 Institución Universitaria	Código	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
	Versión		Versión	03
	Fecha		Fecha	2017-05-31

Reducción de las tensiones residuales en piezas plásticas inyectadas por simulación computarizada

Andrés Felipe Tobón Gutiérrez


Tecnología en Electromecánica

Carlos Andrés Vargas Isaza

Juan Carlos Posada

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2017

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

Reducción de las tensiones residuales en piezas plásticas inyectadas por simulación computarizada

Andrés Felipe Tobón Gutiérrez


Tecnología en Electromecánica

Carlos Andrés Vargas Jasso

Juan Carlos Posada

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO


2017

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

RESUMEN

Las tensiones residuales o internas en los materiales son esfuerzos presentes en el material de una pieza o producto en ausencia de fuerzas externas. Estas tensiones se generan durante procesos de transformación del material para fabricar productos finales al generarse procesos térmicos no homogéneos, generalmente enfriamiento. En el caso de piezas plásticas, específicamente en el proceso de inyección la generación de tensiones internas puede ser crítico, ya que las piezas inyectadas pueden tener niveles altos de tensiones internas que generan fallas en la pieza inyectada como grietas, fisuras o un desempeño mecánico inferior al esperado en la pieza fabricada.

Ya que las tensiones internas son inevitables, es importante cuantificarlas para verificar la calidad del producto obtenido, el propósito del presente proyecto es realizar un proceso de optimización para encontrar la reducción de las tensiones residuales de piezas típicas inyectadas. Este procedimiento de ensayo 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”. Con el desarrollo de este proyecto se buscará analizar y mejorar el desempeño de algunos tipos de piezas plásticas inyectadas típicas, de pared delgada, pared gruesa y un producto real de una empresa participante del proyecto en mención.


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

RECONOCIMIENTOS

La realización de esta investigación fue posible a la colaboración del profesor Carlos Andrés Vargas Isaza y al Grupo de investigación de Materiales Avanzados y Energía por facilitar los implementos necesarios para realizar la investigación.

Las piezas plásticas, específicamente en el proceso de inyección la generación de tensiones internas puede ser crítica, ya que las piezas inyectadas pueden tener niveles altos de tensiones internas que generan fallas en la pieza inyectada como grietas, fisuras o un desempeño mecánico inferior al esperado en la pieza fabricada.

Ya que las tensiones internas son inevitables, es importante cuantificarlas para verificar la calidad del producto obtenido, el propósito del presente proyecto es realizar un proceso de optimización para encontrar la reducción de las tensiones residuales de piezas típicas inyectadas. Este procedimiento de ensayo 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". Con el desarrollo de este proyecto se buscará analizar y mejorar el desempeño de algunos tipos de piezas plásticas inyectadas típicas, de pared delgada, pared gruesa y un producto real de una empresa participante del proyecto en mención.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

ACRÓNIMOS

TABLA DE CONTENIDO

CAE Computer Aided Engineering.

DDE Diseño de experimentos

ABS Acrilonitrilo Butadieno Estireno.

INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO TEÓRICO.....	2
METODOLOGÍA.....	3
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	29
REFERENCIAS.....	31



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

TABLA DE CONTENIDO


1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	8
3. METODOLOGÍA	8
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	29
REFERENCIAS	31

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

1. INTRODUCCIÓN

La medición de tensiones internas en materiales es un tema poco estudiado en nuestro país, las empresas de manufactura que tienen problemas con sus productos fabricados por este fenómeno normalmente realizan ensayos de calidad sobre el producto terminado en forma cualitativa para verificar si el producto genera fallas o grietas inducido por la presencia de químicos en la pieza. Sin embargo, la medición de niveles de esfuerzos internos no se realiza y no se cuantifica estos esfuerzos que influencia puede tener en el desempeño estructural o mecánico de las piezas fabricadas. El comenzar a realizar procedimientos o técnicas para estas mediciones y como minimizar los niveles de tensiones internas, representa un primer avance en el análisis del comportamiento de los materiales ante los esfuerzos internos generados en el proceso de producción en las empresas de manufactura.


Específicamente en este proyecto se quiere determinar los efectos de las variables críticas –temperatura de molde y de inyección, tiempo de enfriamiento, tiempo y presión en la etapa de pospresión- que influyen en el proceso de inyección específicamente en los esfuerzos residuales, además se desea conocer ¿cómo influye el cambio en el espesor en la pieza de plástico?; se tienen tres piezas, dos de ellas son probetas con igual superficie y diferente espesor, la última pieza es un pulsador el cual es usado como pieza fundamental en tableros de control –en este caso para controlar un ascensor-, los materiales utilizados son ABS, policarbonato y polipropileno.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

2. MARCO TEÓRICO

Para analizar lo que sucede en el proceso de inyección es necesario conocer las etapas por las que pasa el material, dichas etapas son:

- cámara de plastificación: es la etapa inicial donde la cámara y boquilla se calientan eléctricamente ayudando a fundir el material que pasa a través de un tornillo sin fin, el material a través del tornillo sin fin se encuentra bajo presión porque este solo permite avance y al estar regulada la salida el material se encuentra bajo un diferencial de presión, lo que genera un trabajo que ejerce el tornillo sobre el polímero fundido provocando un aumento en la temperatura del material; al ser una etapa crítica el control de la temperatura mediante sensores es de vital importancia para evitar daños en la maquinaria, la producción y el material.
- Proceso de llenado de molde: la superficie del molde donde se vierte el polímero fundido se encuentra a una temperatura distinta, y al verterse el flujo del polímero fundido sobre una superficie fría genera en su estructura microscópica y macroscópica una geometría complicada si no son controladas mediante tensiones; lo que da lugar a uno de los factores más importantes en este proceso enfriamiento dentro de la cavidad de moldeo.
 - Análisis de la etapa de llenado de la cavidad: Esta etapa de llenado va desde que el material llega a la cavidad y hasta que comienza su etapa de compactación; en esta etapa es importante resaltar las variables principales a analizar y los efectos que se producen. Cuando el material entra en contacto con la cavidad del molde la temperatura del frente del material se empieza a igualar con la temperatura de la cavidad y a este efecto se le conoce como capa fría, el material que está cerca de la capa fría presenta una viscosidad elevada (oposición al movimiento), pero el material que va tras él tiene una gran velocidad que ayuda a empujarlo, esto no se prolonga indefinidamente, al alcanzar la capa fría el material alcanza una mayor viscosidad hasta el punto de detenerse y a este efecto se le conoce como efecto fuente.
 - Determinación del tiempo óptimo de llenado: la velocidad de llenado del molde depende de la velocidad con la que salga el polímero fundido que a su vez depende del tiempo, este movimiento es acelerado, pero para facilitar su control y que el molde se llene lo más uniforme posible se parametriza; de tal forma que se logre una velocidad constante dentro de la cavidad al controlar un perfil de velocidad de movimiento del husillo de la máquina.
 - Si el tiempo de llenado es bajo, tendrá una mayor velocidad de llenado lo que conlleva un incremento en la presión.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

- Si el tiempo de llenado es lento también se necesitará una presión de inyección elevada para rellenar el molde con el polímero fundido, lo que supone una necesidad de aplicar mayores presiones en la máquina.
- Análisis de la etapa de compactación: en esta etapa se termina de rellenar el molde compensando los efectos de la contracción térmico (que dan lugar a tensiones internas¹) [2]; se le hace control mediante la velocidad, ya que se realiza a una velocidad de avance del husillo.
- Transición entre llenado y compactación: se debe realizar de manera suave y a tiempo, ya que si se hace cuando el material está en capa fría se corre con el riesgo de que se note la transición del plástico o simplemente no se haya unido. [1]

Tensiones internas en piezas plásticas inyectadas: las piezas de polímeros están sometidas a calentamientos y enfriamientos que no afectan por igual a todos sus puntos durante el proceso de inyección, por lo general estos cambios implican cambios en su estructura que pueden dar origen a tensiones internas; las dilataciones térmicas pueden provocar en algunas zonas de las piezas deformaciones plásticas², que generan tensiones residuales. [5]

Los efectos de las tensiones residuales pueden ser beneficiosos o perjudiciales, dependiendo de la magnitud, sentido, y distribución de estas tensiones con respecto a las tensiones inducidas por cargas. Por lo general, las tensiones residuales son perjudiciales, y hay muchos casos documentados en los que estas tensiones fueron el factor predominante que contribuyó a la fatiga y a otros fallos estructurales cuando las tensiones aparecidas en servicio se superponen a las tensiones residuales ya presentes. Un aspecto particularmente insidioso de las tensiones residuales es que no se detecta su presencia hasta después del fallo o mal funcionamiento del componente afectado. [6]


La técnica moderna más ampliamente utilizada para la medida de tensiones residuales es la de las galgas extensométricas y la relajación de tensiones por la perforación de agujero.

