

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

**SIMULACIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE UN MATERIAL ELASTOMÉRICO Y
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DEL PRODUCTO
INYECTADO.**

**JOHANN EMILIO RESTREPO SANCHEZ
HUGO ALEXANDER BEDOYA**

**Programa académico
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**Director del trabajo de grado
Carlos Andrés Vargas Isaza.**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
MEDELLÍN-ANTIOQUIA**

2017

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

RESUMEN

El proceso de inyección de polímeros ha sido muy desarrollado en el campo de los termoplásticos y termoelastómeros, donde se tiene tecnologías y conocimientos muy maduros. Sin embargo, la inyección de elastómeros no se ha difundido mucho y el desarrollo actual en cuanto a la optimización del proceso ha sido aún de forma muy empírica. El Instituto Tecnológico Metropolitano ha liderado proyectos en el área de procesamiento de polímeros y actualmente tiene como enfoque tecnificar el sector de cauchos en Colombia (elastómeros). Con este propósito se ha adquirido recientemente un software para el procesamiento de polímeros mediante proceso de inyección, con esta herramienta de computo es posible optimizar este proceso de transformación de polímeros para termoplásticos, termoelastómeros, termofijos y elastómeros. Teniendo en cuenta que el sector de cauchos en Colombia es poco tecnificado, especialmente en procesos de alta productividad como la inyección, se propone profundizar el estudio de la optimización del proceso de inyección de elastómeros, mediante el desarrollo de diferentes casos de estudio que involucran la evaluación de la calidad de un producto elastomérico inyectado, de acuerdo a diferentes propiedades térmicas y reológicas de algunas referencias de elastómeros. Para este desarrollo se contará con el apoyo de los profesores asesores del proyecto, con experiencia en el área de simulación de procesamiento de polímeros y la empresa representante del software en aspectos técnicos de uso de este.

Palabras clave: elastómeros, inyección, termoplásticos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

ABSTRACT

The injection molding process for polymers has been highly developed in the field of thermoplastics and thermoelastomers, where it has very mature technologies and knowledge. However, the injection of elastomers has not been widely diffused and the current development in terms of process optimization has yet been very empirical. The Instituto Tecnológico Metropolitano has led projects in the area of polymer processing and is currently focused on technifying the rubber sector in Colombia (elastomers). For that purpose, a software has been recently acquired for the processing of polymers by injection process, with this computing tool it is possible to optimize this process of transformation of polymers for thermoplastics, thermoelastomers, thermofixes and elastomers. Taking into account that the rubber sector in Colombia is not very technified, especially in high productivity processes such as injection, it is proposed to deepen the study of the optimization of the elastomer injection process, through the development of different case studies involving the Evaluation of the quality of an injected elastomeric product, according to different thermal and rheological properties of some elastomer references. For this development will be supported by the project advisory teachers, with experience in the area of polymer processing simulation and company representative of the software in technical aspects of this use.

Key words: elastomers, injection, thermoplastics.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

RECONOCIMIENTOS

Al creador del universo y sus incontables maravillas, gracias por su magnificencia y entendimiento para realizar este proyecto.

A todos aquellos que de una u otra manera han aportado sus ideas y experiencias de trabajo en la realización de este proyecto que es valor máximo del trabajo, la investigación y el esfuerzo por mejorar a nivel personal y profesional.

A nuestras familias, amigos y compañeros de labores que nos brindan a diario sus buenos consejos y apoyo incondicional en la realización de nuestras metas y ayudan a discernir el conocimiento de la forma más simple y clara.

Deseamos agradecer en especial al Docente, Carlos Andrés Vargas la valiosa ayuda otorgada en diversas formas durante el transcurso de los estudios universitarios y la preparación y realización de este proyecto, escrito e implementado en la industria y la investigación.

Agradecimientos al Instituto Tecnológico Metropolitano por abrirnos las puertas hacia el conocimiento y la superación personal, además de permitirnos crecer en los aspectos favorables para nuestras vidas en el campo del conocimiento, el entendimiento del universo y sus transformaciones.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.	10
2. OBJETIVOS.	11
3. MARCO TEORICO.	12
4. METODOLOGIA.	13
4.1. ROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN PROCESO DE INYECCIÓN DE CAUCHO.	13
4.1.1. IMPORTAR GEOMETRÍA DE PIEZA A INYECTAR.	13
4.1.2. DEFINICIÓN DE PUNTO DE INYECCIÓN DE MATERIAL AL MOLDE.	13
4.1.3. DEFINICIÓN DE SISTEMA DE ATEMPERAMIENTO DEL MOLDE.	14
4.1.4. DEFINICIÓN DEL TAMAÑO DEL MOLDE.	15
4.1.5. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES DEL MOLDE.	16
4.1.6. MALLADO DE LA PIEZA Y MOLDE.	17
4.1.7. DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE PROCESO.	18
4.1.8. DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CÁLCULO.	20
4.1.9. SIMULACIÓN.	21
4.1.10. RESULTADOS.	22
4.1.11. MEDICIONES.	22
5. PROPIEDADES.	23
5.1 MATERIALES REQUERIDOS PARA LA SIMULACIÓN.	23
5.1.1 MATERIAL INYECTADO.	23
5.1.1.1. MATERIAL ELASTOSIL_LR_3002-35.	23
5.1.1.1.1 VISCOSIDAD DINAMICA.	24
5.1.1.1.2. GRADO DE CURADO.	25
5.1.1.1.3. VOLUMEN ESPECÍFICO.	26
5.1.2. MATERIAL DEL MOLDE.	27
5.1.2.1. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL MATERIAL DEL MOLDE.	28
5.1.2.2. CAPACIDAD COLRÍFICA DEL MATERIAL DEL MOLDE.	29
5.1.2.3. DENSIDAD DEL MATERIAL DEL MOLDE.	30
6. RESULTADOS.	31
6.1. MATERIAL: ELASTOSIL_LR_3002-35 CON TIEMPO CURADO 300s.	31
6.1.1. LLENADO.	31
6.1.1.1. CURVAS.	31
6.1.1.1.1. CURVA DE FUERZA DE CIERRE ESTIMADA.	31
6.1.1.2. PRESIÓN.	32
6.1.1.2.1. PRESIÓN 5s, 100%. FASE DE EMPAQUE.	32
6.1.1.3. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA.	32
6.1.1.3.1. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA A 3.122s, 6.08%.	33
6.1.1.3.2. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA A 4.006s, 50.30%.	34
6.1.1.3.3. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA A 5s, 100%. FASE DE EMPAQUE.	34

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

6.1.1.4. TIEMPO DE SCORCH.	35
6.1.1.4.1. TIEMPO DE SCORCH A 5s, 100%. CON CORTE AL INICIO DE LA PIEZA Y FINALIZANDO.	35
6.1.2. CURADO.	36
6.1.2.1. GRADO DE CURADO.	36
6.1.2.1.1. GRADO DE CURADO A 2 min 58s, 79.78%. CON CORTE AL INICIO DE LA PIEZA Y FINALIZANDO.	37
6.1.3. ENCOGIMIENTO Y DEFORMACIÓN.	38
6.1.3.1. DESPLAZAMIENTO. AMBIENTE.	38
6.1.3.1.1. DESPLAZAMIENTO TOTAL. FASE DE ENFRIAMIENTO DESPÚES DE LA EXPULSIÓN.	39
6.2. MATERIAL: ELASTOSIL_LR_3002-35 CON TIEMPO CURADO 180s.	40
6.2.1. LLENADO.	40
6.2.1.1. CURVAS.	40
6.2.1.1.1. CURVA DE FUERZA DE CIERRE ESTIMADA.	40
6.2.1.2. PRESIÓN.	40
6.2.1.2.1. PRESIÓN 5s, 100%. FASE DE EMPAQUE.	40
6.2.1.3. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA.	41
6.2.1.3.1. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA A 3.121s, 6.05%.	41
6.2.1.3.2. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA A 4.004s, 50.19%.	42
6.2.1.3.3. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA A 5s, 100%. FASE DE EMPAQUE.	43
6.2.1.4. TIEMPO DE SCORCH.	43
6.2.1.4.1. TIEMPO DE SCORCH A 5s, 100%. CON CORTE AL INICIO DE LA PIEZA Y FINALIZANDO.	43
6.2.2. CURADO.	45
6.2.2.1. GRADO DE CURADO.	45
6.2.2.1.1. GRADO DE CURADO A 2 min 28s, 84.24%. CON CORTE AL INICIO DE LA PIEZA Y FINALIZANDO.	45
6.2.3. ENCOGIMIENTO Y DEFORMACIÓN.	46
6.2.3.1. DESPLAZAMIENTO. AMBIENTE.	46
6.2.3.1.1. DESPLAZAMIENTO TOTAL. FASE DE ENFRIAMIENTO DESPÚES DE LA EXPULSIÓN.	46
6.3. MATERIAL: ELASTOSIL_LR_3002-35 CON TIEMPO DE CURADO 100s.	47
6.3.1. LLENADO.	47
6.3.1.1. CURVAS.	47
6.3.1.1.1. CURVA DE FUERZA DE CIERRE ESTIMADA.	47
6.3.1.2. PRESIÓN.	48
6.3.1.2.1. PRESIÓN 5s, 100%. FASE DE EMPAQUE.	48
6.3.1.3. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA.	49
6.3.1.3.1. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA A 3.121s, 6.04%.	49
6.3.1.3.2. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA A 4.045s, 52.25%.	50
6.3.1.3.3. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA A 5s, 100%. FASE DE EMPAQUE.	51
6.3.1.4. TIEMPO DE SCORCH.	51
6.3.1.4.1. TIEMPO DE SCORCH A 5s, 100%. CON CORTE AL INICIO DE LA PIEZA Y FINALIZANDO.	51
6.3.2. CURADO.	53
6.3.2.1. GRADO DE CURADO.	53

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

6.3.2.1.1. GRADO DE CURADO A 1 min 43s, 52.39%. CON CORTE AL INICIO DE LA PIEZA Y FINALIZANDO. -----	53
6.3.3. ENCOGIMIENTO Y DEFORMACIÓN.-----	54
6.3.3.1. DESPLAZAMIENTO. AMBIENTE.-----	54
6.3.3.1.1. DESPLAZAMIENTO TOTAL. FASE DE ENFRIAMIENTO DESPÚES DE LA EXPULSIÓN.----	54
7. ANALISIS DE RESULTADOS.-----	56
7.1. ANALISIS DEL MATERIAL ENTRE LOS TIEMPOS DE PROCESO 300s, 180s Y 100s.-----	60
7.1.1. FUERZA DE CIERRE.-----	60
7.1.2. PRESIÓN.-----	60
7.1.3. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA.-----	60
7.1.4. TIEMPO DE SCORCH.-----	60
7.1.5. GRADO DE CURADO.-----	60
7.1.6. ENCOGIMIENTO Y DEFORMACIÓN.-----	60
8. CONCLUSIONES.-----	61

TABLA DE IMAGENES

Figura 1. Geometría 3D.....	14
Figura 2. Punto de inyección del material.....	15
Figura 3. Atemperamiento de pieza 3D.....	16
Figura 4. Tamaño del molde.....	17
Figura 5. Componentes del molde.....	18
Figura 6. Mallado de pieza.....	19
Figura 7. Condiciones del proceso.....	20
Figura 7.1. Propiedades del proceso.....	20
Figura 8. Condiciones de cálculo.....	21
Figura 9. Simulación.....	22
Figura 10. Resultados.....	23
Figura 11. Mediciones.....	23
Figura 12. Material Elastosil_LR_3002-35.....	24
Figura 12.1. Viscosidad dinámica.....	25
Figura 12.2 Curvas de curado.....	26
Figura 12.3 Diagrama PYV.....	27
Figura 13. Material del molde 40CrMnMo7.....	28
Figura 13.1. Conductividad térmica.....	29
Figura 13.2. Temperatura del molde.....	30
Figura 13.3. Densidad del molde.....	31
Figura 14. Curva fuerza de cierre. Material Elastosil_LR_3002-35 a 300s.....	32
Figura 15. Presión. Material Elastosil_LR_3002-35 a 300s.....	33
Figura 16. Volumen masa fundida. Material Elastosil_LR_3002-35 a 300s.....	34
Figura 16.1. Volumen masa fundida 2. Material Elastosil_LR_3002-35 a 300s.....	35
Figura 16.2. Volumen masa fundida 3. Material Elastosil_LR_3002-35 a 300s.....	35
Figura 17. Tiempo de scorch. Material Elastosil_LR_3002-35 a 300s.....	36
Figura 17.1. Tiempo de scorch 2. Material Elastosil_LR_3002-35 a 300s.....	37
Figura 18. Tiempo de curado. Material Elastosil_LR_3002-35 a 300s.....	38

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Figura 18.1. Tiempo de curado 2. Material Elastosil_LR_3002-35 a 300s.-----39

Figura 19. Desplazamiento. Material Elastosil_LR_3002-35 a 300s.-----40

Figura 20. Curva fuerza de cierre. Material Elastosil_LR_3002-35 a 180s.-----41

Figura 21. Presión. Material Elastosil_LR_3002-35 a 180s.-----42

Figura 22. Volumen masa fundida. Material Elastosil_LR_3002-35 a 180s.-----43

Figura 22.1. Volumen masa fundida 2. Material Elastosil_LR_3002-35 a 180s.-----43

Figura 22.2. Volumen masa fundida 3. Material Elastosil_LR_3002-35 a 180s.-----44

Figura 23. Tiempo de scorch. Material Elastosil_LR_3002-35 a 180s.-----45

Figura 23.1. Tiempo de scorch 2. Material Elastosil_LR_3002-35 a 180s.-----45

Figura 24. Tiempo de curado. Material Elastosil_LR_3002-35 a 180s.-----46

Figura 24.1. Tiempo de curado 2. Material Elastosil_LR_3002-35 a 180s.-----47

Figura 25. Desplazamiento. Material Elastosil_LR_3002-35 a 180s.-----48

Figura 26. Curva de cierre. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s.-----49

Figura 27. Presión. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s.-----50

Figura 28. Volumen masa fundida. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s.-----51

Figura 28.1. Volumen masa fundida 2. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s.-----51

Figura 28.2. Volumen masa fundida 3. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s.-----52

Figura 29. Tiempo de scorch. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s.-----53

Figura 29.1. Tiempo de scorch 2. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s.-----53

Figura 30. Tiempo de curado. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s.-----54

Figura 30.1. Tiempo de curado 2. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s.-----55

Figura 31. Desplazamiento. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s.-----56

Figura 32. Presión de inyección.-----57

Figura 33. Fuerza de cierre.-----58

Figura 34. Tiempo de scorch zona 1.-----58

Figura 35. Tiempo de scorch zona 2.-----59

Figura 36. Grado de curado zona 1.-----59

Figura 37. Grado de curado zona 2.-----60

Figura 38. Desplazamiento y deformación.-----60

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

1. INTRODUCCIÓN

Puede considerarse como un material polimérico sólido aquel que contiene múltiples partes o unidades enlazadas químicamente (moléculas) y que están unidas entre sí para formar un sólido. Existen tres materiales poliméricos importantes en los procesos de fabricación e inyección industrial: los termoplásticos, los termoelastómeros y los elastómeros.

En este caso el estudio se concentrará en los elastómeros o cauchos que pueden alcanzar una deformación elástica muy grande cuando se les aplica una fuerza y recupera casi su forma original cuando la fuerza cesa.

La utilización de la herramienta virtual SIGMASOFT, comprende una serie de pasos o secuencias en las cuales se puede simular el proceso de inyección de un determinado elastómero, de esta manera se procede a analizar los resultados y observar que tan factible o viable sería la fabricación del elemento (elastómero), de acuerdo a sus propiedades.

En este trabajo se realizaron varias simulaciones de inyección con un material elastomérico (ELASTOSIL LR 3002-35) a diferentes tiempos de moldeo y con cinco cartuchos de atemperamiento, luego de tener los resultados se procedió a analizar a qué tiempos de moldeo el material contiene mejores propiedades para las condiciones de proceso seleccionadas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

2. OBJETIVOS

General.

- Evaluar las propiedades térmicas y reológicas de un producto elastomérico inyectado mediante simulación computarizada.

Específicos.

- Seleccionar materiales elastomérico adecuados para la inyección del producto analizar.
- Definir las condiciones adecuadas del proceso de inyección de elastómeros.
- Simular el proceso de inyección para determinar el efecto de las propiedades térmicas y reológicas en la calidad final del producto elastomérico.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

3. MARCO TEÓRICO

El término elastómero se utiliza para identificar materiales con una estructura particular. Se trata de materiales orgánicos constituidos por moléculas poliméricas con capacidad para "estirarse", "desenrollarse", "comprimirse", en definitiva, deformarse, considerablemente, ante tensiones. Además, por estar algo entrecruzadas (estructura de cadenas parcialmente cruzadas), pueden recuperar fácilmente su disposición original una vez que cesa la acción de la tensión. Esta última aseveración tiene un cierto margen de error. En realidad, en esta situación se repite lo analizado al describir el comportamiento general de los materiales para impresión conocidos como "elásticos". También en este caso, el cumplimiento de la Ley de Hooke no es absoluto. La deformación permanente, plástica o residual, luego de la acción de una tensión está relacionada con el tiempo durante el cual esa tensión actúa. Así mismo, la recuperación después de la deformación es mayor (la deformación permanente es menor) si se la evalúa algún tiempo después de retirada la tensión. Un elastómero es, entonces, un polímero elástico. En realidad, la palabra que los identifica proviene de los términos elástico y polímero, puestos en ese orden según la gramática inglesa que ubica a los adjetivos precediendo a los sustantivos.

Dado que el caucho vulcanizado tiene esa estructura y propiedades, se lo puede considerar un elastómero natural (moléculas originales que provienen de la naturaleza). Los que se obtienen a partir de moléculas generadas en laboratorios son los elastómeros sintéticos o, por su similitud de propiedades con aquél, cauchos o gomas sintéticas.

Por otra parte, el proceso de inyección de polímeros ha sido muy desarrollado en el campo de los termoplásticos y termoelastómeros, donde se tiene tecnologías y conocimientos muy maduros. Sin embargo, la inyección de elastómeros no se ha difundido mucho y el desarrollo actual en cuanto a la optimización del proceso ha sido aún de forma muy empírica. El Instituto Tecnológico Metropolitano ha liderado proyectos en el área de procesamiento de polímeros y actualmente tiene como enfoque tecnificar el sector de cauchos en Colombia (elastómeros). Con este propósito se ha adquirido recientemente un software para el procesamiento de polímeros mediante proceso de inyección, con esta herramienta de computo es posible optimizar este proceso de transformación de polímeros para termoplásticos, termoelastómeros, termofijos y elastómeros. Teniendo en cuenta que el sector de cauchos en Colombia es poco tecnificado, especialmente en procesos de alta productividad como la inyección, se propone profundizar el estudio de la optimización del proceso de inyección de elastómeros, mediante el desarrollo de diferentes casos de estudio que involucren la evaluación de la calidad de un producto elastomérico inyectado, de acuerdo a diferentes propiedades térmicas y reológicas de algunas referencias de elastómeros. Para este desarrollo se contará con el apoyo de los profesores asesores del proyecto, con experiencia en el área de simulación de procesamiento de polímeros y la empresa representante del software en aspecto técnico de uso de este.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

4. METODOLOGÍA

Para la simulación del proceso de elastómeros mediante el software SIGMASOFT se proceden una serie de pasos los cuales se describen a continuación:

4.1. SELECCIÓN DE MATERIAL A INYECTAR

El producto a inyectar se emplea en una aplicación para identificación de cabezas de ganado denominado chapeta. Este producto requiere emplear un material flexible y con un grado de dureza no muy alto. Como criterio de selección, se procedió entonces a realizar una búsqueda en la base de datos del software de inyección con grados de dureza inferiores a 40 Shore A para garantizar las características físicas requeridas en la aplicación.

Con base el criterio expuesto se seleccionó la referencia de caucho Elastosil LR 3002 35 con una dureza de 35 shore A, el cual dispone de todas la propiedades requeridas para la simulación del proceso de inyección y deformaciones finales.

4.2. DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE PROCESO DE INYECCIÓN

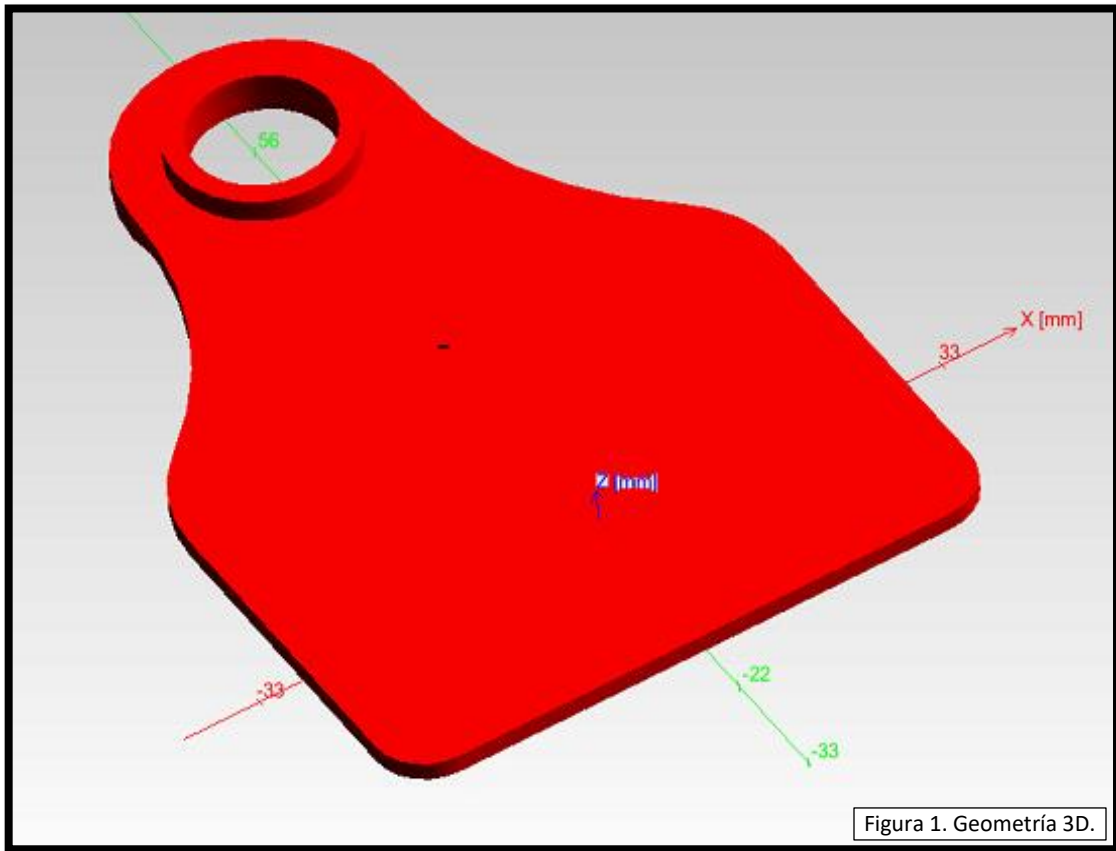
En el procesamiento de inyección de elastómeros una de las características más importantes de calidad del producto es el proceso de curado, el cual determina el grado de curado del producto inyectado, que está directamente relacionado con las propiedades finales del producto, tales como resistencia, dureza, deformación entre otras. Para este propósito, se evaluaron diferentes tiempos de permanencia en el molde del producto inyectado, que determinan diferentes grados de curado en la pieza. Para el caso de estudio realizado se establecieron diferentes tiempos, de acuerdo a la cinética de curado del material, que fue posible establecerse a partir de las curvas de curado a diferentes temperaturas. Los tiempos evaluados fueron a 100 s, 180 s y 300 s.

El resto de parámetros de procesamiento de inyección se dejaron constantes sus valores, para solo evaluar el efecto del tiempo de permanencia de curado en el molde. Los valores de los otros parámetros de proceso fueron seleccionados de los rangos de procesamiento recomendados del fabricante del material, datos extraídos de las base de datos del software.

