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

# Montaje ensayo para medición de contracciones y deformaciones en piezas plásticas inyectadas

Juan David Melguizo Velásquez

Wilmer Yhovani Suta Suta

Ingeniería Electromecánica

Carlos Andrés Vargas

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**31/01/2018**

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

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Las piezas termoplásticas inyectadas durante su procesamiento al estar sometidas al enfriamiento del molde sufren un proceso de encogimiento o contracción que finalmente se traduce en una deformación final de la pieza inyectada al ser expulsada del molde. Estas contracciones y deformaciones se pueden predecir mediante el uso de software de simulación de inyección. Sin embargo, validaciones finales en la pieza inyectada se hacen de forma manual o por métodos pocos precisos que en algunos casos para los niveles de medida no son confiables.

Ya que las contracciones y deformaciones en piezas inyectadas son inevitables, es importante cuantificarlas para verificar la calidad del producto obtenido, el propósito del presente proyecto es realizar un montaje experimental para medir y validar el nivel de contracciones y deformaciones en una pieza inyectada durante el proceso de inyección. Este procedimiento hace parte de un proyecto de investigación en desarrollo en el ITM llamado “ESTUDIO DEL EFECTO DE LAS TENSIONES RESIDUALES EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PIEZAS TERMOPLÁSTICAS INYECTADAS DEBIDO AL MATERIAL, CONDICIONES DE PROCESO Y GEOMETRÍA DE LA PIEZA”. Ya que las contracciones y deformaciones son una consecuencia de las tensiones residuales, con la implementación de una técnica asistida por sensores de fibra óptica se dispondrá de un método experimental para validar algunas predicciones computarizadas de los niveles de deformaciones en piezas plásticas inyectadas.

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

## RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo de investigación primeramente nos gustaría agradecerle a Dios por brindarnos la oportunidad de vivir y permitirnos disfrutar cada instante de nuestras vidas, por bendecirnos y trazarnos el camino correcto para lo que hoy ya no es un sueño sino una realidad.

Al INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO por brindarnos la oportunidad y facilitarnos las herramientas, aulas de clase, laboratorios y demás instalaciones para formarnos como profesionales.

A nuestro asesor y profesor, Carlos Andrés Vargas por su paciencia, esfuerzo y dedicación que tuvo durante todo el proceso de investigación, que, con sus conocimientos, su experiencia y su motivación ha logrado que nuestro estudio terminara con éxito.

A nuestras esposas, Jessica Camelo y Catherine Restrepo, porque desde un principio creyeron que esto sería una realidad, además, por brindarnos su amor, comprensión y apoyo en cada momento que lo necesitamos.

A nuestras hijas, Valeria Suta y Celeste Melguizo, que son los motores de nuestras vidas, y son las que nos dan la fuerza día a día para seguir adelante, superarnos y conseguir grandes cosas.

De igual forma agradecemos a nuestros padres, por darnos la vida y ser nuestro apoyo más grande durante todos estos años de formación, por estar siempre dispuestos a darnos una voz de aliento en los momentos difíciles y tristes por los que hemos pasado, ya que estos nos permitieron levantarnos y seguir adelante con este sueño que hoy se hizo realidad.

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

También agradecemos a todos los profesores que hicieron parte de nuestro proceso, que compartieron sus conocimientos para convertirnos en profesionales, por su tiempo, dedicación y vocación en todo lo que hacen.

Por último, agradecemos a nuestros hermanos, amigos y demás personas que han hecho parte de nuestra vida profesional, que, con sus consejos, apoyo, ánimo y compañía, estuvieron con nosotros en todo momento. Algunos están aquí con nosotros y otros en nuestros recuerdos; sin importar en donde estén, queremos darles las gracias por formar parte de nuestras vidas, por lo que nos han brindado y por todas sus bendiciones.

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

# ACRÓNIMOS

---

PS poliestireno

PC policarbonato

$\sigma$  Esfuerzo

$\varepsilon$  Deformación

E Modulo de elasticidad

N newton (unidad de medida de fuerza)

EMI electroMagnetic Interference (interferencia electromagnética)

LED Diodo emisor de luz (Light Emmiting Diode)

LASER Amplificacion de luz por emisión estimulada por radiación (Light Amplification by stimulated Emission of Radiation)

m<sup>2</sup> Metro cuadrado

Kg Kilogramo

Cm<sup>2</sup> Centimetro cuadrado

Pa Pascales

INTA Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

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

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. MARCO TEÓRICO .....	13
3. METODOLOGIA.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	45
REFERENCIAS .....	48

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

## TABLA DE IMÁGENES

1.	FIGURA 1. <i>Sensores de fibra óptica en mallas para predecir deslizamientos de tierra ...</i>	16
2.	FIGURA 2. <i>Sensores de fibra óptica para detectar contaminantes en el agua .....</i>	17
3.	FIGURA 3. <i>Imagen representativa de un medidor de fibra óptica para medir testosterona del agua u orina .....</i>	17
4.	FIGURA 4. <i>Imagen representativa de medidores de fibra óptica para sensor temperaturas en satélites .....</i>	18
5.	FIGURA 5. <i>Diagrama experimental para mediciones de contracción en resinas de fotocurado .....</i>	19
6.	FIGURA 6. <i>Montaje experimental desarrollado para medir las deformaciones inducidas en la viga analizada .....</i>	20
7.	FIGURA 7. <i>Imágenes captadas por cámara de termovisión, distribución de la temperatura dentro del molde .....</i>	21
8.	FIGURA 8. <i>Curva de la historia de la temperatura en la superficie medidas y calculadas</i>	22
9.	FIGURA 9. <i>Posicionamiento de fibra en molde (fibra en azul) .....</i>	25
10.	FIGURA 10. <i>Molde montado en inyectora con salida de la fibra .....</i>	25
11.	FIGURA 11. <i>Ranura longitudinal en superficie de molde. ....</i>	25
12.	FIGURA 12. <i>Posicionamiento de la fibra óptica en el molde .....</i>	26
13.	FIGURA 13. <i>Medidas según norma ASTM 638 (probeta tipo I).....</i>	27
14.	FIGURA 14. <i>Medidas generales de inserto en molde .....</i>	28
15.	FIGURA 15. <i>Pantallazo del software de simulación Moldex 3D .....</i>	29

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

16. FIGURA 16. <i>Geometría de la pieza</i> .....	30
17. FIGURA 17. <i>Canales de enfriamiento y entrada de material inyectado</i> .....	31
18. FIGURA 18. <i>Inyectora de tornillo WellTec</i> .....	32
19. FIGURA 19. <i>Generador laser Marca MICRON OPTICS</i> .....	33
20. FIGURA 20. <i>Horno tubular programable Marca NABERTHERM</i> .....	33
21. FIGURA 21. <i>Programación de horno tubular programable</i> .....	34
22. FIGURA 22. <i>Datos obtenidos por el sensor durante la calibración de la variable temperatura</i> .....	35
23. FIGURA 23. <i>Fibras de refuerzo en máquina universal de ensayos mecánicos</i> .....	36
24. FIGURA 24. <i>Montaje de la fibra en porta muestras para la calibración deformación</i> ....	37
25. FIGURA 25. <i>Montaje de fibra en porta muestras para calibrar deformación usando sensor de fibra óptica</i> .....	39
26. FIGURA 26. <i>Resultados medición</i> .....	43
27. FIGURA 27. <i>Resultados medición</i> .....	43

 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	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

La presente investigación se refiere al tema de montaje del ensayo para la medición de contracciones y deformaciones en piezas de inyección con polímeros, motivado por la necesidad, del ámbito educacional y laboral, de poder desarrollar una técnica que nos permita verificar las deformaciones predichas por el software de simulación de procesos de inyección y evidenciar por qué ocurren estos fenómenos. Para ello recurrimos a algunas herramientas físicas y de simulación que, en efecto, nos permitieron hacer unas comparaciones, que permitieron definir que el montaje de medición experimental puede implementarse con algunas mejoras en la calibración de variables y la medición en línea del proceso de inyección.

La investigación de esta problemática se realizó con el fin de comprobar que es posible medir y obtener resultados acertados en el momento de realizar mediciones físicas. Este trabajo inicia con una discusión teórica apoyándonos del software Moldex3D, que nos ayuda a comprender el tema de este trabajo, y la manera como éste se desarrolla.

Nuestro trabajo de investigación es consecuencia del déficit que hay en la toma de datos en los procesos de inyección, ya que se han planteado muchos métodos en el mundo para definir una métrica adecuada que mida datos precisos, pero a un no se ha logrado tener algo claro y conciso. Por tal motivo, se buscan herramientas para clarificar la importancia de esta investigación.

## 1.1 Objetivo general

Evaluar la posibilidad de implementar un método de ensayo para la medición de temperatura y deformación en piezas plásticas inyectadas.

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

## 1.2 Objetivos específicos

- Estudiar los usos de los sensores de fibra óptica para detectar variables de temperatura y deformación.
- Especificar el montaje de los implementos, materiales y equipos necesarios para implementación de la técnica de medición de temperatura y deformaciones en el plástico inyectado.

## 1.3 Estructura del trabajo

Lo anterior establecerá las siguientes fases de investigación:

1. Análisis preliminar.
2. Concepción de la investigación.
3. Simulaciones.
4. Ensayos prácticos.
5. Pruebas finales físicas.
6. Resultados.

