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

PRUEBAS MECÁNICAS EN sensores de fibra óptica PARA CALIBRACIÓN DE LA VARIABLE DEFORMACIÓN

Jefferson Estidwar Perdomo Olarte

Tecnología en Electromecánica Industrial

Carlos Andrés Vargas

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

08 de Marzo de 2017

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

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es medir la resistencia mecánica y deformación de una fibra, para lograr una calibración precisa de un sensor de fibra óptica, utilizando las herramientas electromecánicas del laboratorio de polímeros de la institución universitaria ITM.

Se emplearon fibras de vidrio con recubrimiento termoplástico de poli-imida, para lo cual se hizo un montaje especial diferente al empleado en los ensayos estandarizados de resistencia en materiales, ya que la geometría de las fibras (hilos, mechas) de pequeño diámetro en micras difiere de las muestras empleadas convencionalmente (placas, cilindros) de dimensiones en milímetros. Una vez realizado el montaje, se pudo determinar los niveles de deformación máximos bajo los cuales se puede determinar la señal de medida del sensor de fibra óptica, es decir, el rango de medida deformación que puede medir estos tipos de sensores.

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

RECONOCIMIENTOS

Ofrezco total agradecimiento al docente Carlos Andrés Vargas Isaza por su colaboración, acompañamiento y entrega durante el semestre 2016-2, porque gracias a su apoyo fue posible la realización del presente trabajo. Además por haber compartido conmigo sus conocimientos y por las facilidades otorgadas en el laboratorio.

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

ACRÓNIMOS

F/A Fuerza sobre área

L/L ini Longitud sobre longitud inicial

MPa Mega Pascales

Mm Milímetros

 Institución Universitaria	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.....	17
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	25
REFERENCIAS	26
APÉNDICE.....	27

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

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto resulta de un trabajo de investigación propuesto por el docente Carlos Andrés Vargas que se desarrolló en el Laboratorio de Polímeros del ITM, con el fin de determinar la resistencia mecánica y la deformación en fibras, información que era necesaria para la calibración del sensor de fibra óptica adquiridos por la Institución.

Esta propiedad de las fibras es muy importante para la preparación e instalación de los cables de fibras ópticas. Durante la fabricación del cable y durante su instalación, la fibra es solicitada por tensiones y aquellas de baja resistencia son fracturadas durante esos procesos.

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

2. MARCO TEÓRICO

FIBRA ÓPTICA:

Medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos y telecomunicaciones, consiste en un hilo muy fino de material transparente por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir.

A continuación algunas ventajas del uso de fibra óptica:

- Representa a menudo para los operadores de telecomunicaciones una baja implementación y costo de operación.
- Su uso en aplicaciones de sensores está creciendo, impulsado por la gran investigación realizada en esta área en los últimos años y aprovechando las ventajas de la tecnología óptica.

FIBRAS SINTÉTICAS:

- **Fibras de celulosa:** Las fibras de rayón se elaboran con la celulosa extraída de la pulpa. En primer lugar, se disuelve la celulosa en diversos productos químicos. El líquido resultante se bombea a través de conductos o agujeros, llamados hileras, y se sumergen en otra disolución química, donde se solidifican en finas hebras. Varias de estas hebras se tuercen (hilan) juntas para producir la hilaza de rayón, con la cual se tejen las telas y prendas de ropa. El rayón tiene la ventaja de que se tiñe con gran facilidad.
- **Fibras plásticas:** Es posible obtener fibras a partir de plásticos, fundiéndolos o disolviéndolos y después haciendo pasar el líquido resultante a presión a través de una hilera, para que se solidifique en finas hebras.
- **Fibras de origen mineral:** Las fibras de vidrio se consiguen fundiendo vidrio en un horno a propósito, provisto de muchos agujeros minúsculos. El vidrio fundido pasa a través de los orificios y posteriormente se solidifica en finas barritas de la longitud

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

deseada. La fibra de vidrio se utiliza para aislar edificios, y también en ciertos tipos de cortinas. Muchas fibras de vidrio pegadas apretadamente en muchas capas permiten producir láminas muy resistentes, que se utilizan en la fabricación de cascos de embarcaciones y en las carrocerías de ciertos modelos de automóviles.

PROPIEDADES MECANICAS:

Describe que tanto resiste la fuerza aplicada, incluyendo fuerzas de tensión o de compresión, de impacto, cíclicas o de fatiga, o las fuerzas de altas temperaturas.

Las fibras ópticas se utilizan principalmente como medio de transmisión en comunicaciones ópticas, sin embargo, sus aplicaciones en la tecnología de detección están creciendo.

ELASTICIDAD:

El término elasticidad designa la propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan.

PLASTICIDAD:

La plasticidad es la propiedad mecánica que tiene un material para deformarse permanentemente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su límite elástico.

RESISTENCIA A LA FLUENCIA:

Es la fuerza que se le aplica a un material para deformarlo sin que recupere su antigua forma al parar de ejercerla.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN:

Indica la fuerza de máxima que se le puede aplicar a un material antes de que se rompa.

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

RESISTENCIA A LA TORSIÓN:

Fuerza torosa máxima que soporta un material antes de romperse.

RESISTENCIA A LA FATIGA:

Deformación de un material que puede llegar a la ruptura al aplicarle una determinada fuerza repetidas veces.

DUREZA:

La dureza es la propiedad que tienen los materiales de resistir el rayado y el corte de su superficie. Por ejemplo: la madera puede rayarse con facilidad, esto significa, que no tiene mucha dureza, mientras que el vidrio cuando lo rayas no queda marca, por lo tanto tiene gran dureza.

FRAGILIDAD:

La fragilidad intuitivamente se relaciona con la cualidad de los objetos y materiales de romperse con facilidad. Aunque técnicamente la fragilidad se define más propiamente como la capacidad de un material de fracturarse con escasa deformación, a diferencia de los materiales dúctiles que se rompen tras sufrir acusadas deformaciones plásticas.

TENACIDAD:

La tenacidad es una medida de la cantidad de energía que un material puede absorber antes de fracturarse. Evalúa la habilidad de un material de soportar un impacto sin fracturarse. En el siguiente link hay una información muy completa de propiedades mecánicas:

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Refractarios.PropiedadesMECANICAS.pdf>

3. METODOLOGÍA

FICHA TÉCNICA:

BARE FBG

BARE FBG (BARE Fiber Bragg Grating Sensor)
 Application: Structural Health Monitoring, Strain Monitoring, Composite Strain Monitoring

We manufacture bare FBG and supply to world wide, our FBG is specially designed for civil engineering, bridge monitoring structural health monitoring. To measure microstrain, $1.2\mu\text{m}(0.0012\text{mm})=1\mu\epsilon$.