4.3. PROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN PROCESO DE INYECCIÓN DE CAUCHO.

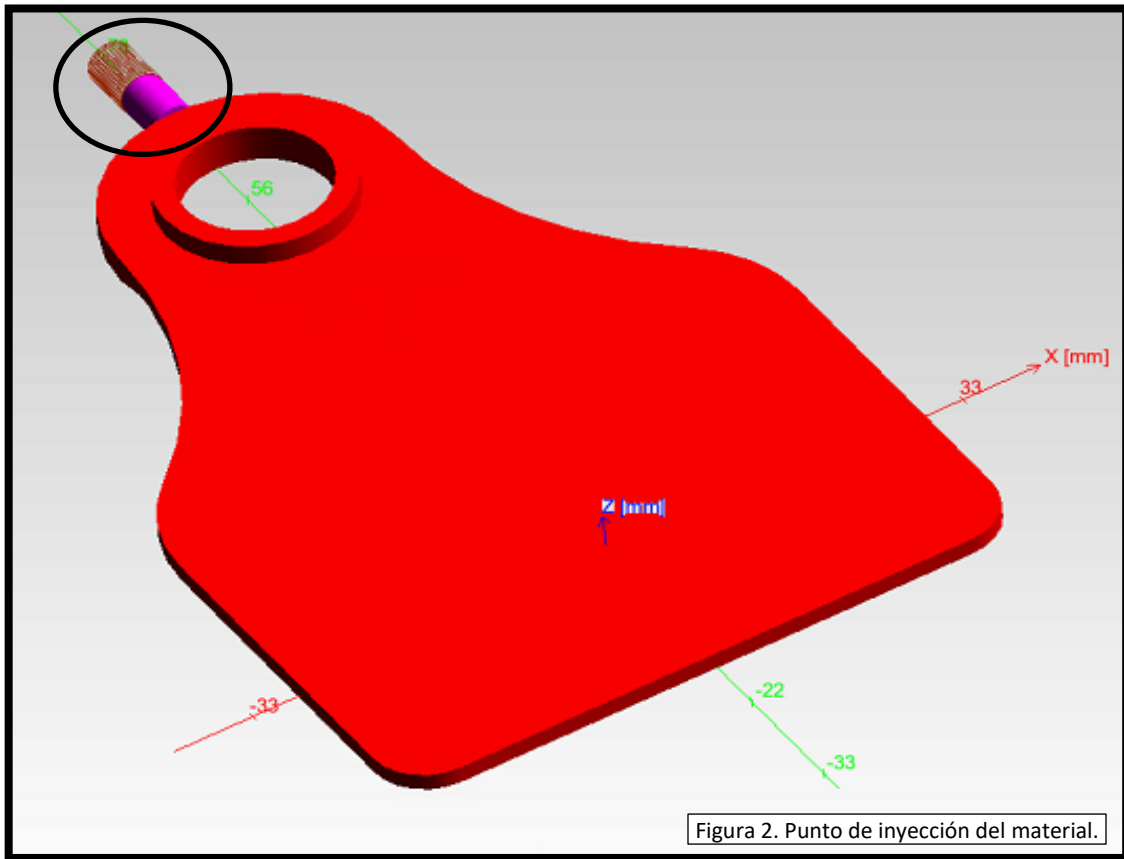
4.3.1. IMPORTAR GEOMETRÍA DE PIEZA A INYECTAR

Se importa una geometría 3D previamente modelada en un software CAD.



4.1.2. DEFINICIÓN DE PUNTO DE INYECCIÓN DE MATERIAL AL MOLDE.

Con las herramientas de creación de geometrías del software SIGMASOFT se crea el punto de inyección y se especifica la entrada del material.



4.1.3. DEFINICIÓN DE SISTEMA DE ATEMPERAMIENTO DEL MOLDE.

Se generan un sistema de atemperamiento cilindros, que corresponden a cartuchos de calentamiento. En el caso de moldes de inyección de caucho se deben precalentar y mantener la temperatura a nivel determinado para evitar el curado (solidificación) durante el llenado del molde. Posteriormente en las condiciones de proceso se define la potencia de calentamiento de cada cartucho.

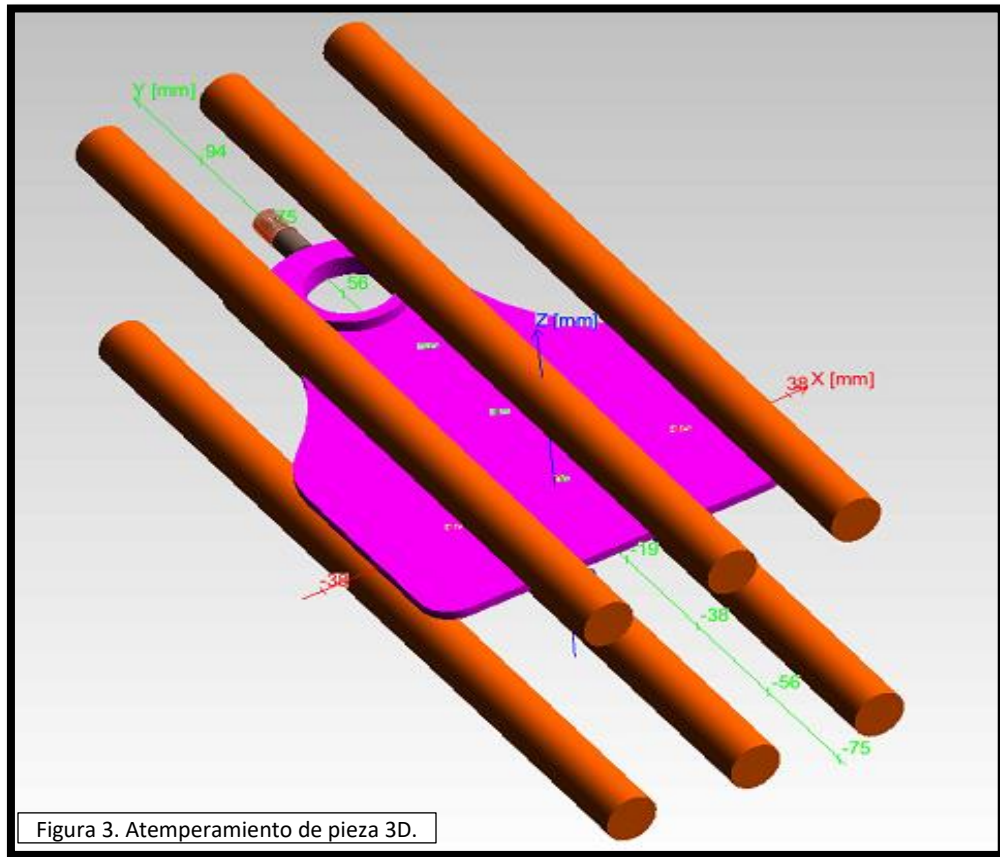


Figura 3. Atemperamiento de pieza 3D.

4.1.4. DEFINICIÓN DEL TAMAÑO DEL MOLDE.

De acuerdo al tamaño de la pieza, sistema de inyección y atemperamiento, el software por defecto define un tamaño de molde, el cual puede ser modificado de acuerdo al tamaño real del molde. En las condiciones de proceso se define el tipo de material del bloque de molde, por el cual se presentan el intercambio de calor hacia el ambiente.

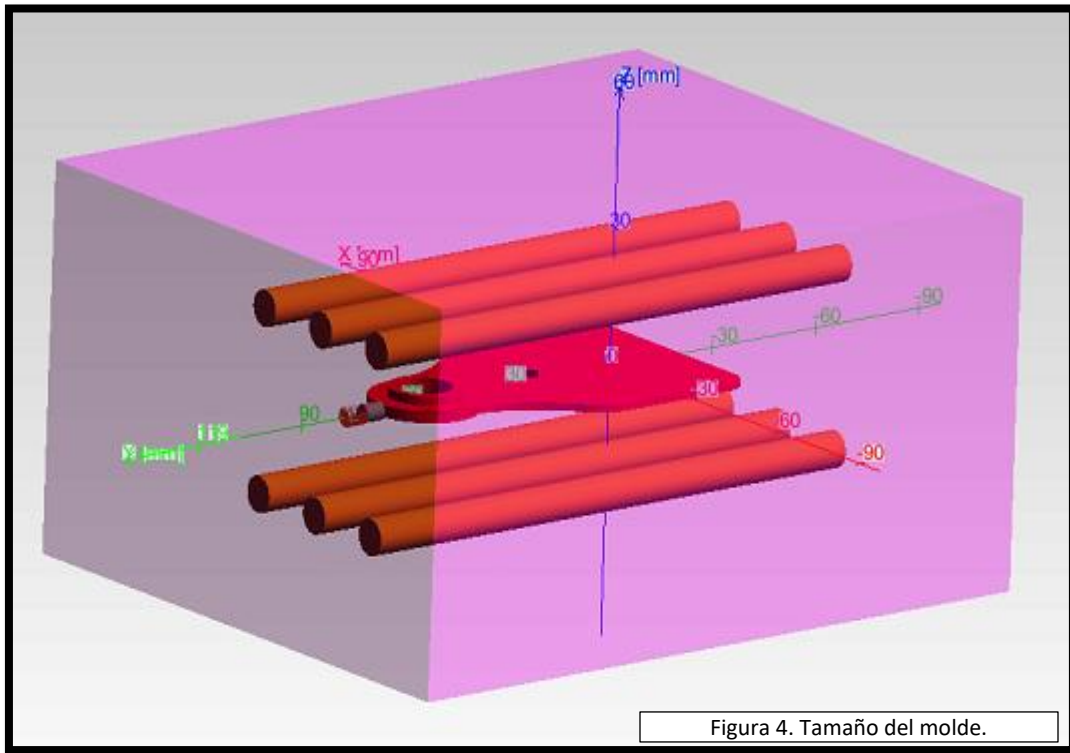


Figura 4. Tamaño del molde.

4.1.5. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES DEL MOLDE.

Cada parte del molde se asigna o clasifica de acuerdo a su función tales como molde, parte inyectada, sistema de atemperamiento, puntos de inyección.

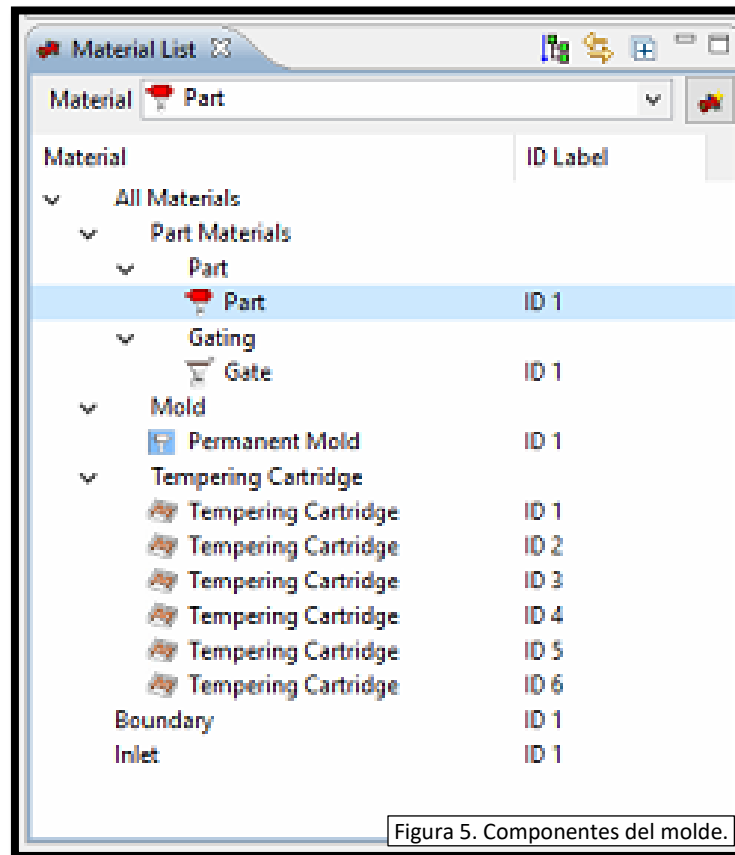


Figura 5. Componentes del molde.

4.1.6. MALLADO DE LA PIEZA Y MOLDE

Para la solución de la simulación del proceso de inyección se debe mallar el molde, es decir, dividir cada sección del molde en pequeños volúmenes. Para cada sección de volumen dividido se calculan las variables de velocidades, temperaturas, presiones y demás resultados que entrega el software del proceso de inyección. Este mallado se puede realizar discriminado por cada tipo de parte del molde, donde la pieza es el componente del molde que debe tener un nivel de refinamiento de malla mayor.



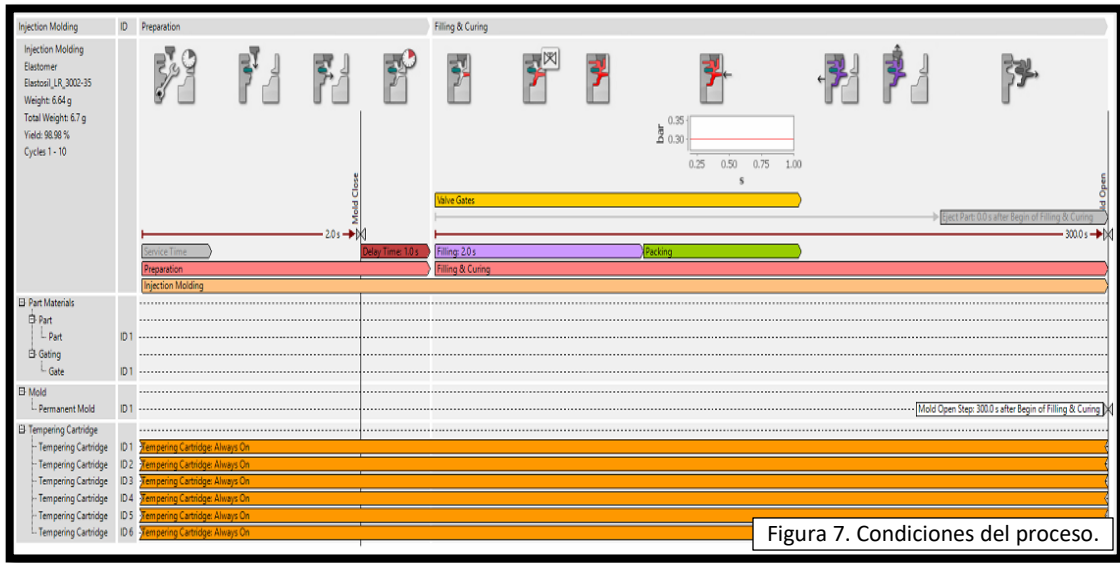
Figura 6. Mallado de pieza.

4.1.7. DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE PROCESO.

Se determinan las condiciones de proceso requeridas tales como preparación del molde (calentamiento, atemperamiento, apertura y cierre de molde), la fase de llenado y curado, donde se especifican tiempo de llenado, tiempo y presión de empaquetamiento del material inyectado y tiempo disponible para el curado de la pieza inyectada (solidifique).

A continuación, se observan las condiciones de proceso de inyección empleadas en donde se denotan los tiempos de llenado y empaque, así como su presión de empaque y tiempo de moldeo. También se detalla la cantidad de cartuchos de atemperamiento y la potencia que manejan cada uno.

Tiempo llenado [s]	Tiempo de empaque [s]	Presión de empaque [bar]	Tiempo para desmoldeo [s]	Atemperamiento
2	1	0.3	100, 180 y 300	5 cartuchos con una potencia de 5 W



Para los otros componentes del molde se especifican otras condiciones, tales como potencia de calentamiento para cada cartucho del sistema de atemperamiento, y materiales de la pieza a inyectar y el molde con temperaturas iniciales de proceso. Cada material tiene sus propiedades térmicas, reológicas y mecánicas necesarias para realizar los cálculos de la simulación.

Material	Mat ID	Database/Filename	Initial Temperature (°C)	Pre-Fill Cure Value (%)
Part Materials		SIGMA/Elastosil_LR_3002-35	40.0	0.0
Part	ID 1			
Gating	ID 1			
Mold				
Permanent Mold	ID 1	SIGMA/40CrMnMo7	100.0	
Tempering Cartridge				
Tempering Cartridge	ID 1	SIGMA/CuZn40	100.0	
Tempering Cartridge	ID 2	SIGMA/CuZn40	100.0	
Tempering Cartridge	ID 3	SIGMA/CuZn40	100.0	
Tempering Cartridge	ID 4	SIGMA/CuZn40	100.0	
Tempering Cartridge	ID 5	SIGMA/CuZn40	100.0	
Tempering Cartridge	ID 6	SIGMA/CuZn40	100.0	

Figura 7.1. Propiedades del proceso.

4.1.8. DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CÁLCULO.

En las condiciones de cálculo se definen el número de ciclos de calentamiento del molde, número de ciclos de producción hasta estabilizar el proceso y otras variables opcionales el atemperamiento posterior a la expulsión de la pieza, contracciones y deformaciones de la pieza inyectada.

Simulation Calculation Settings

Heating-Up

Calculate heating-up

Injection Molding

Calculate molding process

Cycle	Preparation	Filling	Curing	Packing
Heating cycle 1	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input type="checkbox"/> Calculate
Heating cycle 2	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input type="checkbox"/> Calculate
Heating cycle 3	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input type="checkbox"/> Calculate
Heating cycle 4	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input type="checkbox"/> Calculate
Heating cycle 5	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input type="checkbox"/> Calculate
Production cycle 6	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate
Production cycle 7	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate
Production cycle 8	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate
Production cycle 9	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate
Production cycle 10	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate	<input checked="" type="checkbox"/> Calculate

Treatment after Eject

Calculate cooling after eject

Stress

Calculate shrinkage and warpage

User Results & Result Preparation

Calculate user results

Prepare results

Generate images

Filling Simulation Packing Simulation

Mold Venting

Consider air entrapment

Consider vents

Figura 8. Condiciones de cálculo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

4.1.9. SIMULACIÓN.

En esta opción se procede con la materialización virtual del proyecto por medio de todos los pasos anteriores.

La perspectiva de simulación ayuda a iniciar y controlar simulaciones de una versión de proyecto, incluidas las ejecuciones de optimización. Además permite controlar toda la información vital sobre la simulación y tener acceso a toda la información necesaria sobre el progreso y estado de cada trabajo de simulación.

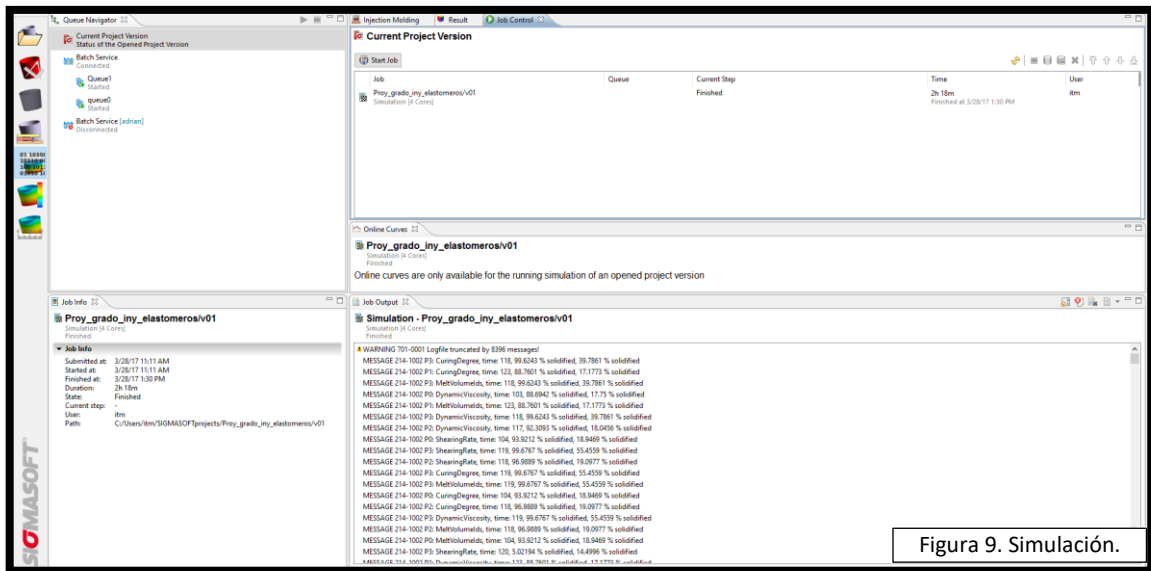
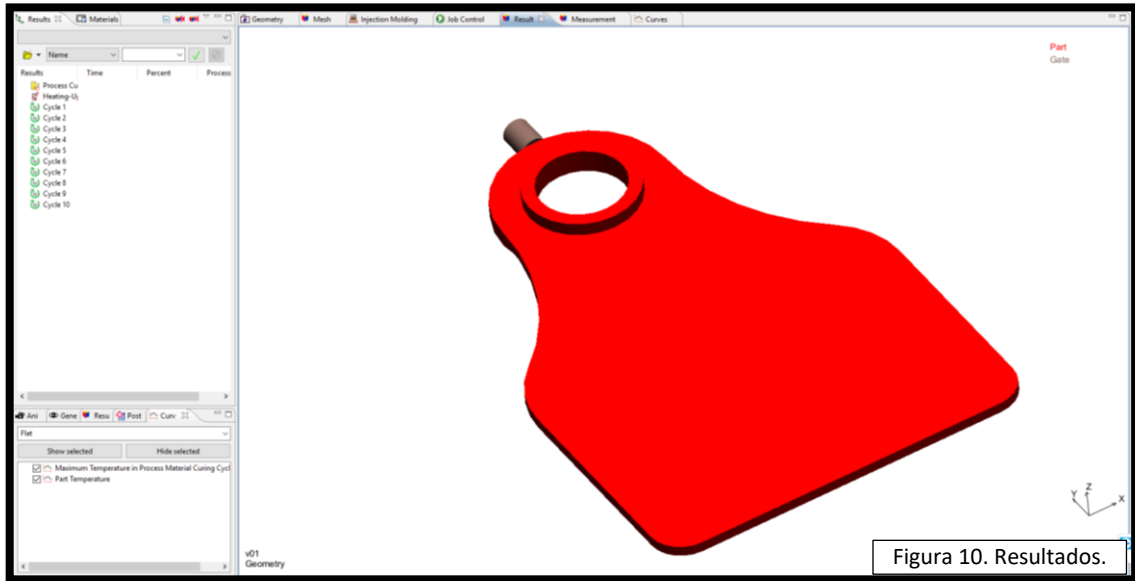


Figura 9. Simulación.

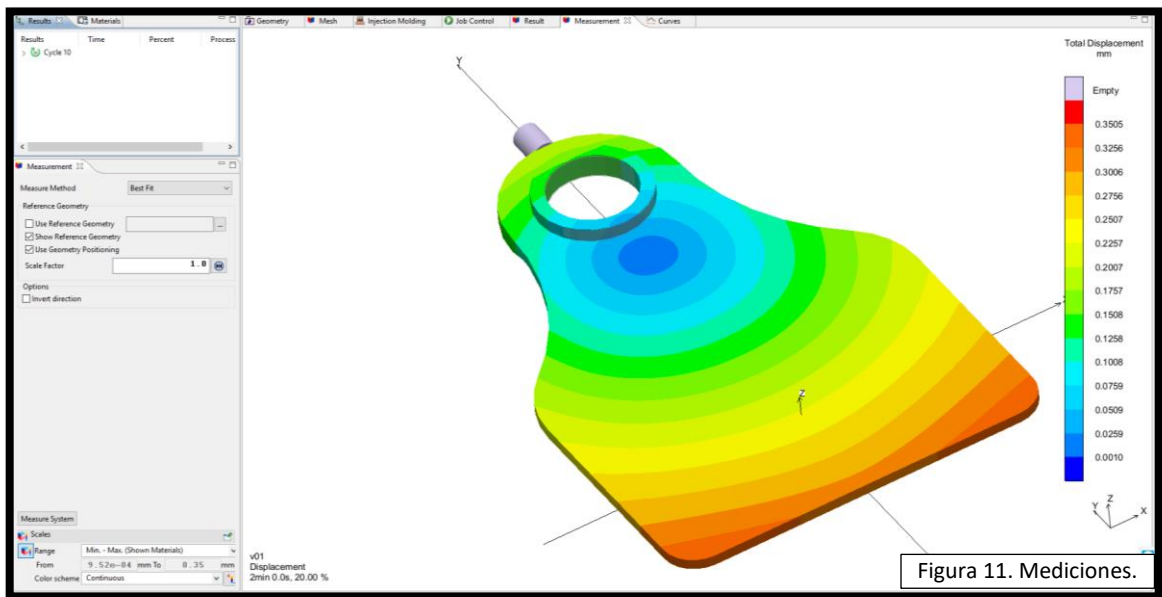
4.1.10. RESULTADOS.

En esta opción se pueden observar los resultados de la pieza inyectada.



4.1.11. MEDICIONES.

En la sección de mediciones se puede observar la desviación de la geometría de referencia en los puntos seleccionados.



5. PROPIEDADES.

5.1. MATERIALES REQUERIDOS PARA LA SIMULACIÓN.

Se requieren algunas propiedades básicas para realizar la simulación de inyección del material elastomérico, tales como la viscosidad, el curado del material, el diagrama pvt, propiedades térmicas y mecánicas. Como parámetro de selección del material se tuvo en cuenta evaluar un tipo de caucho, para evaluar su procesamiento y desempeño final en las deformaciones finales de la pieza inyectada. Para esto, Se evaluó la referencia de dureza shore A 35.

