

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**PRODUCTO DE LABORATORIO
PRUEBAS MECÁNICAS DE FIBRAS
SINTÉTICAS Y PROBETAS INYECTADAS
DE POLIPROPILENO (PP), POLICARBONATO
(PC) Y POLIESTIRENO (PS)**

Carlos Fernando Salazar Hernández

Programa Académico

Ingeniería Electromecánica

Director de laboratorio de investigación

Carlos Andrés Vargas Isaza

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Marzo 13 de 2018

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESÚMEN

En el presente informe se analizarán diferentes tipos de materiales en función de esfuerzos mecánicos a tensión y/o flexión, hasta llegar al punto final de la zona elástica, deformación plástica o ruptura en su defecto.

Todos los procedimientos se realizaron en la maquina universal e inyectora de polímeros, dichos equipos instalados en el laboratorio de materiales poliméricos ubicado en el bloque M del Instituto Tecnológico Metropolitano sede Fraternidad. Entre estos se intervinieron materiales como el Polipropileno (PP) copolímero y homopolímero; Probetas inyectadas de Policarbonato (PC) y Poliestireno (PS); además de fibras sintéticas de monofilamentos de diferentes tipos de materiales y compuestos, todo este conjunto para mirar sus esfuerzos mecánicos y comportamientos y otros sometidos a condiciones de procesos de fabricación específicos.

Los análisis de datos son tomados por el software que trabaja la maquina universal llamado TRAPEZIUM X Versión 1.1.4 donde arroja datos de fuerza en Newton (N) y deformación en milímetros (mm), donde el mismo software grafica la curva de deformación – fuerza donde se ve en grafica las curvas de comportamiento elástico, plástico y ruptura de algunos materiales.

El estudio de materiales dúctiles realizados en la maquina universal sólo se tomaron en la zona elástica, debido a que es la parte más relevante a estudiar en esta investigación para ellos; además de ver una representación tanto en toma de datos como grafica del cómo se comportan los materiales poliméricos frente a diversas condiciones de fabricación, para destacar entre ellas cual determinará un mejor desempeño para su utilidad final.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

En primera instancia el más grande agradecimiento a la única persona que siempre veló por mí y me sacó adelante; mi madre, gracias a ella estoy donde estoy ahora quien me ha inculcado grandes valores que me han hecho formarme y crecer tanto personal como profesionalmente.

Agradecimiento a todos mis compañeros de la carrera y maestros que estuvieron en todo mi proceso formativo donde me enseñaron e instruyeron de la mejor manera para ser un buen ingeniero.

Agradecimiento al profesor Carlos A. Vargas por el acompañamiento en el laboratorio de investigación y seguir de buena manera el proceso e indicaciones para el desarrollo tanto de la practica como en toma de resultados y análisis de los mismos. Además de la enseñanza en la manipulación de la maquina universal y el software Trapezium X.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

PC Policarbonato

PS Poliestireno

PP Polipropileno

Ni Níquel

Cu Cobre

PA Poliamida

Ar Argén

Inox Acero inoxidable

PEEK Polieteretercetona

N Newton

mm Milímetros

t Tiempo

C celcius

T Temperatura

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	7
3. METODOLOGÍA	9
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.	58
REFERENCIAS	60

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Para este trabajo se realizaron pruebas de tensión a homo-polímeros, copolímeros, a micro fibras metálicas y sintéticas; también pruebas a flexión a 3 puntos de poliméricos procesados mediante inyección en forma de probetas de estos materiales: Polipropileno (PP) y Poliestireno (PS). Todo esto para obtener las curvas de esfuerzo-deformación de los diferentes materiales en la maquina universal; donde se arrojaron resultados significativos en cuanto a esfuerzos mecánicos e identificación de zona elástica, plástica y de ruptura de los mismo.

El estudio de los materiales tiene un alto impacto en la mayoría de los casos de desarrollo, industrial, comercial, domestico, entre otros. Que nos permite cumplir con los estándares de calidad según el fabricante; los modelos y análisis son indispensables en el estudio de nuevos componentes donde las pruebas mecánicas en máquina universal después de los diferentes procesos frente derivadas condiciones, permite evaluar de manera sistemática y visual las curvas de esfuerzo y deformación de los diferentes materiales de ingeniería y ver el comportamiento de éstos al ser sometidos a determinadas fuerzas o esfuerzos. (Smith & Javad Hashemi, Fundamentos de la ciencia e ingenieria de los materiales, 2004)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

PRUEBAS MECÁNICAS A TENSIÓN Y FLEXIÓN EN ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE INGENIERÍA.

El objeto de este proyecto de investigación se resume en dar una solución a ciertos problemas que tenemos en la industria; se desea tener una base con investigación y análisis mediante las propiedades mecánicas y comportamiento que poseen las 3 familias básicas de los materiales. Entre estas el procesamiento adecuado y análisis de comportamiento de los materiales frente a diferentes condiciones de procesos para mejorar los objetivos requeridos en diferentes áreas de la industria.

En la actualidad han surgido infinidad de necesidades que el hombre debe dar solución mediante el estudio de nuevos materiales que le facilitará las cosas, según el requerimiento los materiales optan un papel importante en el desarrollo industrial, donde se ve el estudio de esfuerzos a los materiales donde se represa información valiosa que es indispensable para la selección y formación de nuevos materiales de ingeniería. “el ensayo a tracción es el ensayo mecánico más importante y proporciona la información más completa de la conducta mecánica que cabe esperar de un material a un estado de tensión uniaxial; estado sencillo que se elige ante las dificultades de aplicar otros estados de tensión, aunque estos reproduzcan las situaciones reales de servicio de los materiales ensayados. Entre ellos caracterizando las propiedades de resistencia mecánica, ductilidad, rigidez, tenacidad y módulo de Young.” (Núñez, Roca, & Jorba, 2011, pág. 9).

En cuanto el ensayo a flexión tiene un comportamiento a compresión y tensión, “en situaciones de flexión, la compresión disminuye en la dirección perpendicular al eje central de la pieza desde una superficie, donde la compresión es máxima, hasta la superficie opuesta, donde la tracción es máxima. Alrededor de la zona central existe una línea ideal, denominada fibra neutra, donde la tensión es nula, y que corresponde a la transición entre el estado de compresión a tensión y el estado a tracción. Puesto que la resistencia a la tracción de un material cerámico suele ser de entre 5 a 15 veces inferior a la correspondiente resistencia a la compresión, el valor que se obtiene a flexión está más cerca de la resistencia a la tracción que de la compresión” (Núñez, Roca, & Jorba, 2011, pág. 49). Según el tipo de prueba que se realiza a los materiales determinará parámetros relevantes que permitirán evaluar los materiales frente a la aplicación de esfuerzos y de este modo permitir de manera correcta la selección y proceso que se requiere para cada material a trabajar.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Por último, se encuentra el caso en las micro fibras sintéticas y metálicas que agregamos a la matriz de otra familia de los materiales, dándonos así una variedad mejor de propiedades mecánicas, que nos permite resolver ciertas problemáticas por medio de este material compuesto, enfatizando en un estudio diferencial que permitirá cuantificar según la necesidad, aplicando un refuerzo o aleación a diferentes componentes que adquieren comportamientos mecánicos de alta resistencia y durabilidad; como se muestra en el estudio de “Microstructure and mechanical properties of carbon microfiber reinforced geopolymers at elevated temperaturas”; donde “la adición de microfibra de carbono en el desarrollo de la microestructura y propiedades mecánicas de geopolímeros a temperatura elevada. Las microfibras de carbono eran preparadas a partir de residuos fibrosos de carbono reciclados mediante molienda de bolas, y luego incorporado menos de 5, 10 y 15% en peso de carga en geopolímeros basados en metacaína. En la adición de carbono se descubrió que las microfibras producen una estructura compacta de geopolímeros debido a sus características de llenado de poros y formación de silicato cálcico adicional o aluminosilicato de cálcico y hidratos de aluminosilicato sódico. Se encontró que el compuesto de geopolímero de 15% en peso de micro fibra de carbono mantiene la resistencia a la compresión residual de 33.55 y 23.96 MPa a 400 C y 800 C, respectivamente y por lo tanto registrando una pérdida de resistencia mínima de 19 y 42%, respectivamente. Este comportamiento se atribuyó a la disminución tensiones térmicas e inflamación restringida de las fases de geopolímeros sin reaccionar después de la adición de carbono microfibras. (Bejera, Bajeti, Militky, & Naeem, 2017)

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente cabe decir que las pruebas que se hicieron en los materiales polimérico fueron manipuladas por tratamientos térmicos en inyección y de enfriamiento fuera de temperatura ambiente , por lo cual las propiedades del mismo material es cambiante en las diferentes pruebas hechas durante la investigación , dando como tal una cantidad variada de propiedades mecánicas que nos aportan una aplicabilidad mayor en las diferentes áreas y aspectos de la industria

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

El estudio de los materiales tiene un amplio campo para determinar de acuerdo a sus composiciones tanto físicas como químicas la selección adecuada para residir en un trabajo determinado. Para ello es ideal el estudio de sus condiciones de trabajo y someterlo a procesos mecánicos que de buena manera pueda arrojar resultados que determinen la resistencia a la que pueden someterse antes de causar un fallo o avería.

Las pruebas se realizaron en la maquina universal Shimadzu AG-X con celdas de carga de 100 kN y 50 kN, donde se arrojan datos de fuerza en Newtons (N) y deformación en milímetros (mm); mediante un software instalado en computadora Trapezium X V 1.1.4 y previa conexión por cable de datos para determinar los parámetros y resultados arrojados por el equipo. Las muestras a las cuales se les hace los estudios son polímeros, metales y materiales sintéticos en su variedad para determinar el comportamiento de dichos materiales frente a esfuerzos mecánicos a tensión y a flexión.

Las pruebas a tensión son realizadas en la maquina universal a fibras de monofilamentos metálicos, poliméricos y sintéticos en probetas previas establecidas para alinear de mejor manera los materiales y determinar una zona puntual de ruptura de cada elemento a trabajar, esto para determinar un diferencial que represente un esfuerzo puntual de la resistencia de materiales de acuerdo a su curva de deformación para luego poder escalar lo a mayor cantidad de fibras compuestas.

Otro de los procesos fue realizado con la máquina de inyección de polímeros, donde se sacan mediante un molde ya establecido las probetas de policarbonato (PC) y poliestireno (PS). Los parámetros de este estudio son determinados por condiciones de procesamiento de dichos materiales en donde intervendrán diferentes temperaturas de inyección y tiempos de enfriamiento; realizando pruebas a flexión a 3 puntos en la maquina universal y sacar la curva de deformación de los materiales según datos arrojados al programa; además de hacer el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

análisis en función grafica de cómo influye en el material las diferentes condiciones de procesamiento a cada material.

A continuación, se muestra en la **figura 1** el programa a realizar la prueba de flexión y tensión de los materiales.

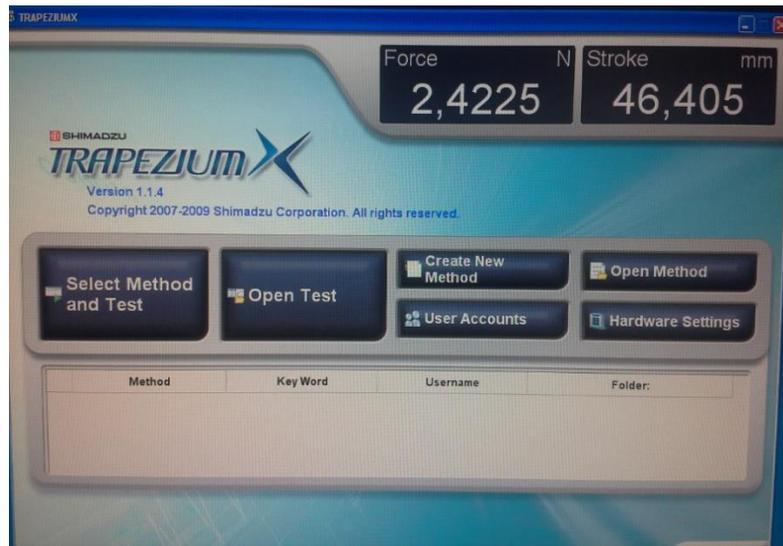


Figura 1. Programa Trapezium X v 1.1.4

Este programa contiene parámetros establecidos que pueden ser modificados para determinar el tipo de prueba que se va a realizar. La maquina universal conectada se muestra en la **figura 2.**



Figura 2. Máquina universal Shimadzu AG-X 100kN

Los procesos de inyección se toman con la inyectora de laboratorio de procesamiento de materiales poliméricos, ver **figura 3**.



Figura 3. Máquina de inyección de polímeros.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación se dará a conocer los resultados obtenidos de la resistencia de materiales de los diferentes compuestos presentados anteriormente. Fibras metálicas, poliméricas y sintéticas, además de productos con proceso de inyección como PP, PS Y PC; que según las condiciones de procesamiento tienen variaciones significativas en la resistencia a esfuerzos mecánicos.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a cada estudio.

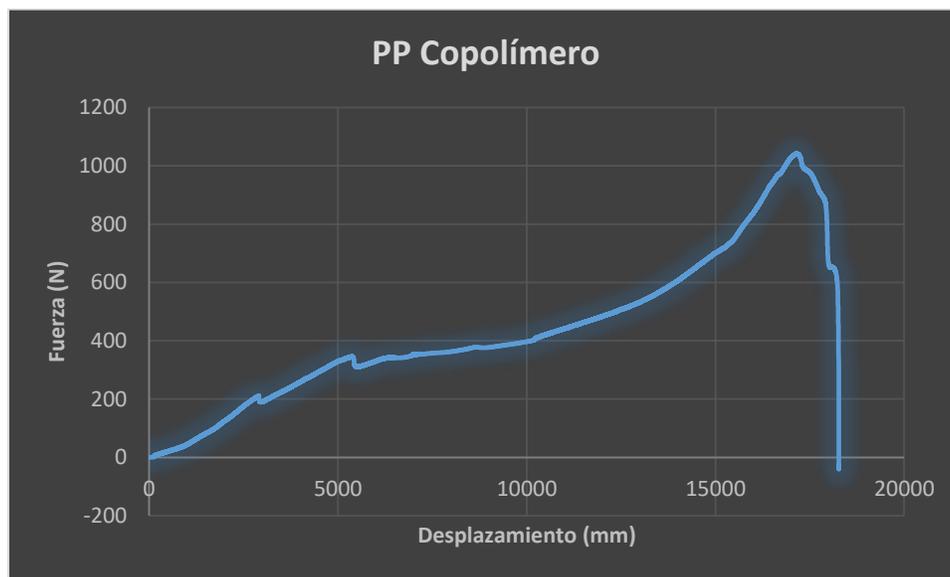
4.1. AGARRADERAS DE PP HOMOPOLÍMERO Y COPOLÍMERO.

Según el estudio a tensión realizado en la máquina universal, se emiten los datos para determinar la correcta selección del tipo de compuesto que mejor se adecue según la necesidad final a las cargaderas de polipropileno (PP) con copolímero (dos o más monómeros en su cadena) y homopolímero (un monómero adicional repartido en su cadena de forma alterna), se arrojaron los siguientes resultados:

COPOLÍMERO G2C-1		
Time (s)	Stroke (mm)	Force (N)
0	0	1,001358
0,01	2,08E-05	1,001358
0,02	0,0003125	1,001358
0,03	0,001395833	1,001358
0,04	0,003416667	1,001358
0,05	0,0063125	1,001358
0,06	0,009916667	1,001358
0,07	0,01433333	1,001358
0,08	0,0194375	1,001358
0,09	0,02497917	1,001358
0,1	0,0308125	1,001358
0,11	0,03697916	1,001358
0,12	0,04372917	1,001358
0,13	0,050875	1,001358
0,14	0,05839583	1,001358

0,15	0,06620833	1,001358
0,16	0,074125	1,001358
0,17	0,08214583	1,001358
0,18	0,09027083	1,001358
0,19	0,0984375	1,001358
0,2	0,1067083	1,001358
0,21	0,1149583	1,001358
0,22	0,1232292	1,001358
0,23	0,1315417	1,001358
0,24	0,1398125	1,001358
0,25	0,1481458	1,001358
0,26	0,1564792	1,001358

Tabla 1. Datos arrojados por la maquina universal prueba de PP copolímero G2C-1.



Gráfica 1. Curva fuerza – desplazamiento PP Copolímero G2C-1.