Brevemente resumido, el procedimiento de medida está compuesto de seis pasos básicos:

- Se coloca una galga extensométrica circular especial de tres elementos en el punto de la pieza a estudiar donde se desea determinar las tensiones residuales.
- Se conectan las tres galgas a un indicador de deformación estática a través de una unidad de alimentación y balance.
- Se une la pieza a ensayar a una guía de perforación de precisión y se centra correctamente sobre el punto a perforar en el círculo formado por las galgas o roseta.

¹ Las tensiones internas se pueden predecir evaluando materiales y geometrías, este es un tema poco investigado, solo hay casos específicos. [3]

² se producen cuando en una zona de la pieza alcanza una temperatura más alta que la del material que la rodea.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

- Después de poner a cero los indicadores de las galgas, se perfora un pequeño agujero superficial en el centro de la roseta.
- Las lecturas obtenidas son causadas por las deformaciones por relajación del material que están relacionadas con las tensiones residuales iniciales.
- Utilizando los datos proporcionados en este documento, es posible calcular las tensiones residuales principales y su orientación angular a partir de las deformaciones medidas. [6]

Sobre el proceso de inyección asistido por computador es una herramienta desarrollada para comunicar procedimientos y resultados en un proceso de inyección comúnmente empleando la herramienta CAE (Computer Aided Engineering).

El proceso de moldeo por inyección de plásticos es usado típicamente para producir partes de una geometría relativamente compleja en un solo paso. Esto significa que una vez la pieza ha sido expulsada del molde está lista para su uso o lista para ser agregada en un ensamble más grande. Como resultado, el proceso de moldeo por inyección ha disfrutado de un crecimiento relativamente fuerte en varias ramas industriales por cierto tiempo. Sin embargo, dado que cada vez se producen más piezas de geometría compleja en materiales también muy diversos, es necesario implementar el CAE para la simulación de todas las fases del proceso de diseño a manufactura, y evitar potenciales problemas (como sistemas de alimentación subdimensionados) y defectos en las piezas dependientes del proceso (como disparos cortos, marcas de rechupes e imperfecciones superficiales); el CAE en plásticos agrega una cantidad significativa de valor al proceso en general. Las simulaciones de CAE para el moldeo por inyección de plásticos pueden ser desarrolladas en las etapas iniciales del diseño de la pieza y del molde, dando la oportunidad de evaluar cada iteración en el diseño, tanto para establecer la viabilidad de manufactura como para determinar la calidad de las piezas. Debido a que el costo de hacer un cambio es más bajo en las etapas más tempranas del desarrollo del producto (y dado que el impacto correspondiente de cualquier cambio posterior es mayor), resulta un gran beneficio económico implementar el CAE para plásticos en etapas tempranas. [4]

Ventajas del uso de una herramienta CAE:

- Las fuerzas pueden ser simuladas sobre el modelo, sin tener que desperdiciar material, realizando pruebas sobre el producto final.
- No dependencia del tiempo que pueda tardar el proceso de elaboración.
- Ofrece la posibilidad de simular y optimizar el proceso de manufactura.

[3] Las tensiones internas se pueden predecir evaluando materiales y geometrías, este es un tema poco investigado, solo hay casos específicos.

[4] Se producen cuando en una zona de la pieza alcanza una temperatura máxima que la del material que lo rodea.

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se siguieron las siguientes etapas:

- Modelamiento de piezas para realizar la simulación del proceso de inyección en el software Moldex3d; las piezas moldeadas son las siguientes:

1. Probeta con espesor de 3.7 mm

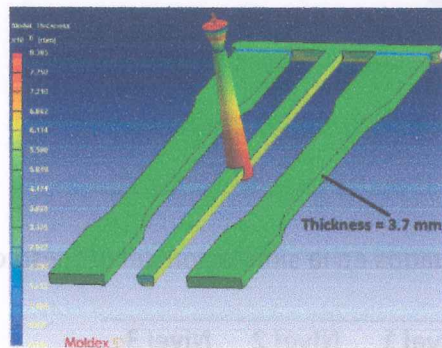


Imagen 1.

2. Probeta con espesor de 1.6 mm

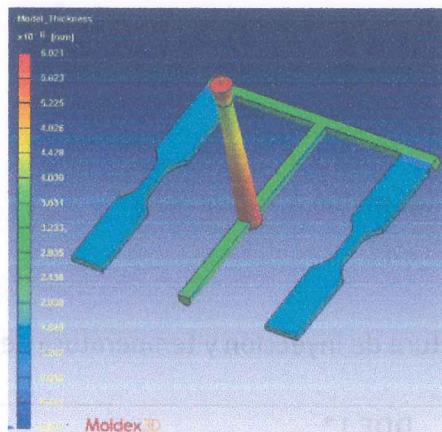


Imagen 2.

3. Pulsador

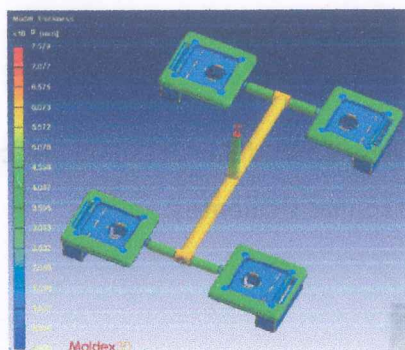


Imagen 3.

- Ejecución del DDE

Condiciones de proceso y niveles evaluados en la simulación del proceso de inyección.


Variable	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Temperatura de inyección	+	*	-
Temperatura de molde	+	*	-
Tiempo de enfriamiento restante	+	*	-
Tiempo de pospresión	+	*	-
Presión de pospresión	+	*	-

+: nivel alto, *: nivel medio, y -: nivel bajo

Tabla 1.

DDE 1 a diferentes niveles de temperatura de inyección y temperatura de molde para cada polímero y pieza inyectada.

Pieza	Variable de proceso	DDE 1*		
		PP	PC	ABS
Pared delgada	Temperatura de inyección [°C]	210/240/270	290/305/320	
	Temperatura de molde [°C]	20/40/60	80/95/110	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	03
			Fecha	2017-05-31

Pieza	Variable de proceso	DDE 1*		
		PP	PC	ABS
Pared gruesa	Temperatura de inyección [°C]	210/240/270	290/305/320	
	Temperatura de molde [°C]	20/40/60	50/80/110	
Pulsador	Temperatura de inyección [°C]		290/305/320	220/230/240
	Temperatura de molde [°C]		80/95/110	60/75/90

* Simulaciones realizadas a condiciones fijas del nivel medio del DDE2

Tabla 2.

DDE 2 a diferentes condiciones de tiempo de enfriamiento, tiempo de pospresión y presión de pospresión para cada pieza y material inyectado.