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

## 2. MARCO TEÓRICO

En el proceso de inyección de piezas termoplásticas se trabaja bajo un diseño final de la pieza, el cual define las dimensiones, material y acabado de dicha pieza. Para esto es muy importante tener un conocimiento más amplio sobre las tensiones residuales que generan contracciones en el material durante este proceso.

Las contracciones afectan el volumen de la pieza, por lo que debe tenerse en cuenta el dimensionamiento del molde. Por tal motivo debe calcularse a priori la contracción de la pieza, aunque no es fácil debido al gran número de parámetros que influyen en el proceso; estas contracciones y deformaciones se pueden predecir mediante el uso de software de simulación de inyección; sin embargo, validaciones finales en la pieza inyectada se hacen de forma manual o por métodos pocos precisos que, en algunos casos para los niveles de medida, no son confiables.

Actualmente se usan una serie de herramientas generalmente computacionales que permiten realizar una predicción del comportamiento del material durante el proceso de inyección; entre estos los análisis reológicos se realizan mediante CAD y una serie de conocimientos del diseñador. Otro método muy utilizado es el método de elementos finitos/ diferencia finita.

Estas predicciones suelen ser validadas, para confrontar el resultado real de la pieza inyectada con los cálculos simulados con las herramientas antes mencionadas. Se considera que mediante la utilización de sensores de fibra óptica se puede sensor las variables principales involucradas en las contracciones y o deformaciones para realizar una validación más eficaz del resultado final de la pieza inyectada.

La tecnología de sensores de fibra óptica utiliza este material como elemento sensor o como medio de transmisión de señales desde un sensor remoto hacia un dispositivo electrónico que las procesa; estos sensores tienen una variedad de aplicaciones de detección tales

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

como: mediciones de deformación, esfuerzo, temperatura, vibraciones, desplazamiento y deflexión. Dichos sensores tienen una serie de características, las cuales están generando una buena aceptación e incluso al reemplazo, de los tradicionales sensores eléctricos; estas características son entre otras:

- No requieren calibración durante su vida útil, luego de la instalación inicial.
- Se pueden interconectar múltiples sensores en una sola fibra óptica, sin ningún orden en particular y de diferentes tipos: esfuerzo, temperatura, acelerómetro, presión.
- Mayor durabilidad potencial de los sensores y de las instalaciones.
- Son inmunes a la EMI y al ruido inducido.

A comienzos de la década de 1840 el físico irlandés John Tyndall descubrió que la luz podía viajar a través del agua; en 1880 Alexander Graham Bell fue el primero en utilizar luz como medio de transmisión, encontrando también que en la atmosfera se atenuaban las señales debido a las partículas de aire y de vapor de agua. (Colladon, 1884, pag 7).

Se continuó con la investigación para encontrar un medio para transmitir luz que fuera inmune a perturbaciones y más confiable; en 1951 se encontraron pocas atenuaciones de luz enviando el haz de luz a través de un hilo de fibra óptica. A finales de los 70`s y a principio de los 80`s hubo un gran avance en la fabricación de estos cables ópticos y el desarrollo de las tecnologías LED (Light Emmiting Diode) y LASER (Light Amplification by stimulated Emission of Radiation) permitieron iniciar el desarrollo de sistemas de comunicación eficientes, confiables y de alta capacidad, que utilizan la fibra como medio de transmisión de información de gran capacidad. (Villarreal, 1997, pag 11).

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

Las ventajas que brindan las fibras son: inmunes a las interferencias electromagnéticas, pueden operar en medios con riesgo de explosión o incendios, se pueden utilizar a larga distancia debido a su baja atenuación, y son resistentes al calor, frío y corrosión.

Con este mismo principio se desarrollaron los sensores de fibra óptica. Estos tienen un funcionamiento parecido: se envía un haz de luz a través de la fibra óptica y se analiza la señal de retorno, indicándonos las posibles variaciones de longitud de onda que pueda haber sufrido, lo que permite captar de forma rápida y eficiente las deformaciones punto por punto. La tecnología de detección óptica se ha desarrollado hasta tal punto que hoy en día se puede medir casi cualquier variable física de interés y también un gran número de cantidades químicas entre otras: temperatura, presión, caudal, nivel líquido, desplazamiento (posición), vibraciones, rotación, campos magnéticos, aceleración, etc. (García & Cabezas, 2014).

El desarrollo que han tenido los sensores de fibra óptica nos permite obtener medidas confiables lo que ha llevado a que estos sensores sean utilizados en muchos procesos de investigación y producción; entre algunos de los procesos consultados encontramos:

**Sensores de fibra óptica para prevenir deslizamientos de tierra y terremotos**

El cambio climático puede hacer que los deslizamientos de tierra sean más frecuentes y es por eso que en España, en la localidad de Toledana de Noblejas, un grupo de ingenieros del proyecto de investigación europeo Multitexco probaron un método innovador que consta de una malla textil insertada en la tierra, en la cual se instalaron sensores de fibra óptica en la parte de producción (centro de la malla), con el propósito de monitorear deformaciones, tensiones y movimientos del terreno. La idea se fundamenta en introducir sensores de fibra óptica integrados en la construcción de infraestructuras de carreteras, con el fin de identificar a tiempo deformaciones internas, evitando de este modo posibles derrumbes o deslizamientos. (Tempesti & Corvaglia, 2016).

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



*Figura 1. Sensores de fibra óptica en mallas para predecir deslizamientos de tierra.*

### **Sensor óptico para detectar contaminantes del agua**

Investigadores de la Universitat Rovira i Virgili (URV), de Tarragona España, desarrollaron un sensor fotónico ultrasensible con la capacidad de detectar sustancias contaminantes en el agua en volúmenes micro. El sensor se fabricó sobre vidrio transparente y se basa en la excitación infrarroja de polaritones plasmónicos superficiales; este sensor aprovecha la existencia de resonancias moleculares en la región espectral donde la luz es absorbida por las moléculas de las sustancias que entra en contacto.

Uno de los resultados que se obtuvo con este método fue la detección de un mínimo de 0.02% de volumen de alcohol en el agua pura debido a la gran sensibilidad que presentan estos sensores de fibra óptica, pero los miembros de la UVR prevén que la sensibilidad de estos sensores se puede aumentar más. Además de su valiosa eficiencia en el agua, estos sensores también pueden utilizarse en probetas, puertas de microscopio o sobre pantallas de Smartphone ya que pueden ser insertados sobre cualquier tipo de vidrio. (la Universitat Rovira i Virgili, 2016).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 2. Sensores de fibra óptica para detectar contaminantes en el agua.*

### **Sensor de fibra óptica para detectar testosterona en orina y agua**

Miguel Hernández Sáenz de Záitigui, de la Universidad Pública de Navarra (UPNA) España, consiguió un contrato de investigación concedido por la Unión Europea (UE), para diseñar sensores de fibra óptica con el fin de detectar testosterona en orina y agua. Este proyecto se encuentra en curso y ya se tienen identificadas unas posibles aplicaciones para este método, en las cuales se encuentran: análisis de orina para controles de dopaje, pruebas de salud para medir la fertilidad, controles ambientales para medir el agua, etc. (Sáenz, 2016, pág. 1).



*Figura 3. Imagen representativa de un medidor de fibra óptica para medir testosterona del agua u orina.*

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

### Control de la temperatura de satélites:

La empresa VALENCIANA CALSENS localizada en España, ha desarrollado un sensor de fibra óptica de mínimo tamaño, peso y un mínimo impacto sobre el medio ambiente debido a que está fabricado con sílice, capaz de soportar temperaturas hasta 1200 grados, lo que permite ser aplicadas a la aeronáutica, la energía o el sector aeroespacial.

Según el gerente de CALSENS Benjamín Torres, este sensor se ha aplicado para el control y la monitorización de las temperaturas en las capsulas de los satélites durante su entrada a la atmosfera, con el fin de controlar el choque térmico y evitar daños o posibles roturas de dispositivos (Torres, 2013).



Figura 4. Imagen representativa de medidores de fibra óptica para sensor temperaturas en satélites.

### Medición no invasiva de vibraciones y desplazamientos de resinas de fotocurado:

En el centro de investigación ópticas (CONICET-CIC) y la Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata Argentina, utilizaron un sensor interferométrico tipo Fizeau construido en fibra óptica con un diseño compacto, estable y apto para trabajar en lugares riesgosos con el fin de

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

determinar vibraciones y desplazamientos de resinas de foto curado. La resina se colocó en una probeta de goma sobre un soporte de vidrio con el fin de incidir desde abajo con la fuente de curado y desde la parte superior con la punta censora; Los resultados obtenidos fueron favorables, ya que al no haber interacción mecánica entre la probeta y la punta del sensor, generó una buena confiabilidad en la toma de los datos requeridos. (CONICET-CIC, 2007).

