

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**COMPORTAMIENTO DE MATERIALES COMPUESTOS POR  
MOLDEO DE INYECCIÓN, UTILIZANDO PROGRAMAS DE SIMULACIÓN**

**Mario Andrés Castaño  
Pablo Andrés Arbeláez**

Ingeniería Electromecánica

Juan Carlos Posada Correa

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO  
Fecha  
18 Julio 2014

---

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## RESUMEN

Cada vez se desarrollan nuevas técnicas para lograr una alta calidad en el proceso de moldeo del plástico, tales como; La implementación de nuevos materiales cargados, pre-tratamiento de los materiales y usos de software de simulación para analizar comportamientos y procesos en los materiales, además optimizar parámetros en el diseño del molde. En este proyecto se recopiló información de páginas de investigación como IEEE y science direct, y se utilizaron los laboratorios CAD del ITM y semillero de investigación de materiales, sobre nuevas técnicas utilizadas para el mejoramiento de la calidad del producto final en su proceso de transformación. Este proyecto se enfoca en realizar ensayos experimentales simulados por medio de software de simulación de PIM (Moldeo por inyección del plástico), para evaluar el comportamiento y diferencias entre un LDPE (Polietileno de baja densidad) compuesto y otro sin ningún tipo de compuestos, observando las ventajas que ofrece la utilización del software, donde podemos obtener comportamientos, parámetros, definir variable tales como: fluidez de sólidos, temperatura del molde, efectos de inercia o viscosidad, permitiendo optimizar las entradas del material así como la evaluación del diseño de los circuitos de refrigeración, reducción del tiempo de ciclo y realizar simulaciones del proceso, logrando mejores resultados; contribuyendo en la evolución de nuevas técnicas para evaluar materiales compuestos y la fabricación de artículos con formas más complejas.

Para lograr comprender las necesidades de la utilización de estos software CAE, CAD en el proceso del modelado por inyección, se realizó una recopilación de información sobre los materiales compuestos y mezclas, su reseña histórica, tipos de mezclas, procesos que se hacen industrialmente por moldeo en el plástico, partes que componen la máquina de inyección, explicación del proceso.

**Palabras clave:** Inyección, programas CAD y CAE, materiales compuestos, simulación, presión y temperatura. Polietileno de baja densidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## RECONOCIMIENTOS

Agradecimiento especial para nuestro asesor de proyecto de grado Juan Carlos Posada que nos acompañó durante el desarrollo de nuestro trabajo, al profesor Jorge Villegas nos orientó sobre el proceso de inyección y programas de simulación, al Instituto tecnológico Metropolitano que puso a su disponibilidad material de consulta, laboratorios CAD. Para adquirir habilidades de manejo del software Moldex 3d y a los semilleros de investigación de materiales.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## ACRÓNIMOS

- CAE ingeniería asistida por computador.
- CAD Diseño asistido por computador.
- PIM moldeo por inyección de plástico.
- SFE simulación de elementos finitos.
- DOE diseño del enfoque de experimentos.
- LDPE Polietileno de baja densidad.
- PE Polietileno
- PS Poliestirenos
- PELDB polietileno lineal de baja densidad
- PP Polipropileno
- PVC Policloruro de vinilo
- PLC controlador lógico programable

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
<b>RESUMEN</b> .....	<b>2</b>
<b>RECONOCIMIENTOS</b> .....	<b>2</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
1.1 OBJETIVOS .....	10
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
2.1 POLIETILENO (PE).....	12
2.2 HISTORIA DE LOS COMPUESTOS Y NANOCOMPUESTOS .....	13
2.3 MEZCLAS Y NANO COMPUESTOS DE LOS POLÍMEROS .....	14
2.4 TIPOS DE MEZCLAS .....	15
2.5 MATERIALES NANOCOMPUESTOS.....	17
2.6 TIPOS DE PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LOS POLÍMEROS.....	19
2.7 LA MÁQUINA DE INYECCIÓN.....	23
2.8 PARTES PRINCIPALES DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN.....	23
2.9 MOLDE .....	28
2.10 ETAPAS DEL MOLDEO POR INYECCIÓN .....	33
2.11 PARÁMETROS EN EL PROCESO DE LA INYECCIÓN .....	40
2.12 VARIABLE A TENER EN CUENTA .....	47
2.13 VERSIONES DE MOLDEX 3D .....	57
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>59</b>
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>69</b>
<b>CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO</b> .....	<b>99</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>102</b>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## CONTENIDO DE IMAGENES

	PÁG.
IMAGEN 1 UNIDAD DE INYECCIÓN .....	24
IMAGEN 2 - UNIDAD DE CIERRE MECÁNICO Y HIDRÁULICO.....	25
IMAGEN 3 - UNIDAD DE POTENCIA.....	27
IMAGEN 4 - MOLDE.....	28
IMAGEN 5 - ETAPAS DE MOLDE POR INYECCIÓN .....	33
IMAGEN 6 - CARCASA (MOLDE) .....	59
IMAGEN 7 – DIMENSIONES GENERALES CARCASA (MOLDE) .....	60
IMAGEN 8 DISEÑO PUNTO DE ENTRADA DEL MATERIAL .....	69
IMAGEN 9 COMPARACIÓN PUNTO DE ENTRADA DE MATERIAL Y PUNTO DE INYECCIÓN .....	69
IMAGEN 10 DIMENSIONAMIENTO DEL MOLDE.....	70
IMAGEN 11 DISEÑO SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	71
IMAGEN 12 PARÁMETROS DISEÑO SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PROGRAMA MOLDEX .....	72
IMAGEN 13 MATERIAL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD SIN CARGAS .....	75
IMAGEN 14 - PRESIÓN DE LLENADO MOLDE DE 1 CAVIDAD .....	76
IMAGEN 15 - PRESIÓN DE LLENADO MOLDE DE 1 CAVIDAD .....	77
IMAGEN 16 - MÁXIMA TEMPERATURA DE LLENADO MOLDE DE 1 CAVIDAD .....	79
IMAGEN 17 - MÁXIMA TEMPERATURA DE LLENADO MOLDE DE 1 CAVIDAD .....	80
IMAGEN 18 - MÁXIMA TEMPERATURA DE LLENADO MOLDE DE 1 CAVIDAD .....	81
IMAGEN 19 – POLIETILENO SIN CARGA .....	82
IMAGEN 20 – POLIETILENO CON CARBONATO AL 5% .....	83
IMAGEN 21 – POLIETILENO CON CABOSIL AL 5% .....	84
IMAGEN 22 – RESULTADO DE LA MEDICION .....	85
IMAGEN 23 – PERFIL DE LLENADO .....	87



INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Código	FDE 089
Versión	01
Fecha	2013-09-16

IMAGEN 24 - PRESIÓN DE LLENADO MOLDE DE 2 CAVIDADES ..... 89

IMAGEN 25 - PRESIÓN DE LLENADO MOLDE DE 2 CAVIDADES ..... 90

IMAGEN 26 - PRESIÓN DE LLENADO MOLDE DE 2 CAVIDADES ..... 91

IMAGEN 27 - TEMPERATURA DE LLENADO MOLDE DE 2 CAVIDADES..... 93

IMAGEN 28 - TEMPERATURA DE LLENADO MOLDE DE 2 CAVIDADES..... 94

IMAGEN 29 - TEMPERATURA DE LLENADO MOLDE DE 2 CAVIDADES..... 95

IMAGEN 30 – PRESIÓN DE BEBEDEROS ..... 97

IMAGEN 31 – PERFIL DE LLENADO ..... 98

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## CONTENIDO DE TABLAS

	PÁG.
TABLA 1 - TABLA COMPARATIVA DE VISCOSIDAD VS VELOCIDAD DE CIZALLADURA.....	63
TABLA 2 VISCOSIDAD DE CIZALLADURA VS RATA DE CIZALLADURA (+ CARBONATO AL 5%) .....	64
TABLA 3 VISCOSIDAD DE CIZALLADURA VS RATA DE CIZALLADURA(+ CABOSIL AL 5%) .....	66
TABLA 4 COMPARATIVA PRESIONES .....	78
TABLA 5 COMPARATIVA TEMPERATURAS. ....	81
TABLA 6 COMPARATIVA RATA DE CIZALLADURA.....	85
TABLA 7 PARAMETROS DEL PROCESO .....	88
TABLA 8 COMPARATIVA PRESIONES DE LLENADO CAVIDAD 1.....	91
TABLA 9 COMPARATIVA PRESIÓN DE LLENADO CAVIDAD 2 .....	92
TABLA 10 COMPARATIVA TEMPERATURAS DE LLENADO CAVIDAD 1 .....	96
TABLA 11 COMPARATIVA TEMPERATURAS DE LLENADO CAVIDAD 2 .....	96

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la industria de los polímeros ha hecho que el desarrollo de productos en el área de inyección se haga de forma empírica a través de la técnica del ensayo y error; generando elevados costos de desarrollo de productos y producción. Todo esto ha evidenciado la necesidad de utilizar herramientas de simulación que determine el comportamiento de los materiales compuestos durante su proceso de transformación, logrando con esto aumentar la eficacia en el proceso; obteniendo mayor calidad en los productos a más bajo costo. Se pretende elaborar una simulación de un proceso PIM por medio del software MOLDEX 3D para así determinar el comportamiento de un material compuesto sometido a este proceso, en comparación con uno no compuesto, todo esto con el fin de determinar si los materiales y parámetros son los más adecuados, teniendo en cuenta que el objetivo del uso de los materiales compuestos es mejorar las propiedades mecánicas del producto final, asumiendo que con estos materiales pueden llegar a cambiar los parámetros del proceso inicial, ocasionado por los cambios de propiedades físicas como: punto de fluidez, densidad, temperaturas de fusión, reología del material, entre otros.

La solución de proceso, fruto exclusivamente del estudio del llenado del molde, permite: conocer el número y disposición de las entradas; la obtención de un sistema bien balanceado; determinar el perfil de velocidades de inyección óptimo para minimizar las tensiones residuales; encontrar el tiempo de llenado más adecuado; evaluar la posición y calidad de las líneas de soldadura y atrapamiento de aire y estimar la presión de inyección. Así esta solución permite diseñar en una primera fase la cavidad del molde, el sistema de llenado y evacuación de gases, así como dimensionar en una primera etapa las características de la máquina de inyectar necesaria.(Dang, 2014)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 1.1 OBJETIVOS

- **General**

Estudiar el comportamiento de los materiales compuestos en el proceso del moldeo por inyección usando software de simulación.

