

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

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE TERMOPLÁSTICOS REFORZADOS A
DIFERENTES CONDICIONES DE PROCESAMIENTO**

LEINER JESÚS ARROYO ARMESTO

SERGIO IVÁN ZAPATA ARTEAGA

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

CARLOS ANDRÉS VARGAS ISAZA

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MEDELLÍN

2018

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

RESUMEN

Los plásticos han facilitado numerosos avances en las últimas décadas, tanto así que para seguir implementándolos en procesos más avanzados se les han reforzado con distintos tipos de fibras, este perfeccionamiento ha sido una de las características que ha indicado el nuevo rumbo para que los materiales cada vez sean más adecuados a las necesidades productivas, logrando así el mejoramiento del desempeño mecánico de piezas para diferentes aplicaciones.

Las crecientes exigencias del mercado hacen que el diseño y desarrollo de productos sea garantizado y muestre óptimas condiciones para su implementación. Por esta razón, en este trabajo se buscarán y seleccionarán las mejores condiciones de procesamiento de materiales reforzados con fibras.

El proceso de inyección es rápido, además está destinado a producir grandes cantidades del mismo producto plástico en un corto período de tiempo. Adicionalmente, puede ser utilizado para fabricar piezas de plásticos reforzados con fibras.

Sin embargo, es muy crucial tener en cuenta los efectos que podría ocasionar el tipo de fibra implementada y sus propiedades en la pieza inyectada, tales como contracciones y deformaciones finales, como resultado de las orientaciones de las fibras contenidas en el plástico inyectado.

Para observar el comportamiento de los plásticos reforzados con fibra se realizaran variaciones a las distintas tipos de condiciones de proceso obteniendo resultados y ofrecer soluciones, teniendo en cuenta que se requiere conocer los parámetros, propiedades de las fibras y la puesta a punto del proceso de inyección, para lograr esto nos apoyamos al margen de los distintos tipos de software que ofrece el laboratorio de polímeros del ITM.

Palabras clave: *Variaciones dimensionales, variación de temperatura, deformación de piezas plásticas, inyección, fibra de refuerzo, matriz de resina*

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

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos guiados y acompañado a lo largo de nuestras carreras profesionales, por darnos fortalezas en momento de desaliento y fatiga, por estar siempre en cada paso que dimos rumbo a las metas propuestas, por habernos brindado conocimiento, sabiduría, experiencia y felicidad.

Brindamos gracias a nuestros padres, hermanos, esposas e hijos por apoyarnos en todo momento, por esa unión que siempre nos han guiado para obtener una excelente educación en el transcurso de nuestras vidas, por creer en nosotros, por levantarnos en los momentos que tropezamos, por cobijarnos cuando sentimos frío y por ser nuestra fortaleza para seguir siempre adelante.

Agradecemos a los docentes Carlos Andrés Vargas Isaza y Juan Carlos Posada Correa, por su confianza, apoyo incondicional, dedicación de tiempo, por haber brindado la oportunidad de desarrollar a su lado esta propuesta de grado y por acceder a brindar la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

Ofrecemos una gran gratitud a nuestras amistades y compañeros de clases, por habernos tenido la paciencia necesaria, por motivarnos a seguir adelante y no desfallecer, por convertirse en nuestra segunda familia, por haber nuestra etapa universitaria un camino de vivencias que nunca olvidaremos.

Nuestros más sinceros agradecimientos al INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO (ITM) por habernos permitido formados en profesionales, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias porque fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte en nuestros conocimientos, que el día de hoy se ve reflejado en la culminación de nuestros paso por la universidad.

ACRÓNIMOS

PRF (Reforzado de Plástico con Fibras)

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Generalidades	8
1.2 Planteamiento del problema	9
1.3 OBJETIVO.....	9
1.3.1 General	9
1.3.2 Específicos	9
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 Proceso de plásticos reforzados con fibras.....	10
2.1.1 Criterios para la selección de fibras de refuerzo.	10
2.1.2 Clasificación de tejidos y fibras.....	10
2.1.3 Tecnología de materiales compuestos de PRF	11
2.1.4 Formas y propiedades de PRF	11
2.2 Proceso de moldeo por Inyección.....	12
2.2.1 Factores y variables que influyen en el proceso de moldeo por inyección.....	12
2.2.1.1 Temperatura de inyección.....	13
2.2.1.2 Presión de inyectado	14
2.2.1.3 Tiempo de producción (ciclo de inyección).....	14
2.2.1.4 Velocidad de cizallamiento.....	15
2.2.1.5 Orientación de las fibras.....	15
2.2.1.6 Contracción o Rechupe.....	16
2.2.1.7 Deformación y desplazamiento.....	17
2.2.2 Inyección de plásticos reforzados con fibras cortas.....	18
2.2.3 Matrices termoestables	18
2.2.4 Matrices termoplásticas.....	19
3. METODOLOGÍA.....	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
5. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	41
REFERENCIAS	42

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 ventana de archivos de los distintos procesos de piezas a simular	22
Ilustración 2 selección de condiciones de procesos.....	22
Ilustración 3 simulación del proceso	23
Ilustración 4 resultados finales de la simulación del proceso	24
Ilustración 5 representación de la presión de inyectado final	26
Ilustración 6 velocidad de cizalladura vista general	27
Ilustración 7 velocidad de cizalladura máxima y máxima superficial.....	27
Ilustración 8 representación de la orientación de fibra	28
Ilustración 9 vista general de la contracción de la pieza	29
Ilustración 10 vista superficial de la contracción de la pieza	30
Ilustración 11 representación de la deformación de la pieza	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 condiciones de procesos a ingresar en cada uno de los proyectos	21
Tabla 2 obtención de resultados de cada una de las simulaciones.....	25
Tabla 3 análisis de resultados de proyectos (igual tiempo de empaque, igual tiempo de inyección, diferente presión de empaque, igual temperatura)	33
Tabla 4 análisis de resultados de proyectos (Diferente tiempo de empaque, igual tiempo de inyección, igual presión de empaque, igual temperatura).....	34
Tabla 5 análisis de resultados de proyectos (igual tiempo de empaque, Diferente tiempo de inyección, igual presión de empaque, igual temperatura).....	35
Tabla 6 análisis de resultados de proyectos (igual tiempo de empaque, igual tiempo de inyección, igual presión de empaque, Diferente temperatura)	36

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 tiempo vs contracción	31
Gráfica 2 Tiempo Vs Deformación	32
Gráfica 3 Tiempo Vs Presión de inyección y velocidad de cizalladura	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Capa fina con distintas condiciones de procesos	38
Figura 2 Orientación de fibra a diferentes condiciones de procesos.....	38
Figura 3 Capa fina general de los proyectos realizados	39
Figura 4 Orientación de fibra general de los proyectos realizados.....	39

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Los materiales reforzados con fibras, pueden ser identificados como PRF (Reforzado de Plástico con Fibras). La fibra es el componente de refuerzo del material compuesto, por lo que las características están basadas primordialmente en aumentar especialmente las propiedades del compuesto.

La ganancia de propiedades incluye resistencia a tensión, resistencia a compresión, módulo elástico, resistencia al agrietamiento, control del agrietamiento, durabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al impacto y a la abrasión, contracción, expansión, características térmicas y resistencia al fuego

Para lograr todo el desarrollo de soluciones en los puntos más críticos del proceso de fibras, se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- Selección de fibras.
- Manipulación y dosificación de las fibras.
- Dispersión y compatibilización de las fibras reforzadas con el polímero.
- Protocolos adecuados de procesado, para evitar la degradación de las fibras y generación de VOCS (Compuestos orgánicos volátiles).
- Optimización del procesado en inyección y extrusión.

Los materiales compuestos se encuentran principalmente conformados por una matriz polimérica y un solo tipo de fibras de diferente tamaño y siendo menos común la combinación de fibras de distinta naturaleza [Bendezú Reyes, José Humberto, Lima, 2002].

Para observar el comportamiento de la inyección de plásticos reforzados se realizaran cambios en las condiciones de procesos y así por medio de evaluación de un software especializado (Sigmasoft) se podrán evaluar diferentes variables tales como la velocidad de cizalladura, contracciones y deformaciones.

Llegando a analizar el moldeo por inyección de plásticos reforzados, para sistemas con refuerzos de fibras ubicados en un molde.

1.2 Planteamiento del problema

La realización de este proyecto se hace con la finalidad de evaluar distintos tipos de comportamientos de los efectos que ocurren en el ciclo de inyección de plásticos reforzados a distintas condiciones de procesos, puesto que en el momento de dar por terminado la pieza es difícil prever el efecto de las fibras en características de contracciones y deformaciones finales de esta, por esta razón se realiza la simulación en un software avanzado para verificar la calidad final del producto y así poder mirar su comportamiento durante todo el proceso de inyección.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 General

Evaluar el proceso de inyección de termoplásticos con respecto a las distintas condiciones de proceso a las que está sometido el material reforzado con fibras en el momento en que es inyectado y la calidad final de la pieza fabricada.

1.3.2 Específicos

- Estudiar el fenómeno del proceso de inyección con polímeros termoplásticos reforzados.
- Seleccionar los materiales (fibras de refuerzo y polímero) para el proceso de inyección.
- Definir las condiciones del proceso de inyección.
- Realizar las simulaciones del proceso de inyección a diferentes condiciones de proceso.
- Analizar los resultados de las distintas simulaciones para obtener datos específicos de la calidad de la pieza inyectada.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Proceso de plásticos reforzados con fibras

Los polímeros reforzados con fibras se ven implicados en diversos campos de ingeniería, siendo una muestra de los avances de las nuevas tecnologías que continúan ganando la atención de los ingenieros en los últimos años.

Las combinaciones de fibras que se han ido implementando a los plásticos conllevan a brindar alta resistencia, alta rigidez, baja densidad y peso ligero, llegando así a convertirlas resistentes a todas las afectaciones que conlleva al estar expuestas al medio ambiente, aumentando en consideración sus propiedades mecánicas y durabilidad volviéndola mejor que cualquiera de los componentes por sí solos. (Sergio Garcias, ENERO DE 2009)

2.1.1 Criterios para la selección de fibras de refuerzo.

Se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

1. Calidad y compatibilidad
2. Exento de humedad.
3. Características de los diferentes tipos de refuerzos.

2.1.2 Clasificación de tejidos y fibras.

Las fibras poseen un diámetro que no supera los 0,1 mm, y pueden tener sección circular, aplastada o triangular. Sin duda alguna, estos elementos se adaptarán a las formas geométricas y al volumen de la pieza final.