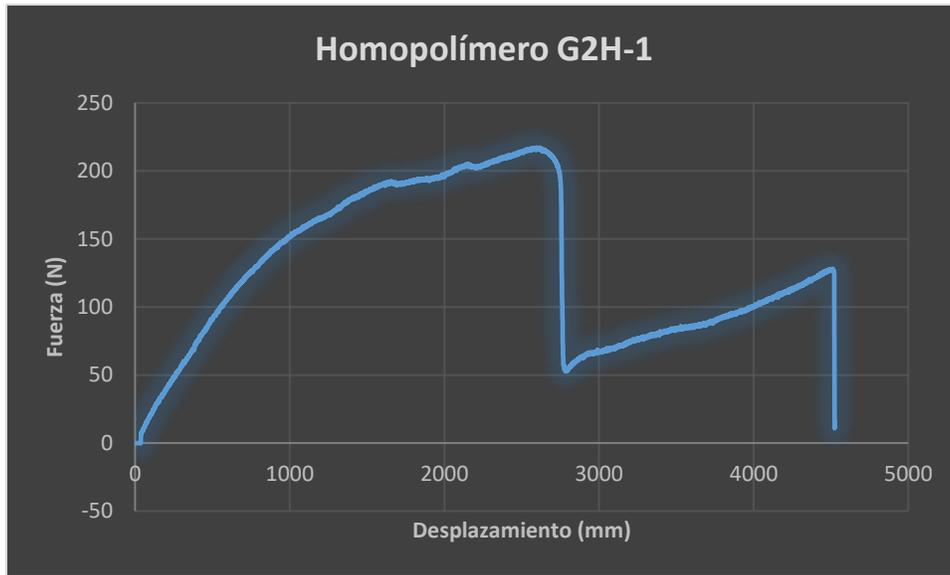


Imagen 1. PP copolímero G2C-1 montado en máquina universal.

HOMOPOLÍMERO G2H-1		
Time (s)	Stroke (mm)	Force (N)
0	0	-0,111262
0,01	2,08E-05	-0,111262
0,02	0,000333333	-0,111262
0,03	0,0014375	-0,111262
0,04	0,003479167	-0,111262
0,05	0,0064375	-0,111262
0,06	0,01004167	-0,111262
0,07	0,0144375	-0,111262
0,08	0,01947917	-0,111262
0,09	0,025	-0,111262
0,1	0,03089583	-0,111262
0,11	0,0370625	-0,111262
0,12	0,04375	-0,111262
0,13	0,0509375	-0,111262
0,14	0,05841666	-0,111262
0,15	0,06614583	-0,111262
0,16	0,07408334	-0,111262
0,17	0,08210417	-0,111262
0,18	0,09022917	-0,111262
0,19	0,09841666	-0,07947286
0,2	0,1066458	-0,07947286
0,21	0,1149583	-0,07947286
0,22	0,12325	-0,07947286
0,23	0,1315417	-0,07947286
0,24	0,1398333	-0,07947286

0,25	0,1481458	-0,07947286
0,26	0,1565	-0,07947286

Tabla 2. Datos arrojados por la maquina universal prueba de PP homopolímero G2H-1



Gráfica 2. Curva fuerza – desplazamiento PP homopolímero G2H-1.

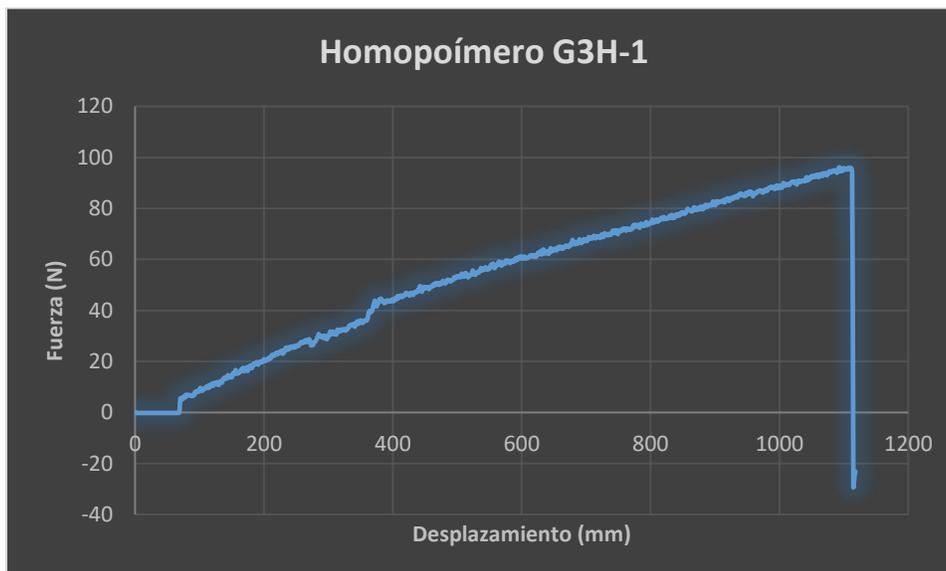


Imagen 2. PP homopolímero G2H-1 montado en máquina universal.

HOMOPOLÍMERO G3H-1		
Time (s)	Stroke (mm)	Force (N)
0	-0,2384186	0

0,01	-0,2384186	6,25E-05
0,02	-0,2384186	0,000416667
0,03	-0,2384186	0,001583333
0,04	-0,2384186	0,003625
0,05	-0,2384186	0,0065
0,06	-0,2384186	0,01008333
0,07	-0,2384186	0,01445833
0,08	-0,2384186	0,0195
0,09	-0,2384186	0,02504167
0,1	-0,2384186	0,03089583
0,11	-0,2384186	0,03704167
0,12	-0,2384186	0,04377083
0,13	-0,2384186	0,05091666
0,14	-0,2384186	0,05839583
0,15	-0,2384186	0,0661875
0,16	-0,2384186	0,074125
0,17	-0,2384186	0,082125
0,18	-0,2384186	0,09027083
0,19	-0,2384186	0,09841666
0,2	-0,2384186	0,1066875
0,21	-0,2384186	0,1149583
0,22	-0,2384186	0,1232292
0,23	-0,2384186	0,1315417
0,24	-0,2384186	0,1398333
0,25	-0,2384186	0,1481458
0,26	-0,2384186	0,1565
0,27	-0,2384186	0,1647917
0,28	-0,2384186	0,173125

Tabla 3. Datos arrojados por la maquina universal prueba de PP homopolímero G3H-1



Gráfica 3. Curva fuerza – desplazamiento PP homopolímero G3H-1

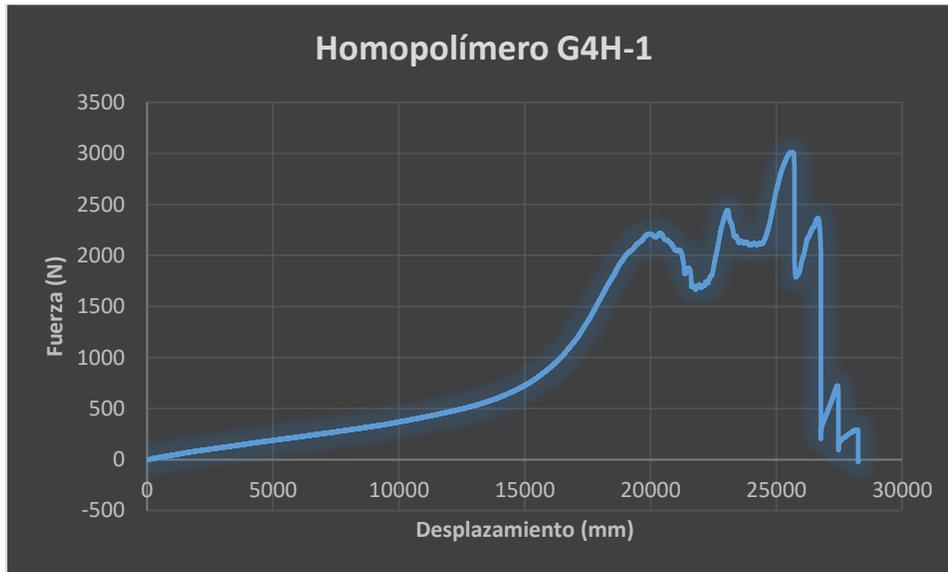


Imagen 3. PP homopolímero G3H-1 montado en máquina universal.

HOMOPOLÍMERO G4H-1		
Time (s)	Stroke (mm)	Force (N)
0	0	-1,176198
0,01	6,25E-05	-1,176198
0,02	0,000458333	-1,176198
0,03	0,001729167	-1,176198
0,04	0,003833333	-1,176198
0,05	0,00675	-1,176198
0,06	0,01035417	-1,176198
0,07	0,01472917	-1,176198
0,08	0,01970833	-1,176198
0,09	0,02514583	-1,176198
0,1	0,03097917	-1,176198
0,11	0,03716667	-1,176198
0,12	0,04385417	-1,176198
0,13	0,05097917	-1,176198
0,14	0,05847917	-1,176198
0,15	0,0661875	-1,176198
0,16	0,07410417	-1,176198
0,17	0,08216666	-1,176198
0,18	0,09027083	-1,176198
0,19	0,09847917	-1,176198
0,2	0,1066667	-1,176198
0,21	0,1149375	-1,176198
0,22	0,12325	-1,176198

0,23	0,1315208	-1,176198
0,24	0,1398333	-1,176198
0,25	0,148125	-1,176198
0,26	0,1564583	-1,176198
0,27	0,1648333	-1,176198

Tabla 4. Datos arrojados por la maquina universal prueba de PP homopolímero G4H-1



Gráfica 4. Curva fuerza – desplazamiento PP homopolímero G4H-1



Imagen 4. PP homopolímero G4H-1 montado en máquina universal.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En lo anterior se evidencian los resultados de la prueba de las agarraderas de PP. Los datos en tabla 1 a 4 es registro tomado por la maquina universal; debido a la cantidad de datos que arroja solo se muestran las primeras 28 filas. Mediante los datos se realiza la curva de fuerza - desplazamiento mostradas en gráficas 1 a 4 de sus respectivas tablas que describirá el comportamiento del material sometido a tensión en la maquina universal.

De la gráfica 1 encontramos el PP copolímero G2C-1 que tiene un alto grado de ductilidad zona elástica prolongada, lo cual permite ejercer una fuerza puntal sin fallar el material. En comparación a las demás gráficas este material no reventó, la caída en la curva es debido a deslizamiento del material en la maquina universal.

Las gráficas 2 a 4 corresponden al PP homopolímero (G2H-1, G3H-1, G4H-1) donde sólo se hace modificación al área transversal de cada agarradera. Sin embargo, el material produce fractura por su composición estructural, siendo un material con un comportamiento plástico no tan extenso en comparación al copolímero.

La empresa realiza la investigación para determinar un material que sea capaz de resistir por largo tiempo una carga puntal sin fatiga y/o ruptura, por lo que se selecciona el copolímero para la fabricación de su requerimiento.

4.2. FIBRAS SINTÉTICAS, POLIMÉRICAS Y METÁLICAS.

El estudio para este apartado se basa en comprobar mediante un diferencial por monofilamento de fibras, la resistencia que reside en cada material a realizar la prueba en cuanto a esfuerzos a tensión.

Cada prueba hecha en la maquina universal emite datos de fuerza a tensión sometida a cada probeta hasta causar ruptura del monofilamento, se muestran los resultados obtenidos a cada fibra de los diferentes compuestos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIBRAS SINTÉTICAS

- 11.Cr_Ni (Cobre-níquel)
- 12.PA_Ar (Poliamida recubierta con argén)
- 14.INOX (Acero inoxidable)
- 15.INOX (Acero inoxidable)
- 5.PEEK (Polietilenercetona)

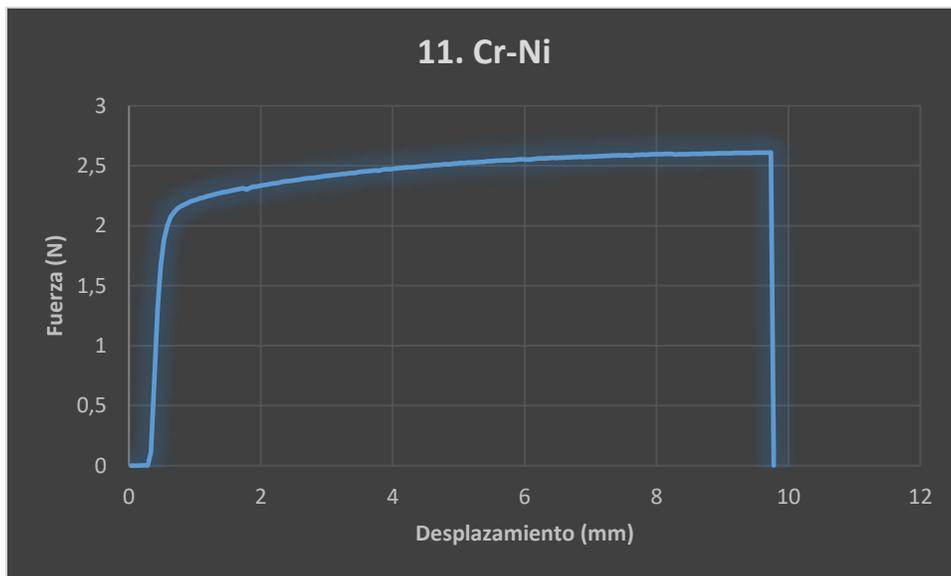
Las anteriores fibras son monofilamentos de diferentes compuestos de materiales donde se obtuvieron las curvas de fuerza – desplazamiento, los datos fueron arrojados por la máquina universal del laboratorio. Los datos tomados por la máquina universal son por milisegundos por lo que en la tabla se muestran solo los 30 primeros resultados y su gráfica se muestra con todos los datos para un análisis más completo según la curva obtenida.

- **11.Cr_Ni:** Fibra sintética compuesta de cobre y níquel de 0,1 mm de diámetro. Se muestra a continuación en la tabla 5 y gráfica 5 los datos obtenidos por la maquina universal con celda de carga de 50N aplicando fuerza a tensión al monofilamento.

Time	Stroke (mm)	Force (N)
0	0	0
0,2	0,033625	0,000238419
0,4	0,08358333	0,000397364
0,6	0,133625	0,000715256
0,8	0,1835417	0,001033147
1	0,2335625	0,001271566
1,2	0,2835208	0,001827876
1,4	0,3335833	0,1108646
1,6	0,383625	0,6717046
1,8	0,4335417	1,3117
2	0,4835833	1,670043
2,2	0,5335417	1,881838
2,4	0,5835834	2,005816
2,6	0,6336042	2,073685

2,8	0,6835417	2,113183
3	0,7335625	2,141476
3,2	0,7835208	2,162139
3,4	0,8335625	2,17557
3,6	0,883625	2,188842
3,8	0,9335417	2,202113
4	0,9835833	2,210855
4,2	1,033521	2,219756
4,4	1,083583	2,229134
4,6	1,133625	2,235095
4,8	1,183542	2,245029
5	1,233583	2,25091
5,2	1,283542	2,25846
5,4	1,333583	2,266089
5,6	1,383625	2,272685

Tabla 5. Datos arrojados por la máquina universal prueba a tensión probeta de **11.Cr_Ni**.



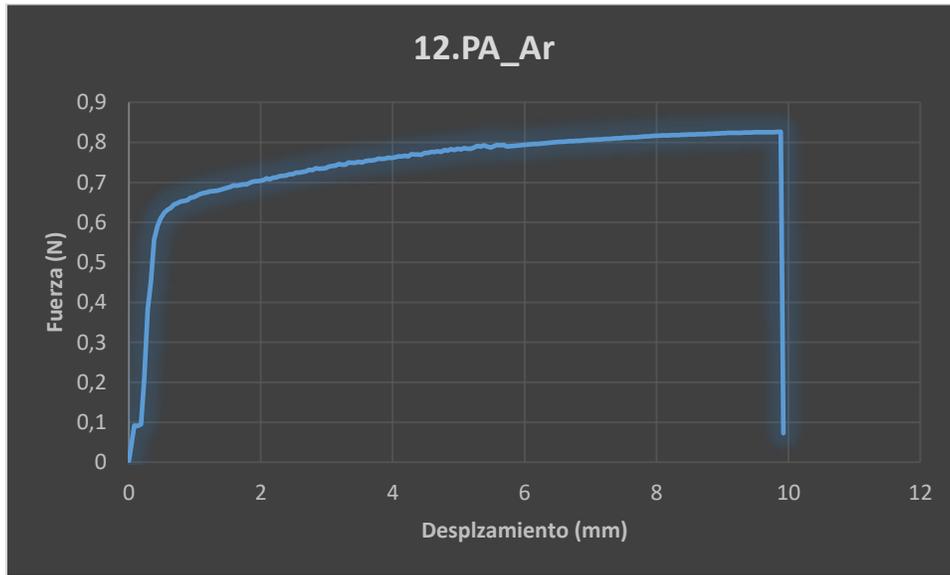
Gráfica 5. Curva de fuerza - desplazamiento prueba a tensión probeta de **11.Cr_Ni**.