- **Específicos**

1. Investigar el estado del arte sobre el proceso de moldeo por inyección y el uso de programas de simulación.

2. Analizar el comportamiento térmico y reológico de un material compuesto en un molde de inyección

3. Realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos de un material compuesto y un material no compuesto.

4. Concluir resultados del aprendizaje

### **Actividades**

#### **Objetivo Especifico 1**

Estudiar y clasificar la información recopilada por medio de los semilleros de investigación del área de materiales, artículos de investigación y herramientas ofimáticas, para lograr comprender el alcance de la simulación.

#### **Objetivo Especifico 2 y 3**

a) Seleccionar un molde de inyección.

b) Seleccionar material compuesto para ejecución del proyecto.

c) Realizar la caracterización del material.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- d) Ejecutar el pre proceso de la geometría del molde seleccionado para la investigación.
- e) Realizar los ensayos y simulaciones requeridos.
- f) Analizar los resultados obtenidos de la simulación.
- g) Comparar los resultados obtenidos.

**Objetivo Especifico 4**

- a) Elaboración de conclusiones, metodologías y aprendizajes en el desarrollo del proyecto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 POLIETILENO (PE)

Se le llama con las siglas PE. Existen fundamentalmente tres tipos de polietileno:

a) PE de Alta Densidad: Es un polímero obtenido del etileno en cadenas con moléculas bastantes juntas. Es un plástico incoloro, inodoro, no toxico, fuerte y resistente a golpes y productos químicos. Su temperatura de ablandamiento es de 120° C. Se utiliza para fabricar envases de distintos tipos de fontanería, tuberías flexibles, prendas textiles, contenedores de basura, papeles, etc. Todos ellos son productos de gran resistencia y no atacables por los agentes químicos.

b) PE de Mediana Densidad: Se emplea en la fabricación de tuberías subterráneas de gas natural los cuales son fáciles de identificar por su color amarillo.

c) PE de Baja Densidad: Es un polímero con cadenas de moléculas menos ligadas y más dispersas. Es un plástico incoloro, no toxico, más blando y flexible que el de alta densidad. Se ablanda a partir de los 85°C. Por tanto se necesita menos energía para destruir sus cadenas, por otro lado es menos resistente. Aunque en sus más valiosas propiedades se encuentran un buen aislante. Lo podemos encontrar bajo las formas de transparentes y opaco. Se utiliza para bolsas y sacos de los empleados en comercios y supermercados, tuberías flexibles, aislantes para conductores eléctricos (enchufes, conmutadores), juguetes, etc. Que requieren flexibilidad.(Lee et al., 2005)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 2.2 HISTORIA DE LOS COMPUESTOS Y NANOCOMPUESTOS

Los materiales compuestos se han empleado desde el principio de la civilización. En el antiguo Egipto se mezclaba la paja con la arcilla para mejorar su resistencia al agrietamiento. Sin embargo, los principales avances en la comprensión y utilización de los materiales compuestos han ocurrido durante los últimos 40 años. En 1962 comienza la producción de fibras de carbono de alta resistencia, y se establece la teoría del laminado. El hormigón, como una mezcla de cemento y áridos, y la madera, en el que fibras de celulosa están embebidas en una matriz de lignina. Es el comienzo de lo que se define como Materiales Compuestos Avanzados, o materiales estructurales reforzados por fibras continuas de altas características, que ofrecen unas propiedades mecánicas comparables o superiores a la aleación metálica.

Las propiedades de un material compuesto dependen de las propiedades de los constituyentes, de la geometría y de la distribución de fases. Uno de los parámetros más importantes es la fracción en volumen o la concentración del refuerzo. La distribución del refuerzo es una medida de homogeneidad, mientras que su orientación afecta a la anisotropía del sistema.

Los materiales compuestos se clasifican en primer término con arreglo a la matriz. Por consiguiente, tenemos materiales compuestos de matriz metálica, de matriz polimérica y de matriz cerámica. Asimismo, se clasifican según la forma del refuerzo.

Por tanto hay materiales compuestos particulados, de fibra y laminares. En la mayor parte de las aplicaciones, el refuerzo tiene una resistencia mecánica y un módulo mayor que el de la matriz. ("Introducción a los materiales compuestos," 1962)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

### 2.3 MEZCLAS Y NANO COMPUESTOS DE LOS POLÍMEROS

La mezcla de polímeros permite obtener materiales con buenas propiedades físicas y procesabilidad con amplio rango de aplicaciones en el mercado.

En la actualidad, es común agregar fases orgánicas o inorgánicas a matrices poliméricas con el objetivo de reforzarlas o mejorar algunas de sus propiedades mecánicas y en este sentido los nanocompuestos representan uno de los materiales que han tenido mayor auge en los últimos años, en el área de los materiales compuestos. Muchos productos con características particulares han sido empleados como refuerzo en materiales compuestos y entre ellos, los refuerzos con fibras inorgánicas son los más populares, sobre todo la fibra de vidrio. Por su parte los nanocompuestos en los que el tamaño de su carga dispersa se encuentran en el orden de los micrómetros. (Lee et al., 2005)

Un tipo de nanocompuesto se basa en la formación de partícula de silicato, una elevada relación de aspecto como (relación de longitud, diámetro) en la que al menos una de las relaciones de la partícula dispersada en la matriz polimérica están en el rango de nanométrico. La dispersión de estas partículas nanoscópicas en polímeros origina una enorme área interfacial por unidad de volumen de aproximadamente 700 mm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> esta particularidad unida a las dimensiones de la nanopartícula, son las características principales que diferencian a los nanocompuestos de los materiales compuestos y reforzados tradicionales. Además se logra un significativo aumento en las propiedades mecánicas con la incorporación de un reducido en el porcentaje de nanopartículas. ("Introducción a los materiales compuestos," 1962)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

### ***Limitantes en el Desarrollo de Mezclas Poliméricas:***

Una Limitante del mezclado de los polímeros es la inmiscibilidad de la mayoría de los sistemas, debido a la naturaleza macromolecular de los componentes y la baja interacción existentes entre las fases. Se ha encontrado que la adición de ciertas especies poliméricas generalmente copoliméricos en bloque o en injerto polímeros funcionalizados con grupos polares, resuelve en gran parte estos problemas como resultado de las actividades interfaciales. A estos compuestos se les denomina Agentes Compatibles.

## **2.4 TIPOS DE MEZCLAS**

### ***Mezclas de Poli-olefinas***

El mezclado de polímeros permite tener materiales con buenas propiedades físicas y procesabilidad, siempre y cuando se tomen en consideración aspectos relacionados con las propiedades reológicas de los componentes y sus proporciones. En los estudios realizados en las mezclas de polietilenos de baja densidad (PEBD) y de polietileno lineal de baja densidad (PELBD) se encontró que además que las curvas de viscosidad en función de la velocidad de deformación, hay que determinar las viscosidades de elongación en los componentes para obtener buenas propiedades mecánicas en el proceso de fabricación de películas tubulares convergentes y/o a partir de la presión obtenida en reometría capilar. Sin embargo, en mezclas de polipropileno (PP) con polietilenos y/o Poliestirenos (PS) con PP se deben usarse agentes que compatibilizan los componentes de la mezcla para obtener buenas propiedades mecánicas. (Rosales, Perera, Matos, Poirier, & Rojas, 2006)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

### ***Mezclado Reactivo***

En el mezclado reactivo se incorporan materiales, generalmente copolímeros en bloque o en injerto Y/O polímeros funcionalizados que poseen segmentos capaces de promover interacciones moleculares tales como puentes de Hidrógenos, enlaces covalentes, interacciones dipolo-dipolo, interacciones iónicas Y/o reacciones químicas entre los componentes de la mezcla o a lo largo de la interface.

Se han reportado en la literatura diferentes mezclas de polímeros con poli olefinas funcionarizadas con dietilmaleato (PE-F-DEM).

Entre ellas se encuentran mezclas binarias de PVC con PP-f-DEM de PED con PE-f-DEM, de poliamida 6 con PP-f-DEM y con polietilenos lineales de ultra baja densidad, en estas mezclas además de tener en cuenta el comportamiento reológico de los componentes, también se estudió la influencia de los grados de funcionalización de los polímeros modificados y se encontró una disminución en el tamaño de las partículas de la fase dispersa cuando se tiene un buen control de las características anteriores, así como las condiciones de procesamiento de estas mezclas.

En las mezclas ternarias reactivas se emplea un agente compatibilizante. Además de los parámetros anteriores se deben tener presentes las características reológicas de este compatibilizante, además de su efecto emulcificante, se ha realizado mezclas ternarias SEBS-f-DEN y PP-f-DEN con agentes copatibilizantes y se encontró que estos materiales son efectivos agentes emulsificantes. (Rosales et al., 2006)

### ***Funcionalización***

La funcionalización se refiere a la inserción de grupos polares o a los materiales poliméricos. Estas reacciones pueden ser llevadas a cabo en solución y/o en fundido. Sin embargo en fundido se eliminan el uso de solventes, aunque en solución se obtiene

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

mayor grado de funcionalización. Los polímeros funcionalizados se usan como agentes compatibilizantes y en la preparación de nanocompuesto de polímeros no polares, tales como el polipropileno (PP). Los grados de funcionalización y del SEBS con DEN no son elevados debido a las reacciones secundarias que compiten con las reacciones de funcionalización y además se obtiene una modificación de las propiedades reológicas de estos materiales, con una elevada disminución de la viscosidad.

## 2.5 MATERIALES NANOCOMPUESTOS

Un material nanocompuesto es una combinación de una matriz polimérica e inclusiones que poseen al menos una dimensión dentro de la escala manométrica como puede ser la longitud, ancho o espesor (monos de 10nm). Las inclusiones introducidas en una matriz pueden clasificarse en:

**Manosees:** láminas formadas por cadenas de partículas o átomos de un material (grafito, silicatos y otros minerales).

**Nanowires:** nanotubos formados por cadenas de carbono u otro tipo de compuesto.

### **Nanopartículas de Sílice:**

La sílice, es el principal componente de la corteza terrestre, pero aún queda mucho por aprender de su química y de su comportamiento. El término sílice se utiliza como una denominación abreviada conveniente del "dióxido de silicio" para sus fases cristalinas, amorfas e hidratado o en formas de hidroxilados

### **Nanopartículas:**

Partículas de escala manométrica (sílice, metal y otras partículas orgánicas e inorgánicas).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Debido a que las nanopartículas suelen contener de 106 átomos o menos, sus propiedades difieren de aquellas que tienen los mismos átomos enlazados entre sí pero para formar materiales voluminosos.