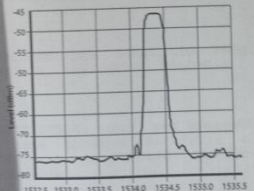
Bare FBG Strain Sensor

- Center Wavelength: any wavelength between 1510 to 1590nm
- Grating Length: 10 mm(standard), 1mm, 2mm, 3mm, 5mm, 15mm
- Stripping Area: 30mm
- FBG Type: Apodized
- Strain Range: $\pm 3000\mu\epsilon$ ($\pm 5000\mu\epsilon$ as option)
- Tolerance: $\pm 0.5\text{mm}$

Grating Length:	1mm	2mm	3mm	5mm	10mm	15mm
Reflectivity:	>70%	>70%	>70%	>75%	>90%	>90%
Bandwidth at -3dB: nm	<0.7	<0.7	<0.7	<0.6	<0.3	<0.25

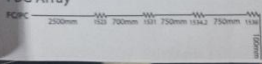
- SLSR: >15dB
- Proof Test: >100kpsi
- Coating: none, acrylate or polyimide
- Fiber Type: Acrylate SMF-28e or Polyimide SMF28e (OFS BF04446)
- Pigtail Length: 1m
- Operating Temperature: Acrylate SMF-28 fiber (5-120degC), Polyimide SMF28e (-40 to 300degC)

Bare FBG
 Note: Suitable for strain or temperature measurement

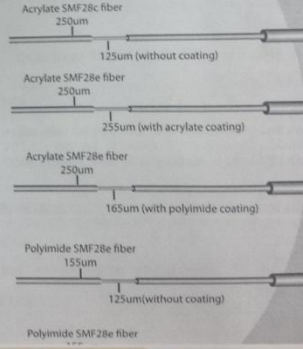


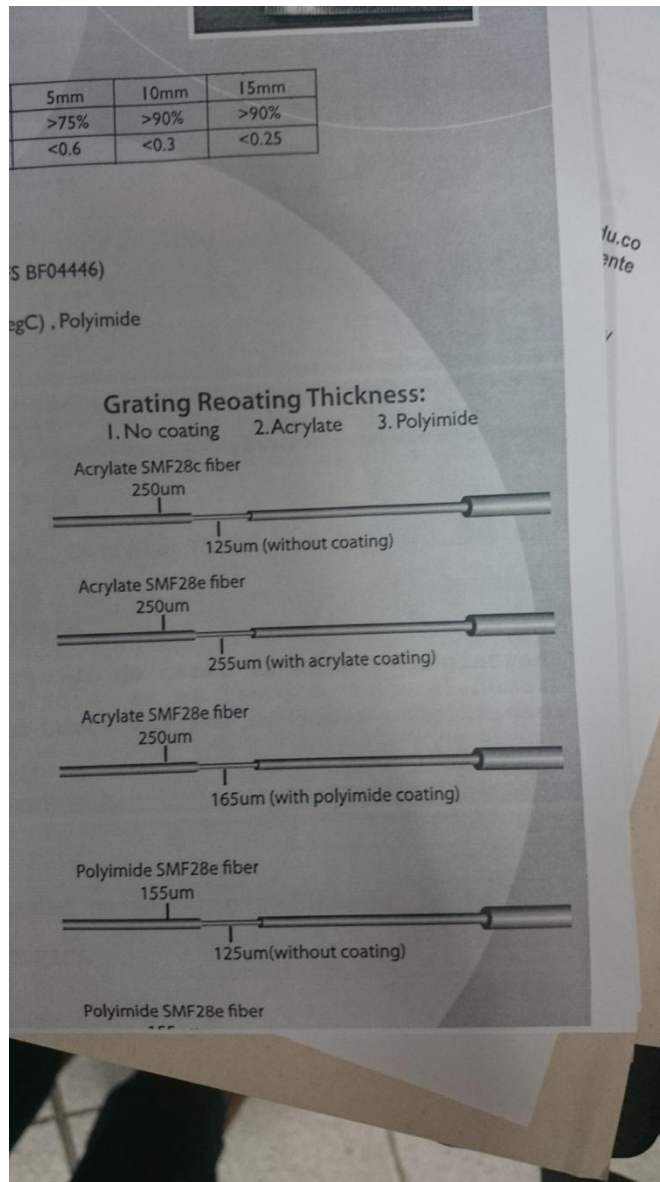
We can write the multi FBG on one fiber, distance between the fbgs can be followed by customer's requirement.

FBG Array



Grating Reoating Thickness:
 1. No coating 2. Acrylate 3. Polyimide





DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA INICIAL:

Intentamos realizar un montaje que consistía en un dinámetro digital anclado de dos soportes, uno fijo y uno móvil, que le daría desplazamiento horizontal a la fibra buscando medir su deformación hasta el momento de colapsar.

Utilizando una regla dibujaríamos uno de los soportes fijos y con el dinamómetro mediríamos la fuerza aplicada hasta el colapso.

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

Lo anterior no fue posible debido a que el dinamómetro digital más pequeño que encontramos en el mercado solo medía a escala de 0,10 newton y requeríamos de una escala más pequeña para nuestras gráficas como veremos a continuación. Por lo anterior descartamos este montaje.



DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO DE LA MÁQUINA UNIVERSAL:

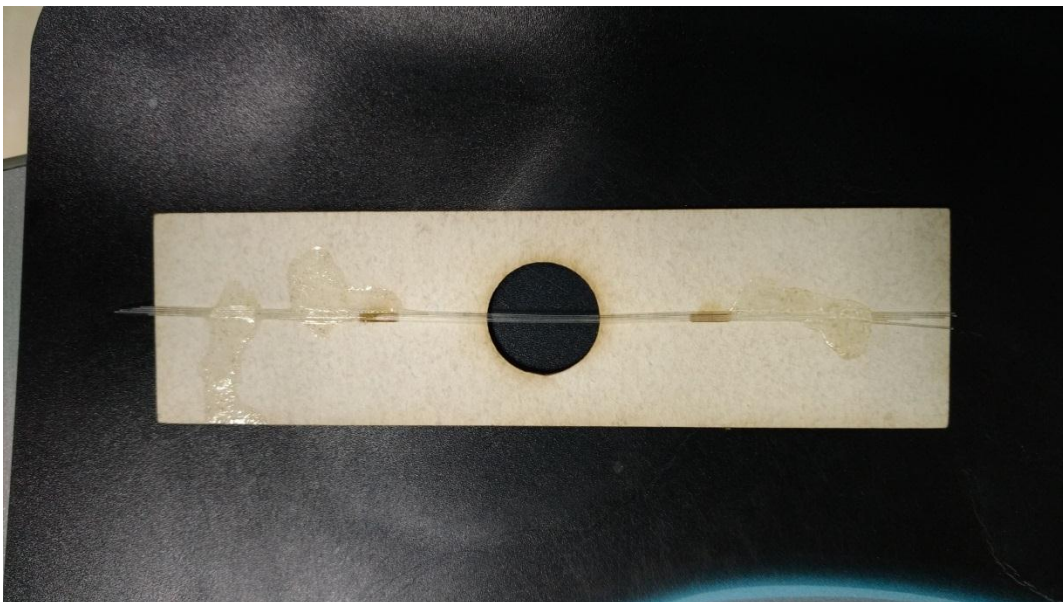
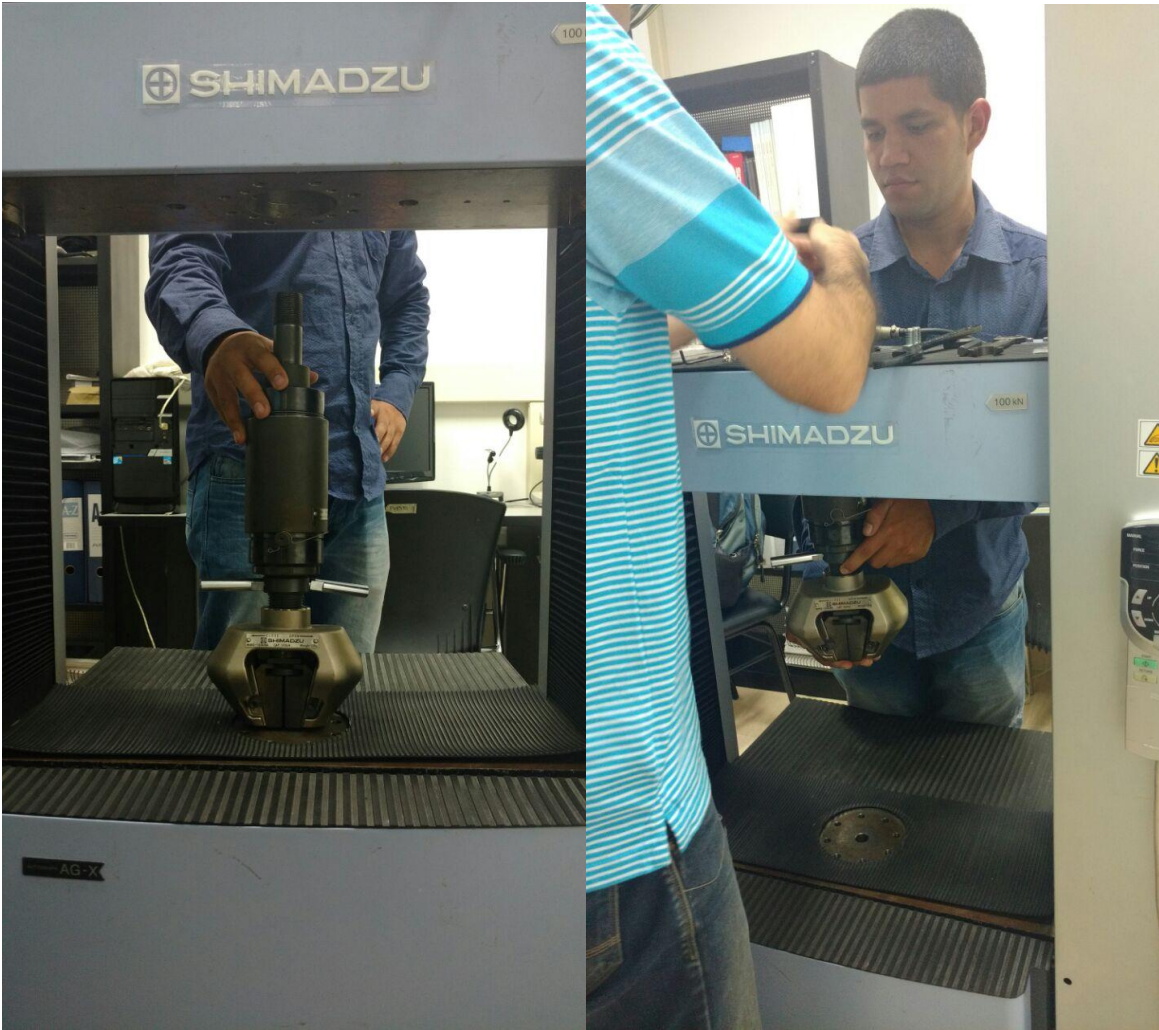
Se emplearon unas fibras de vidrio con recubrimiento termoplástico de poliimida, las cuales fueron preparadas en unas probetas de cartón que facilitarían el agarre en la máquina universal de ensayos del laboratorio de polímeros ITM, la máquina nos entrega los datos de fuerza (newton) y longitud del desplazamiento (mm), luego con estos datos se determinan las variables esfuerzo y deformación, que se calculan con las siguientes ecuaciones:

F/A (fuerza sobre área) para determinar el esfuerzo

L/L_{inc} (longitud sobre longitud inicial) para determinar la deformación


Algunas fotos del montaje:

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







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

Luego de varios ensayos obtuvimos los resultados de la siguiente tabla:

TIEMPO	FUERZA	DEFORMATION		
Segundos	Newton	Mm	Kg	
0	0.00389417	0	0.0003969592253	0
0.01	0.00389417	2.08E-05	0.0003969592253	0
0.02	0.00389417	0.00025	0.0003969592253	0
0.03	0.00389417	0.0008958333	0.0003969592253	0
0.04	0.00389417	0.002	0.0003969592253	0
0.05	0.00389417	0.003291667	0.0003969592253	0
0.06	0.00389417	0.00475	0.0003969592253	0
0.07	0.00389417	0.006291667	0.0003969592253	0
0.08	0.00389417	0.0078125	0.0003969592253	0.000008101223242
0.09	0.003973643	0.009416667	0.0004050604485	0.007922982365
0.1	0.0816981	0.01108333	0.008328042813	0.00462579001
0.11	0.1270771	0.01275	0.01295383282	0.004609592253
0.12	0.1722972	0.0144375	0.01756342508	0.005606034659
0.13	0.2272924	0.01610417	0.02316945973	0.005241478084

$$(1) \quad \sigma = \frac{F}{A}$$

σ : Presión

ε : Esfuerzo en [MPa]

$$(2) \quad A = \pi * r^2$$

Dónde:

F: Fuerza en [N]

r: Radio de la fibra [mm]

$$(3) \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

A: Área transversal de la fibra en [mm²]

ΔL : cambio de longitud en el ensayo [mm]

L_0 : Longitud inicial de la fibra [mm]

- La primera columna nos muestra el tiempo con el que abusaba la máquina.
- La segunda nos muestra la fuerza que estaba aplicando en newton.
- La tercera la carrera medida en mm.
- La cuarta la fuerza en kilogramos.
- La ultima la deformación.