5.1.1. MATERIA INYECTADO.

5.1.1.1. MATERIAL ELASTOSIL_LR_3002-35.

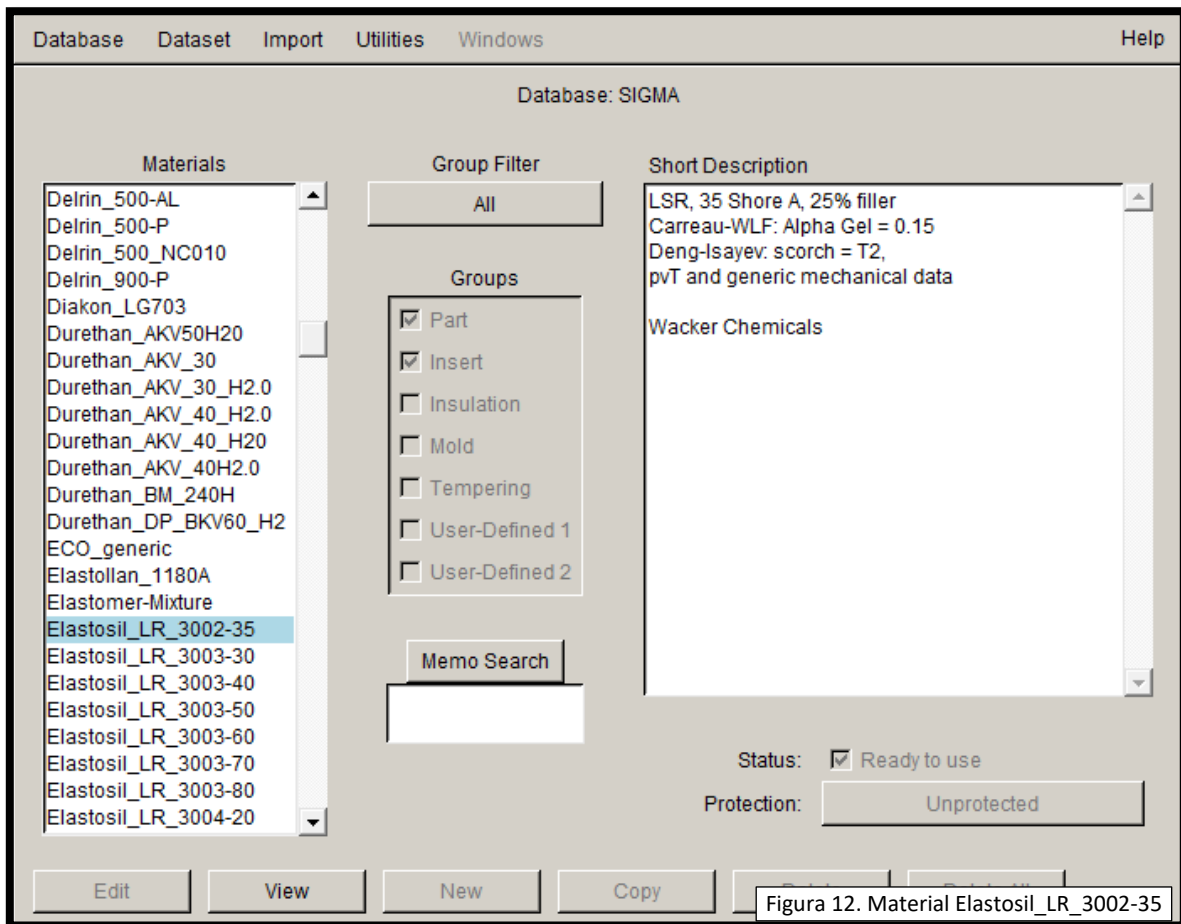
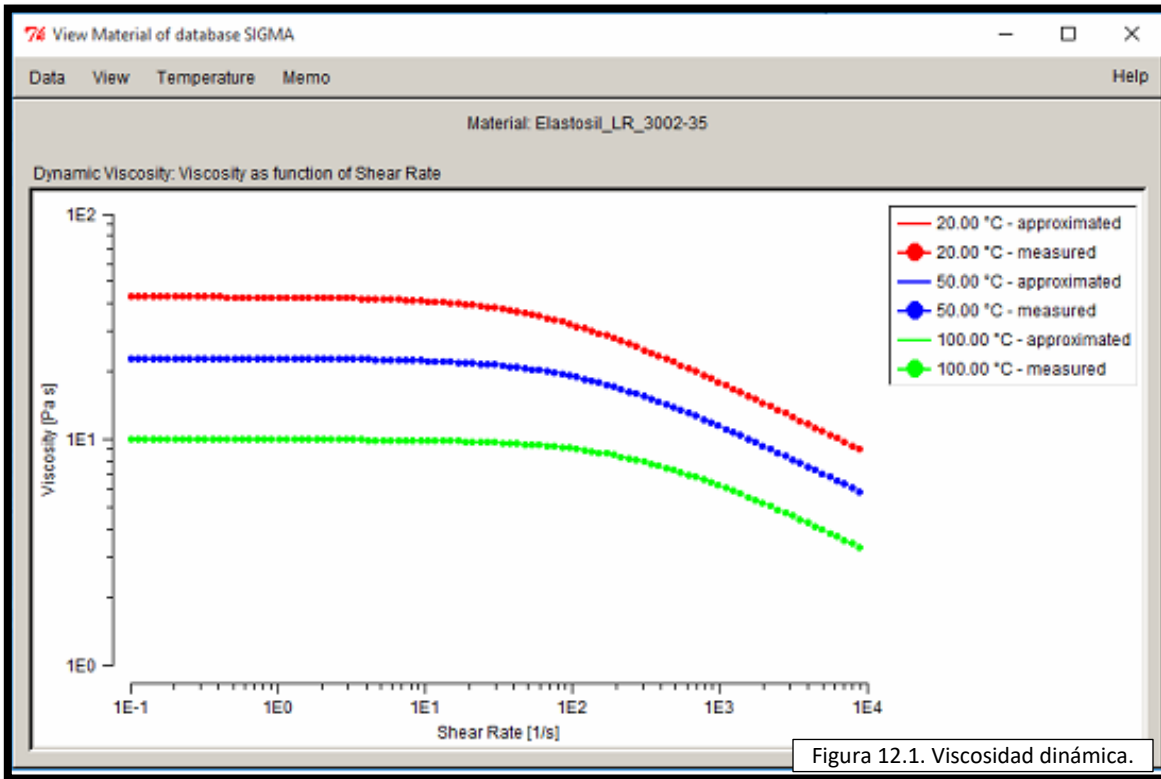


Figura 12. Material Elastosil_LR_3002-35

5.1.1.1.1. VISCOSIDAD DINAMICA.

Por medio de las curvas de viscosidad se puede calcular como varía a diferentes temperaturas y velocidades de cizalladura, esta propiedad es importante para determinar las presiones que se generan durante la inyección.



5.1.1.1.2. GRADO DE CURADO.

Las curvas de curado del caucho permiten determinar el tiempo mínimo para que fluya el material en el molde antes que este comience a endurecerse, por el entrecruzamiento de las cadenas moleculares del material (tiempo de scorch). También determina el tiempo en el cual la mayoría del material se ha curado o endurecido (tiempo de curado). Lo anterior se puede establecer a diferentes temperaturas según un modelo matemático.

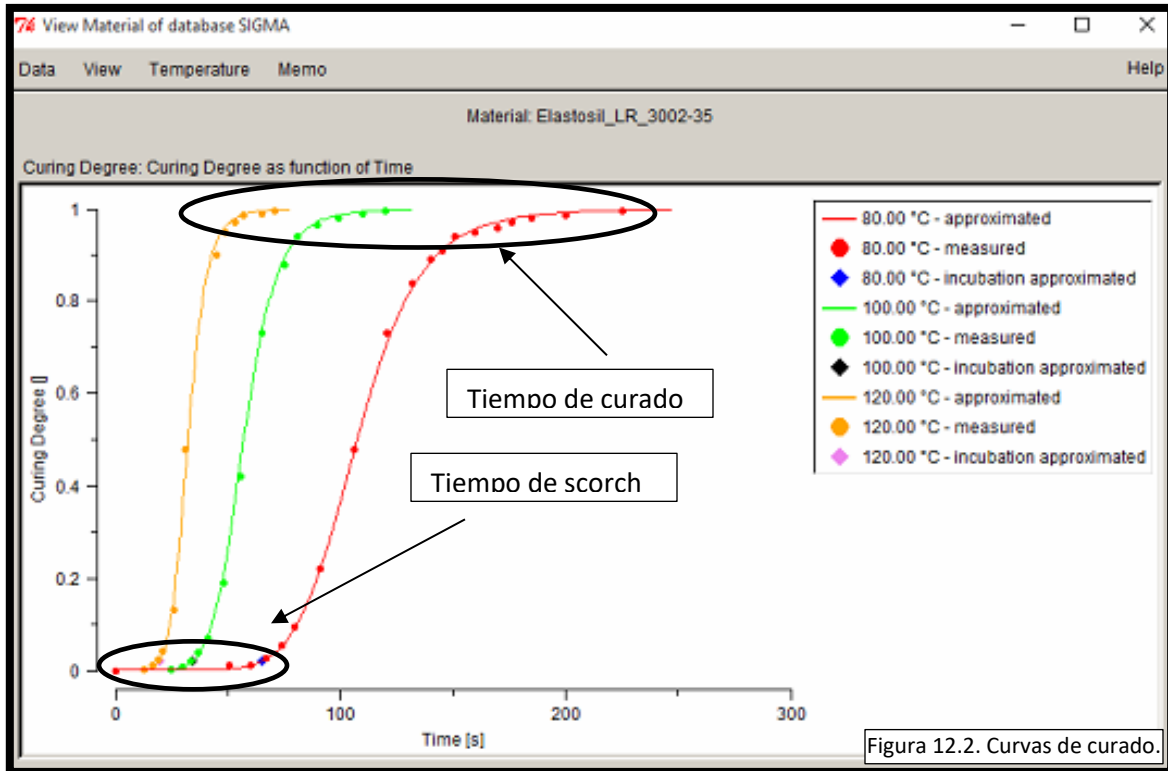


Figura 12.2. Curvas de curado.

5.1.1.1.3. VOLUMEN ESPECÍFICO.

Los diagramas pvt permiten determinar a diferentes presiones y temperaturas el volumen específico del material prediciendo el cambio de volumen o contracción del material, variable importante para diseño de piezas y moldes.

Las propiedades térmicas son importantes para determinar el enfriamiento del material durante la inyección y el flujo de calor en el molde. Las propiedades mecánicas para determinar las deformaciones del material inyectado.

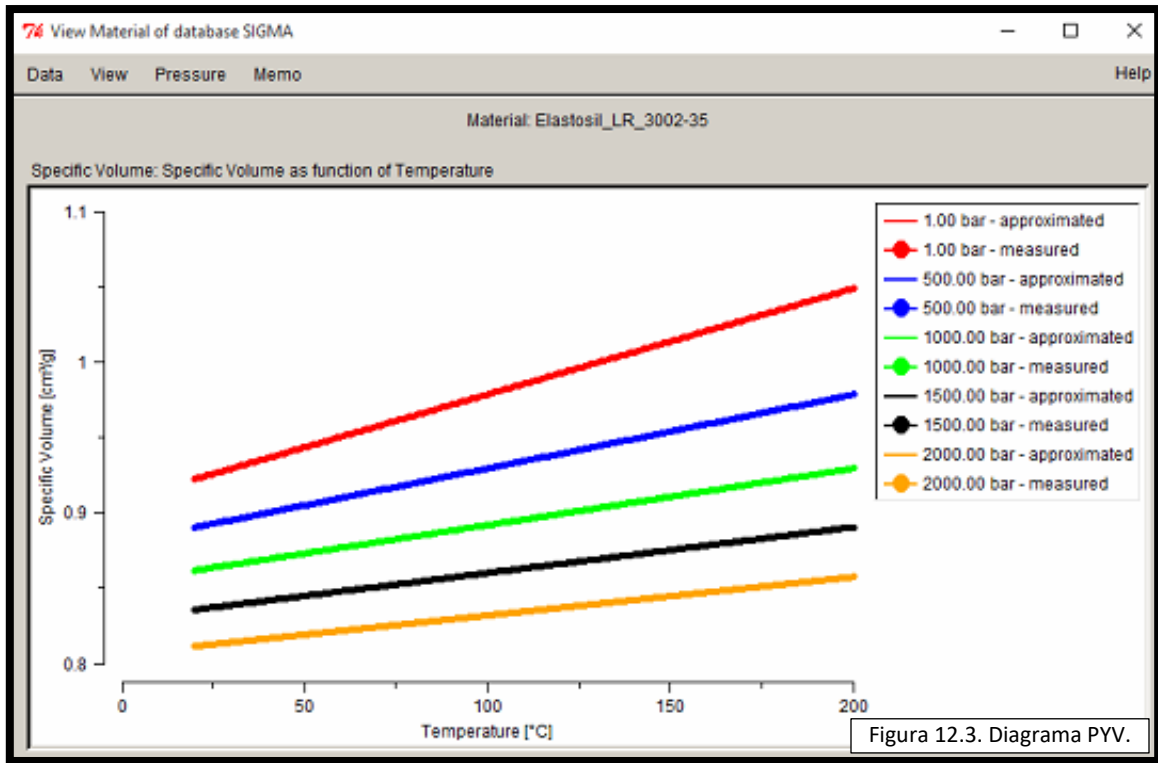
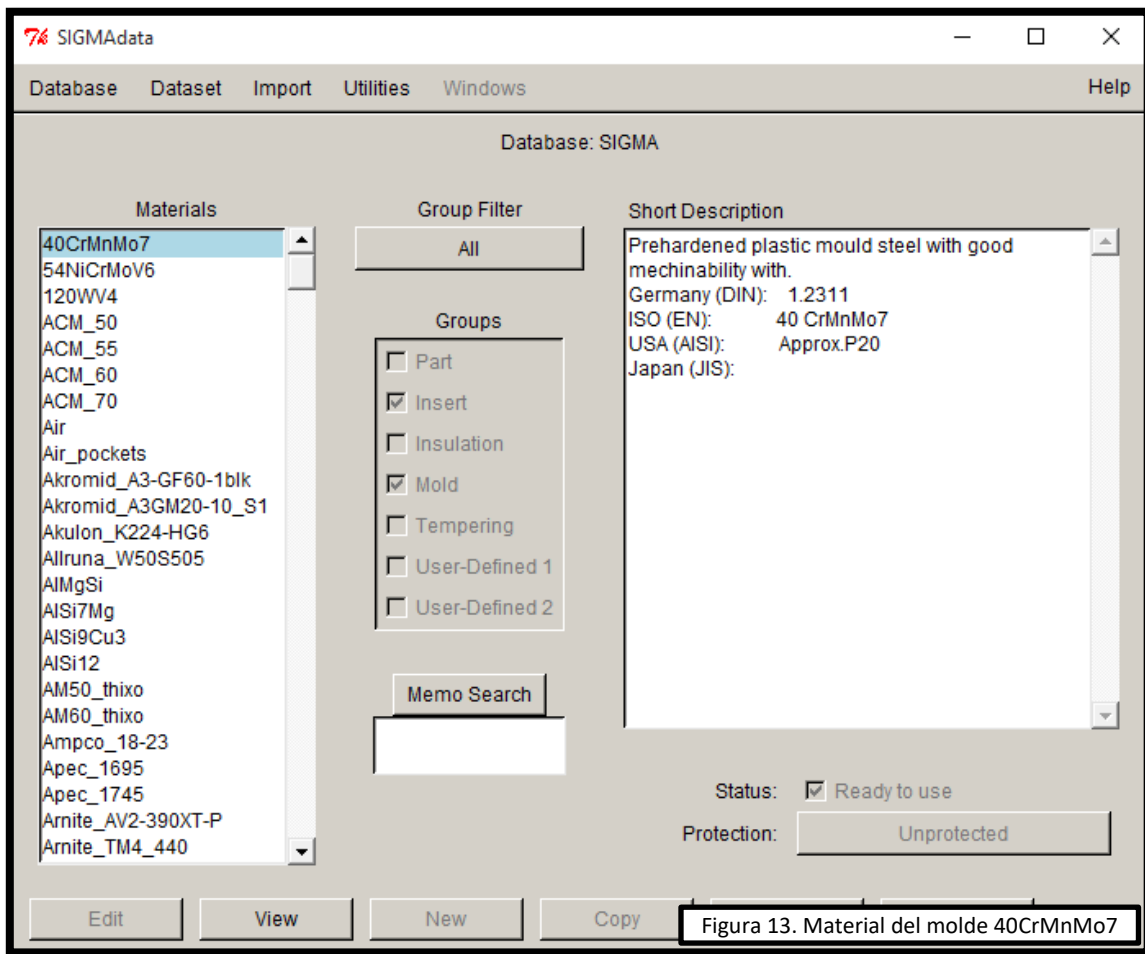


Figura 12.3. Diagrama PYV.

5.1.2. MATERIAL DE MOLDE.

Para el material de molde son importantes las propiedades térmicas que determinan el flujo de calor con el material inyectado y hacia el ambiente, determinando la rapidez y eficiencia del enfriamiento de la pieza inyectada. Estas propiedades tienen sus valores establecidos con respecto a la temperatura.

Las propiedades mecánicas son importantes también para determinar si el material del molde puede tener una deformación significativa que afecte su funcionamiento y tiempo de vida útil.



A continuación se presentan algunas gráficas de propiedades térmicas.

5.1.2.1. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL MATERIAL DEL MOLDE

La conductividad térmica ("lambda") indica la capacidad del material para transferir calor. Es la constante proporcional que describe la relación entre el flujo de calor por superficie y el gradiente de temperatura dentro del material

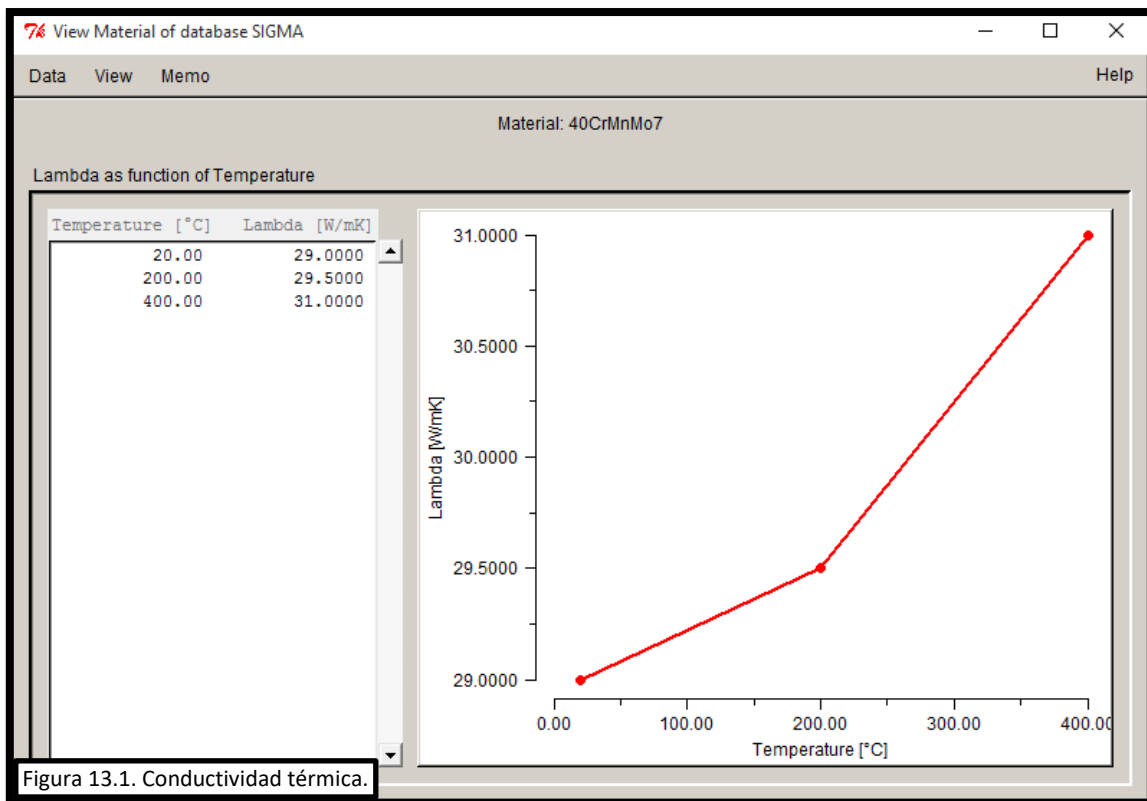


Figura 13.1. Conductividad térmica.

5.1.2.2. CAPACIDAD CALORÍFICA DEL MATERIAL DEL MOLDE

La capacidad calorífica específica es la cantidad de energía que se debe añadir para aumentar la temperatura de 1 kg del material por 1K (o que debe ser retirado para disminuir la temperatura del material en 1K, respectivamente). El índice "p" denota que las mediciones se realizaron a una presión constante.

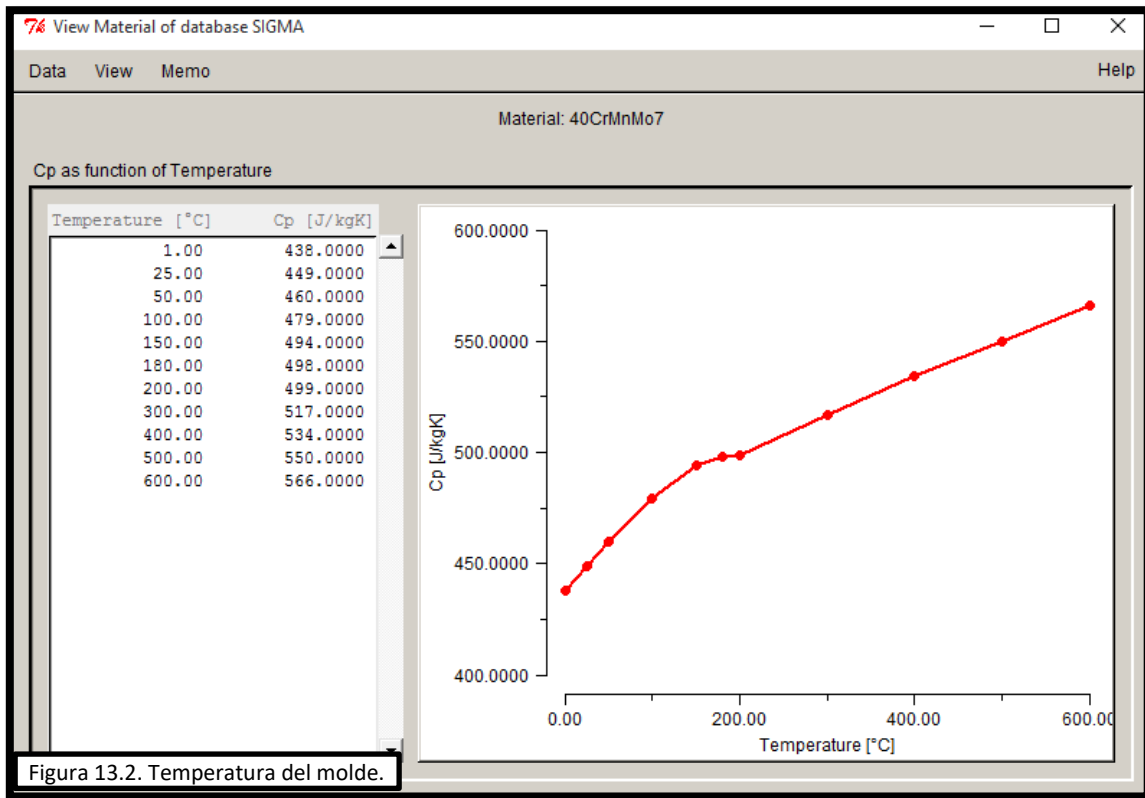


Figura 13.2. Temperatura del molde.

5.1.2.3. DENSIDAD DEL MATERIAL DEL MOLDE.

La densidad de un material ("rho") describe la relación entre su volumen y su peso. Es la inversa del volumen específico. Por lo tanto, los valores de densidad pueden calcularse automáticamente a partir de datos pvt introducidos (es decir, datos de volumen específico dependientes de la presión y la temperatura).