- **12.PA_Ar:** Material sintético de poliamida recubierto con argén. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 6 y gráfica 6 tomados por la maquina universal con celda de carga de 50N a tensión.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Time	Stroke (mm)	Force (N)
0	0	0,004212061
0,2	0,03364583	0,09791056
0,4	0,08354167	0,09155273
0,6	0,1336458	0,09123484
0,8	0,1835625	0,09504954
1	0,2335625	0,2082984
1,2	0,2835625	0,3832976
1,4	0,3335417	0,4514059
1,6	0,3836667	0,556469
1,8	0,4335417	0,5918344
2	0,4835625	0,61059
2,2	0,5335625	0,6239414
2,4	0,5835416	0,631094
2,6	0,6336458	0,6363392
2,8	0,6835417	0,6446838
3	0,7335625	0,6481807
3,2	0,7835625	0,6519954
3,4	0,8335416	0,6536643
3,6	0,8836458	0,6550153
3,8	0,9335417	0,6612937
4	0,9835625	0,6635189
4,2	1,033542	0,6674926
4,4	1,083542	0,6707509
4,6	1,133646	0,6732941
4,8	1,183542	0,6753604
5	1,233562	0,6772677
5,2	1,283563	0,6783009
5,4	1,333542	0,6787777
5,6	1,383646	0,6817182

Tabla 6. Datos arrojados por la máquina universal prueba a tensión probeta de **12.PA_Ar**.



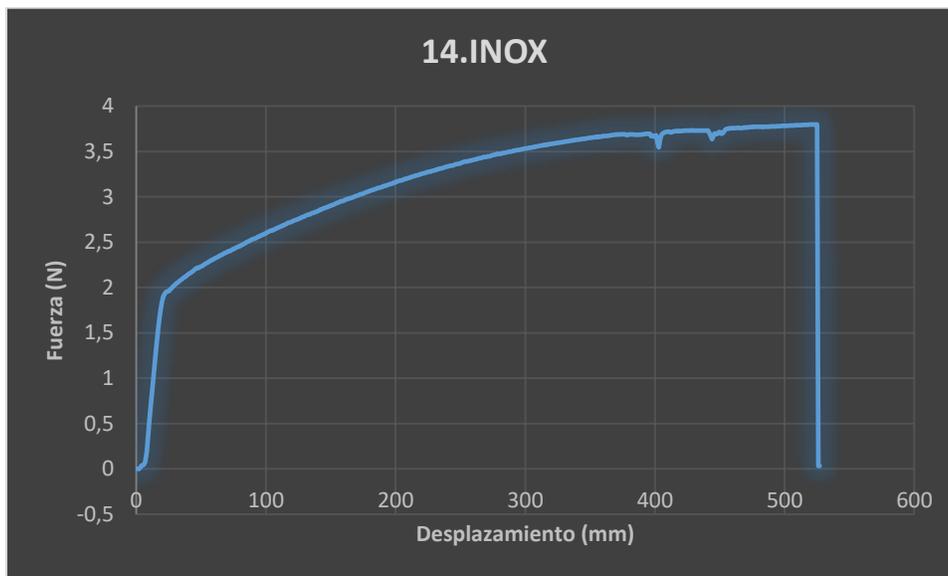
Gráfica 6. Curva de fuerza - desplazamiento prueba a tensión probeta de **12.PA_Ar**.

- **14.INOX:** monofilamento de 0,1 mm diámetro en acero inoxidable. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 7 y gráfica 7 tomados por la maquina universal con celda de carga de 50N.

Time	Stroke (mm)	Force (N)
0	0	-0,000794729
0,2	0,03370833	0,01049042
0,4	0,08354167	0,03830592
0,6	0,1335833	0,03925959
0,8	0,1835417	0,04720688
1	0,2335625	0,07883707
1,2	0,283625	0,1874765
1,4	0,3335417	0,3551642
1,6	0,3835833	0,5276998
1,8	0,4335417	0,6830692
2	0,4835625	0,8290609
2,2	0,533625	0,9737809
2,4	0,5835416	1,12915
2,6	0,6335625	1,275221
2,8	0,6835417	1,416842
3	0,7335625	1,551231
3,2	0,783625	1,6675

3,4	0,8335208	1,769781
3,6	0,8835833	1,845757
3,8	0,9335417	1,903137
4	0,9835625	1,935879
4,2	1,033625	1,953125
4,4	1,083521	1,960913
4,6	1,133583	1,960357
4,8	1,183542	1,975139
5	1,233562	1,991034
5,2	1,283625	2,006372
5,4	1,333542	2,020041
5,6	1,383583	2,03387

Tabla 7. Datos arrojados por la máquina universal prueba a tensión probeta de **14.INOX**.



Gráfica 7. Curva de fuerza - desplazamiento prueba a tensión probeta de **14.INOX**.

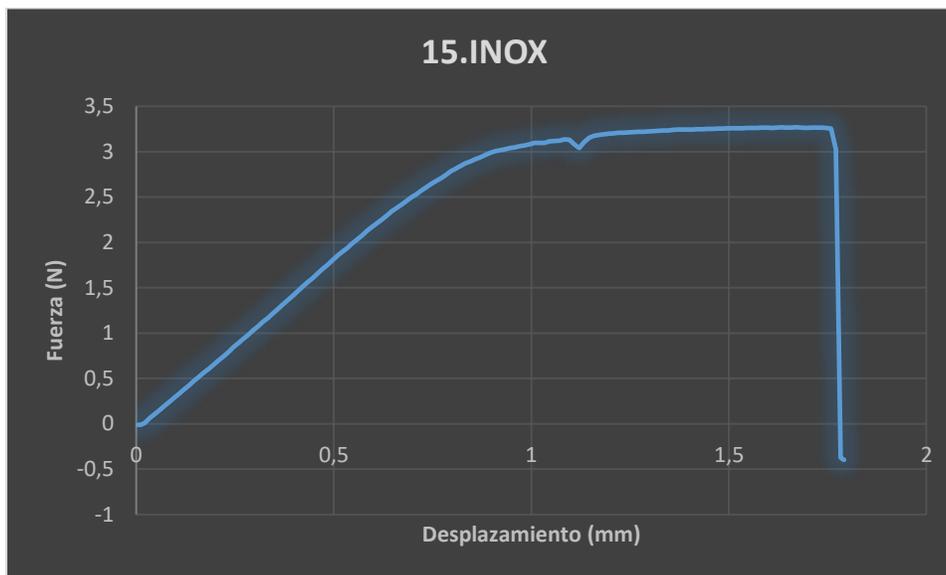
- **15.INOX:** Monofilamento de 0,08 mm de diámetro en acero inoxidable. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 8 y gráfica 8 tomados por la maquina universal con celda de carga de 50N.

Time	Stroke (mm)	Force (N)
0	0	-0,0111262
0,05	0,003604167	-0,0111262

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

0,1	0,01133333	-0,0111262
0,15	0,02158333	0,0111262
0,2	0,03370833	0,06143252
0,25	0,04610417	0,1063347
0,3	0,0585625	0,150919
0,35	0,071125	0,1953443
0,4	0,08354167	0,2415975
0,45	0,0960625	0,2867381
0,5	0,1086042	0,3330708
0,55	0,1210625	0,3798008
0,6	0,1335833	0,4252593
0,65	0,1460625	0,4737377
0,7	0,1586042	0,518322
0,75	0,1710833	0,5658467
0,8	0,1835208	0,60606
0,85	0,196125	0,6509622
0,9	0,2085417	0,7001559
0,95	0,2210625	0,745217
1	0,2336042	0,7927418
1,05	0,2460833	0,8439223
1,1	0,2585833	0,8894603
1,15	0,2710417	0,9366671
1,2	0,2836042	0,983874
1,25	0,2960625	1,031558
1,3	0,3085208	1,07638
1,35	0,321125	1,124859
1,4	0,3335417	1,167138

Tabla 8. Datos arrojados por la máquina universal prueba a tensión probeta de **15.INOX.**



Gráfica 8. Curva de fuerza - desplazamiento prueba a tensión probeta de **15.INOX**.

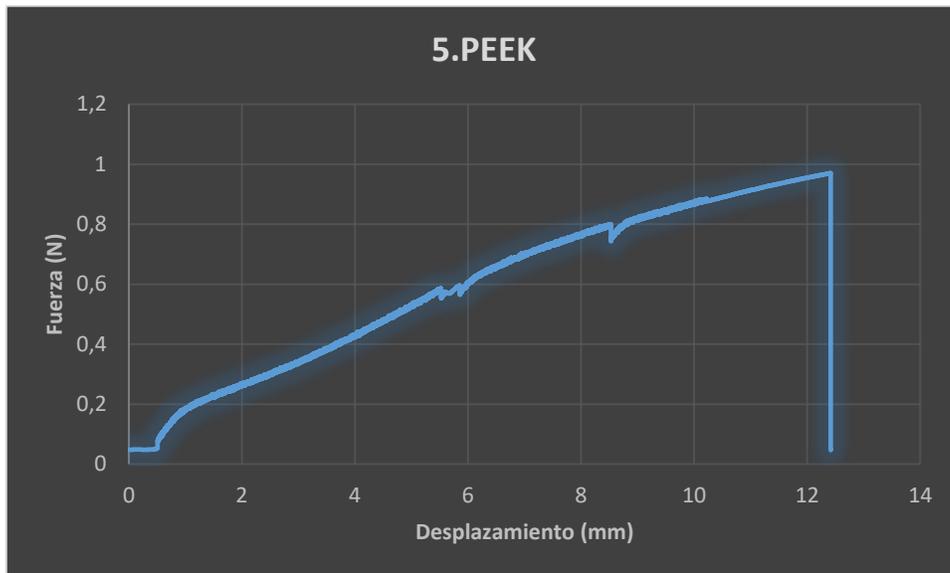
- **5.PEEK:** Monofilamento de polietilentercetona de 0,18mm. . Los datos obtenidos se muestran en la tabla 9 y gráfica 9 tomados por la maquina universal con celda de carga de 50N. Con este compuesto las muestras fueron tomadas con un error debido a la mala sujeción del material y causó que se deslizara de su probeta en cada prueba sin causar ruptura del material.

Time	Stroke (mm)	Force (N)
0	0	0,0483195
0,01	0	0,0483195
0,02	6,25E-05	0,0483195
0,03	0,00025	0,0483195
0,04	0,000645833	0,0483195
0,05	0,001270833	0,0483195
0,06	0,002041667	0,0483195
0,07	0,002854167	0,0483195
0,08	0,003708333	0,0483195
0,09	0,0045625	0,0483195
0,1	0,0054375	0,0483195
0,11	0,006291667	0,0483195
0,12	0,007083333	0,0483195
0,13	0,007895833	0,0483195
0,14	0,008729166	0,0483195
0,15	0,009583334	0,0483195

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

0,16	0,01045833	0,0483195
0,17	0,01133333	0,0483195
0,18	0,0121875	0,04824002
0,19	0,01304167	0,04808108
0,2	0,013875	0,04808108
0,21	0,01470833	0,04808108
0,22	0,01554167	0,04808108
0,23	0,016375	0,04808108
0,24	0,0171875	0,04816055
0,25	0,01802083	0,0483195
0,26	0,01885417	0,0483195
0,27	0,0196875	0,0483195
0,28	0,02052083	0,0483195

Tabla 9. Datos arrojados por la máquina universal prueba a tensión probeta de **5.PEEK.**



Gráfica 9. Curva de fuerza - desplazamiento prueba a tensión probeta de **5.PEEK.**



Imagen 5. Preparación de probetas de fibras sintéticas.

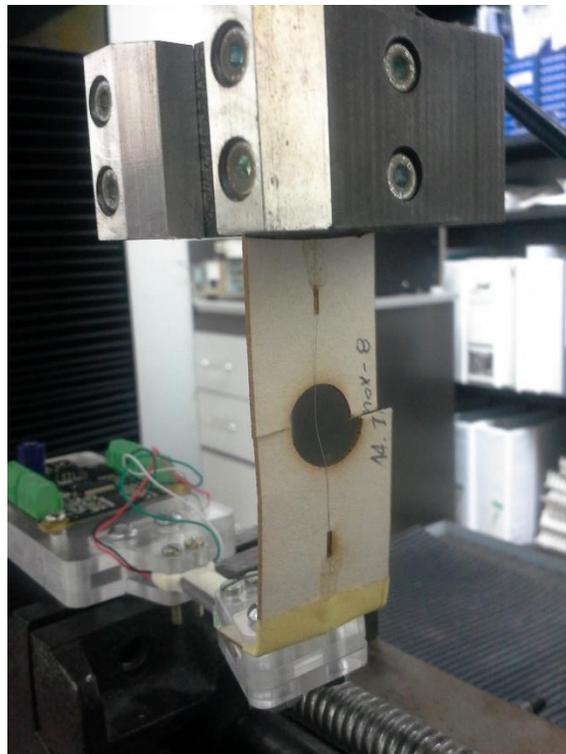


Imagen 6. Montaje probeta de fibra sintética en maquina universal.

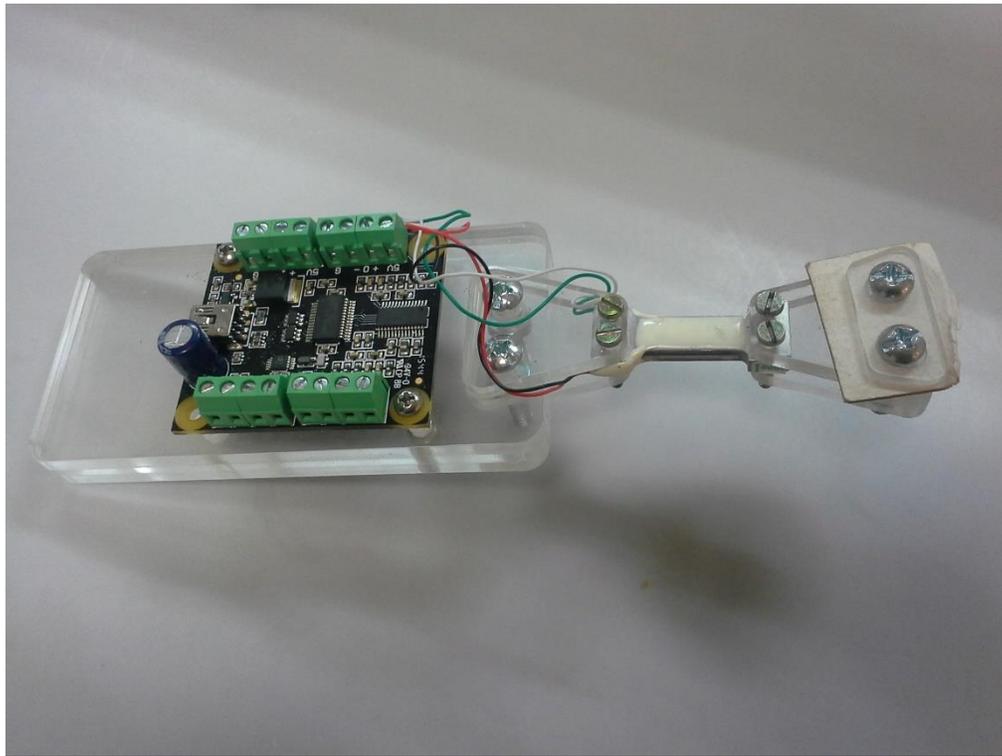


Imagen 7. Celda de carga capacidad 50N.

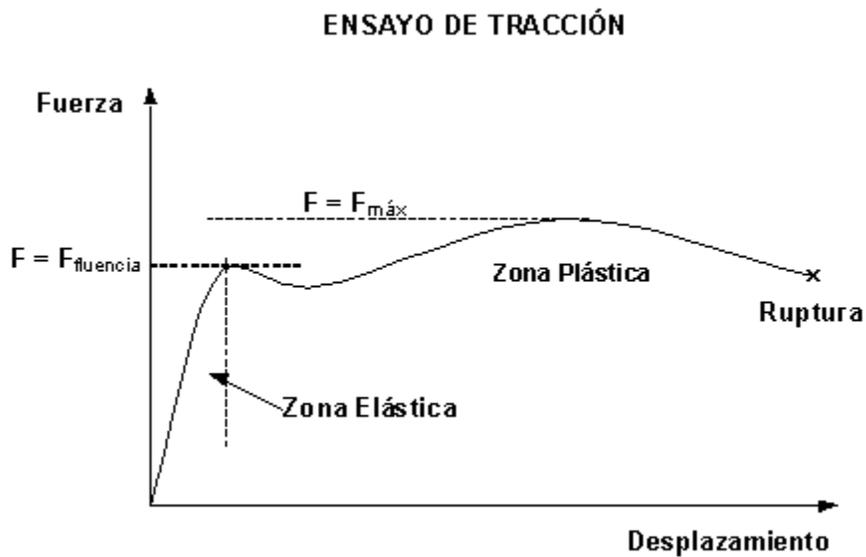


Imagen 8. Ruptura de material por tensión 12.PA_Ar

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los datos emitidos por la máquina universal arrojaron valores similares a la celda de carga instalada para las pruebas a los monofilamentos, esto para verificar el tipo de clase de la máquina (precisión en toma de datos del equipo), lo cual tiene valores con una incertidumbre despreciable. Por lo tanto, se toman parámetros tanto de la celda de carga instalada con software de lectura como los de la misma máquina universal.