Como podemos observar en la tabla los datos hasta 0.003973643 newton no son confiables, pero de ahí en adelante nos sirvieron perfectamente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

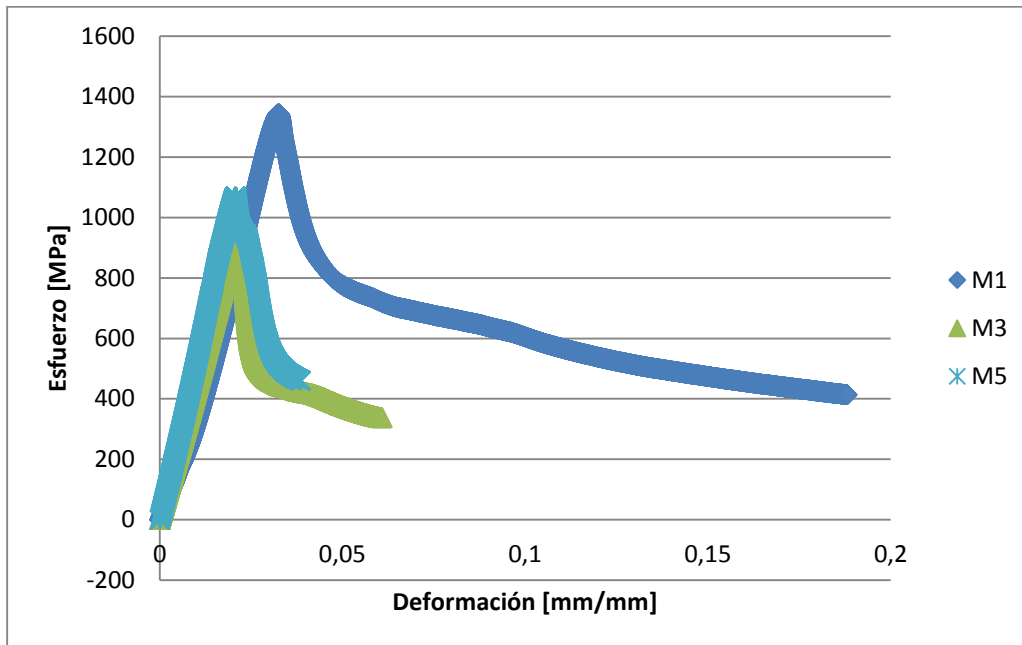
Los resultados obtenidos en la maquina los tabulamos en el programa de cálculo Excel, le aplicamos las formulas antes mencionadas y los graficamos posteriormente como muestra la figura:

TIME	FORCE	STROKE	DEF	ESF
Sec	N	Mm	Mm/mm	MPa
0	-0,000715256	0	0	-0,05828428
0,01	-0,000715256	2,08E-05	4,16667E-07	-0,05828428
0,02	-0,000715256	0,000125	0,0000025	-0,05828428
0,03	-0,000715256	0,0004375	0,00000875	-0,05828428
0,04	-0,000715256	0,0009375	0,00001875	-0,05828428
0,05	-0,000715256	0,001583333	3,16667E-05	-0,05828428
0,06	-0,000715256	0,0023125	0,00004625	-0,05828428
0,07	-0,000715256	0,003083333	6,16667E-05	-0,05828428
0,08	-0,000715256	0,003916667	7,83333E-05	-0,05828428
0,09	-0,000715256	0,004729167	9,45833E-05	-0,05828428
0,1	-0,000715256	0,0055625	0,00011125	-0,05828428
0,11	-0,000715256	0,006395833	0,000127917	-0,05828428
0,12	-0,000715256	0,007229167	0,000144583	-0,05828428
0,13	-0,000715256	0,008083333	0,000161667	-0,05828428

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

0,14	0,04323323	0,008916667	0,000178333	3,52296052
0,15	0,04824002	0,00975	0,000195	3,93095047
0,16	0,05642573	0,0105625	0,00021125	4,59798213
0,17	0,06079674	0,01141667	0,000228333	4,95416407
0,18	0,07128716	0,01225	0,000245	5,80900039
0,19	0,07573763	0,01308333	0,000261667	6,17165731
0,2	0,08400282	0,01391667	0,000278333	6,84516559
0,21	0,08781751	0,01477083	0,000295417	7,15601449
0,22	0,09433428	0,01560417	0,000312083	7,68704869
0,23	0,1024405	0,0164375	0,00032875	8,34760292
0,24	0,1096725	0,01729167	0,000345833	8,93691929
0,25	0,1207987	0,018125	0,0003625	9,84356363
0,26	0,1227856	0,01895833	0,000379167	10,0054708
0,27	0,1296997	0,01979167	0,000395833	10,5688824