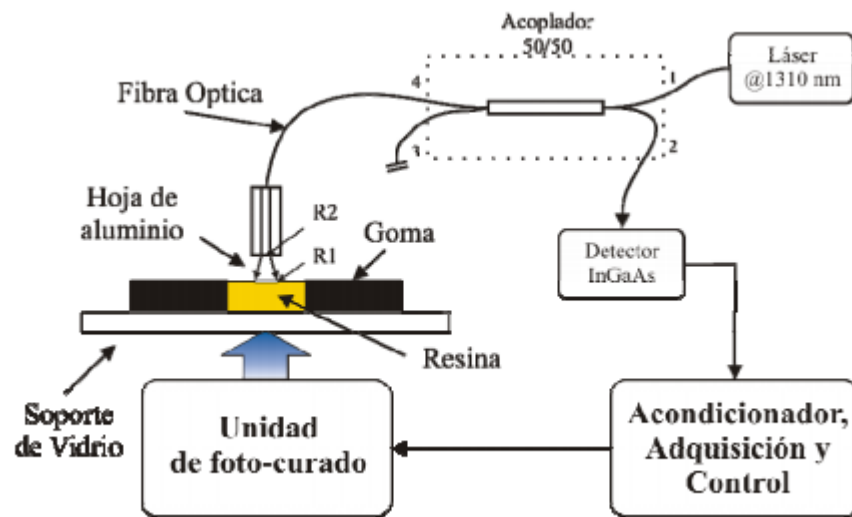


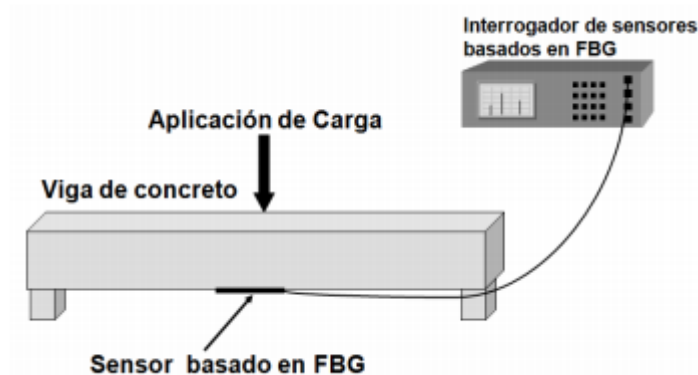
Figura 5. Diagrama experimental para mediciones de contracción en resinas de fotocurado.

### Sensores de fibra óptica basados en redes de Bragg en estructuras civiles:

En la Escuela de Física, Universidad Nacional de Colombia-sede Medellín, utilizaron sensores basados en redes de Bragg en fibra óptica ( FBG) con el fin de medir deformaciones mecánicas en estructuras civiles; en este caso, se fundió una viga de concreto a la cual se le aplicaron diferentes cargas para observar la respuesta del sensor de FBG y así poder determinar la deformación inducida de la viga, además se utilizó un software basado en el método de elementos finitos que permitió una excelente toma de datos logrando el éxito de lo planteado. (Universidad Nacional de Colombia, 2011).

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

De acuerdo a lo investigado se encontró que en otros lugares del mundo también se utilizan sensores en los procesos de inyección. A continuación, se exponen un par de estas aplicaciones.



*Figura 6. Montaje experimental desarrollado para medir las deformaciones inducidas en la viga analizada.*

### **Estudio del método para la medición con sensores de contracciones y deformaciones en piezas termo inyectadas.**

- Estudio de deformación plástica y cavitación en polipropileno:** En el centro de estudios moleculares y macromoleculares, academia polaca de ciencias, se realizaron pruebas de medición de deformaciones y cavitaciones en piezas plásticas inyectadas, utilizando una cámara de termovisión la cual se aplicó para medir la temperatura en la superficie de las muestras durante la deformación. Se demostró que se produce un rápido aumento en la temperatura durante la deformación plástica y que la zona de mayor temperatura se ubica en la parte delantera del cuello y se propaga a través de la prueba. El método de medición arrojó una relación, que para una mayor tasa de deformación se observó una mayor tensión de flujo de plástico; en tal caso el aumento de la temperatura es menor y es el cambio en la tasa de deformación de la muestra el que juega un papel dominante (Andrzej Pawlak , Artur Rozanski y Andrzej Galeski, 2012).

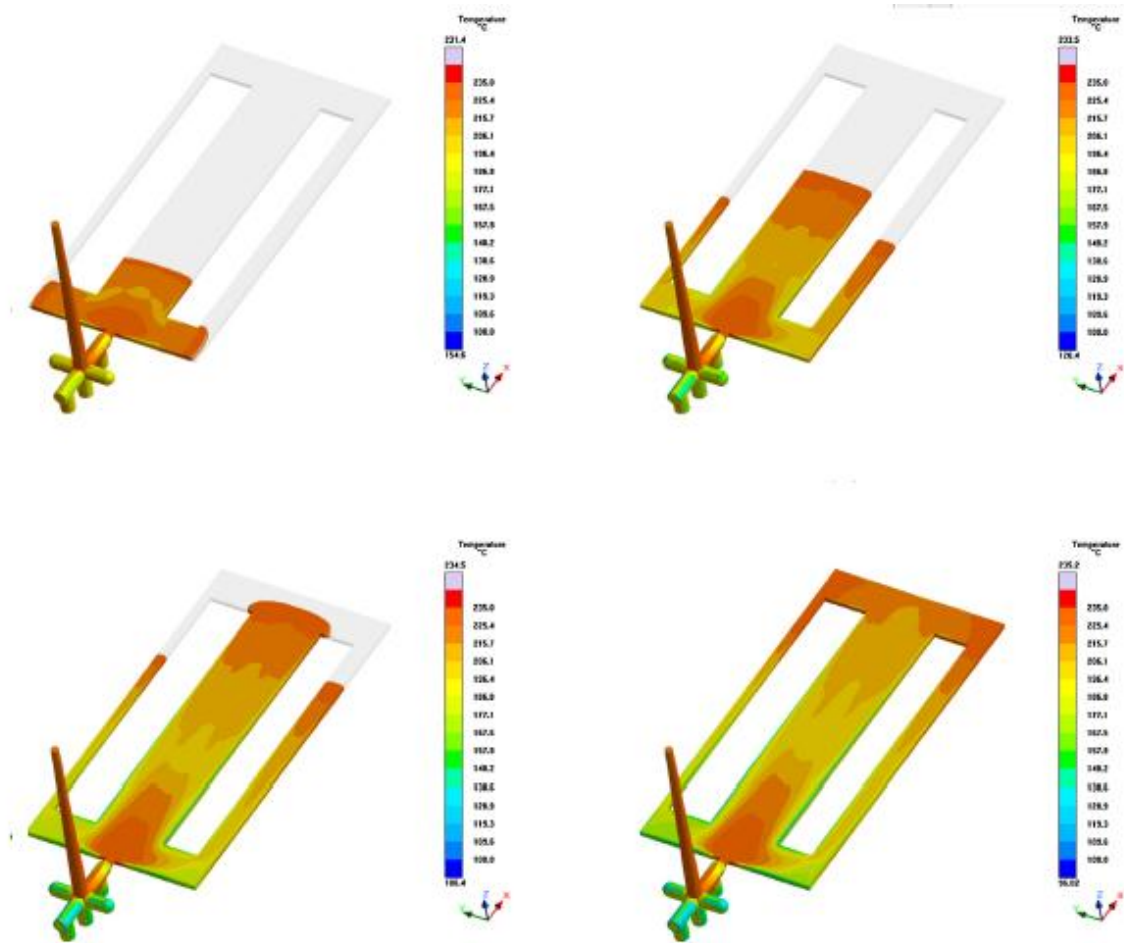


Figura 7. Imágenes captadas por cámara de termovisión, distribución de la temperatura dentro del molde

- Mediciones de temperatura en la profundidad y en la superficie de las piezas termoplásticas inyectadas:** La evaluación cuantitativa de los impactos de la temperatura en las piezas termoplásticas es esencial para controlar las dimensiones de la pieza moldeada con inyección y por ende sus deformaciones. En este trabajo se describe una configuración experimental novedosa que permite la medición de temperatura en la profundidad de los moldes de inyección a lo largo de la longitud de los ciclos de moldeo. Se diseñó y realizó un dispositivo experimental, que incluye un molde específico equipado con una aguja tubular para guiar un micro-termopar incrustado dentro de la cavidad. El estudio revela algunas singularidades térmicas

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

correspondientes a las modificaciones de las condiciones del contorno térmico durante los cambios de fase del ciclo de inyección (Youssef Farouq, Cé cile Nicolazo, Alain Sarda y Re´mi Deterre, 2005).