Pieza	Variable de proceso	DOE 2		
		PP	PC	ABS
Pared delgada*	Tiempo de enfriamiento [s]	4.6 / 6.6 / 8.6	2.7 / 5 / 7.5	
	Tiempo de pospresión [s]	3 / 4.5 / 6.5	2 / 3.7 / 6	
	Presión de pospresión [MPa]	60 / 80 / 100	40 / 60 / 80	
Pared gruesa*	Tiempo de enfriamiento [s]	10 / 13 / 16	6 / 10 / 15	
	Tiempo de pospresión [s]	7 / 10 / 13	4 / 7.7 / 10	
	Presión de pospresión [MPa]	60 / 80 / 100	40 / 60 / 80	
Pulsador**	Tiempo de enfriamiento [s]		6 / 10 / 15	9 / 13 / 18

Pieza	Variable de proceso	PP	DOE 2	PC	ABS
	Tiempo de pospresión [s]			4 / 7.7 / 10	4 / 7.7 / 10
	Presión de pospresión [MPa]			40 / 60 / 80	40 / 60 / 80

* Simulaciones hechas a condiciones fijas del nivel medio del DDE1.

** Simulaciones hechas a condiciones del DDE1 donde se obtuvo el menor esfuerzo residual.

Tabla 3.

- Diseño de canales de enfriamiento y entrada del material fundido.

1. Probeta con espesor de 3.7 mm

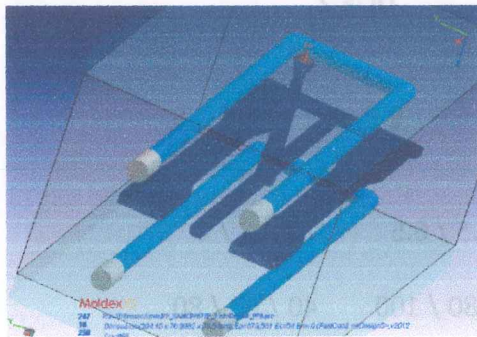


Imagen 4.

2. Probeta con espesor de 1.6 mm

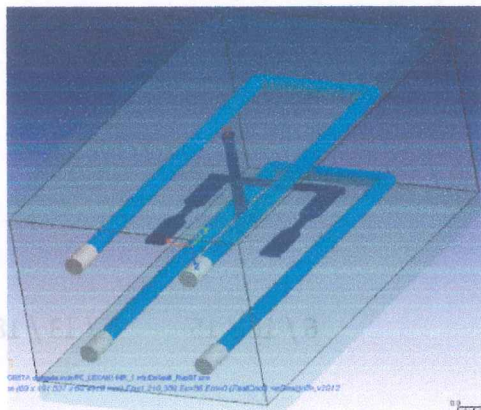


Imagen 5.

3. Pulsador

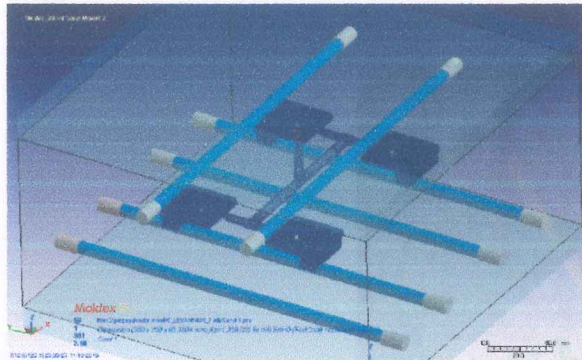


Imagen 6.

- Selección del punto para medir los esfuerzos residuales:

Probeta con espesor de 3.7 mm

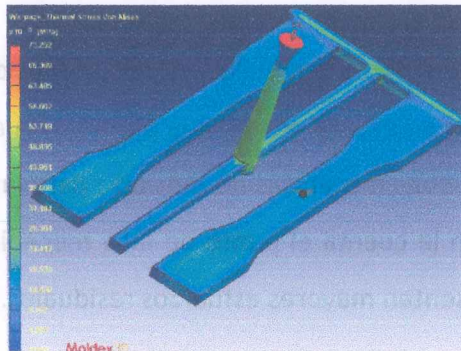


Imagen 7.

Probeta con espesor de 1.6 mm

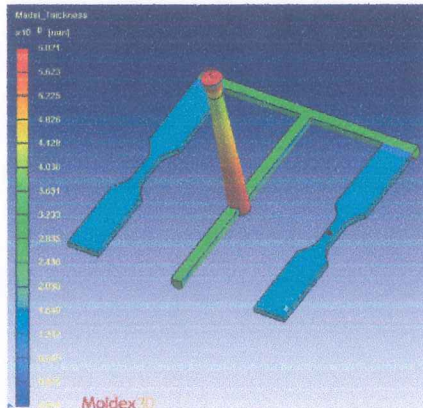


Imagen 8.

Pulsador

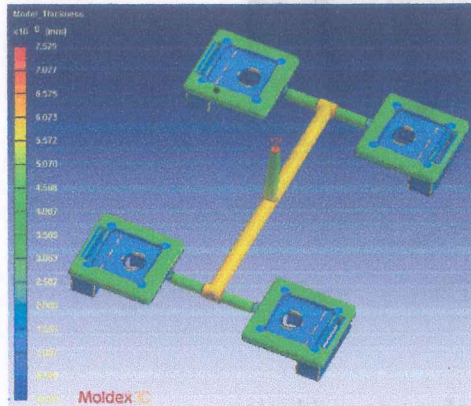
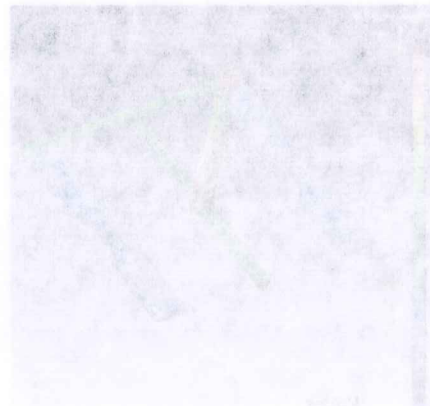


Imagen 9.

El punto seleccionado para medir los esfuerzos residuales en las probetas de 1.6 mm y 3.7mm de espesor es el lugar donde se espera que falle la pieza en un ensayo de tensión - ya que son probetas de pruebas mecánicas de tensión-; para la selección del punto en el pulsador se tomó en la cuenta el punto de falla mecánica que es precisamente el punto donde se presentan mayores esfuerzos residuales.

- Los diferentes datos obtenidos fueron graficados utilizando el software Microsoft Excel.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Probeta de 3.7 mm

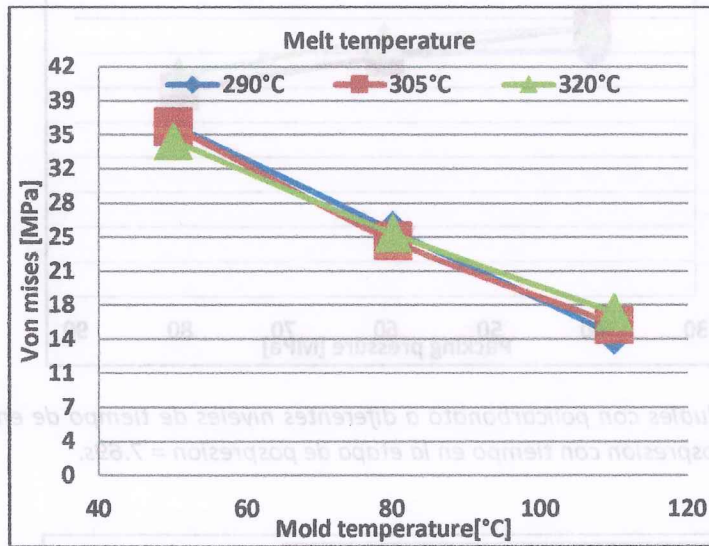


Figura 1. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de temperatura de molde y fundición de la masa con tiempo de enfriamiento = 10s, tiempo en la etapa de pospresión = 7.69s y presión en la etapa de pospresión = 60 MPa.