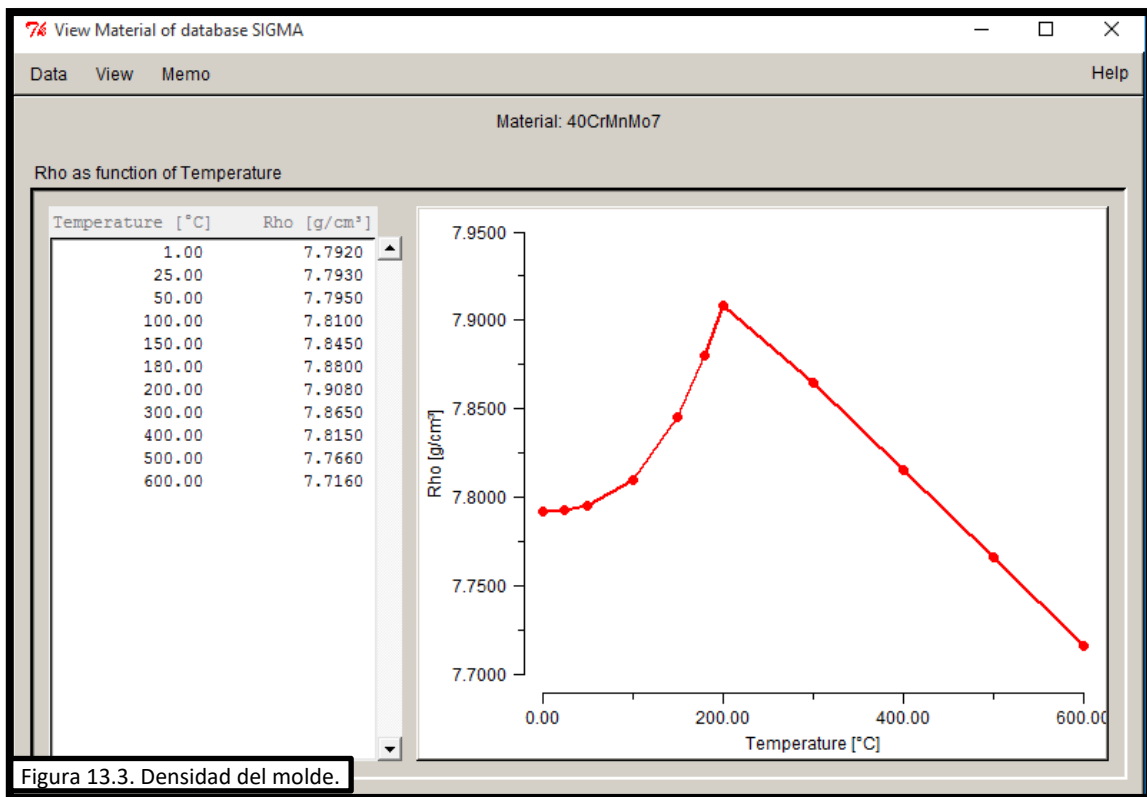


Figura 13.3. Densidad del molde.

6. RESULTADOS

En la simulación del proceso de inyección de elastómeros se realizó el proceso con un tipo de material (elastómero) 3 tiempos de curado 300s, 180s y 100s asignando la misma pieza y molde (sistema de inyección y atemperamiento), este proceso está enfocado en el último ciclo el cual corresponde a la producción de la pieza.

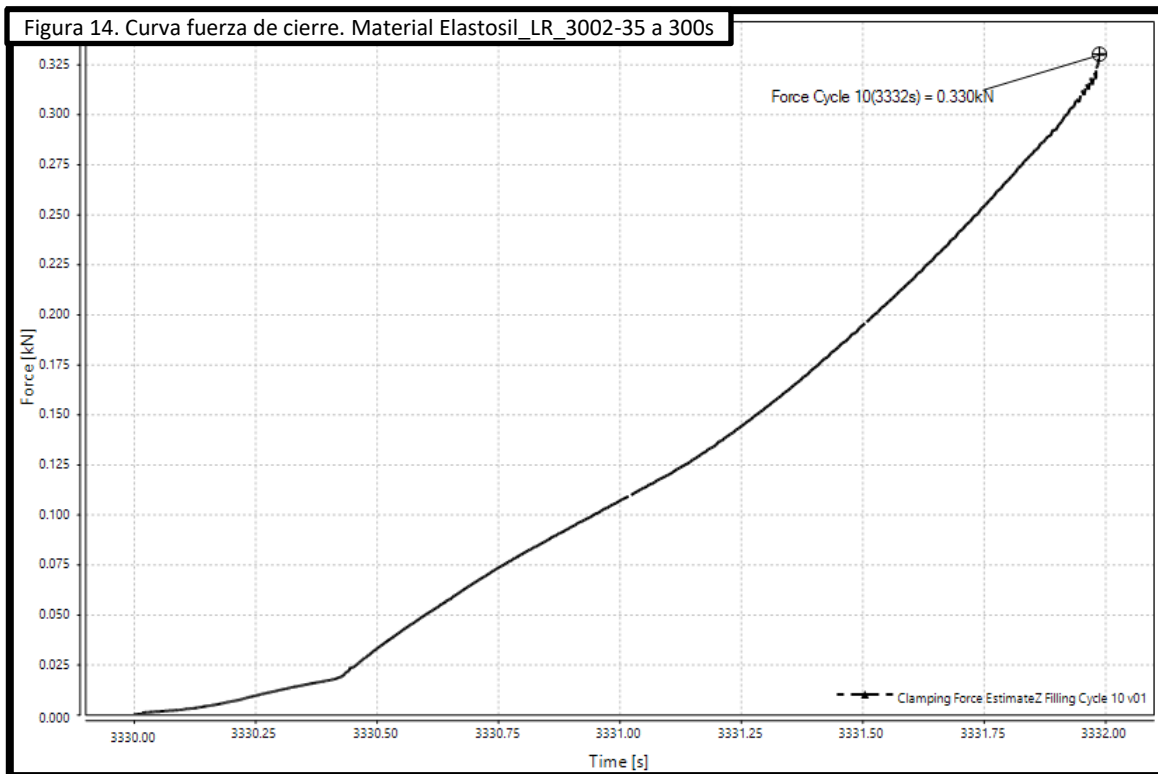
6.1. MATERIAL: ELASTOSIL_LR_3002-35 CON TIEMPO CURADO 300s.

6.1.1. LLENADO.

6.1.1.1. CURVAS

Se muestra la evolución de las curvas de fuerza de cierre durante la inyección, este valor es un parámetro importante para la selección de la máquina de inyección requerida para procesar el producto. De igual forma se reporta la distribución de presiones de inyección en la pieza, lo cual puede emplearse para estimar la presión de inyección requerida en la máquina a seleccionar para producir la pieza.

6.1.1.1.1. Curva de fuerza de cierre estimada.

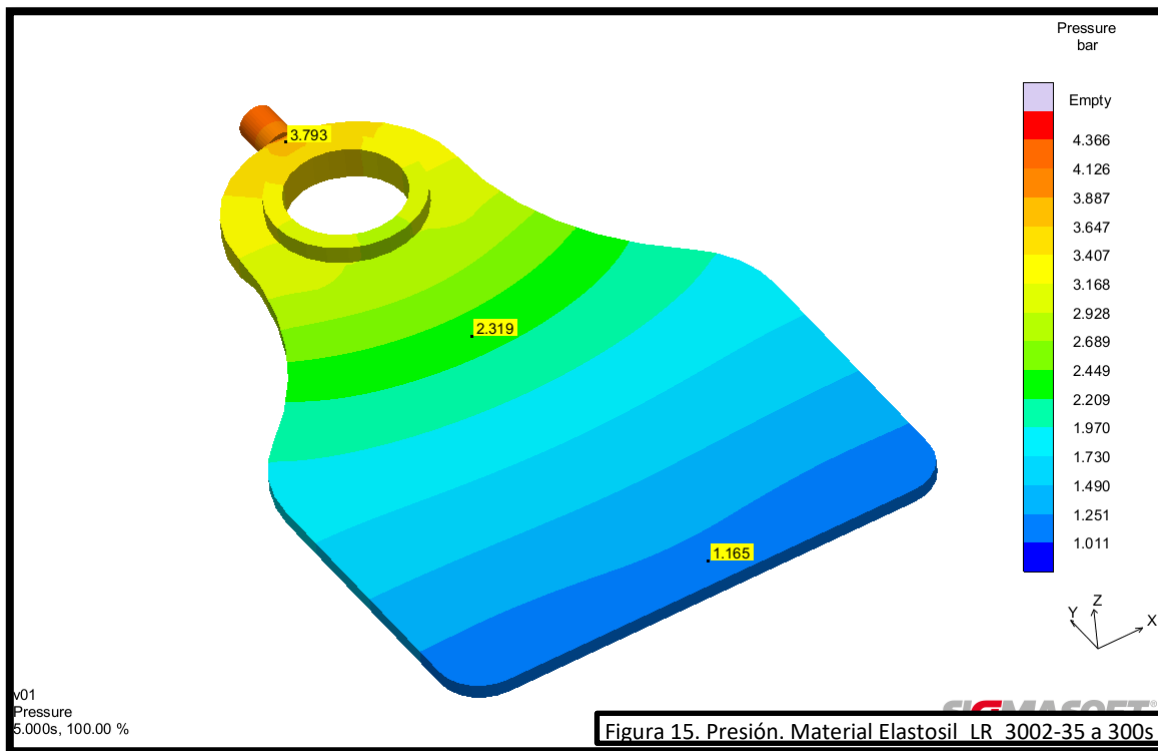


6.1.1.2. PRESIÓN.

La distribución de "presión" dentro de la masa fundida caracteriza tanto el llenado de la cavidad como el progreso de la solidificación. La presión de inyección y retención es impuesta por la unidad de inyección de la máquina de moldeo por inyección. Por lo tanto, los valores más altos de presión siempre se puede observar en la entrada, A partir de ahí, la presión disminuye continuamente a lo largo de la trayectoria de flujo debido a la pobre capacidad de transferencia de presión de una masa fundida elastómera altamente viscosa.

Utilizando el resultado de "Presión", se puede verificar que la presión requerida para el llenado de la cavidad no excede la presión de inyección máxima de la máquina de moldeo por inyección. Puede seleccionar valores de proximidad de la entrada para hacerlo.

6.1.1.2.1. Presión durante el tiempo de inyección (llenado y empaque).



6.1.1.3. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA.

Los resultados del tipo de "Volúmenes de masa fundida" indican la presencia de líquido fundido dentro de la cavidad del molde. Utilizando este resultado, se puede visualizar el progreso de llenado y solidificación de una manera muy clara. Obsérvese que la codificación de color de este resultado

distingue entre volúmenes de masa fundida que está conectada a la entrada por un canal de flujo continuo por una parte (mostrados en rojo) y volúmenes de masa fundida completamente rodeados por material solidificado (o molde) sobre la superficie Por otra parte (se muestra en azul).

Basado en el resultado de "Volúmenes de masa fundida" se puede comprobar el llenado de la cavidad, es decir, obtener una primera impresión de cómo avanza el frente de flujo dentro del molde. Una vez completado el relleno, el resultado del "Volúmenes de masa fundida" visualiza principalmente la secuencia de solidificación de las diferentes áreas de la pieza. Puede identificar fácilmente áreas que se solidifican mucho más rápido o más lentamente que el resto de la parte (y posiblemente determinar el tiempo de enfriamiento necesario en este último caso).

Además, es aconsejable prestar especial atención a la codificación de color de este resultado. Si un volumen de material se solidifica sin estar conectado a la entrada por un canal de flujo continuo (indicado en azul), la presión de retención no se aplica durante la solidificación. Por lo tanto, la contracción térmica del material no se compensa con la entrada de material adicional, lo que normalmente da lugar a altos valores de encogimiento y mala estabilidad dimensional en esa zona de la pieza.

6.1.1.3.1. Volúmenes de masa fundida a 3.122s, 6.08%

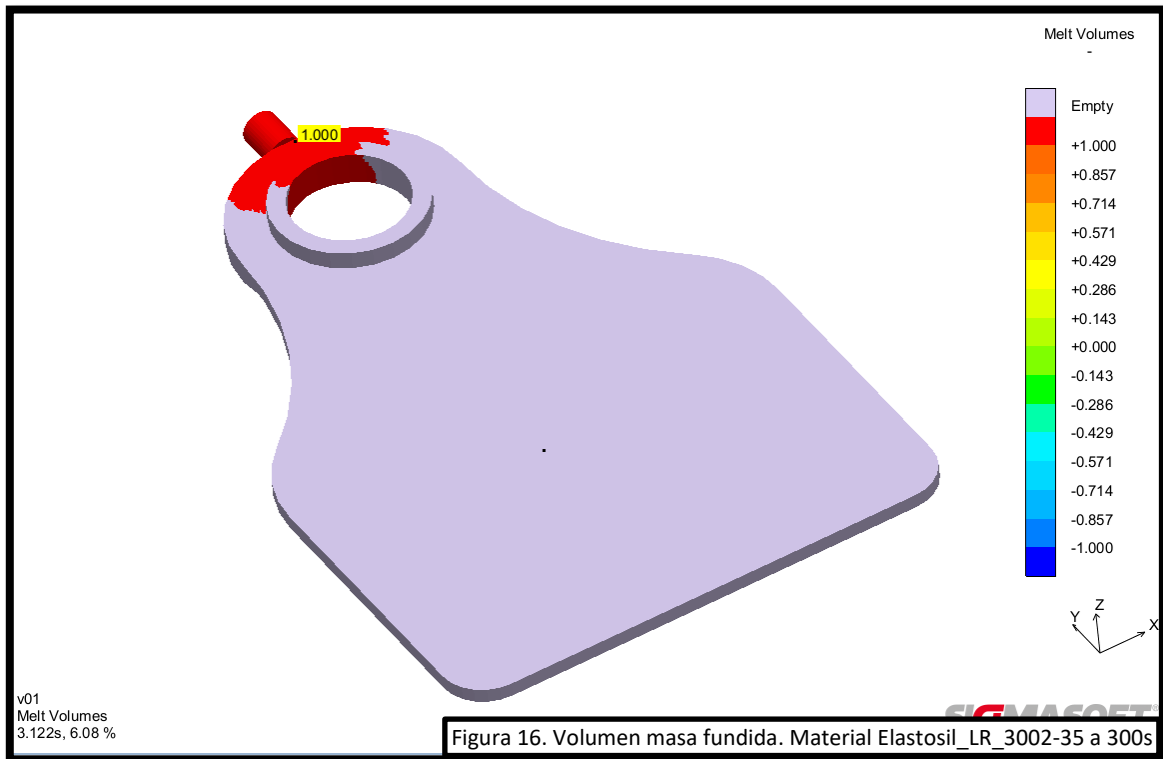
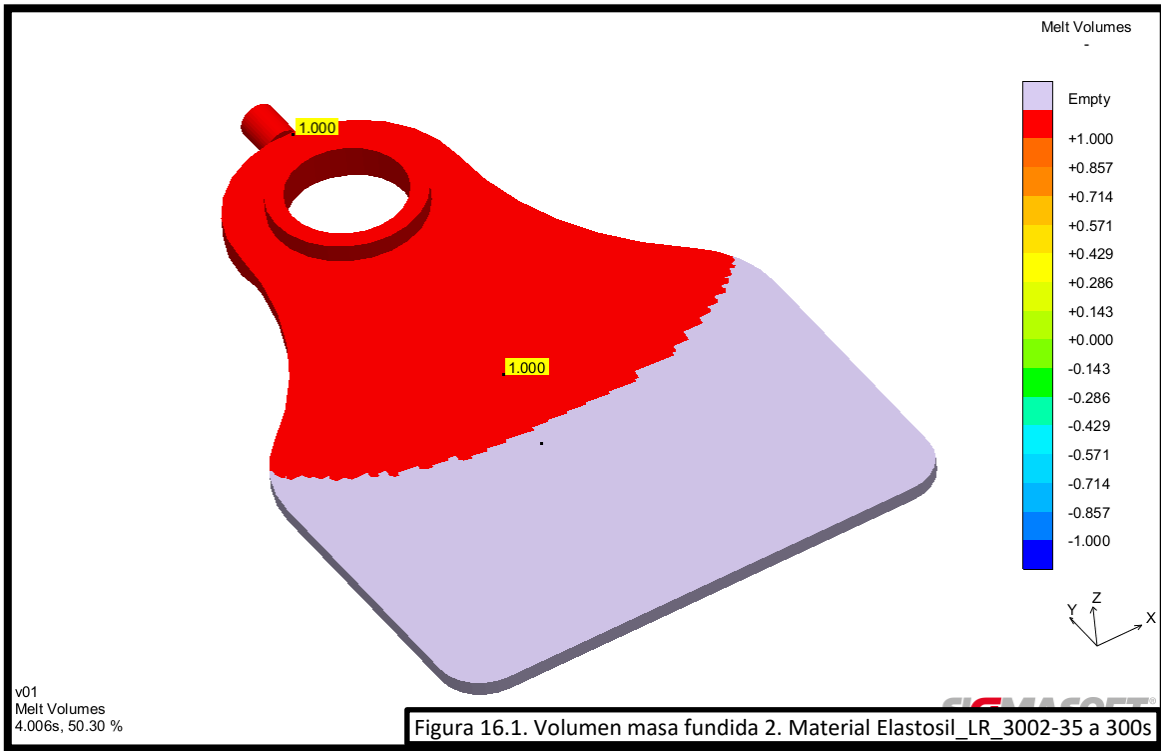
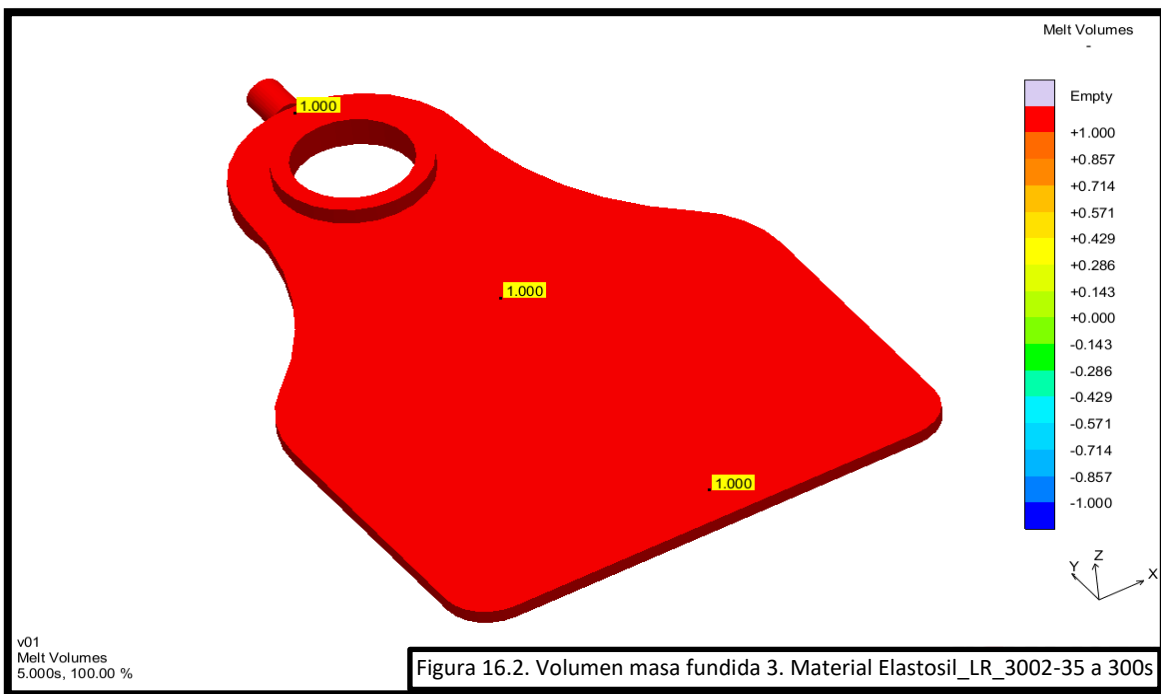


Figura 16. Volumen masa fundida. Material Elastosil_LR_3002-35 a 300s

6.1.1.3.2. Volúmenes de masa fundida a 4.006s, 50.30%



6.1.1.3.3. Volúmenes de masa fundida a 5s, 100%. Fase de empaque.

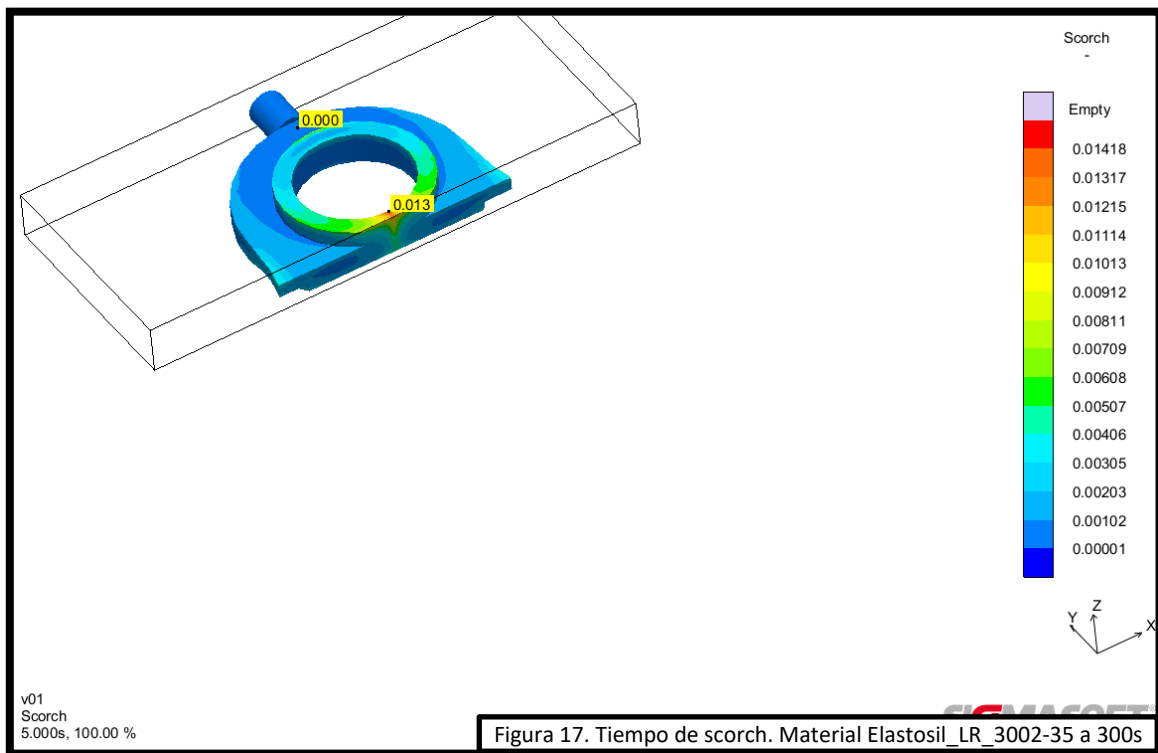


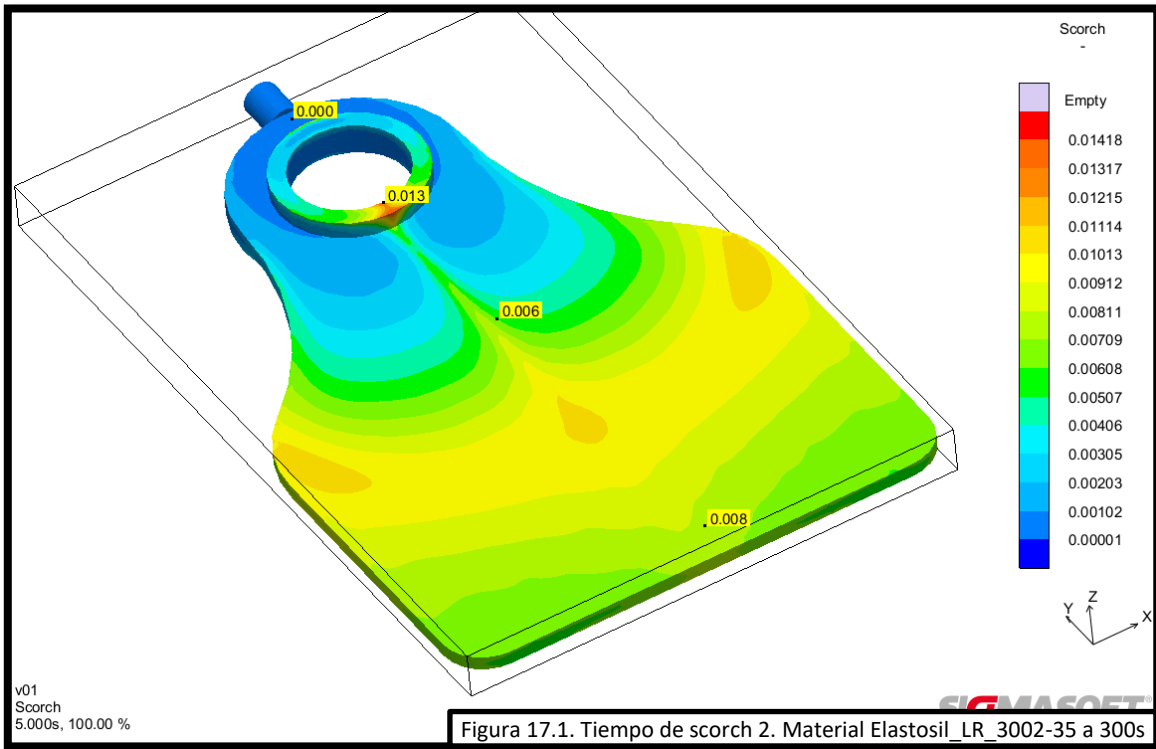
6.1.1.4. TIEMPO DE SCORCH.