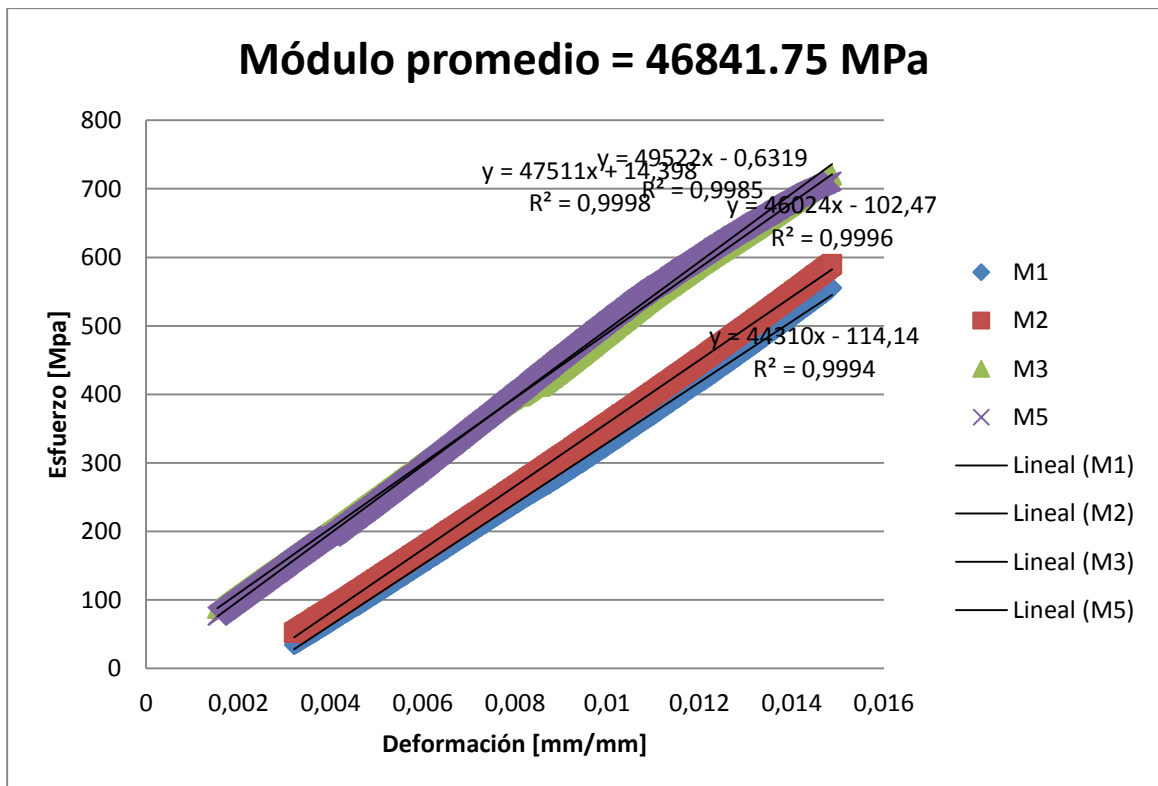
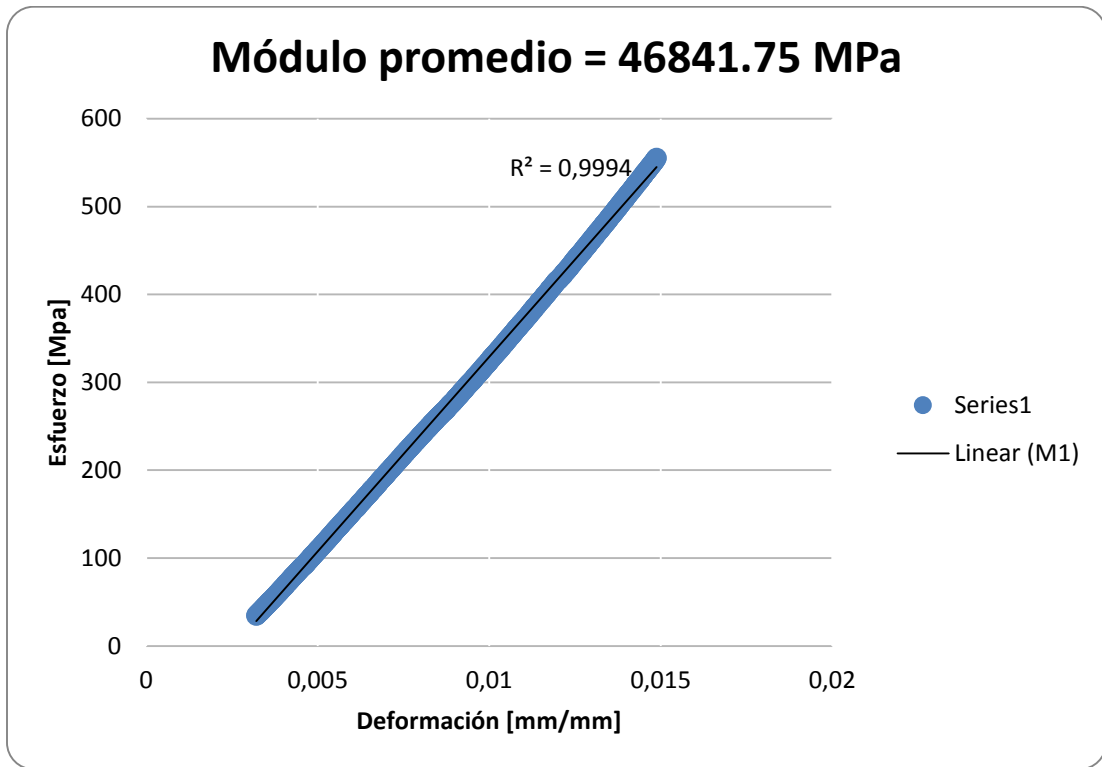
Grafica Esfuerzo (MPa) Vs Deformación (Mm/Mm)

