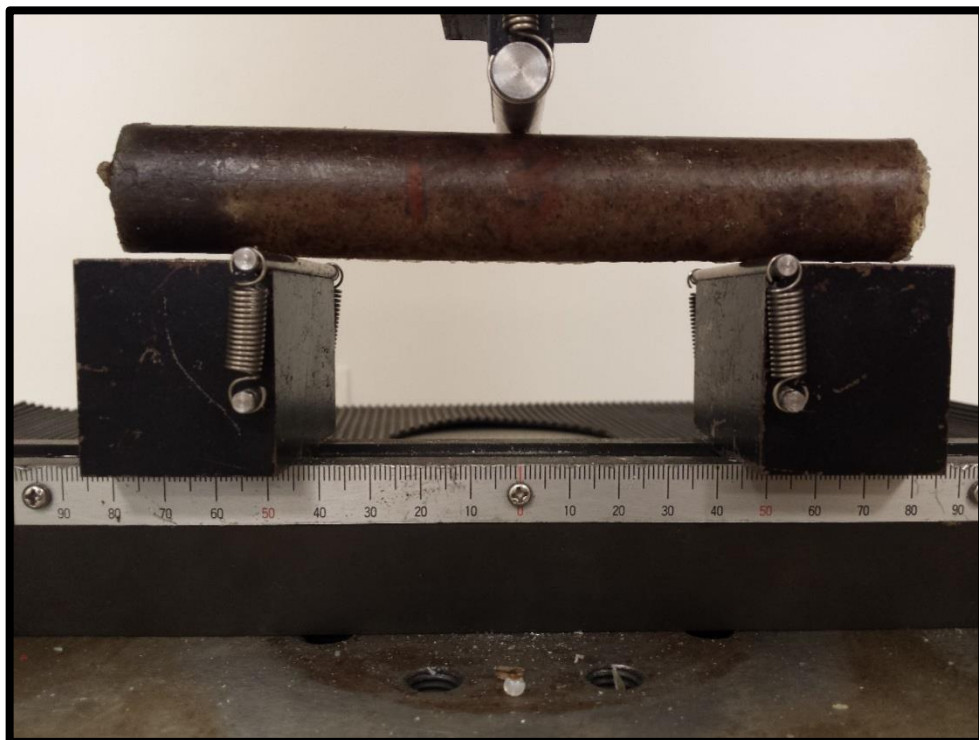


Figura 7.12: Ensayo de 3 puntos tubo de polvo de platanera. Fuente: Propia.

En la Tabla 7.11 se muestran los valores obtenidos del ensayo de flexión de las probetas reforzadas con polvo de platanera, cuyos resultados gráficos por separados se muestran en el Anexo G.

Resina	Disposición del refuerzo	Código	σ_f (MPa)	E_f (MPa)
Poliéster	Disperso	T1	6,50	165,79
		T2	6,64	180,71
		T3	8,58	437,67
		T4	4,82	207,16
Media ($\bar{\sigma}$)			6,64	247,83
Desviación (s)			1,54	127,71
Intervalo de confianza 95%			4,10 < $\bar{\sigma}$ < 8,27	111,69 < $\bar{\sigma}$ < 383,97

Tabla 7.11: Propiedades a flexión de los tubos reforzados con polvo de platanera.

Se tiene una media representativa del conjunto, con pequeñas desviaciones en la muestra. Esta vez observando el conjunto, el refuerzo del polvo parece mejorar un poco las propiedades de la resina, aunque la mejoría es mínima, como se ve en el siguiente apartado.

La rotura se produce igual que en las probetas de resina sin refuerzo. Como se puede observar en el Anexo G.



Figura 7.13: Probeta tubular de polvo de platanera, P1 ensayada. Fuente: Propia.

7.12 Comparación de las probetas tubulares.

En la tabla 7.12 se muestran los valores de la media aritmética de las probetas tubulares de resina, reforzadas con fibras longitudinales y reforzadas con polvo de platanera.

Resistencia a flexión	σ_f(MPa)	E_f(MPa)
Resina sin refuerzo	6,51	264,68
Con fibras longitudinales	4,45	48,78
Con polvo de platanera	6,64	247,83

Tabla 7.12: Comparación de la resistencia a flexión de las probetas tubulares.

La resistencia a flexión no mejora con el refuerzo aplicado. Nuestra probeta reforzada con polvo de platanera iguala los valores obtenidos de resistencia y módulo para la probeta sin refuerzo, y supera a los obtenidos con refuerzo axial.

En todos los tubos reforzados con polvo, la resina se disminuyó para dar cabida al refuerzo, hasta un 25%, presentando unos valores tanto en resistencia como en módulos similares. Por lo que considerando que el polvo se obtiene de un desecho, se estaría ahorrando un 25% de resina para obtener unas mismas propiedades mecánicas.

En los tubos reforzados con fibras longitudinales de platanera se incluyó un 50% menos de resina, siendo el 50% restante del volumen la fibra de refuerzo añadida. En este caso no se consiguió la mejora la resistencia a flexión ni del módulo a flexión del material.

Debe recordarse que la adhesión de la resina a las fibras no es perfecta y que esta se despega, provocando posteriormente la fractura de la resina, llegando al colapso del material. En este caso, el tratamiento químico de las fibras no tuvo el efecto deseado.

8. Conclusiones

8.1 Español

Una vez analizados los materiales compuestos reforzados, se concluyen principalmente estos aspectos:

La fabricación de tubos con fibras de platanera, con los medios que se tienen a disposición, no es factible. La dificultad en su fabricación hace que el número de muestras disponibles no sea suficiente. Esa dificultad en la fabricación hace que la calidad de los tubos no sea la adecuada, y por lo tanto se obtenga resistencias a flexión bajas.

La fabricación de MAT de fibras de platanera de forma manual, como se ha desarrollado en este trabajo es totalmente inviable, por la cantidad de tiempo que supone la obtención de cada fibra.

Los valores de resistencia y módulos obtenidos de las probetas de MAT, son muy pobres y por lo anteriormente expuesto, se concluye que fabricado como se describe, no es un material con relevante interés.

El proceso de obtención de las fibras mejora de la resistencia a la flexión y el módulo a flexión de las probetas reforzadas con fibras longitudinales.

El tratamiento químico con hidróxido de sodio consigue que aumente el valor de la resistencia a flexión en las probetas reforzadas con fibras longitudinales tratadas frente a las probetas reforzadas con fibras longitudinales sin tratar.

Tras el tratamiento químico, se obtiene un material fibroso muy flexible que impide la fractura total de la probeta obtenidas con este procedimiento.

La resistencia a flexión de las probetas reforzadas con carga de polvo de platanera al 1% es superior a la de las probetas normalizadas con fibra longitudinal tratada. Y no parece necesario rellenar con % de carga demasiado elevados para conseguir beneficio.

Dichas probetas reforzadas con la carga de polvo de platanera aumentan considerablemente el módulo elástico, en valores cercanos a los 1000MPa, por lo que la carga como refuerzo, aumenta la rigidez del material.

En futuros trabajos, sería interesante:

Estudiar la influencia del tamaño de la carga de, polvo o partículas de platanera, para obtener unas mejores propiedades mecánicas.

Mejorar el proceso de obtención de las fibras de platanera, a través de un proceso mecánico, semi-destructivo, que no dependa únicamente de mano de obra para obtener manualmente cada fibra del MAT.

Diseñar un proceso mecánico de obtención de las fibras de platanera, donde el resultado final vaya directamente a un armario de secado, para obtener, con el mínimo trabajo manual, las fibras listas para emplear en la fabricación del producto que se desee.

8.2 English

The manufacture of tubes with banana fibers, with the means that are available, is not feasible. The difficulty in its manufacture means that the number of samples available is not sufficient. This difficulty in the manufacture makes the quality of the tubes not suitable, and therefore low flexural strengths are obtained.

The manufacture of MAT of banana fiber manually, as it has been developed in this work is totally unviable, for the amount of time that each fiber is supposed to obtain.

The resistance values and modules obtained from the MAT specimens are very poor and because of the above, it is concluded that manufactured as described, is not a material with relevant interest.

The process of obtaining the fibers improves the flexural strength and flexural modulus of the specimens reinforced with longitudinal fibers.

The chemical treatment with sodium hydroxide increases the value of the flexural strength in the specimens reinforced with treated longitudinal fibers compared to the specimens reinforced with untreated longitudinal fibers.

After the chemical treatment, a very flexible fibrous material is obtained that prevents the total fracture of the specimen obtained with this procedure.

The flexural strength of the reinforced specimens reinforced with banana powder loading at 1% is superior to that of standard specimens with treated longitudinal fiber. And it does not seem necessary to refill with too much load% to make a profit.

These specimens reinforced with the banana powder loading considerably increase the elastic modulus, in values close to 1000MPa, so that the load as reinforcement increases the rigidity of the material.

In future works, it would be interesting:

To study the influence of the size of the load of powder or banana particles to obtain better mechanical properties.

Improve the process of obtaining the banana fibers, through a mechanical and semi-destructive process that does not rely solely on manual labor to obtain each fiber of the MAT.

Design a mechanical process to obtain the banana fibers, where the final result goes directly to a drying closet, to obtain, with the minimum manual work, fibers ready to use in the manufacture of the desired product.

9. Bibliografía.

- [1] Las fibras naturales en los materiales plásticos compuesto. – Ricardo A. Forero R.
<http://www.plastico.com/temas/Las-fibras-naturales-en-los-materiales-plasticos-compuestos+3057872?pagina=1>
- [2] ¿Por qué naturales? Cinco buenas razones.
<http://www.naturalfibres2009.org/es/aifn/index.html>
- [3] Nuestra historia.
<http://platanodecanarias.net/historia/nuestra-historia/>
- [4] Plataneras para producir plástico.
http://cordis.europa.eu/news/rcn/31301_es.html
- [5] Cultivo de la platanera. – Germán Rodríguez Lupiáñez
http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1967_17-18.pdf
- [6] <http://www.platanodecanarias.net/cifras>
- [7] Diseño de Elementos de Máquinas - Robert L. Mott. PEARSON Educación, 4ª edición 2006, ISBN: 970-26-0812-0
- [8] Ciencia e Ingeniería de los Materiales - Ronald R. Askeland. Thomson, 3º edición
ISBN 968-7529-36-9
- [9] Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticos
M.D. Salvador, V. Amigó, A. Nuez, O. Sahuquillo, R. Llorens, F. Martí2
http://www.upv.es/VALORES/Publicaciones/CNM08_Fibras_naturales.pdf
- [10] Efectos del tratamiento químico en las propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales como sustitutas de la fibra de vidrio en composites. Nadia Flores Manrique, Olga González. 30/08/2011
- [11] Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales – F. Smith y Javad Hashemi. McGraw-Hill 2006, 4ª edición, ISBN: 970-10-5638-8

[12] AENOR. UNE-EN-ISO 178. “Plásticos. Determinación de los Propiedades a flexión”, Septiembre 2011.

[13] <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/TEMAIL.2.8.MECANICAS.Ensayos.pdf>

[14] Química: fundamentos experimentales. Guía del profesor. Robert W. Parry. Editorial Reverté 1974. ISBN: 84-291-7468-0

[15] Preparación y Caracterización de Fibras Naturales. Lohengrin David Benazco Ángel. Julio 2015

[16] Práctica 2. Ensayos mecánicos de flexión. Ingeniería de Materiales, campus virtual ULL.

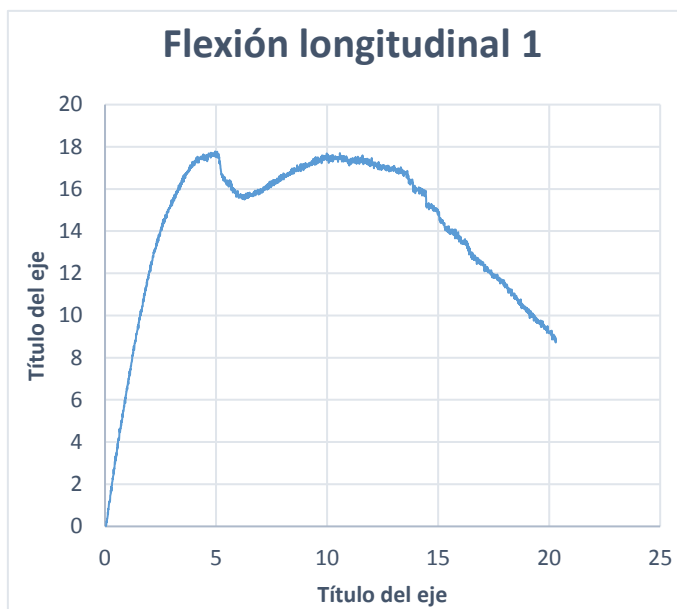
[17] <http://www.adhesivostnk.es>

10. Anexos.

Anexo A: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas normalizadas reforzadas con fibras en disposición longitudinal sin tratamiento químico.

Probeta: F1

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 2,83 mm Ancho: 10,00 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 19,98 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1320,41 \text{ MPa}$$

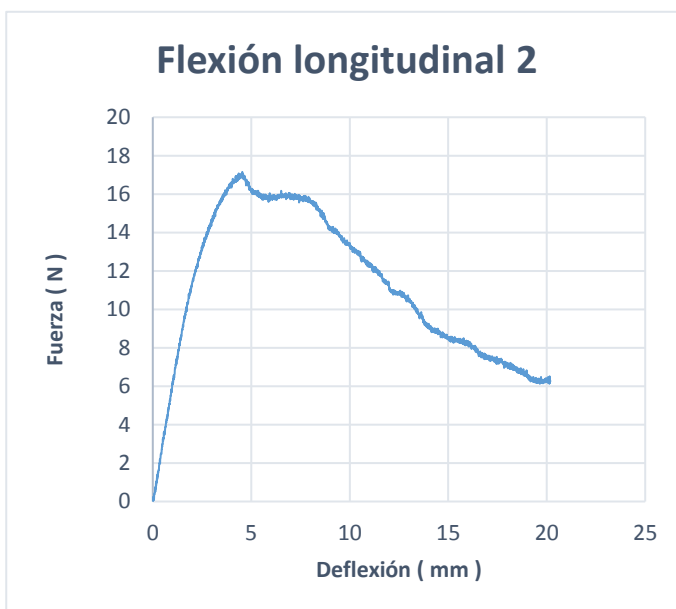
$$\varepsilon_f = 2,32 \%$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la resina, por cizallamiento interlaminar.

Probeta: F2

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 2,82 mm Ancho: 10,00 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 19,42 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1406,34 \text{ MPa}$$

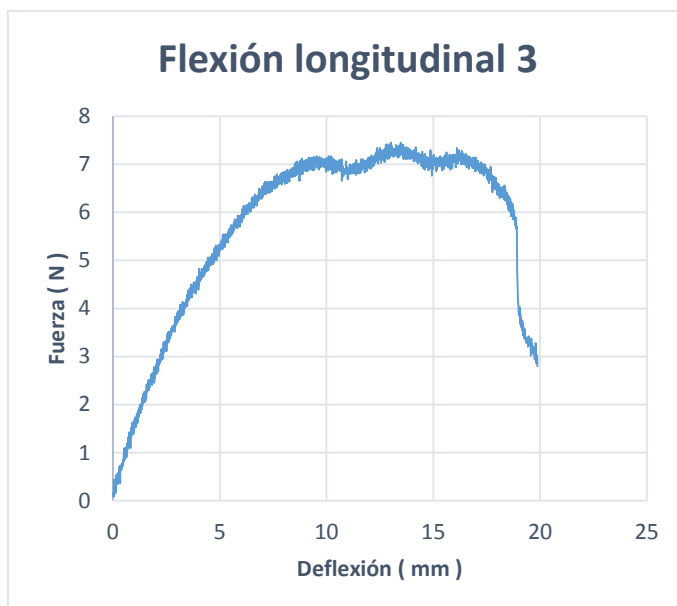
$$\varepsilon_f = 2,14 \%$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la resina, por cizallamiento interlaminar. También se observa rotura de las fibras en la cara a tracción.