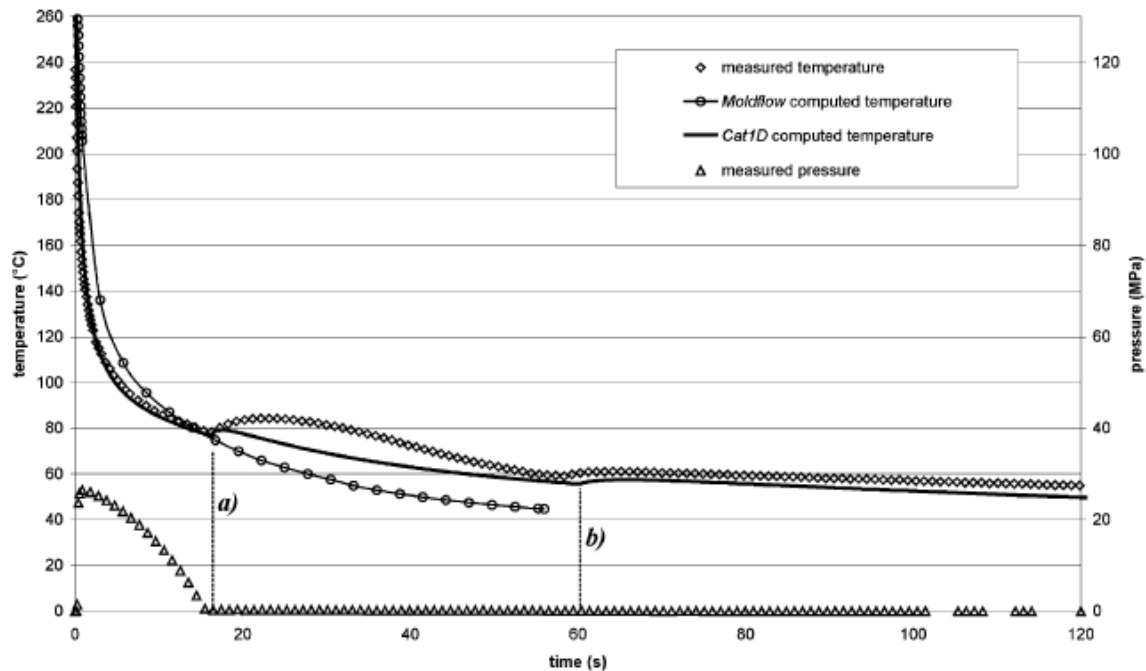


Figura 8. Curva de la historia de la temperatura en la superficie medidas y calculadas.

### Calibración del sensor de fibra óptica para medir deformación

De acuerdo a lo consultado, los sensores de fibra óptica son actualmente utilizados para la medición de deformación en diferentes procesos, con el fin de plantear algún método de calibración del sensor para medir dicha variable, se exponen dos métodos en los cuales se expone como calibran los sensores.

- En la industria aeroespacial se han realizado múltiples ensayos mecánicos con el fin de estudiar el impacto estructural de la fibra óptica posicionada primeramente en las alas de las aeronaves sobre el material huésped, y verificar la valides y calidad de las mediciones de los sensores pegados y embebidos en materiales compuestos bajo

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

cargas de tracción y compresión. La respuesta en deformación de los sensores fue calibrada realizando medidas continuas con el sensor durante la fase de enfriamiento de los ensayos a diferentes temperaturas, de esta forma obtienen valores de longitud de onda que pueden ser comparados con los valores arrojados en la práctica, teniendo como principal variable la temperatura del proceso (Frövel, 2006).

- los sensores pueden ser también utilizados para realizar mediciones nanométricas de desplazamiento y deformación. Para inducir los desplazamientos se utiliza un actuador piezoeléctrico, el cual es excitado por una señal de voltaje externo. Al aplicar un voltaje alterno este elemento cambia sus dimensiones físicas, es posible aprovechar los pequeños desplazamientos en aplicaciones donde se requiera posicionamiento micro o nanométrico; para esto se debe calibrar el sensor con el fin de obtener una relación entre el voltaje suministrado y el desplazamiento, esta calibración se realiza mediante ensayos a diferentes voltajes y desplazamientos, con estos valores graficados se puede obtener la curva y una relación precisa entre el voltaje y el desplazamiento (Noe Hernandez y Giovanni Ramirez, 2014).

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

### 3. METODOLOGIA

---

#### Planeación del montaje de medición

Para la medición de las variables se determinó que la más importante es la temperatura seguido de la deformación, ya que son las variables que tienen relación directa con las tensiones residuales en el material, tema de objeto de estudio en un proyecto de investigación que se está desarrollando en el ITM.

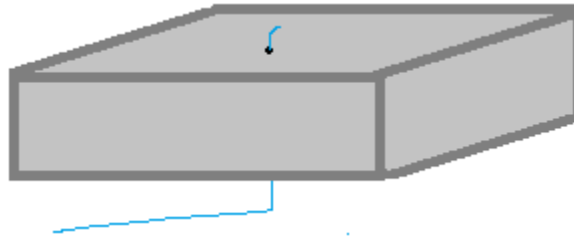
Durante el desarrollo del trabajo de grados sobre el montaje de ensayo para medición de temperatura y deformación de las piezas inyectadas, se optó por utilizar materiales como poliestireno (PS) y policarbonato (PC), los cuales requieren una temperatura de inyección de 220°C y 300° respectivamente; además se han considerado varias opciones sobre la disposición del sensor de fibra óptica dentro del molde de inyección y la manera de ubicarlo.

Como primera opción, se determinó emplear el sensor dentro de la cavidad del molde a inyectar, utilizando la totalidad de sensores disponibles, siendo desechados en cada ciclo de inyección. Esta opción presenta el inconveniente de desechar todos los sensores de las fibras, sin reutilizarlos de nuevo para posteriores mediciones.

Posteriormente, se optó por insertar los sensores de fibra a través del espesor de la cavidad del molde. En este caso se propusieron dos ideas: la primera fue mecanizar un agujero a través de la cavidad y en este insertar directamente la fibra de tal forma que un extremo del sensor este ubicado en la superficie de la cavidad. La segunda idea fue empleando el mismo alojamiento mecanizado en el espesor de la cavidad, pero encapsulando las fibras en agujas para permitir un mejor posicionamiento de las fibras. Sin embargo, a partir de ensayos preliminares, se encontró que en la práctica era muy difícil asegurar un adecuado

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

posicionamiento de las fibras y adicionalmente, este montaje implicaba una modificación significativa del molde para alojar la fibra dentro de este sin generar daños en la fibra, por lo que se descartaron estas opciones.



*Figura 9. Posicionamiento de fibra en molde (fibra en azul)*

A partir de estos análisis se determinó que la mejor opción era ubicar los sensores de fibra en toda la superficie de la cavidad, de tal forma que no implicara modificaciones significativas del molde. Simplemente se requiere emplear un nuevo inserto en el molde con una ranura longitudinal en su superficie, por la cual se aloja el sensor de fibra y se le da salida a la fibra para las mediciones aprovechando la superficie de partición del molde. Para esto se mecanizó una ranura con una profundidad suficiente para alojar el diámetro de la fibra y que solo tuviera un contacto suficiente con la masa de polímero a inyectar sin quedar embebido en la pieza inyectada.



*Figura 10. Molde montado en inyectora con salida de la fibra.*

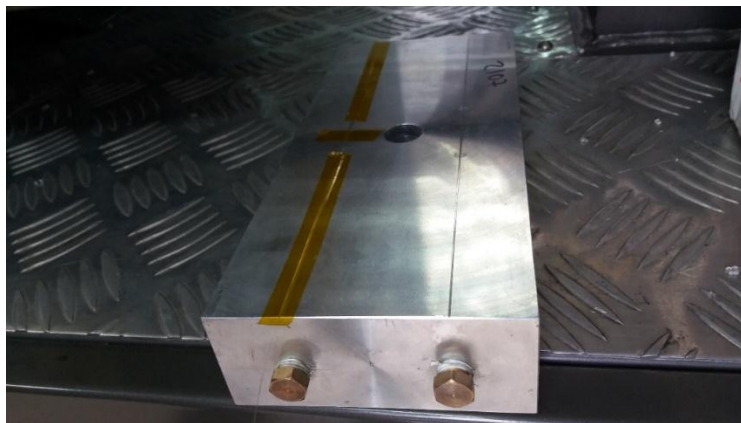


*Figura 11. Ranura longitudinal en superficie de molde.*

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

Para este montaje, ya que la fibra queda ubicada en forma vertical en el molde sobre la superficie de la cavidad, se pensaron en varias alternativas para sujetar la fibra y solo dejar expuesta en la cavidad la zona que presenta el sensor. En primera instancia se pensó en recubrir la fibra con estaño o teflón. Pero estos materiales no eran adecuados, ya que no permitían una buena adherencia con el material de la superficie de la cavidad y por tanto la fibra no era posible sujetarla a la superficie de la cavidad del molde.

Finalmente, se encontró como alternativa para la sujeción de la fibra, una cinta de alta temperatura de material Poliimida, material que se emplea como recubrimiento de la fibra, lo cual asegura un buen desempeño de resistencia de altas temperaturas. En la figura 4 se muestra las fibras sujetadas con la cinta de alta temperatura.



*Figura 12. Posicionamiento de la fibra óptica en el molde.*

La cinta adhesiva empleada tiene como nombre comercial KAPTON, está hecha de poliimida y soporta una temperatura máxima de uso continuo de 260°C. Para validar su desempeño, se realizaron inyecciones con los dos materiales (PC y PS). Se encontró que, inyectando PC, la cinta comienza a deteriorarse rápidamente debido al nivel de temperaturas a las cuales se inyecta este material (280°C-300°C). En el caso del PS que emplea una temperatura de proceso de 220°C, se encontró que la cinta funcionó adecuadamente sin deteriorarse y sin perder sus propiedades de adherencia, lo cual permite un uso continuo durante las inyecciones de las piezas y las mediciones posteriores de señales que emite el sensor para medir variables de temperatura y deformación.

La fibra óptica fue posicionada en uno de los lados del molde de inyección (lado fijo). En otro lado del molde (lado móvil) se ubica la cavidad que da forma a la pieza inyectada (probeta estándar de ensayos de tensión). En las figuras 13 y figura 14 se indican respectivamente las medidas según norma ASTM 638 (probeta tipo I) y las medidas generales del inserto de molde.