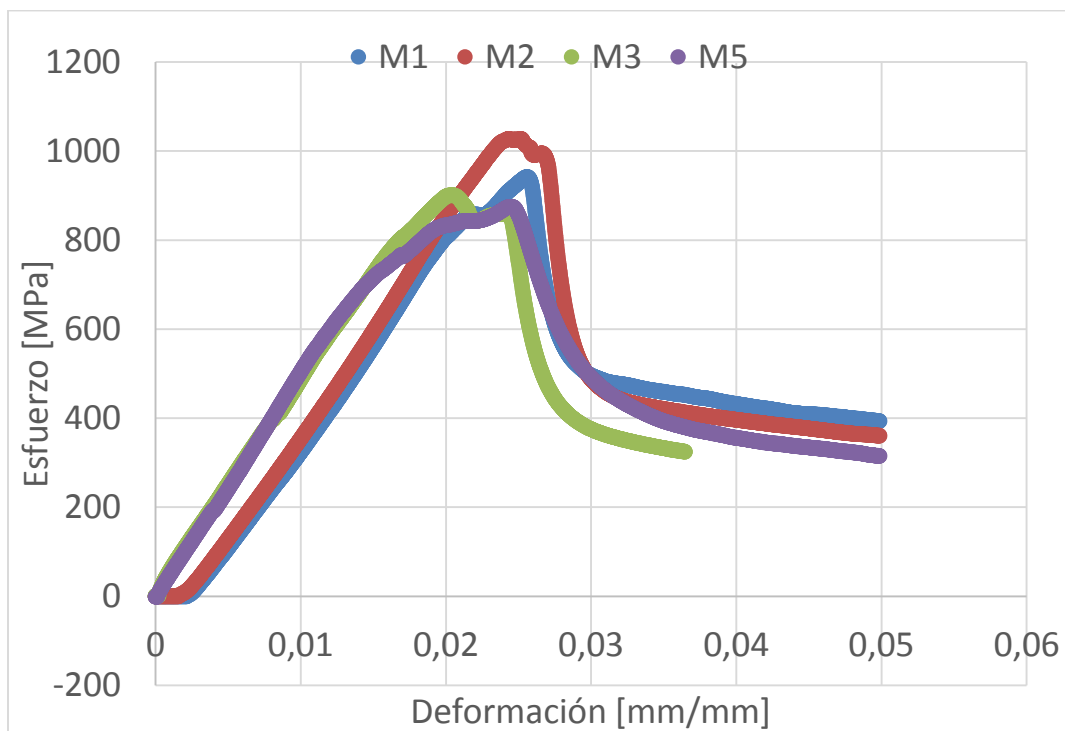
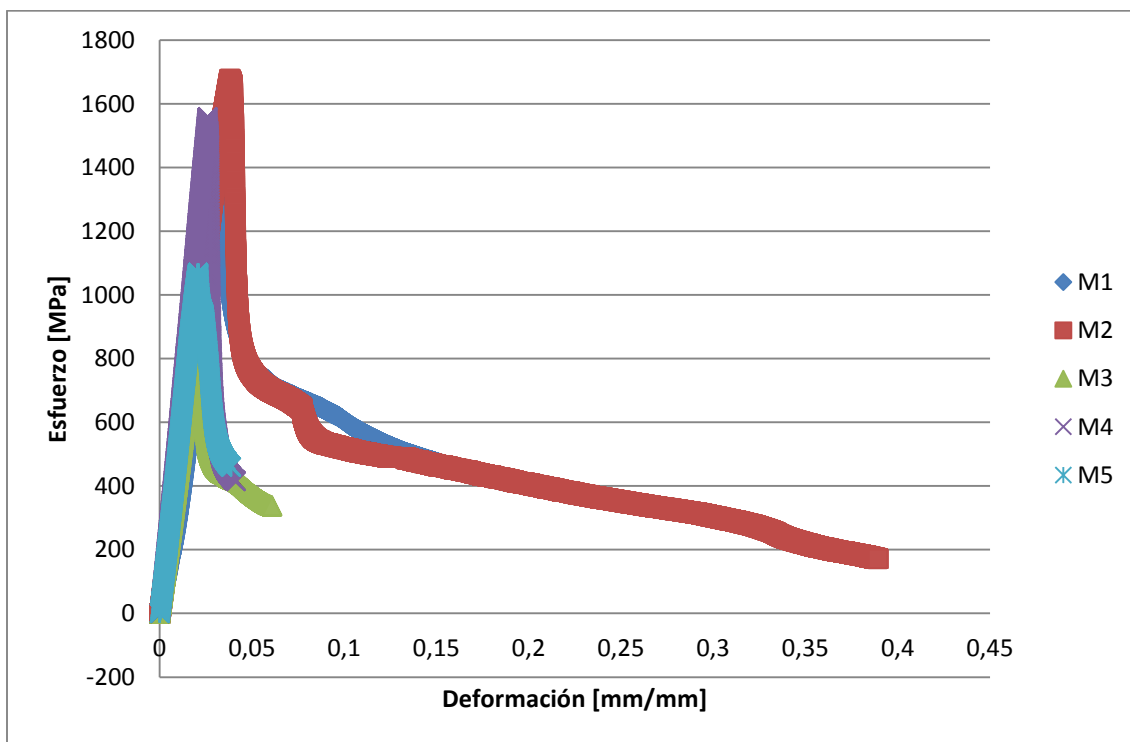


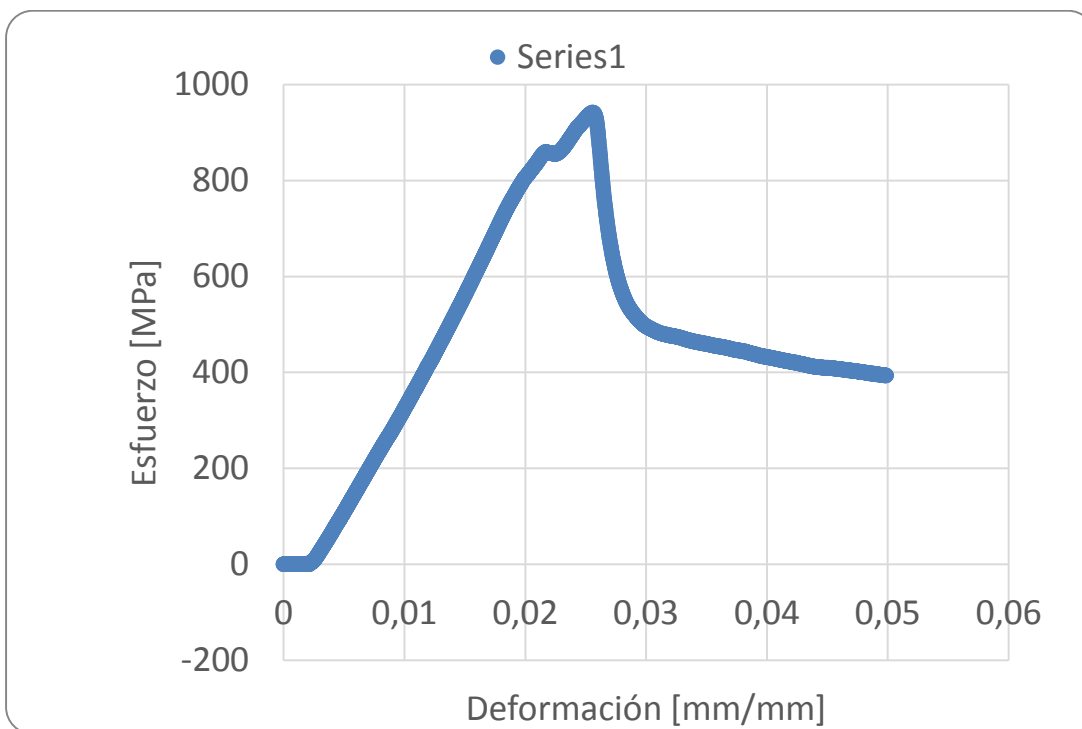
Con los resultados que nos ofreció la gráfica podemos evidenciar que las fibras soportan esfuerzos máximo entre los 1200 y 1400 mega pascales, además que se deja deformar máximo hasta los (0.05) mm luego colapsa.

Con estos resultados pudimos concluir con exactitud la resistencia mecánica de las fibras, el rango de esfuerzo que soportan y deformación, los resultados nos serán muy útiles para la calibración de nuestro sensor de fibra óptica.