2.1.3 Tecnología de materiales compuestos de PRF

Las fibras en particular son elementos principalmente portadores de cargas y tienen diversas series de microestructuras altamente libres de defectos orientados.

El máximo rendimiento que caracteriza a los materiales compuestos depende primordialmente de los materiales con los que están contruidos.

Los PRF tienen alta sus propiedades mecánicas debido a los materiales que los constituye, ya que la matriz y las fibras interactúan para hacer un material más resistente, rígido y de poco peso.

2.1.4 Formas y propiedades de PRF

Los FRP pueden tener distintos resultados si es inyectada porque toma forma del molde final. Teniendo en cuenta que la orientación de la fibra, así como la secuencia de apilamiento, se pueden controlar.

Las propiedades mecánicas de los PRF dependen principalmente de la dirección de las fibras y del volumen de fibra adoptado. Los PRF tienen una resistencia muy alta en la dirección de las fibras y mucho menos en la dirección perpendicular. (Fred W. Billmeyer,Jr, octubre2004)

Hay dos grupos principales de resinas poliméricas:

- Termoplásticos: Se reblandecen al ser calentado y se endurecen cuando se enfrían.
- Termoestables: Materiales que están formados por polímeros unidos mediante enlaces químicos, adquiriendo una estructura polimérica altamente reticulada.

Se deben considerar muchos factores antes de adoptar un tipo particular de PRF para una aplicación. Los principales factores considerados incluyen:

- La resistencia y la rigidez deseadas del PRF
- El entorno de las aplicaciones
- La restricción económica.

2.2 Proceso de moldeo por Inyección

El moldeo por inyección es el proceso de producción en el presente porque este método es empleado en sistemas de producción de gran escala que le da al diseñador la ruta más corta posible desde el material de partida hasta el producto final. Al mismo tiempo, ofrece el más alto grado de libertad para modificar diseños y elegir materiales.

El moldeo por inyección es un proceso de producción de alta tecnología y el más económico para la producción a gran escala. En las últimas décadas, el extenso trabajo y la investigación han llevado a una comprensión cada vez más completa de este proceso.

Hoy se tiene acceso a un amplio conjunto de conocimientos, que abarca la influencia de diversos parámetros en los procesos de llenado y solidificación. Esto ha resultado en el desarrollo de un moderno software de simulación. Junto con el conocimiento práctico del técnico, se puede utilizar estos programas para hacer que el proceso sea más comprensible y controlable que nunca. (MARIBEL BELTRÁN RICO Y ANTONIO MARCILLAS GOMIS, 2012)

2.2.1 Factores y variables que influyen en el proceso de moldeo por inyección

En los grandes procedimientos del moldeo, las variaciones de las temperaturas de fusión o de plastificación juegan un papel diferente según se trate de materiales termoplásticos o de un termofijo.

Con los diversos cambios de temperaturas en el molde pueden producir piezas con una calidad variable y también dimensiones diferentes, cada separación de la temperatura de

régimen se traduce en un enfriamiento más veloz o más lento de la masa fundida inyectada en la cavidad del molde.

Si la temperatura del molde se baja, la pieza moldeada se enfría más rápidamente y esto puede crear una marcada orientación en la estructura, elevadas tensiones internas, propiedades mecánicas y aspecto superficial de mala calidad.

En el moldeo de termoplásticos por lo general se genera a una temperatura inferior respecto a la del polímero fundido que se inyectara en la cavidad. La masa polimérica fundida al hacer contacto con las paredes del molde procede a ceder a este su calor y se solidifica.

En todo el ciclo proceden a intervenir varios valores en tiempos sucesivos. La intensidad y duración de cada presión influye en diferente medida sobre las características físico-mecánicas y la contracción de la pieza moldeada. (Mustafa Kurt, 2009/9/1)

2.2.1.1 Temperatura de inyección

Temperatura a la que se calienta el material para introducirlo en el interior del molde. La temperatura del material aumenta gradualmente desde que entra por la tolva hasta que se encuentra preparado para ser inyectado.

Esta temperatura es función del tipo de material y no debe ser superior a la temperatura a la que comienza a descomponerse, pero debe ser suficientemente elevada para permitir que el material fluya correctamente. (MARIBEL BELTRÁN RICO Y ANTONIO MARCILLAS GOMIS, 2012)

2.2.1.2 Presión de inyectado

La distribución de Presión dentro del fundido caracteriza tanto el llenado de la cavidad como el progreso de la solidificación. La inyección y la presión de mantenimiento son impuestas por la unidad de inyección de la máquina de moldeo por inyección.

Por lo tanto, los valores de presión más altos siempre se pueden observar en la entrada. Desde allí, la presión disminuye continuamente a lo largo de la trayectoria del flujo debido a la pobre capacidad de transferencia de presión de una masa fundida de polímero altamente viscosa.

Usando el resultado de Presión, se puede verificar que la presión requerida para el llenado de la cavidad no exceda la presión de inyección máxima de su máquina de moldeo por inyección. También puede seleccionar valores en las proximidades de la entrada para hacerlo. Además, se puede verificar la distribución de la presión espacial para identificar las áreas de la cavidad que causan una alta pérdida de presión a lo largo de la trayectoria del flujo. (MARIBEL BELTRÁN RICO Y ANTONIO MARCILLAS GOMIS, 2012)

2.2.1.3 Tiempo de producción (ciclo de inyección)

El tiempo es necesario para realizar la inyección depende de numerosos factores, como de cuanto material se está inyectando, su viscosidad, las características del molde y el porcentaje de la capacidad de inyección que se está empleando. En la mayoría de las maquinas el tiempo el tiempo de inyección se divide en dos: el tiempo de inyección inicial y el tiempo de mantenimiento. (MARIBEL BELTRÁN RICO Y ANTONIO MARCILLAS GOMIS, 2012)

- **Tiempo de inyección inicial:** Es el tiempo necesario para que el tornillo realice el recorrido hacia adelante, obligando a que el material se introduzca dentro del molde.

- **Tiempo de mantenimiento o compactación:** Es el tiempo que después de realizar la inyección inicial del material, el tornillo permanece en posición avanzada, para mantener la presión del material dentro del molde.

2.2.1.4 Velocidad de cizallamiento

El resultado de Velocidad de cizallamiento, visualiza los fenómenos de flujo dentro de la cavidad del molde. Además, la viscosidad de los materiales termoplásticos es típicamente dependiente de la velocidad de cizalla. Por lo tanto, el resultado de Velocidad de cizallamiento también tiene un fuerte impacto en los resultados de viscosidad (viscosidad dinámica y viscosidad cinemática).

El resultado de la velocidad de cizallamiento es especialmente relevante para los materiales termoplásticos. En regiones de alto cizallamiento, las cadenas macromoleculares están orientadas, y los rellenos de fibra potenciales están alineados en la dirección principal del flujo.

Si las áreas con velocidades de cizallamiento muy altas se enfrían rápidamente por debajo de la temperatura sin flujo, es probable que prevalezca un alto grado de orientación molecular en el material solidificado. Por otro lado, durante el llenado del molde, las altas viscosidades y las grandes pérdidas de presión pueden originarse en áreas con bajas velocidades de cizallamiento. (MARIBEL BELTRÁN RICO Y ANTONIO MARCILLAS GOMIS, 2012)

2.2.1.5 Orientación de las fibras

Los resultados del tipo Fibra muestran la orientación de las fibras dentro de los materiales de la pieza. La orientación de la fibra está determinada por los fenómenos de flujo dentro de la cavidad del molde durante la fase de llenado y presión de mantenimiento.

Típicamente, hay un alto grado de orientación de la fibra dentro de las capas cerca de la superficie de la pieza mientras que las fibras están distribuidas más o menos al azar dentro de las regiones interiores.

La orientación de la fibra dentro de un material reforzado con fibra influye fuertemente en sus propiedades mecánicas. Si las fibras están alineadas en una dirección preferida, se puede observar un comportamiento anisotrópico (método para mejorar la calidad de una textura en una superficie que está vista desde un ángulo oblicuo con respecto al ángulo de proyección de la textura sobre una superficie) del material, es decir, las propiedades mecánicas del material son diferentes para las direcciones paralelas a la dirección de orientación y las direcciones ortogonales.

Además, la distribución de la fibra tiene un fuerte impacto en la contracción local del material. La contracción térmica del material de fibra es típicamente menor, de modo que durante el enfriamiento la contracción del compuesto polimérico se ve impedida por las fibras en la dirección de orientación predominante, pero no en direcciones ortogonales.

Por lo tanto, la distribución de fibras es altamente relevante para la simulación de contracciones y deformaciones. Un comportamiento de deformación o deseado o inesperado puede originarse a partir de la orientación de la fibra dentro de la pieza.

2.2.1.6 Contracción o Rechupe

Los resultados de rechupe refleja la probabilidad de que aparezcan marcas de contracción durante la fase de enfriamiento o curado. Estos defectos que se presentan en las piezas que son moldeadas puede ser ocasionado gracias a la escasez de la materia prima que se utiliza o a un alto gradiente térmico que hay dentro de la pieza, esto puede hacer que el material se contraiga en su centro, sin que pueda haber una compensación por esta contracción de

volumen. Para evitar marcas de rechupe, se puede recomendar tener presente las siguientes medidas.

Puede ser que la cantidad de materia prima disponible en el ciclo sea insuficiente. Se recomienda empaquetar más plástico dentro de la cavidad. Esto se logra bien sea incrementando el nivel o la duración de la post-presión o mejorando el cojín de inyección. También es posible que se requiera incrementar el diámetro del canal de inyección o cambiar la posición del punto de inyección de la pieza. Siempre es recomendable llenar desde el extremo más grueso hacia el más delgado de la pieza.

Para lograr un mayor flujo térmico, se recomienda hacer la transferencia de calor más agresiva. En lugar de permitir un enfriamiento a temperatura ambiente, en el cual se genera convección libre del aire, se recomienda utilizar convección forzada (por ejemplo enfriando con agua), o, si la planitud de la pieza lo permite, ubicarla entre láminas de aluminio, que remueven efectivamente el calor por conducción. (Rebeca Barra García , junio de 2014)

2.2.1.7 Deformación y desplazamiento

La densidad de un material depende de la temperatura y la presión. Como resultado, la mayoría de los materiales se encogen si se enfrían y se expanden si se reduce la carga de presión. Las variaciones de temperatura y presión durante el moldeo por inyección de piezas de plástico pueden provocar cambios dimensionales significativos en el curso del proceso.