Probeta: F3

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 1,86 mm Ancho: 10,00 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 18,21 \text{ MPa}$$

$$E_f = 953,90 \text{ MPa}$$

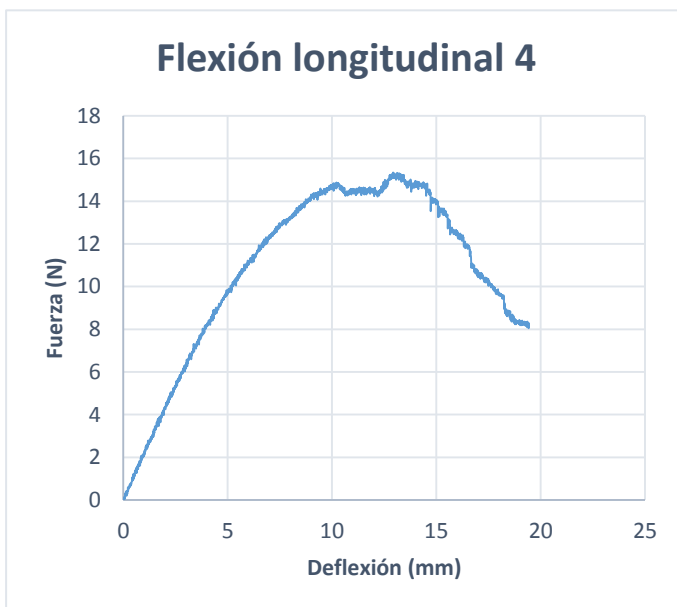
$$\varepsilon_f = 2,98 \%$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la resina, por cizallamiento interlaminar.

Probeta: F4

Composición	Resina poliéster + fibra de plátano Orientación: Aleatoria
Dimensiones	Espesor: 2,02 mm Ancho: 10,00 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 31,63 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1187,39 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 3,07 \%$$

Tipo de fallo:

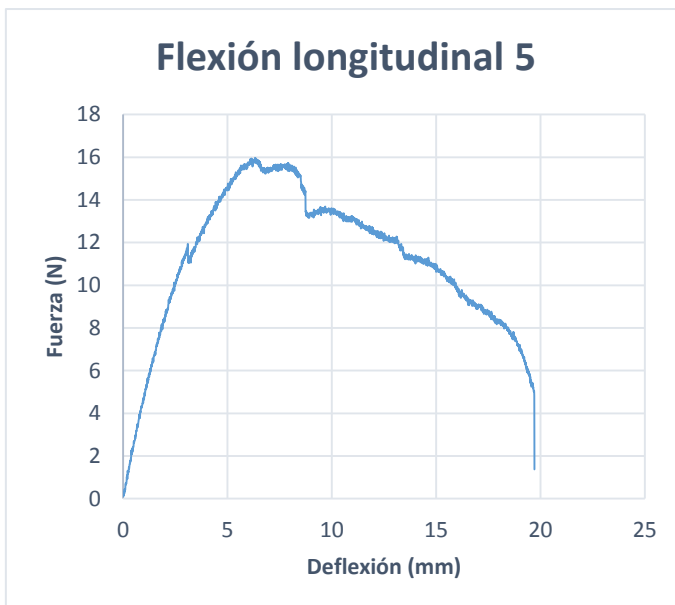
La rotura de la probeta se produce en la cara a tracción, rompiendo las fibras, y en la cara a compresión se quebró la resina.

Probeta: F5

Composición	Resina poliéster + fibra de plátano Orientación: Aleatoria
Dimensiones	Espesor: 2,48 mm Ancho: 10,00 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión

Parámetros:



$$\sigma_f = 23,37 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1289,62 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 2,60 \%$$

Tipo de fallo:

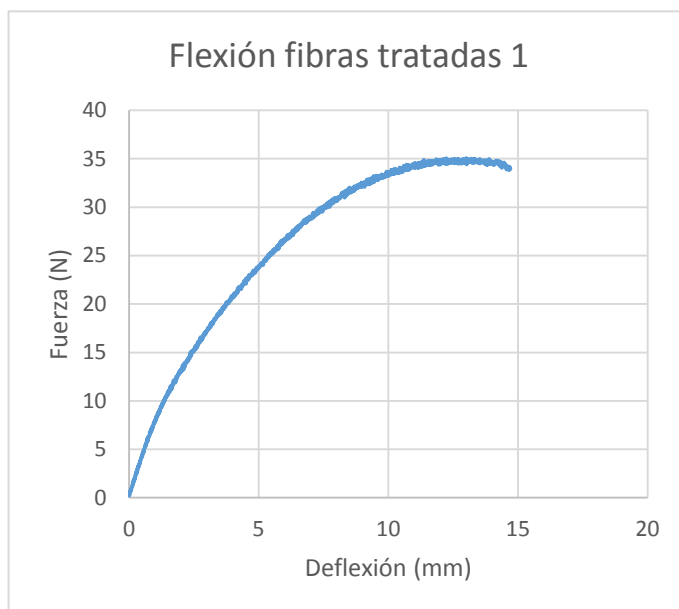


La rotura se produce en la resina, por cizallamiento interlaminar. Se observan pequeñas grietas de la resina de la cara a tracción.

Anexo B: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas normalizadas reforzadas con fibras en disposición longitudinal con tratamiento químico.

Probeta: T1

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 3,22 mm Ancho: 10,08 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 30,19 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1305,16 \text{ MPa}$$

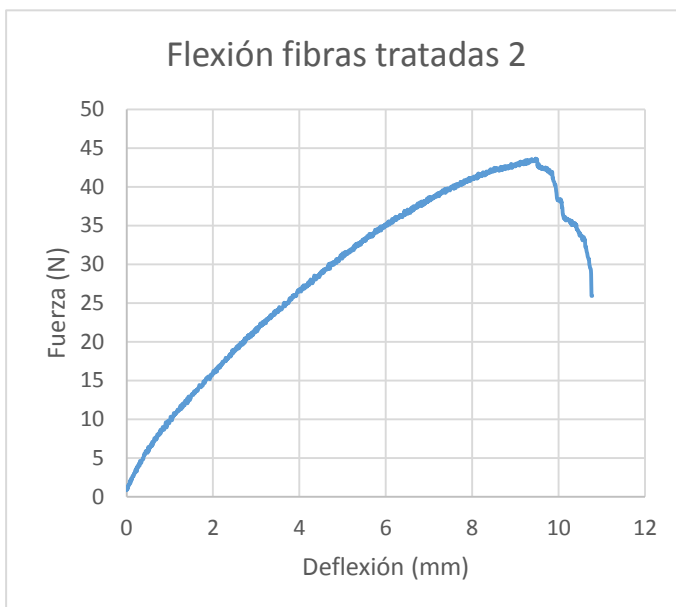
$$\varepsilon_f = 7,07 \%$$

Tipo de fallo:

No se observa rotura en el material, únicamente deformación permanente, al haber entrado durante el ensayo en zona plástica.

Probeta: T2

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 3,35 mm Ancho: 9,24 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 37,88 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1817,32 \text{ MPa}$$

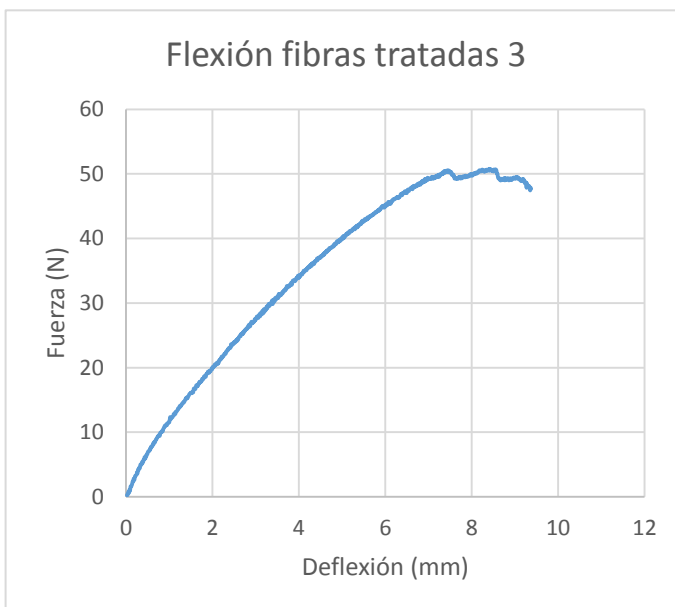
$$\varepsilon_f = 5,31 \%$$

Tipo de fallo:

Se observa fractura en la resina, en la cara a tracción, no se observan fibras rotas, se observa también la deformación permanente a la que ha llegado la probeta.

Probeta: T3

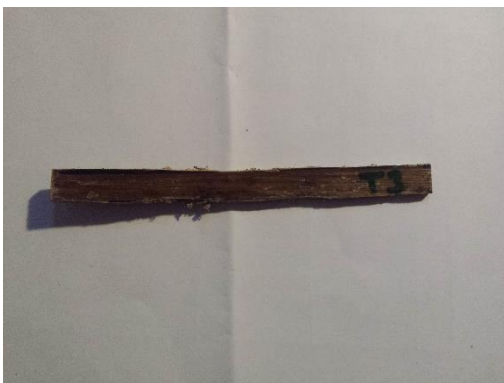
Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 3,38 mm Ancho: 10,88 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 36,59 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1700,36 \text{ MPa}$$

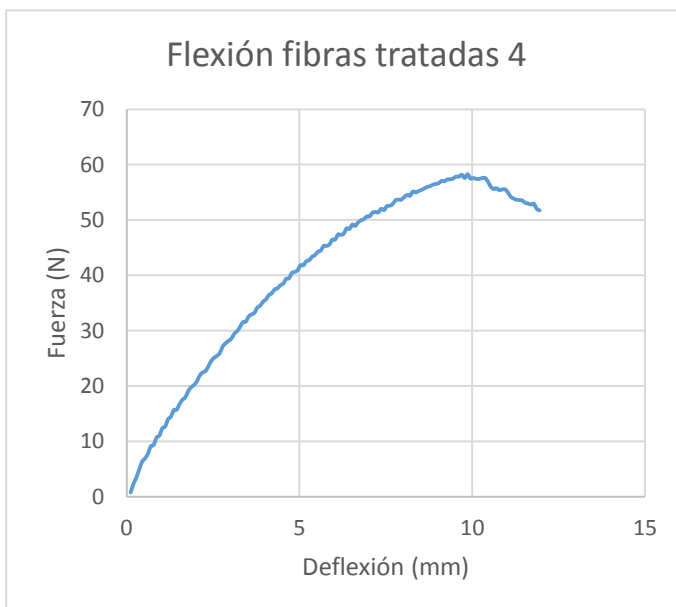
$$\varepsilon_f = 4,19 \%$$

Tipo de fallo:

No se observa rotura en el material, únicamente deformación permanente, al haber entrado durante el ensayo en zona plástica.

Probeta: T4

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 3,81 mm Ancho: 10,17 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 35,52 \text{ MPa}$$

$$E_f = 745,01 \text{ MPa}$$

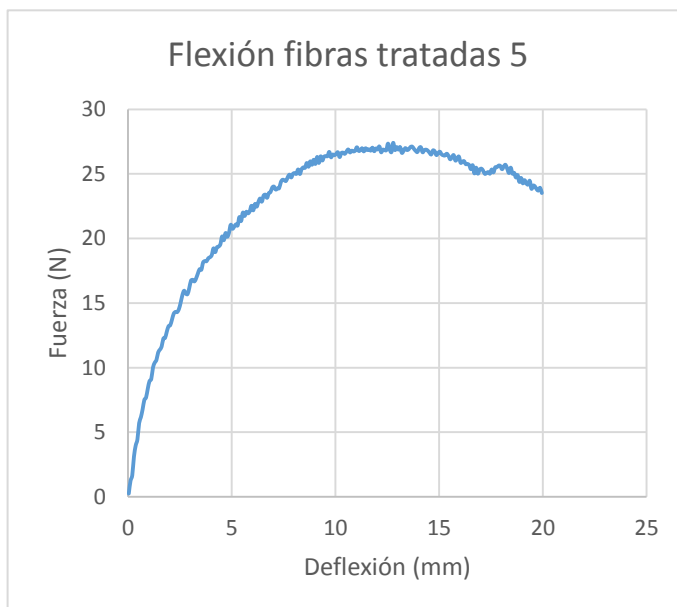
$$\varepsilon_f = 6,21 \%$$

Tipo de fallo:

Se observa fractura en la resina, en la cara a tracción, no se observan fibras rotas, se observa también la deformación permanente a la que ha llegado la probeta.

Probeta: T5

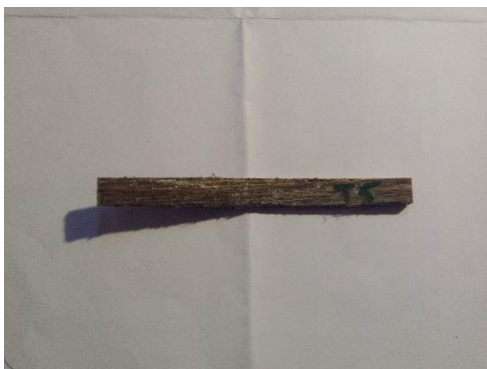
Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 3,30 mm Ancho: 11,36 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 19,94 \text{ MPa}$$

$$E_f = 510,58 \text{ MPa}$$

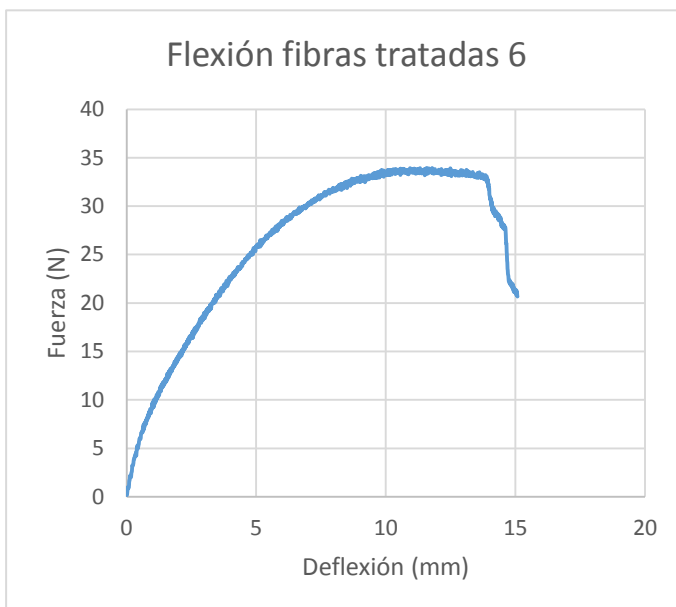
$$\varepsilon_f = 7,35 \%$$

Tipo de fallo:

No se observa rotura en el material, únicamente deformación permanente, al haber entrado durante el ensayo en zona plástica.