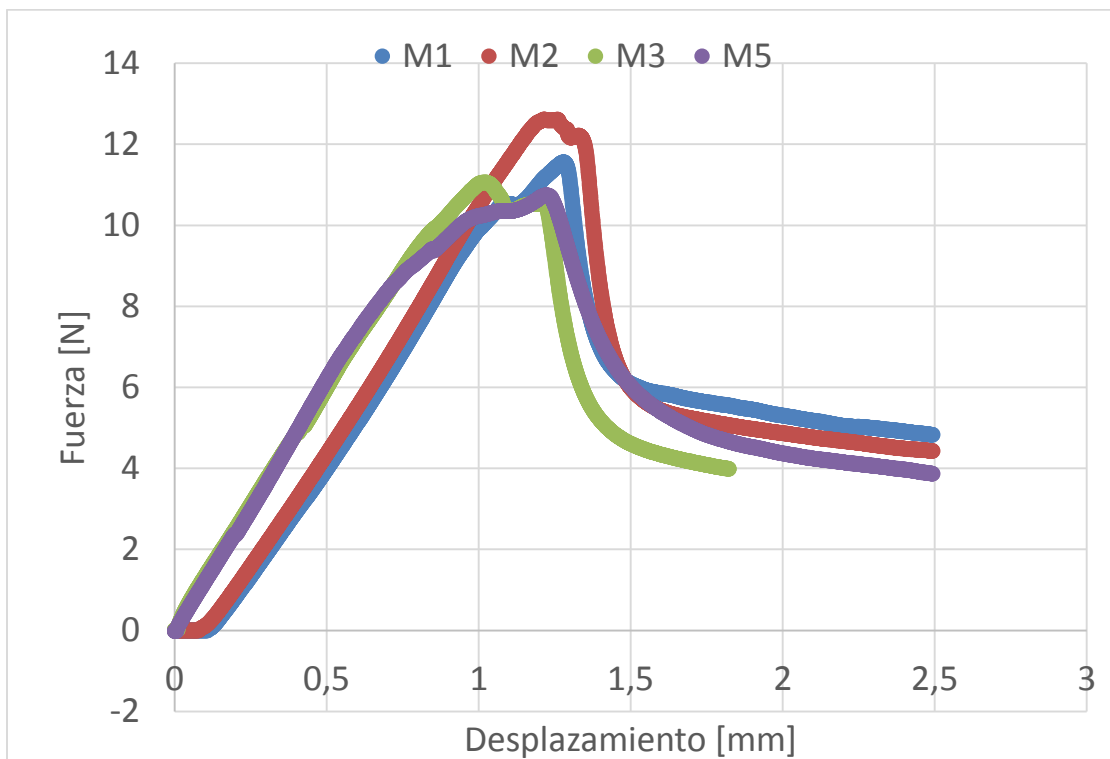
Grafica Esfuerzo (MPa) Vs Deformación (Mm/Mm) - Módulo promedio = 46841.75 MPa