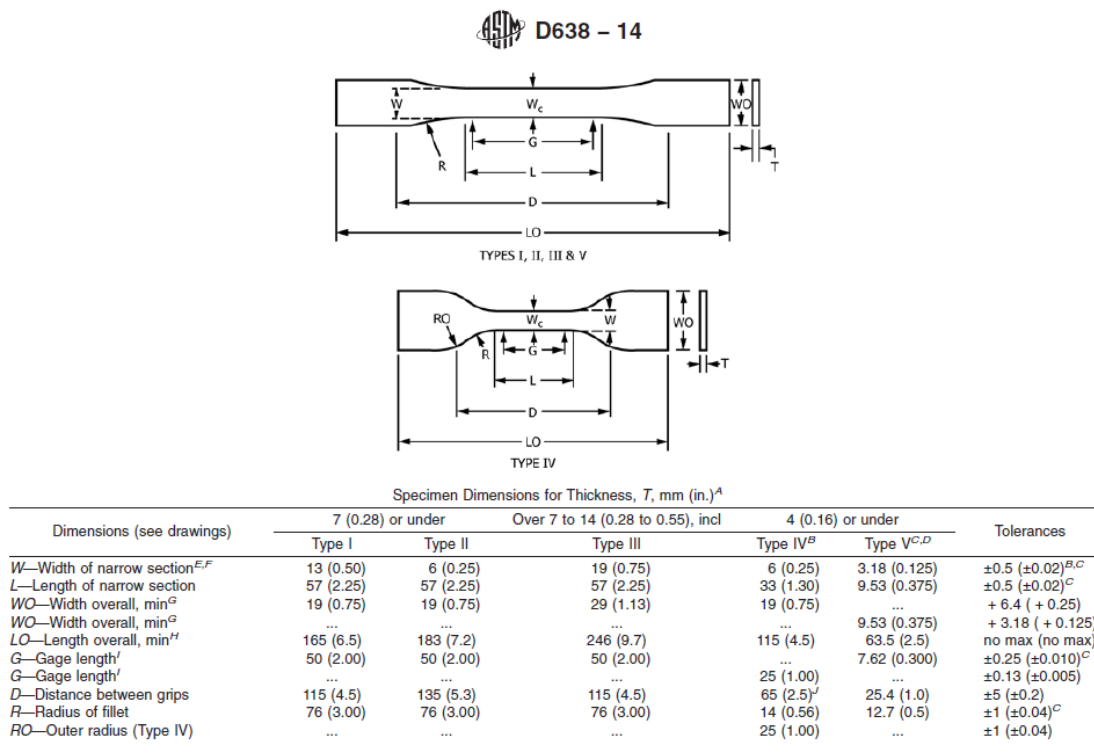


Figura 13. Medidas según norma ASTM 638 (probeta tipo I).

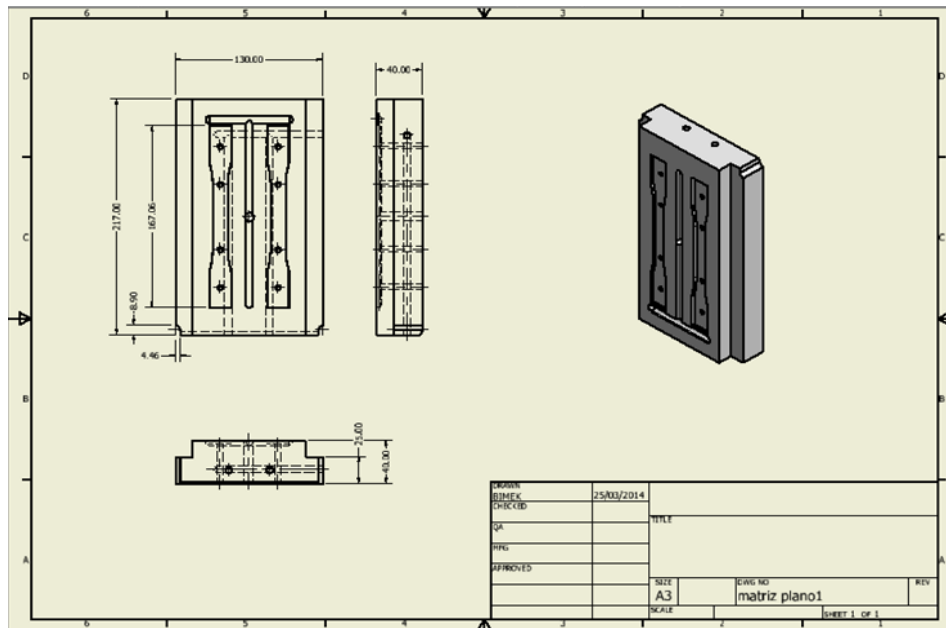


Figura 14. Medidas generales de inserto en molde.

### Desarrollo de las simulaciones realizadas en Moldex3D

Para la simulación de las deformaciones y contracciones de una pieza termoplástica inyectada se utilizó el software Moldex 3D, que se encuentra en el laboratorio de laboratorio de polímeros en el ITM sede fraternidad. Este software nos arroja una predicción de las temperaturas y deformaciones que sufriría una pieza previamente diseñada durante el proceso de inyección; el nivel de deformaciones y/o temperaturas se tomó en un punto central de la superficie de la pieza inyectada como se ilustra en la siguiente figura. Ya que este punto es el lugar donde se espera que falle la pieza en un ensayo de tensión.

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

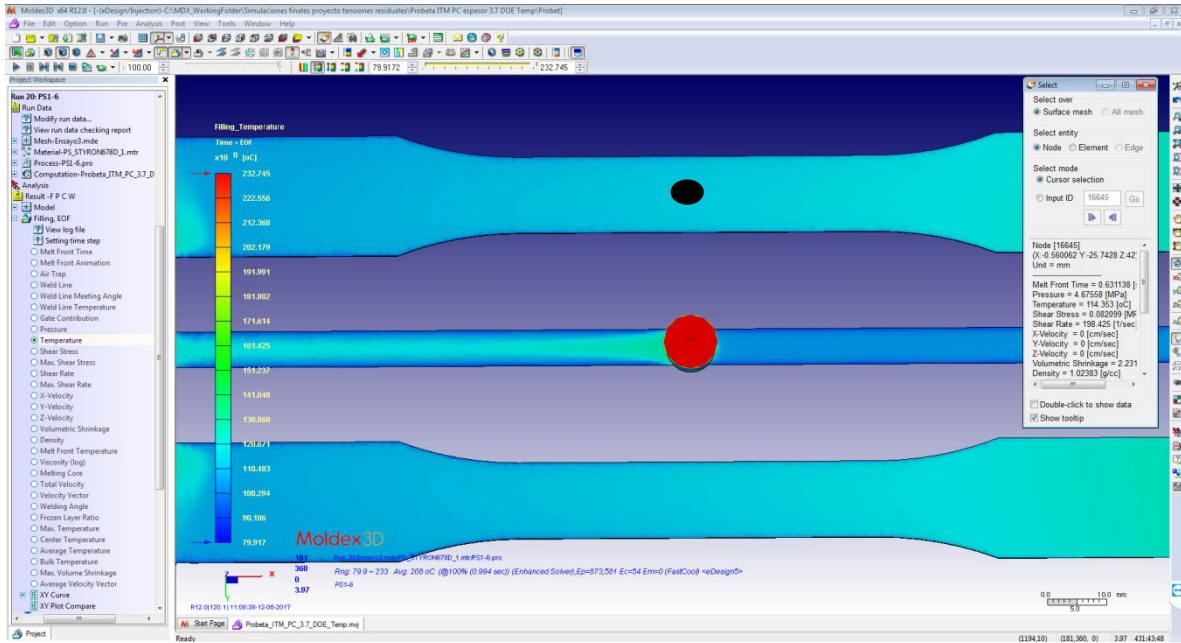


Figura 15. Pantallazo del software de simulación Moldex 3D

La medición en dicho punto de las variables temperatura y deformación se comparará con los datos medidos experimentalmente con el sensor de fibra óptica, por lo que las variables inmersas en el proceso de inyección deben ser iguales tanto en la simulación como el montaje real.

Para la simulación del proceso de inyección en el software y la obtención de los respectivos resultados se realizaron las siguientes actividades:

- El modelamiento de la pieza se realizó en un software CAD (creo parametric), que posteriormente fue importado en el software de simulación del proceso de inyección. La geometría empleada fue una probeta de ensayos de tensión con espesor de 3.7 mm (ver figura 14):

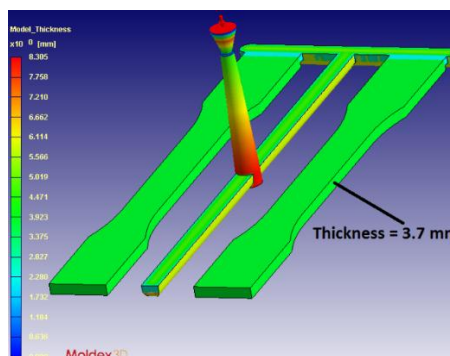


Figura 16. Geometría de la pieza

- Posteriormente en el software de simulación se establecieron las condiciones del proceso de inyección de acuerdo a un diseño de experimentos que se indica en la tabla 1.