En la lectura de los datos se puede identificar en sus curvas de fuerza – desplazamiento el comportamiento de los materiales ya que así mismo como es muy similar a la de esfuerzo deformación se pueden determinar por su comportamiento: zona elástica, zona plástica, límite de cedencia o ruptura del material, ductilidad o fragilidad del material. A continuación se muestra la curva de esfuerzo deformación de los materiales. Ver gráfica 10.



Gráfica 10. Curva de fuerza – desplazamiento. (Smith & Hashemi, 2004)

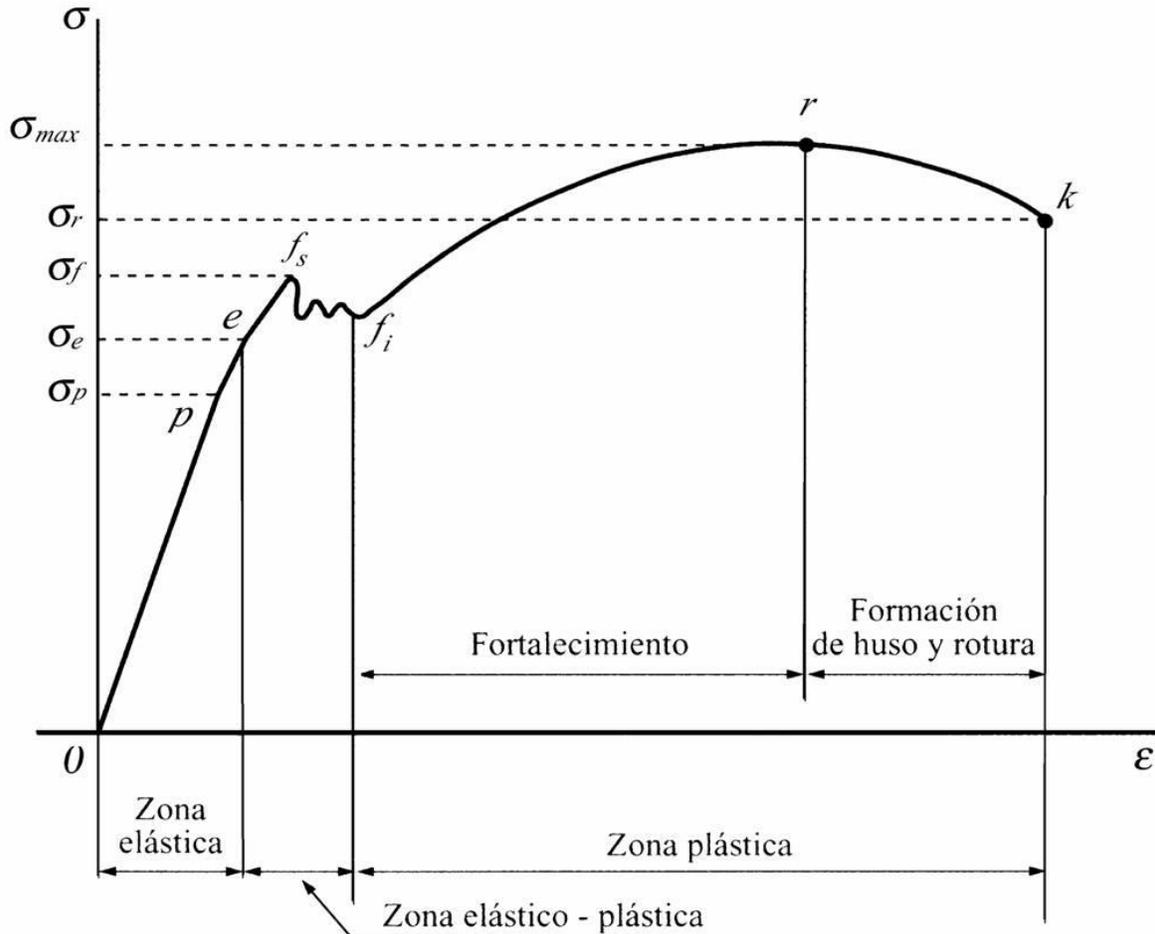


Imagen 9. Curva esfuerzo deformación polímeros. (Smith & Hashemi, 2004)

4.3. PRUEBA A FLEXIÓN PROBETAS INYECTADAS DE PC Y PS CON 3 PUNTOS DE APOYO

En este apartado se realiza la investigación de comportamiento de las propiedades físico-químicas de los materiales según el tipo de proceso al cual son sometidos; el estudio se centra en el proceso de inyección con la maquina inyectora de materiales poliméricos, se realiza con un molde establecido en forma de probetas donde se inyectaran los materiales a estudiar PC y PS. El procesamiento de inyección de los materiales se realiza con diferentes condiciones de proceso, Temperatura de inyección, temperatura de molde, temperatura de enfriamiento, presión de inyección, tiempo de enfriamiento y tiempo de compactación. De

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

las cuales se mostrará como afectan estas variaciones en las propiedades mecánicas de los materiales.

Cada prueba fue realizada con un número de 20 probetas inyectadas para cada condición, de las cuales se realizara a futuro tratamiento térmico, químico y térmico-químico. En ésta sección nos enfocaremos en los procesos sin tratamientos.

Luego de inyectar todas las probetas de PC y PS con sus condiciones de operación ya establecidas; Se toman para analizar su comportamiento mecánico en la maquina universal, donde se realiza prueba a flexión con 3 puntos de apoyo y determinar qué influencia tiene en la resistencia de los materiales cuando estos son sometidos a diferentes condiciones de procesos.

A continuación se muestran los resultados de esfuerzos, deformación y módulo de Young de los diferentes procesos según los datos obtenidos en la máquina universal.

FORMULA ESFUERZO	FORMULA DEFORMACIÓN
$\sigma_f = 3PL/2bd^2 \quad (3)$	$\varepsilon_f = 6Dd/L^2 \quad (5)$
where: σ = stress in the outer fibers at midpoint, MPa (psi), P = load at a given point on the load-deflection curve, N (lbf), L = support span, mm (in.), b = width of beam tested, mm (in.), and d = depth of beam tested, mm (in.).	where: ε_f = strain in the outer surface, mm/mm (in./in.), D = maximum deflection of the center of the beam, mm (in.), L = support span, mm (in.), and d = depth, mm (in.).

Imagen 10. Formulas esfuerzo y deformación de un material.

4.3.1. PROBETAS PC

	t enf [s]	t packing [s]	Packing [Bar]	T molde [°C]	T inyección [°C]
1	10	1,5	400	50	300
2	15	1,5	400	50	300
3	10	4,0	400	50	300
4	15	4,0	400	50	300
5	10	7,7	400	50	300
6	15	7,7	400	50	300
7	10	1,5	600	50	300

8	15	1,5	600	50	300
9	10	4,0	600	50	300
10	15	4,0	600	50	300
11	10	7,7	600	50	300
12	15	7,7	600	50	300
13	10	1,5	400	80	300
14	15	1,5	400	80	300
15	10	4,0	400	80	300
16	15	4,0	400	80	300
17	10	7,7	400	80	300
18	15	7,7	400	80	300
19	10	1,5	600	80	300
20	15	1,5	600	80	300
21	10	4	600	80	300
22	15	4	600	80	300
23	10	7,7	600	80	300
24	15	7,7	600	80	300

Tabla 10. Condiciones de operación para inyección de los materiales **PC** y **PS**.

	ESFUERZO MÁXIMO [N/mm ²]				
	Promedio	DesvEst	# med.	tn-1,alfa	Barra error
PC2-1	105,678	1,753	5,00	2,78	2,18
PC2-2	102,62	1,59	5,00	2,78	1,98
PC2-3	108,26	0,88	5,00	2,78	1,10
PC2-4	104,48	5,15	5,00	2,78	6,40
PC2-5			5,00	2,78	0,00
PC2-6	109,94	2,63	5,00	2,78	3,27
PC2-7	102,81	0,61	5,00	2,78	0,76
PC2-8	113,23	2,01	5,00	2,78	2,49
PC2-9	121,27	4,78	5,00	2,78	5,93
PC2-10	120,49	3,23	5,00	2,78	4,01
PC2-11	121,60	1,71	5,00	2,78	2,12
PC2-12	118,30	5,46	5,00	2,78	6,78
PC2-13	111,33	13,43	5,00	2,78	16,67
PC2-14	103,62	2,50	5,00	2,78	3,10
PC2-15	114,39	3,49	5,00	2,78	4,33
PC2-16	110,98	5,28	5,00	2,78	6,56
PC2-17	107,35	1,89	5,00	2,78	2,34

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

PC2-18	108,44	4,38	5,00	2,78	5,43
PC2-19	114,40	3,27	5,00	2,78	4,06
PC2-20				2,78	#¡DIV/0!
PC2-21	105,49	1,48	5,00	2,78	1,84
PC2-22	109,39	1,86	5,00	2,78	2,31
PC2-23	124,26	1,72	5,00	2,78	2,14
PC2-24	122,51	3,03	5,00	2,78	3,77

Tabla 11. Esfuerzo máximo de probetas inyectadas de PC según su condición.

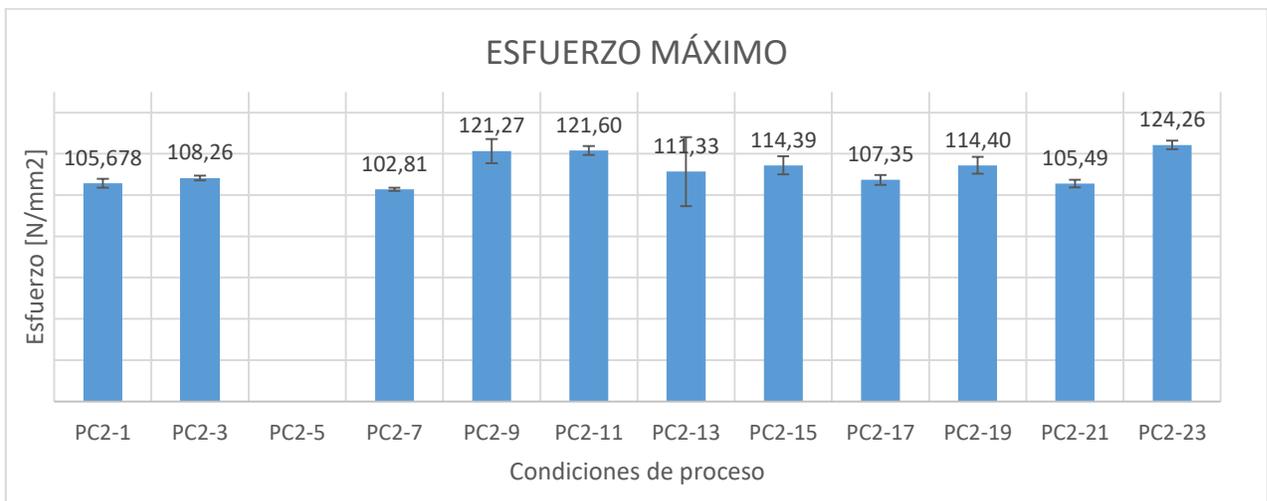
	MÓDULO [N/mm²]				
	Promedio	DesvEst	# med.	tn-1,alfa	Barra error
PC2-1			5,00	2,78	0,00
PC2-2			5,00	2,78	0,00
PC2-3			5,00	2,78	0,000
PC2-4			5,00	2,78	0,000
PC2-5			5,00	2,78	0,00
PC2-6			5,00	2,78	0,00
PC2-7			5,00	2,78	0,00
PC2-8	2812,165	31,62	5,00	2,78	39,26
PC2-9	3121,186	60,640	5,00	2,78	75,29
PC2-10	2967,994	7,200	5,00	2,78	8,94
PC2-11	3083,377	18,323	5,00	2,78	22,75
PC2-12	2840,445	17,486	5,00	2,78	21,71
PC2-13	2707,136	62,444	5,00	2,78	77,53
PC2-14	2240,070	52,608	5,00	2,78	65,32
PC2-15	2773,995	13,585	5,00	2,78	16,87
PC2-16	2685,179	42,968	5,00	2,78	53,35
PC2-17			5,00	2,78	0,00
PC2-18	2655,259	31,778	5,00	2,78	39,46
PC2-19	2427,027	23,969	5,00	2,78	29,76
PC2-20			0,00	2,78	#¡DIV/0!
PC2-21			5,00	2,78	0,00
PC2-22	2379,172	21,543	5,00	2,78	26,75
PC2-23	2965,172	31,120	5,00	2,78	38,64
PC2-24	3063,522	9,590	5,00	2,78	11,91

Tabla 12. Módulo de Young de PC según condiciones de operación.

Frente a los datos obtenidos analizaremos las gráficas esfuerzo-deformación para cada probeta de PC con sus condiciones establecidas en la **tabla 10**.

Para las condiciones de procesamiento de los materiales, se evaluará el comportamiento de la curva esfuerzo – deformación obtenida de los resultados arrojados por la máquina universal, los análisis que se harán se toman con el mismo tiempo de enfriamiento del material, temperatura de procesamiento o inyección, presión de compactación y solo con diferencia en su tiempo de compactación y temperatura de molde, esto para determinar que implica estas variaciones en la resistencia del material.

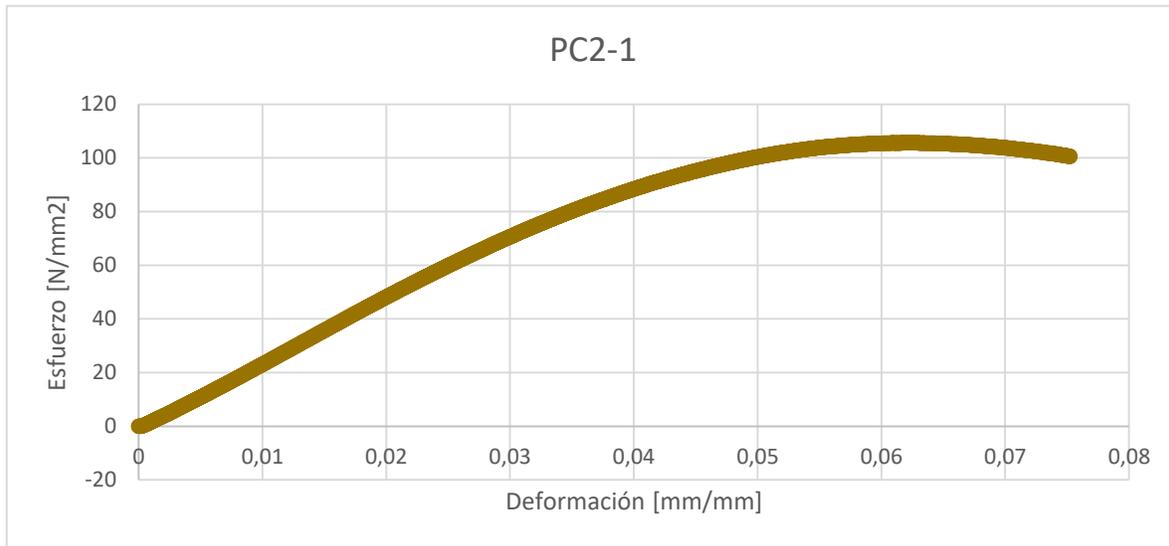
El estudio se enfocará en la zona de cedencia o elástica del material ya que es la parte más relevante en el trabajo de la ingeniería de los materiales.