El pequeño tamaño de las inclusiones, dentro de la matriz polimérica se produce una interacción molecular entre el polímero y las nanopartículas introducidas obteniendo un polímero nanocompuesto con propiedades inusuales que los polímeros convencionales no poseen. Para obtener unas propiedades óptimas, la mezcla entre los nano inclusiones y la matriz polimérica debe ser homogénea, intentando obtener la mejor dispersión posible, es muy importante una buena dispersión en el interior de la matriz de los materiales nanocompuestos debido a que las propiedades físicas de este tipo de materiales dependen de la habilidad para producir una buena interacción entre las inclusiones y las cadenas poliméricas, ya que con esta interacción favorable y la gran cantidad de interface generada debido a la extraordinaria relación superficie/volumen de las nanopartículas hará que el comportamiento macromolecular (por ejemplo su dinámica) cambie pudiéndose mejorar las propiedades finales del material. (Lee et al., 2005)

***Mejoras obtenida de polímeros con nanocompuestos:***

Las mejoras que se pueden conseguir de este tipo de materiales son: propiedades mecánicas, resistencia a gases, retardante de inflamabilidad, estabilidad dimensional, expansión térmica, conductividad térmica y resistencia química.

***Desventajas de la utilización de nanocompuestos:***

Las principales desventajas en general son el aumento de la viscosidad del material en estado fundido limitando su procesabilidad, dificultad en la distribución y la dispersión

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

de las inclusiones, sedimentación y modificación de las propiedades ópticas dependiendo de la naturaleza del material introducido en la matriz.(Lee et al., 2005)

***Ventajas de utilización de software para investigar comportamiento de los nanocompuestos:***

Con el software de simulación tenemos la posibilidad de funcionarizar y caracterizar los diferentes materiales utilizados, permitiendo optimizar y controlar las mezclas de nanocompuestos.(Nardin, Kuzman, & Kampus, 2002)

**2.6 TIPOS DE PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LOS POLÍMEROS**

Aunque existe un número mayor de procesos de los aquí citados, se han seleccionado para su descripción los principales procesos de transformación, los cuales se pueden encontrar con más frecuencia y representan el 90% de los procesos de transformación de estos materiales. Según esto, los principales procesos de transformación de plásticos son:

***Extrusión:***

La extrusión consiste en la utilización de un flujo continuo de materias primas para la obtención de productos lineales. Las materias primas se someten a fusión, transporte, presión y deformación. El polímero fundido es forzado a pasar a través de un 'Dado' también llamado boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido. Algunos de los

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

productos que comúnmente se obtienen mediante este proceso son: perfiles, tuberías, placas, láminas, cables.(Outline, 2012)

***Calandrado:***

El calandrado es un proceso continuo de conformado que consiste en hacer pasar un material sólido a presión entre rodillos de metal generalmente calientes que giran en sentidos opuestos. La finalidad puede ser obtener láminas de espesor controlado o bien modificar el aspecto superficial de la lámina. Este proceso se aplica a una gran variedad de materiales, incluyendo metales, fibras textiles, papel y polímeros. En concreto el calandrado de termoplásticos consiste en pasar el plástico por una serie de rodillos para producir una hoja continua. En este recorrido el plástico parte del estado sólido en la forma de suministro, pasa por el estado líquido-plastificado y finalmente llega de nuevo al estado sólido en forma final del mismo. Alguno de los rodillos puede estar grabado para dar una textura a la hoja resultante. El espesor de la lámina está dado por la distancia existente entre dos rodillos. Con este proceso se producen láminas que se utilizan como materia prima para otros procesos secundarios, pero también productos como cortinas de baño, alfombras e impermeables. (Pantani, Coccorullo, Speranza, & Titomanlio, 2005)

***Inyección:***

El moldeo por inyección es una de las tecnologías de procesamiento de plástico más famosas, ya que representa un modo relativamente simple de fabricar de forma discontinua componentes con formas geométricas de alta complejidad.

Para ello se necesita una máquina de inyección que incluya un molde. En este último, se fabrica una cavidad cuyo tamaño y forma son idénticos a los de la pieza que se desea obtener. La cavidad se llena con plástico fundido aplicando presión, el cual se solidifica, manteniendo la forma moldeada. (Ozcelik & Sonat, 2009)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**Soplado:**

El moldeo por soplado es un proceso por medio del cual se producen objetos de plástico huecos, como por ejemplo botellas. Es un proceso discontinuo que consta en general de dos pasos: el primero es la obtención de una preforma y el segundo el soplado de un fluido en su interior, para inflándola adaptar su exterior (y también su interior) al interior de un molde. El primer paso se puede realizar principalmente de dos maneras, una es obtener esa preforma por inyección y otra consiste en la extrusión del polímero fundido a través de un dado especial con un perfil tubular llamado parisón. En ambos casos, tras obtener esa preforma, se procede a su inflado en un molde, dentro del cual toma la forma final el polímero. (Outline, 2012)

**Termo conformado:**

El termo conformado, o simplemente termo formado, es un proceso discontinuo de fabricación de piezas abiertas en la que se parte de una lámina de materiales plásticos (ABS, PVC, HIPS, PP, PET, etc.) que previamente ha sido obtenida por otro método de fabricación, y a la cual, por la acción del calor proporcionado por una pantalla, placa u horno, se eleva la temperatura para que esté apta para la deformación. Luego, sobre un molde o matriz y aplicando aire comprimido o vacío (o inclusive ambos), se hace adherir la lámina al molde, el cual rigidiza la pieza por estar más frío que aquella. En algunos casos, para estirar la lámina, se utilizan preformas. Los moldes pueden contar también con filos para separar el contorno de la pieza de la lámina plana, la cual quedará con el "agujero" generado por la extracción de la pieza termoconformadas. (Outline, 2012)

**Roto moldeado:**

El roto moldeado o moldeo rotacional es una técnica discontinua de procesamiento de polímeros que permite obtener piezas de tamaño mediano a muy grande con relativamente poco material y buena estabilidad. El moldeo rotacional consiste en disponer dentro de un molde el termoplástico fundido y hacer girar dicho molde en dos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

planos simultáneamente para conseguir el llenado completo del mismo y la compactación del material en su interior.

***Moldeo por compresión:***

El moldeo por compresión es un proceso discontinuo de conformado de piezas en el que el material es introducido en un molde abierto al que luego se le aplica presión y calor, para que el material adopte la forma del molde y para que reticule y adopte definitivamente la forma deseada. En algunos casos la reticulación es acelerada añadiendo reactivos químicos, por ejemplo peróxidos. Se habla entonces de moldeo por compresión con reacción química.

También se utiliza este proceso con materiales compuestos, por ejemplo plásticos reforzados con fibra de vidrio. En este caso el material puede no llegar a reticular, en cuyo caso adopta una forma fija gracias a la orientación imprimida a las fibras durante la compresión. El moldeo por compresión es el método menos utilizado en obtención de piezas.

***Otros:***

Estos otros procesos no tan comunes industrialmente son: sinterizado, recubrimiento por cuchilla, inmersión, transferencia, bobinado o enrollamiento de filamento continuo, moldeo por centrifugación, pultrusión, colada, extensión, proyección con pistola, inmersión, moldeo por contacto, vaciado, esperado y RIM.(Yustos et al., 2008)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 2.7 LA MÁQUINA DE INYECCIÓN

El propósito de la maquina inyectora de plástico es ser capaz de suministrar la materia prima requerida por el usuario al molde el cual debe de tener un sistema de enfriamiento apropiado para que el producto se encuentre en buen estado y no pierda sus propiedades y especificaciones indicadas. Los sistemas que componen a la maquina son: sistema hidráulico, térmico, mecánico, de enfriamiento y de control. Cuando se aplica calor a un material termoplástico para fundirlo se dice que se plastifica. El material ya fundido o plastificado por calor puede hacer se fluir mediante presión y llenar un molde donde el material solidifica y toma forma del molde. Este proceso se le nombra moldeo por inyección.(Brandau & Container, 2012)

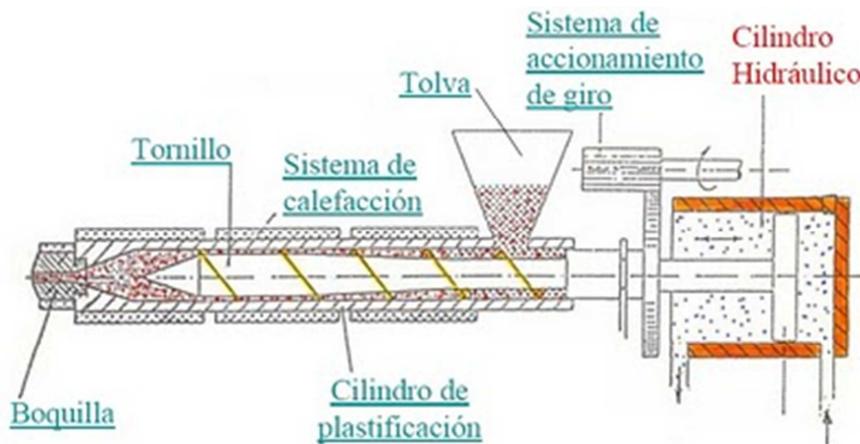
## 2.8 PARTES PRINCIPALES DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN

Unidad de Inyección:

La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos (tornillos de hierro o madera que se usan en el movimiento de algunas máquinas) de diferentes características según el polímero que se desea fundir. El estudio del proceso de fusión de un polímero en la unidad de inyección debe considerar tres condiciones termodinámicas:

- La temperatura de procesamiento del polímero.
- La capacidad calorífica del polímero  $C_p$ . [cal/g °C].
- El calor latente de fusión, si el polímero es semicristalino.

En la siguiente imagen se describen las principales partes que conforman la unidad de inyección.