Tabla 1. condiciones de proceso y niveles evaluados en la simulación del proceso de inyección.

Variable	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Temperatura de inyección [°C]	190	200	220
Temperatura de molde [°C]	50	60	70
Tiempo de enfriamiento restante [s]	10	15	20
Tiempo de pospresión [s]	1,5	3,5	6
Presión de pospresión [bar]	100	200	300

- Se generó directamente en el software el diseño de canales de enfriamiento y entrada del material fundido, como se indica en la figura 15 Los resultados se registran en el punto central de la pieza tal como se indica en la figura 14

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

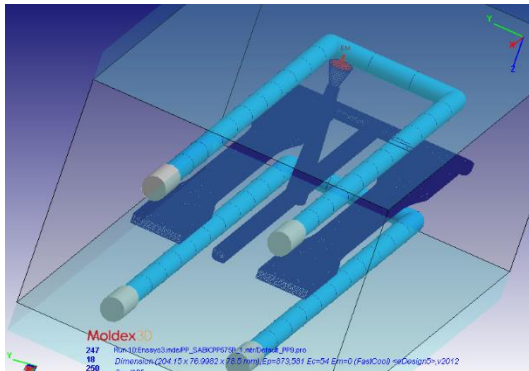


Figura 17. Canales de enfriamiento y entrada de material fundido

### Desarrollo de pruebas preliminares del montaje de ensayo

Se consultaron las especificaciones técnicas de inyección de cada uno de los materiales para determinar que parámetros se deben utilizar a la hora de realizar el proceso de inyección con cada uno de estos.

Se realizaron inyecciones utilizando poliestireno y policarbonato variando sus condiciones de trabajo, verificando la funcionalidad del montaje, en función de una correcta sujeción de la fibra y la resistencia térmica de la cinta de sujeción de la fibra, para garantizar una buena medición de temperaturas y deformaciones en la pieza inyectada. La máquina utilizada para realizar estas inyecciones es la inyectora de tornillo WELLTEC modelo 90F2v ubicada en el laboratorio de polímeros en la sede de fraternidad del instituto tecnológico metropolitano ITM. Este equipo requiere que se realicen unas inyecciones de prueba antes de realizar el montaje de ensayo para alcanzar la temperatura de inyección deseada.

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



*Figura 18. Inyectora de tornillo WellTec*

Para realizar el montaje con el fin de medir temperatura y deformación en un proceso de inyección es necesario a priori calibrar las variables de temperatura y deformación del sensor de fibra óptica. Esta calibración se realiza con el objetivo de obtener señales de longitud de onda que corresponde a diferentes niveles de temperaturas y deformaciones.

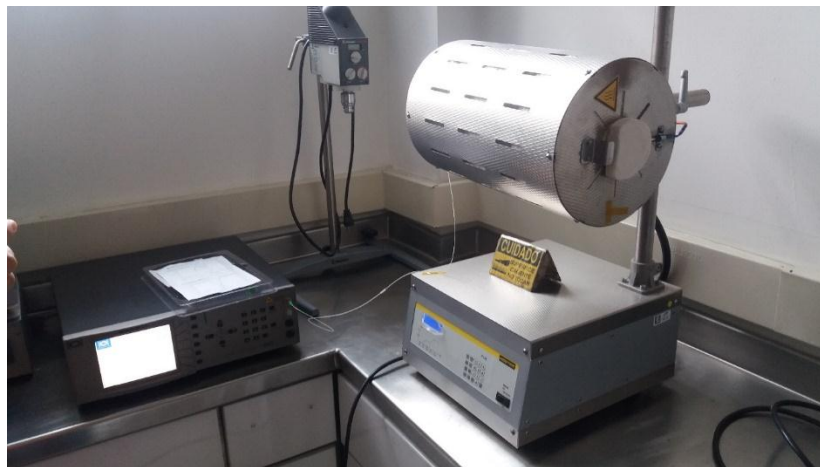
Para calibrar la variable temperatura en los sensores de fibra óptica se empleó un generador de láser y un horno tubular programable: se utilizó un generador laser marca MICRON OPTICS modelo Si425 que está disponible en el laboratorio de polímeros en el ITM en la sede de fraternidad. Este emite un haz de luz que circula dentro de la fibra óptica, el sensor se posiciono dentro de un horno tubular programable.

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



*Figura 19. Generador laser Marca MICRON OPTICS*

Se utilizó el horno tubular programable marca NOBERTHERM que está ubicado en el laboratorio de polímeros en el ITM sede fraternidad.



*Figura 20. Horno tubular programable Marca NABERTHERM.*

Se programó el horno para tomar cinco medidas a las siguientes temperaturas: 50, 100, 150, 200 y 250 °C.

Una vez se alcance cada punto de temperatura, el horno mantendría cada temperatura por unos 5 minutos, esto para tomar la medición cuando la señal de longitud de onda se estabilice así:

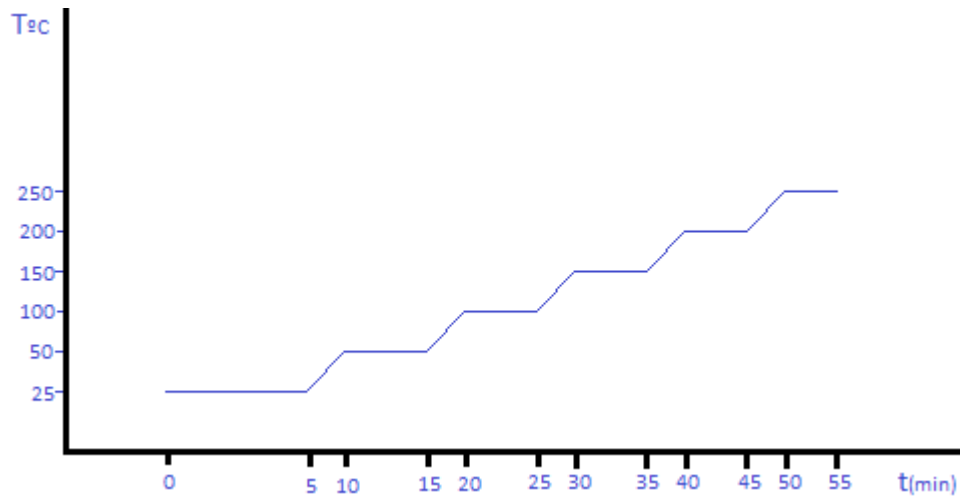


Figura 21. Programación de horno tubular programable.

Estas mediciones de temperatura se ven afectadas por la temperatura del ambiente, razón por la cual esta calibración se realizó en tres ocasiones con el objetivo de obtener un promedio que nos permita realizar unas mediciones más exactas.

Los valores de onda registrados por el sensor de fibra óptica, los promedios y la curva con los datos obtenidos se pueden apreciar en la siguiente figura de la curva de calibración de temperatura obtenida.

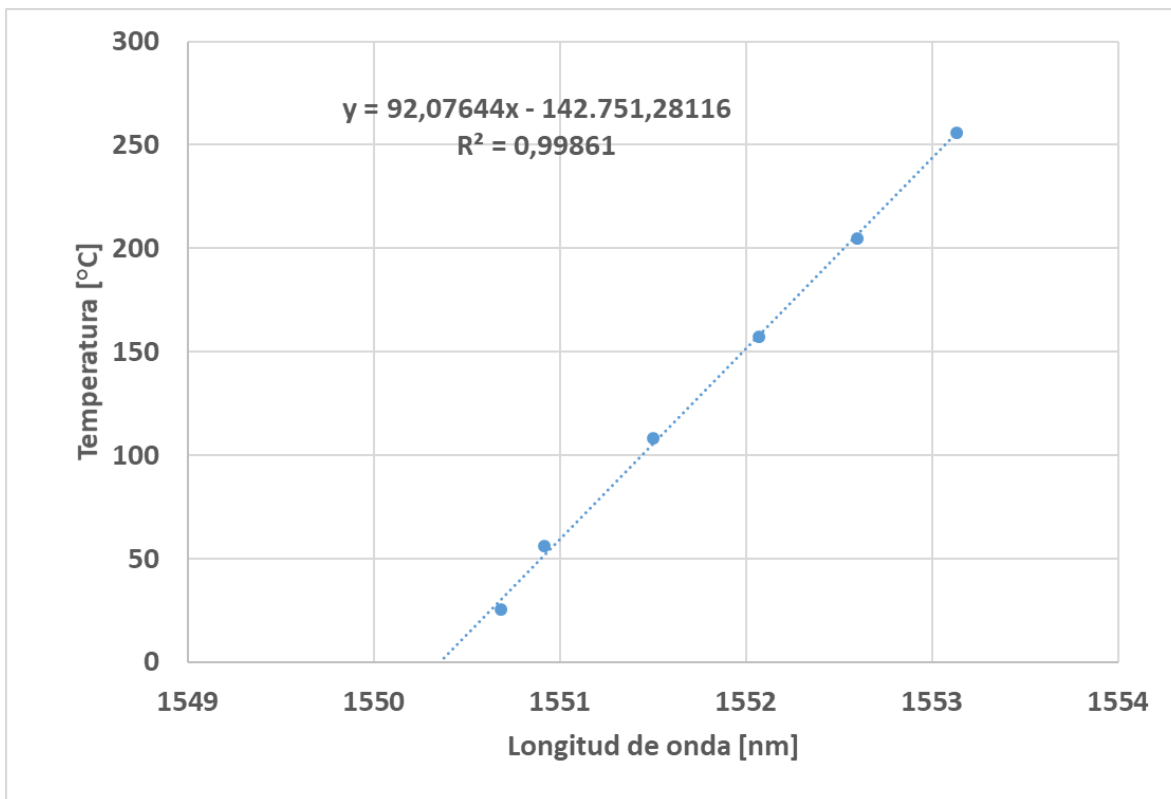


Figura 22. Curva de calibración de la variable temperatura obtenida.