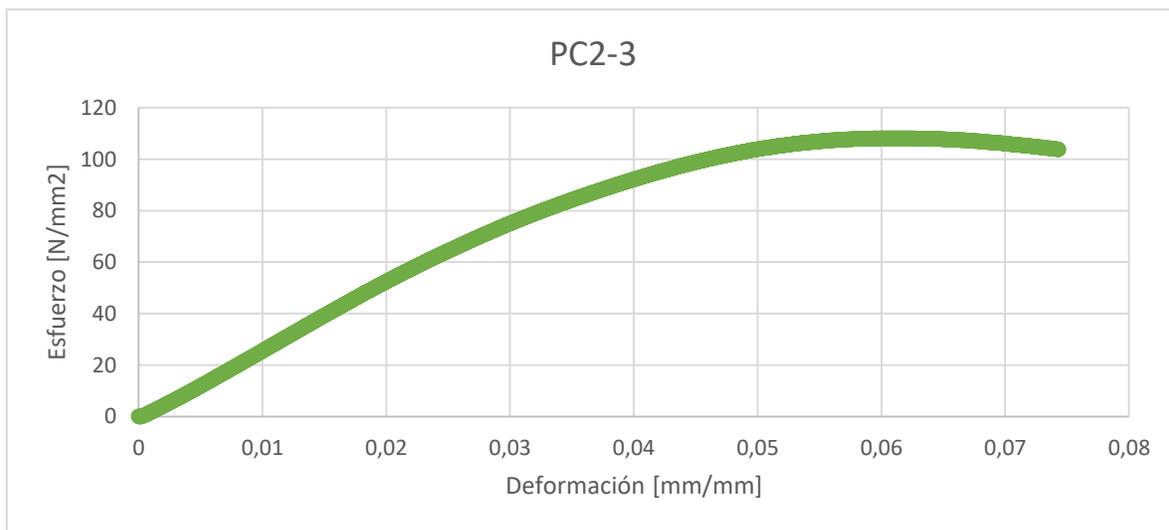
Datos 1. Condiciones de t compactación 10, P 400 Bar y 600 Bar, molde a T 50°C y 80°C.

	T enf [s]	t packing [s]	Packing [Bar]	T molde [°C]	T inyección [°C]	Probeta
1	10	1,5	400	50	300	PC2-1
3	10	4,0	400	50	300	PC2-3
5	10	7,7	400	50	300	PC2-5

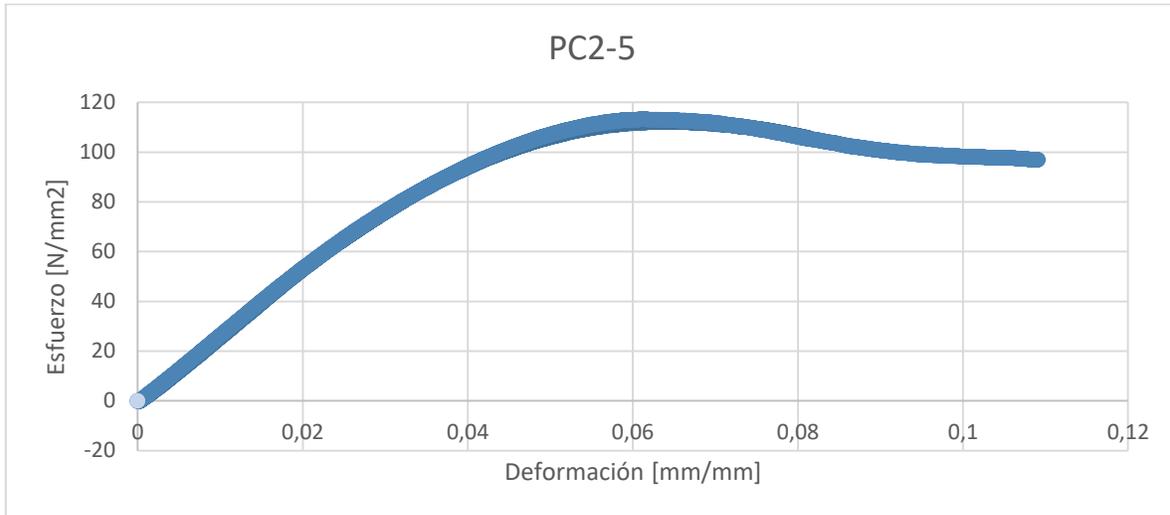
Tabla 13. Condiciones de procesamiento de materiales variación en t de compactación PC.



Gráfica 11. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-1**.



Gráfica 12. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-3**.

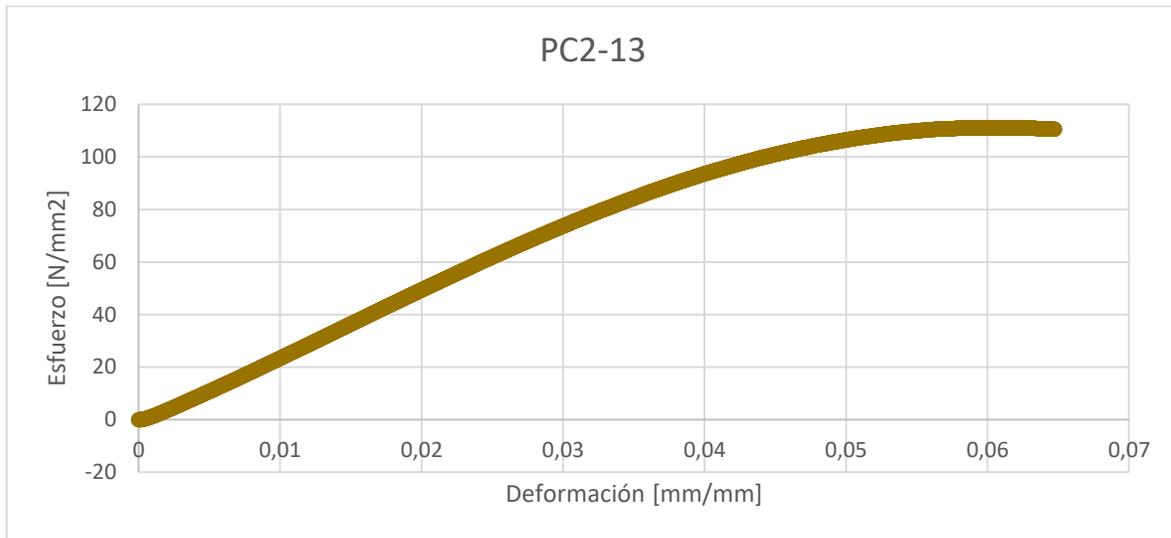


Gráfica 13. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-5**.

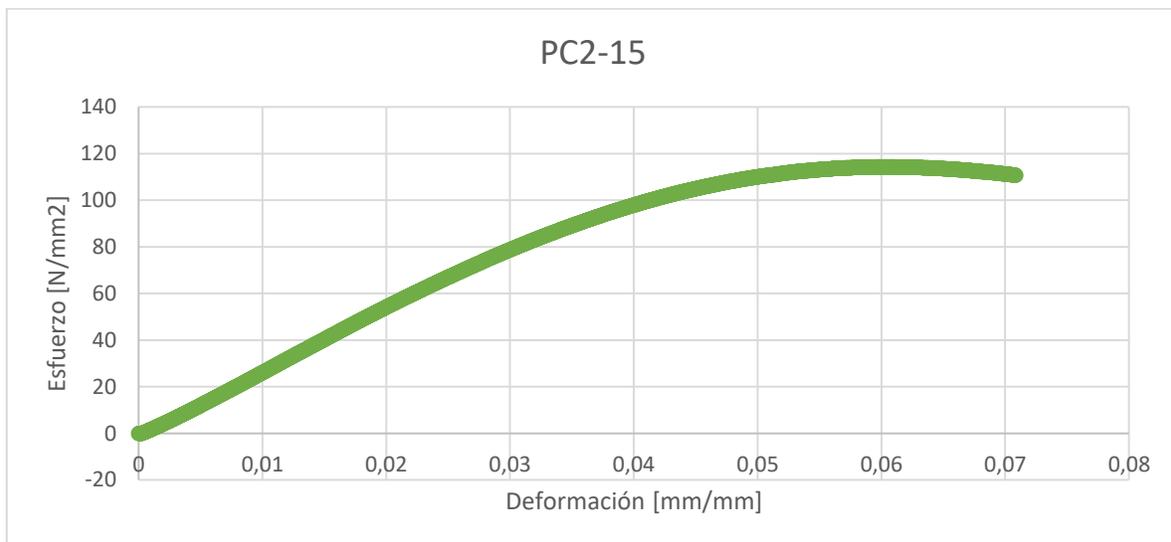
En el análisis de las gráficas anteriores según **datos 1** e **imagen 9**, Se logra apreciar que el material al ser compactado durante más tiempo logra un comportamiento de resistencia mayor; por lo que la maquina universal debe aplicar mayor esfuerzo para deformarlo. Sin embargo, al ser el PC estudiado un material polimérico muy dúctil y enfocarnos en la zona elástica no se evidencia ruptura del material. Al apreciar en gráficos con los datos obtenidos en las **gráficas 10-12** se puede afirmar que a mayor tiempo de compactación el material se vuelve más resistente pero a su vez menos dúctil.

	t enf [s]	t packing [s]	Packing [Bar]	T molde [°C]	T inyección [°C]	Probeta
13	10	1,5	400	80	300	PC2-13
15	10	4,0	400	80	300	PC2-15
17	10	7,7	400	80	300	PC2-17

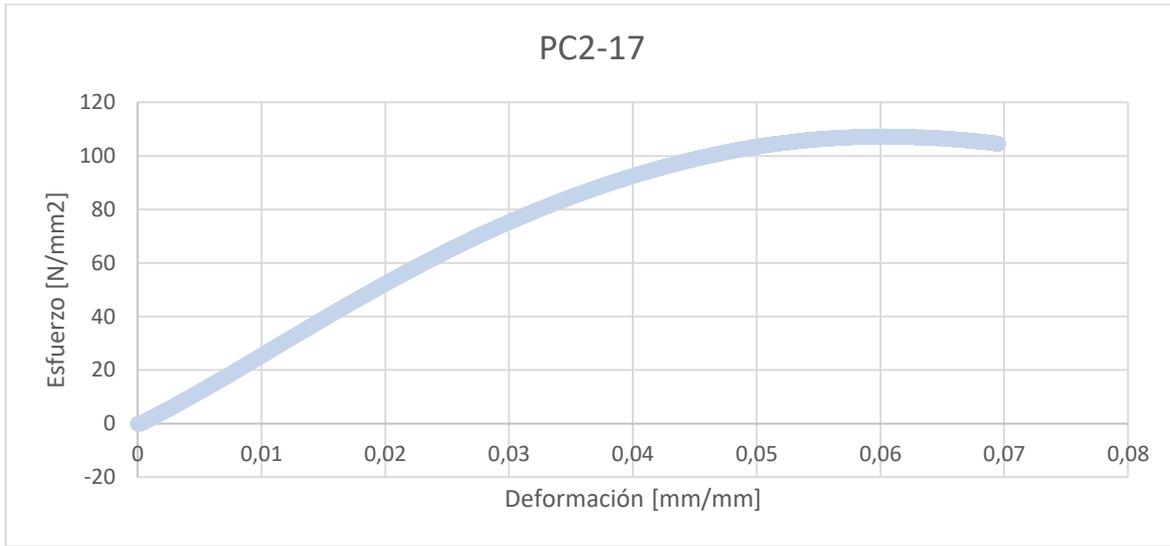
Tabla 14. Condiciones de procesamiento del PC, variación en t de compactación.



Gráfica 14. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-13**.



Gráfica 15. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-15**.

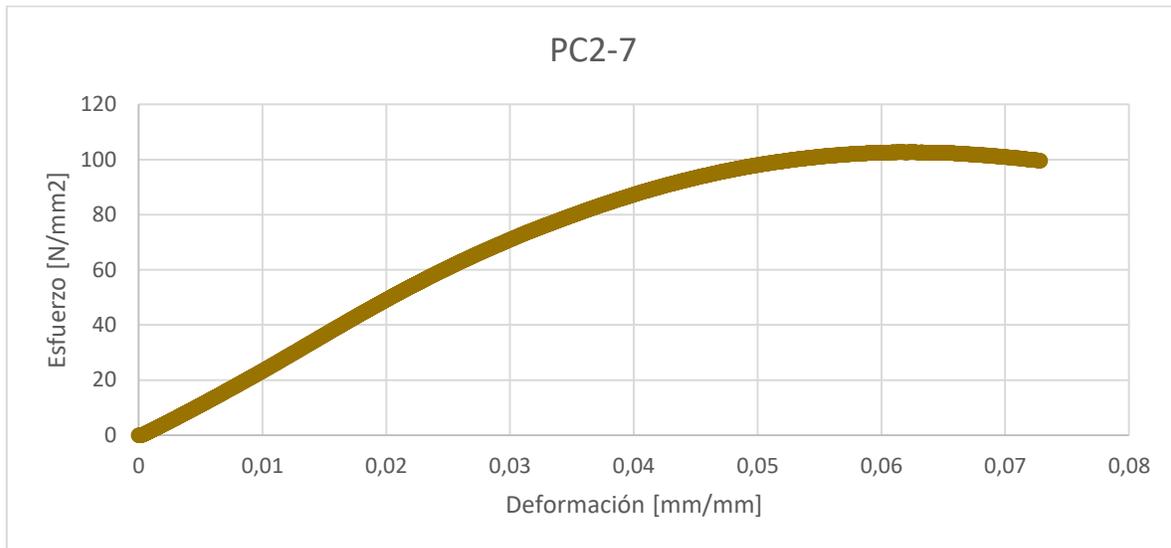


Gráfica 16. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-17**.

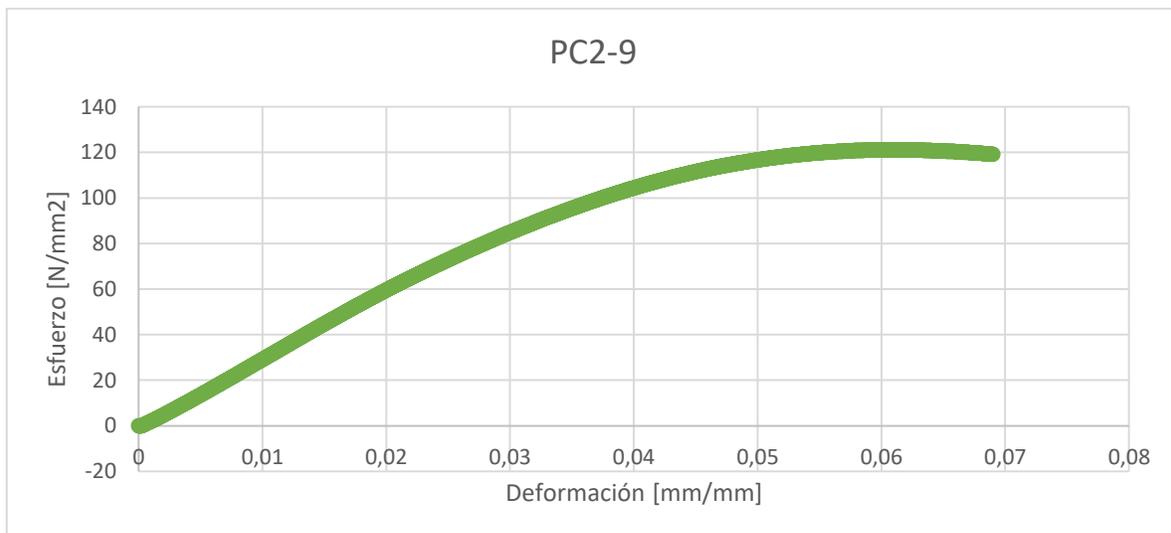
En las **gráficas 15-17** el material fue sometido a una temperatura del molde a 80°C por lo que el PC cambio su comportamiento con respecto a el análisis anterior, aumentó la capacidad de esfuerzo a la deformación en PC2-15 con t compactación de 4s y en PC2-17 disminuyo siendo este un t de compactación de 7,7s lo que se concluye que disminuyó la resistencia del material al ser compactado más tiempo, permitiéndole con un esfuerzo menor alcanzar una mayor rango de deformación.

	t enf [s]	t packing [s]	Packing [Bar]	T molde [°C]	T inyección [°C]	Probeta
7	10	1,5	600	50	300	PC2-7
9	10	4,0	600	50	300	PC2-9
11	10	7,7	600	50	300	PC2-11

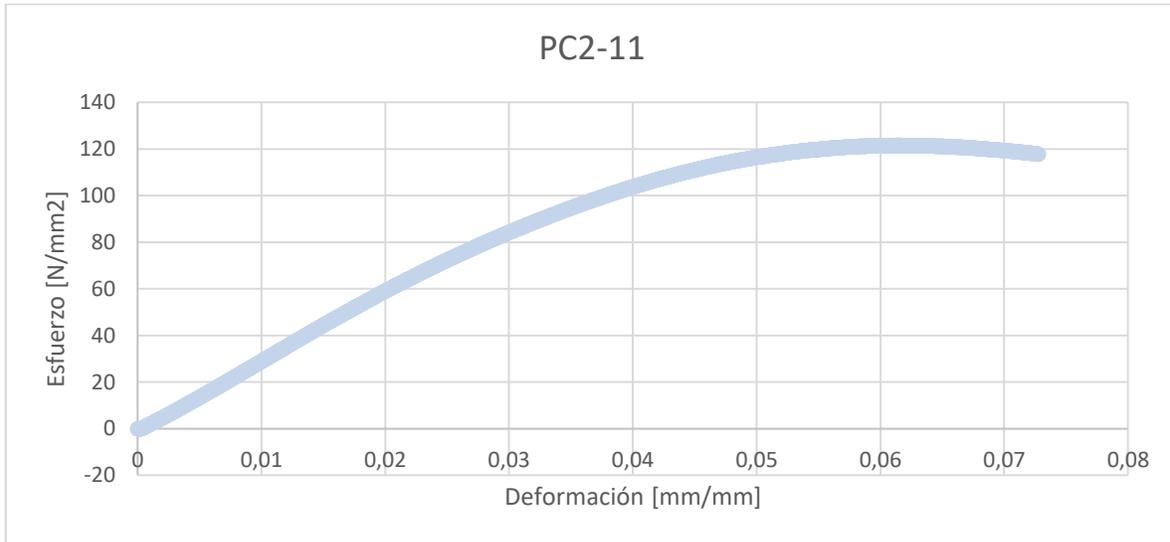
Tabla 15. Condiciones de procesamiento de materiales variación en t de compactación PC.