**Imagen 1 Unidad de Inyección**

**Fuente** ("Unidad de inyeccion," 2012)

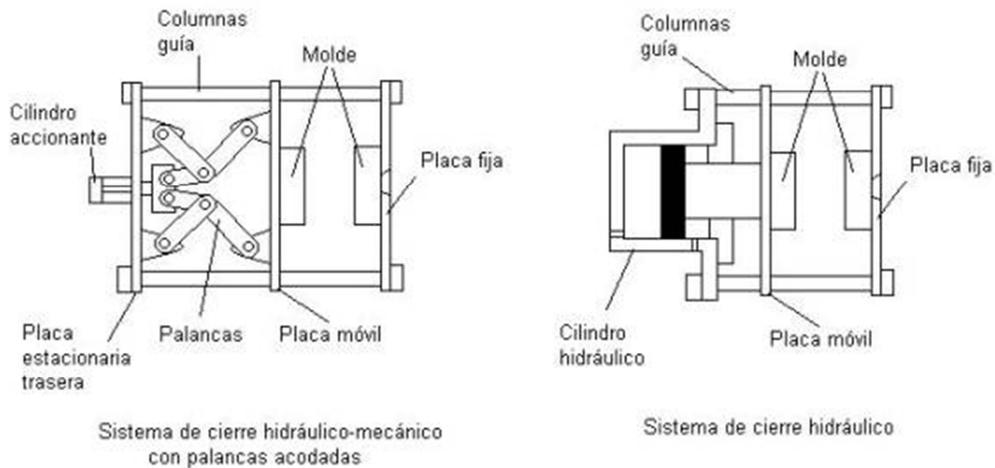
Unidad de Cierre:

Es una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre bastante grande que contrarresta la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en el molde. Las fuerzas localizadas pueden generar presiones del orden de cientos de Mpa, que sólo se encuentran en el planeta de forma natural únicamente en los puntos más profundos del océano.

Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapará por la unión del molde, causando así que la pieza final tenga defectos de rebabas. Es común utilizar el área proyectada de una pieza (área que representa perpendicularmente a la unidad de cierre el total de la cavidad) para determinar la fuerza de cierre requerida, excluyendo posibles huecos o agujeros de la pieza.

En la imagen 2 podemos observar la diferencia entre una prensa mecánica y una hidráulica.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



**Imagen 2 - Unidad de Cierre Mecánico y Hidráulico**

**Fuente** (Apache/2.0.52 (Centos), 2011)

### Unidad de Potencia

Es el sistema que suministra la potencia necesaria para el funcionamiento de la unidad de inyección y de la unidad de cierre. Los principales tipos de sistemas de potencia se pueden clasificar como.

- Sistema de motor eléctrico con unidad reductora de engranajes
- Sistema de motor hidráulico con unidad reductora de engranajes
- Sistema hidráulico directo

Sistema de potencia eléctrico: El sistema eléctrico se utiliza generalmente en máquinas relativamente pequeñas. Este sistema se emplea tanto para el giro del tornillo como para la apertura y cierre del molde. La máquina emplea dos sistemas mecánicos de engranajes y palancas acodadas, uno para el cierre del molde y otro para el tornillo. Cada uno accionado por un motor eléctrico independiente. El accionamiento del tornillo cuando realiza la inyección lo ejecuta un cilindro hidráulico. En los sistemas con motor eléctrico, la velocidad puede ajustarse sólo en un determinado número de valores, lo cual puede ocasionar problemas en la reproducción de parámetros de operación y

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

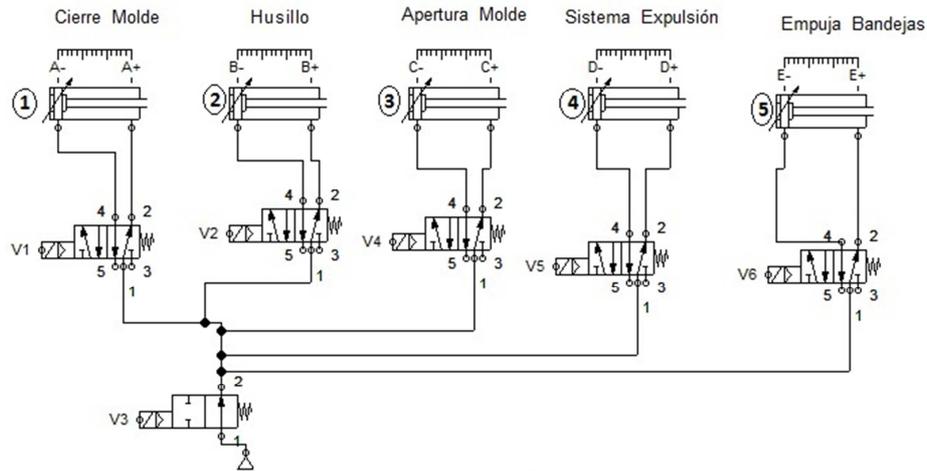
dificultar la obtención de piezas con una calidad constante. Los motores eléctricos generan grandes torques de arranque, por lo que debe tenerse precaución al usar tornillos con diámetros pequeños para evitar que se rompan.

Sistema de potencia hidráulico: Los motores hidráulicos son los más comúnmente utilizados, su funcionamiento se basa en la transformación de la potencia hidráulica del fluido en potencia mecánica. A diferencia de los sistemas electromecánicos, donde la potencia es transmitida a través de engranajes y palancas, en un sistema con fluidos estos elementos se sustituyen, parcial o totalmente, por tuberías de conducción que llevan el fluido a presión a los pistones de inyección y de cierre del molde. El fluido que más se utiliza es el aceite debido, principalmente, a sus propiedades lubricantes en aplicaciones que involucran grandes cargas. En los sistemas hidráulicos es común utilizar presiones que varían entre los 70 y 140 kg/cm<sup>2</sup>. Las ventajas del motor hidráulico con respecto al eléctrico pueden resumirse principalmente en fácil variación de velocidades, regulando el volumen de fluido. Imagen 3 podemos observar un esquema con las válvulas y actuadores que conforman la unidad de potencia, nos permite una relación entre el torque y velocidad. El límite de torque se determina por la presión limitante y el torque de arranque es aproximadamente igual al de funcionamiento.

Permite arranques y paradas rápidos debido al pequeño momento de inercia.

Permite relaciones bajas de peso potencia, lo que posibilita alcanzar altas velocidades de inyección del material.(Selvaraj & Venkataramaiah, 2013)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



**Imagen 3 - Unidad de Potencia**

Fuente(Selvaraj & Venkataramaiah, 2013)

**La unidad de control:**

Este sistema básicamente contiene un controlador lógico programable (PLC) y controladores PID para las resistencias eléctricas del barril y de la boquilla. El PLC permite programar la secuencia del ciclo de inyección y recibe señales de alarma, por sobrepresión o finales de carrera, para detener el ciclo. Los controladores PID son los más adecuados para el control de temperatura debido a su elevada velocidad de respuesta para mantener la temperatura a los niveles requeridos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 2.9 MOLDE

En la siguiente imagen se toma como referencia el molde de una carcasa de un celular de una cavidad. Que es la base experimental para el ensayo



Imagen 4 - Molde

Fuente(Arturo, 2010)

El molde (también llamado herramienta) es la parte más importante de la máquina de inyección, ya que es el espacio donde se genera la pieza; para producir un producto diferente, simplemente se cambia el molde, al ser una pieza intercambiable que se atornilla en la unidad de cierre.(Selvaraj & Venkataramaiah, 2013)

### **Las partes del molde son:**

- **Cavidad:** es el volumen en el cual la pieza será moldeada.
- **Canales o ductos:** son conductos a través de los cuales el polímero fundido fluye debido a la presión de inyección. El canal de alimentación se llena a través de la boquilla, los siguientes canales son los denominados bebederos y finalmente se encuentra la compuerta.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- **Canales de enfriamiento:** Son canales por los cuales circula agua para regular la temperatura del molde. Su diseño es complejo y específico para cada pieza y molde, ya que de un correcto enfriamiento depende que la pieza no se deforme debido a contracciones irregulares.
- **Barras expulsoras:** Al abrir el molde, estas barras expulsan la pieza moldeada fuera de la cavidad, pudiendo a veces contar con la ayuda de un robot para realizar esta operación. (Pot, 2011)
- **Consideraciones básicas:** En primer lugar se va a describir la composición general de un molde. Los moldes de inyección generalmente están formados por dos mitades llamadas parte fija o de inyección y parte móvil o de expulsión:
- **Parte fija o de inyección:** Se llama así porque es la parte del molde que no se mueve cuando la inyectora realiza todos sus movimientos. Está sujeta al plato fijo de la maquina inyectora y es donde apoya el cilindro de inyección de la misma. Esto se hace por el lado contrario a la zona donde está definida la cavidad de la pieza, por donde se introduce en el molde el plástico fundido. Es decir, es la que está más cerca del grupo de inyección.
- **Parte móvil o de expulsión:** Es la parte que está sujeta al plato móvil de la máquina y se mueve solidariamente con éste. También es donde está normalmente ubicado el sistema de expulsión de la pieza cuando está fría.