Para la calibración de la variable deformación se determinó la curva de esfuerzo-deformación realizando un ensayo de tensión en la maquina universal de ensayos de marca SHIMADZU, modelo AG-X ubicada en el laboratorio de polímeros en el ITM sede fraternidad.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 23. Fibras individuales de refuerzo en máquina universal de ensayos mecánicos.*

Para este ensayo se utilizó una Celda de carga de 500N y la fibra fue montada en un porta muestras como se ilustra en la figura 11.

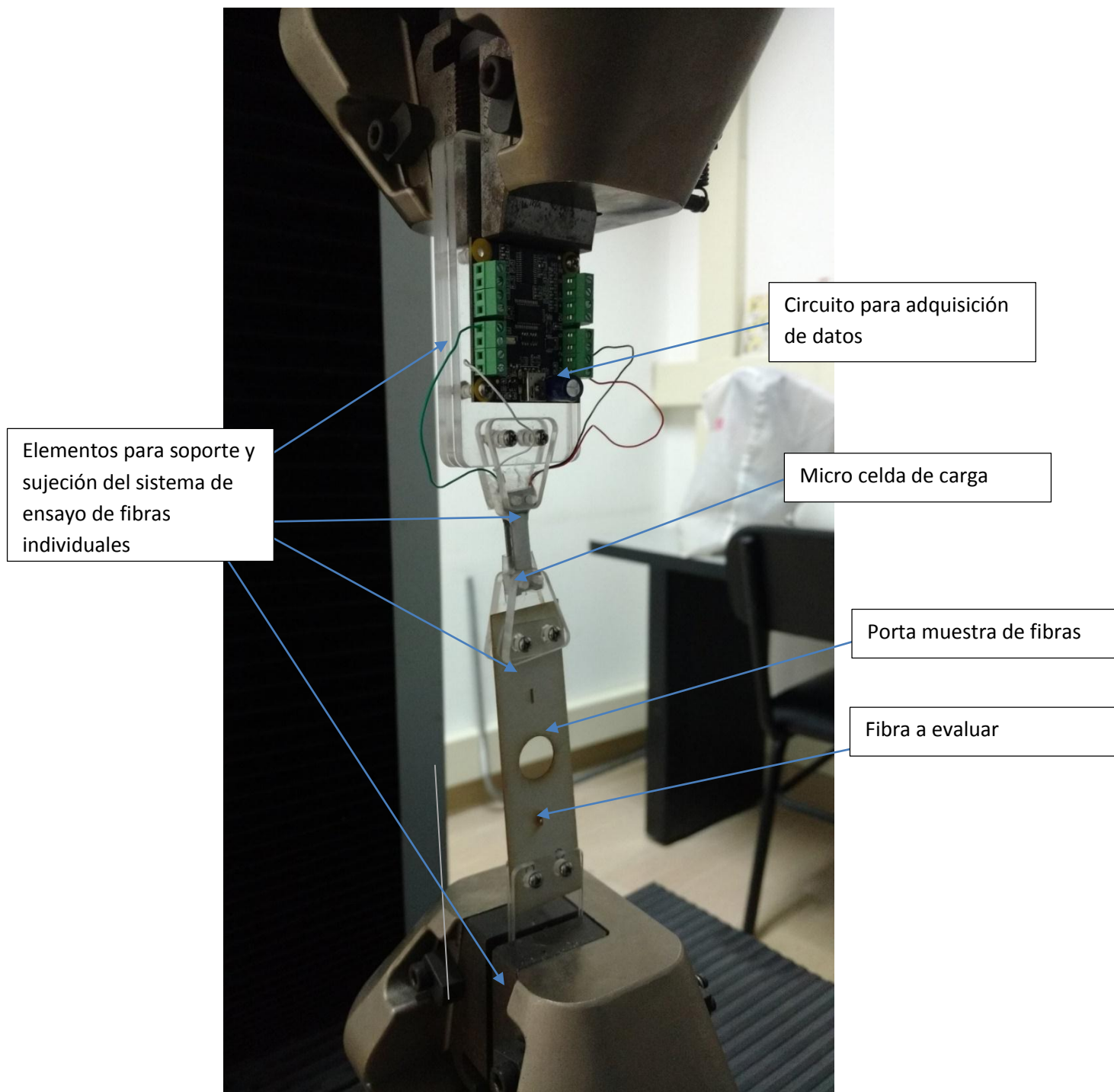


Figura 24. Montaje de la fibra en porta muestras para la calibración deformación.

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

A partir de estos ensayos se determinó el módulo de elasticidad de la fibra, el cual se determina mediante la siguiente ecuación, en el rango lineal de la curva esfuerzo-deformación, ya que este es un ensayo destructivo, la fibra fue evaluada sin los sensores. Adicionalmente estos ensayos permitieron determinar el nivel de fuerza máxima que se le puede aplicar a la fibra en el rango elástico o que no haya deformación permanente en la fibra.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

$\sigma$ = Esfuerzo (N/m<sup>2</sup>)

$\varepsilon$ = Deformación (Kg/Cm<sup>2</sup>)

E = Modulo de elasticidad (Pa)

Una vez determinados los niveles de fuerza aplicados a la fibra que no generan daño o deformación permanente en esta, se procedió a realizar otro montaje de las fibras que incluyen el sensor, aplicando diferentes pesos y tomando la respectiva señal de longitud de onda que capta el sensor de fibra óptica, como se muestra en la siguiente figura.

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



*Figura 25. Montaje de fibra en porta muestras para calibrar deformación usando sensor de fibra óptica.*

A partir de los valores de fuerza aplicados en este segundo montaje se determinaron los respectivos esfuerzos y posteriormente se calcularon los valores de deformación con la siguiente ecuación.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Estos valores de deformación experimentales serán confrontados con los valores de deformación calculados en la simulación de inyección.

Para esta fase de montaje se tuvo el inconveniente de no lograr una adecuada sujeción de la fibra al sistema porta pesos. Por este motivo no se pudo obtener una adecuada calibración de la variable deformación. Se optó por continuar el desarrollo del proyecto enfocado en el montaje de medición de la variable temperatura. A pesar de que no se logró en el periodo de tiempo del proyecto de grado medir la variable deformación, la medición de temperatura entrega información mucho más relevante del proceso, ya que la

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

deformación es una variable que mide la consecuencia de un mal procesamiento, mientras que la temperatura es la causa principal de problemas tales como la deformación, contracciones, cristalización, tensiones internas, entre otras del material inyectado. Con el montaje logrado, es posible medir la historia térmica durante todo el proceso de inyección, durante el llenado, enfriamiento y expulsión de la pieza inyectada. A partir de esta información, se pueden analizar entonces características del material inyectado mencionadas anteriormente, incluso en función del tiempo.

Una vez expuesto las condiciones del montaje desarrollado, a continuación, se describe el desarrollo y pruebas preliminares del montaje de medición.

Es importante aclarar, que para la medición de la variable deformación se emplea el mismo montaje de ensayo que se describe a continuación de la variable temperatura. En este caso, se requiere tener una correcta calibración del sensor de fibra óptica con la variable deformación. Es decir, obtener la curva de calibración (longitud de onda vs deformación), a partir de esta información y con las señales obtenidas durante el proceso de inyección, se podrá medir la deformación por medio del sensor de fibra óptica.

La tecnología para medir deformaciones con sensores de fibra óptica, es cada vez mas utilizada en el ámbito internacional en áreas como la construcción, la bioquímica, gas, petróleo, y aún no es tan utilizada en Colombia. Normalmente estos tipos de mediciones se hacen sobre materiales líquidos, gaseosos y blandos. Este trabajo Montaje Ensayo es un método que según nuestras investigaciones no se ha utilizado en el mundo, debido a que se utilizó un material sólido para alojar el sensor, que fue sometido a varias pruebas de temperatura, presión y tensión, que nos permitieron realizar de una forma exitosa todas las pruebas que nos arrojaron que las deformaciones en inyección de piezas poliméricas si pueden ser medidas.

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

### Desarrollo de pruebas finales del montaje de ensayo

Al momento de realizar las pruebas finales del montaje ensayo solo se trabajó con poliestireno PS esté es de referencia styron 678D, el policarbonato PC no se trabajó por que después de elegido el método de sujeción de la fibra al molde, que fue por medio de una cinta de alta temperatura, se detectó que inyectando policarbonato PC, la cinta comienza a deteriorarse rápidamente debido al nivel de temperaturas a las cuales se inyecta este material.

Tanto la simulación como las pruebas del montaje final de ensayo se realizaron bajo las mismas condiciones de temperaturas (en molde, en material y de enfriamiento), presión y esfuerzo. Esto para poder garantizar una correcta comparación entre resultados. Las condiciones de temperatura se pueden apreciar en la tabla 2.