Probeta: T6

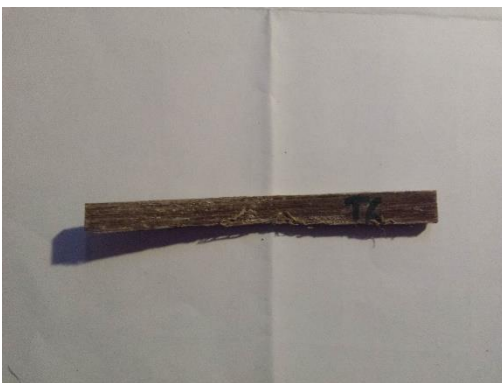
Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 3,81 mm Ancho: 10,34 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 20,35 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1210,56 \text{ MPa}$$

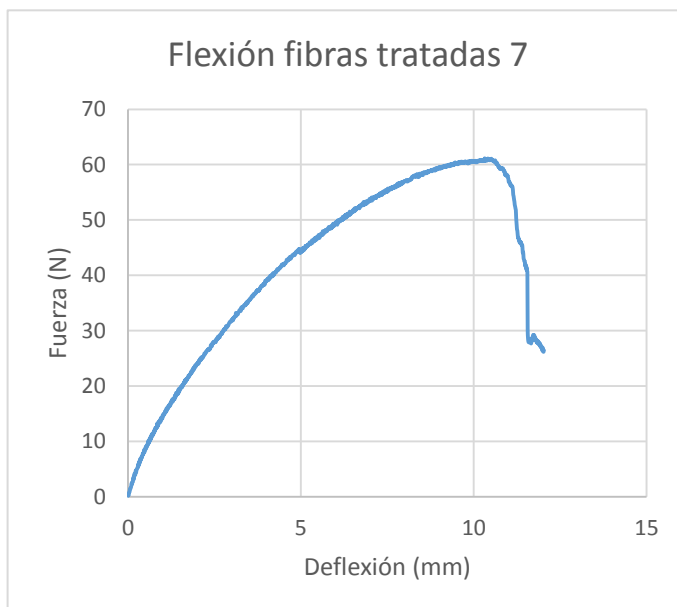
$$\varepsilon_f = 7,10 \%$$

Tipo de fallo:

Se observa fractura en la resina, en la cara a tracción, no se observan fibras rotas, se observa también la deformación permanente a la que ha llegado la probeta.

Probeta: T7

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 3,52 mm Ancho: 11,25 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 39,48 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1760,12 \text{ MPa}$$

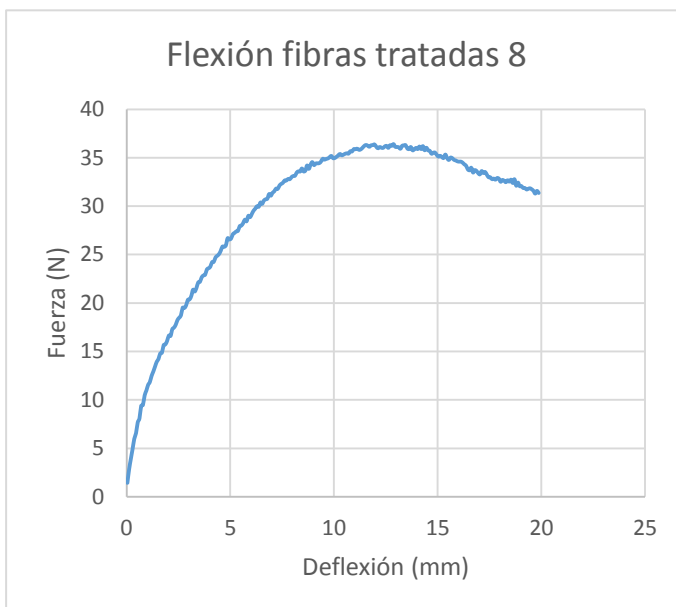
$$\varepsilon_f = 6,04 \%$$

Tipo de fallo:

Se observa fractura en la resina, en la cara a tracción, no se observan fibras rotas, se observa también la deformación permanente a la que ha llegado la probeta.

Probeta: T8

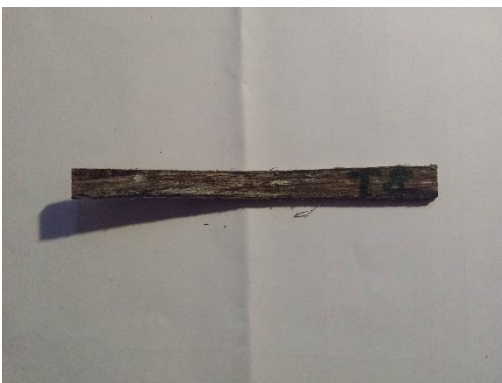
Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 3,49 mm Ancho: 10,00 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 26,90 \text{ MPa}$$

$$E_f = 517,74 \text{ MPa}$$

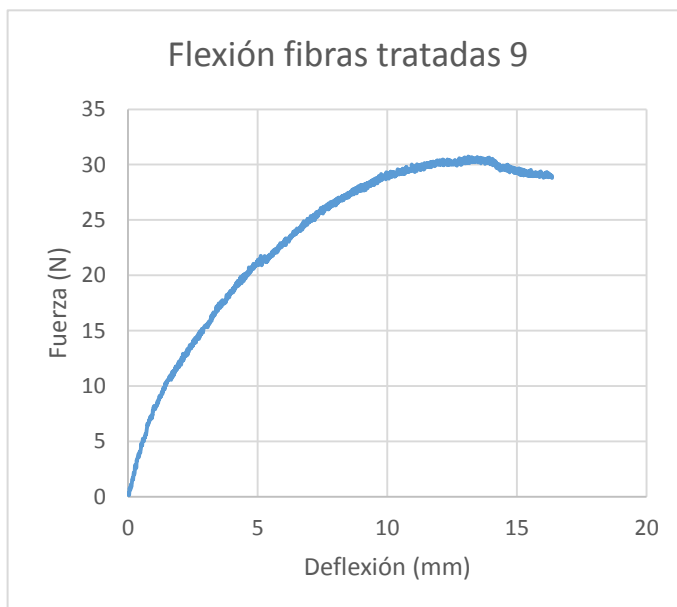
$$\varepsilon_f = 6,76 \%$$

Tipo de fallo:

No se observa rotura en el material, únicamente deformación permanente, al haber entrado durante el ensayo en zona plástica.

Probeta: T9

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 3,11 mm Ancho: 9,98 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 28,66 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1672,38 \text{ MPa}$$

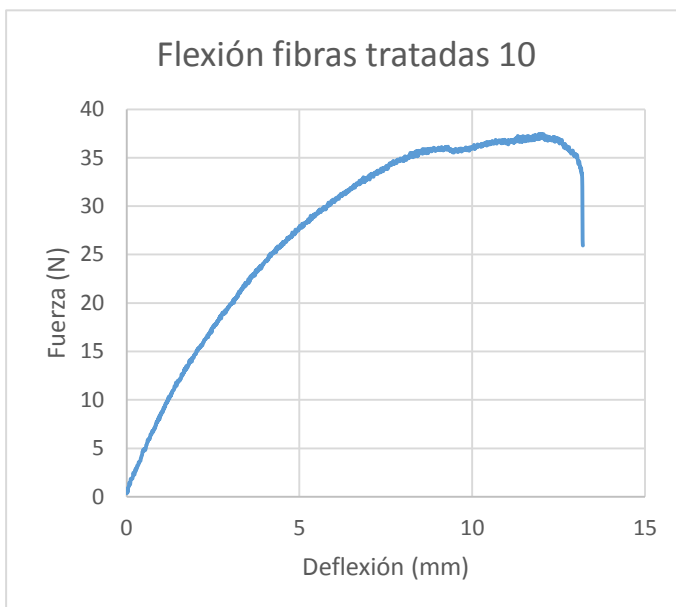
$$\varepsilon_f = 6,72 \%$$

Tipo de fallo:

No se observa ruptura en el material, únicamente deformación permanente, al haber entrado durante el ensayo en zona plástica.

Probeta: T10

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Espesor: 3,58 mm Ancho: 9,62 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 26,31 \text{ MPa}$$

$$E_f = 953,73 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 5,38 \%$$

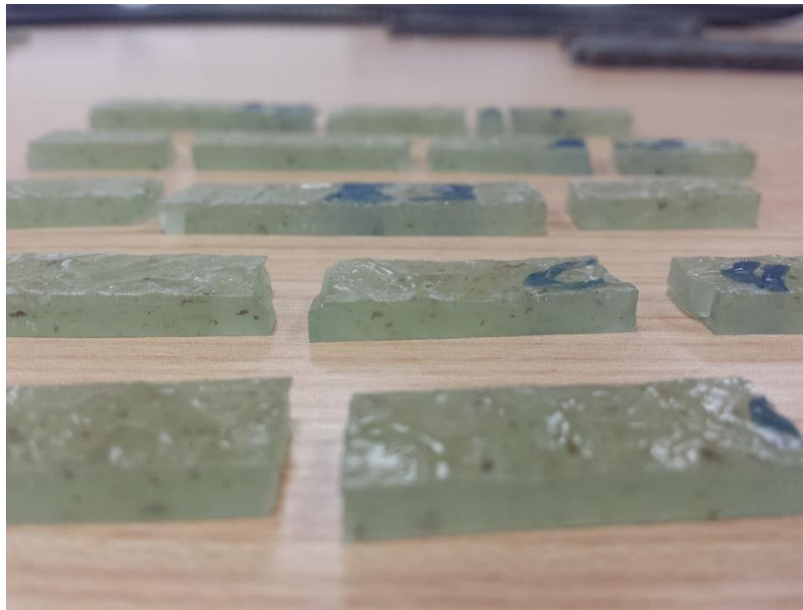
Tipo de fallo:

Se observa fractura en la resina, en la cara a tracción, y también en la cara a compresión se observa que la resina se ha desprendido. No se observan fibras rotas, se observa también la deformación permanente a la que ha llegado la probeta.

Anexo C: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas normalizadas reforzadas con polvo de platanera al 1%, 5%, 15% y 20%.

Fallo en las probetas normalizadas de polvo de platanera:

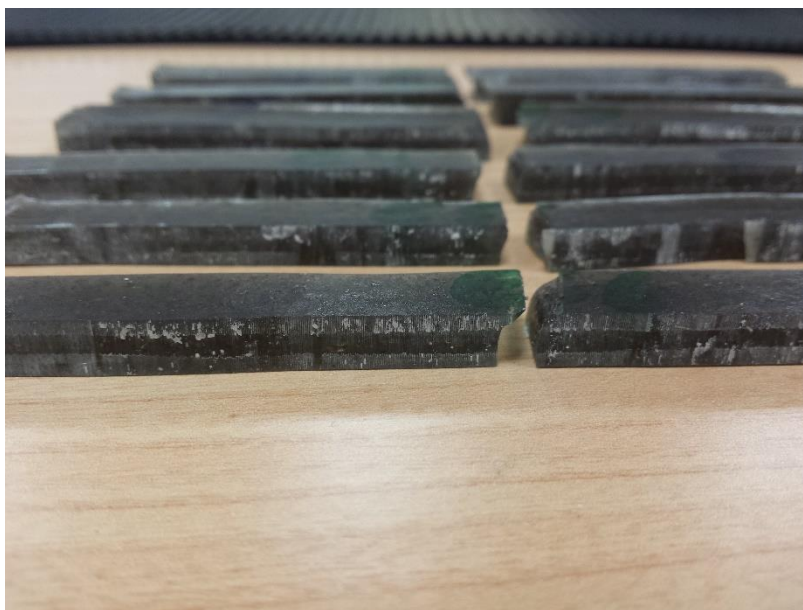
El fallo en las probetas fabricadas de resina poliéster y refuerzo de polvo de platanera, han tenido todas, independientemente del porcentaje de carga de refuerzo utilizado, los mismos tipos de ruptura. El fallo en todos los casos ha sido por compresión como se puede observar en las siguientes imágenes:



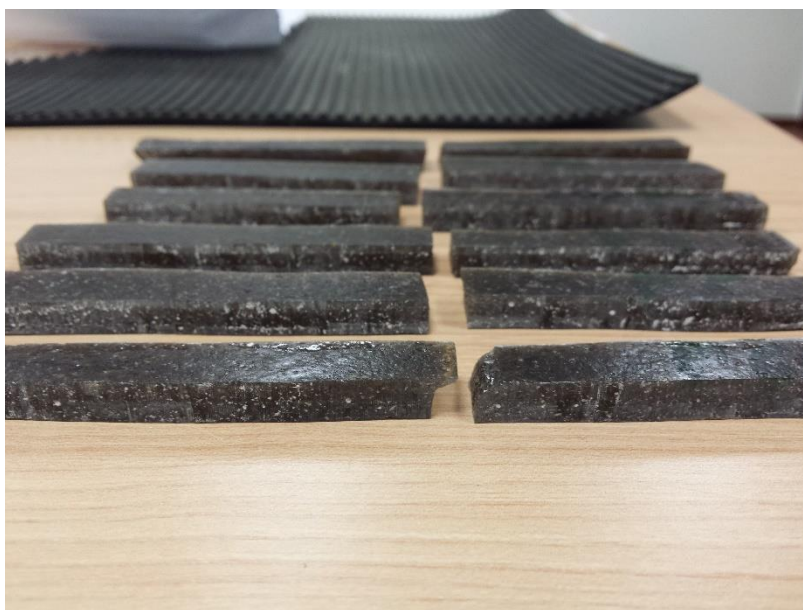
Fallo de las probetas al 1%



Fallo de las probetas al 5%



Fallo de las probetas al 15%

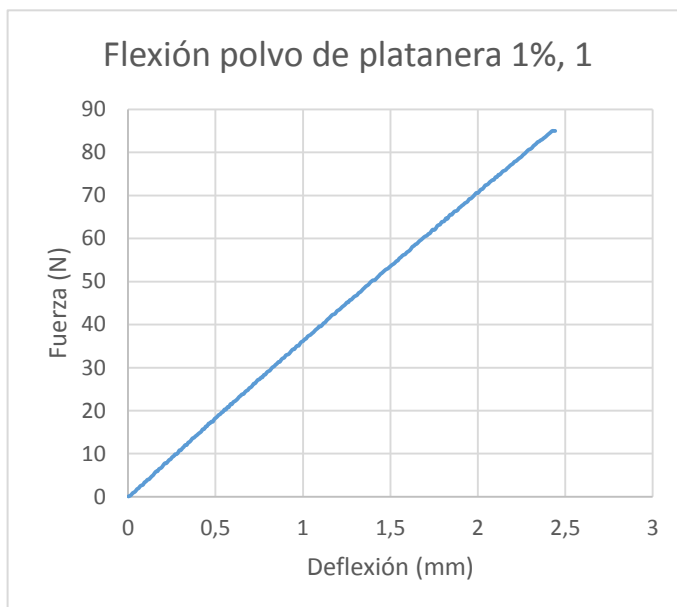


Fallo de las probetas al 20%

Probeta: 1%, 1

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 1% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,37 mm Ancho: 10,93 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

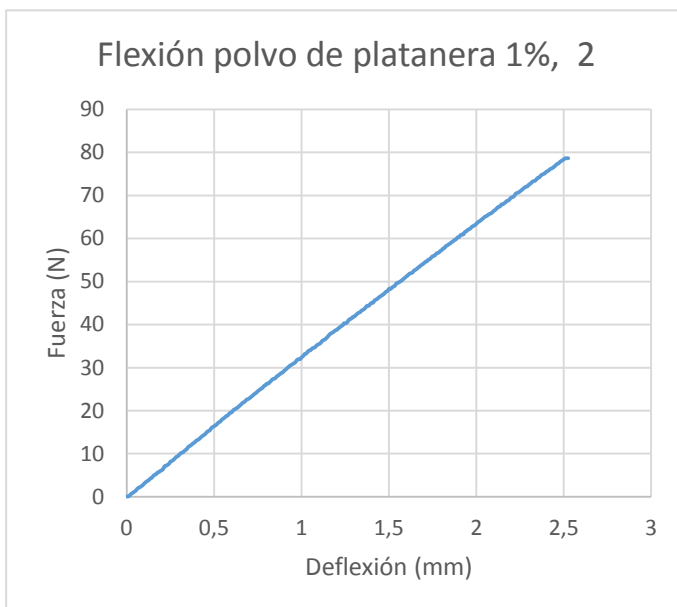
$$\sigma_f = 36,64 \text{ MPa}$$

$$E_f = 2073,81 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,77 \%$$

Probeta: 1%, 2

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 1% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,14 mm Ancho: 10,98 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 37,60 \text{ MPa}$$