Gráfica 17. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-7**.



Gráfica 18. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-9**.

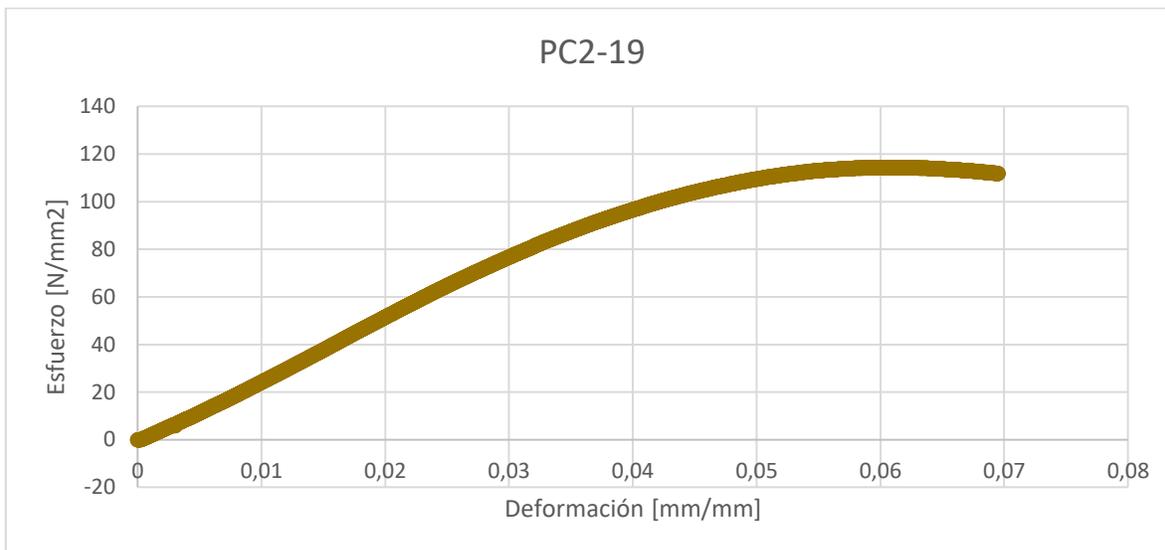


Gráfica 18. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-11**.

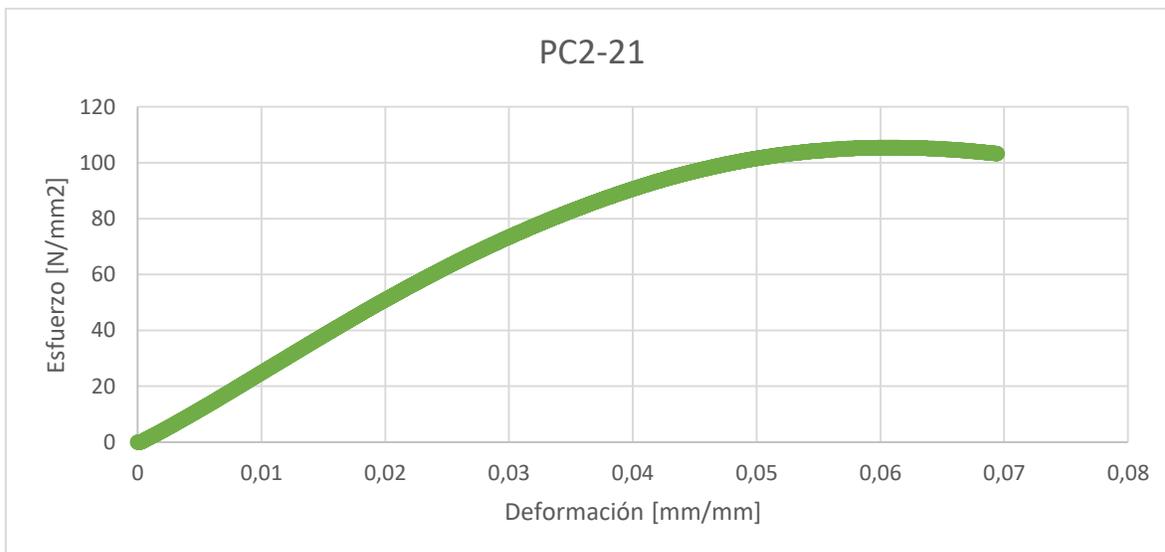
En este análisis se aprecia un incremento de la resistencia a medida que varía el tiempo de compactación, ahora con una presión de 600 Bar en la inyectora y molde a 50 °C; de esto se deduce una mayor uniformidad en la estructura del material siendo dúctil este se refuerza internamente por la compactación, de ahí el material se vuelve más rígido por lo que puede soportar mayor carga para deformarse.

	t enf [s]	t packing [s]	Packing [Bar]	T molde [°C]	T inyección [°C]	Probeta
19	10	1,5	600	80	300	PC2-19
21	10	4	600	80	300	PC2-21
23	10	7,7	600	80	300	PC2-23

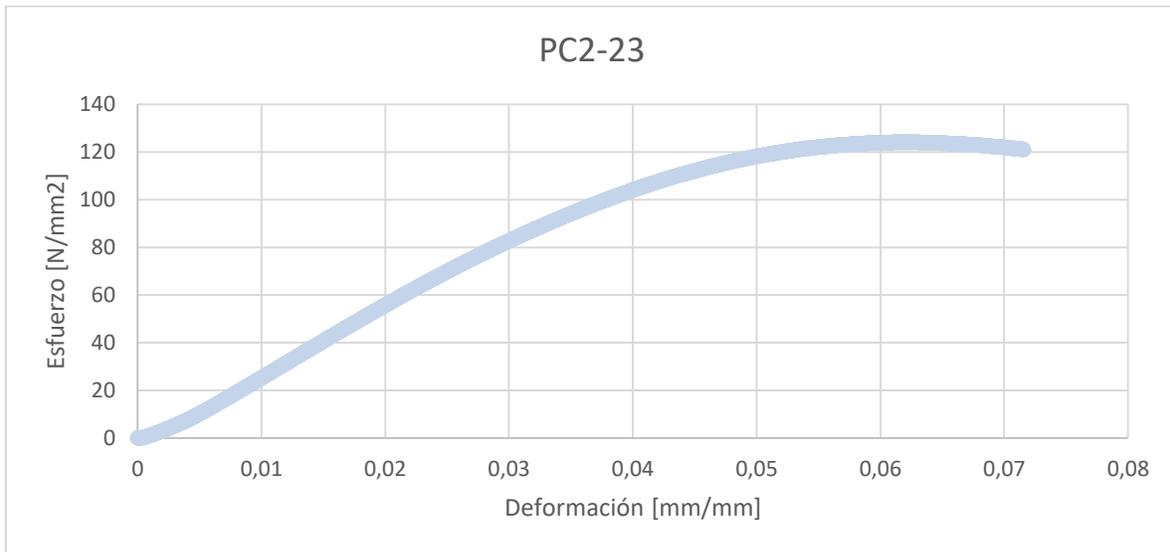
Tabla 16. Condiciones de procesamiento de PC variación en t de compactación.



Gráfica 19. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-19**.

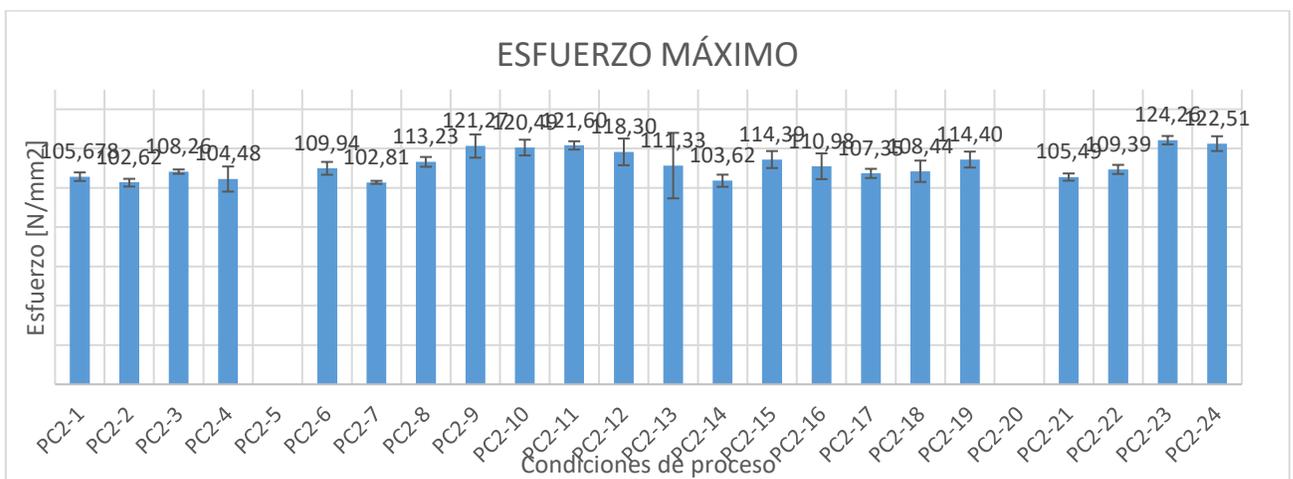


Gráfica 20. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-21**.



Gráfica 21. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-23**.

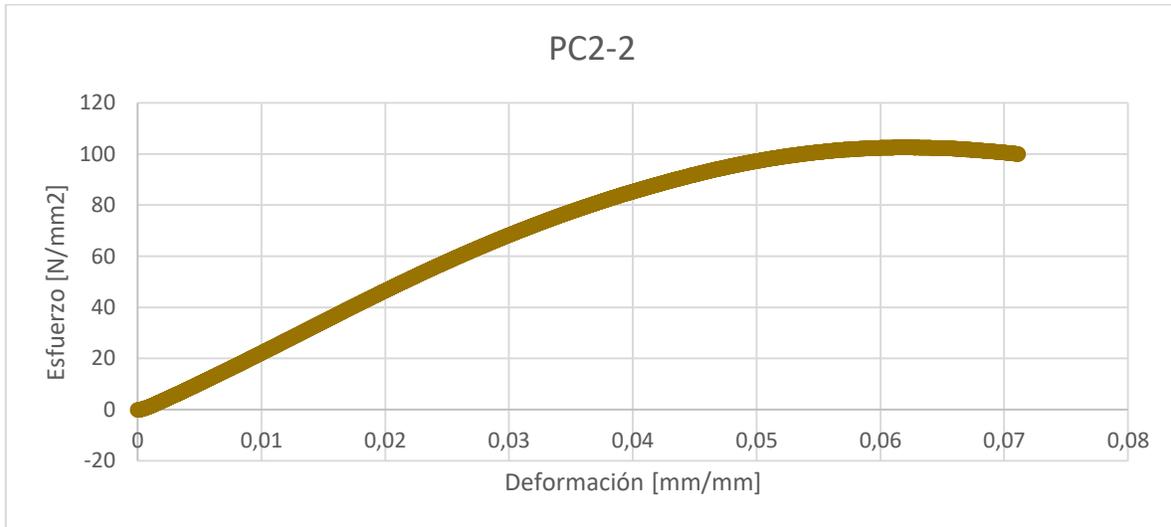
Las gráficas anteriores se analizaron con variación de t de compactación diferente para un mismo proceso ver **tabla 16**, se observó que en PC2-21 decayó el esfuerzo del material al deformarse con respecto a las **gráficas 19 y 21** este comportamiento es inusual ya que las condiciones de proceso no varían, y el material en un t de compactación medio obtuvo un resultado inferior al de un t de compactación menor, de esto se deduce que el material para esas condiciones y adquirir mejor resistencia debe ser sometido en compactación menor a 4s y mayor a 4s. Sin embargo, en su zona de elasticidad son similares.



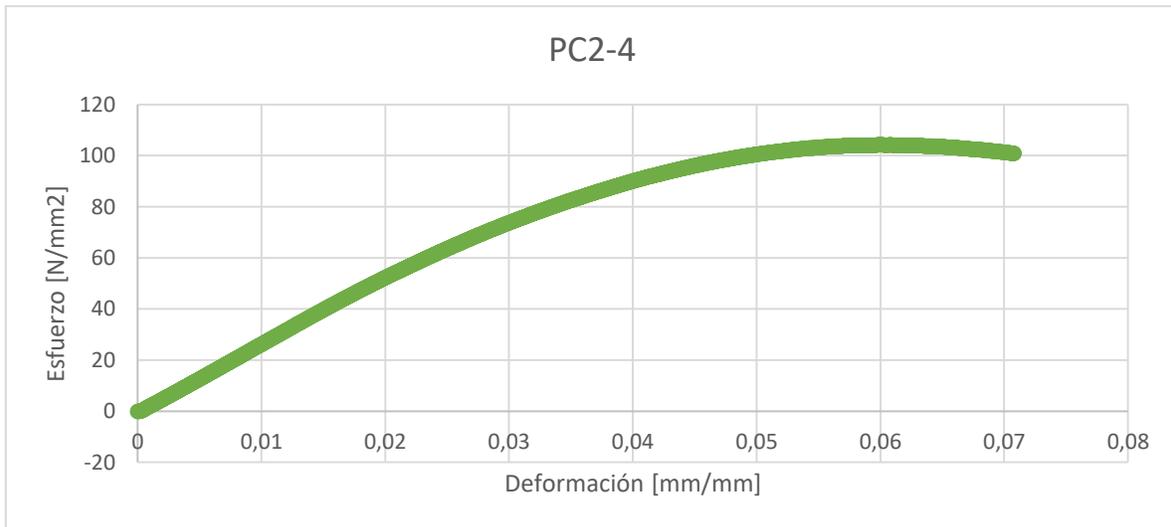
Datos 2. Condiciones de t compactación 15, P 400 Bar y 600 Bar, molde a T 50°C y 80°C.

	t enf [s]	t packing [s]	Packing [Bar]	T molde [°C]	T inyección [°C]	Probeta
2	15	1,5	400	50	300	PC2-2
4	15	4,0	400	50	300	PC2-4
6	15	7,7	400	50	300	PC2-6

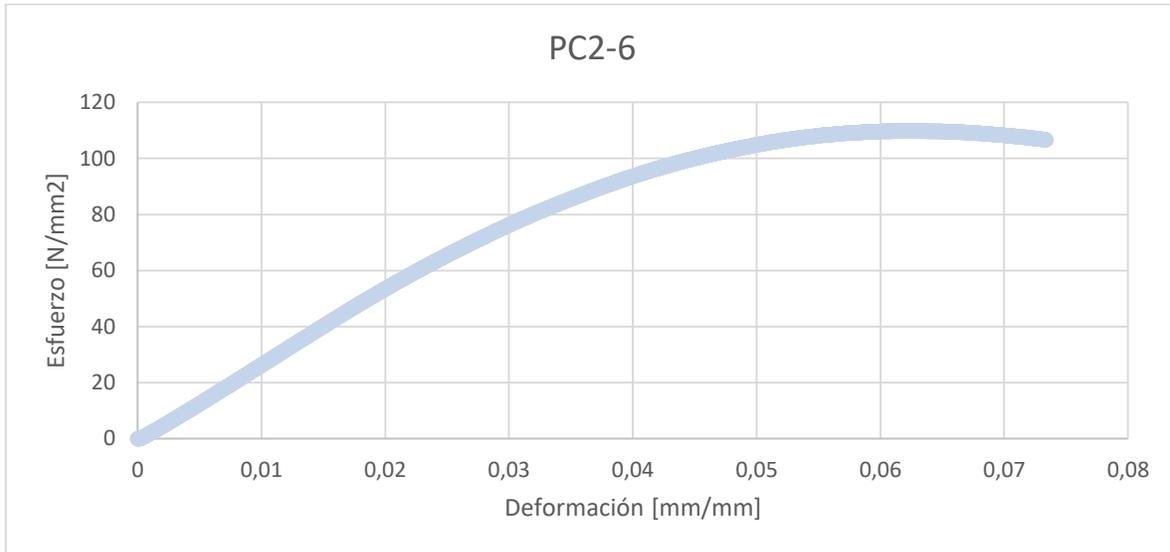
Tabla 17. Condiciones de procesamiento de materiales variación en t de compactación PC.