Además, los cambios en la estructura interna del material a menudo resultan en una contracción adicional. Las desviaciones dimensionales de las piezas producidas de la geometría de la pieza original se expresan mediante el resultado desplazamiento.

Sus dimensiones son de importancia crucial para la calidad y la facilidad de uso de una pieza, especialmente si está integrada en un conjunto. Utilizando el resultado desplazamiento, se puede realizar un análisis detallado de la contracción y la deformación de una pieza moldeada por inyección. Este último suele ser el resultado de una contracción no homogénea en diferentes áreas de la pieza. (Rebeca Barra García , junio de 2014)

2.2.2 Inyección de plásticos reforzados con fibras cortas

La técnica de inyección de plásticos reforzados con fibra garantiza adecuadas exactitud dimensional, control de ciclo de vida del producto y elevadas tasa de producción. Las fibras de vidrio y de carbono son los materiales más utilizados para crear compuestos, porque sus características mismas ayudan a mejorar significativamente sus propiedades mecánicas en los termoplásticos. (Delgado, 1975)

Las propiedades de los materiales compuestos dependen de una serie de factores:

- a) propiedades de la matriz y del refuerzo
- b) contenido de refuerzo
- c) orientación del refuerzo
- d) método de producción del material compuesto

2.2.3 Matrices termoestables

Las resinas termoestables son aquellas que sufren una serie de reacciones químicas, llamadas de curado o reticulación, dando lugar a un producto rígido, insoluble e infusible.

La obtención de matrices termoestables se da en dos etapas:

- a) En la planta química se polimeriza parcialmente el monómero formando cadenas lineales.
- b) En la planta de producción donde se completa la reticulación bajo calor y presión.

2.2.4 Matrices termoplásticas

Están constituidas por moléculas lineales unidas por enlaces sencillos. Tienen una temperatura por encima de la cuál empiezan a fluir y al enfriarlos por debajo de esa temperatura vuelven a su estado sólido.

El procesado de los termoplásticos consta de una fase de calentamiento para ablandar el material y realizar el moldeo y una fase de enfriamiento posterior para endurecerlo una vez moldeado en su forma apropiada. (Mustafa Kurt, 2009/9/1)

3. METODOLOGÍA

Se utilizó un polímero PA66 porque es uno de los polímeros más ampliamente utilizados en inyección con fibras, además, se encuentra disponible en la base de datos del software Sigmasoft. Teniendo en cuenta que es un material termoplástico el cual se produce mediante la polimerización del hexametileno diamina y el ácido adípico (un ácido dibásico). El PA66 es un material semicristalino-cristalino con uno de los puntos de masa fundida más altos entre las poliamidas disponibles a nivel comercial.

El PA66 tiene fuerza y rigidez que se retienen a temperaturas elevadas. El PA66 absorbe humedad después del moldeo. La absorción de la humedad depende de la composición del material, el grosor de la pared y las condiciones ambientales. La estabilidad dimensional y las propiedades se ven afectadas por la cantidad de absorción de humedad, la cual se debe tener en cuenta para el diseño del producto.

Se añaden varios modificadores para mejorar las propiedades mecánicas y el vidrio es una de las cargas de uso más común. Añadir elastómeros, como EPDM o SBR, mejoran la resistencia al impacto.

Aunque no fluya tan fácilmente, su viscosidad es baja así que fluye fácilmente permitiendo así el moldeo de componentes finos.

La contracción es de 0.01 – 0.02 mm/mm [1-2%]. Al añadir fibras de vidrio se reduce la contracción hasta el 0,2–1%. La contracción diferencial en las direcciones del flujo y del flujo transversal es muy alta. La carga de minerales produce moldeos más isotrópicos.

El PA66 es resistente a la mayoría de solventes aunque no a ácidos fuertes o agentes oxidantes.

1. Se crea la carpeta donde estarán ubicados los 16 proyectos a realizar con sus respectivas especificaciones y descripción de cada una.

Las combinaciones de fibras que se han ido implementando a los plásticos desde hace mucho tiempo conllevan a brindar alta resistencia, alta rigidez, baja densidad y peso ligero, aumentando en consideración sus propiedades mecánicas y durabilidad volviéndola mejor que cualquiera de los componentes por sí solos. Para lograr todo esto intervienen distintitos tipos de variables de las cuales se seleccionaran algunas para analizar el proceso de inyección a diferentes condiciones de procesos.

			Packing		
Tipo fibra	INYECCIÓN	Filling [s]	Tiempo [s]	Presión [bar]	Temp. Iny
Fibra de vidrio [2,6 g/cm ³]	Proy 1	0,8	4	400	290
	Proy 2	0,8	4	800	290
	Proy 3	0,8	8	400	290
	Proy 4	0,8	8	800	290
	Proy 5	1,6	4	400	290
	Proy 6	1,6	4	800	290
	Proy 7	1,6	8	400	290
	Proy 8	1,6	8	800	290
	Proy 9	0,8	4	400	320
	Proy 10	0,8	4	800	320
	Proy 11	0,8	8	400	320
	Proy 12	0,8	8	800	320
	Proy 13	1,6	4	400	320
	Proy 14	1,6	4	800	320
	Proy 15	1,6	8	400	320
	Proy 16	1,6	8	800	320