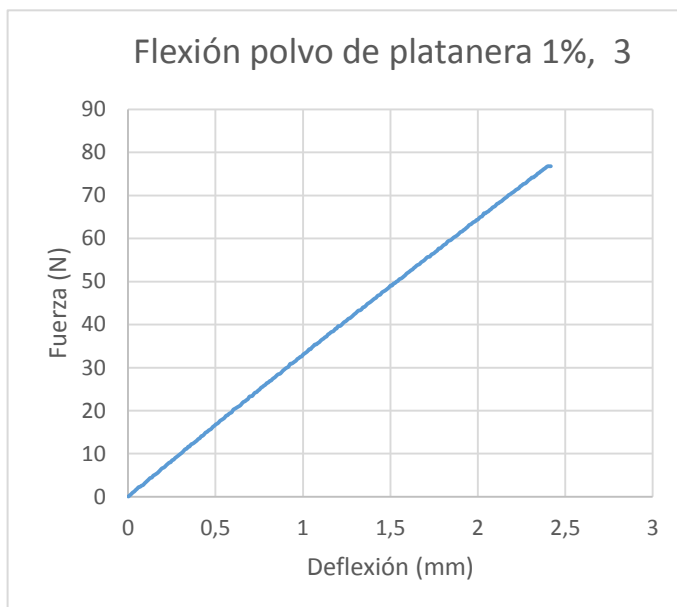
$$E_f = 2175,89 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,73 \%$$

Probeta: 1%, 3

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 1% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,18 mm Ancho: 10,15 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 38,96 \text{ MPa}$$

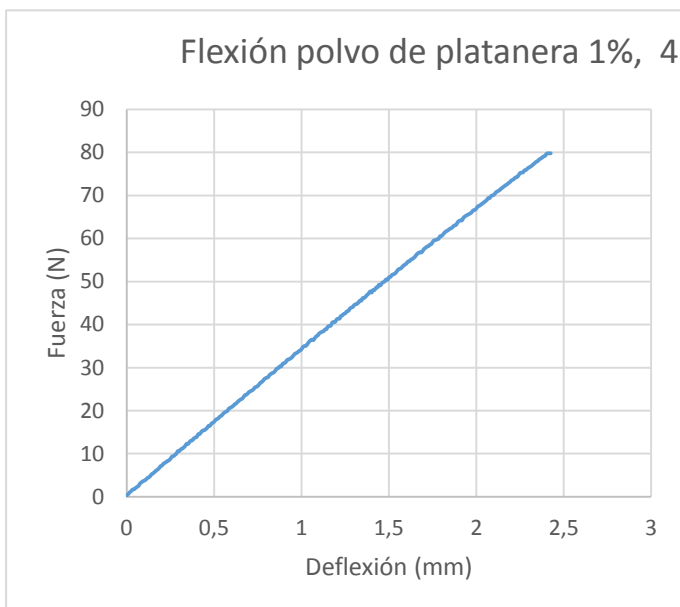
$$E_f = 2326,66 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,67 \%$$

Probeta: 1%, 4

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 1% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,36 mm Ancho: 10,57 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 35,73 \text{ MPa}$$

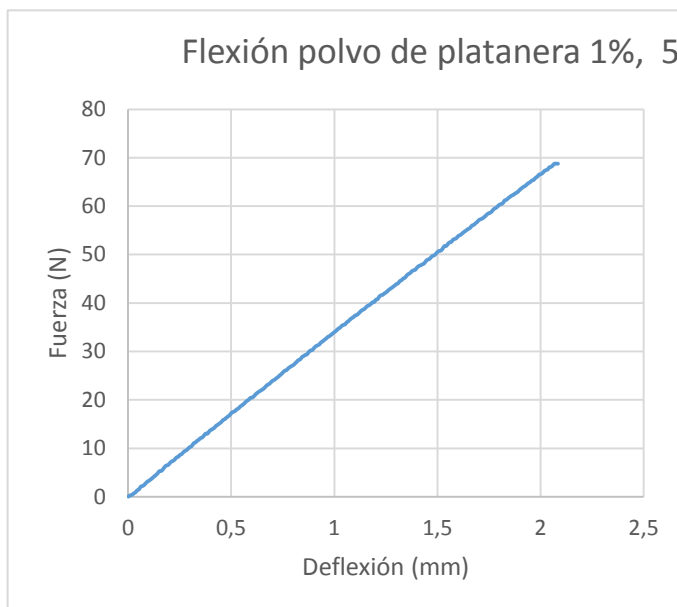
$$E_f = 2038,36 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,75 \%$$

Probeta: 1%, 5

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 1% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,23 mm Ancho: 10,72 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 32,27 \text{ MPa}$$

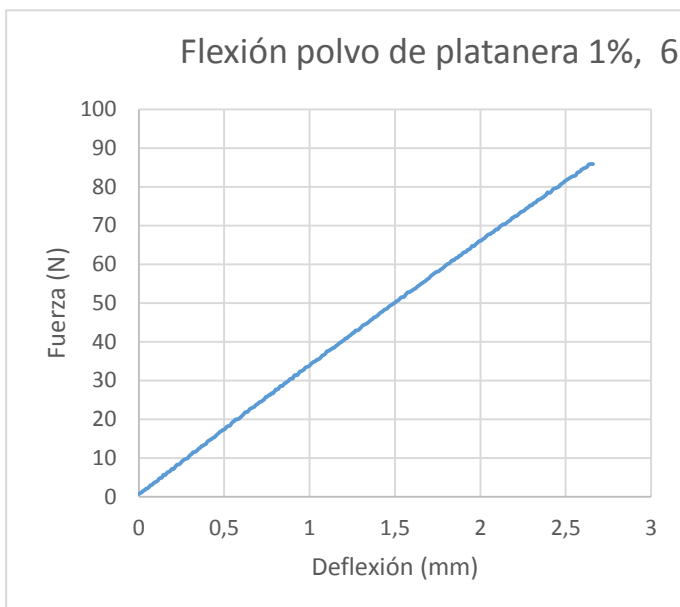
$$E_f = 2215,20 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,47 \%$$

Probeta: 1%, 6

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 1% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 3,99 mm Ancho: 10,40 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 46,67 \text{ MPa}$$

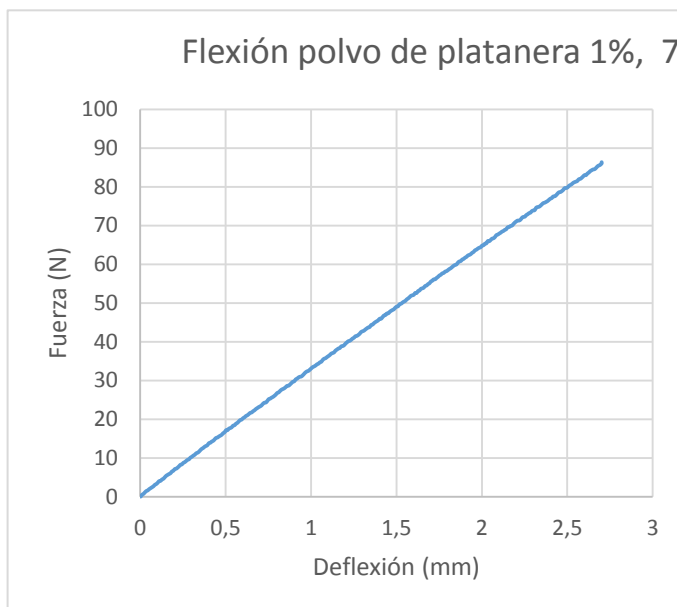
$$E_f = 2637,55 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,76 \%$$

Probeta: 1%, 7

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 1% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,23 mm Ancho: 9,87 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 44,00 \text{ MPa}$$

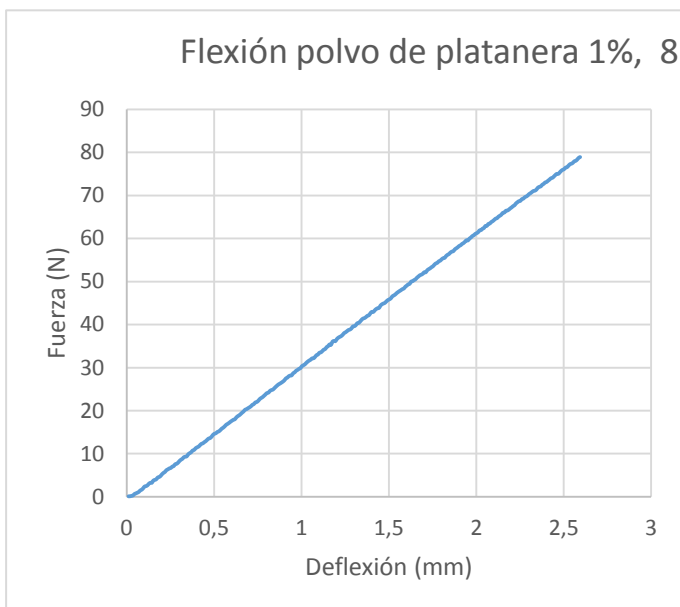
$$E_f = 2293,93 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,90 \%$$

Probeta: 1%, 8

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 1% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,07 mm Ancho: 10,21 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 41,98 \text{ MPa}$$

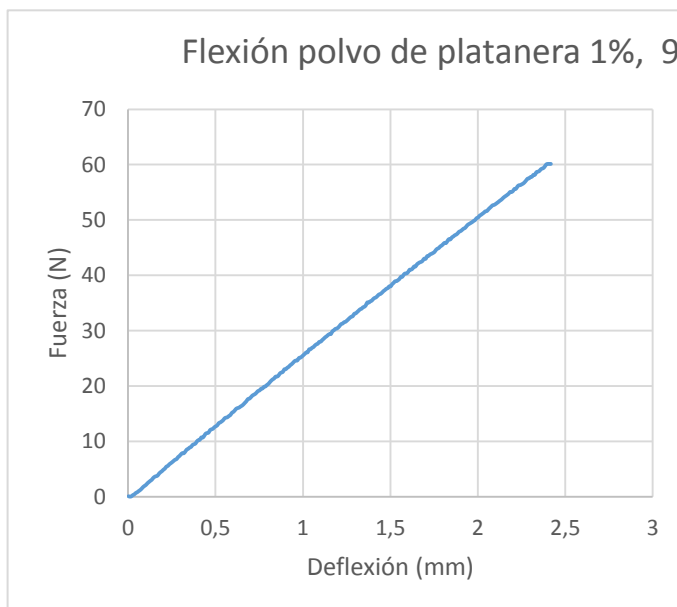
$$E_f = 2428,14 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,76 \%$$

Probeta: 1%, 9

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 1% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,12 mm Ancho: 9,86 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 32,33 \text{ MPa}$$

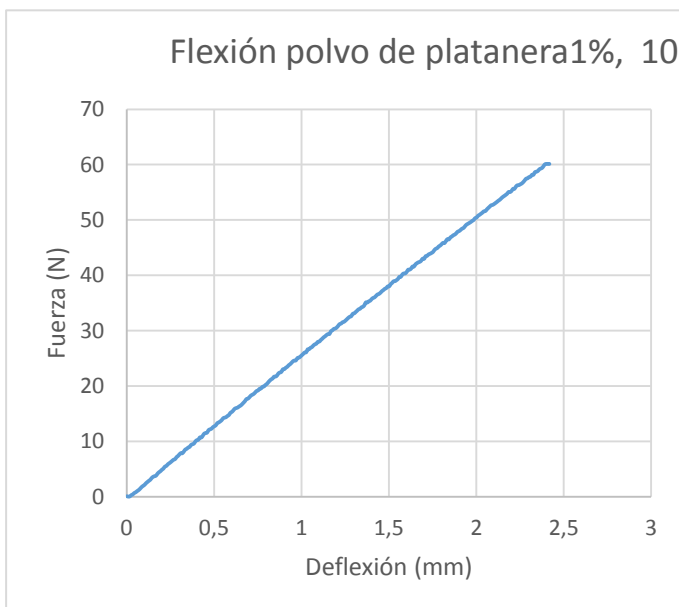
$$E_f = 1973,37 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,68\%$$

Probeta: 1%, 10

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 1% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,14 mm Ancho: 10,45 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 40,98 \text{ MPa}$$

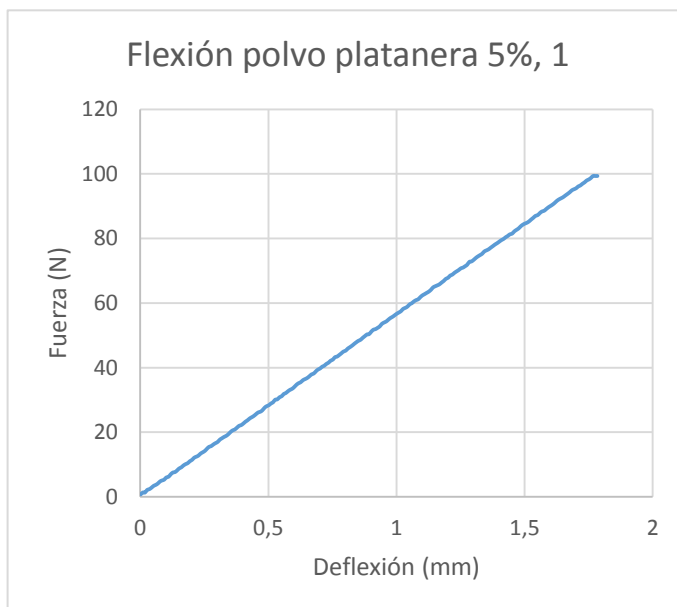
$$E_f = 1835,10 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 2,09 \%$$

Probeta: 5%, 1

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 5% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,73 mm Ancho: 11,05 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 39,76 \text{ MPa}$$

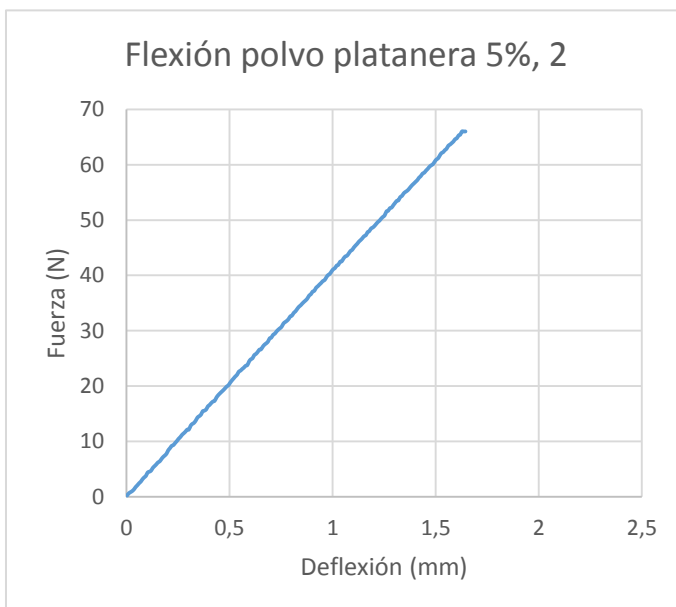
$$E_f = 2849,61 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,43 \%$$

Probeta: 5%, 2

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 5% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,30 mm Ancho: 10,47 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 30,68 \text{ MPa}$$