*Tabla 2. Condiciones de procesamiento de inyección del poliestireno*

Temperatura de inyección [°C]	Temperatura de molde [°C]	Tiempo de pospresión [s]	Presión de pospresión [bar]	Tiempo de enfriamiento [s]
220	70	3.5	300	15

Una vez calibrada la máquina y posicionados los insertos con sus sensores, se comenzó con las pruebas finales del montaje de ensayo, cada inyección que se realizó, tomo un tiempo de 15 segundos, divido en tres etapas:

Primera : los insertos se tardan 12 segundos desde el punto inicial completamente abiertos hasta realizar el sello entre ambas placas.

Segunda: el husillo tarda 1,5 segundos desde su origen hasta estar alojado en el inserto para comenzar con la inyección.

Tercera: Se realiza la inyección de poliestireno (PS) a los insertos que tarda 1,5 segundos en llenarlos completamente.

Estas mediciones se cronometraron en cada una de las inyecciones con el fin de tomar las medidas en el momento en que se llena el molde con el material plástico

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

Las mediciones se tomaron del equipo “Optical sensing interrogator, Modelo: Si425, Marca MICRON OPTICS” con un programa de adquisición de datos al finalizar el tiempo de 15 segundos, al cabo del cual se ha llenado el molde con material plástico. El dato de longitud de onda medido en este tiempo se tuvo como dato de entrada para calcular la temperatura de la ecuación de la curva de calibración realizada de la siguiente forma:

$$T = 92.076 * \lambda - 142751 \quad (1)$$

Donde:

T: Temperatura medida por el sensor de fibra óptica en °C

$\lambda$ : Longitud de onda en m

Este valor se compara con las mediciones realizadas de las simulaciones realizadas en el software Moldex3D.



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

Con respecto a la deformación de igual forma se toma el mismo punto de control en la simulación, para ver el desplazamiento de este punto (nodo malla). Este valor será el que se comparará con el medido experimentalmente en la misma posición con el sensor de fibra óptica. Ya que el valor experimental aún no se tiene medido, inicialmente no se tomaron valores de la simulación. Con respecto a valores numéricos, en el momento no se tiene activado el software, una vez se active este y se tengan futuras mediciones con el sensor de fibra óptica se reportarán valores numéricos.

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

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

Una vez realizado el montaje de ensayo para la medición de temperatura y deformaciones en las piezas termoplásticas inyectadas y después de contemplar varias opciones anteriormente expuestas, se considera que la mejor disposición del sensor de fibra óptica para censar durante el proceso de inyección es mecanizando un alojamiento longitudinalmente a lo largo de la superficie del molde, de tamaño suficiente que sea posible insertar completamente la fibra en él, y utilizando cinta de alta temperatura para sujetar la fibra al molde, (*Véase figura 4*).

Con este montaje se asegura poder usar continuamente el sensor y al mismo tiempo obtener una lectura apropiada de las variables de interés durante el proceso de inyección. Inicialmente se pensó en realizar mediciones durante el proceso de inyección de materiales como poliestireno y policarbonato, sin embargo durante el montaje de ensayo y validaciones previas se encontró que la cinta pierde su adherencia al inyectar policarbonato, esto porque la temperatura de inyección de este material sobrepasa la temperatura máxima que resiste la cinta, razón por la cual solo se realizan mediciones con poliestireno; Para mediciones futuras de otros materiales con una temperatura de inyección mayor a 260°C se debe idear otra disposición del sensor en el molde u otro elemento de sujeción que resista la temperatura de inyección del material.

Los sensores de fibra óptica han tenido gran aceptación, incluso han venido reemplazando los sensores eléctricos, esto por la gran versatilidad en medición de variables que posee, por su alta capacidad de transmisión de datos y porque puede trabajar en los ambientes más adversos. En el campo de medición de temperatura y deformación en procesos de inyección se encuentran varios proyectos realizados alrededor del mundo teniendo unos

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

buenos resultados y una buena aceptación a nivel general, se concluye que es una forma confiable para la medición y verificación de las simulaciones previamente realizadas.

Los materiales, implementos y equipos seleccionados cumplen con lo esperado, una medición acertada, y una capacidad de uso continuo de los mismos.

#### Recomendaciones

Para medir temperatura y deformaciones en las piezas de poliestireno inyectadas utilizando el método expuesto en este trabajo de grados, se debe tener en cuenta que la temperatura de inyección no debe ser superior a 260°C, para que la cinta de alta temperatura no pierda sus propiedades. En la maquina inyectora se deben hacer algunas inyecciones de prueba para que la temperatura a lo largo del tornillo inyector sea uniforme y además el colector laser de datos que se use debe estar calibrado para realizar unas mediciones de longitud de onda confiables.

Si se desea realizar mediciones en materiales con una temperatura de inyección superior a 260°C se debe utilizar una cinta con una capacidad más alta de temperatura o bien idear otra disposición de la fibra en el molde de inyección que permita un uso continuo.

#### Trabajo Futuro

Este montaje de ensayo arroja buenos resultados a la hora de medir temperatura de piezas de poliestireno durante el proceso de inyección; sin embargo la experiencia obtenida durante la elaboración del presente trabajo de grados tanto como lo consultado en trabajos similares alrededor del mundo, nos permite tener unos pensamientos optimistas en cuanto al desarrollo de las mediciones tanto de temperatura y deformación como de otras variables inmersas en el proceso de inyección como presión, contracción, desplazamiento, etc.

Se considera que se puede desarrollar un montaje en el cual se puedan medir todas las variables involucradas en el proceso de inyección con la gran mayoría de materiales

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

termoplásticos, ideando otra disposición del sensor en el molde, que posea una mayor capacidad de temperatura y capacidad de uso continuo.

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

## REFERENCIAS

*Pinto García, R.A., Cabezas A.F., (2014) Sistemas de comunicaciones ópticas. Bogotá. Universidad Militar Nueva Granada.*

*Villarreal Jiménez, L. R., (1997). Sistemas de Comunicación A través de Fibra Ópticas. San Nicolás Delos Garza. Universidad Autónoma de Nuevo León.*

*Colladon, J.D.,(1884). La Nature. Paris: Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences.*

*Tempesti, A., & Corvaglia, P. (2016). Could optical fibre sensors save lives: European research Project. Multitexco. euronews, 1-1*

*Martínez, J., Ródenas, A., Díaz, F. Aguiló, M., Fernández, T., & Solís, J. (2016). Mid-infrared surface plasmon polariton chemical sensing on fiber-coupled ITO coated glass: Science is news (SINC), 41, 2493-2496*

*Saenz, M. H., (2016). optic Fiber sensor to detect testosterone in urine and wáter: Public University of Navarra. Public University of Navarra, 1-1*

*Benjamin, T., (2013). A new fiber optic sensor controls the temperature of the satellites: Sensors, monitoring, structures (CALSENS). Science is news (SINC), 1-1*

*Arenas, G., Noriega, S., Vallo, C., & Duchowicz, R., (2007). Applications of a optic fiber sensor to the non-invasive measurement of in displacements and vibrations in the micro and sub-micrometric range: Pan American Conference of END Buenos Aires, Argentina, 1-12*

*Frövel, M., (2006). Sensores de fibra optica tipo redes de bragg embebidos en material compuesto para medir deformaciones y temperaturas criogénicas, 179-179*

*Hernandez, N., Ramirez, R., & Sandoval, R., (2014). Sensor de desplazamiento nanometrico en fibra óptica con base en un inteferometro: Centro de ciencias aplicadas y desarrollo tecnológico, 11-11*

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

*Martínez, F.H., (2011). Sensores de fibra óptica como instrumentos de monitorización en estructuras en condiciones de servicio: Universidad Carlos III De Madrid, 36-37*

*Causado, J. D., Gómez, N. D., Gonzales, E., Jessie, D., & Torres, P.m. (2011). Applications Of Fiber Bragg Gratings Sensors In Civil Structures: Photonics Group & Opto-electronics. Physical: National University of Colombia Medellin. Colombian Journal of Physics, Vol. 43, No. 3, 929-932*

*Martinez, G., Ródenas, A., & Díaz, R., (2016). Mid-infrared surface plasmon polariton chemical sensing on fiber-coupled ITO coated glass: Universitat Rovira i Virgili, Opt. Lett. **41**, 2493-2496*

<p>FIRMA ESTUDIANTES _____</p> <p style="margin-left: 100px;"><i>Giovani S</i></p> <p style="margin-left: 100px;"><i>[Signature]</i></p> <p>FIRMA ASESOR _____</p> <p style="margin-left: 100px;"><i>[Signature]</i></p>	<p><i>Nota: Informe con correcciones hechas con base al evaluador.</i></p> <p><i>FECHA ENTREGA: 14/07/2018</i></p>
<p>FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD</p> <p>_____</p>	
<p>RECHAZADO      ACEPTADO      ACEPTADO CON MODIFICACIONES</p>	
<p>ACTA NO. _____</p> <p>FECHA ENTREGA: _____</p>	
<p>FIRMA CONSEJO DE FACULTAD</p> <p>_____</p>	
<p>ACTA NO. _____</p> <p>FECHA ENTREGA: _____</p>	