Tabla 1 condiciones de procesos a ingresar en cada uno de los proyectos

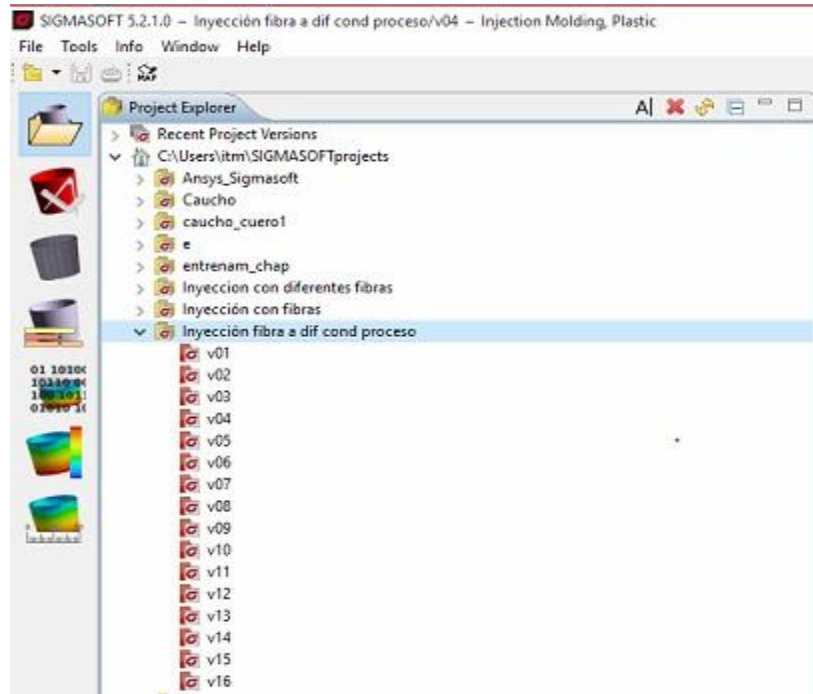


Ilustración 1 ventana de archivos de los distintos procesos de piezas a simular

2. Se selecciona cada una de las condiciones del proceso de inyección

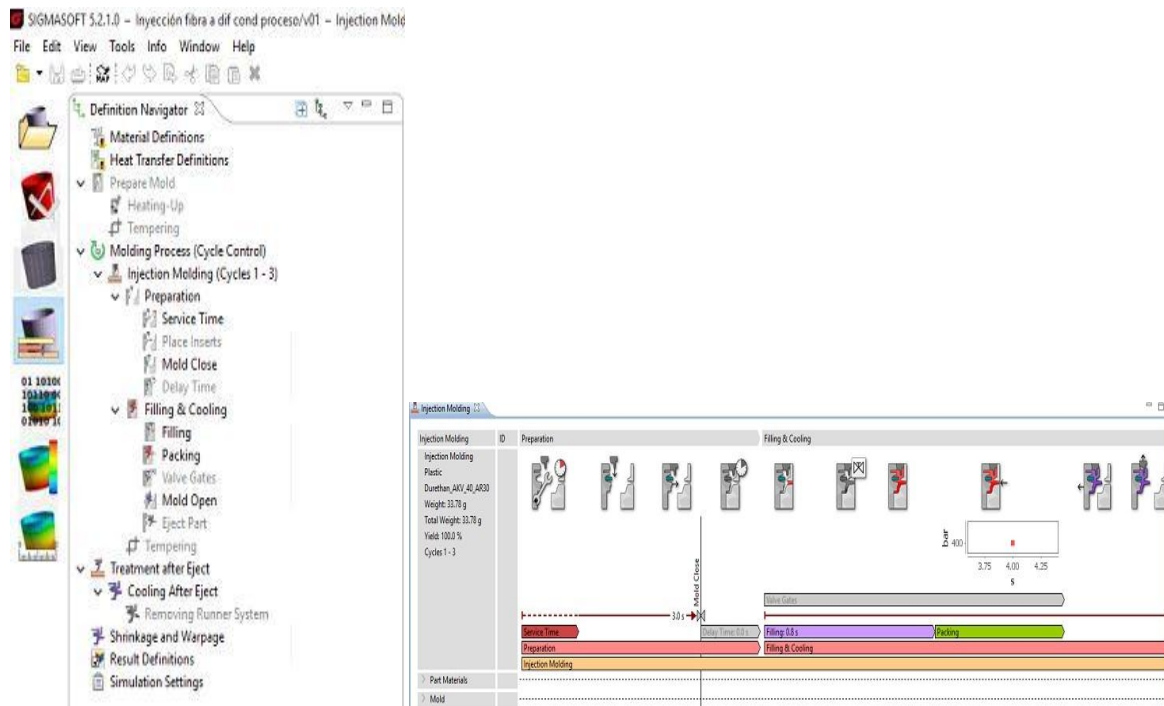


Ilustración 2 selección de condiciones de procesos

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

3. Se procede a simular cada uno de los proyectos con sus respectivas condiciones de proceso.

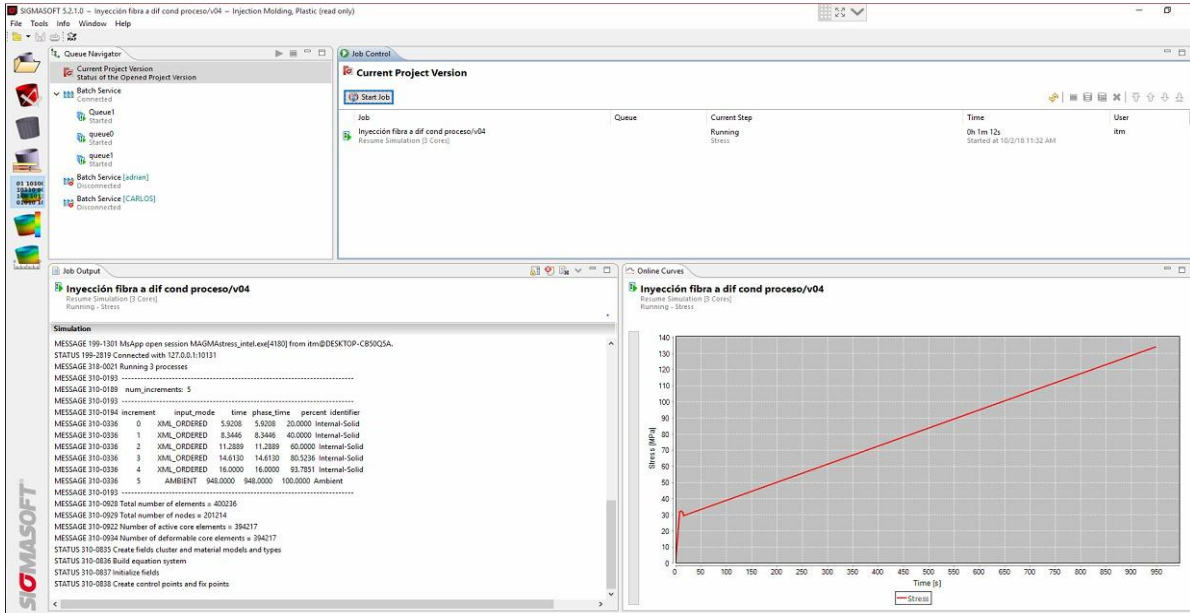


Ilustración 3 simulación del proceso

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

4. Se procede a obtener los resultados obtenidos tras la simulación del proyecto ynes de posteriormente anexarlos a la tabla 2

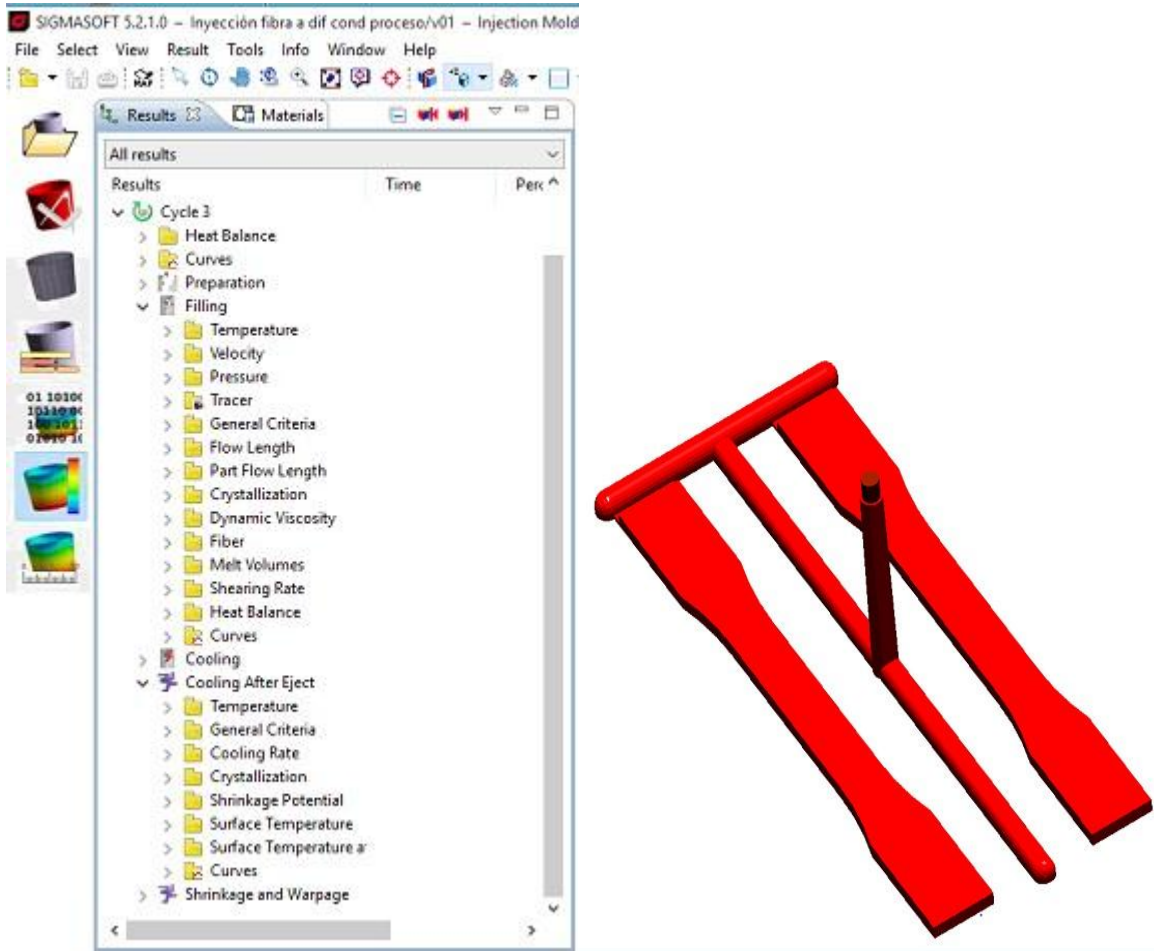


Ilustración 4 resultados finales de la simulación del proceso

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se resumen los resultados de las simulaciones a diferentes condiciones de proceso.

Presión inyección [bar]	Vel cizalladura [1/s]		ORIENTACIÓN	Contracción [mm]	DEFORMACIÓN [mm]
	Vel cizalladura max	Vel cizalladura max pieza			
466,4	3527	639,627	0,9444	0,175	5,043
466,1	3528	646,528	0,9444	0,174	2,233
466,1	3528	643,456	0,9444	0,174	5,037
466,1	3528	649,254	0,9444	0,15	2,233
398,9	1763	263,256	0,9451	0,183	4,57
393,1	1752	263,197	0,9451	0,16	1,99
398,9	1763	263,852	0,9451	0,173	4,596
393,1	1752	256,302	0,9451	0,159	1,99
301,2	3677	633,435	0,9435	0,172	5,019
301,2	3677	638,086	0,9435	0,152	2,593
301,2	3677	645,441	0,9435	0,174	5,019
301,2	3677	642,628	0,9435	0,151	2,593
234,1	1855	271,123	0,9458	0,174	4,907
234,1	1855	268,324	0,9458	0,15	2,494
234,1	1855	270,76	0,9458	0,174	4,907
234,1	1855	270,844	0,9458	0,15	2,494

Tabla 2 obtención de resultados de cada una de las simulaciones

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

1. **PRESION DE INYECTADO:** Usando el resultado de Presión, se puede verificar que la presión requerida para el llenado de la cavidad no exceda la presión de inyección máxima de la máquina de moldeo por inyección.

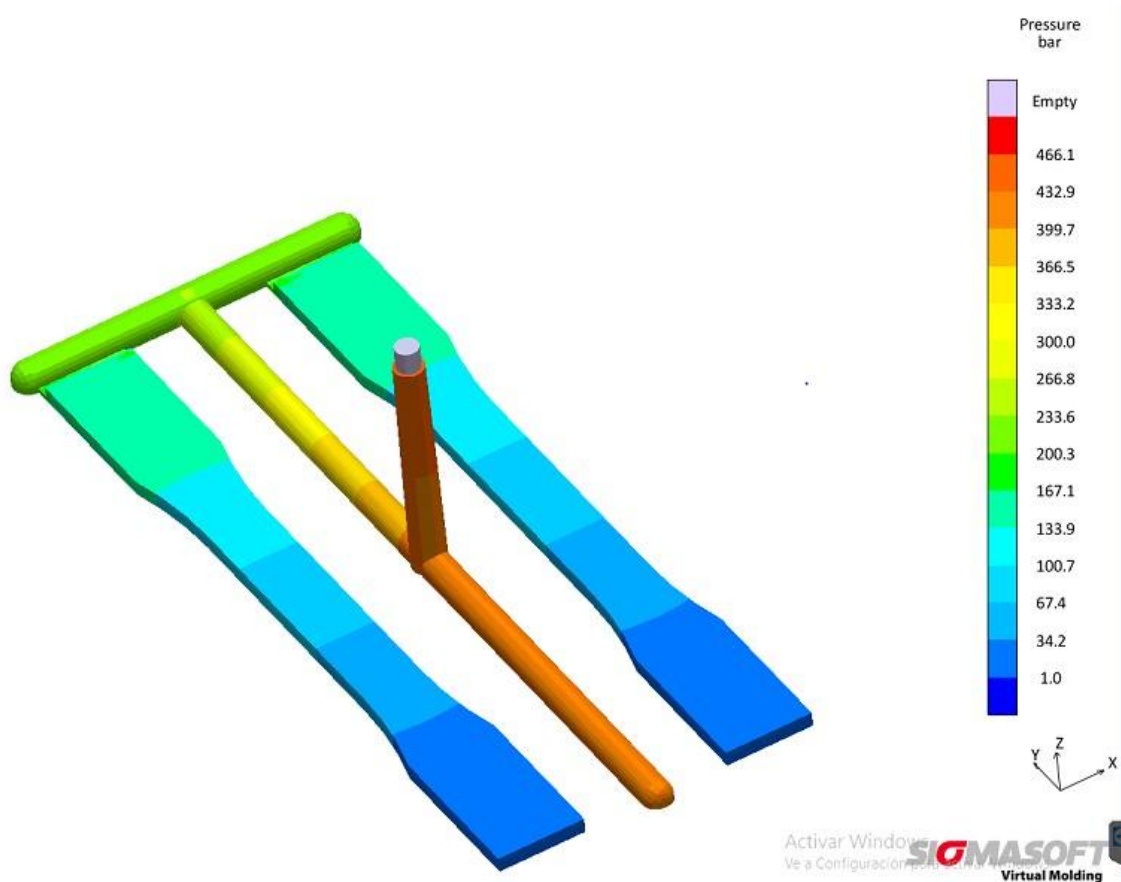


Ilustración 5 representación de la presión de inyectado final

2. **Velocidad de cizallamiento:** Es la velocidad de cambio de deformación de cizalla en el tiempo. La deformación de cizalla es la proporción de la deformación del polímero debido a una fuerza de cizalla. El resultado de Velocidad de cizallamiento, visualiza los fenómenos de flujo dentro de la cavidad del molde.