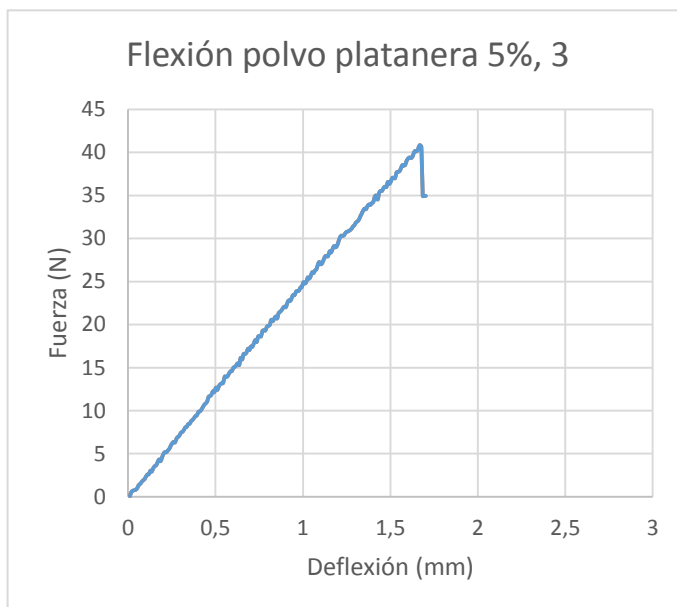
$$E_f = 2627,74 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,16 \%$$

Probeta: 5%, 3

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 5% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 3,64 mm Ancho: 10,21 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 27,17 \text{ MPa}$$

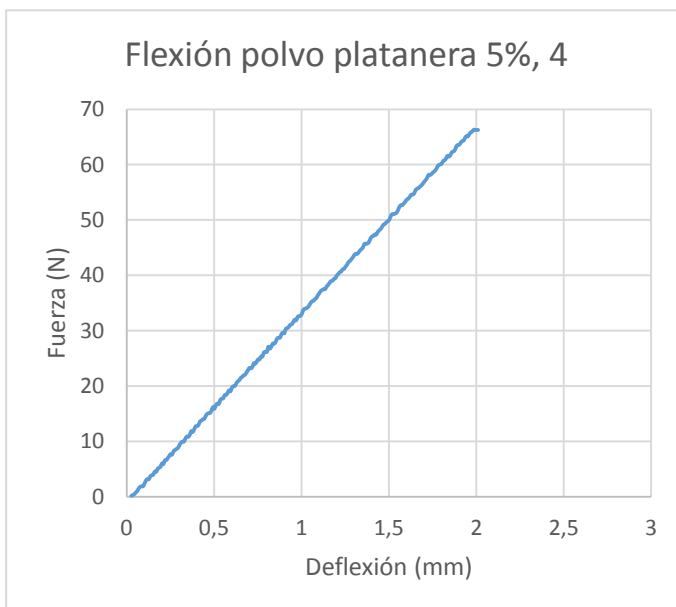
$$E_f = 2757,83 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,02 \%$$

Probeta: 5%, 4

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 5% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,15 mm Ancho: 10,94 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 31,68 \text{ MPa}$$

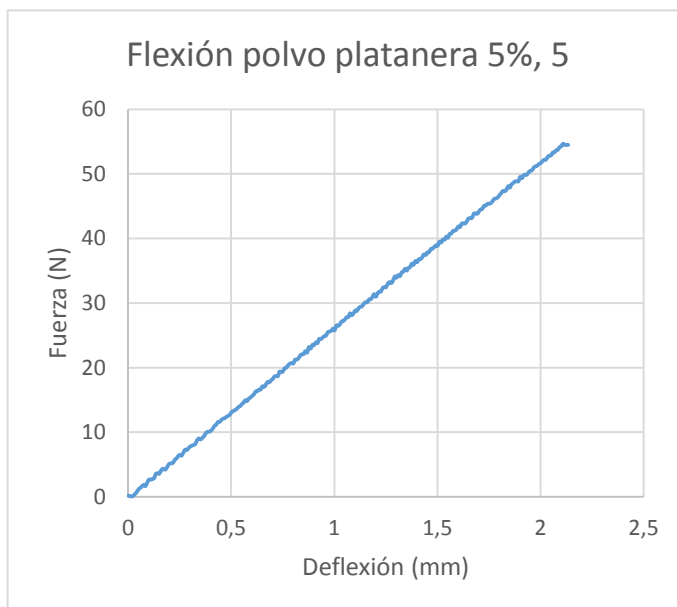
$$E_f = 2344,96 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,36 \%$$

Probeta: 5%, 5

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 5% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 3,84 mm Ancho: 10,19 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 32,74 \text{ MPa}$$

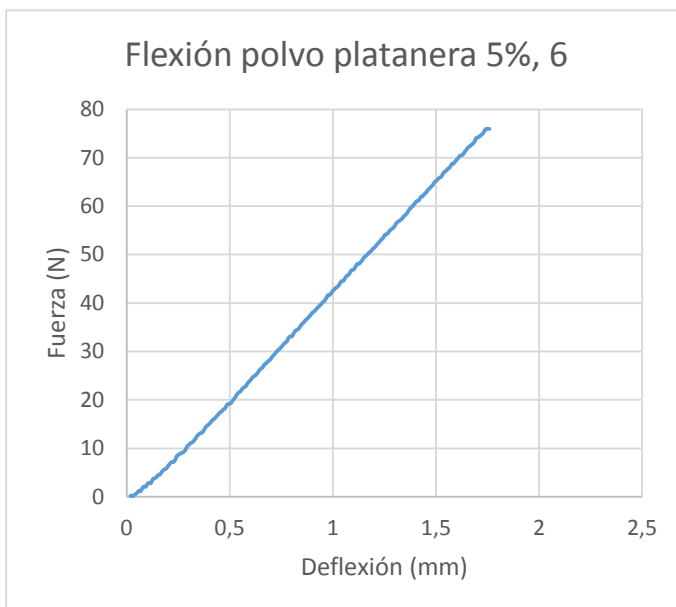
$$E_f = 2430,42 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,94 \%$$

Probeta: 5%, 6

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 5% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,50 mm Ancho: 10,51 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 32,11 \text{ MPa}$$

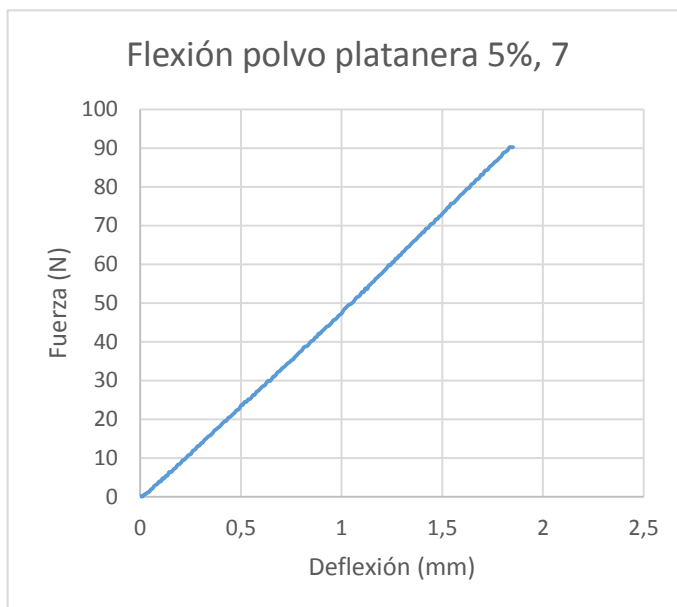
$$E_f = 2539,97 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,29 \%$$

Probeta: 5%, 7

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 5% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,71 mm Ancho: 10,94 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 33,46 \text{ MPa}$$

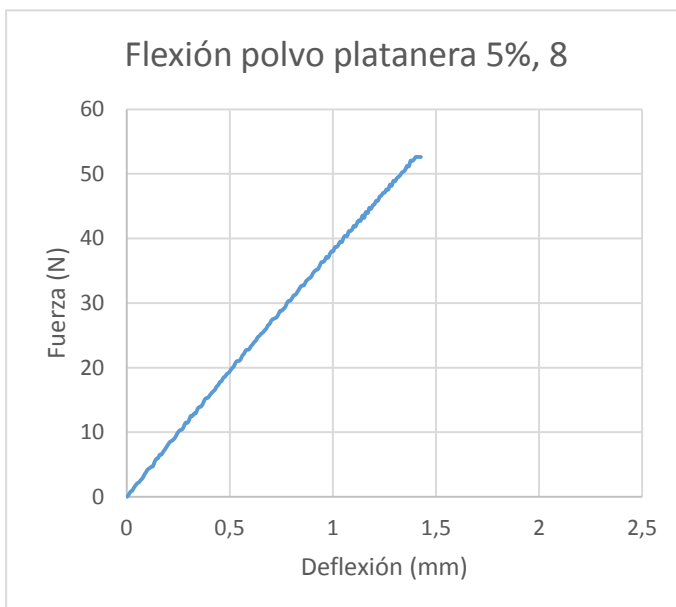
$$E_f = 2340,57 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,44 \%$$

Probeta: 5%, 8

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 5% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 4,12 mm Ancho: 10,00 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 27,89 \text{ MPa}$$

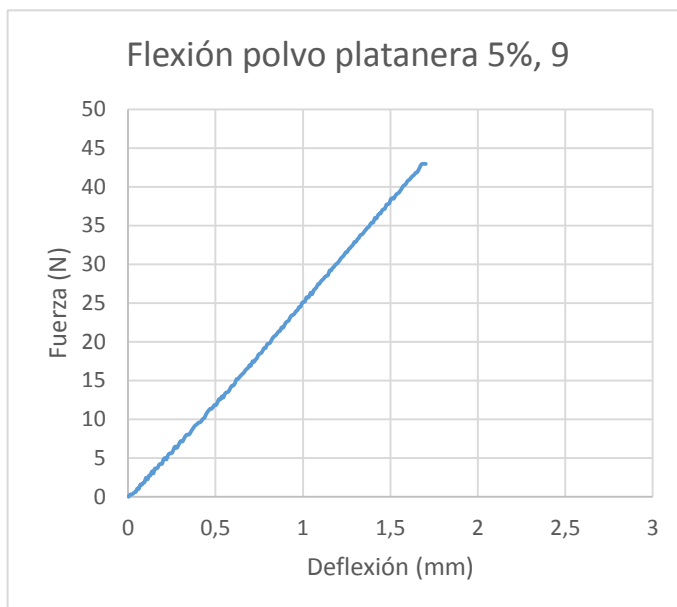
$$E_f = 2884,83 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 0,97 \%$$

Probeta: 5%, 9

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 5% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 3,79 mm Ancho: 10,64 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 25,29 \text{ MPa}$$

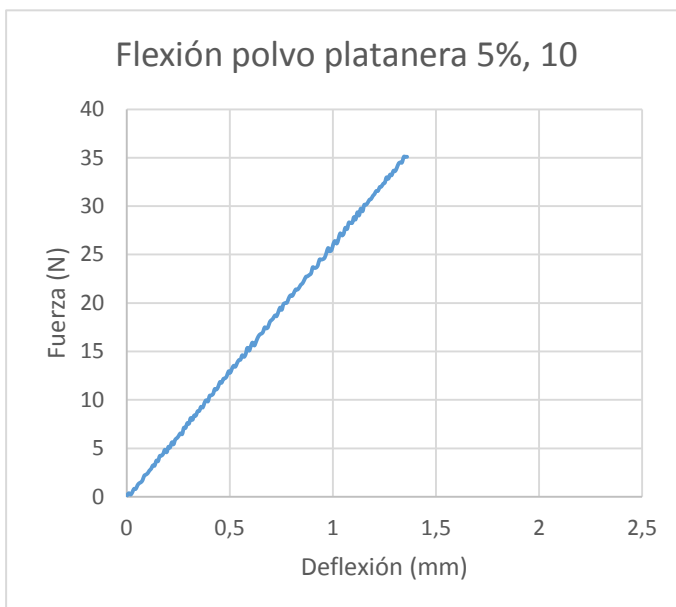
$$E_f = 2406,62 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,06 \%$$

Probeta: 5%, 10

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 5% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 3,76 mm Ancho: 10,54 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

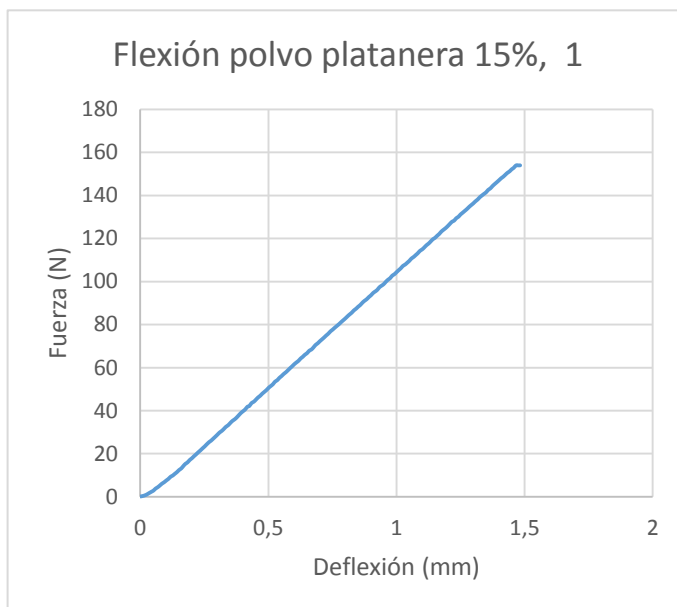
$$\sigma_f = 21,20 \text{ MPa}$$

$$E_f = 2520,55 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 0,84 \%$$

Probeta: 15%, 1

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 15% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 6,01 mm Ancho: 10,35 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 37,06 \text{ MPa}$$

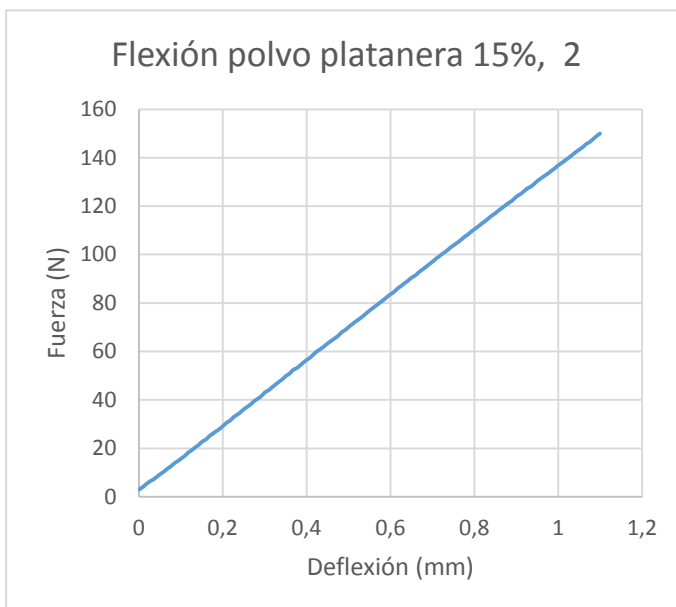
$$E_f = 2576,71 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,51 \%$$

Probeta: 15%, 2

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 15% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 7,02 mm Ancho: 11,43 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 23,96 \text{ MPa}$$