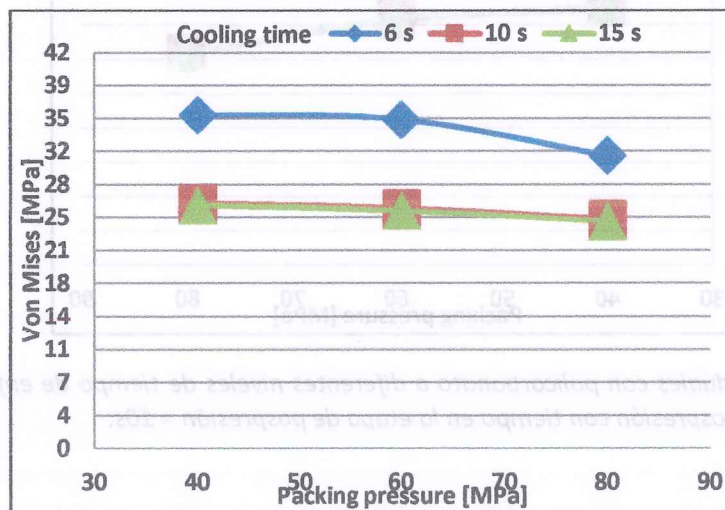


Figura 2. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 4s.

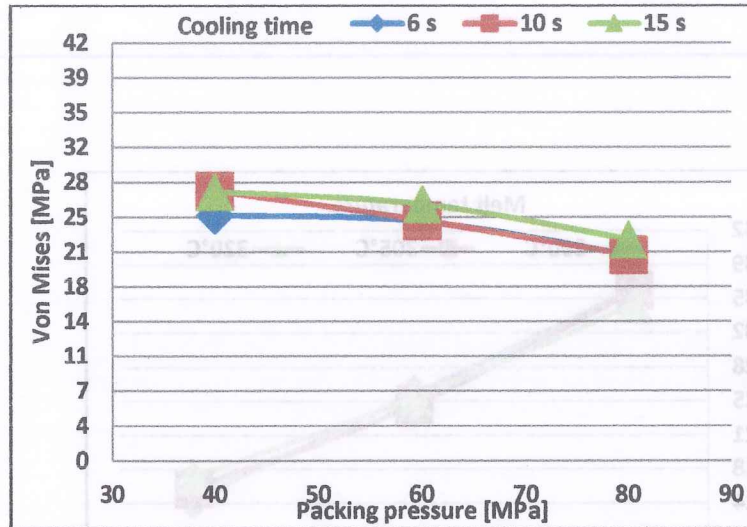


Figura 3. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 7.69s.

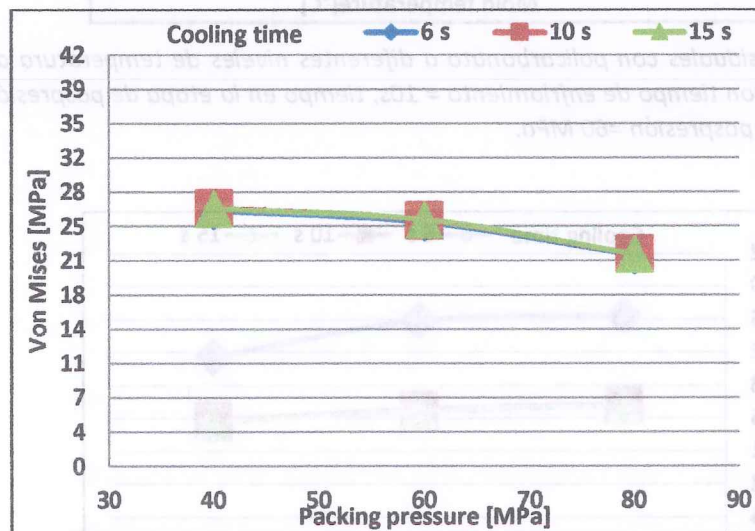


Figura 4. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 10s.

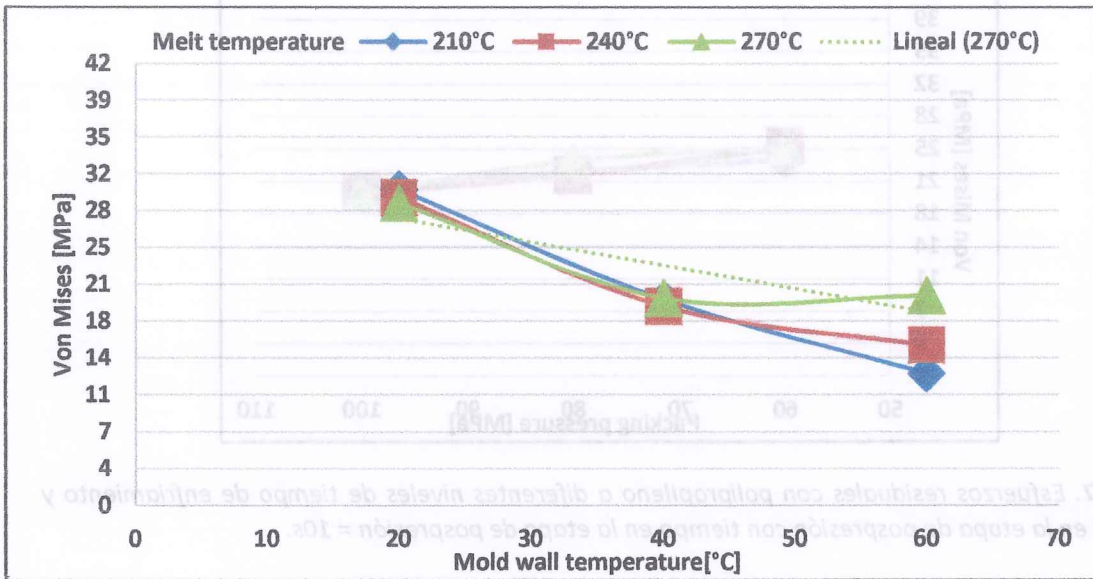


Figura 5. Esfuerzos residuales con polipropileno a diferentes niveles de temperatura de molde y fundición de la masa con tiempo de enfriamiento = 13s, tiempo en la etapa de pospresión= 10s y presión en la etapa de pospresión =80 MPa.



Figura 6. Esfuerzos residuales con polipropileno a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 7s.

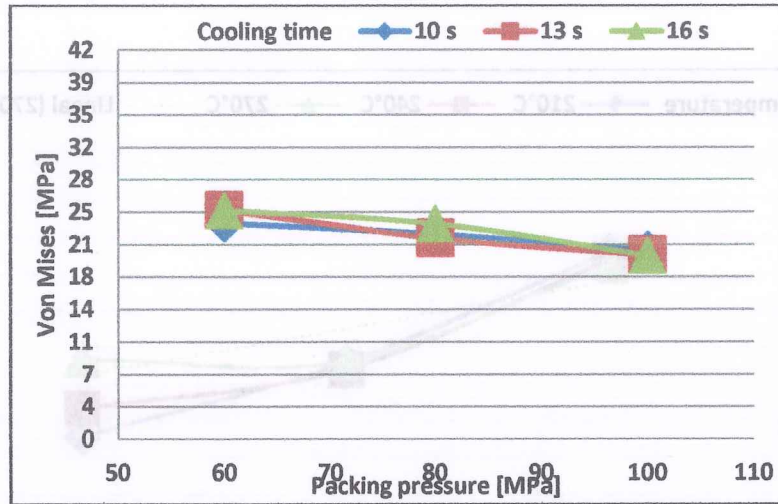


Figura 7. Esfuerzos residuales con polipropileno a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 10s.

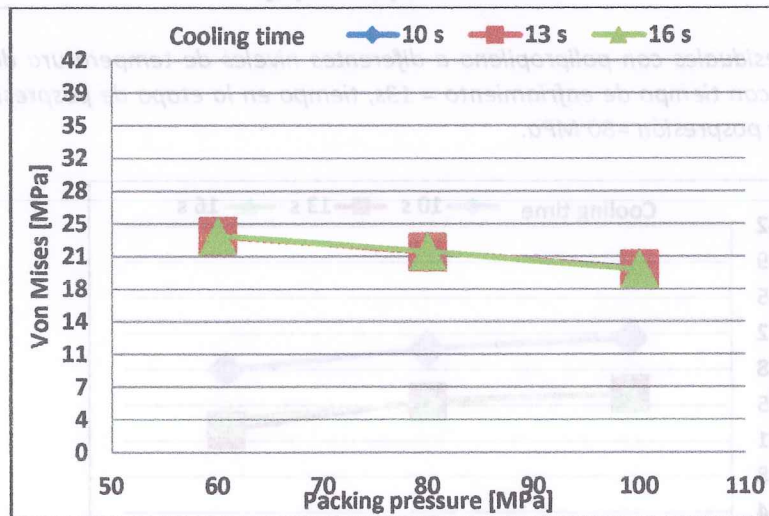


Figura 8. Esfuerzos residuales con polipropileno a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 13s.