Ilustración 6 velocidad de cizalladura vista general

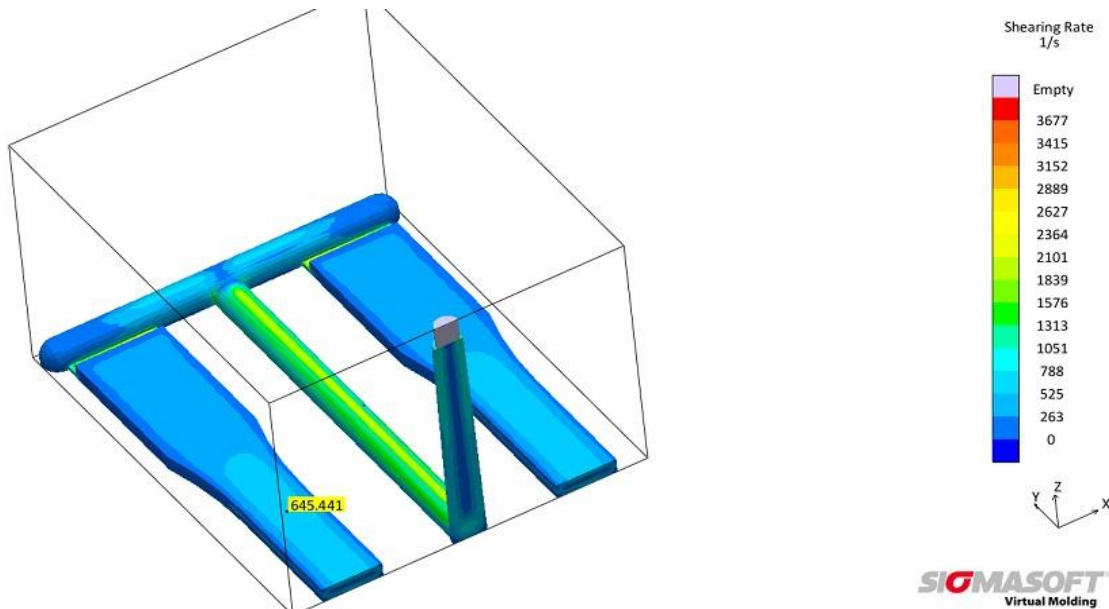


Ilustración 7 velocidad de cizalladura máxima y máxima superficial

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

3. **Orientación de las fibras:** La orientación de la fibra está determinada por los fenómenos de flujo dentro de la cavidad del molde durante la fase de llenado y presión de mantenimiento.

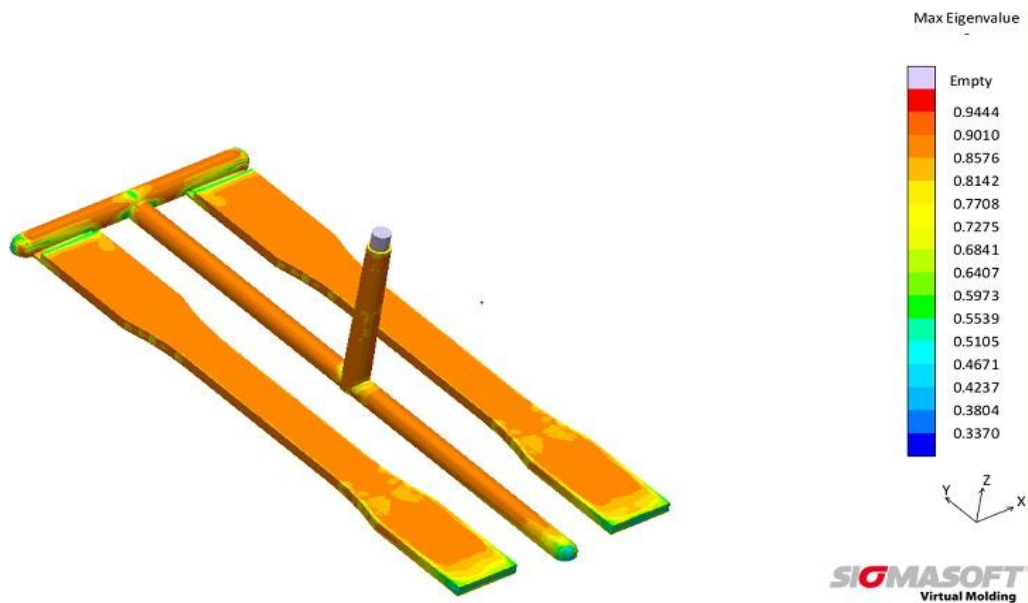


Ilustración 8 representación de la orientación de fibra

4. **Contracción o Rechupes:** son defectos que se presentan en las piezas moldeadas debido a la insuficiencia de materia prima o a un elevado gradiente térmico dentro de la pieza, que hace que el material en el centro se contraiga y “hale” hacia sí el material de la superficie, sin que haya una compensación por esta contracción de volumen.

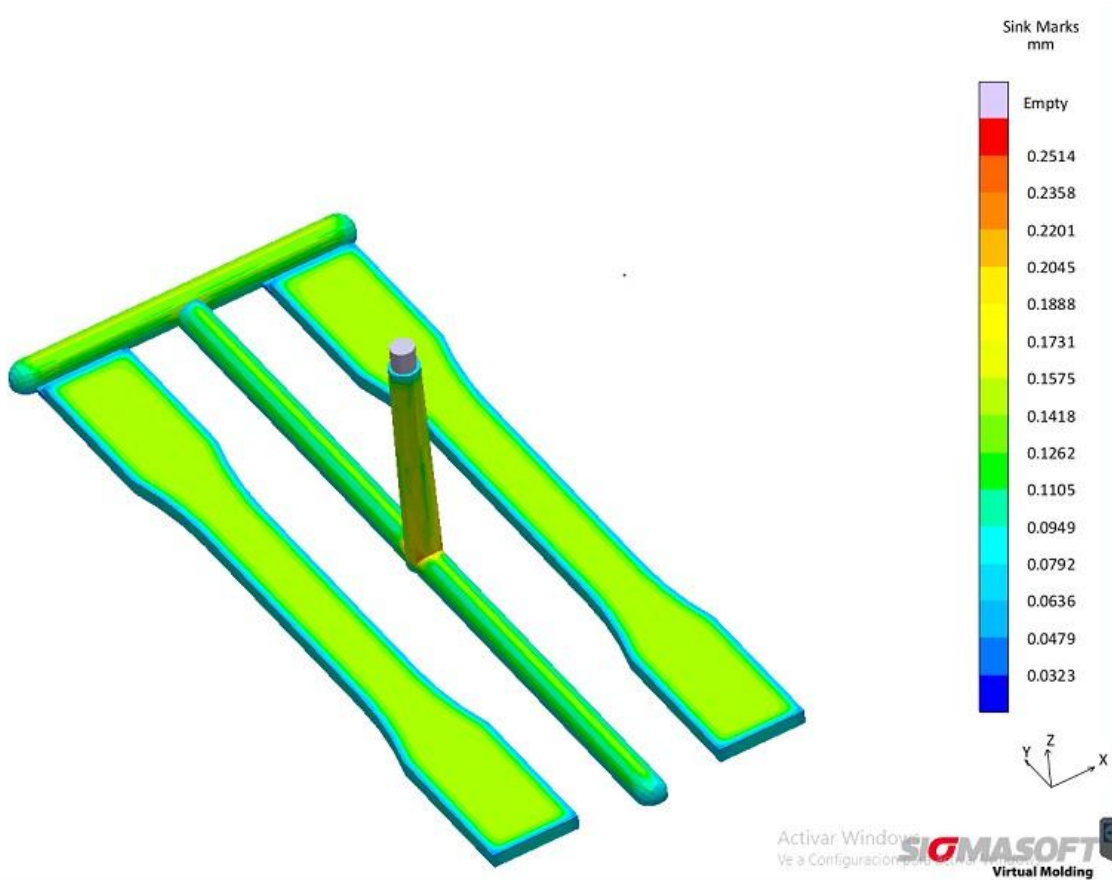


Ilustración 9 vista general de la contracción de la pieza

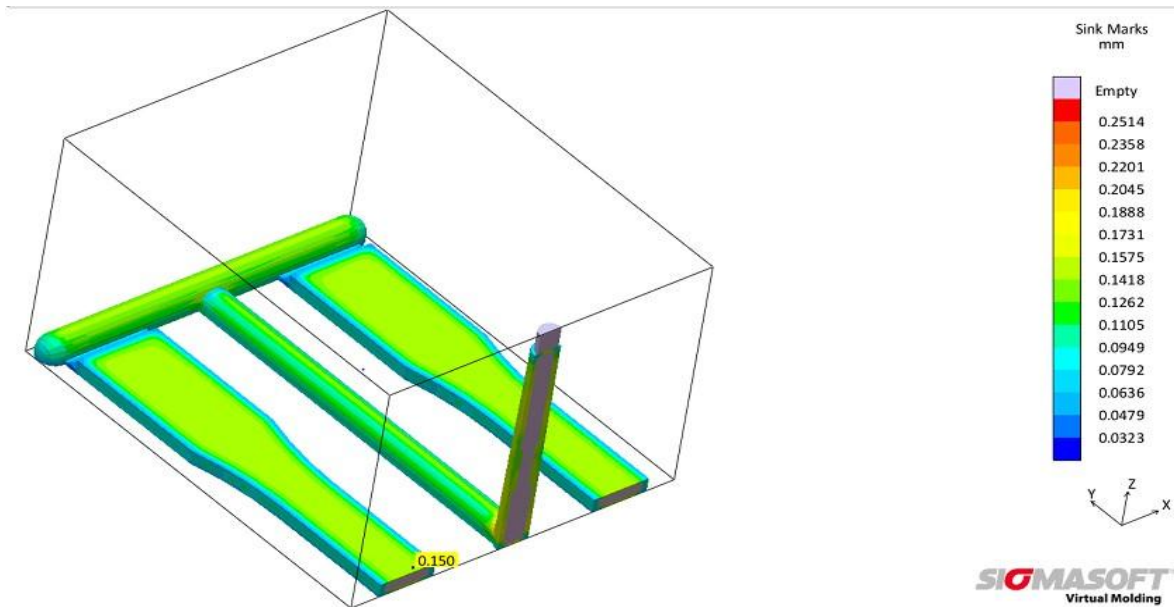


Ilustración 10 vista superficial de la contracción de la pieza

5. **Deformación y desplazamiento:** Las variaciones de temperatura y presión durante el moldeo por inyección de piezas de plástico pueden provocar cambios dimensionales significativos en el curso del proceso.