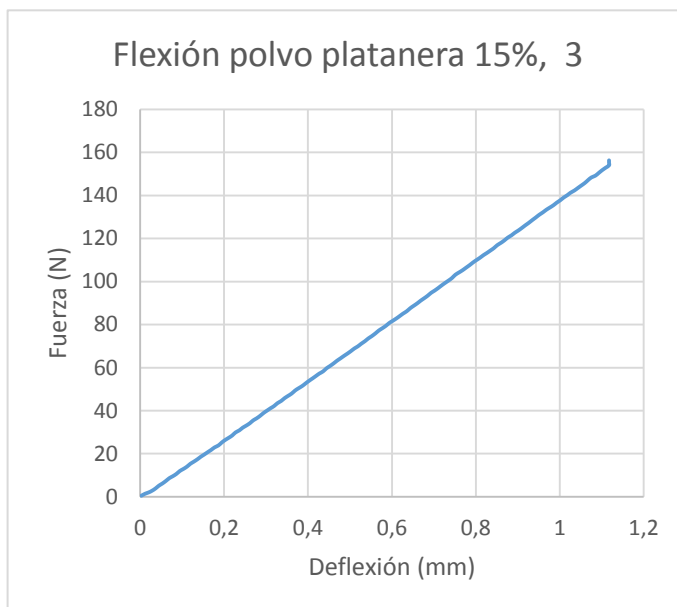
$$E_f = 1836,92 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,29 \%$$

Probeta: 15%, 3

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 15% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 6,76 mm Ancho: 11,25 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 27,36 \text{ MPa}$$

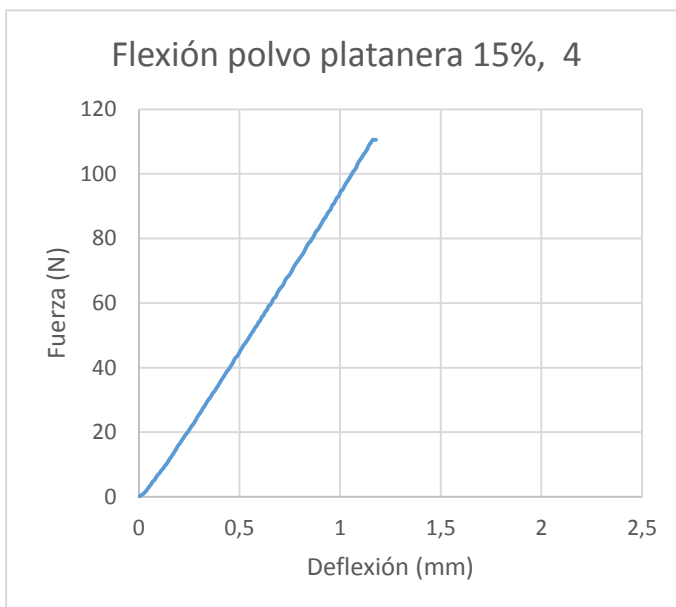
$$E_f = 2163,08 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,26 \%$$

Probeta: 15%, 4

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 15% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 5,99 mm Ancho: 10,63 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

$$\sigma_f = 26,08 \text{ MPa}$$

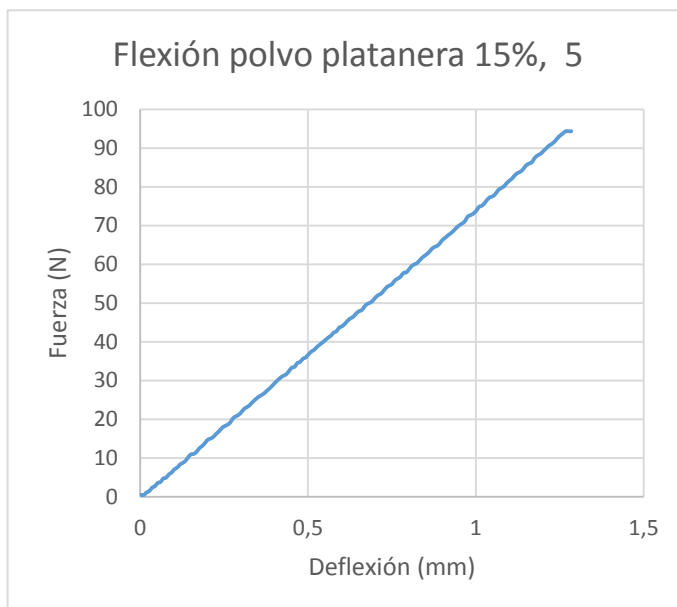
$$E_f = 2288,23 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,16 \%$$

Probeta: 15%, 5

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 15% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 5,56 mm Ancho: 9,50 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

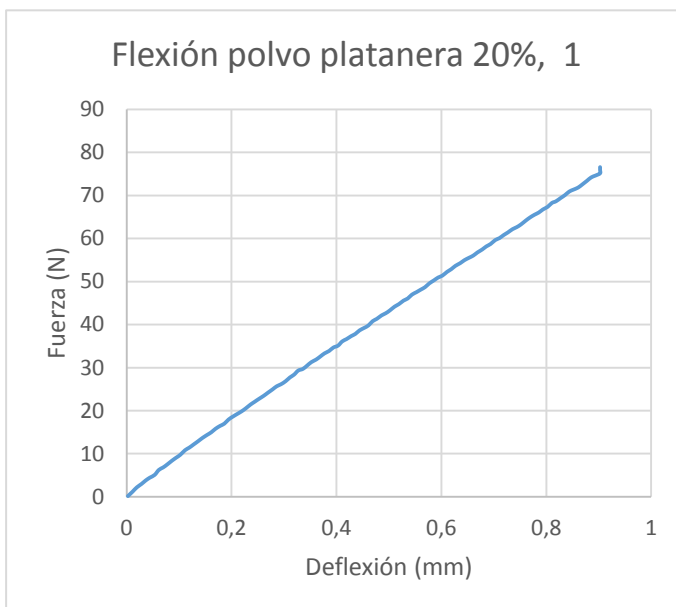
$$\sigma_f = 24,07 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1822,10 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,34 \%$$

Probeta: 20%, 1

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 20% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 6,38 mm Ancho: 10,36 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

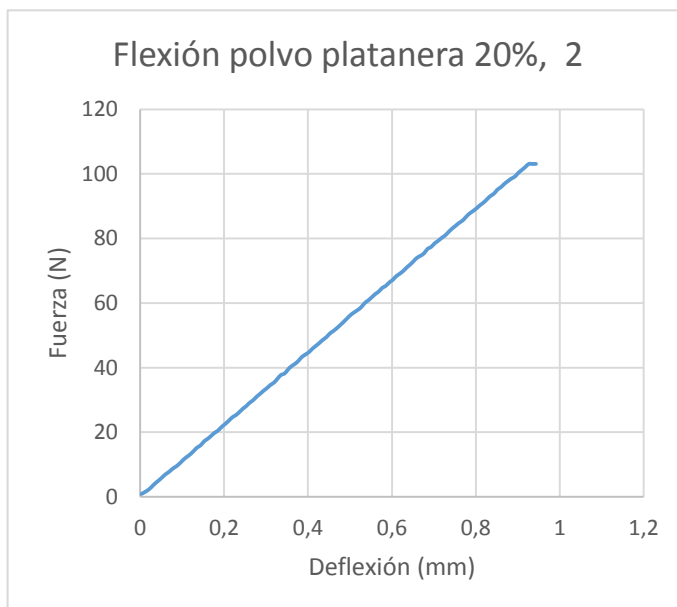
$$\sigma_f = 16,46 \text{ MPa}$$

$$E_f = 1654,20 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 0,96 \%$$

Probeta: 20%, 2

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 20% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 6,13 mm Ancho: 12,34 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

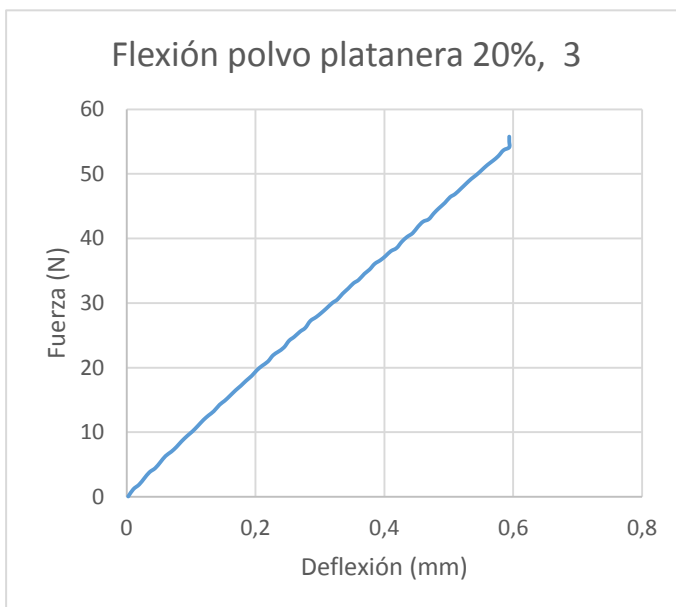
$$\sigma_f = 20,01 \text{ MPa}$$

$$E_f = 2113,29 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,05 \%$$

Probeta: 20%, 3

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 20% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 6,42 mm Ancho: 9,55 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 12,91 \text{ MPa}$$

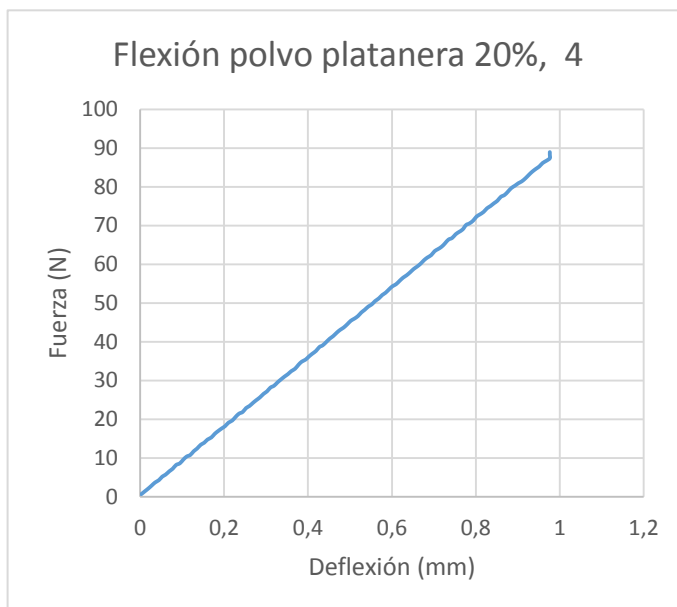
$$E_f = 1937,94 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 0,64 \%$$

Probeta: 20%, 4

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 20% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 6,17 mm Ancho: 9,59 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión



Parámetros:

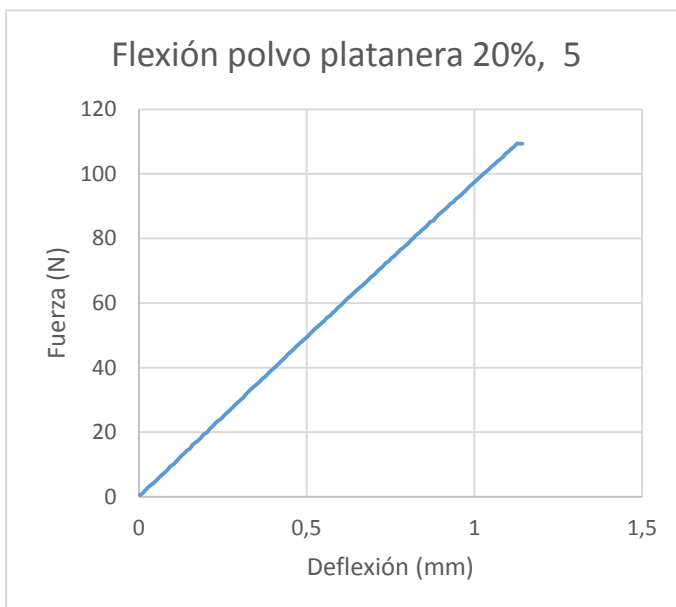
$$\sigma_f = 21,93 \text{ MPa}$$

$$E_f = 2146,53 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,00 \%$$

Probeta: 20%, 5

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera al 20% Orientación: Dispersa
Dimensiones	Espesor: 6,25 mm Ancho: 9,85 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 25,58 \text{ MPa}$$

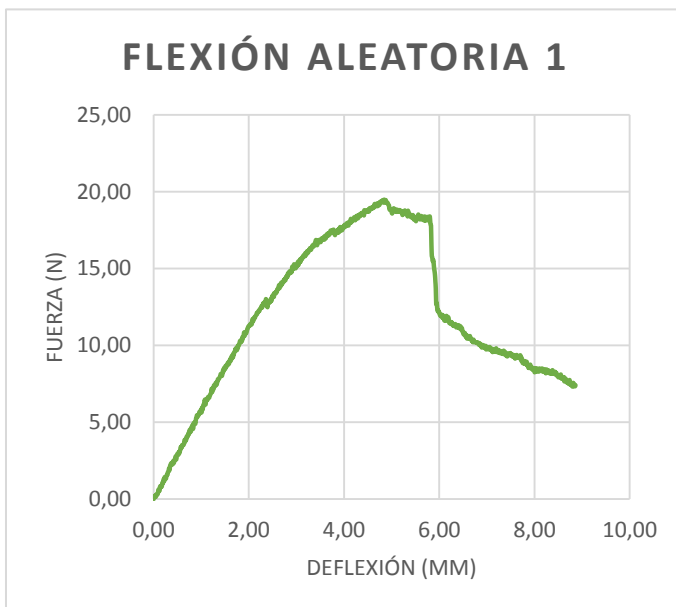
$$E_f = 2176,63 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 1,20 \%$$

Anexo D: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas normalizadas reforzadas con fibras aleatorias tratadas químicamente.

Probeta: A1

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Aleatoria
Dimensiones	Espesor: 3,17 mm Ancho: 11,63 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 15,00 \text{ MPa}$$

$$E_f = 816,82 \text{ MPa}$$

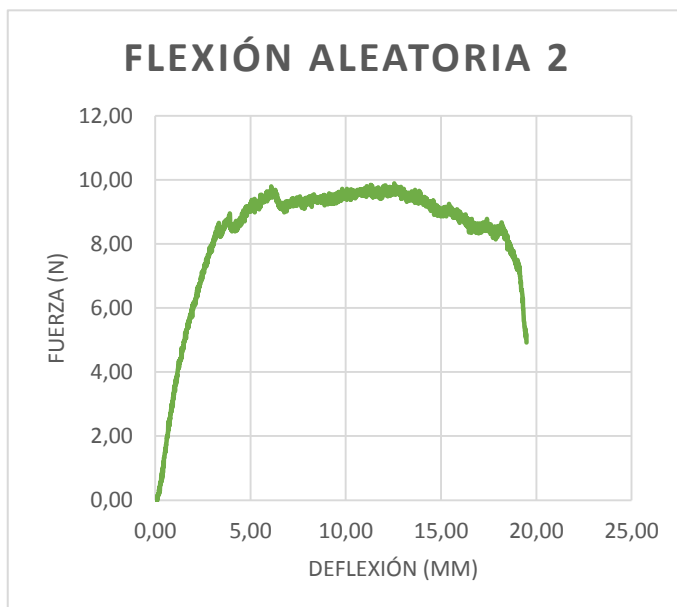
$$\varepsilon_f = 2,59 \%$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la resina, en la cara inferior, zona a tracción. Es una de las que mejor aspecto presenta, aunque con algunas burbujas de aire en la cara superior. Se observa una única fibra rota en la zona inferior, todas las demás no presentan rotura.