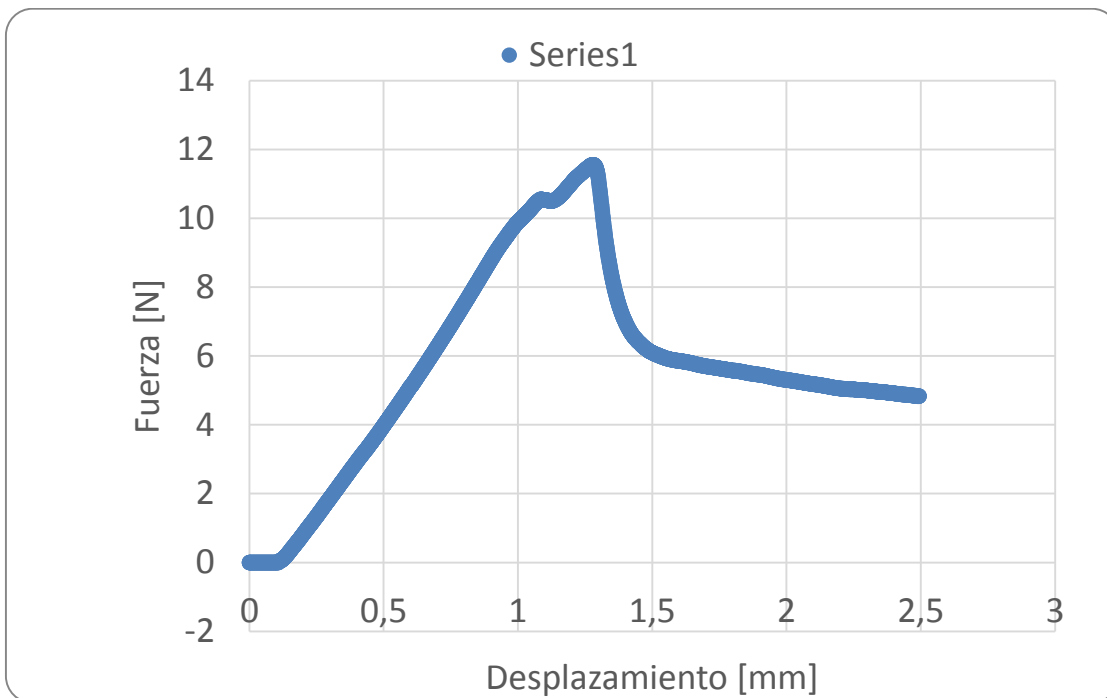




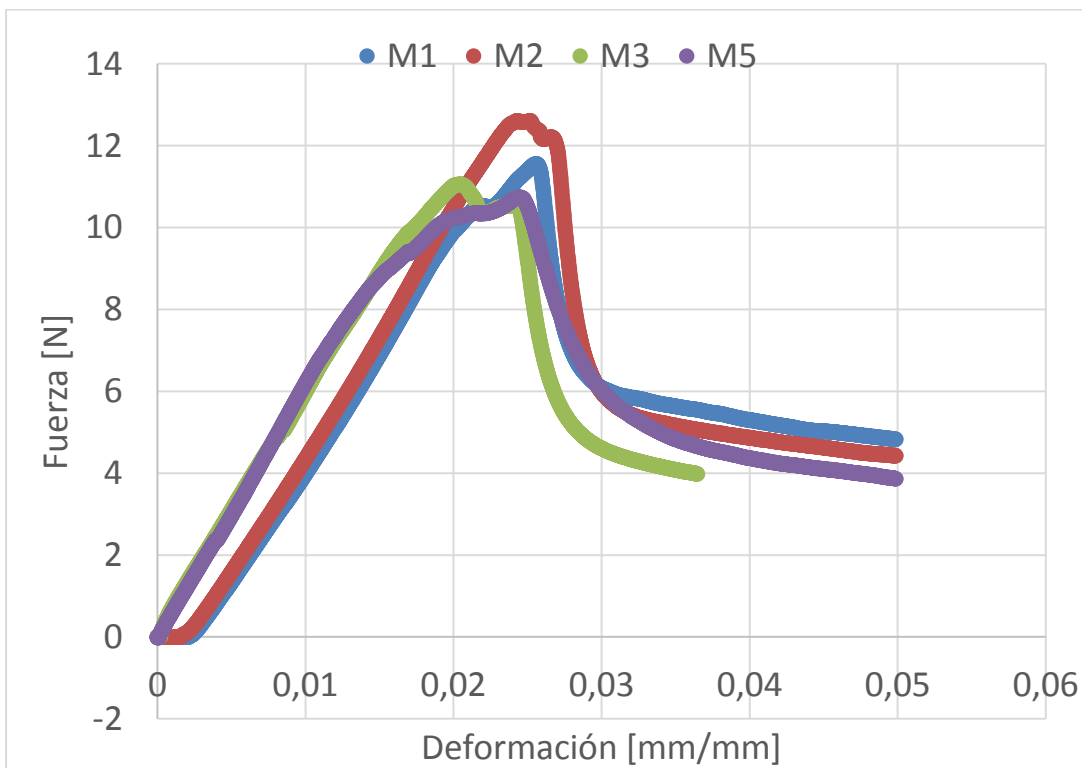


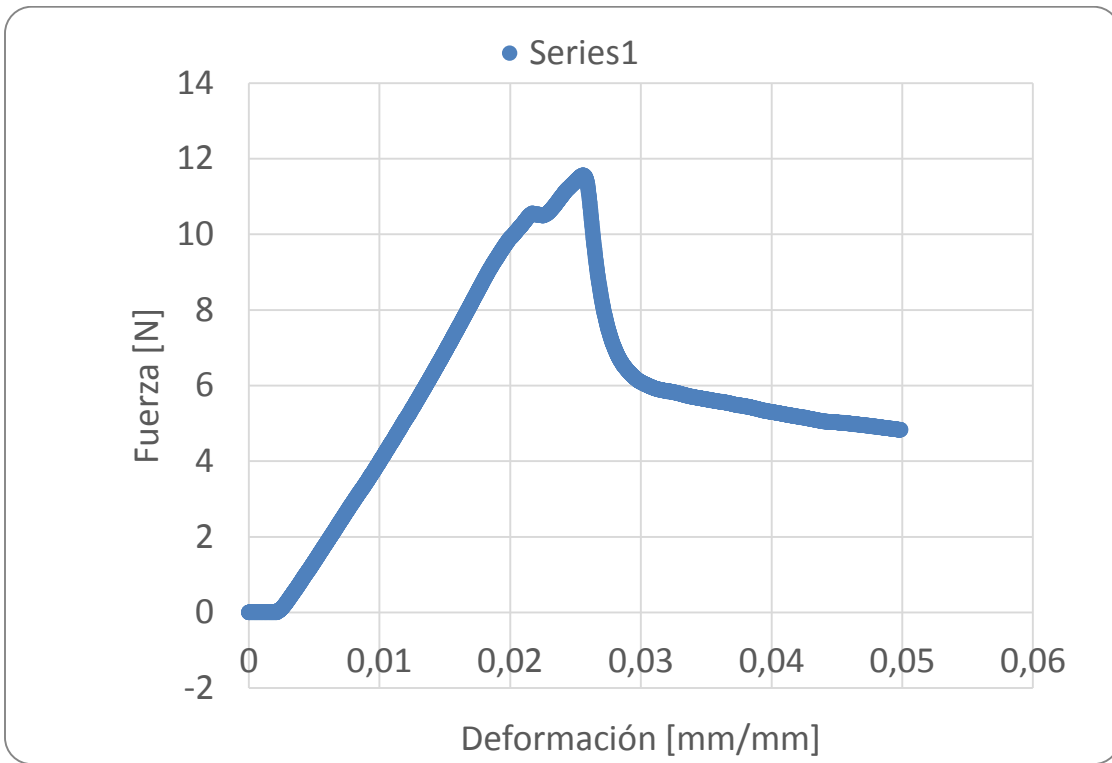
Grafica Fuerza (N) Vs Desplazamiento (mm)





Grafica Fuerza (N) Vs Deformación (mm/mm)





	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Las fibras soportan esfuerzos máximo entre los 1200 y 1400 mega pascales, además que se deja deformar máximo hasta los (0.05) mm luego colapsa.

Las pruebas mecánicas mostraron que en los sensores de fibra óptica no hubo una variación significativa para todas las muestras evaluadas. Mostrando que el material es muy homogéneo lo anterior se puede verificar en un módulo de elasticidad muy similar para cada una de las repeticiones de las pruebas realizadas.

Se logró con el montaje establecer que la deformación máxima de la fibra óptica es de alrededor de 1.2 mm; valor que se tendrá en cuenta para la calibración final de la variable deformación para el sensor de fibra óptica.

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

REFERENCIAS

Ricardo E. Medrano, “Confiabilidad Mecánica de Fibras Ópticas, Resistencia y Fatiga”, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Estatal de Campinas, C.P. 6122, 13083-970 Campinas, SP.

Paulo Antunes, Fátima Domingues, Marco Granada y Paulo André, “Mechanical Properties of Optical Fibers”, Instituto de Telecomunicações and Departamento de Física, Universidade de Aveiro Portugal

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

APÉNDICE

$$(1) \quad \sigma = \frac{F}{A}$$

σ : Presión

ε : Esfuerzo en [MPa]

$$(2) \quad A = \pi * r^2$$

Dónde:

F: Fuerza en [N]

$$(3) \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

A: Área transversal de la fibra en [mm²]

r: Radio de la fibra [mm]

ΔL : cambio de longitud en el ensayo [mm]

L_0 : Longitud inicial de la fibra [mm]

Apéndice A: Si sometemos una fibra de poliimida a un esfuerzo mecánico y necesitamos saber su valor numérico utilizamos la formula número 3, donde relaciona el cambio de la longitud con su longitud inicial.

Apéndice B: El área de la fibra la hallamos con la formula número 2, donde relaciona el radio de la misma al cuadrado por la constante π . Esta fue necesaria ya que la utilizamos en la fórmula 1 para hallar la presión.

Apéndice C: La presión la hallamos con los valores de fuerza sobre área que mencionamos en el apéndice B, además podemos decir que la fuerza nos la entrega la maquina universal de ensayos de la universidad, como el desplazamiento de la misma.

Si seguimos la forma como se realizó este montaje con las formulas antes mencionadas y con los mismos materiales los resultados deben ser los mismos.

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

FIRMA ESTUDIANTES  _____

FIRMA ASESOR  _____

FECHA ENTREGA: 08 de Marzo de 2017

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: _____