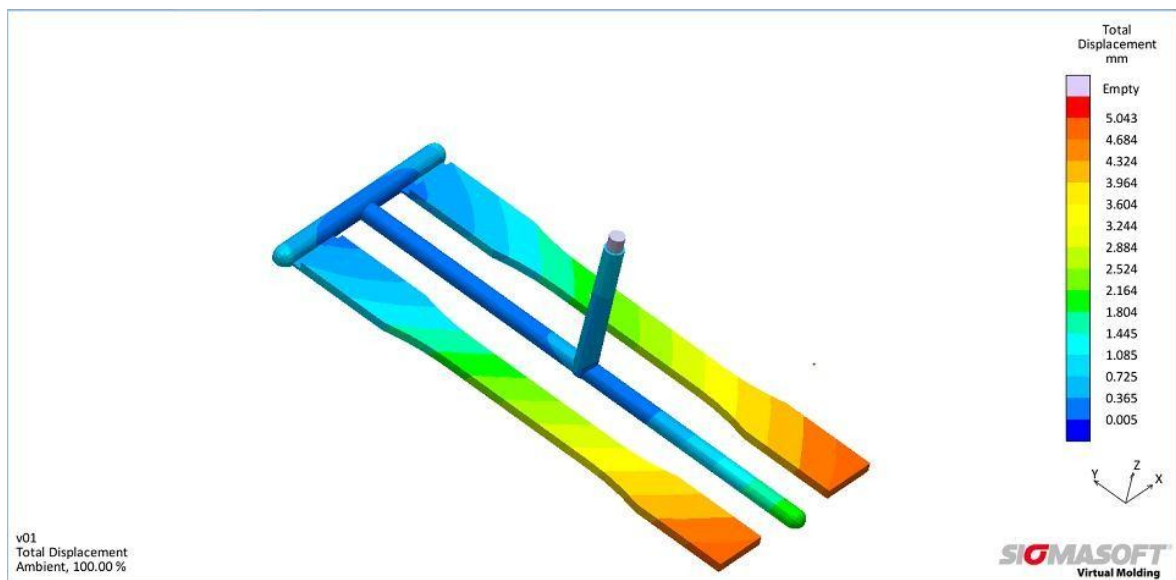


Ilustración 11 representación de la deformación de la pieza



Gráfica 1 tiempo vs contracción

En el resultado de contracción muestra la distribución del cambio de porcentaje en el volumen de la pieza a medida que esta reduce su elevada temperatura y la alta presión hasta la temperatura y la presión del ambiente al final del llenado. El cálculo de la contracción se basa en la relación de PVT del material plástico.

(P=Presión) (V=Viscosidad) (T=Temperatura)

Un valor positivo representa una contracción del volumen mientras que un valor negativo representa una expansión de volumen. Un valor positivo elevado representa una contracción del volumen elevada que puede provocar rechupados o vacíos.

Con lo dicho anteriormente y analizando la gráfica se puede decir que la contracción no muestra una variación apreciable con el cambio del tiempo y de la presión porque la contracción es directamente proporcional a la presión y temperatura.

Como en nuestro proyecto no realizamos cambios bruscos de temperatura ni de presión la contracción en la pieza no muestra cambios significativos ni muy elevados debido al equilibrio de las moléculas del material de la pieza inyectada.



Gráfica 2 Tiempo Vs Deformación

Análisis de grafica # 2 Deformación					
	Tiempo de empaque	Tiempo de inyección	Presión Empaque	Temperatura	Observación
Proy 1	4	0,8	400	290	Al aumentar la presión de empaque la deformación disminuye, ya que, se le adiciona un poco más de material y presión ocasionando así que haya un equilibrio en todo el proceso.
proy 2	4	0,8	800	290	
Proy 3	8	0,8	400	290	Al aumentar el la presión de empaque muestra que se aprecian cambios considerables porque junto a la temperatura y el tiempo de empaque y de llenado hace que haya una disminución de la deformación porque esta es inversamente proporcional al aumento de la presión.
Proy 4	8	0,8	800	290	
Proy 5	4	1,6	400	290	Si se aumenta el tiempo de inyección y la presión de empaque la deformación sigue disminuyendo porque hace que haya una mejor compensación y así reduce la deformación en la pieza.
Proy 6	4	1,6	800	290	
Proy 7	8	1,6	400	290	Si damos un tiempo de post-presión a presión alta, la deformación en el material disminuye porque hay un ordenamiento de las moléculas del plástico inyectado.
Proy 8	8	1,6	800	290	
Proy 9	4	0,8	400	320	Con la variación de la presión y temperatura alta hace que la deformación disminuya porque son inversamente proporcional lo cual hace que haya una mejor compensación de moléculas en la pieza inyectada.
Proy 10	4	0,8	800	320	
Proy 11	8	0,8	400	320	Con el aumento de temperatura se muestran cambios considerables y con la variación de la presión hace que la viscosidad disminuya lo cual ocasiona un ordenamiento en las moléculas del material inyectado.
Proy 12	8	0,8	800	320	
Proy 13	4	1,6	400	320	La tendencia sigue aunque tenga la temperatura mucho más alta y se le varié la presión muestra cambios considerables pero es por el tiempo de empaque y de inyección que también influyen en la compensación de las moléculas.
Proy 14	4	1,6	800	320	
Proy 15	8	1,6	400	320	La deformación disminuye al aumento de post-presión porque a mayor presión y temperatura menor deformación.
Proy 16	8	1,6	800	320	

Tabla 3 análisis de resultados de proyectos (igual tiempo de empaque, igual tiempo de inyección, diferente presión de empaque, igual temperatura)

Análisis de grafica # 2 Deformación					
	Tiempo de empaque	Tiempo de inyección	Presión Empaque	Temperatura	Observación
Proy 1	4	0,8	400	290	Aunque tengan un cambio en el tiempo de empaque no poseen cambios uno con respecto del otro porque el material al estar a la misma temperatura y misma presión tiende a tener el mismo resultado.
Proy 3	8	0,8	400	290	
proy 2	4	0,8	800	290	Al tener una mayor post-presión temperatura alta hace que haya una menor deformación aunque tenga variación en el tiempo de empaque.
Proy 4	8	0,8	800	290	
Proy 5	4	1,6	400	290	Con el cambio del tiempo de empaque no muestra cambios significativos en la gráfica porque el proceso está bajo la misma temperatura y la misma presión, por tanto, tiende a tener el mismo resultado.
Proy 7	8	1,6	400	290	
Proy 6	4	1,6	800	290	La deformación de la pieza se reduce al tener una mayor post-presión pero no muestra cambio una con respecto de la otra aunque se le varié el tiempo de empaque
Proy 8	8	1,6	800	290	
Proy 9	4	0,8	400	320	Los efectos de la deformación no muestran cambios significativos, aunque cambie el tiempo de empaque la presión y la temperatura se mantiene constante.
Proy 11	8	0,8	400	320	
Proy 10	4	0,8	800	320	La variación del tiempo de empaque al lado de la presión de empaque y la temperatura hacen un reordenamiento de la estructura molecular de la pieza inyectada la cual hace que disminuya la deformación ocasionando que haya una mejor calidad en la pieza final.
Proy 12	8	0,8	800	320	
Proy 13	4	1,6	400	320	Con el cambio del tiempo de empaque no poseen cambios uno con respecto del otro porque el material al estar a la misma temperatura y misma presión hace que haya una mejor orientación de las fibras por tanto la pieza tiende a tener el mismo resultado.
Proy 15	8	1,6	400	320	
Proy 14	4	1,6	800	320	Aunque tenga tiempo de empaquetado distintos la deformación no varía porque mantiene la temperatura y la post-presión altas y constante lo que hace que el material fluya normal reduciendo así la deformación en la pieza
Proy 16	8	1,6	800	320	

Tabla 4 análisis de resultados de proyectos (Diferente tiempo de empaque, igual tiempo de inyección, igual presión de empaque, igual temperatura)