Probeta de 1.6 mm

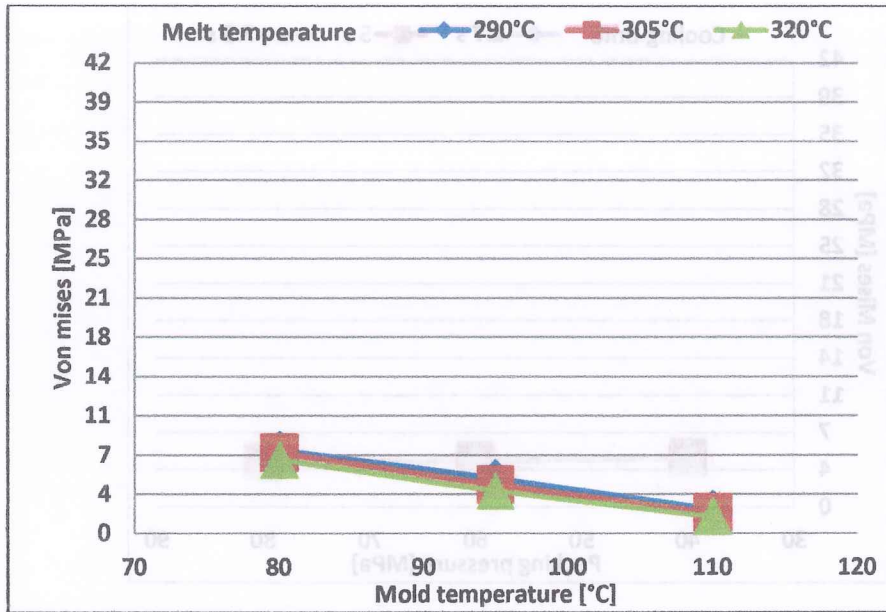


Figura 9. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de temperatura de molde y fundición de la masa con tiempo de enfriamiento = 5s, tiempo en la etapa de pospresión= 3.7s y presión en la etapa de pospresión =60 MPa.

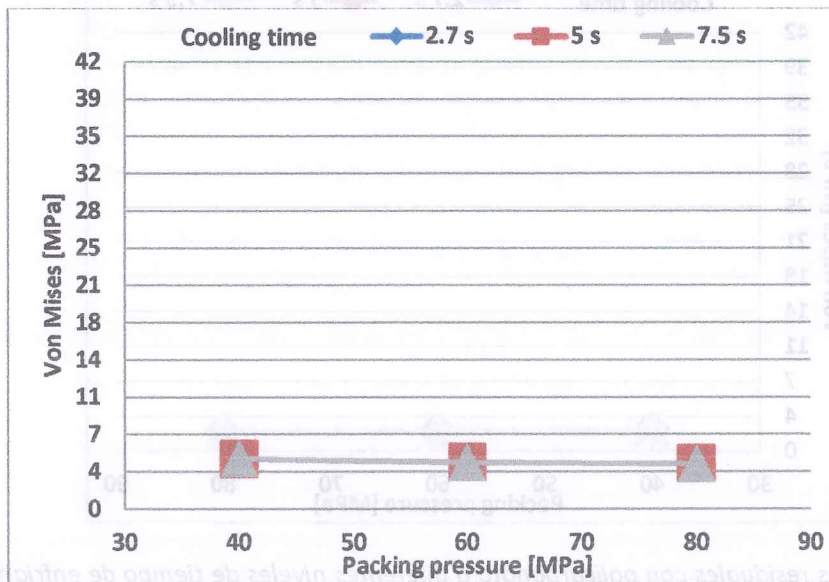


Figura 10. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 2s.

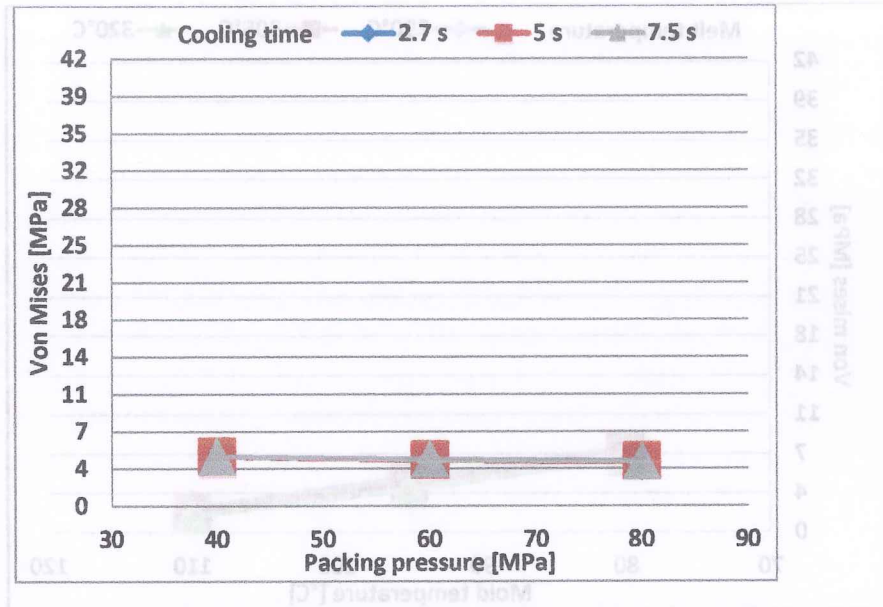


Figura 11. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 3.7s.

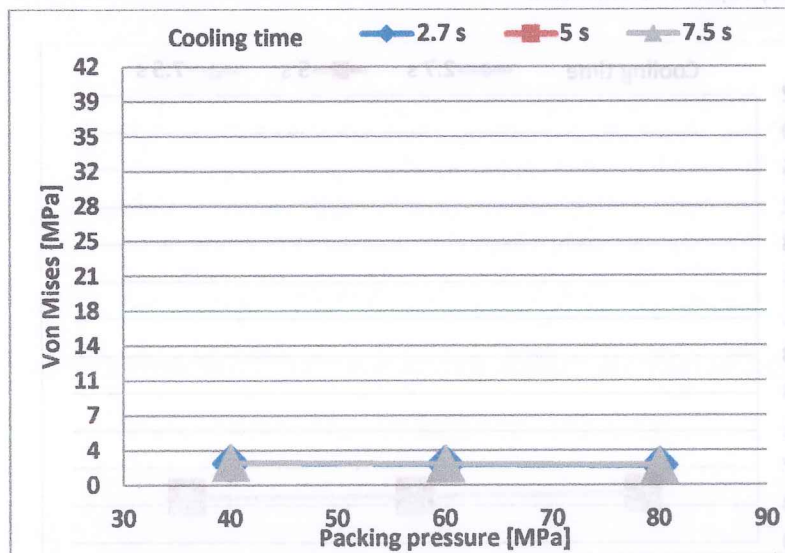


Figura 12. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 6s.