Los resultados del tipo 'Scorch' muestran la distribución del índice de scorch en la masa fundida. Para materiales elastómeros, este índice indica el tiempo restante antes del comienzo de la reacción de curado. El resultado de "Scorch" oscila entre 0 y 1. "0" representa un material totalmente sin curar, mientras que "1" indica que se alcanza un grado de curado crítico dentro del material de manera que la reacción de curado está a punto de acelerarse y continuar con altas velocidades de curado .

Por razones de calidad, el llenado del molde debe completarse antes de que se alcance un grado de curado específico. Esto se puede verificar fácilmente con el resultado de "Scorch": Asegúrese de que, al 100% de llenado, el índice del tiempo de scorch esté por debajo de "1" en todas las áreas de la pieza. Esto es especialmente relevante si hay un canal frío integrado en el molde en el que el material procesado puede estar expuesto a temperaturas elevadas.

6.1.1.4.1. Tiempo de scorch a 5s, 100%. Con corte al inicio de la pieza y finalizando.





6.1.2. CURADO.

El curado es un porcentaje se relaciona con la velocidad de curado de la pieza. Normalmente las velocidades de curado al interior de la pieza son inferiores a las cercanas a la superficie.

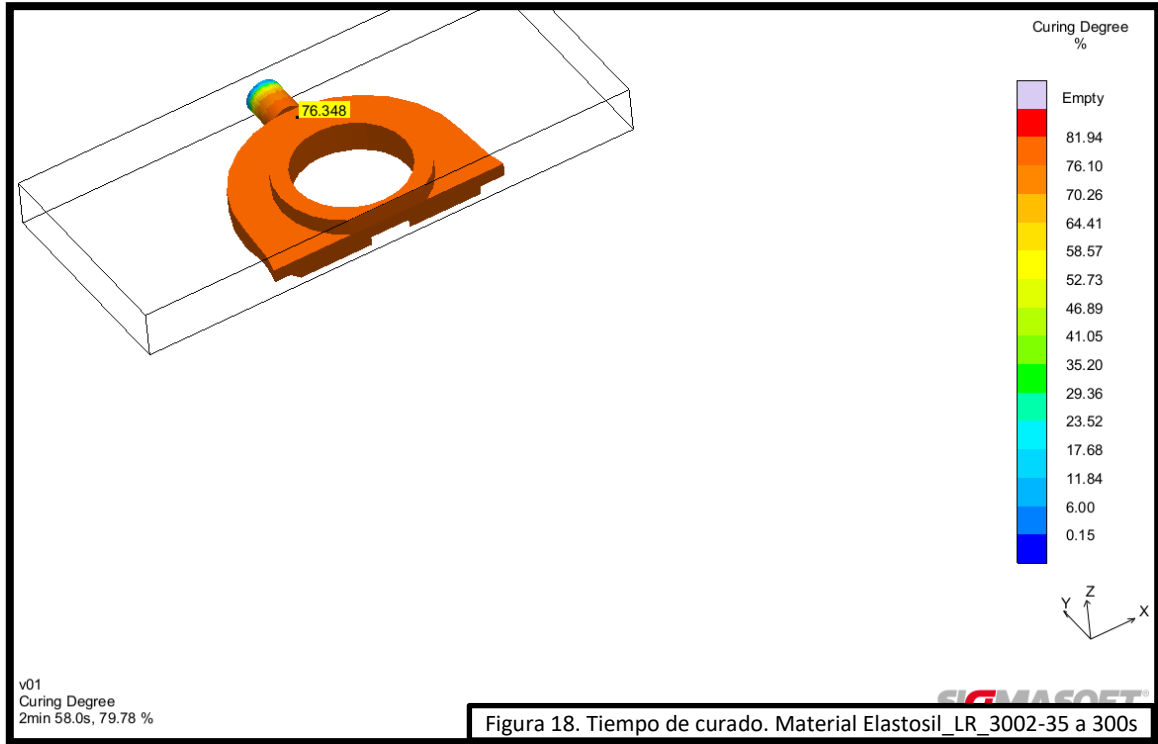
6.1.2.1. Grado de curado.

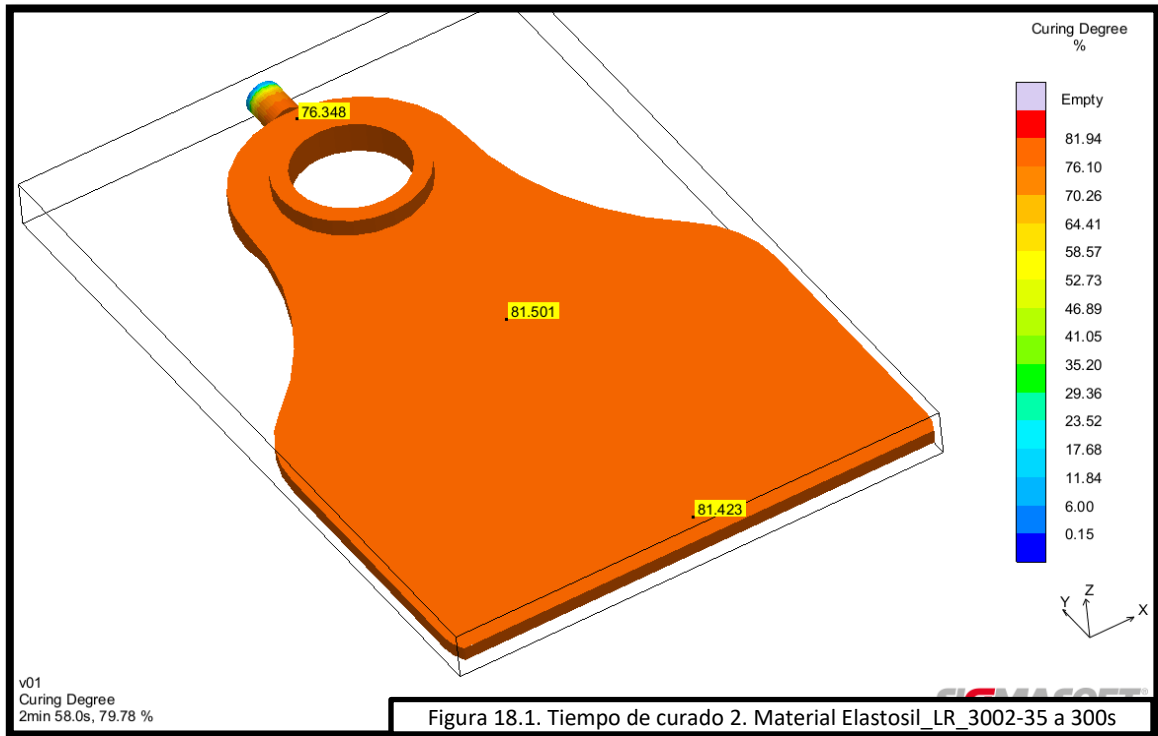
Los resultados del "grado de curado" reflejan el progreso de la reacción de curado durante el procesamiento de materiales elastoméricos en este caso.

El procesamiento de materiales elastoméricos, el grado de curado es uno de los factores de proceso de mayor interés. Por razones de calidad, un grado de curado específico no debe excederse hasta que se complete el llenado del molde. Especialmente si los disipadores de frío están integrados en el molde, es conveniente comprobar que el pre-curado del material se encuentre dentro de los límites aceptables antes del comienzo de la fase de inyección real. Por otra parte, se debe alcanzar un grado mínimo de curado en todas las áreas de la pieza antes del desmolde de la pieza.

Además, una gran variedad de propiedades de materiales elastoméricos inyectados depende del grado de curado, propiedades mecánicas tales como rigidez, resistencia a la tracción y muchos más. Por lo tanto, una distribución homogénea del grado de curado es típicamente preferible.

6.1.2.1.1. Grado de curado a 2 min 58s, 79.78%. Con corte al inicio de la pieza y finalizando.





6.1.3. ENCOGIMIENTO Y DEFORMACIÓN.

Durante la solidificación y el enfriamiento, el material de la pieza se contrae generalmente a medida que el sistema de piezas y canales se enfría. Pero debido a diferentes condiciones de enfriamiento en el sistema de piezas y canales, las distribuciones de temperatura no homogéneas conducen a una contracción térmica irregular. Esta contracción no uniforme produce tensiones en el material durante el enfriamiento y dependiendo de las condiciones del material (resistencia y rigidez), esto puede conducir a tensiones residuales incluso a temperatura ambiente, cuando la contracción térmica es uniforme en el material de la cavidad. La contracción térmica se produce por deformación térmica, que se calcula a partir del coeficiente de dilatación térmica y la diferencia de temperatura durante el enfriamiento.

6.1.3.1. DESPLAZAMIENTO. Ambiente

La densidad de un material depende de la temperatura y la presión. Como resultado, la mayoría de los materiales se contraen dependiendo de la temperatura y la presión presente en la pieza durante y posterior al proceso de moldeo. Las variaciones de temperatura y presión durante el moldeo por inyección de piezas de plástico pueden conducir a cambios dimensionales significativos durante el proceso. Adicionalmente, los cambios de la estructura interna del material (por ejemplo, cristalización) a menudo dan lugar a una contracción adicional. Las desviaciones dimensionales de

las piezas producidas por la geometría de la pieza original se expresan mediante el resultado de "desplazamiento".

Los resultados de "desplazamiento" son resultados de vectores en los siguientes componentes:

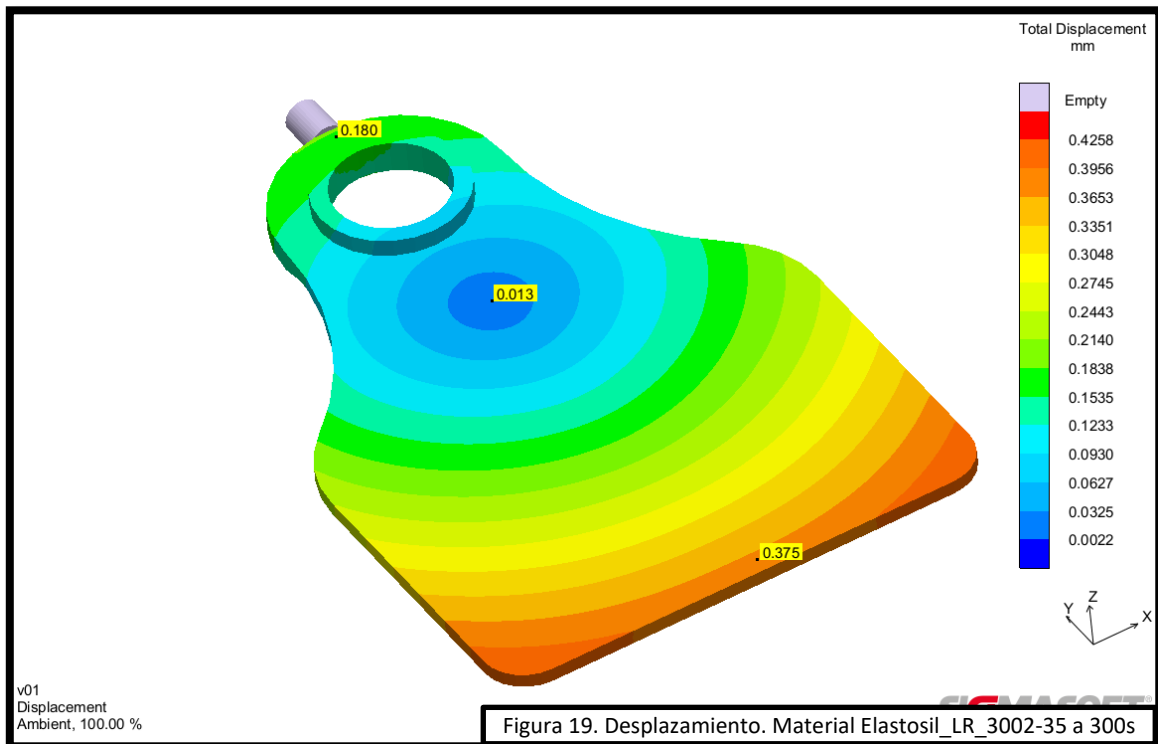
X Desplazamiento en dirección-X

Y Desplazamiento en dirección-Y

Z Desplazamiento en dirección-Z

Sus dimensiones son de crucial importancia para la calidad y usabilidad de una pieza, especialmente si está integrada en un conjunto. Utilizando el resultado de 'Desplazamiento' puede realizar un análisis detallado de la contracción y deformación de una pieza moldeada por inyección. Este último típicamente resulta de una contracción no homogénea en diferentes áreas de la parte.

6.1.3.1.1. Desplazamiento total. Fase de enfriamiento después de la expulsión.

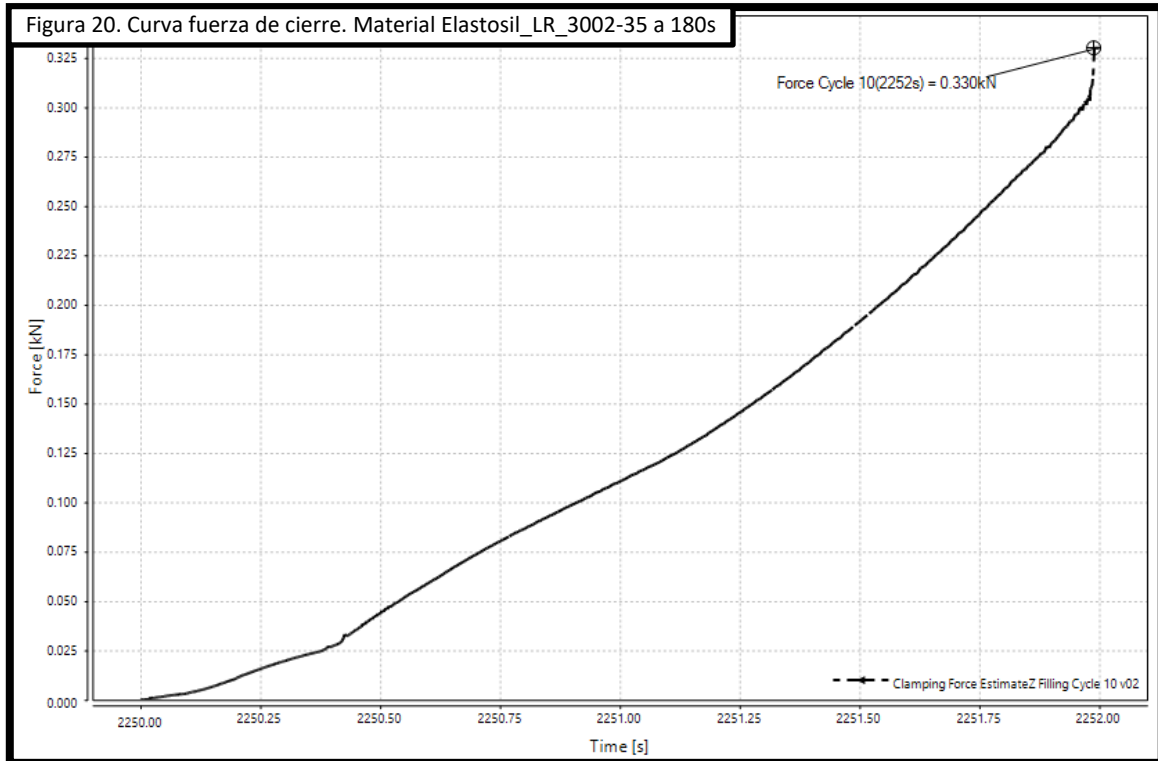


6.2. MATERIAL: ELASTOSIL_LR_3002-35 CON TIEMPO CURADO 180s.

6.2.1. LLENADO.

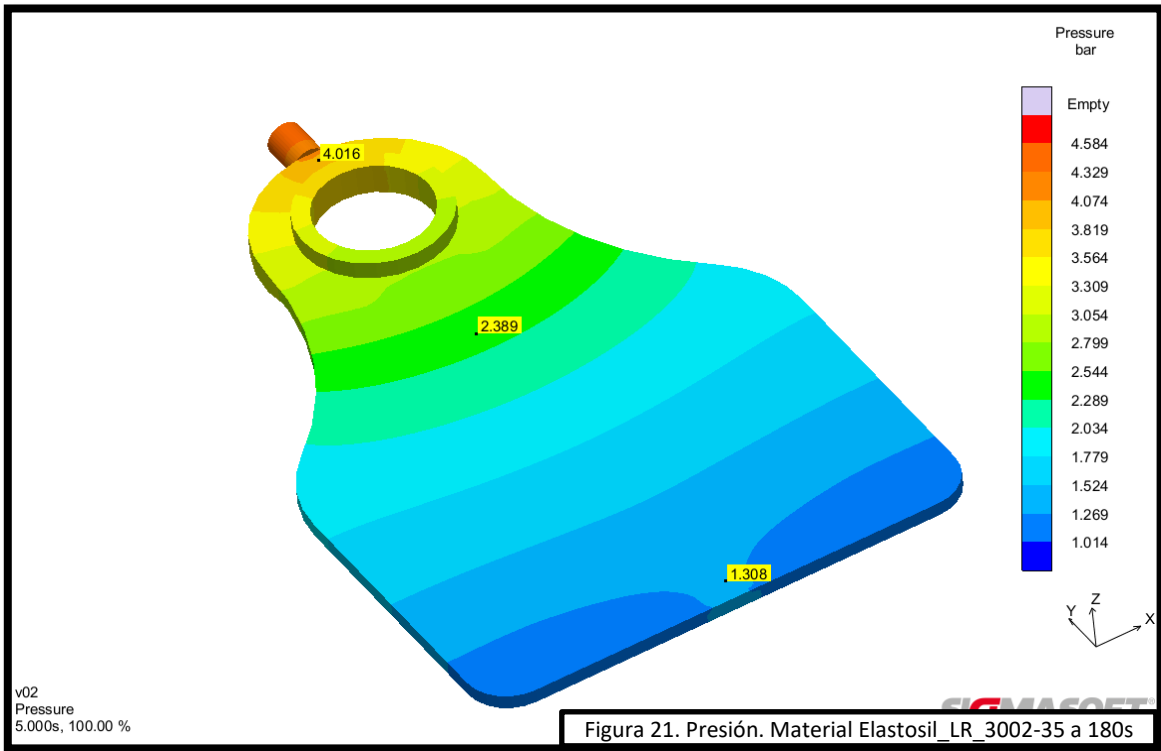
6.2.1.1. CURVAS.

6.2.1.1.1. Curva de fuerza de cierre estimada.



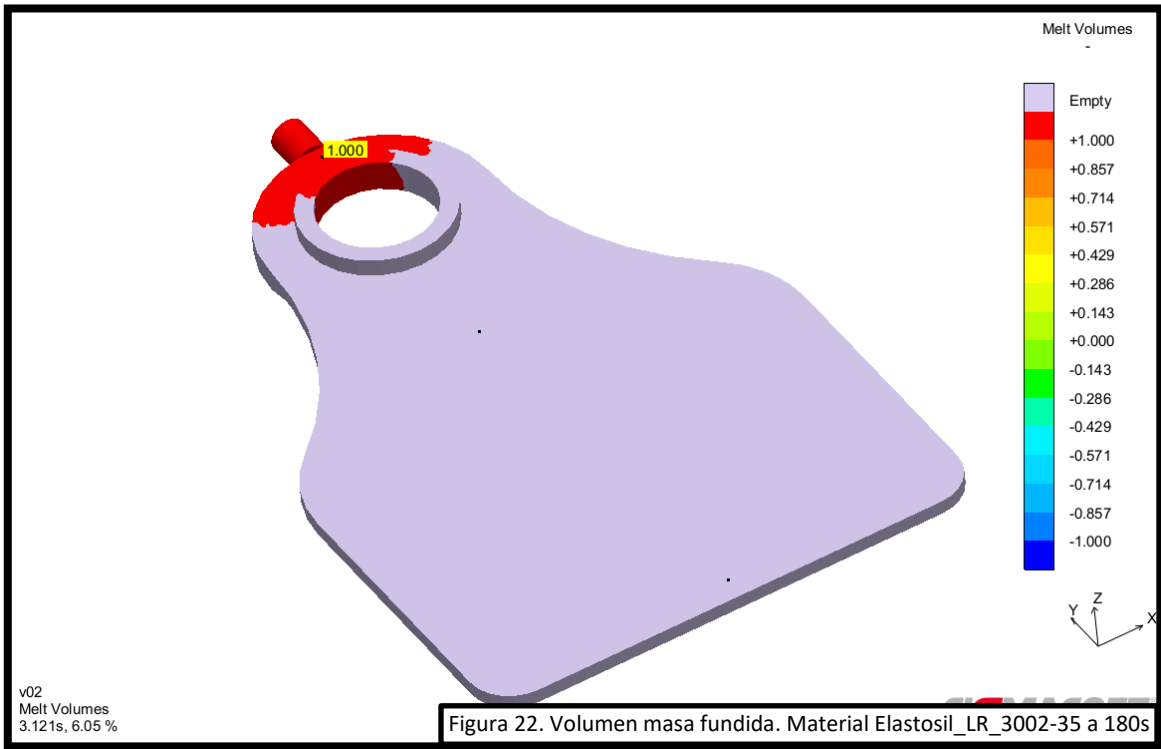
6.2.1.2. PRESIÓN

6.2.1.2.1. Presión 5s, 100%. Fase de empaque.

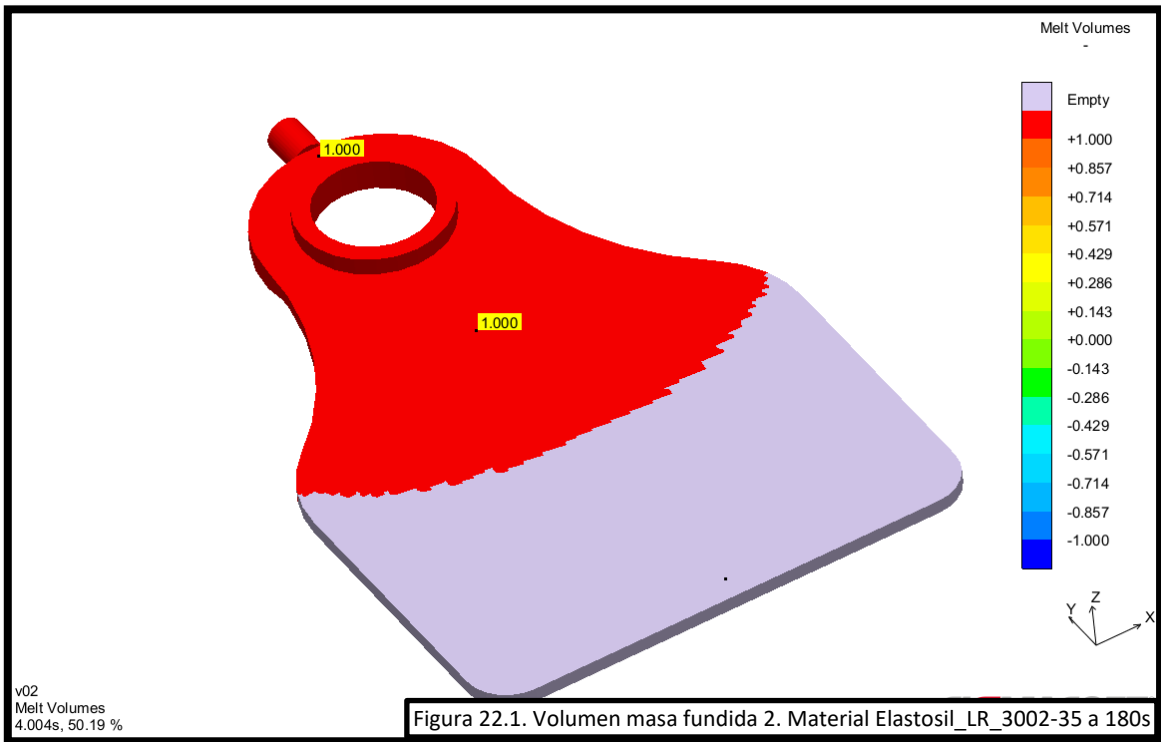


6.2.1.3. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA.