A continuación se describen los elementos principales de cada una de las dos partes del molde:

- **Parte fija del molde:** Placa base: Es una placa de dimensiones (ancho y alto) adecuadas para que, según el tamaño de pieza a inyectar, queden espacios libres por donde se podrá sujetar mediante bridas al plato fijo de la máquina. Esta placa será lo suficientemente gruesa, como para evitar deformaciones, lo que influirá en el peso total del molde.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- **Placa porta figuras:** Existen en ambas mitades. Son las placas donde se realizan las figuras de la pieza, bien como postizos ajustados en la misma, bien directamente realizados sobre ella. Estos postizos o figuras definen en su interior las cavidades de las piezas y de los canales de llenado, en general se puede decir que uno será hembra y otro macho. La hembra suele situarse siempre que sea posible en la parte fija del molde. Y el macho, llamado también punzón, suele ubicarse en la parte móvil.
- **Centrador:** El centrador sirve para centrar el molde en la máquina. Suele ser circular y sobresale de la placa base para entrar con bastante ajuste en el plato fijo de la máquina. Así, una vez centrado el molde, el cilindro de inyección de la máquina coincide con el orificio por donde tiene que entrar el plástico fundido en el molde. (Selvaraj & Venkataramaiah, 2013)
- **Bebedero, canales de distribución y entradas:** Estos elementos son los huecos creados en el molde, que sirven para que el plástico fundido que viene del cilindro de inyección de la máquina, pueda llegar a través de ellos hasta los huecos que tienen la forma de la pieza. Se pueden encontrar en cualquiera de las dos mitades del molde. Podemos distinguir la mazarota, como primer tramo, donde la boquilla de la máquina apoya ajustándose al molde. Después pueden existir canales de distribución primarios, y a su vez otros canales, llamados secundarios, que derivan de aquellos. Finalmente están los bebederos y entradas a pieza. Estas entradas tienen diferentes formas según su utilización y materiales empleados. Todos estos conductos acaban teniendo material que no entra en la pieza, y por tanto su minimización y estudio debe ser exhaustivo. También es posible mantener estos conductos a una temperatura lo suficientemente alta, mediante resistencias integradas en el molde, que mantenga el plástico fundido, sin llegar a degradarse. Entonces se habla de moldes con canales calientes.
- **Circuitos de refrigeración:** Ambas partes del molde tienen una serie de circuitos, en el interior de la placa porta figuras o en los postizos que tienen las

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

figuras de la pieza, por donde pasa el líquido refrigerante. Con este sistema, a una temperatura dada del líquido refrigerante y trabajando la máquina de forma continuada en tiempo de un ciclo determinado, se establece un equilibrio entre la cantidad de calor que se suministra al molde con el plástico fundido y la cantidad de calor que le quitamos al molde con el líquido refrigerante.

- **Guías o columnas del molde:** Ambas partes del molde tienen un sistema de guías en una parte y de agujeros guía en la otra, de alto nivel de ajuste, que aseguran un perfecto acoplamiento de las partes, evitando movimientos de una parte respecto a la otra cuando recibe la presión del plástico fundido que llega a las cavidades.

Permite también el poder realizar los ajustes finos de ambas partes, en las fases de construcción o reparación del molde. El número de guías y agujeros guía y su situación en los moldes depende del tamaño del mismo. (Selvaraj & Venkataramaiah, 2013)

#### **Parte móvil del molde:**

- **Placa base:** Al igual que para la parte móvil, sirve para su sujeción mediante bridas u otros elementos de fijación al plato móvil de la máquina de inyección. A diferencia de la anterior, esta placa normalmente no lleva centrador, pero lleva un orificio en su parte central que permite la entrada, por su zona posterior, del vástago expulsor de la máquina, hasta la placa expulsora del molde.
- **Placa expulsora:** Es una placa doble que lleva los expulsores y los recuperadores. Va guiada y se encuentra flotante en un determinado espacio dentro de esta mitad de molde. Su misión consiste en extraer la pieza, por medio de los expulsores que están unidos a ella, cuando el vástago de expulsión de la máquina hace presión sobre ella. Mediante los recuperadores se lleva a la placa expulsora a la posición de inicio en el momento del cierre de ambas mitades.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- **Regles:** Son gruesos de hierro, puestos a ambos lados del molde, sujetos a la placa base y placa porta figuras mediante tornillos. Crean un hueco central entre la placa base y la placa porta figuras, por donde se deslizará mediante guías la placa expulsora.
- **Expulsores:** Pueden tener diferentes formas, según la pieza, aunque lo común es que sean de forma cilíndrica o laminar. Tienen un extremo unido a la placa expulsora y formando el otro parte de la superficie de molde en contacto con el plástico. Este último extremo hace de trasmisor directo de los esfuerzos de extracción sobre la pieza alojada en la cavidad del molde.(Selvaraj & Venkataramaiah, 2013)
- **Recuperadores:** Son varillas cilíndricas de mayor tamaño que los expulsos, ubicadas fuera del área de la pieza del molde y su misión es evitar que los expulsos dañen el molde cuando se cierran ambas mitades. Se asegura así una recuperación de la placa expulsora y de los expulsos hasta su posición inicial.
- **Salida de gases:** Son pequeños desajustes creados de forma precisa en el molde que están situados principalmente en las terminaciones del llenado de las piezas. Permiten que el aire que hay en los huecos de la cavidad a llenar, junto con los gases que se generan en la inyección, puedan salir del molde al exterior. Estas salidas son de tal tamaño (aproximadamente 0.02mm) que permiten que salgan los gases pero no el plástico.
- **Agujeros roscados y cáncamos:** El molde posee en todas sus placas agujeros roscados suficientemente grandes para la colocación de cáncamos, que serán utilizados durante el manejo en el taller por medio de polipastos o puentes grúa.(Selvaraj & Venkataramaiah, 2013)

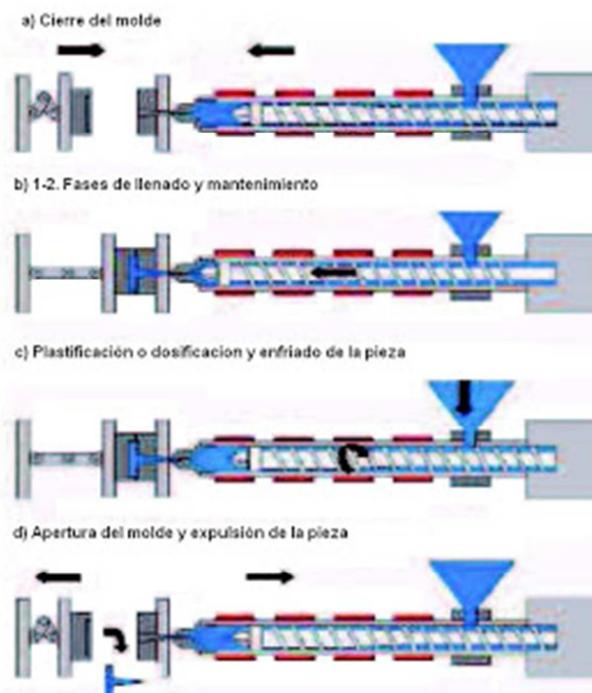
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 2.10 ETAPAS DEL MOLDEO POR INYECCIÓN

El proceso de obtención de una pieza de plástico por inyección, sigue un orden de operaciones que se repite para cada una de las piezas. Como se muestra en la imagen 5 que se describen paso por paso el modelado por inyección. Este orden, conocido como ciclo de inyección, se puede dividir en las siguientes etapas:

- a) Cierre del molde.
- b) Inyección: 1 Fase de llenado y 2 Fase de mantenimiento.
- c) Plastificación o dosificación y enfriamiento
- d) Apertura del molde y expulsión de la pieza.

En la imagen a continuación podemos apreciar las etapas en el moldeo de Inyección



**Imagen 5 - Etapas de Molde Por Inyección**

Fuente (MATERIALES, 2011)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**Cierre del molde:** Con el cierre del molde se inicia el ciclo, preparándolo para recibir la inyección del material fundido. En esta fase se aplica la tuerza de cierre, que es aquella que hace la máquina para mantener cerrado el molde durante la inyección. Depende de la superficie proyectada de la pieza y de la presión real (presión específica), que se tiene en la cavidad del molde.(Ozcelik & Sonat, 2009)

**Inyección:** En esta etapa se producen dos fases: fase de llenado y fase de mantenimiento.

**Fase de llenado:** Una vez cerrado el molde y aplicada la fuerza de cierre, se inicia la fase de llenado del molde (inyección). El husillo de la unidad de inyección inyecta el material fundido, dentro del molde y a una presión elevada; al inyectar, el husillo avanza sin rotación. La duración de esta etapa puede ser de décimas de segundo hasta varios segundos, dependiendo de la cantidad de material a inyectar y de las características del proceso.(Pantani et al., 2005)

La finalidad de esta fase es llenar el molde con una cantidad suficiente de material. En la inyección son muy importantes las siguientes variables:

- Velocidad de inyección.
- Presión de inyección.
- Temperatura del material.

La unidad de cierre mueve las dos mitades del molde para unir las. Mediante una fuerza de ésta se cierra el molde herméticamente. La unidad de plastificación se mueve hacia el canal en el molde. La boquilla está abierta y el material que se encuentra delante del husillo es inyectado dentro del molde, por el movimiento de avance del mismo. Los

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

sistemas hidráulicos deben ejercer grandes esfuerzos en la fase de inyección. Además de mantener la fuerza de cierre; han de ser capaces de inyectar el material dentro de la cavidad, a una presión elevada y precisa. Así, el sistema hidráulico debe superar la resistencia ofrecida por la boquilla y por el molde.

En el comienzo de la operación de inyección, el material fundido y homogeneizado está localizado en la cámara de inyección; de esta manera, la unidad de plastificación se desplaza contra el molde para dejar pasar material dentro del molde. El sistema hidráulico ejerce presión sobre el husillo, el cual se mueve axialmente. Esta presión hace que el mismo se mueva hacia delante o hacia la boquilla. El material se expulsa fuera de la cámara de inyección y se introduce en la cavidad dentro del molde. El material fundido solidifica dentro de la cavidad para que la pieza moldeada pueda ser expulsada. Los moldes usados para materiales termoplásticos están sujetos al control de temperatura (enfriamiento).

Esto transporta el calor, el cual ha sido introducido al fundir el material, para permitir solidificar el material. Tan pronto como el material que se moldea contacta con el molde en la operación de inyección, comienza a enfriarse y a solidificar. Por este motivo la inyección debe ocurrir rápidamente, con lo que la cavidad se llena mientras que el material se encuentre fundido.

**Fase de Mantenimiento:** Esto requiere presiones muy grandes ya que el compuesto es muy viscoso, a pesar de las temperaturas elevadas. El material fundido debe superar la resistencia ofrecida por la fricción, en la boquilla y cavidad. Las presiones, en el interior del molde, son altísimas a causa de la inyección; por lo que la unidad de cierre debe ser capaz de mantener el molde cerrado, en oposición a estas presiones. La presión dentro del molde crece hasta un máximo valor, cuando ha sido transportado material suficiente; llenando completamente las cavidades (si bien, bajo ciertas condiciones, la presión máxima se puede alcanzar durante el mantenimiento).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Durante el enfriamiento el material se contrae dentro del molde. Por este motivo se ha de añadir más material para que el volumen de la pieza sea el deseado. En esta fase de mantenimiento, que es posterior a la del llenado en la inyección, la presión interior de la pieza va disminuyendo. Esto ocurre ya que se va enfriando y aumentan las pérdidas de carga desde el husillo hasta el interior del molde. De esta manera, la velocidad de inyección del tornillo es baja porque tiene la finalidad de alimentar, con una cantidad suficiente de material, la cavidad; además de compensar las contracciones que sufre la pieza durante la solidificación.