Probeta: A2

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Aleatoria
Dimensiones	Espesor: 6,03 mm Ancho: 14,66 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 1,48 \text{ MPa}$$

$$E_f = 41,84 \text{ MPa}$$

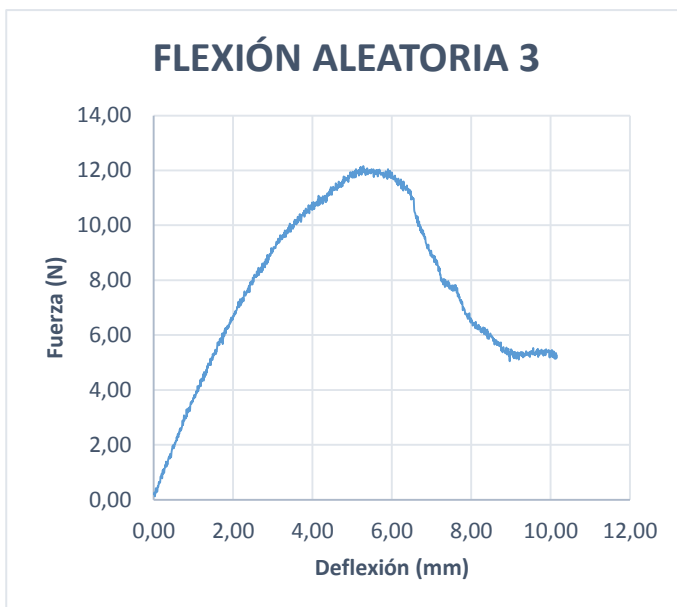
$$\varepsilon_f = 3,67 \%$$

Tipo de fallo:

La rotura es total, la resina se rompe por compresión incluyendo cizallamiento interlaminar, y por último la rotura total de la probeta.

Probeta: A3

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Aleatoria
Dimensiones	Espesor: 4,43 mm Ancho: 12,40 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 4,50 \text{ MPa}$$

$$E_f = 146,33 \text{ MPa}$$

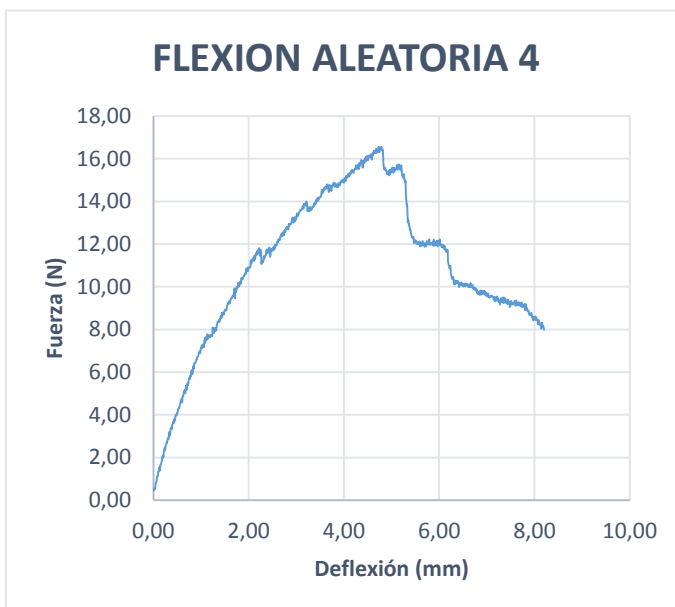
$$\varepsilon_f = 3,90 \%$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la resina, en la cara inferior, zona a tracción. Es una de las que mejor aspecto presenta, aunque con algunas burbujas de aire en la cara superior. Se observa una única fibra rota en la zona inferior, todas las demás no presentan rotura.

Probeta: A4

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Aleatoria
Dimensiones	Espesor: 3,40 mm Ancho: 12,28 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 10,50 \text{ MPa}$$

$$E_f = 435,09 \text{ MPa}$$

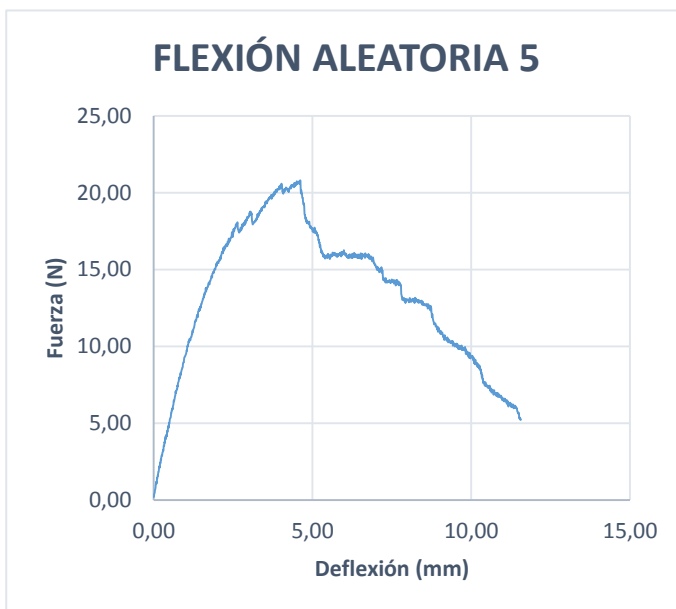
$$\varepsilon_f = 2,71 \%$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la resina, en la cara inferior, zona a tracción. Es una de las que mejor aspecto presenta, aunque con algunas burbujas de aire en la cara superior. Se observa una única fibra rota en la zona inferior, todas las demás no presentan rotura.

Probeta: A5

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Aleatoria
Dimensiones	Espesor: 4,09 mm Ancho: 11,53 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 9,71 \text{ MPa}$$

$$E_f = 580,76 \text{ MPa}$$

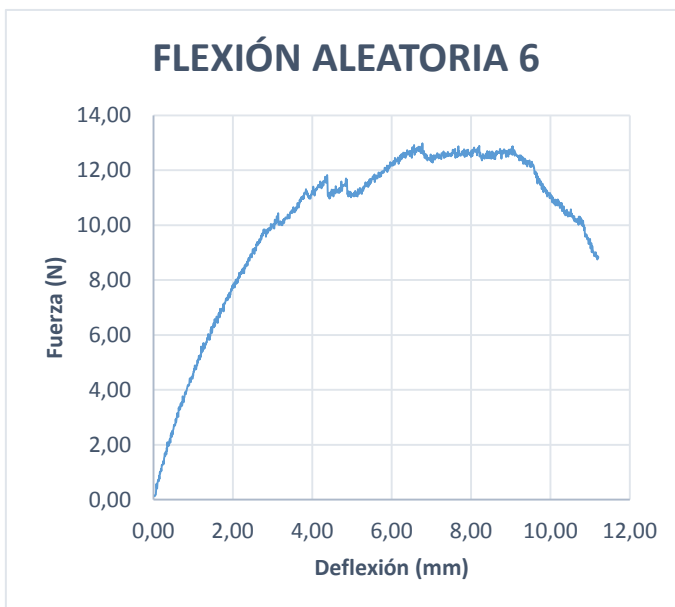
$$\varepsilon_f = 3,09 \%$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la resina, en la cara inferior, zona a tracción. Es una de las que mejor aspecto presenta, aunque con algunas burbujas de aire en la cara superior. Se observa una única fibra rota en la cara superior, todas las demás no presentan rotura.

Probeta: A6

Composición	Resina poliéster + fibra de plátano Orientación: Aleatoria
Dimensiones	Espesor: 3,09 mm Ancho: 13,12 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Norma UNE-EN-ISO 178. Método A Distancia entre apoyos: 60mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 9,28 \text{ MPa}$$

$$E_f = 433,98 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = 4,42 \%$$

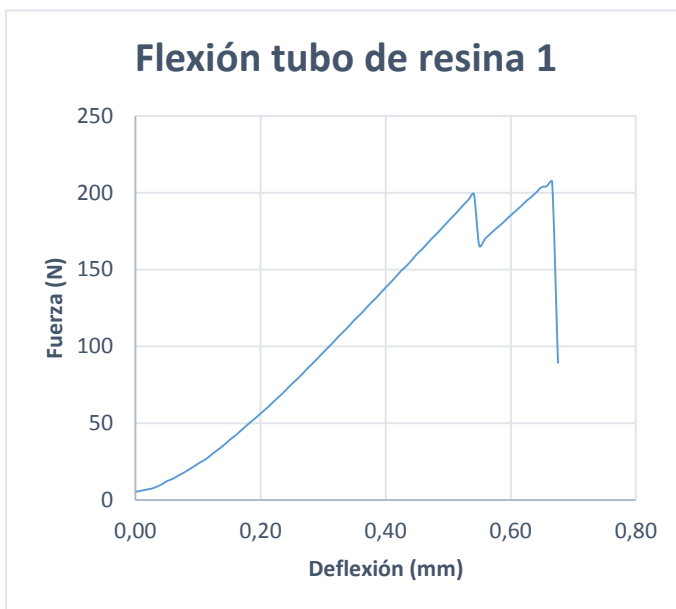
Tipo de fallo:

La rotura se produce en la resina, en la cara inferior, zona a tracción. Es una de las que mejor aspecto presenta, aunque con algunas burbujas de aire en la cara superior. Se observa una única fibra rota en la zona inferior, todas las demás no presentan rotura.

Anexo E: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas tubulares de resina de poliéster sin refuerzo.

Probeta: R1

Composición	Resina poliéster Orientación: -
Dimensiones	Diámetro externo: 24,81 mm Diámetro interno: 20,95 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 6,33 \text{ MPa}$$

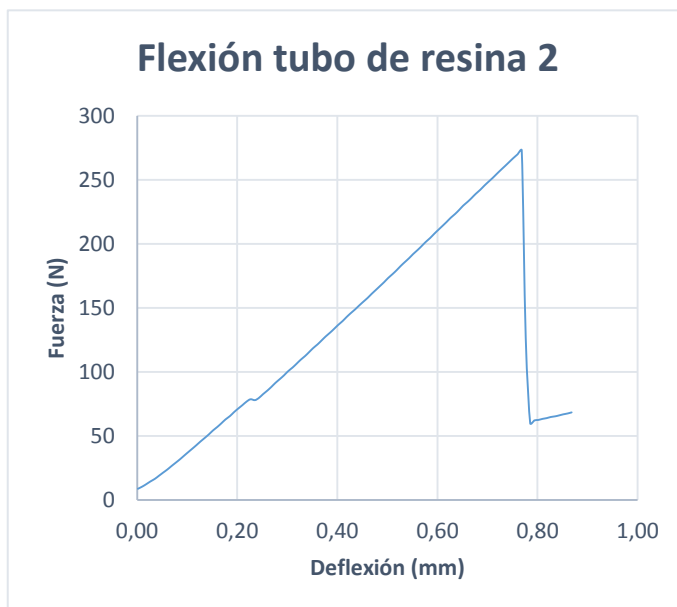
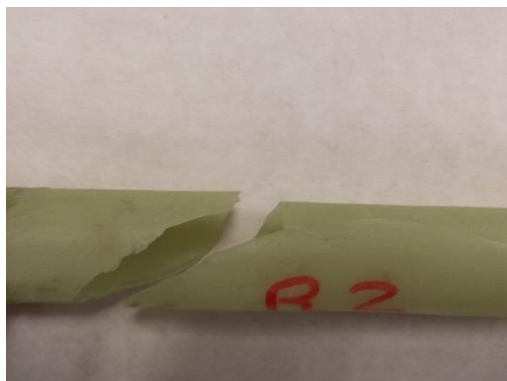
$$E_f = 516,84 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce por compresión, siguiendo la grieta por la zona más débil debido a desperfectos en la fabricación.

Probeta: R2

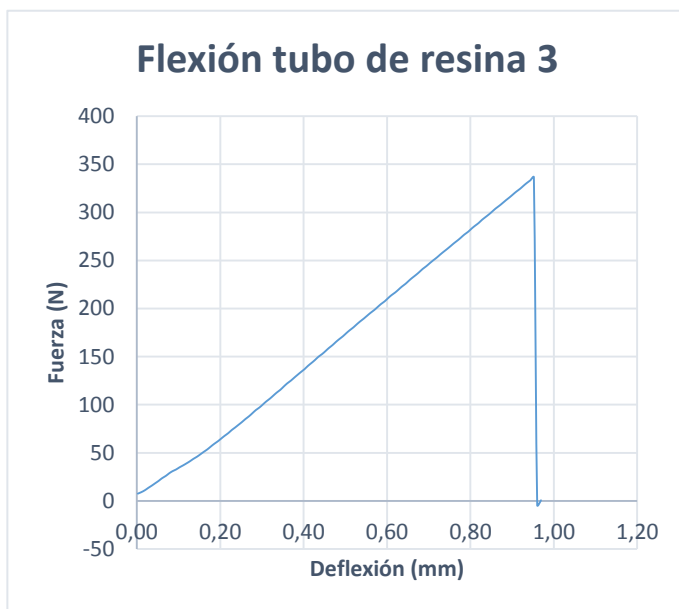
Composición	Resina poliéster Orientación: -
Dimensiones	Diámetro externo: 23,43 mm Diámetro interno: 19,92 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Tipo de fallo:**

La rotura se produce por compresión, siguiendo la grieta por la zona más débil debido a desperfectos en la fabricación.

Probeta: R3

Composición	Resina poliéster Orientación: -
Dimensiones	Diámetro externo: 23,71 mm Diámetro interno: 20,04 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 11,82 \text{ MPa}$$

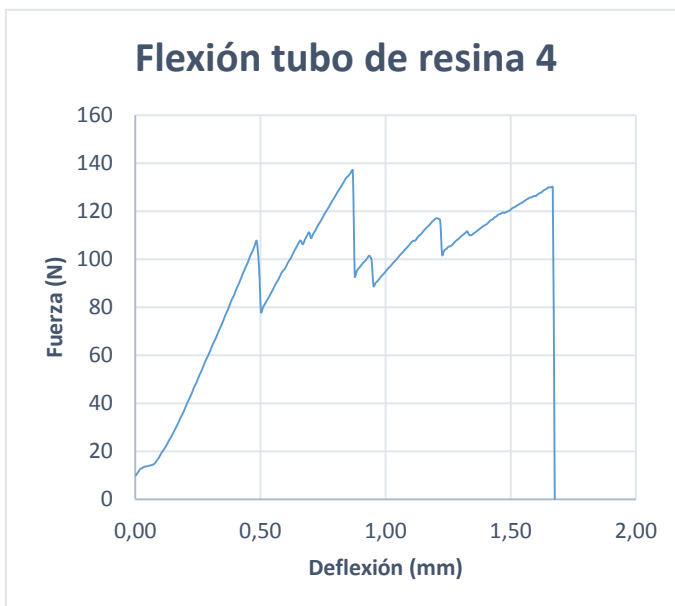
$$E_f = 372,47 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce por compresión, sobre la cara donde se aplica la fuerza.

Probeta: R4

Composición	Resina poliéster Orientación: -
Dimensiones	Diámetro externo: 24,47 mm Diámetro interno: 19,97 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 3,85 \text{ MPa}$$

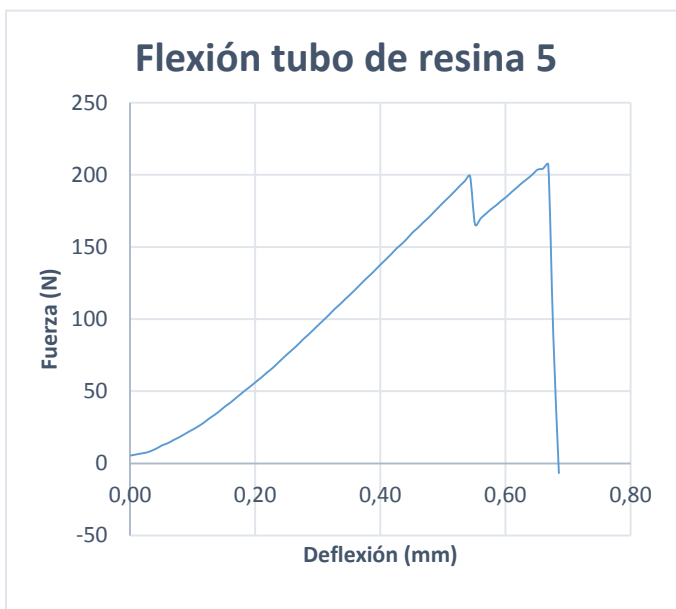
$$E_f = 131,43 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce por compresión, sobre la cara donde se aplica la fuerza.