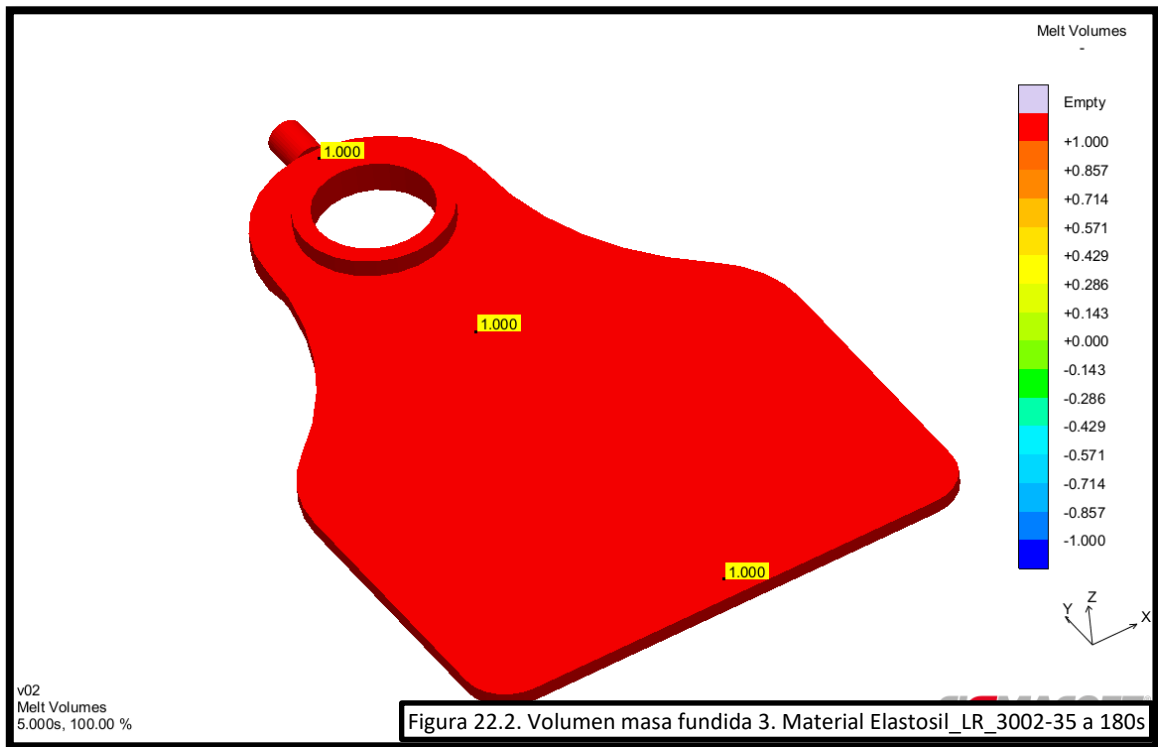
6.2.1.3.1. Volúmenes de masa fundida a 3.121s, 6.05%



6.2.1.3.2. Volúmenes de masa fundida a 4.004s, 50.19%

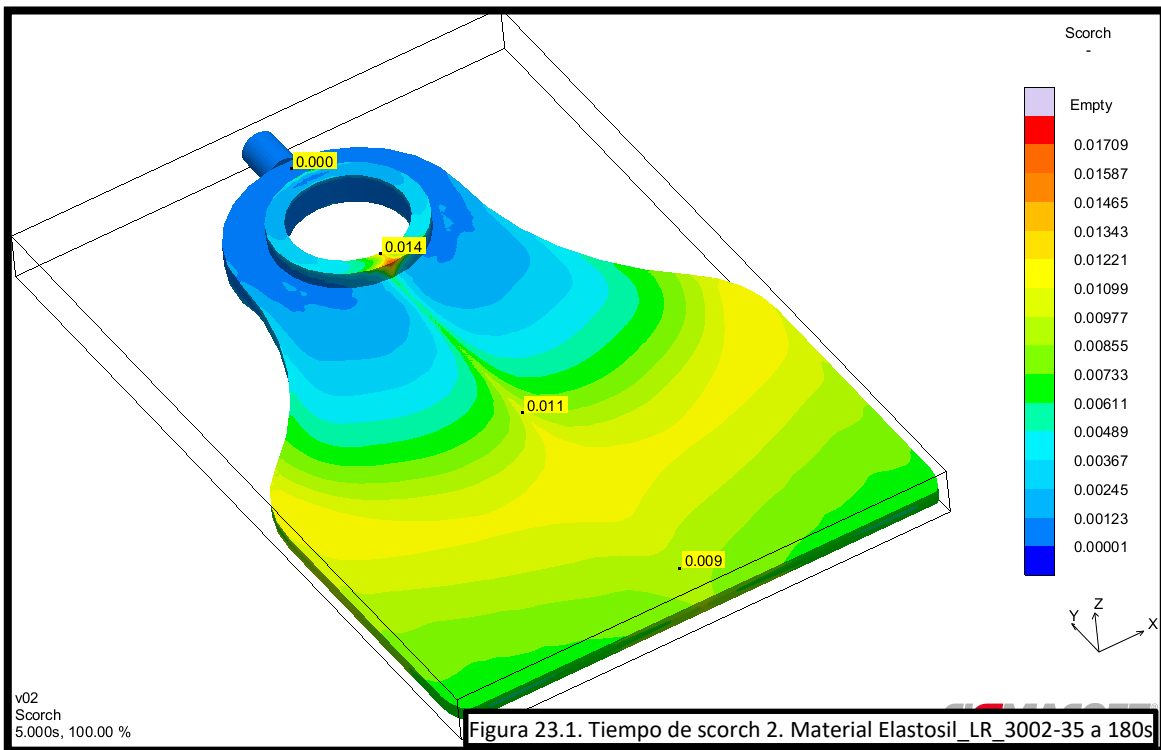
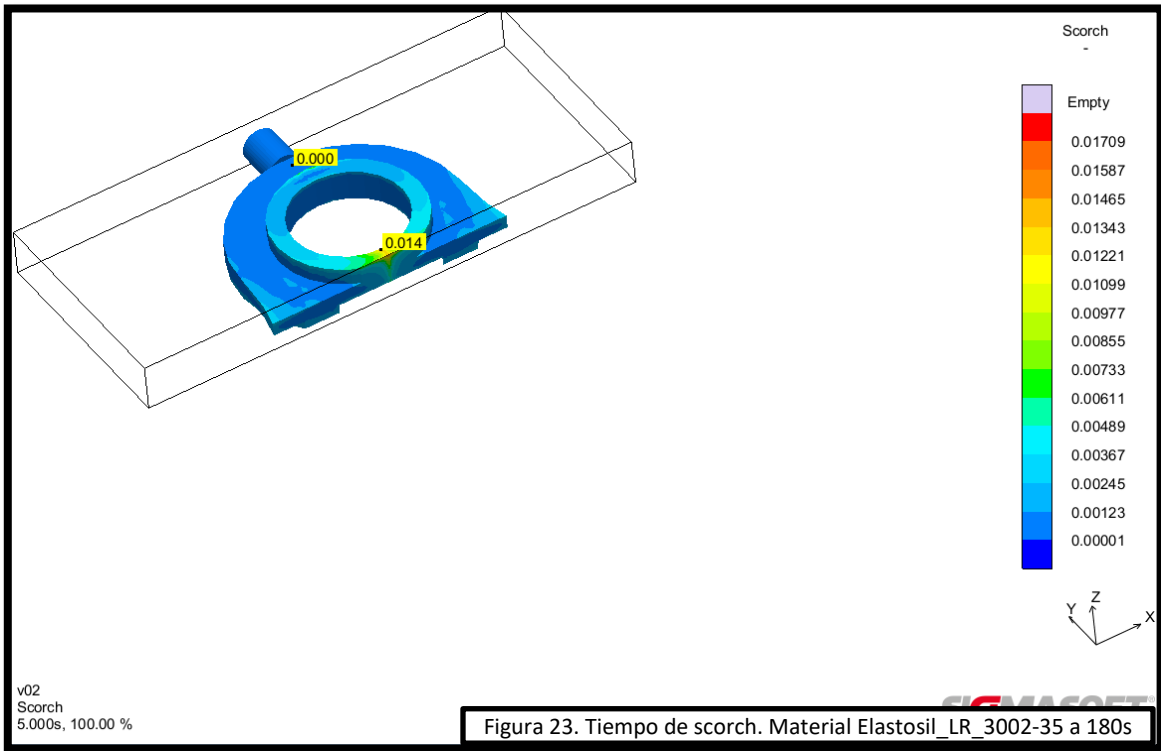


6.2.1.3.3. Volúmenes de masa fundida a 5s, 100%. Fase de empaque.



6.2.1.4. TIEMPO DE SCORCH.

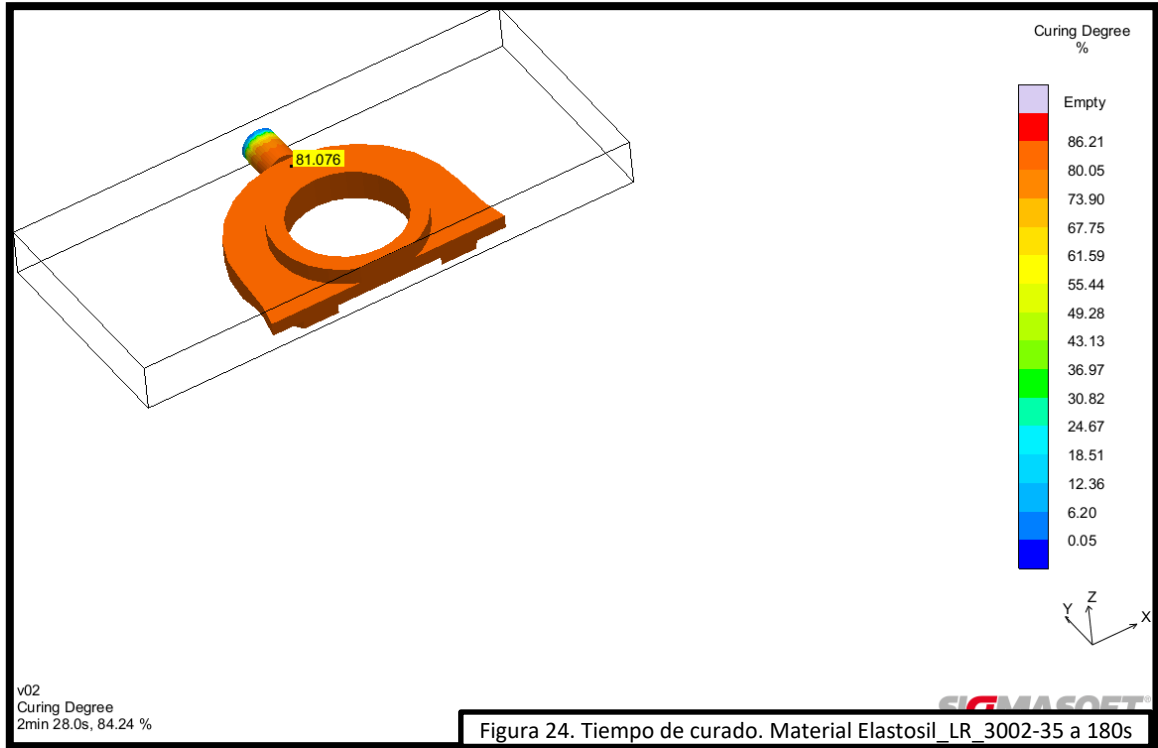
6.2.1.4.1. Tiempo de scorch a 5s, 100%. Fase de empaque, con corte al inicio de la pieza y finalizando.

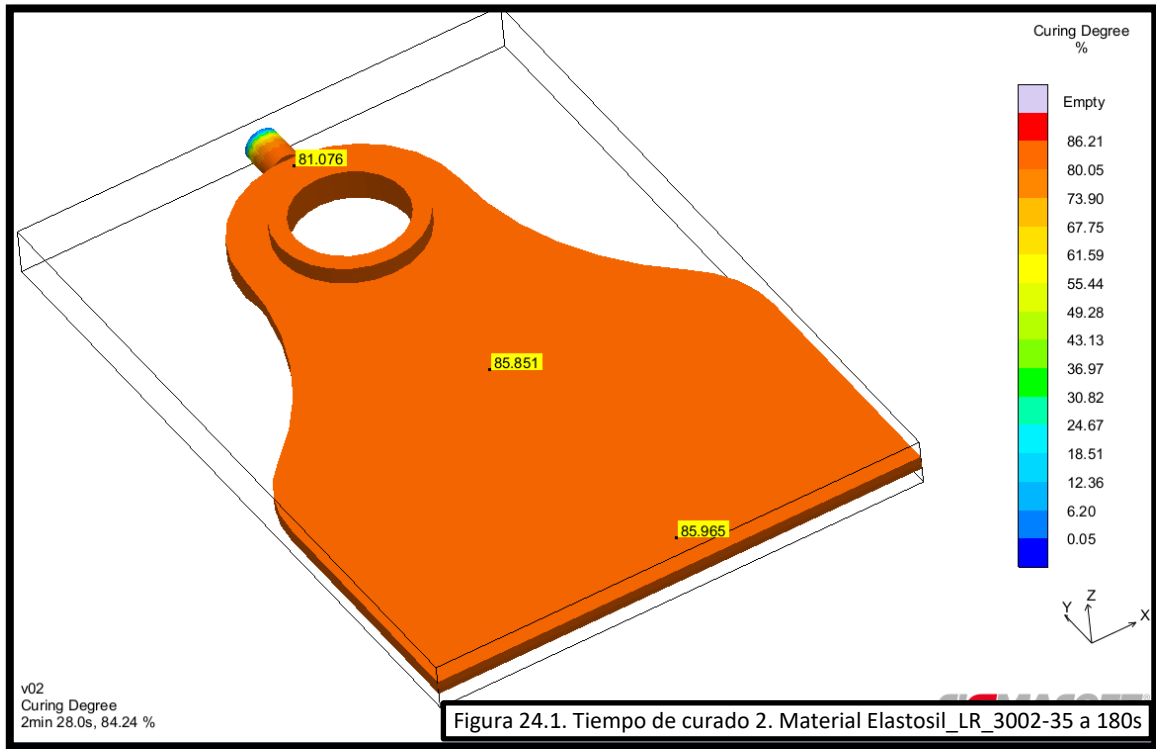


6.2.2. CURADO.

6.2.2.1. Grado de curado.

6.2.2.1.1. Grado de curado a 2 min 28s, 84.24%. Con corte al inicio de la pieza y finalizando.

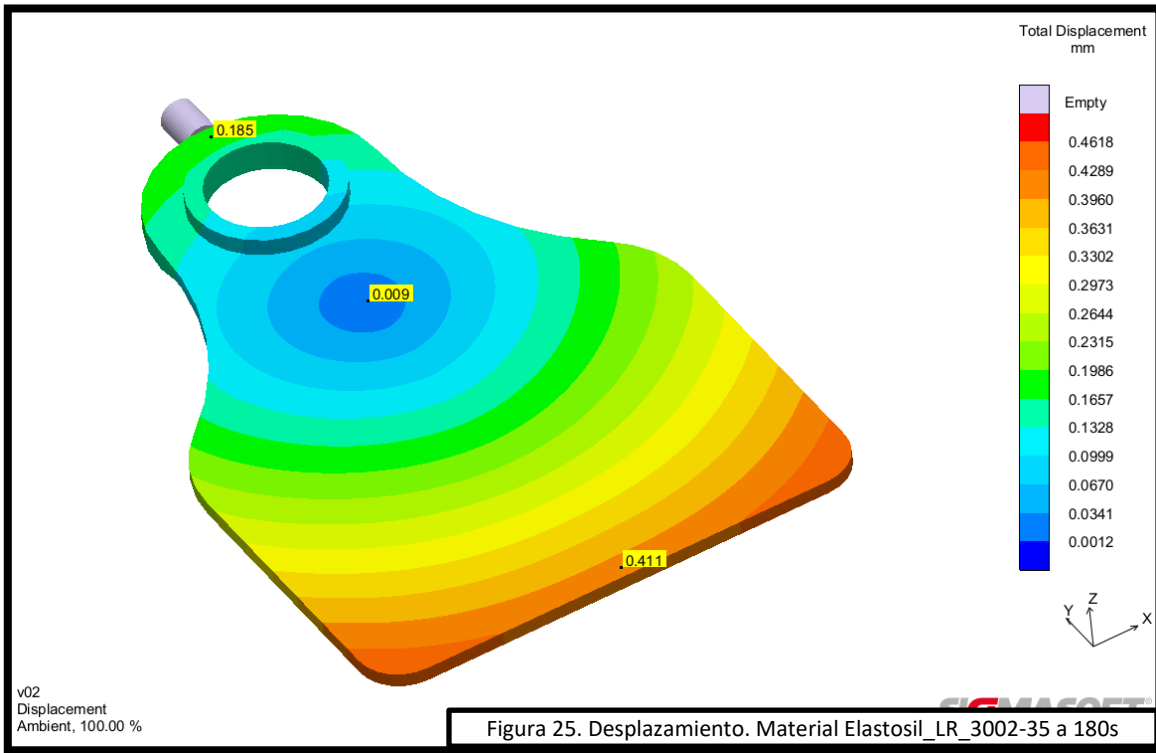




6.2.3. ENCOGIMIENTO Y DEFORMACIÓN.

6.2.3.1. DESPLAZAMIENTO. Ambiente

6.2.3.1.1. Desplazamiento total. Fase de enfriamiento después de la expulsión.



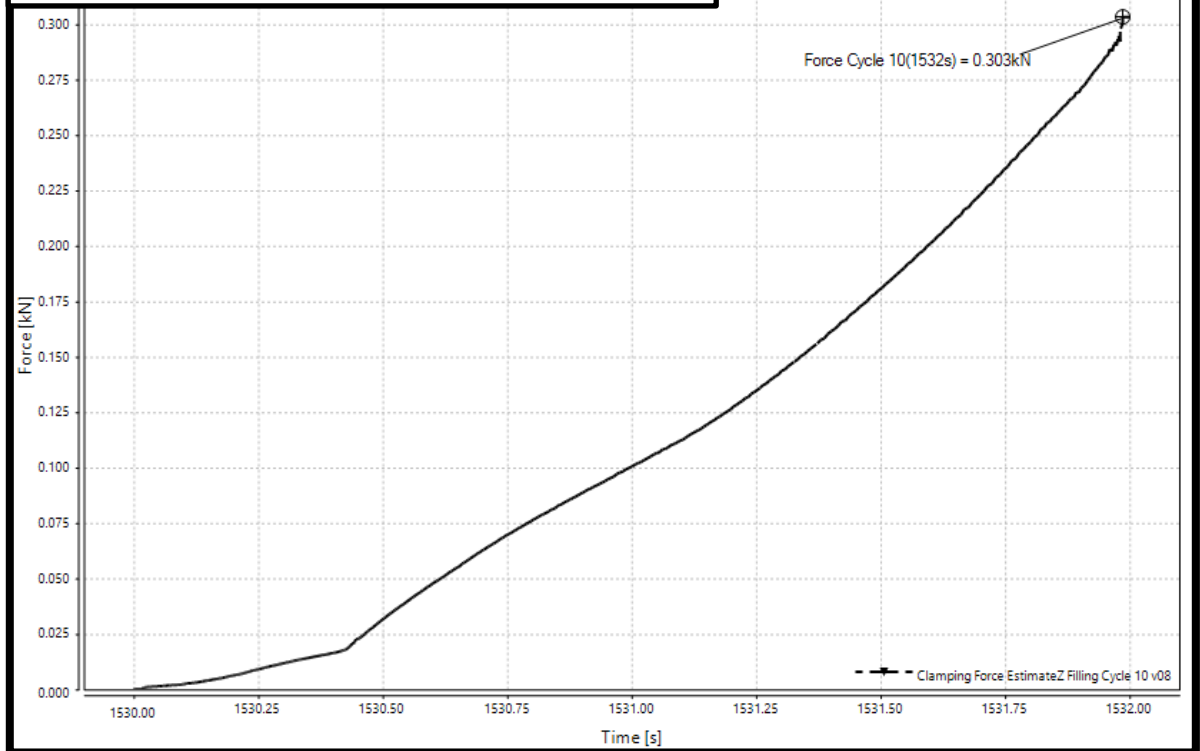
6.3. MATERIAL: ELASTOMERO ELASTOSIL_LR_3002-35 CON TIEMPO DE CURADO DE 100s.

6.3.1. LLENADO.

6.3.1.1. CURVAS

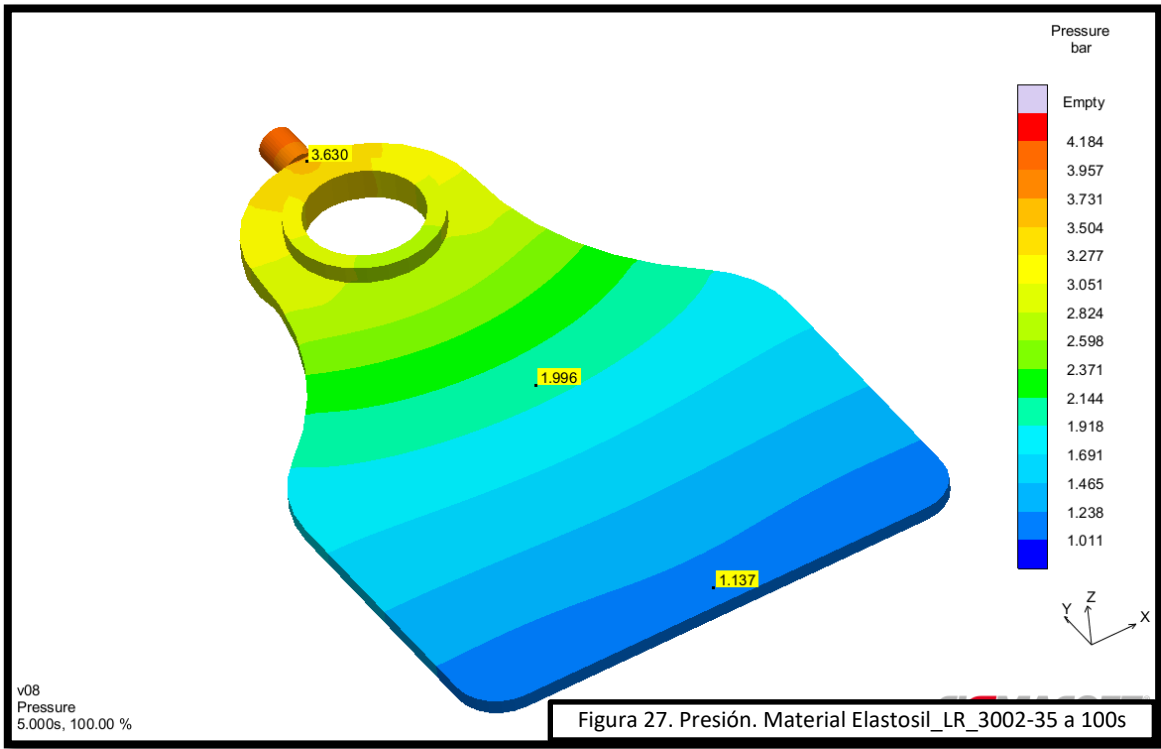
6.3.1.1.1. Curva de fuerza de cierre estimada.