Cuando la presión ha caído hasta el valor del entorno se puede dar por finalizada la fase de mantenimiento. Esta fase condiciona ciertas características de la pieza final, tales como el peso total, sus tolerancias dimensionales y características internas. Las variables que más afectan en esta fase son:

- Tiempo de mantenimiento de la segunda presión.
- La temperatura del molde.
- Nivel de presión de mantenimiento.
- Ajuste del tiempo de mantenimiento.

Este tiempo dependerá mucho del material que estemos inyectando y del grosor que tenga la pieza que se inyecte. Tiene especial relevancia cuando se emplean materiales semicristalinos, pues las diferencias de volúmenes específicos son considerables entre su estado líquido y el sólido.

Cuando tenemos un tiempo de mantenimiento correcto, se pueden obtener piezas con la compactación adecuada, estabilidad dimensional, ausencia de deformaciones y buenas propiedades mecánicas. Sin embargo, el conseguir dicho tiempo no es una garantía cuando se tiene un punto de inyección demasiado pequeño, pues este solidificará antes de que se llene la cavidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Para ajustar el tiempo de mantenimiento, se recurre a la construcción de una curva que relacione los pesos de las piezas inyectadas con el tiempo para la presión de mantenimiento. De esta forma, empezamos a inyectar con un tiempo igual a cero, esto es, sin presión de mantenimiento. Se empieza la gráfica cuando se tenga la primera pieza completa, aunque no esté compactada. Se aumenta progresivamente el tiempo de mantenimiento, anotando los valores de tiempo y peso de la pieza, hasta que el peso se estabilice. Este resultado puede ser verificado por medio de un corte transversal de la pieza para asegurar la ausencia de porosidades.

Tan pronto como el material llena el molde, éste comienza a enfriarse. El enfriamiento comienza en las paredes del molde y se desplaza hacia el interior de la pieza. Durante un cierto tiempo, el material permanece fluido en la región interna de la pieza moldeada. Al enfriarse el compuesto, este se contrae. Si la presión, o un porcentaje de ella con la que se inyectó, se retira después de la fase de llenado, no será posible controlar las dimensiones de la pieza. Para evitarlo, mientras que la región interna de la pieza permanezca fluida, la presión sobre el material se mantiene. De esta manera, el nuevo material entra al molde para compensar la contracción (En cantidad suficiente).

La presión de mantenimiento generalmente es más baja que la presión de inyección en el llenado, pero si es demasiado baja, o se aplica en un período muy corto, entonces se obtienen piezas defectuosas. La curva de la presión interna del molde influye en la calidad de la producción y de las piezas.

Es importante que la transición de la fase de presión de llenado a la fase de la presión de mantenimiento suceda en el momento correcto. Como se observa en la gráfica P-T, si la transición ocurre demasiado pronto la presión disminuye; por lo que será imposible llenar completamente la cavidad. Si ocurre demasiado tarde, se obtiene un pico de presión que puede dañar al molde.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

En el comienzo de la fase de mantenimiento, la cavidad ya ha recibido la mayoría del material que necesita, pero una pequeña cantidad de material es inyectada para compensar la contracción. Incluso al final de esta fase, aún queda material sobrante en la cámara de inyección (al cual se llamara cojín). Este cojín fundido facilita que la presión sea transmitida entre el tornillo y la cavidad. El mismo se inyecta en el siguiente ciclo.

**Plastificación o dosificación:** Después de aplicar la presión de mantenimiento, comienza a girar el husillo; de forma que el material va pasando progresivamente de la tolva de alimentación a la cámara de inyección, homogeneizándose tanto su temperatura como su grado de mezcla. Esta fase se realiza en forma paralela a la etapa de enfriamiento, acelerando así el tiempo total de ciclo. A medida que el husillo va transportando el material hacia delante, éste sufre un retroceso debido a la acumulación que se produce en la zona delantera. El retroceso del husillo finaliza cuando éste ha llegado a una posición definida con anterioridad. En este momento ya está todo preparado para poder inyectar la siguiente pieza. En la etapa de plastificación también intervienen otros factores importantes como:

- La velocidad de giro del husillo.
- La contrapresión.
- La succión

La velocidad de giro del husillo debe escogerse en función del diámetro del mismo y de la viscosidad del material. La velocidad óptima, es aquella para la que el tiempo de carga es igual al tiempo de refrigeración que necesita la pieza inyectada. Un tiempo largo de carga provoca una masa fundida homogénea. Una velocidad excesivamente

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

alta puede generar la presencia de infundidos y una homogeneización insuficiente del material en el interior del cilindro.

La contrapresión tiene como función principal, garantizar una adecuada plastificación y homogeneización del material, también tiene como función, frenar el retroceso del husillo en la etapa de plastificación. Un aumento de la contrapresión implica que aumente el tiempo de plastificación, la compresión sobre el material y, por tanto, la cantidad de material acumulado y la temperatura de la masa fundida.

Al contrario, contrapresiones bajas pueden dar lugar a piezas inconsistentes y una insuficiente homogeneización del material. Por último, la succión se utiliza principalmente para reducir el goteo de material. Normalmente se suele trabajar con descompresión pequeña o nula.

**Apertura del molde y expulsión de la pieza:** Cuando se considera que el material de la pieza ha alcanzado la temperatura denominada de extracción, el molde se abre y se expulsa la pieza de su interior para reiniciar el ciclo de inyección.

**Enfriamiento:** Esta fase comienza simultáneamente con la de llenado (inyección), dado que la materia empieza a enfriarse tan pronto y toca la pared del molde. Finaliza cuando la pieza alcanza la temperatura adecuada para su extracción. De esta forma, esta fase del ciclo se solapa con las anteriores. En ocasiones es necesario esperar un tiempo, entre la etapa de plastificación y la de apertura de molde, para que se produzca el enfriamiento requerido de la pieza. El objetivo de ello es conseguir una consistencia tal, que impida su deformación al ser expulsada. Las variables que más afecta en esta fase es la temperatura de molde.

La fase de mantenimiento termina cuando solidifica el bebedero o el punto de inyección. A partir de entonces ya no entra más material en la cavidad. Durante las fases de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

llenado y mantenimiento, el material dentro de la cavidad ya ha comenzado a solidificar contra la pared del molde que está más fría. Las capas más externas solidifican antes.

El tiempo de enfriamiento empieza con la inyección.

El enfriamiento es más lento hacia el centro de la pieza ya que los plásticos son poco conductores del calor. El calor cedido por la solidificación se disipa a través de las capas más externas de las paredes del molde. El tiempo de enfriamiento depende del tipo de pieza que se enfría dentro del molde. No es necesario esperar que toda la pieza enfríe hasta la temperatura del mismo; sino que, es suficiente que estén frías las regiones externas de la pieza, para poder extraerla en condiciones estables. Con ello se consigue optimizar el tiempo de producción y así poder realizar el siguiente ciclo.

Durante la fase de enfriamiento se prepara el material en la unidad de plastificación, para la próxima inyección.(Pot, 2011)

## **2.11 PARÁMETROS EN EL PROCESO DE LA INYECCIÓN**

Durante el proceso de inyección del plástico deben existir unas determinadas condiciones que permitan la obtención de piezas en serie sin ningún defecto, ni alteración geométrica. Por ello de los muchos parámetros que pueden influir en este objetivo, se tratan a continuación los que más peso tienen en su consecución.

Los parámetros a controlar en el proceso de inyección dependen del material a trabajar, del diseño del molde y de la pieza. Cada caso es particular, pero como regla general las variables a controlar son: temperaturas, velocidades, presiones, distancias y tiempos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Cada una de estas variables se puede descomponer en otras relacionadas entre sí. A continuación se resumen los principales parámetros de inyección comunes en casi todos los procesos.(Pantani et al., 2005)

**Temperaturas:** Las temperaturas habitualmente controladas son las del cilindro de plastificación, de la boquilla y del molde.(Pantani et al., 2005)

**Temperaturas del cilindro de plastificación y de la boquilla:** Vienen dadas por el tipo de material a trabajar, y se ajustan de acuerdo a la temperatura de la masa fundida. La temperatura de la masa fundida determina las propiedades estructurales de una pieza moldeada, por lo que debe ser constante y uniforme ya que influye en la densidad de la masa y en la contracción posterior de la misma al solidificar.

**La temperatura del molde:** De igual manera, está en función o es determinada por el material plástico a trabajar. Sin embargo aquí también influye el molde en sí mismo (forma, tamaño, materiales), la pieza a obtener (espesores, geometrías, dimensiones) y el acabado que se quiere en ella.

Todas estas temperaturas se ven muy influenciadas por la temperatura ambiente que haya alrededor de la máquina de inyección, por lo que siempre habrá que tenerla en cuenta.(Pantani et al., 2005)

**Velocidades:** Las velocidades que se suelen controlar están relacionadas tanto con desplazamientos de ciertas partes de las máquinas de inyección, como con el flujo del material plástico. Las principales son:

**Velocidad de cierre de molde:** Es la velocidad a la que se desplaza la parte móvil del molde hasta hacer contacto con su parte fija. La velocidad de cierre del molde se realiza

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

en varias etapas: velocidad alta, velocidad media y velocidad baja. Esto se hace con el fin de controlar las aceleraciones y los efectos dinámicos de inercia durante esta fase de cierre. Depende del molde en concreto y por lo tanto de la pieza a moldear. (Pantani et al., 2005)

**Velocidad de apertura de molde:** Es la velocidad a la que se desplaza la parte móvil del molde hasta separarse de la parte fija, dejando así el espacio suficiente para la expulsión de las piezas. La secuencia de velocidades de apertura del molde se realiza al contrario de la efectuada durante la fase de cierre, es decir: velocidad baja, velocidad media y velocidad alta. También depende del molde en concreto y por lo tanto de la pieza a moldear.

**Velocidad de plastificación:** La velocidad de plastificación se controla por las revoluciones por minuto o giros por minuto del husillo o tornillo en el momento de la plastificación.