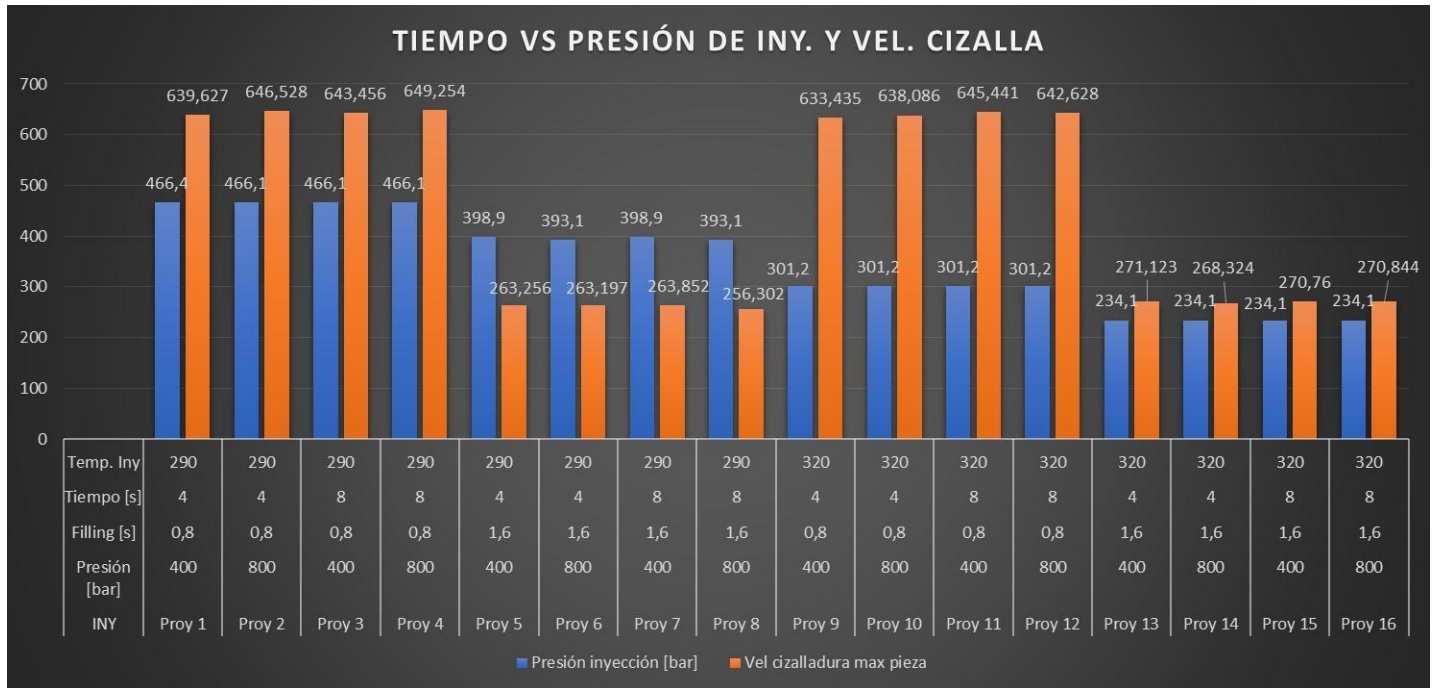
Análisis de grafica # 2 Deformación					
	Tiempo de empaque	Tiempo de inyección	Presión Empaque	Temperatura	Observación
Proy 1	4	0,8	400	290	Con el cambio de diferentes tiempos de inyección existen pequeñas variaciones las cuales indican que a mayor tiempo menor deformación en la pieza.
Proy 5	4	1,6	400	290	
Proy 2	4	0,8	800	290	En este análisis muestra la misma secuencia porque la variación del tiempo de inyección puede provocar cambios significativos en la pieza.
Proy 6	4	1,6	800	290	
Proy 3	8	0,8	400	290	Mantiene la secuencia aunque varíe el tiempo de inyección no muestra cambios puesto que tiene temperatura y misma post-presión lo cual hace que disminuya la deformación sin muchos cambios significativos.
Proy 7	8	1,6	400	290	
Proy 4	8	0,8	800	290	Muestra una pequeña variación indicando la importancia que es el tiempo de inyección al lado de la presión y temperatura puesto que juntas hacen que haya una menor deformación.
Proy 8	8	1,6	800	290	
Proy 9	4	0,8	400	320	Con el aumento de la temperatura y la variación del tiempo de inyección y la presión hacen que el material se vuelva menos viscoso lo cual hace que haya menos deformaciones en la pieza.
Proy 13	4	1,6	400	320	
Proy 10	4	0,8	800	320	Con la variación del tiempo, el tiempo de empaque, la presión junto con la temperatura que están altas tienen un efecto poco notorio en la pieza. Porque aunque el tiempo de inyección varíe la presión y temperatura son muy elevadas lo cual hace que la deformación disminuya muy poco.
Proy 14	4	1,6	800	320	
Proy 11	8	0,8	400	320	El tiempo de inyección hace que haya un pequeño cambio en el resultado final porque la temperatura y la post-presión se mantienen constante lo cual hace que las deformaciones disminuyan.
Proy 15	8	1,6	400	320	
Proy 12	8	0,8	800	320	Al aumentar el tiempo y la presión de empaques el resultado cambia un poco manteniendo la misma secuencia porque a mayor presión menor deformación aunque tenga mayor temperatura.
Proy 16	8	1,6	800	320	

Tabla 5 análisis de resultados de proyectos (igual tiempo de empaque, Diferente tiempo de inyección, igual presión de empaque, igual temperatura)

Análisis de grafica # 2 Deformación					
	Tiempo de empaque	Tiempo de inyección	Presión Empaque	Temperatura	Observación
Proy 1	4	0,8	400	290	El aumento de la temperatura hace que el plástico sea menos viscoso y por lo tanto hace que fluya con más facilidad por toda la cavidad del molde y hace que se orienten las fibras mucho mejor.
Proy 9	4	0,8	400	320	
proy 2	4	0,8	800	290	En la inyección de plástico las moléculas tienen una movilidad limitada con fuerzas cohesivas grandes. Un aumento de la temperatura disminuye la cohesión entre moléculas y decrece la viscosidad lo cual hace que disminuya la deformación de las piezas inyectadas.
Proy 10	4	0,8	800	320	
Proy 3	8	0,8	400	290	Con el tiempo de empaque aumentado se puede observar que maneja similaridad de resultados para lograr el equilibrio de la pieza.
Proy 11	8	0,8	400	320	
Proy 4	8	0,8	800	290	El aumento de la temperatura y la presión provoca una reducción de la viscosidad y por lo tanto una mejor compactación y una reducción de la deformación de la pieza
Proy 12	8	0,8	800	320	
Proy 5	4	1,6	400	290	Posee la misma tendencia aunque le aumente el tiempo de inyección su comportamiento es el mismo a mayor temperatura menor deformación
Proy 13	4	1,6	400	320	
Proy 6	4	1,6	800	290	Al aumentar el tiempo, la presión de inyección y con la variación de temperatura la deformación tiende a reducir mucho más esto se produce porque las moléculas tienden a equilibrar todo el material en el proceso.
Proy 14	4	1,6	800	320	
Proy 7	8	1,6	400	290	Con el tiempo de empaque y presión constantes pero a distintas temperaturas hace que se presente un mayor equilibrio en el proceso lo cual hace que se reduzca la deformación en la pieza.
Proy 15	8	1,6	400	320	
Proy 8	8	1,6	800	290	Con el aumento del tiempo de empaque y la presión junto con la temperatura la deformación tiende a disminuir y manejar la misma tendencia de equilibrar todo el proceso.
Proy 16	8	1,6	800	320	

Tabla 6 análisis de resultados de proyectos (igual tiempo de empaque, igual tiempo de inyección, igual presión de empaque, Diferente temperatura)

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



Gráfica 3 Tiempo Vs Presión de inyección y velocidad de cizalladura

En el análisis que se observa en esta grafica es que cuando el tiempo de llenado es mínimo la presión de inyección y la velocidad de cizalla son mayor y se mantienen constante.

Cuando el tiempo de llenado es mayor la presión de inyección y la velocidad de cizalla es mayor y se mantienen constante.

Cuando actúa la velocidad de cizalla sobre el fluido se produce una mayor destrucción de las interacciones entre las cadenas poliméricas, pero la movilidad térmica es capaz de compensarlas creándolas por otra parte, dando lugar a cambios apenas observables en la viscosidad del fluido.

Sin embargo, si continuase aumentando la velocidad de cizalla, se puede alcanzar un momento a partir del cual se destruyen más interacciones de las que se crean, dando lugar a una pérdida de la estructura presente.

A medida que aumenta la temperatura de un fluido líquido, disminuye su viscosidad. Esto quiere decir que la viscosidad es inversamente proporcional al aumento de la temperatura.

La viscosidad es fuertemente dependiente de la temperatura. Por tanto, disminuye su viscosidad si aumenta la temperatura; la dependencia es exponencial por esto hay variaciones de la velocidad de cizalla.

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

La presión mantiene bajo presión el material fundido que se solidifica y se contrae en la cavidad del molde, la función de esta presión, es la de completar el llenado y así compensar la contracción, introduciendo un poco más de material fundido en el molde. Es importante mencionar que si se excede en aplicar esta presión puede producir rebaba o una compactación tal que originara que las piezas se peguen en el lado fijo.

La intensidad y duración de la presión influyen en diferentes medidas sobre las características físico-mecánicas de la pieza moldeada.