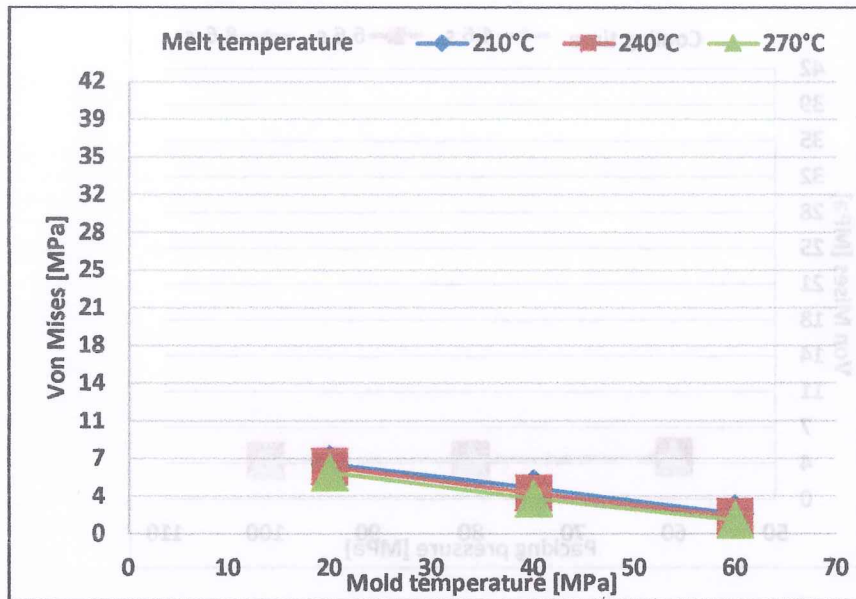


Figura 13. Esfuerzos residuales con polipropileno a diferentes niveles de temperatura de molde y fundición de la masa con tiempo de enfriamiento = 6.6s, tiempo en la etapa de pospresión= 4.5s y presión en la etapa de pospresión =80 MPa.

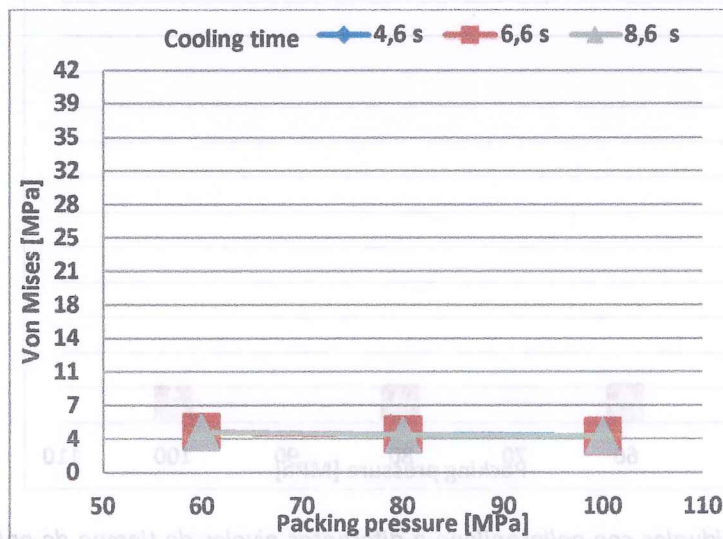


Figura 14. Esfuerzos residuales con polipropileno a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 3s.

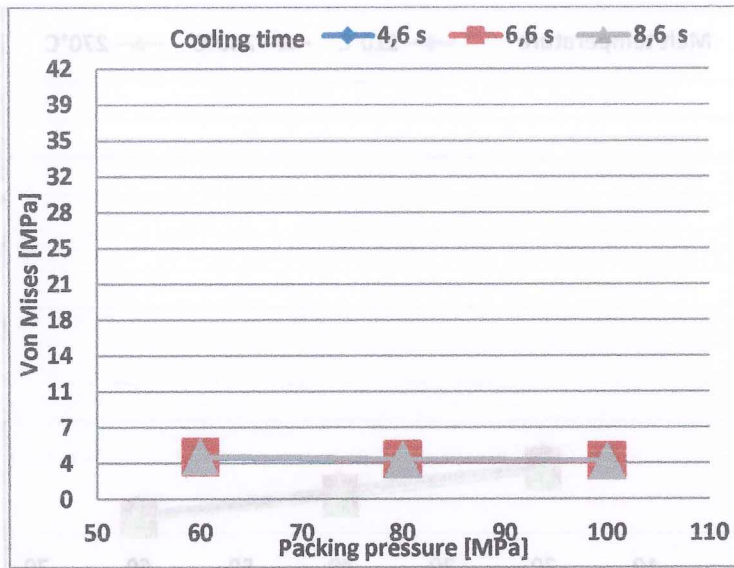


Figura 15. Esfuerzos residuales con polipropileno a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 4.5s.

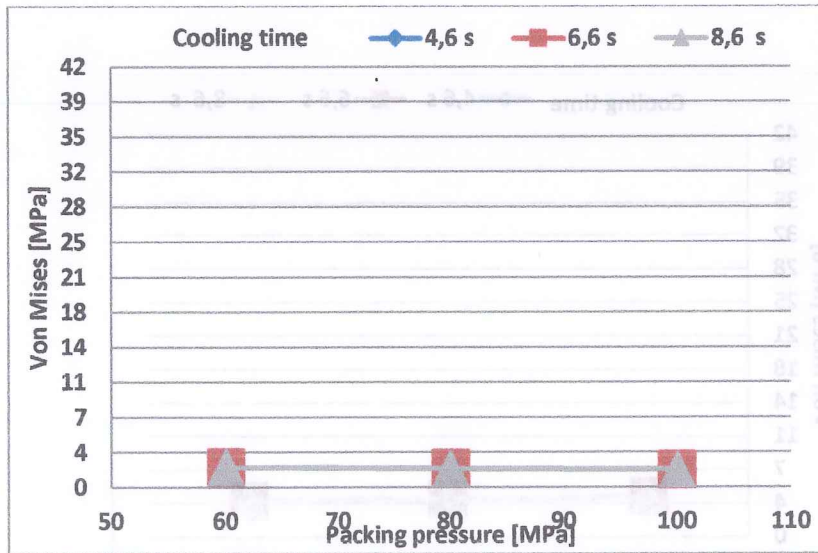


Figura 16. Esfuerzos residuales con polipropileno a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 6.5s.

Pulsador 3.4 mm

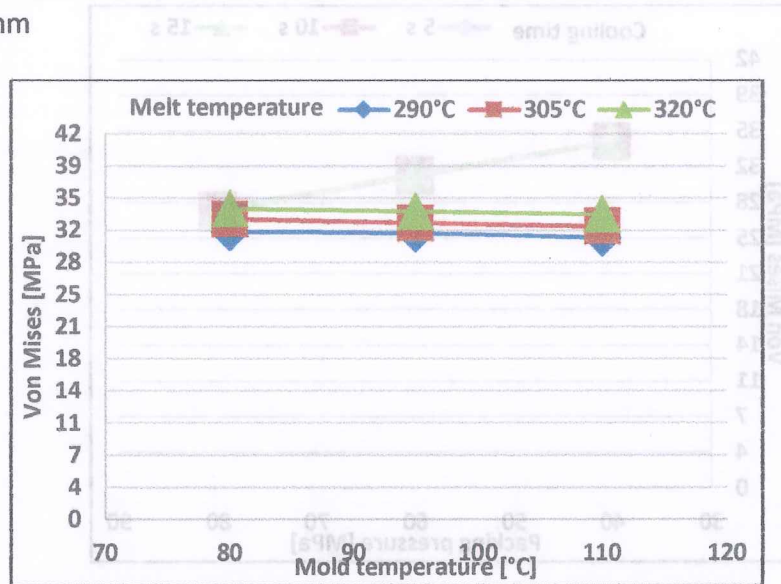


Figura 17. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de temperatura de molde y fundición de la masa con tiempo de enfriamiento = 10s, tiempo en la etapa de pospresión = 7.7s y presión en la etapa de pospresión = 60 MPa.

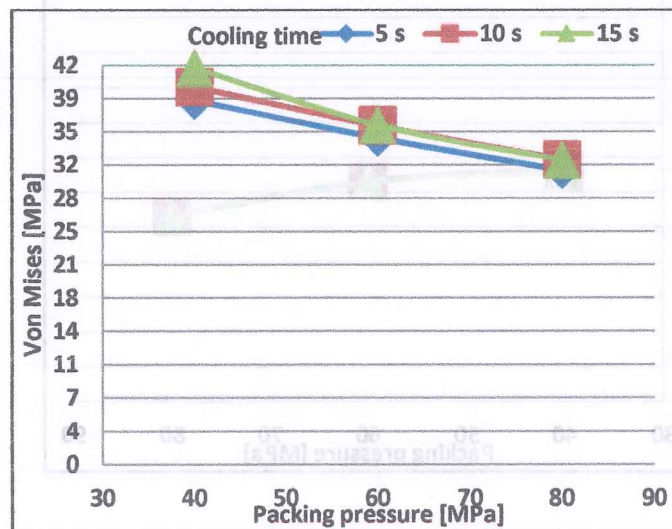


Figura 18. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 4s.