Figura 26. Curva fuerza de cierre. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s



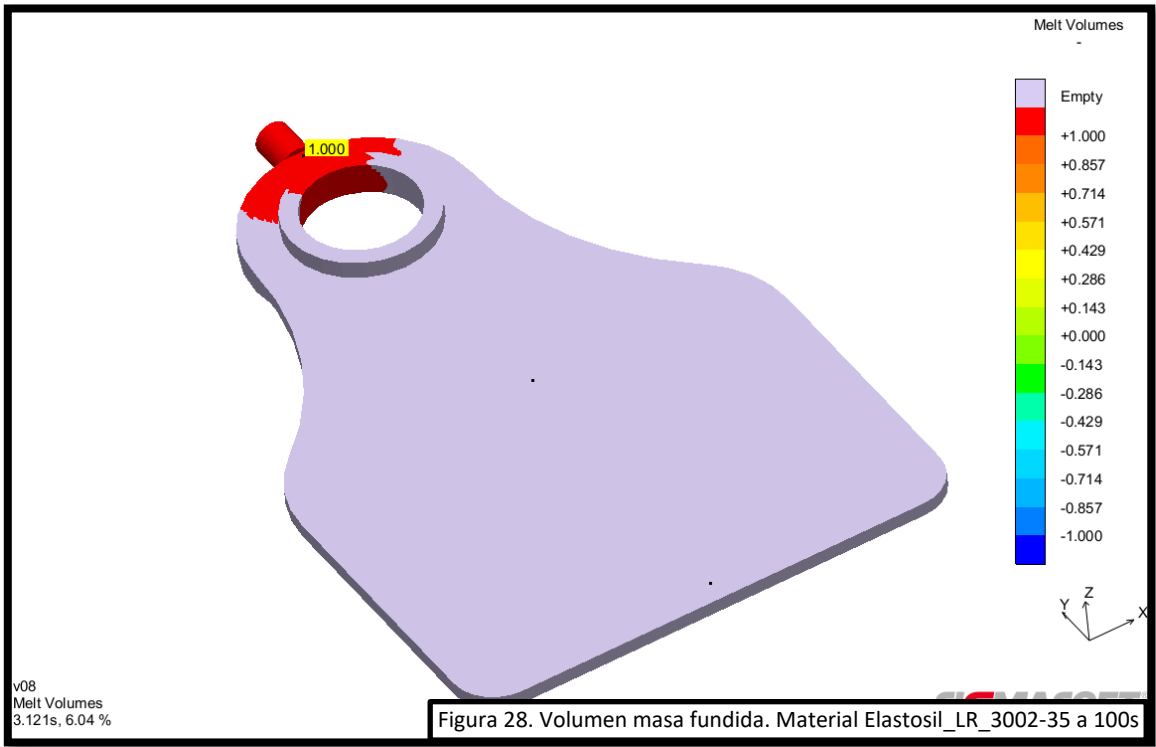
6.3.1.2. PRESIÓN.

6.3.1.2.1. Presión 5s, 100%. Fase de empaque.

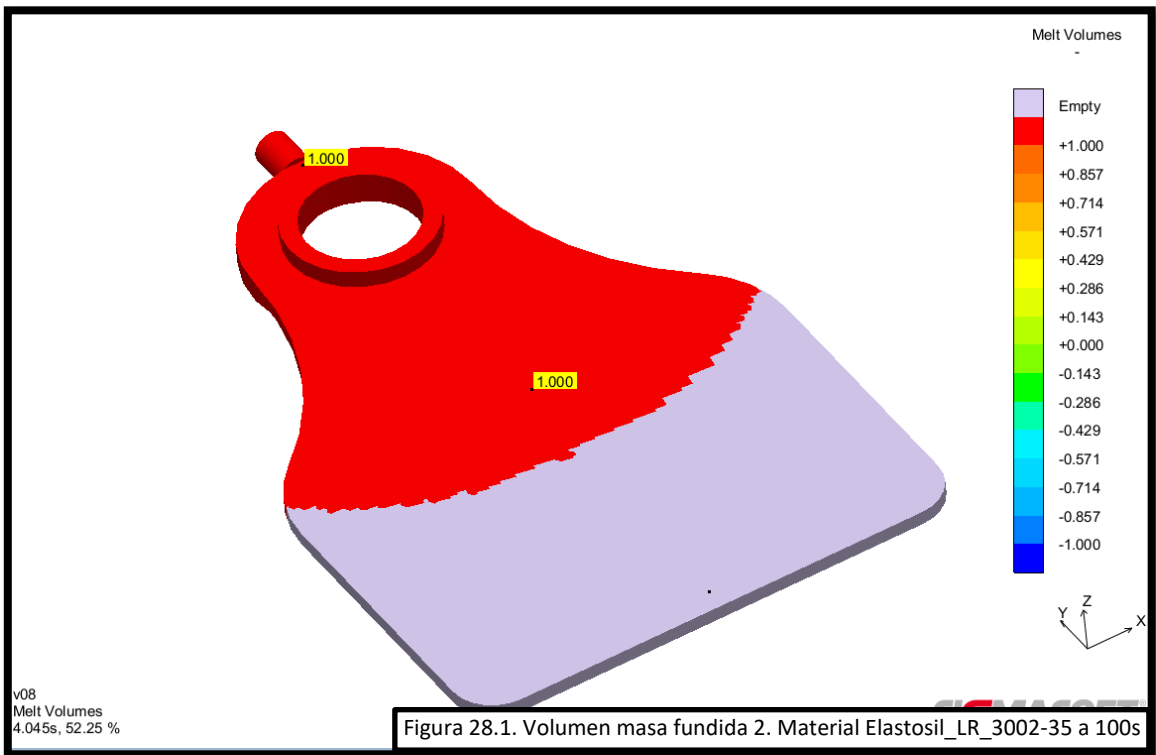


6.3.1.3. VOLÚMENES DE MASA FUNDIDA.

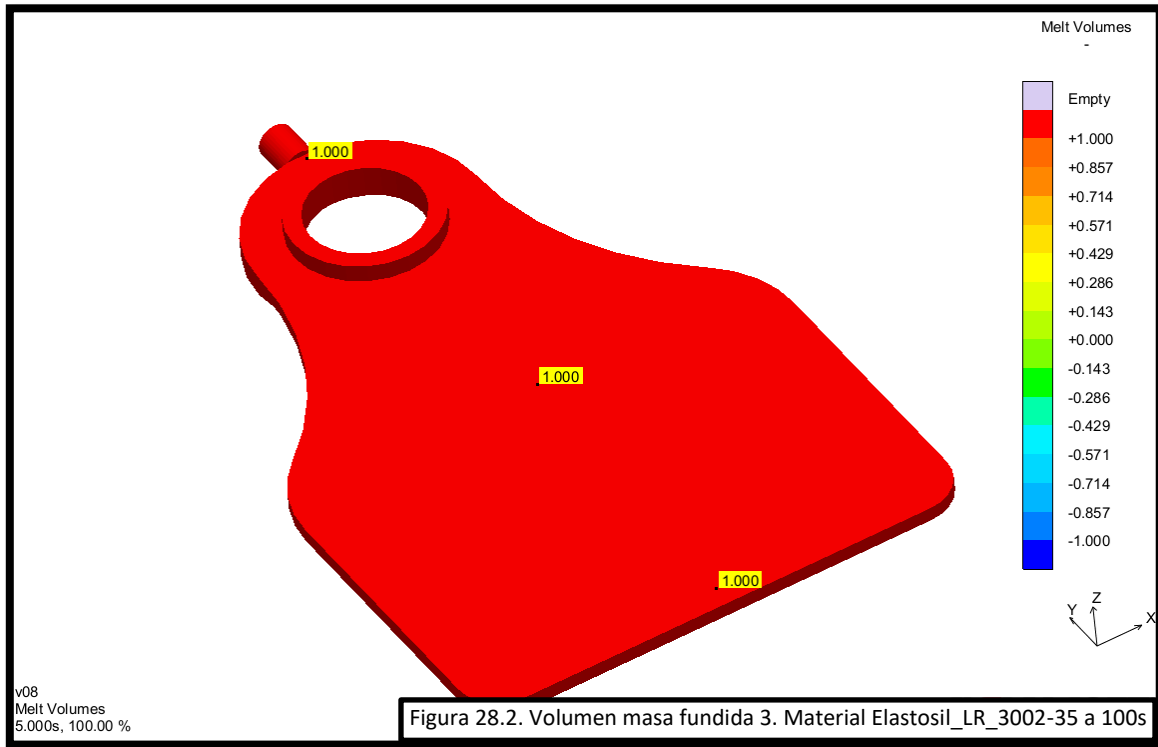
6.3.1.3.1. Volúmenes de masa fundida a 3.121s, 6.04%



6.3.1.3.2. Volúmenes de masa fundida a 4.045s, 52.25%.

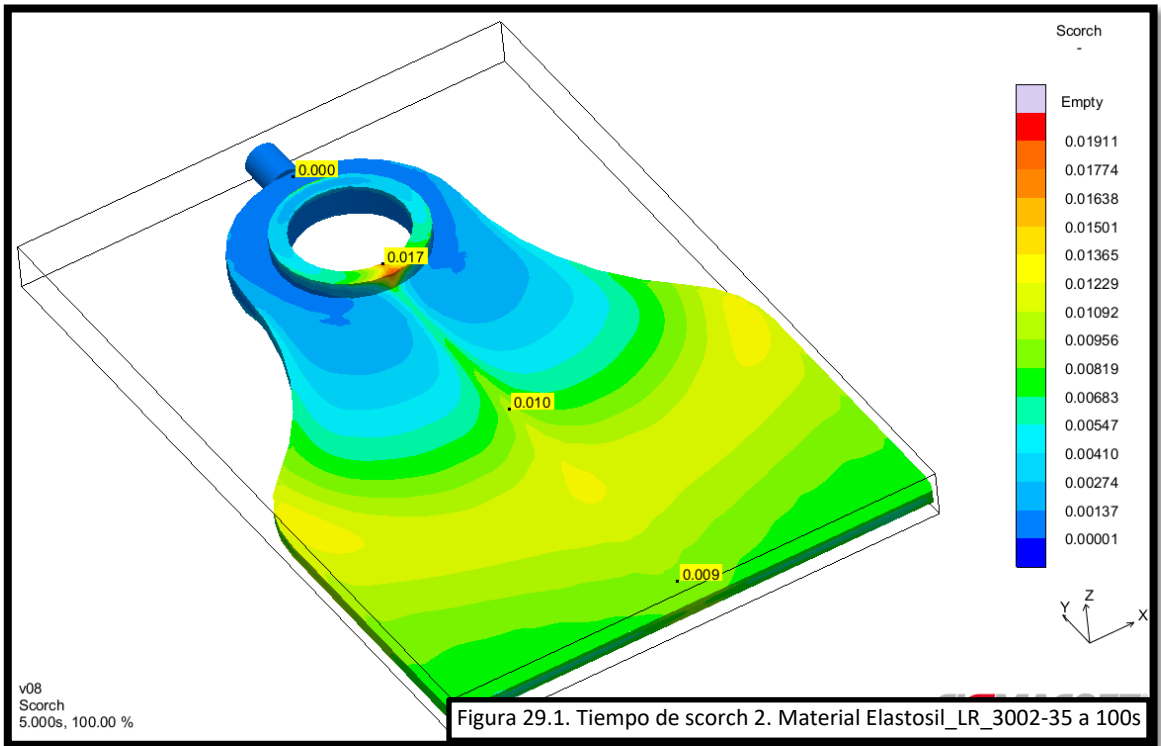
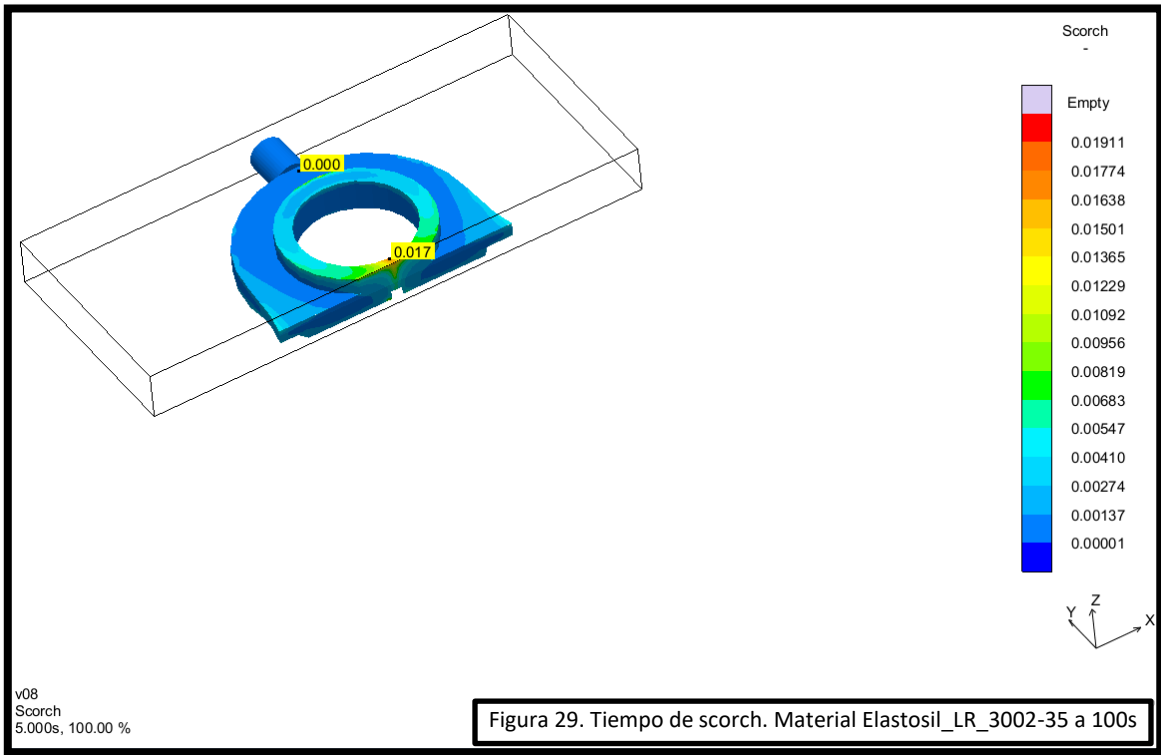


6.3.1.3.3. Volúmenes de masa fundida a 5s, 100%. Fase de empaque.



6.3.1.4. TIEMPO DE SCORCH.

6.3.1.4.1. Tiempo de scorch a 5s, 100%. Fase de empaque, con corte al inicio de la pieza y finalizando.



6.3.2. CURADO.

6.3.2.1. Grado de curado.

6.3.2.1.1. Grado de curado a 1 min 43s, 52,39%. Con corte al inicio de la pieza y finalizando.

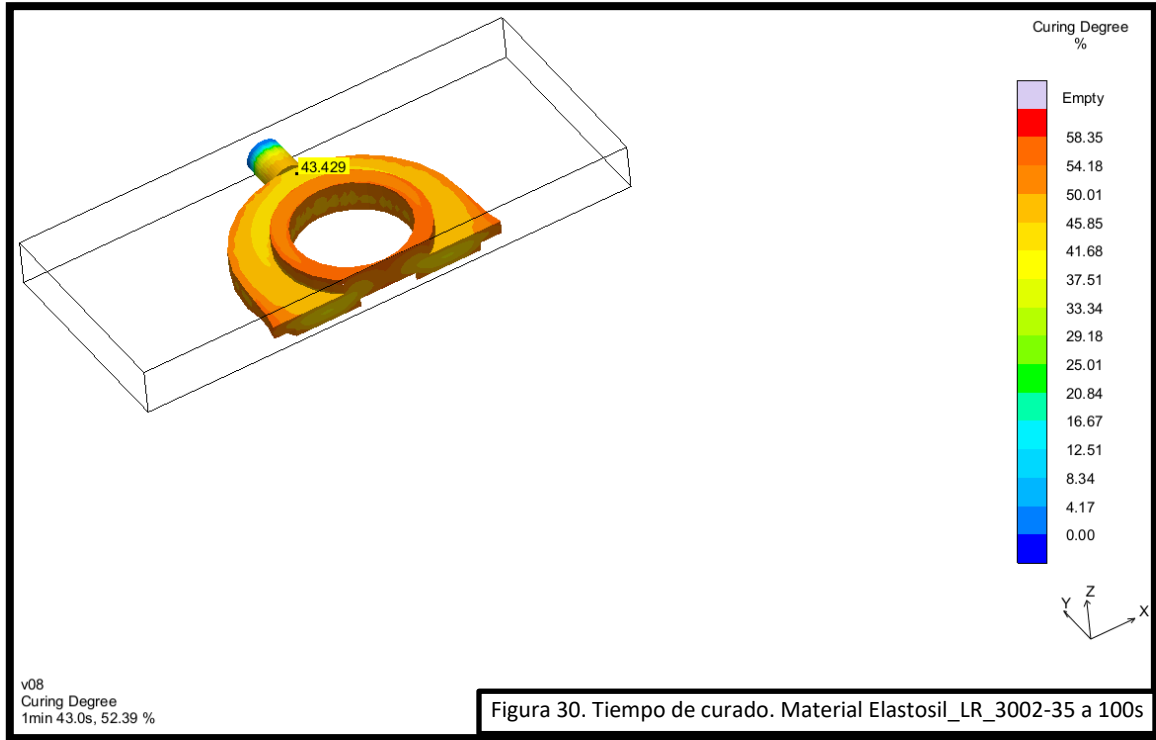
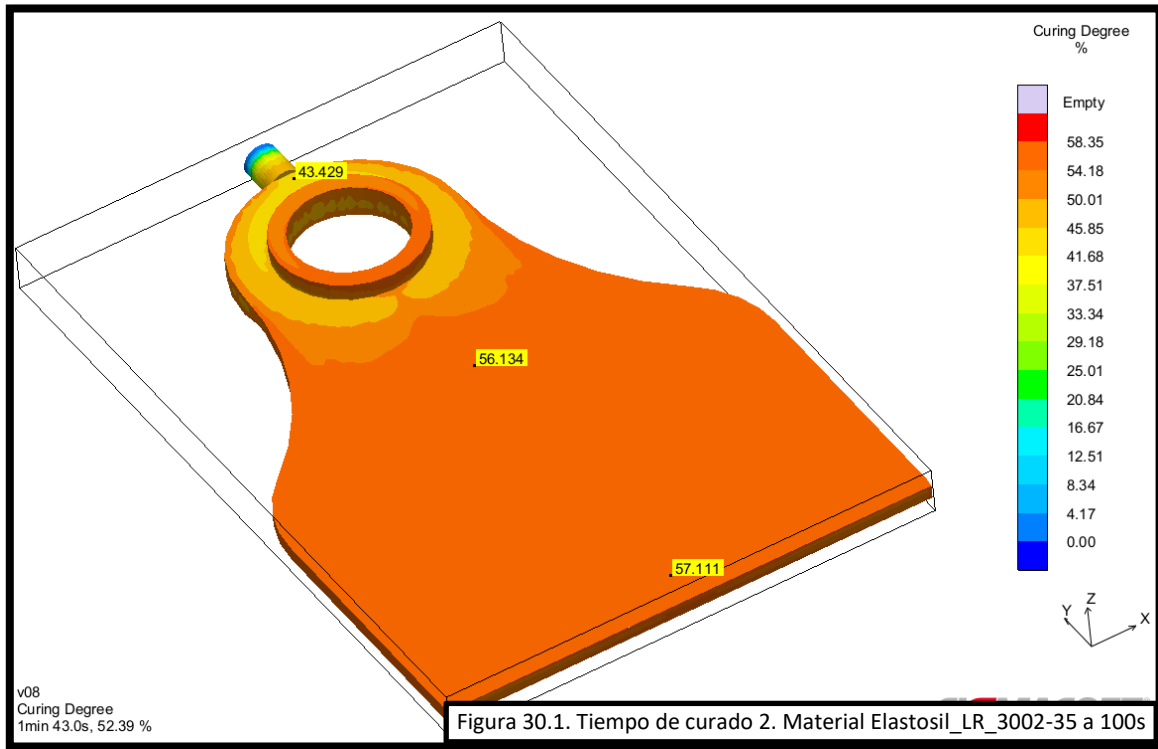


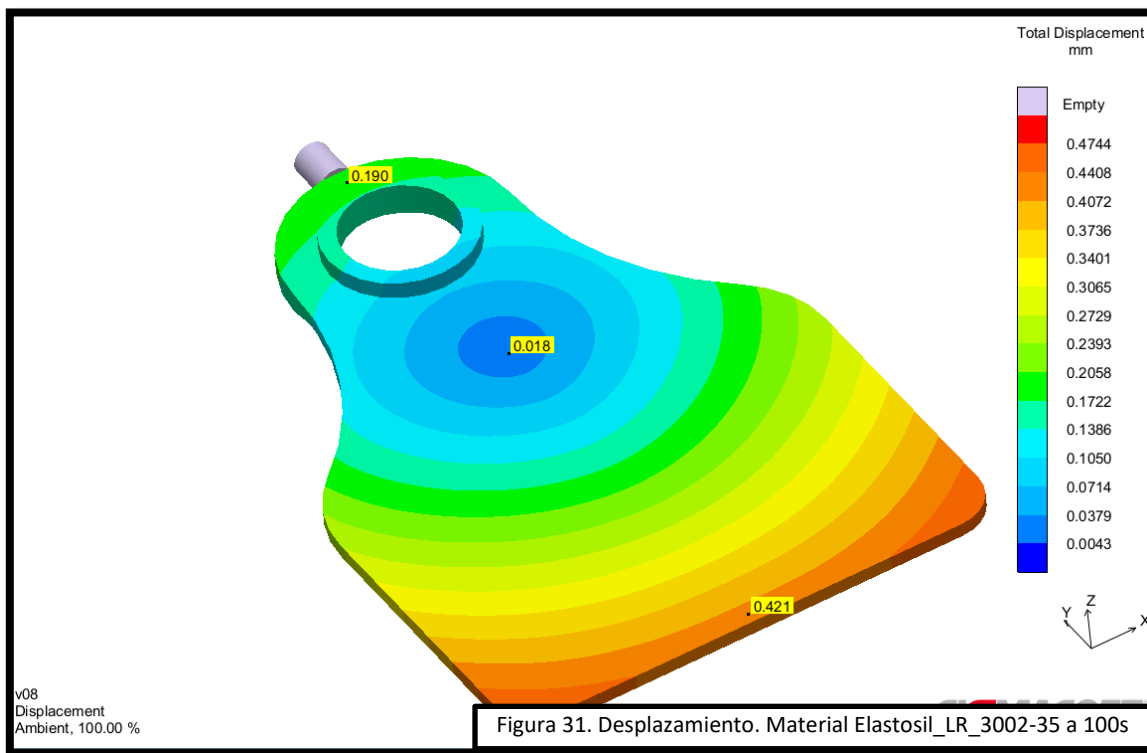
Figura 30. Tiempo de curado. Material Elastosil_LR_3002-35 a 100s