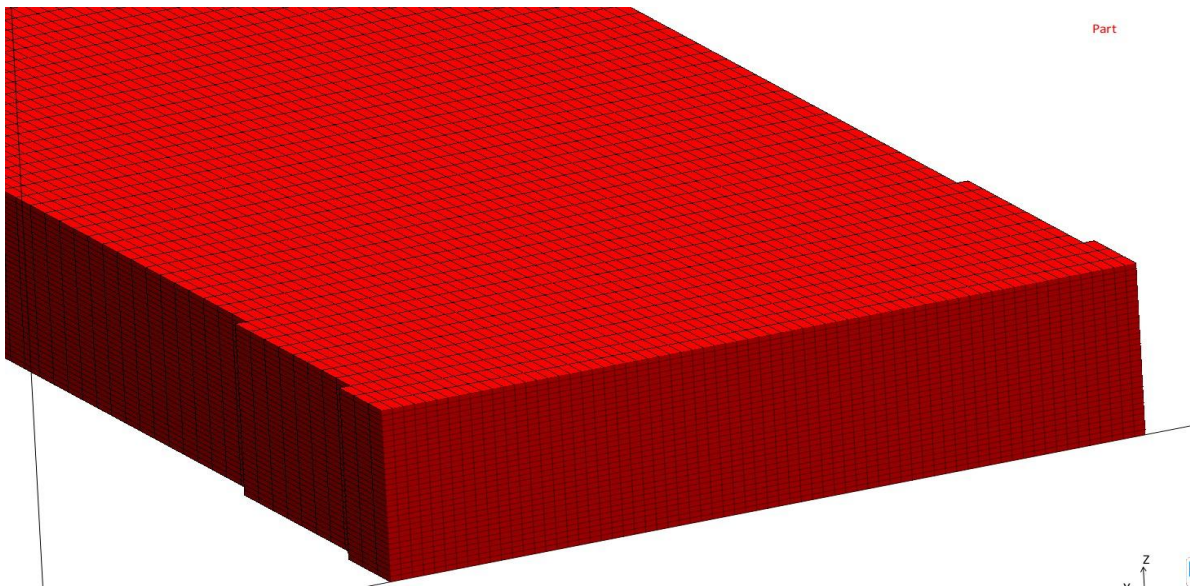


Figura 1 Capa fina con distintas condiciones de procesos

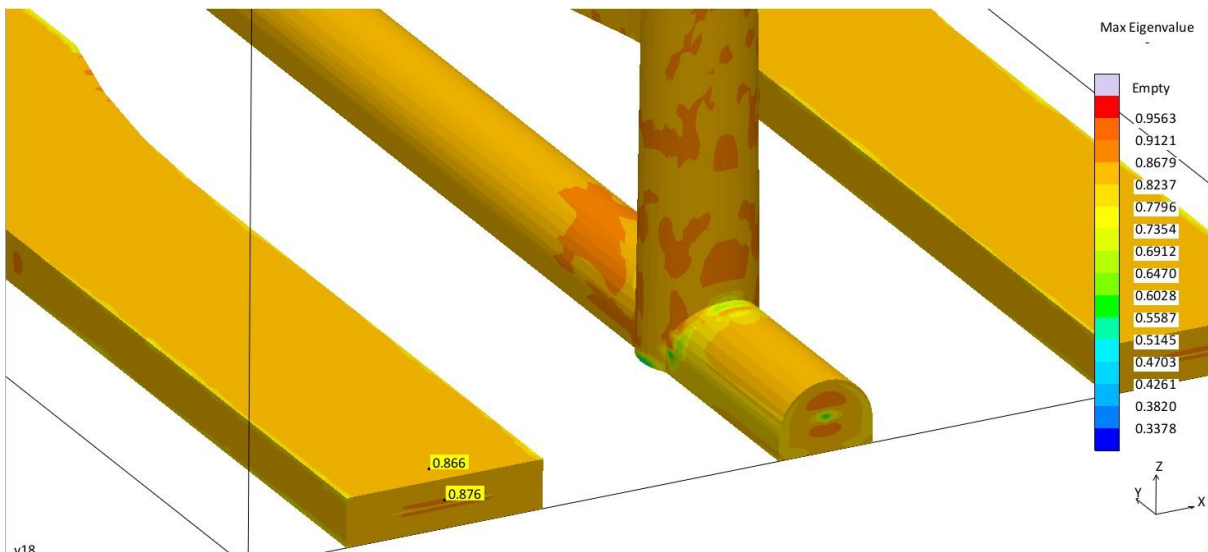


Figura 2 Orientación de fibra a diferentes condiciones de procesos

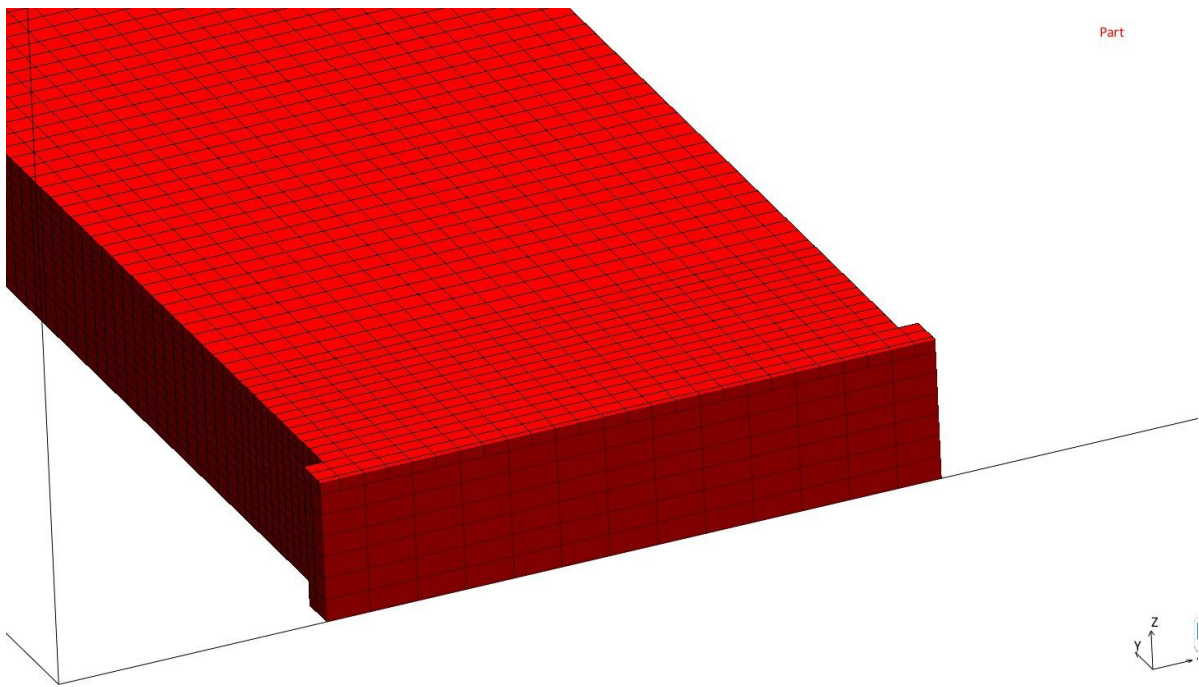


Figura 3 capa fina general de los proyectos realizados

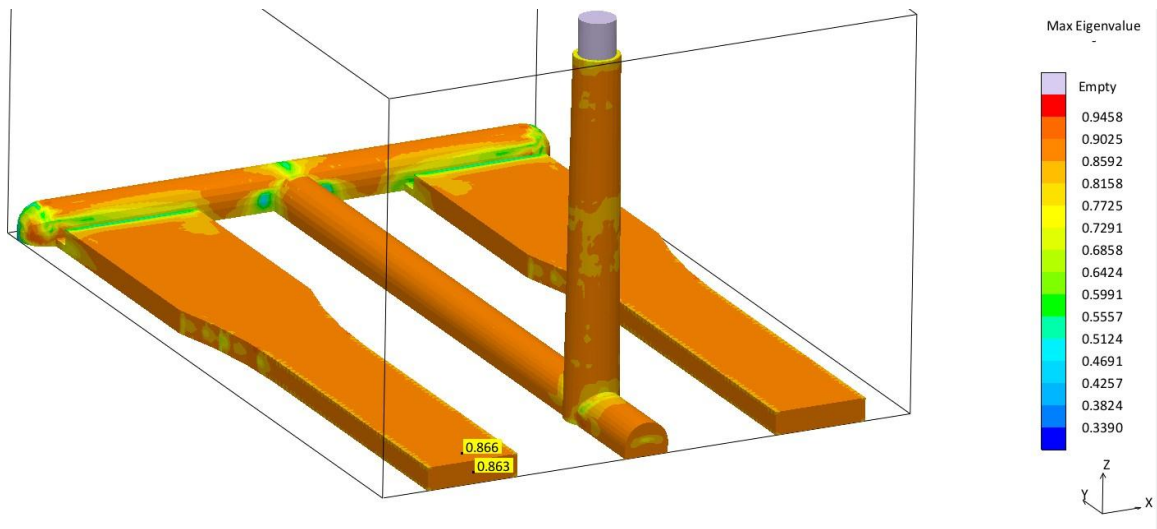


Figura 4 Orientación de fibra general de los proyectos realizados

Se hizo un análisis para observar el comportamiento de la orientación de las fibras de vidrio en el material inyectado y se puede observar que aunque la capa fina a diferentes condiciones de procesos el resultado de la orientación a comparación con la de los proyectos realizados no muestra cambios significativos los únicos cambios que muestra son el color del material inyectado, aunque al momento de ser inyectado los valores finales

deberían variar por los efectos que tiene la velocidad de cizalla en el momento de inyección. Este análisis del porque no se muestran cambios se tendría que hablar con el proveedor del software para así tener respuestas de este comportamiento en el material inyectado.

6. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES Y

TRABAJO FUTURO

- Con el estudio de los polímeros reforzados pudimos observar que son materiales que elevan su desempeño basados en la combinación de dos componentes.
- Se observa que no se muestra cambios considerables en las contracciones al estar sometido a diferentes condiciones de proceso.
- A menor presión la deformación es mayor y en los niveles de orientación no se muestran cambios sustanciales en las diferentes condiciones de proceso en todo el proyecto.
- Con el cambio del tiempo de relleno y de la temperatura se muestra que la presión de inyectado tiende a variar constante

Según los datos obtenidos con la realización del proyecto realizado, se puede plantear a trabajo futuro las siguientes condiciones.

- Para observar si hay algún cambio se puede buscar un modelo para calcular la orientación con otros tipos de materiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias

- Delgado, R. A. (1975). *Moldeo por Inyección*. Madrid: ed. Blume.
- Fred W. Billmeyer, Jr. (octubre 2004). *ciencia de los polímeros*. Barcelona: Editorial Reverté.
- George, W. (2000). *Handbook of fillers 2nd ed.* Toronto: ChemTec Publishing.
- John M. Hodgkinson. (Nov 17, 2000). *Mechanical Testing of Advanced Fibre Composites*. Boston: woodhead publishing limited.
- MARIBEL BELTRÁN RICO Y ANTONIO MARCILLAS GOMIS. (2012). *Tecnología de Polímeros Procesado y Propiedades*. San Vicente del Raspeig (España): PUBLICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE.
- Mustafa Kurt, O. S. (2009/9/1). Experimental investigation of plastic injection molding: Assessment of the effects of cavity pressure and mold temperature on the quality of the final products. *Elsevier*, 3217-3224.
- Rebeca Barra García . (junio de 2014). *Variaciones dimensionales en piezas*. Cataluña: Xavier Armengol Vila .
- ROGER.N..ROTHON. (2003). *Particulate-filled polymer composites*. Shrewsbury Inglaterra: RAPRA TECHNOLOGY LIMITED.
- Sergio Garcias. (ENERO DE 2009). REFERENCIAS HISTÓRICAS Y EVOLUCIÓN DE LOS PLÁSTICOS. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 10.

FIRMA ESTUDIANTES

Sergio Zapata A.
WELNER ARROYO ARROYO

FIRMA ASESOR

[Signature]
Nota: Se entrega informe final

FECHA ENTREGA:

05-03-2019

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: _____