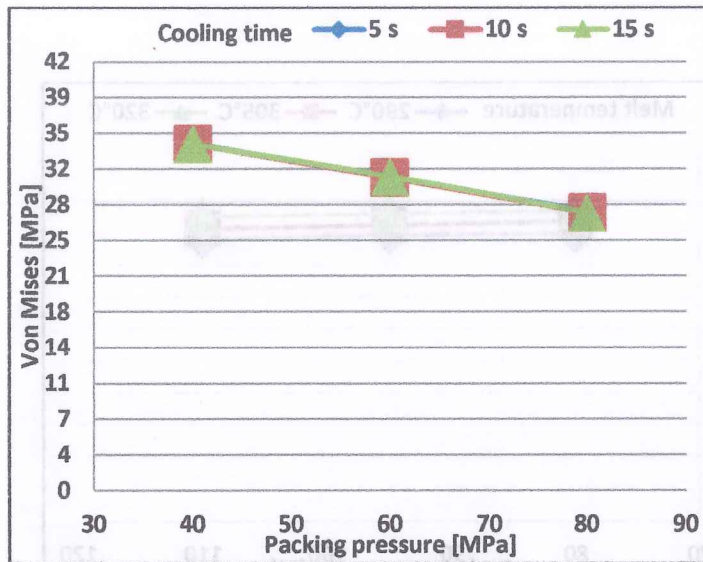


Figura 19. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 7.7s.

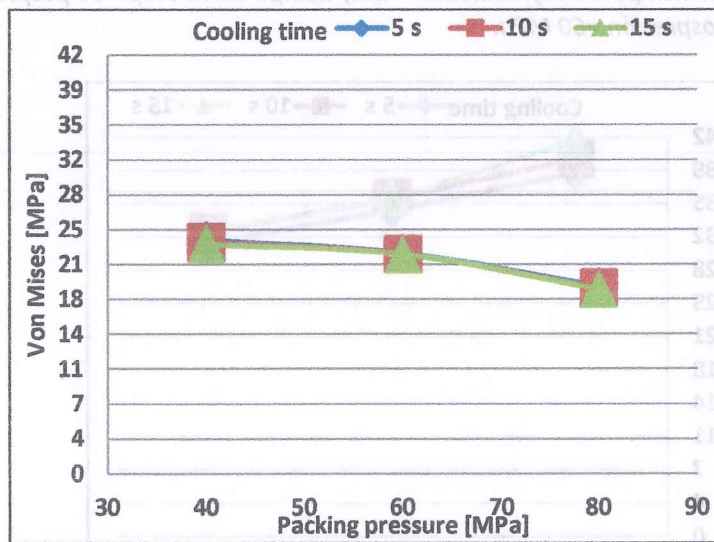


Figura 20. Esfuerzos residuales con policarbonato a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 10s.

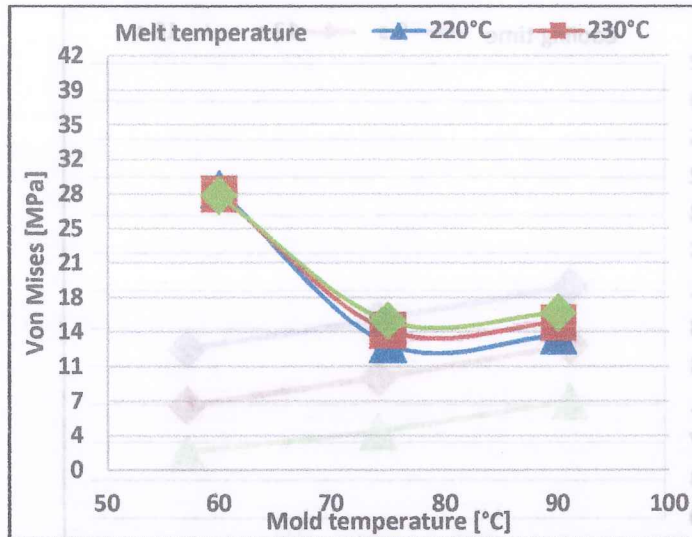


Figura 21. Esfuerzos residuales con ABS a diferentes niveles de temperatura de molde y fundición de la masa con tiempo de enfriamiento = 13s, tiempo en la etapa de pospresión= 7.7s y presión en la etapa de pospresión =60 MPa.

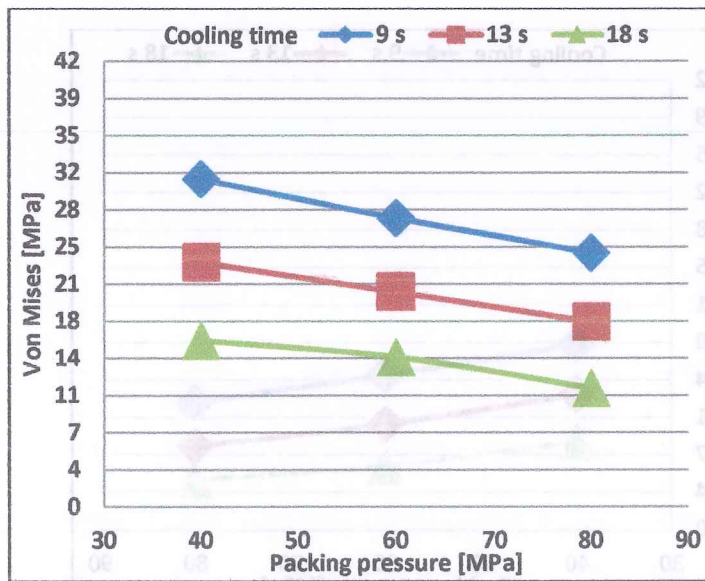


Figura 22. Esfuerzos residuales con ABS a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 4s.

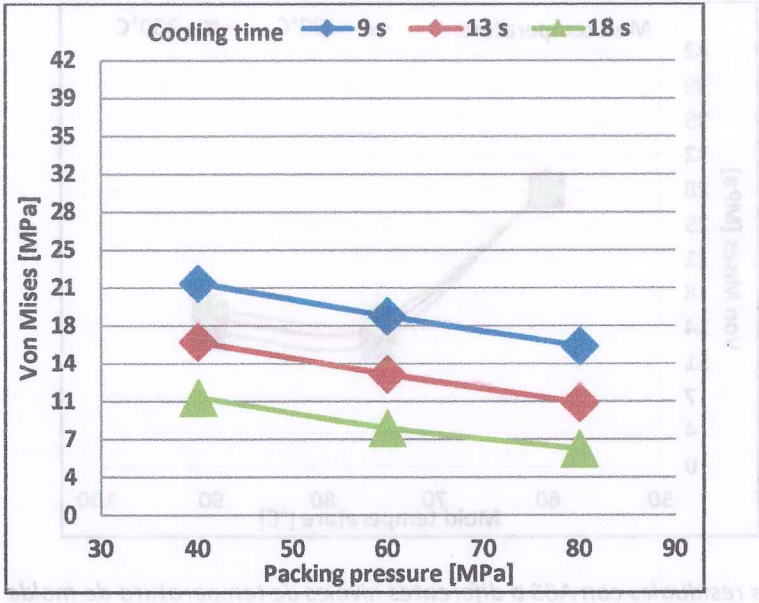


Figura 23. Esfuerzos residuales con ABS a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 7.7s.