Gráfica 22. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-2**.



Gráfica 23. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-4**.

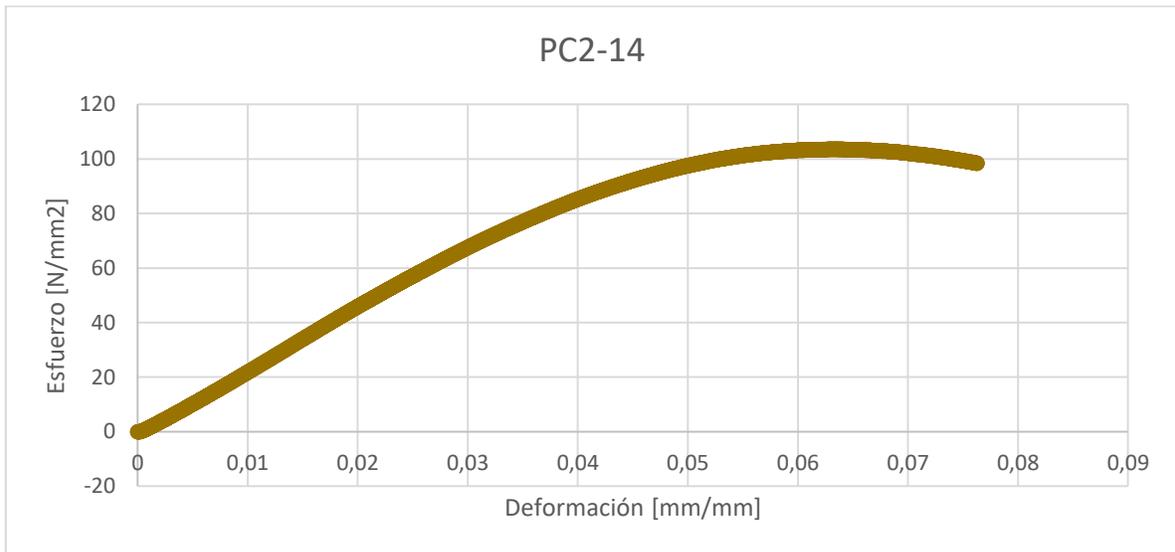


Gráfica 24. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-6**.

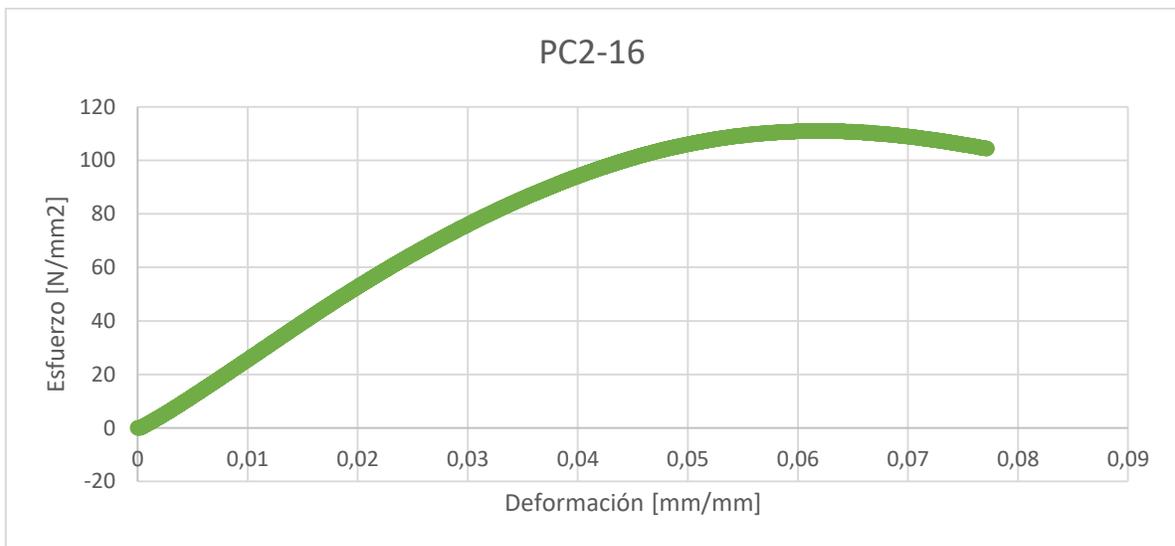
En las **gráficas 22-24** se logra apreciar que la variación de resistencia del material ver **datos 2**, estos resultados están ligados a la organización molecular que recibe el PC al ser inyectado, al presentar las mismas condiciones de proceso donde solo se varía el t de compactación, los materiales adquieren una resistencia a la deformación mayor, además estos también adquieren una gran ductilidad.

	t enf [s]	t packing [s]	Packing [Bar]	T molde [°C]	T inyección [°C]	Probeta
14	15	1,5	400	80	300	PC2-14
16	15	4,0	400	80	300	PC2-16
18	15	7,7	400	80	300	PC2-18

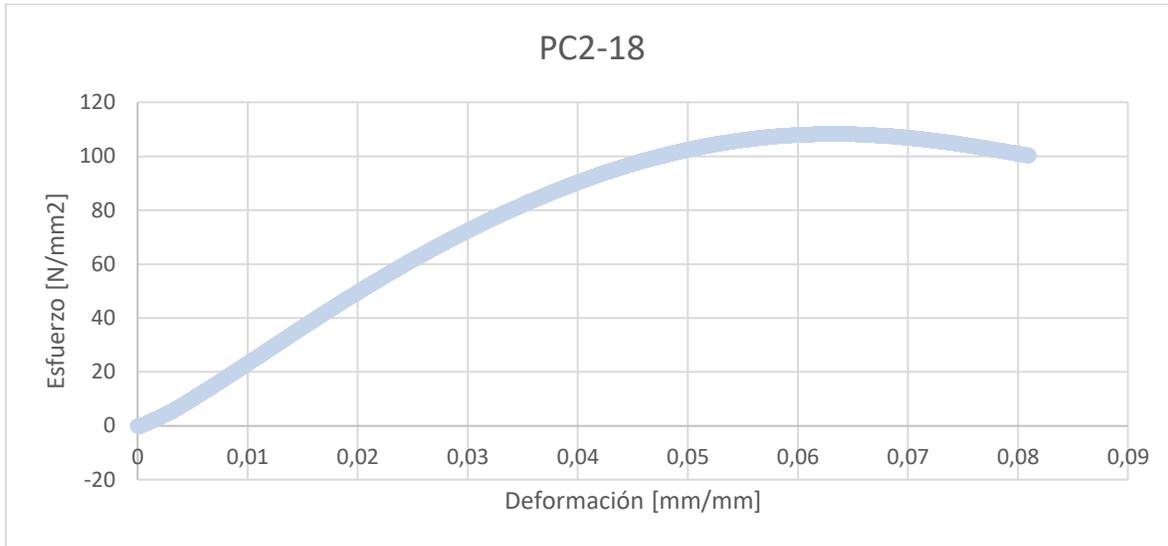
Tabla 18. Condiciones de procesamiento de materiales variación en t de compactación PC.



Gráfica 25. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-14.**



Gráfica 26. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-16.**

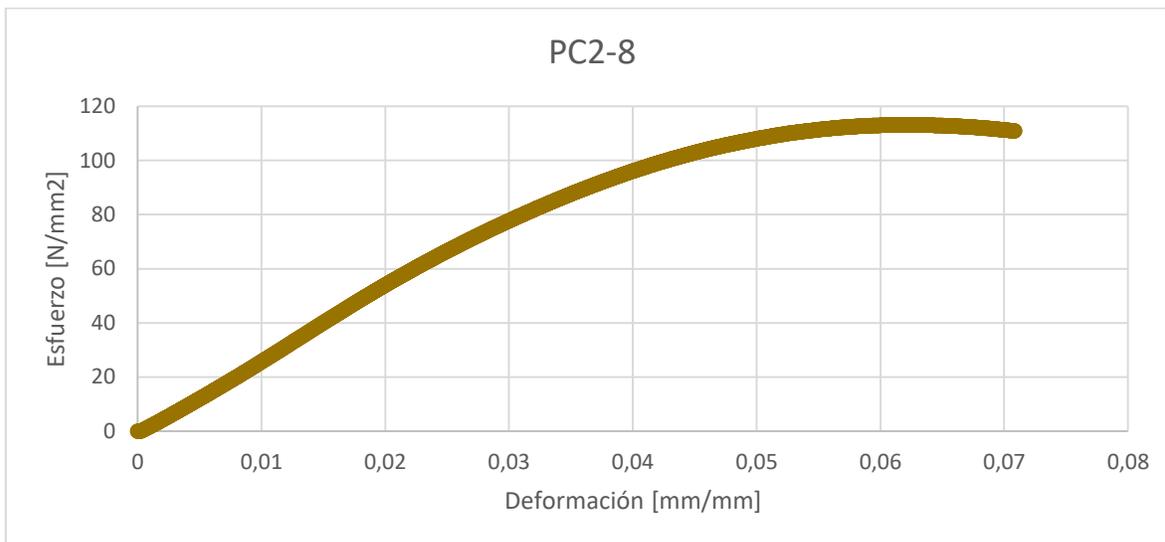


Gráfica 27. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-18**.

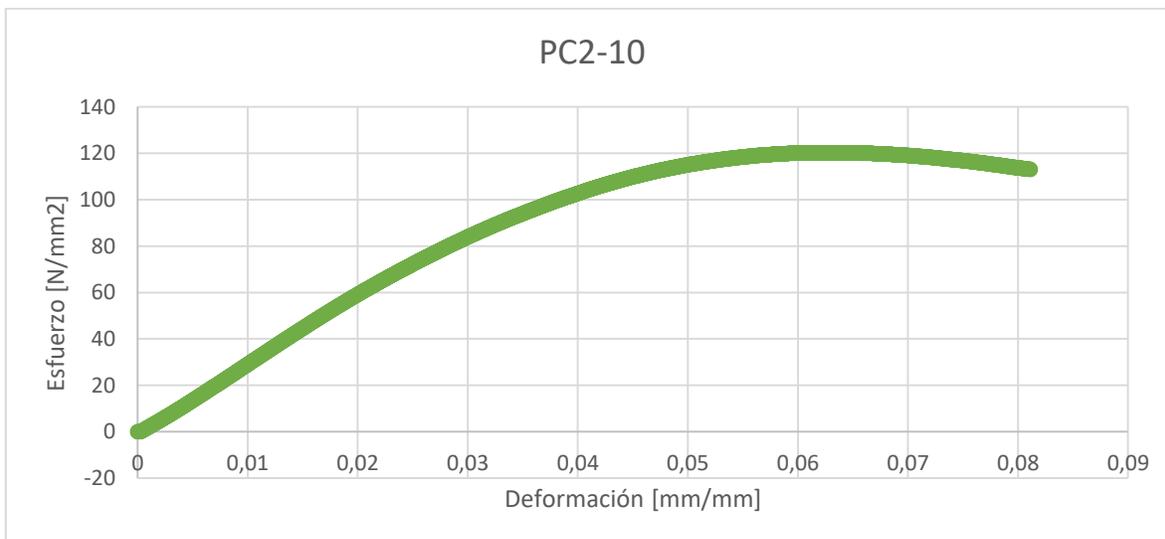
Los análisis de las **gráficas 25-27** muestran un comportamiento distinto a la descripción de las **gráficas 22-24**; al no continuar con su sucesión de mayor t de compactación mayor resistencia del material, se concluye que al variar la temperatura del molde repercute el esfuerzo a la deformación aplicado al PC, el molde al permanecer a cierta temperatura donde el PC está cerca de su límite de tolerancia, debilita el material cuando es compactado más tiempo, ya que sus cadenas poliméricas internas logran deslizarse entre ellas, por la temperatura y su lapso de tiempo en enfriarse impide la agrupación molecular y evita de cierto modo la formación de una estructura cristalina o semi-cristalina que le brinde al material resistencia.

	t enf [s]	t packing [s]	Packing [Bar]	T molde [°C]	T inyección [°C]	Probeta
8	15	1,5	600	50	300	PC2-8
10	15	4,0	600	50	300	PC2-10
12	15	7,7	600	50	300	PC2-12

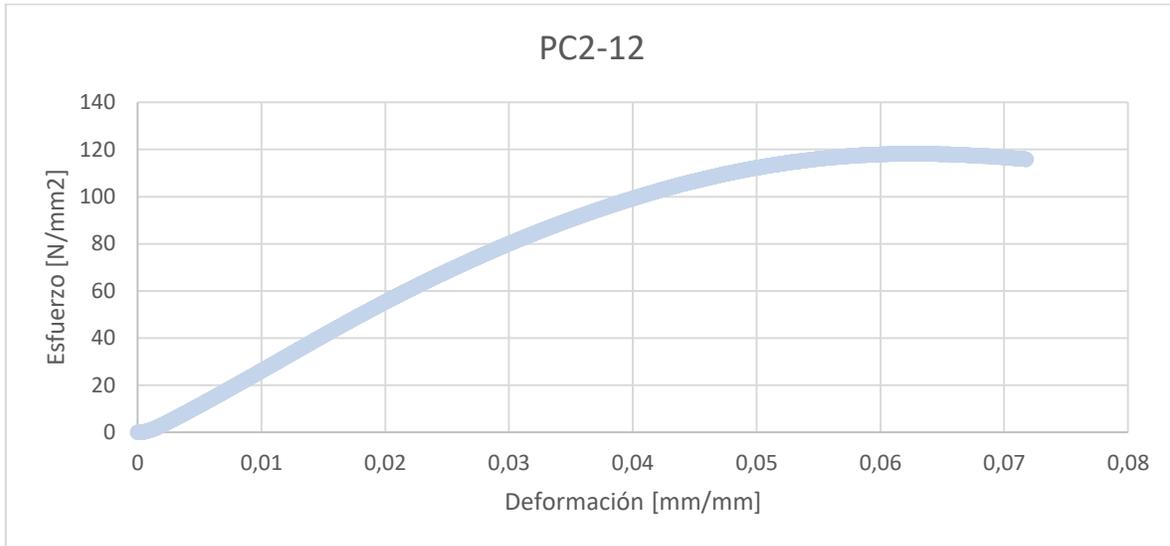
Tabla 19. Condiciones de procesamiento de materiales variación en t de compactación PC.



Gráfica 28. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-8**.



Gráfica 29. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-10**.

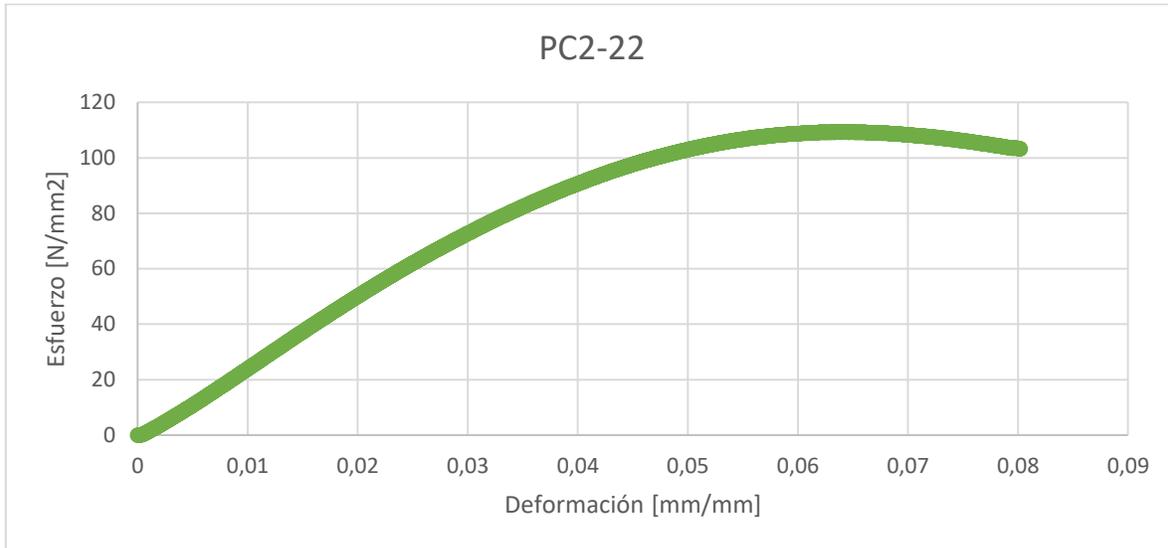


Gráfica 30. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-12**.