Probeta: R5

Composición	Resina poliéster Orientación: -
Dimensiones	Diámetro externo: 24,85 mm Diámetro interno: 19,95 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 3,63 \text{ MPa}$$

$$E_f = 98,89 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce por compresión, siguiendo la grieta por la zona más débil debido a desperfectos en la fabricación.

Probeta: R6

Composición	Resina poliéster Orientación: -
Dimensiones	Diámetro externo: 24,65 mm Diámetro interno: 19,53 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 3,22 \text{ MPa}$$

$$E_f = 89,27 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce por compresión, siguiendo la grieta por la zona más débil debido a desperfectos en la fabricación.

Anexo F: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas tubulares de resina de poliéster con refuerzo de fibras de plataneras tratadas, en disposición axial.

Probeta: T1

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Diámetro externo: 24,12 mm Diámetro interno: 18,79 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 6,02 \text{ MPa}$$

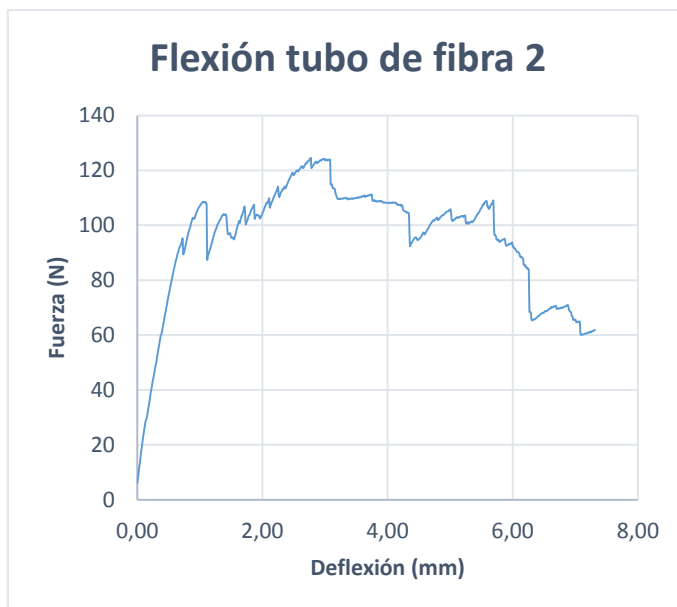
$$E_f = 52,61 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la cara a compresión, rompiendo la resina y deformando las fibras, provocando una grieta en la dirección axial de la probeta.

Probeta: T2

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Diámetro externo: 24,19 mm Diámetro interno: 20,32 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 4,02 \text{ MPa}$$

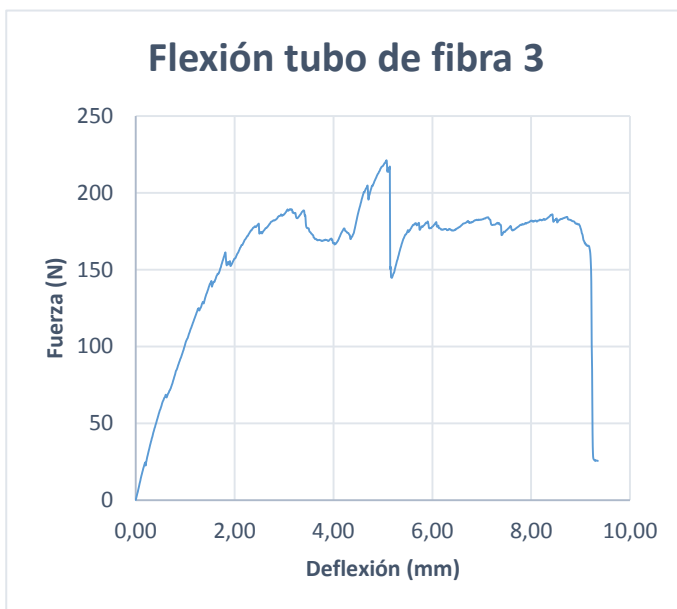
$$E_f = 80,81 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la cara a compresión, rompiendo la resina y deformando las fibras, provocando una grieta en la dirección axial de la probeta.

Probeta: T3

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Diámetro externo: 24,25 mm Diámetro interno: 19,47 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 4,88 \text{ MPa}$$

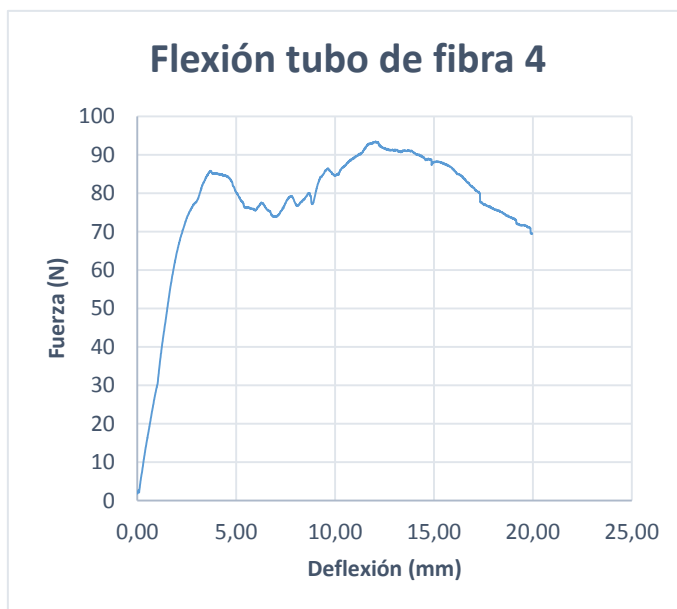
$$E_f = 48,81 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la cara a tracción, provocando la ruptura de la resina y las fibras.

Probeta: T4

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Diámetro externo: 25,68 mm Diámetro interno: 20,19 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 2,05 \text{ MPa}$$

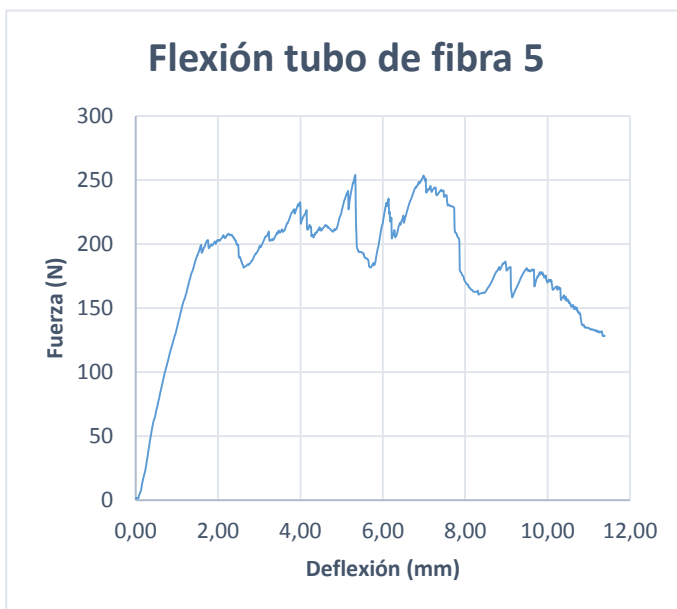
$$E_f = 8,93 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la cara a compresión, rompiendo la resina y deformando las fibras.

Probeta: T5

Composición	Resina poliéster + fibra de platanera Orientación: Longitudinal
Dimensiones	Diámetro externo: 25,50 mm Diámetro interno: 19,42 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 5,29 \text{ MPa}$$

$$E_f = 52,76 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la cara a compresión, rompiendo la resina y deformando las fibras.

Anexo G: Determinación de las propiedades a flexión de las probetas tubulares de resina de poliéster sin refuerzo.

Probeta: P1

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera Orientación: Dispersa
Dimensiones	Diámetro externo: 25,22 mm Diámetro interno: 21,36 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 6,50 \text{ MPa}$$

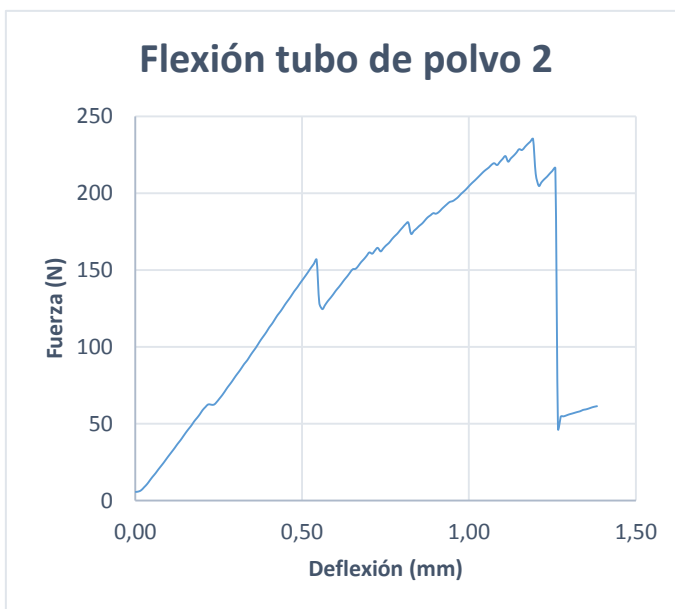
$$E_f = 165,79 \text{ MPa}$$

**Tipo de fallo:**

La rotura se produce en la cara a compresión, rompiendo la resina, provocando una grieta que avanza por la zona más débil.

Probeta: P2

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera Orientación: Dispersa
Dimensiones	Diámetro externo: 25,03 mm Diámetro interno: 20,86 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 6,64 \text{ MPa}$$

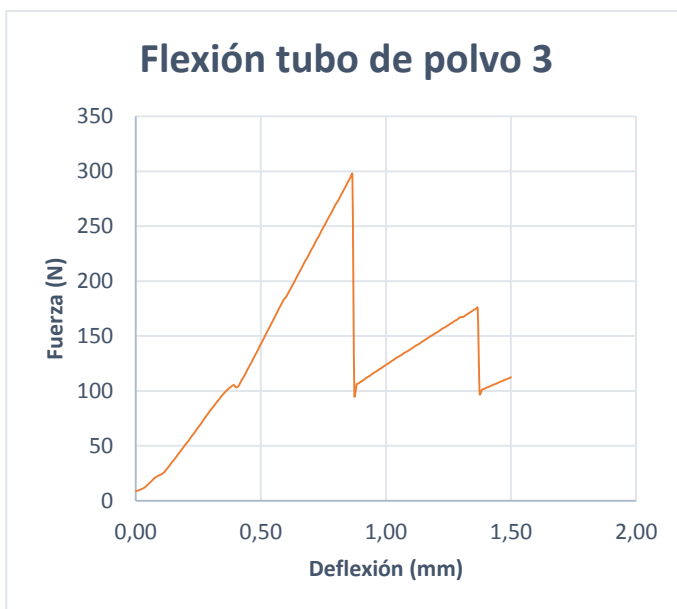
$$E_f = 180,71 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la cara a compresión, rompiendo la resina, provocando una grieta en la dirección axial hasta el borde de la probeta.

Probeta: P3

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera Orientación: Dispersa
Dimensiones	Diámetro externo: 24,67 mm Diámetro interno: 20,43 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 8,58 \text{ MPa}$$

$$E_f = 437,67 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la cara a compresión, rompiendo la resina, provocando una grieta que avanza por la zona más débil.

Probeta: P4

Composición	Resina poliéster + polvo de platanera Orientación: Dispersa
Dimensiones	Diámetro externo: 24,16 mm Diámetro interno: 20,70 mm
Método de ensayo	Ensayo de flexión: Flexión 3 puntos Distancia entre apoyos: 90mm Velocidad del ensayo: 2mm/min

Gráfica: Curva fuerza – deflexión**Parámetros:**

$$\sigma_f = 4,82 \text{ MPa}$$

$$E_f = 207,16 \text{ MPa}$$

Tipo de fallo:

La rotura se produce en la cara a compresión, rompiendo la resina, provocando una grieta que avanza por la zona más débil.

**Anexo H: Dimensiones de las probetas normalizadas y sus desviaciones
respecto a la Norma UNE-EN-ISO 178.**

Código de la probeta	h (mm)	Desviación (%)	b (mm)	Desviación (%)
F1	2,83	29,25	10,00	0
F2	2,82	29,50	10,00	0
F3	1,86	53,50	10,00	0
F4	2,02	49,50	10,00	0
F5	2,48	38,00	10,00	0

Dimensiones de las probetas normalizadas de conformado longitudinal no tratado.

Código de la probeta	h (mm)	Desviación (%)	b (mm)	Desviación (%)
T1	3,22	19,5	10,08	0,8
T2	3,55	11,25	9,24	7,6
T3	3,38	15,5	10,88	8,8
T4	3,81	4,75	10,17	1,7
T5	3,30	17,5	11,36	13,6
T6	3,81	4,75	10,34	3,4
T7	3,52	12	11,25	12,5
T8	3,49	12,75	10,00	0
T9	3,11	22,25	9,98	0,2
T10	3,58	10,5	9,62	3,8

Dimensiones de las probetas normalizadas de conformado longitudinal tratado.

Código de la probeta	h (mm)	Desviación (%)	b (mm)	Desviación (%)
C1	4,37	9,25	10,93	9,3
C2	4,14	3,5	10,98	9,8
C3	4,18	4,5	10,15	1,5
C4	4,36	9	10,57	5,7
C5	4,23	5,75	10,72	7,2

C6	3,99	0,25	10,4	4
C7	4,23	5,75	9,87	1,3
C8	4,07	1,75	10,21	2,1
C9	4,12	3	9,86	1,4
C10	4,14	3,5	10,45	4,5

Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 1% tratado.

Código de la probeta	h (mm)	Desviación (%)	b (mm)	Desviación (%)
D1	4,73	18,25	11,05	10,5
D2	4,3	7,5	10,47	4,7
D3	3,64	9	10,21	2,1
D4	4,15	3,75	10,94	9,4
D5	3,84	4	10,19	1,9
D6	4,5	12,5	10,51	5,1
D7	4,71	17,75	10,94	9,4
D8	4,12	3	10	0
D9	3,79	5,25	10,64	6,4
D10	3,76	6	10,54	5,4

Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 5% tratado.

Código de la probeta	h (mm)	Desviación (%)	b (mm)	Desviación (%)
E1	6,01	50,25	10,35	3,5
E2	7,02	75,5	11,43	14,3
E3	6,76	69	11,25	12,5
E4	5,99	49,75	10,63	6,3
E5	5,56	39	9,5	5
E6	6,26	56,5	9	10

Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 15% tratado.

Código de la probeta	h (mm)	Desviación (%)	b (mm)	Desviación (%)
G1	6,38	59,5	10,36	3,6
G2	6,13	53,25	12,34	23,4
G3	6,42	60,5	9,55	4,5
G4	6,17	54,25	9,59	4,1
G5	6,25	56,25	9,85	1,5
G6	6,5	62,5	10,17	1,7

Dimensiones de las probetas normalizadas de polvo de platanera al 20% tratado.

Código de la probeta	h (mm)	Desviación (%)	b (mm)	Desviación (%)
A1	3,17	20,75	11,63	16,3
A2	6,03	50,75	14,66	46,6
A3	4,43	10,75	12,4	24
A4	3,4	15	12,28	22,8
A5	4,09	2,25	11,53	15,3
A6	3,09	22,75	13,12	31,2

Dimensiones de las probetas normalizadas de conformado MAT tratado.