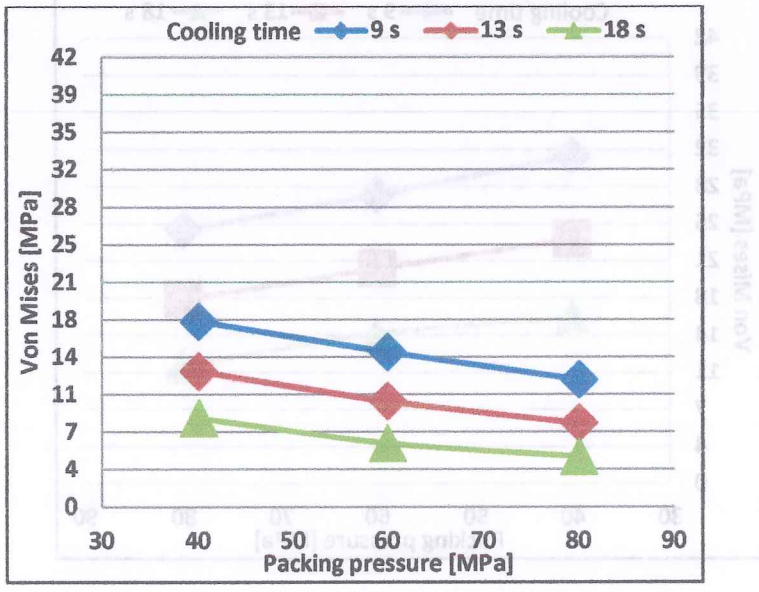



Figura 24. Esfuerzos residuales con ABS a diferentes niveles de tiempo de enfriamiento y presión en la etapa de pospresión con tiempo en la etapa de pospresión = 13s.


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

En la probeta de 3.7 mm de espesor con policarbonato y polipropileno se tiene que a menor temperatura de inyección (294°C y 210°C) y mayor temperatura de molde (110°C y 60°C) - ver figura 1 y 5- se presentan menores esfuerzos residuales (16MPa y 13MPa), además de que a mayor presión (80MPa y 100MPa), tiempo en la etapa de pospresión (7,67s y 10s) y tiempo de enfriamiento (10s y 13s) suficiente se reduce sustancialmente los esfuerzos residuales- ver figura 2,3,4,6,7 y 8-; a mayor tiempo en la etapa de pospresión (10s y 13s) el tiempo de enfriamiento no aporta a disminuir o aumentar los esfuerzos residuales.

La diferencia con la pieza que tiene igual geometría, pero diferente espesor -1.6 mm- es que a mayor temperatura de inyección (320°C y 270°C) y de molde (110°C y 60°C) se presentan menores esfuerzos residuales (1,51MPa y 1,31MPa) –ver figura 9 y 13-, esto puede deberse a el tamaño de su espesor ya que en los datos obtenidos hay cambios insignificantes en los esfuerzos residuales –ver figura 10,11,12,14,15 y16-.

En el pulsador la simulación con policarbonato presenta menores esfuerzos residuales (18,54MPa) a temperatura de inyección (290°C) baja, temperatura de molde (110°C) alta, presión (80MPa) y tiempo en la etapa de pospresión (10s) alto –ver figura 17,18,19 y 20-; con ABS a media temperatura de molde (75°C) y menor temperatura de inyección (220°C) se encuentran menores esfuerzos residuales (12,8MPa); hay grandes cambios que pueden ayudar a la mejora del producto terminado cuando se tiene mayor tiempo (13s), presión (80MPa) en la etapa de pospresión y mayor tiempo de enfriamiento (18s) en los esfuerzos residuales (4,71MPa)–ver figura 22,23 y 24-.,


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

Trabajos futuros pueden contener el análisis de la misma pieza aumentando y disminuyendo el espesor para intentar deducir lo que sucede con el cambio en la temperatura de inyección o de alguna otra variable que interfiera en este cambio; realizar los debidos ensayos para medir las propiedades mecánicas de las diferentes piezas, con el fin de comparar los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones del proceso de inyección; realizar otro método para graficar las variables.

En la probeta de 3.7 mm de espesor con potencial control y el espesor de la línea de 8 mm, la temperatura de inyección (294°C y 210°C) y mayor temperatura de molde (110°C y 60°C) - ver figura 1 y 2- se presentan menores esfuerzos residuales (16MPa y 13MPa), además de que a mayor presión (80MPa y 100MPa), tiempo en la etapa de progresión (7,67s y 10s) y tiempo de enfriamiento (10s y 13s) suficiente se reduce sustancialmente los esfuerzos residuales- ver figura 3, 4, 6, 7 y 8- a mayor tiempo en la etapa de progresión (10s y 13s) el tiempo de enfriamiento no aporta a disminuir o aumentar los esfuerzos residuales.

La diferencia con la pieza que tiene igual geometría, pero diferente espesor-1.6 mm- es que a mayor temperatura de inyección (320°C y 270°C) y de molde (110°C y 60°C) se presentan menores esfuerzos residuales (1,21MPa y 1,31MPa)- ver figura 9 y 13- esto puede deberse a el tamaño de su espesor ya que en los datos obtenidos hay cambios insignificantes en los esfuerzos residuales- ver figura 10, 11, 12, 14, 15 y 16.-

En el puñador la simulación con polirpropileno presenta menores esfuerzos residuales (18,24MPa) a temperatura de inyección (290°C) baja, temperatura de molde (110°C) alta, presión (80MPa) y tiempo en la etapa de progresión (10s) alto- ver figura 17, 18, 19 y 20-; con ABS a media temperatura de molde (72°C) y menor temperatura de inyección (250°C) se encuentran menores esfuerzos residuales (15,8MPa); hay grandes cambios que pueden ayudar a la mejora del producto terminado cuando se tiene mayor tiempo (13s), presión (80MPa) en la etapa de progresión y mayor tiempo de enfriamiento (18s) en los esfuerzos residuales (4,71MPa)- ver figura 21, 23 y 24.-

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31


REFERENCIAS

- [1] INYECCIÓN [citado 09 marzo 2016]. Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema5.pdf>.
- [2] Contracciones y deformaciones en las piezas de Contracciones y deformaciones en las piezas de plástico [citado 09 marzo 2016]. Disponible en: <http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/images/5/56/07Contracciones08.pdf>.
- [3] ESTUDIO DEL EFECTO DE LAS TENSIONES RESIDUALES EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PIEZAS TERMOPLÁSTICAS INYECTAS DEBIDO AL MATERIAL, CONDICIONES DE PROCESO Y GEOMETRÍA DE LA PIEZA [citado 09 marzo 2016]. Disponible en: <http://www.hermes.unal.edu.co/pages/Consultas/Proyecto.xhtml;jsessionid=5A798AAAE D29223705A5D397D8198B50.tomcat2?idProyecto=26212&opcion=1>.
- [4] Información Técnica y de Negocios para la industria plástica en América Latina [citado 09 marzo 2016]. Disponible en: http://www.plastico.com/imprimir/Como-predecir-problemas-de-manufactura-y-optimizar-procesos-de-diseno-en-el-moldeo-por-inyeccion/_3029748.
- [5] Ciencia e ingeniería de la superficie de los materiales metálicos Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=8VEmE0MX9mkC&pg=PA128&lpg=PA128&dq=Ten-siones+internas+en+piezas+pl%C3%A1sticas&source=bl&ots=eBeFpNXY6D&sig=bOQBCJLdvAOOxrTrzAZYwy0aaPI&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwizlKyN6rTLAhVIFh4KHf48BjsQ6AEITjAl#v=onepage&q&f=true>.
- [6] MEDIDA DE TENSIONES RESIDUALES POR EL MÉTODO DE LAS GALGAS EXTENSOMÉTRICAS Y LA PERFORACIÓN DE UN AGUJERO* Disponible en: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/calculo-de-maquinas/material-de-clase-1/08Tema8.pdf>.

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD

ACTA NO

FECHA ENTREGA:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-05-31

FIRMA ESTUDIANTES Andrés Felipe Toboón Gutiérrez

FIRMA ASESOR 

Observación: Se entrega trabajo de grado finalizado.

FECHA ENTREGA: 01/06/2017.

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: _____