**Velocidad de inyección:** Es la velocidad a la que se introduce el material plastificado desde la boquilla de inyección hasta el bebedero del molde. Posteriormente esta velocidad disminuirá según el material discorra por dicho bebedero y llegue a los canales de llenado y a las cavidades de las piezas a obtener. (Pantani et al., 2005)

**La velocidad de inyección depende de los siguientes factores:**

- Viscosidad del polímero.
- Condiciones del molde.
- Tamaño y número de puntos de entrada de material.
- Tamaño de los canales de llenado.
- Salidas de aire en el molde.
- Temperatura de la masa fundida.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Temperatura del molde.
- Acabado deseado de la pieza

Cuando se moldean piezas de secciones delgadas se requieren generalmente velocidades de inyección altas con el objeto de poder llenar la pieza antes de que se inicie la solidificación. El uso de una velocidad de inyección alta mejora el aspecto y brillo superficial de la pieza, ya que la cavidad del molde se llena completamente antes de que el plástico comience su solidificación. Variando la velocidad de inyección adecuadamente se pueden reducir los defectos superficiales en la pieza, tales como las ráfagas y manchas en la zona del punto de inyección.(Pantani et al., 2005)

**Velocidad de expulsión:** Es la velocidad a la que se desplaza el sistema de expulsión para extraer la pieza moldeada.

**Presiones:** Las presiones que se tratan están relacionadas tanto con desplazamientos de ciertas partes de las máquinas de inyección, como con el flujo del material plástico. Las principales son:

**Primera presión de inyección:** Es la presión requerida para vencer las resistencias que el material fundido produce a lo largo de su trayectoria, desde el cilindro de plastificación hasta el molde. Esta presión corresponde a la fase de llenado del molde, con ella se pretende llenar la cavidad en un 90 ó 95%, para después terminar de llenar la pieza con la segunda presión y velocidades.

**Segunda presión de inyección:** También es conocida como sobrepresión, pos presión, presión de sostenimiento, de mantenimiento, de compactación o de recalque. Tiene como objeto mantener bajo presión el material fundido mientras éste solidifica y se contrae en la cavidad del molde. La función de esta segunda presión es la de completar el llenado introduciendo un poco más de material fundido en el molde, compensando así la contracción. Es importante mencionar que el exceso en la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

aplicación de esta presión puede producir rebabas (flash) o una compactación tal que dé lugar a que las piezas se peguen en el lado fijo.(Pantani et al., 2005)

**Contrapresión:** En el momento de la plastificación el material es llevado hacia delante en tanto que el husillo va girando hacia atrás. La contrapresión se aplica sobre el husillo que gira y tiene como función el impedir el retorno de éste. Dicho en otras palabras, la contrapresión se opone a que el husillo se mueva libremente hacia atrás mientras está cargando. Con ello también se mejora la acción de mezclar el material y ayuda a que se logre una buena homogenización del plástico.

**Descompresión:** Es el resultado de que el husillo se mueva para atrás. Tiene la finalidad de liberar la presión ejercida sobre el plástico de tal manera que no escurra el material en el momento en el que se abra el molde. Se puede hacer antes o después de la dosificación. También es válido, si no se puede usar este recurso, jugar con la temperatura de la boquilla, bajando poco a poco la temperatura hasta un punto en que nos permita inyectar y se vea que no escurre material.

**Presión de expulsión:** Una vez terminada la apertura del molde, la pieza se debe separar del molde y esto se logra a través de un mecanismo de expulsión. Si este mecanismo de expulsión es neumático o hidráulico, se requiere de una presión que sólo está activada durante toda la fase de expulsión. Si el mecanismo es exclusivamente mecánico, esta presión no existirá.(Pantani et al., 2005)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**Presión de retorno de expulsión:** Es la presión que hace que el mecanismo de expulsión retorne a su posición inicial.

Estará presente una vez que los expulsores han extraído la pieza en la fase de expulsión. Al igual que antes, no existirá si el mecanismo de retorno del sistema de expulsión es exclusivamente mecánico.

**Distancias:** Las distancias que se suelen controlar están relacionadas también tanto con desplazamientos de ciertas partes de las máquinas de inyección, como con el flujo del material plástico. Las principales son:

**Distancia de dosificación (inyección) y espesor del colchón:** Son los milímetros de material inyectado en función del volumen (cm<sup>3</sup>) y la unidad de plastificación. Otra definición, es la cantidad de plástico necesaria para llenar todos los canales y cavidades.

El espesor del colchón son los milímetros de material que deben permanecer constantes en la punta del husillo, para garantizar una repetitividad en el proceso. Otra definición, es la distancia que el husillo reserva para terminar de introducir material al interior del molde. (Pantani et al., 2005)

**Distancia de conmutación a segunda presión:** Son los milímetros necesarios para hacer el cambio por distancia, de primera presión de inyección a segunda presión de inyección.

**Distancia de apertura o de cierre de molde:** Es la distancia que deseamos que abra la parte móvil con respecto a la parte fija, para que pueda expulsarse la pieza.

**Distancia de expulsión:** Son los milímetros recorridos por el sistema de expulsión, para que la pieza pueda desmoldarse del molde.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**Tiempos:** Los tiempos que se contabilizan están principalmente relacionados con la definición del tiempo de ciclo, que define la frecuencia a la que se produce una inyección tras otra. Estos tiempos son:

**Tiempo de plastificación:** Es el tiempo requerido para llevar a cabo la plastificación del material, hasta lograr en él un estado líquido viscoso.

**Tiempo de cierre:** Es el tiempo que tarda el molde en cerrarse.

**Tiempo de inyección:** Es el tiempo en el que se lleva a cabo el llenado de las cavidades del molde tras el cierre de éste.

**Tiempo de postpresión:** Es el tiempo en que permanece activa la postpresión o segunda presión tras el llenado del molde.

**Tiempo de enfriamiento:** Es el tiempo para acabar de solidificar la pieza. Empieza después de que termina el tiempo de postpresión y acaba cuando el molde se abre para expulsar la pieza.

**Tiempo de apertura:** Es el tiempo que tarda el molde en abrirse.

**Tiempo de expulsión:** Es el tiempo durante el cual está accionándose el sistema de expulsión, hasta que la pieza es expulsada del molde tras la apertura de éste.

**Tiempo de ciclo:** Es el tiempo en el que se llevan a cabo todas las etapas del proceso de inyección: tiempo de cierre + tiempo de inyección + tiempo de postpresión + tiempo de enfriamiento + tiempo de apertura + tiempo de expulsión. El tiempo de plastificación

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

transcurre de forma paralela durante la sucesión de algunos o de todos los demás tiempos del ciclo.

**Otros parámetros que también hay que tener en cuenta son:**

**Fuerza de cierre:** Es la fuerza ejercida sobre el molde antes de inyectar. La fuerza de cierre es producida por la unidad de cierre después de la formación de la presión.

**Presión de cierre:** Cuando empieza el proceso de llenado del molde con la masa plástica, se produce una fuerza de empuje creciente que produce un efecto adicional sobre el sistema de cierre junto con la fuerza de cierre. También es conocida como alta presión. (Brandau & Container, 2012)

## 2.12 VARIABLE A TENER EN CUENTA

De mayor a menor importancia, según pertenezcan a una de estas cuatro categorías: temperaturas, distancias, tiempos y presiones.

Es importante mencionar la interdependencia existente entre estas cuatro categorías de variables, de modo que cada una depende de las demás. El cambio de cualquiera de ellas afectará a las otras.

**Temperatura de inyección:** La temperatura de inyección es importante, ya que los materiales poliméricos requieren alcanzar cierto valor de temperatura, para obtener condiciones idóneas de viscosidad y fluidez para poder inyectarlo. Todo ello contrasta con que esta temperatura debe ser lo suficientemente baja, como para que no se aceleren los procesos fisicoquímicos que conduzcan a la degradación del material.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Una vez introducido en la tolva, el material en forma de granza, pasa al cilindro de inyección. La fusión de éste se debe, fundamentalmente, al calor provocado por la fricción; que produce el movimiento de giro del husillo en la unidad de plastificación. Las bandas calefactores se utilizan principalmente para mantener el plástico a la temperatura requerida. Debido a la fricción, antes explicada; la temperatura real del plástico será, normalmente, superior a la temperatura de control de las bandas calefactores.

La unidad de inyección suele tener de tres a cinco zonas de temperatura en el cilindro. El perfil de temperaturas utilizado depende de factores como: la geometría del husillo, la viscosidad del material, la longitud necesaria de flujo, etc. Normalmente, en la zona de la tolva se selecciona la temperatura más baja y se va incrementando, gradualmente, en el resto de las zonas. Es importante refrigerar la salida de la tolva por tres motivos:

- Evitar que se forme un tapón de material por sinterización de la granza.
- Prevenir la degradación del fluido hidráulico del motor que acciona el husillo, debido a una temperatura demasiado alta.
- Favorecer el arrastre del material para una correcta plastificación.

En la zona de alimentación la temperatura se ha de mantener relativamente baja, obligado por el diseño de los husillos. Por último, en la zona de la boquilla, la temperatura ha de ser uniforme; para evitar la degradación del material, a causa del estrechamiento en esa zona o de un tiempo de permanencia demasiado grande en el cilindro.

La temperatura utilizada finalmente para inyectar, afectará la calidad de la pieza porque influirá en el grado de contracción de la misma. Así, a mayor temperatura de inyección, mayor será el cambio volumétrico entre el plástico fundido y sólido; por tanto, existirá una mayor contracción. A pesar de ello, utilizar una temperatura de inyección mayor,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

supondrá que la viscosidad del material sea menor; permitirá entonces una mejor compactación, en el interior de la cavidad del molde, con lo que la contracción disminuirá. El grado de contracción final dependerá del equilibrio entre estos dos factores.(Dang, 2014)

**Temperatura de molde:**

La temperatura del molde es muy importante en el proceso de inyección, ya que afecta de forma directa a la calidad de la pieza inyectada. El objetivo del enfriamiento del molde es extraer calor de la cavidad, a fin de disminuir la temperatura hasta la solidificación del material plástico; de forma que este enfriamiento se produzca homogéneamente en toda la pieza.

El enfriamiento se consigue haciendo pasar por los conductos de refrigeración del molde agua o aceite. Gracias a este flujo de líquido y a la excelente conductividad del metal que forma el molde, se produce el intercambio de calor y se logra la disminución de la temperatura de la pieza moldeada. La temperatura prefijada se mantiene calentando o enfriando el líquido mediante un atemperador.