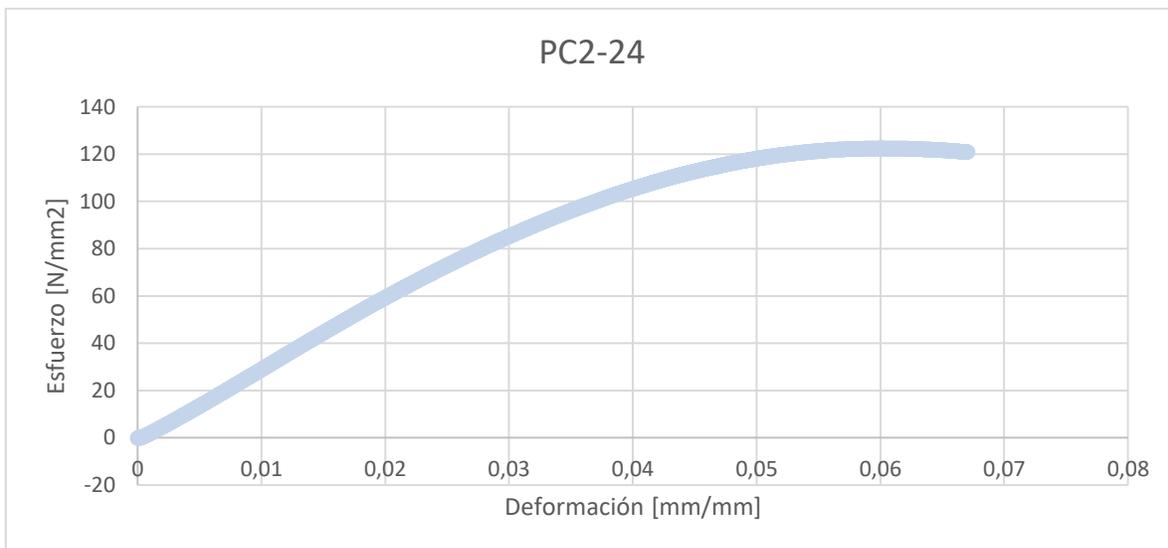
Como se aprecia en las gráficas anteriores el resultado de esfuerzo - deformación del PC, aumenta con respecto a los demás análisis, debido a la presión del proceso donde el material se encuentra en un estado de mayor homogenización además de permitirle una mejor compactación, le brinda la propiedad de resistencia al material por la agrupación molecular.

	t enf [s]	t packing [s]	Packing [Bar]	T molde [°C]	T inyección [°C]	Probeta
22	15	4	600	80	300	PC2-22
24	15	7,7	600	80	300	PC2-24

Tabla 20. Condiciones de procesamiento de PC, variación en t de compactación.



Gráfica 31. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-22**.



Gráfica 32. Curva de esfuerzo – deformación **PC2-24**.

Según el comportamiento del PC visto en las **gráficas 11-32** cada caso donde se revisó en detalle el comportamiento de las curva de esfuerzo – deformación para cada condición de proceso, se evidencia que para la necesidades de adquisición de un material con características específicas se puede obtener mediante procesos la resistencia, ductilidad, rigidez de un material, a menor tiempo de enfriamiento mayor será su resistencia, el comportamiento del material será semi-cristalino para el PC conservando una zona elástica

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

prolongada y buena resistencia a la deformación. En caso de un compuesto más dúctil sería un enfriamiento lento con una temperatura cerca la tolerancia última del PC para convertir un material amorfo, de esta manera según el tiempo de compactación generara una estructura uniforme que ayudará al material tener un comportamiento más resistente.

4.3.2. PROBETAS PS

En ese apartado se evidenciaran los resultados de las gráficas fuerza - desplazamiento con los datos obtenidos en la maquina universal en el análisis del comportamiento de las probetas de PS frente a esfuerzo a flexión de 3 puntos.

A continuación se muestran los 30 primeros datos obtenidos en la prueba de algunos de las probetas de PS en la maquina universal:

Condiciones de proceso PS

	t enf [s]	t packing [s]	Packing [Bar]	T molde [°C]	T inyección [°C]	Probeta
10	15	4,0	600	50	300	PS2-10
12	15	7,7	600	50	300	PS2-12
13	10	1,5	400	80	300	PS2-13
14	15	1,5	400	80	300	PS2-14

PS2-10		
Time	stroke (mm)	Force (N)
0	0	-0,2384186
0,04	0,000125	-0,2384186
0,08	0,0013125	-0,2384186
0,12	0,0028125	-0,2384186
0,16	0,004208333	-0,2384186
0,2	0,005583333	-0,2384186
0,24	0,0069375	-0,2384186
0,28	0,008270834	-0,2384186
0,32	0,009604166	-0,2384186
0,36	0,01091667	-0,2861023

0,4	0,01222917	-0,2861023
0,44	0,0135625	-0,2861023
0,48	0,01489583	-0,2861023
0,52	0,01622917	-0,2861023
0,56	0,0175625	-0,2861023
0,6	0,018875	-0,2861023
0,64	0,02020833	-0,2861023
0,68	0,0215625	-0,2861023
0,72	0,02289583	-0,2384186
0,76	0,02422917	-0,2384186
0,8	0,02558333	-0,2384186
0,84	0,0269375	-0,2861023
0,88	0,02827083	-0,2861023
0,92	0,02960417	-0,2384186
0,96	0,03091667	-0,2384186
1	0,03225	-0,222524
1,04	0,03358333	-0,2066294
1,08	0,03491667	-0,2066294
1,12	0,03625	-0,2066294

Tabla 21. Datos obtenidos de prueba a flexión maquina universal **PS2-10**.



Gráfica 33. Curva fuerza – desplazamiento **PS2-10**.

PS2-12		
Time	Stroke (mm)	Force (N)
0	0	-0,1589457
0,04	0,000145833	-0,1907349
0,08	0,001375	-0,1907349
0,12	0,002833333	-0,1907349
0,16	0,004208333	-0,1907349
0,2	0,0055625	-0,1907349
0,24	0,006895833	-0,1907349
0,28	0,00825	-0,1907349
0,32	0,009583334	-0,1907349
0,36	0,01089583	-0,222524
0,4	0,01222917	-0,222524
0,44	0,01354167	-0,222524
0,48	0,014875	-0,222524
0,52	0,01622917	-0,222524
0,56	0,0175625	-0,222524
0,6	0,01891667	-0,1907349
0,64	0,02027083	-0,222524
0,68	0,02158333	-0,222524
0,72	0,02291667	-0,1907349
0,76	0,02425	-0,1907349
0,8	0,0255625	-0,1907349
0,84	0,02689583	-0,1907349
0,88	0,02822917	-0,1589457
0,92	0,0295625	-0,1589457
0,96	0,03089583	-0,1589457
1	0,03222917	-0,1589457
1,04	0,03354166	-0,111262
1,08	0,034875	-0,07947286
1,12	0,03622917	-0,07947286

Tabla 22. Datos obtenidos de prueba a flexión maquina universal **PS2-12.**



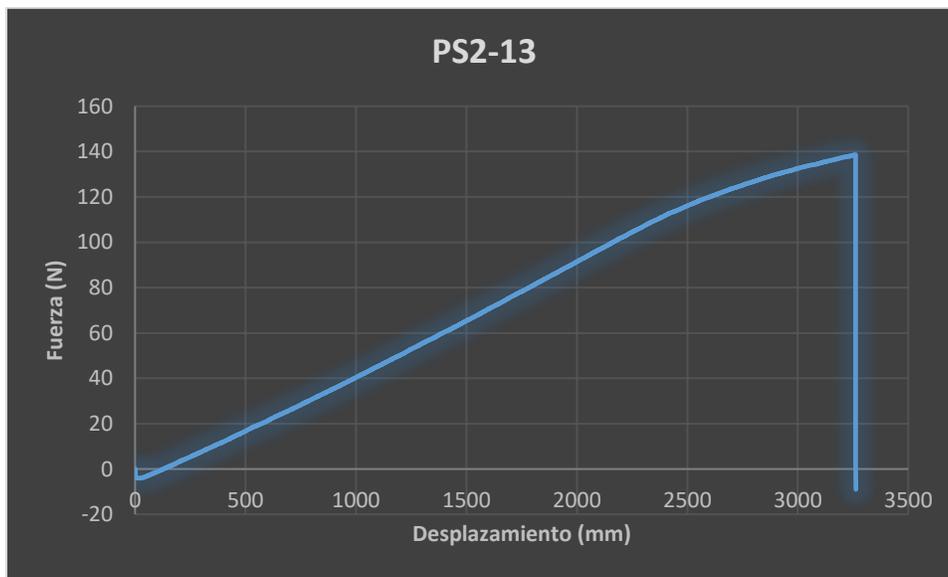
Gráfica 34. Curva fuerza – desplazamiento **PS2-12.**

PS2-13		
Time	Stroke (mm)	Force (N)
0	0	-3,910065
0,04	0,000125	-3,910065
0,08	0,001333333	-3,910065
0,12	0,0028125	-3,941854
0,16	0,004208333	-3,941854
0,2	0,005541666	-3,941854
0,24	0,006895833	-3,941854
0,28	0,008229166	-3,941854
0,32	0,0095625	-3,941854
0,36	0,01089583	-3,989538
0,4	0,01222917	-3,989538
0,44	0,0135625	-4,005432
0,48	0,01489583	-4,021327
0,52	0,01625	-4,021327
0,56	0,01758333	-3,989538
0,6	0,01891667	-3,989538
0,64	0,02027083	-3,989538
0,68	0,02158333	-4,021327
0,72	0,02291667	-4,021327
0,76	0,02425	-4,021327
0,8	0,02558333	-4,021327

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

0,84	0,02691667	-4,021327
0,88	0,02825	-4,021327
0,92	0,0295625	-3,989538
0,96	0,03089583	-3,989538
1	0,03220833	-3,989538
1,04	0,03354166	-3,941854
1,08	0,034875	-3,941854
1,12	0,03622917	-3,910065

Tabla 23. Datos obtenidos de prueba a flexión maquina universal **PS2-13**.

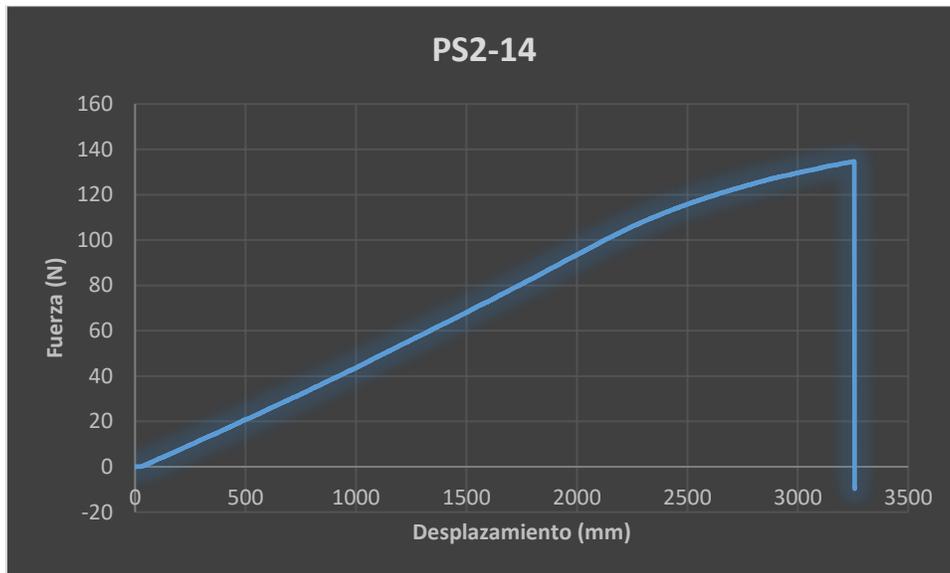


Gráfica 35. Curva fuerza – desplazamiento **PS2-13**.

PS2-14		
Time	Stroke	Force
0	0	0,1589457
0,04	0,000145833	0,1589457
0,08	0,001375	0,111262
0,12	0,0028125	0,1589457
0,16	0,0041875	0,1589457
0,2	0,005541666	0,1589457
0,24	0,006895833	0,1589457
0,28	0,008229166	0,1589457
0,32	0,0095625	0,1589457
0,36	0,01089583	0,111262
0,4	0,01225	0,111262
0,44	0,01358333	0,111262

0,48	0,01491667	0,111262
0,52	0,01627083	0,111262
0,56	0,01760417	0,111262
0,6	0,01891667	0,111262
0,64	0,02025	0,111262
0,68	0,02158333	0,07947286
0,72	0,02289583	0,07947286
0,76	0,02425	0,07947286
0,8	0,0255625	0,07947286
0,84	0,02689583	0,111262
0,88	0,02820833	0,111262
0,92	0,02954167	0,111262
0,96	0,030875	0,111262
1	0,03220833	0,1589457
1,04	0,0335625	0,1589457
1,08	0,03491667	0,1589457
1,12	0,03625	0,1907349

Tabla 24. Datos obtenidos de prueba a flexión maquina universal **PS2-14**.



Gráfica 36. Curva fuerza – desplazamiento **PS2-14**.

Para este apartado el análisis de las curvas de fuerza – desplazamiento se evidencia el comportamiento del material frente a prueba flexión, donde sus condiciones de operación son bajas este adquiere cierta resistencia mayor que con parámetros más altos, el comportamiento del PS en este estudio es frágil donde se evidencia que el mismo punto de fluencia es el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

mismo punto de ruptura. Para los fabricantes determinar parámetros o condiciones de procesamiento de este material debe tener en cuenta la necesidad, ya que para mayor esfuerzo las condiciones de operación no deben ser tan altas, de lo contrario el material al ser sometido a mayores condiciones puede decaer su resistencia y variará también su ductilidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Se evidencia las gráficas de deformación de los materiales con respecto a los datos obtenidos por el programa Trapezium X valores tomados en fuerza (N) y deformación (mm), donde arroja datos significativos que de acuerdo a la fuerza aplicada a un determinado material su resistencia varia de forma significativa, encontrándose que a ciertos factores de procesamiento, composición, añadidura de aditivos o presencia de otro elemento varia significativamente la resistencia del material que se desea trabajar.
- La manera como un material es procesado erradica mucho en sus esfuerzos mecánicos se por condiciones como: inyección, extrusión, mecanizado, temperaturas elevadas, tratamientos químicos, aditivos, compuestos aleados, entre otros. Son determinantes finales del esfuerzo máximo permisivo de un material para su función, donde varia rigidez, ductilidad o tenacidad de los materiales, por lo que según su necesidad yace una condición, aleación o tratamiento específico que le permitirá cumplir su función para la cual fue fabricado.
- La investigación evidencia que los materiales poliméricos, fibras metálicas, textiles y sintéticas en su gran variedad de utilidades, tienen factores importantes con los cuales es posible determinar la selección adecuada de ellos de acuerdo a su finalidad, un exhaustivo análisis y pruebas determinaran según el fabricante que es lo que en realidad necesita para garantizar la función final de un equipo o material que se va a trabajar o hacer.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Algunos elementos requieren de equipos especiales de medición, dado que el rango de sensibilidad en captación de datos puede ser un factor que dé como resultado lecturas erróneas que pueda dar un certamen no ideal para ciertos materiales; que al final no cumplen con los parámetros ya medidos a la necesidad y pueda generar inconformidad o en el peor de los casos fallas inesperadas de una fabricación.
- Los trabajos a futuro se tomarán con nuevos materiales que surjan en cuanto materiales de ingeniería. donde serán más resistentes y con propiedades en peso que permitirá el avance en investigaciones para determinar la selección correcta de materia prima en cuanto a costo, durabilidad, beneficio y garantía de los mismos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Bejera, P., Bajeti, v., Militky, J., & Naeem, S. (2017). Microstructure and mechanical properties of carbon microfiber. *Elsevier*, 733.
- Núñez, C., Roca, A., & Jorba, J. (2011). *Comportamiento mecánico de los materiales* . Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Smith, W. F., & Hashemi, J. (2004). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* . México: 4ta.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES 

FIRMA ASESOR 

NOTA: Trabajo de proyecto de grado modalidad de producto de laboratorio finalizado marzo 20 de 2018

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO_ ACEPTADO____ ACEPTADO CON
MODIFICACIONES_____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____