6.3.3. ENCOGIMIENTO Y DEFORMACIÓN.

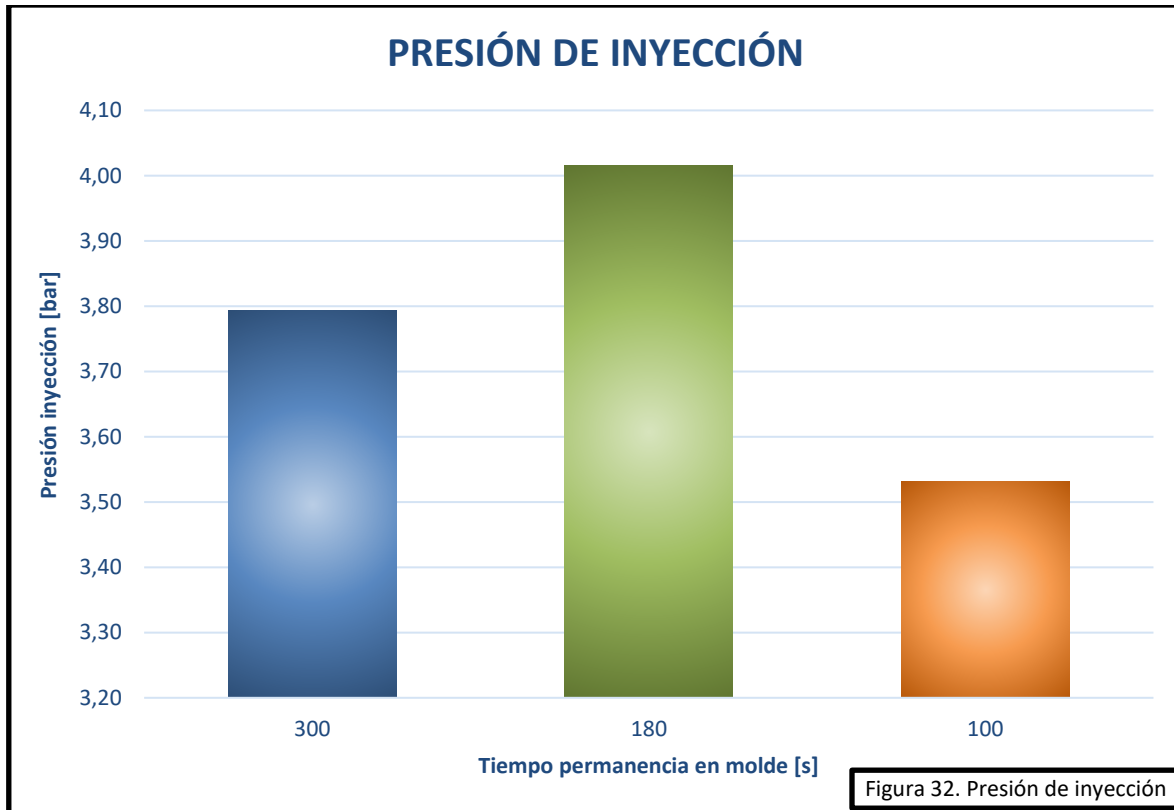
6.3.3.1. DESPLAZAMIENTO. Ambiente

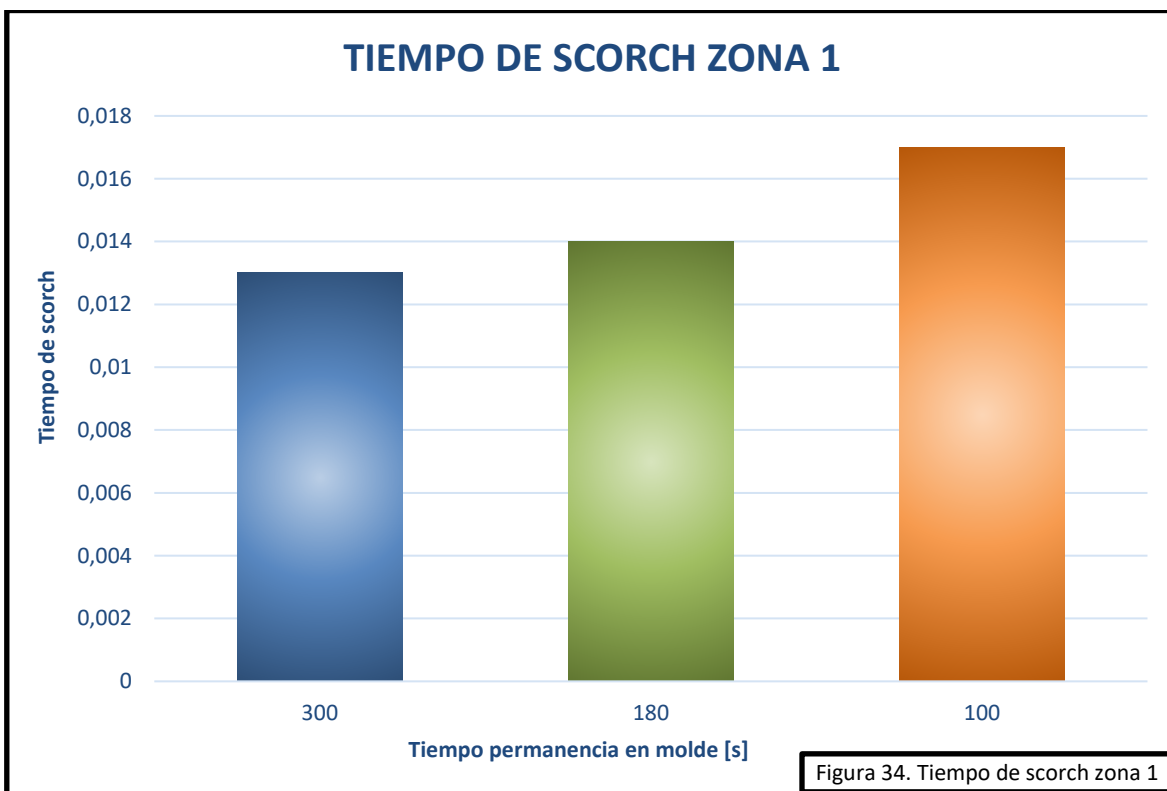
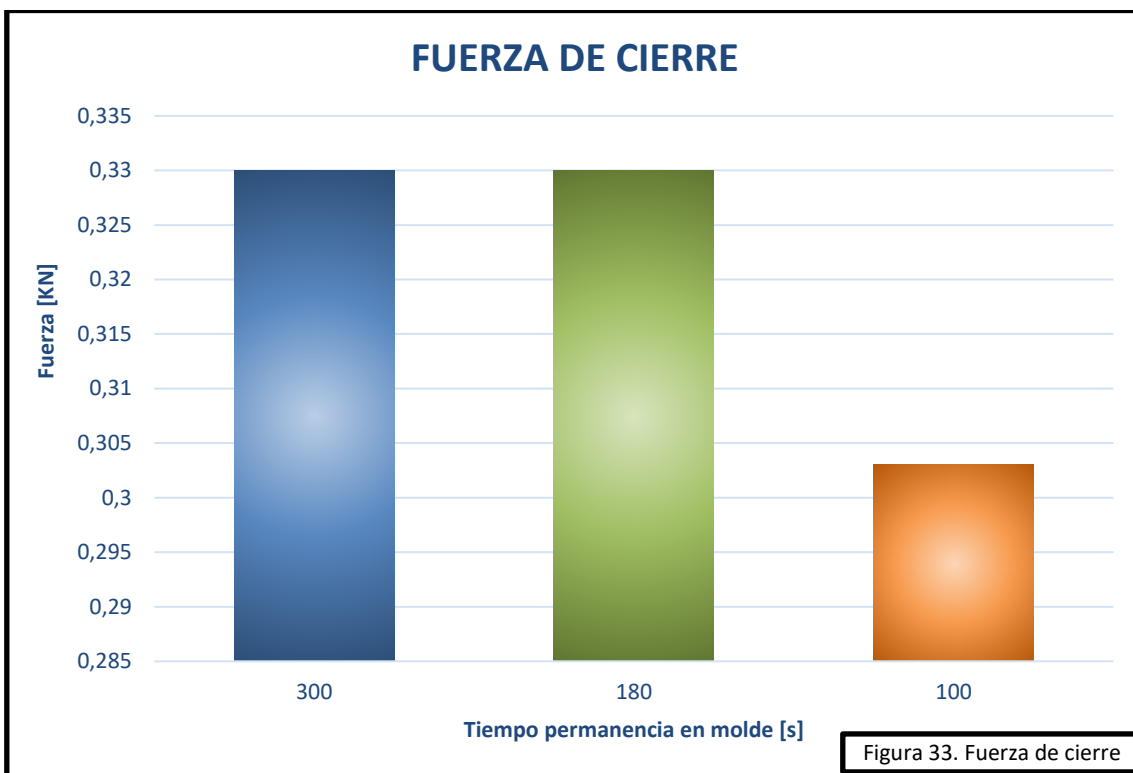
6.3.3.1.1. Desplazamiento total. Fase de enfriamiento después de la expulsión.

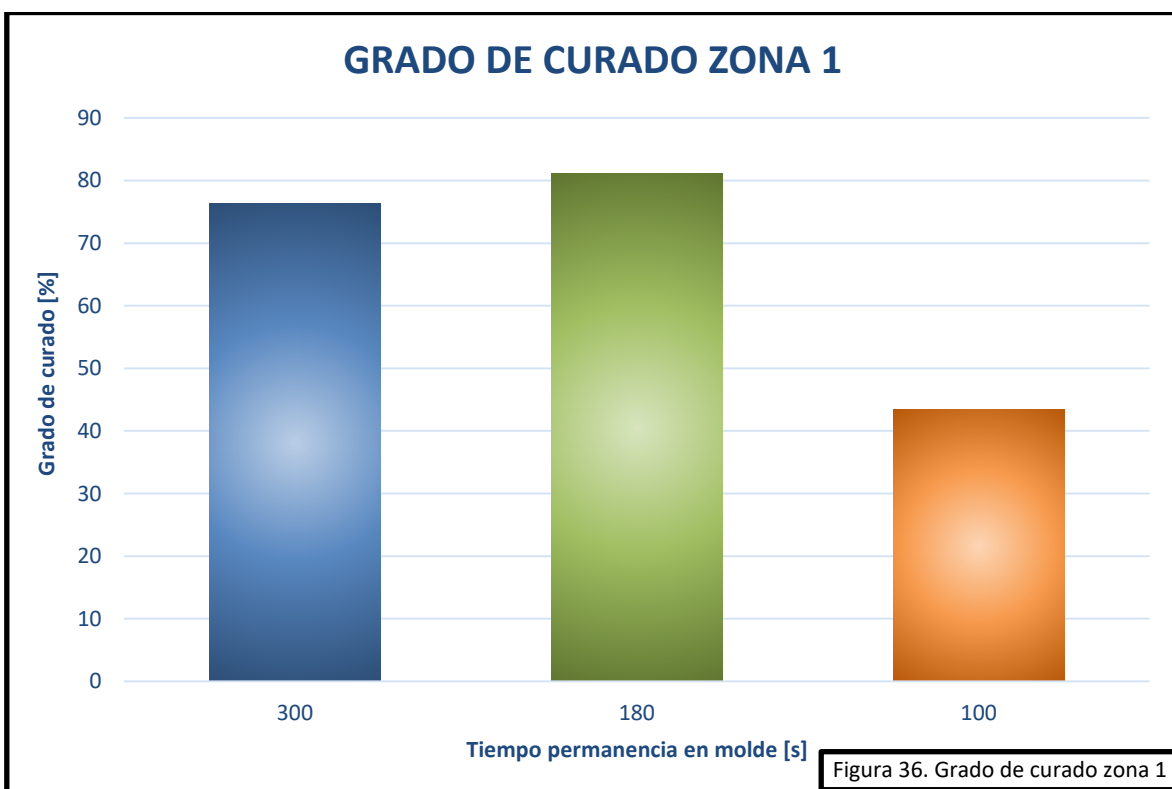
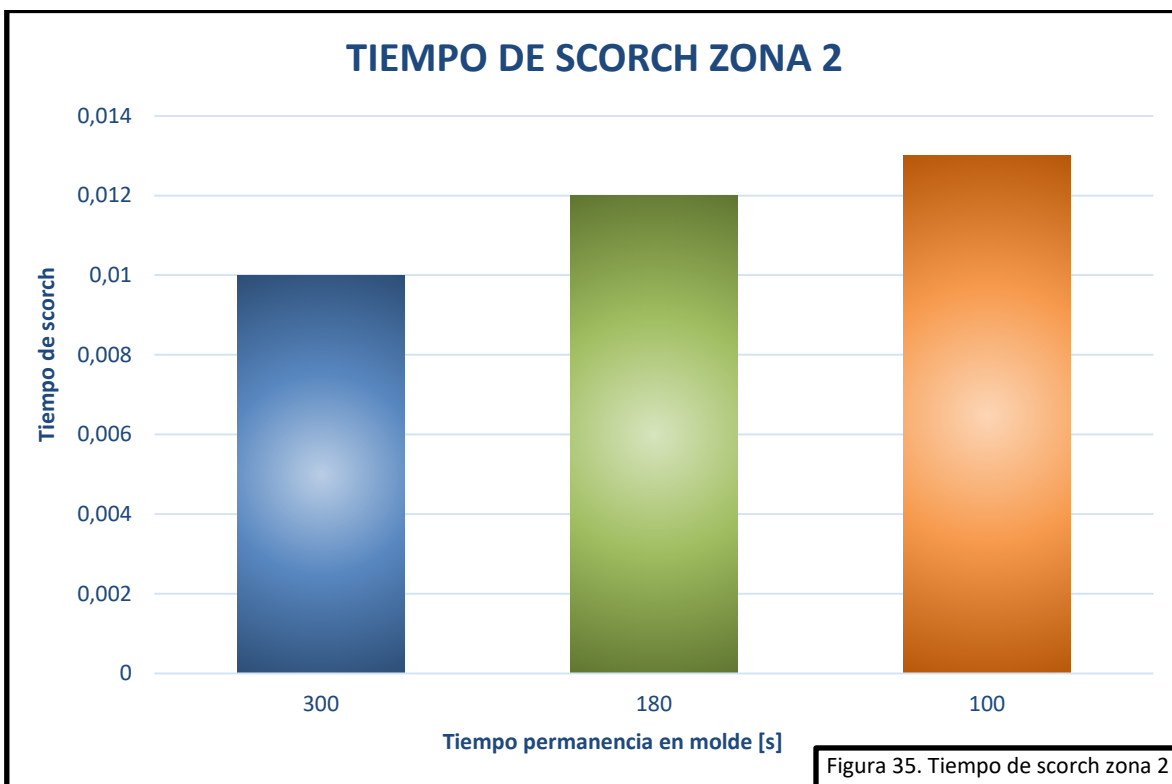


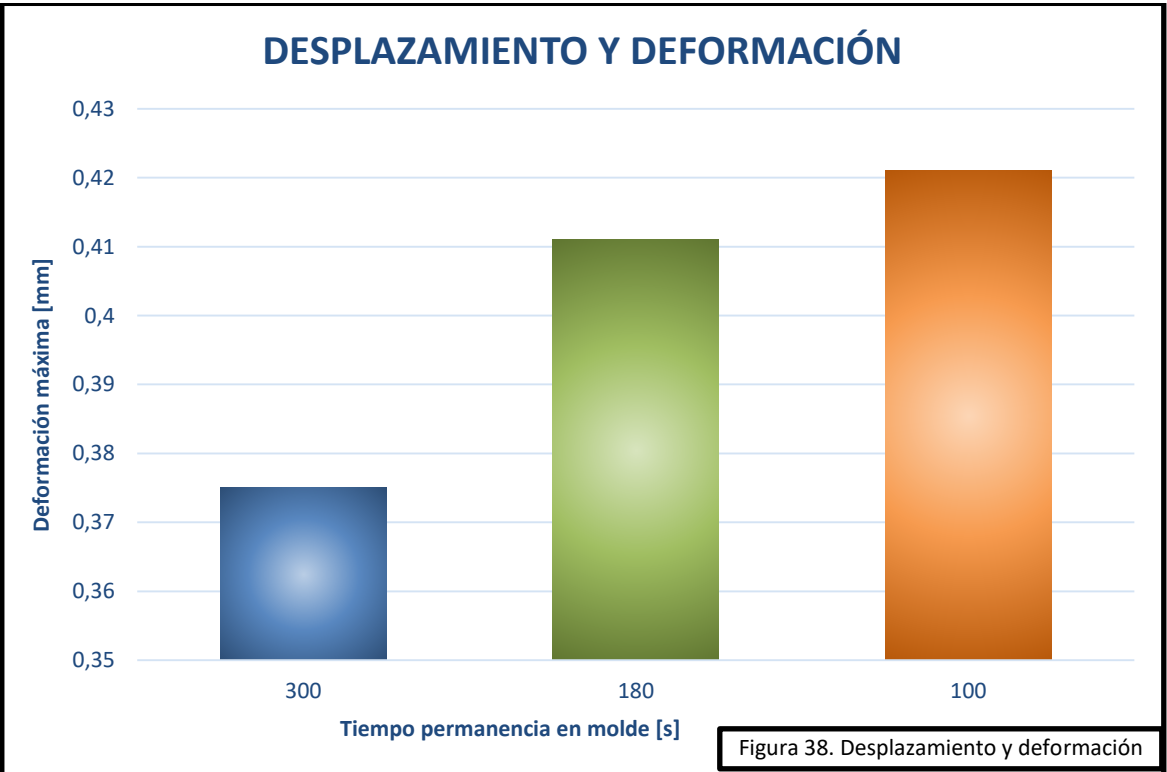
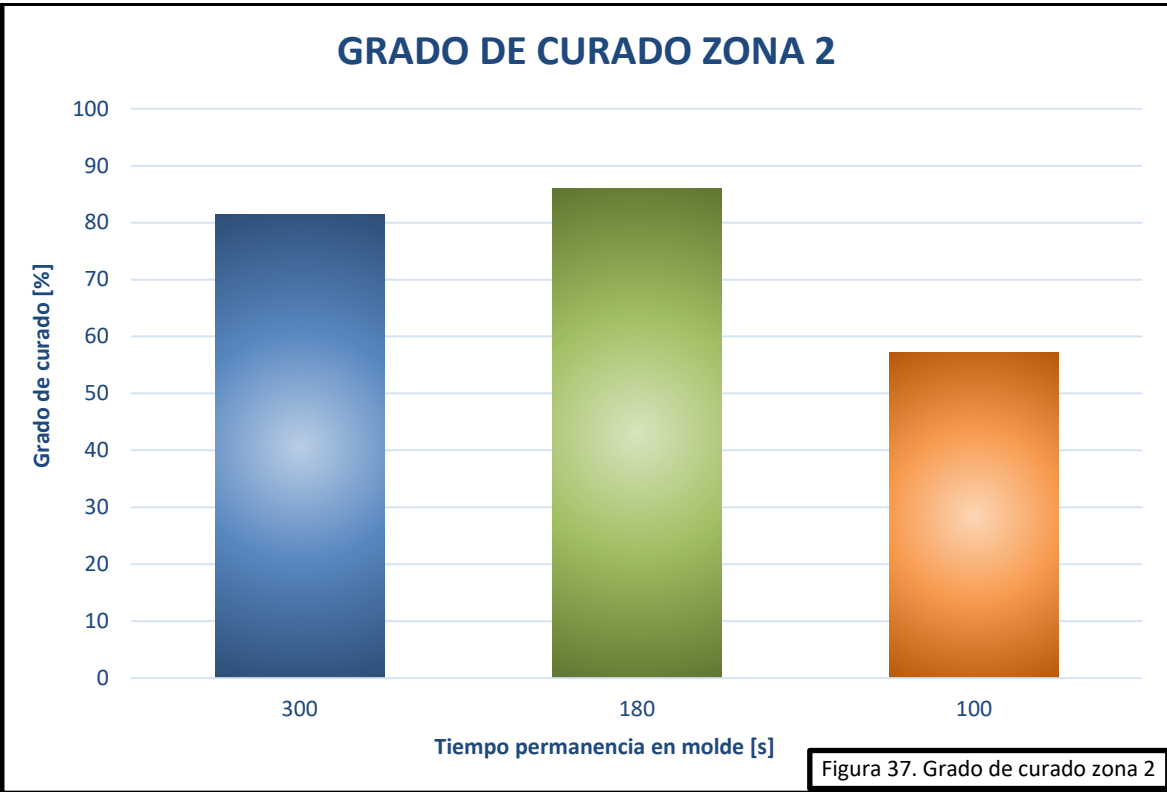
7. ANALISIS DE RESULTADOS.

En las siguientes gráficas se pueden observar los resultados obtenidos de las diferentes variables que se analizaron entre los tres tiempos de proceso con el material ELASTOSIL_LR_3002_35:









	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

A continuación se describen los análisis de los resultados obtenidos que se pueden observar en las gráficas, entre los tiempos de proceso del material:

7.1. ANALISIS DEL MATERIAL ENTRE LOS TIEMPOS DE PROCESO 300s, 180s y 100s.

7.1.1. Fuerza de cierre.

Se observa que en el material ELASTOSIL_LR_3002-35 a 300s, se termina empleando una fuerza de cierre de 0.330 KN finalizando el ciclo, a 180s la fuerza de cierre es de 0.330 KN y a 100s la fuerza de cierre es de 0.303 KN. Los resultados indican que a menor tiempo de curado, menor es la fuerza de cierre empleada durante el proceso de inyección.

7.1.2. Presión.

Se puede observar que en el material ELASTOSIL_LR_3002-35 a 300s en el inicio de la presión registra un valor de 3.793 bar, en el medio de la pieza registra 2.319 bar y finalizando 1.165 bar, a 180s registra valores de inicio de la pieza 4.016 bar, en el medio de la pieza registra 2.389 bar y finalizando 1.308 bar y a 100s registra valores al inicio de 3.630 bar, en el medio 1.996 bar y finalizando 1.137 bar. Estos resultados indican que a medida que se va inyectando el material en la pieza la presión de inyección disminuye proporcionalmente en los tres tiempos.

7.1.3. Volúmenes de masa fundida.

En los volúmenes de masa fundida no se observan cambios, ya que mantienen una condición de llenado similar y en sus tres fases se asemejan en el porcentaje de llenado.

7.1.4. Tiempo de scorch.

Se observa que al inicio de la pieza en los tres tiempos de scorch es muy similar, teniendo una diferencia entre 0.001, pero finalizando la pieza se observa que el tiempo de scorch se mantiene entre un valor de 0.008 y 0.009 en los tres tiempos de proceso.

7.1.5. Grado de curado.

Se puede observar que en los 300s el tiempo de curado iniciando la pieza es de 76.34% y finalizando es de 81.42%, a 180s es de 81.07% y finalizando de 85.96% y a 100s es de 43.42% y finalizando 57.11%. Estos resultados nos indican que a menor tiempo de curado menor es el grado de curado tanto al inicio de la pieza como al final.

7.1.6. Encogimiento y deformación.

En los resultados de desplazamiento y deformación se puede observar que el desplazamiento del material es mayor a menor tiempo de curado.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

8. CONCLUSIONES

- En la elaboración del proyecto se pudo observar que el comportamiento de los elastómeros es muy diferente a los termoelastómeros y termoplásticos, los cuales poseen diferentes propiedades.
- Se pudo observar el comportamiento del material ELASTOSIL_LR_3002-35, a diferentes tiempos de proceso, 300, 180 y 100 segundos, de los cuales al observar los resultados se pueden analizar datos coherentes arrojados por el software.
- En los resultados arrojados por el análisis a diferentes tiempos de proceso se pudo concluir notaciones importantes como:

En todos los procesos el resultado de tiempo de scorch siempre se mantiene por debajo de 1 lo que indica que el material no alcanza el grado de curado crítico durante el llenado del molde, dándonos a entender que es aceptable trabajar con este material en los tres tiempos de proceso, también se observa que el grado de curado es muy similar, aunque en el proceso de 100s es más bajo por la disminución del tiempo con respecto a los demás.

Observando y analizando los resultados arrojados por el software se recomienda que el material ELASTOSIL_LR_3002-35 se trabaje en un tiempo de proceso de 180s, ya que es el más estable tanto en el tiempo de scorch que se equilibra entre 0 y 1, el porcentaje de curado alcanzando fue de un 85.9%, que permite un grado de solidificación adecuado de la pieza inyectada. De otro lado, el desplazamiento y deformación final son aceptables, por lo que no es necesario llevar el procesamiento a un tiempo de permanencia en el molde hasta los 300 s.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- Dentro de las propiedades del proceso del material, se pudo observar que destacaba las propiedades del tiempo de SCORCH y de CURADO, los cuales están relacionados con las propiedades finales del producto inyectado y su deformación final.

- El software SIGMASOFT, es una herramienta muy útil en muchos aspectos, ya que nos permite simular lo que en realidad sería producir una pieza de un material específico y a diferentes condiciones de proceso.

- Se aprecia que la librería que contiene el software SIGMASOFT es muy amplia y contiene todo lo necesario para simular un proceso de inyección de un material.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

REFERENCIAS

BARBAROUX, M., ET AL. (1997). Determination of the inter-relationships between processing conditions and properties of an injection molded silicone ring using an experimental design. *International Polymer Processing*, 12(2): pág 174-181.

Callister, W. D., Molera Solà, P., & Anglada Gomila, M. J. (1996). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Reverté. Retrieved from https://books.google.com.pe/books?id=YiWdEYEHBIAC&pg=PA518&dq=elastomeros&hl=es&ei=MKVatZWIGMGAlAe5qaXZDA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=7&ved=0CEMQ6AEwBg#v=onepage&q=elastomeros&f=false

Macchi, R. L. (2007). *Materiales dentales*. Retrieved March 2, 2017, from https://books.google.com.pe/books?id=_OCYnoHE40kC&pg=PA251&dq=elastomeros&hl=es&ei=MKVatZWIGMGAlAe5qaXZDA&sa=X&oi=book_result&ct=result#v=onepage&q&f=false

MOLDEO POR INYECCIÓN - Google Docs. (n.d.). Retrieved March 2, 2017, from https://docs.google.com/document/d/1r0KI67ygt3I_fFihC_m2ryE-DYG93vxFbqlodUIH9F8/edit

NAKAMURA, T. AND M. YOSHINO. (1991). Cross-linking process of silicone-rubber at injection-molding. *Kobunshi Ronbunshu*, 48(11): pág 699-702.

Varon, Gimeno, Bou, Sanoguera. (2013). *PROPERTIES AND PROCESSING OF LIQUID SILICONE INJECTED*. Área de Innovación y Desarrollo, S.L.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Medellín, enero 19 de 2018

Señores

Comité trabajos de grado, Departamento de mecatrónica y electromecánica, ITM
Cordial saludo

Asunto : Notificación de finalización de proyecto de grado

Por medio de la presente, notifico que el proyecto de grado titulado "*Simulación del proceso de inyección de un material elastomérico y evaluación de las propiedades térmicas y reológicas del producto inyectado*" se ha finalizado con las actividades acordadas y el informe final del proyecto.

Los estudiantes participantes en el proyecto de grado son los siguientes:

JOHANN EMILIO RESTREPO SANCHEZ
HUGO ALEXANDER BEDOYA

Se adjunta esta carta al informe final del proyecto con el propósito de continuar con el proceso de evaluación respectivo.

Atentamente,



Carlos Andrés Vargas Isaza

Docente Departamento de ingeniería electromecánica y mecatrónica.


cc 98568088

Celular 3006102555

Hugo Bedoya
cc 98593853
cel 3004126333

Johann Restrepo Sanchez
cc. 70 330. 333
Cel. 3147731558

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

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

FIRMA ESTUDIANTES _____
Jorge Bedoya

FIRMA ASESOR _____
[Signature]

FECHA ENTREGA: 23-02-2018

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: _____