A pesar de esto, la temperatura media de la cavidad puede ser unos (10 ó 20 ° C) mayor que la temperatura del refrigerante, durante el proceso de inyección. La temperatura del molde afecta directamente al tiempo de ciclo, la contracción, el alabeo, el acabado o brillo superficial y la cristalinidad.

Cuando la temperatura del molde sea alta, se obtendrá una pieza con más brillo y cristalinidad. Por el contrario, un enfriamiento rápido tendrá como consecuencia la formación de una capa exterior amorfa y acortará, significativamente, el tiempo de ciclo.

**Distancia de carga:** Como se mencionó anteriormente, la inyección de material plástico en el interior del molde se realiza en dos etapas: la inyección del material en la fase de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

llenado y la aplicación de la presión de mantenimiento en la fase de mantenimiento. La distancia de carga en el cilindro debe ser suficiente, para que se pueda llenar aproximadamente el 90-99 % del molde, durante la fase de inyección. Además, se debe tener en cuenta la existencia de un cojín de material, suficiente para aplicar posteriormente la presión de mantenimiento. Esta presión será transmitida por medio del polímero fundido, por lo que si no hay cojín no se podrá aplicar.

El cojín se establece fijando una distancia de carga superior a la necesaria para llenar la cavidad del molde. Si este cojín es demasiado pequeño, puede ocurrir que durante la etapa de mantenimiento el husillo avance hasta el final del cilindro y arrastre todo el material hacia el interior del molde, haciendo que la aplicación de la segunda presión no sea efectiva. Si por el contrario, el cojín es excesivamente grande se puede favorecer la degradación del material, ya que estará durante más tiempo a altas temperaturas y presiones.

**Tiempo de inyección:** El tiempo de inyección se relaciona con la velocidad de inyección de manera inversa. Así, tiempos de inyección pequeños implican velocidades muy elevadas. Además, la velocidad de inyección también está relacionada directamente con la presión de inyección. A velocidades muy altas la presión de inyección crece muy rápidamente, a causa de la resistencia al flujo en la boquilla y en la entrada de la cavidad. Con velocidades menores, en cambio, el plástico se va solidificando a medida que se inyecta el material; aumentando la viscosidad y disminuyendo la sección de paso.

En las máquinas hidráulicas la velocidad de inyección, o el tiempo de inyección, se controla mediante el caudal de aceite. De esta forma, el husillo fuerza al material plastificado hacia el interior del molde siguiendo un perfil de velocidades. Normalmente, las velocidades del principio y del final de la etapa de inyección son menores, para

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

tratar más suavemente los elementos de la máquina de inyección y del molde. Otro aspecto a tener en cuenta es la diferencia de temperaturas entre la entrada y el final de la pieza inyectada. Cuando el tiempo de inyección es muy corto, la temperatura, al final del recorrido del plástico inyectado, puede ser mayor que la de inyección; a causa del calentamiento por fricción que sufre el material. Con tiempos elevados las temperaturas suelen ser inferiores; existiendo un tiempo de inyección intermedio, donde se igualan la temperatura de inyección y la de la última zona llenada del molde.

A la hora de fijar las condiciones de operación de un proceso de inyección, es recomendable seleccionar un tiempo de inyección. Esto debe permitir minimizar la presión de inyección y la diferencia de temperaturas, entre la entrada del molde y el final de la pieza inyectada, siempre dentro de unos márgenes de productividad.

**Tiempo de mantenimiento:** La duración de la etapa de mantenimiento se conoce como tiempo de mantenimiento y tiene una influencia decisiva. Si este tiempo es demasiado corto el plástico puede salir de la cavidad hacia el sistema de alimentación y la unidad de inyección; con los consiguientes cambios de orientación y disminución de la tenacidad de la pieza, fluctuaciones en el peso, falta de reproducibilidad y una gran variedad de defectos.

Así, en moldes de colada fría, es usual la aplicación de la segunda presión hasta la solidificación de la entrada, cuando ya no puede entrar más material en la cavidad. A partir de entonces ya no tiene sentido seguir aplicando presión de mantenimiento. En este sentido, el tiempo de mantenimiento dependerá directamente de la temperatura de inyección y de la temperatura del molde. Cuando la temperatura del material fundido sea elevada, la entrada del molde permanecerá abierta más tiempo y se deberá aumentar el tiempo de mantenimiento. Por otro lado, si la temperatura de la pared del molde es alta, la pieza enfriará más lentamente y también será necesario un tiempo de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

mantenimiento superior. Esto se halla en directa relación con el espesor de la entrada del molde.

**Tiempo de enfriamiento:** Como ya ha sido mencionado en las etapas del proceso de inyección, el tiempo de enfriamiento del molde comienza en la fase de inyección, cuando el material se solidifica en la pared del molde. Sin embargo, este tiempo de enfriamiento debe prolongarse más allá de la fase de mantenimiento; motivado porque la pieza moldeada o se ha enfriado aún lo suficiente y no posee la estabilidad necesaria para el desmoldeo.

De todas formas, es suficiente que estén frías las regiones externas de la pieza para poder extraerla del molde en condiciones estables sin que ésta se deforme. Así, se consigue acortar el tiempo de ciclo significativamente mejorando la productividad del proceso. Un aspecto decisivo para la economía de un proceso de inyección es el número de piezas producidas por unidad de tiempo, que depende en gran medida del tiempo de enfriamiento y éste, a su vez, varía proporcionalmente en relación con el cuadrado del espesor de la pared de la pieza. Por tanto, no es recomendable inyectar piezas excesivamente gruesas. Además, para que el enfriamiento se produzca de forma homogénea en toda la pieza es mejor que los espesores de ésta sean uniformes.

En general, cuando la pieza permanece en el interior del molde se inhiben mecánicamente por las paredes de la cavidad ciertas contracciones y alabeos, pero a su vez se produce la formación de tensiones residuales dentro de la pieza que pueden ocasionar deformaciones posteriores. Después, al ser expulsada, algunas de estas tensiones provocan deformaciones al no haber restricciones externas. La diferencia entre las condiciones térmicas entre el interior del molde y el exterior también resulta un aspecto importante. Mientras que en la cavidad la temperatura está determinada por la temperatura del molde, en el exterior el intercambio de calor se produce por convección y, por tanto, la pieza se enfría más lentamente. Por este

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

motivo, un tiempo de enfriamiento alto implica normalmente una disminución en el grado de contracción.

Para tiempos de enfriamiento más cortos lo que se consigue es, además de reducir el tiempo de ciclo, minimizar las tensiones residuales ya que la pieza sale más caliente del molde y tienen lugar entonces procesos de relajación que reducen estas tensiones, pero en general aumenta las deformaciones.

**Tiempo de plastificación:** El tiempo de plastificación o de carga es el tiempo que tarda la máquina en cargar material para la próxima inyectada y será afectado por la temperatura.

- La velocidad de giro del husillo.
- La contrapresión.
- El tipo del material.

**Tiempos de movimiento:** Los tiempos de movimiento corresponden a los tiempos:

- De apertura de molde.
- De expulsión.
- De cierre de molde.

**Tiempo de ciclo:** El tiempo de ciclo depende, principalmente, de los tiempos de las etapas o fases de:

- Cierre del molde.
- Inyección.
- Enfriamiento de la pieza.
- Apertura del molde y expulsión de la pieza.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

De esta manera, la variable más importante en el diseño de una pieza de plástico es la velocidad de enfriamiento, debido a la gran influencia en el tiempo de ciclo, y por lo tanto, en los costes de transformación. De esta manera, el tiempo de enfriamiento ocupa la mayor parte del tiempo de ciclo y solapa la acción las siguientes fases:

- Inyección, fase de llenado y fase de mantenimiento.
- Plastificación o dosificación.

Como ya se comentó, el tiempo de enfriamiento depende del tipo de pieza que se enfría en el molde. No es necesario esperar hasta que toda la pieza enfríe hasta la temperatura del molde, sin que estén lo suficientemente enfriadas las regiones externas de la pieza para poderla extraer del molde en condiciones estables. Con esto se consigue optimizar el tiempo de producción.

Así el tiempo de enfriamiento y, por tanto, el tiempo de ciclo dependerá principalmente de:

- Temperatura del material fundido.
- Temperatura de la pared del molde.
- Temperatura de expulsión.
- Conductividad térmica del material.
- Calor específico del material.
- Espesor: La parte más gruesa será la última en enfriar dentro del molde, influyendo en el tiempo de enfriamiento.

**Primera presión o presión de inyección:** La presión de inyección durante la fase de llenado ha de ser la suficiente para que se pueda conseguir la velocidad deseada, y, por tanto, el tiempo de inyección deseado. De esta manera, la presión de inyección depende de los mismos factores que la velocidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**Segunda presión o presión de mantenimiento:** La presión de mantenimiento o segunda presión se aplica una vez ha finalizado la etapa de inyección de material en el molde. El objetivo es completar el llenado del molde y compactar el material del interior de la cavidad para minimizar la contracción que tiene lugar durante su solidificación. El momento del cambio a segunda presión es importante. Si se cambia demasiado pronto, la pieza no queda lo suficientemente compacta y aparecen rechupes, mientras que un cambio demasiado tardío provoca una sobre presión y la formación de rebabas en la pieza.

Para fijar la presión de mantenimiento con la que se va a trabajar se ha de tener en cuenta que si ésta es demasiado baja o si la duración de esta fase es excesivamente corta pueden aparecer rechupes o vacuolas en la pieza inyectada, de esta manera, las dimensiones de la pieza pueden estar fuera de las tolerancias especificadas o haber reflujos de material plástico no consolidado desde el molde hacia la unidad de plastificación (o incluso no llenar la pieza).

Si la presión de mantenimiento resulta ser demasiado elevada puede producirse una sobre compactación de la pieza, que implica un aumento de las tensiones residuales, además de una posible disminución de las propiedades mecánicas y aparición de deformaciones en la pieza o alabeos (en general el límite máximo puede situarse en la aparición de rebabas).

En general, se suelen utilizar, como mínimo, presiones de mantenimiento de un 50-70% de la presión de inyección para materiales amorfos y de un 70-100% para materiales semicristalinos.

**Contrapresión:** La contrapresión en la plastificación frena el retroceso del husillo en la fase de carga. El aumento en los valores de este parámetro afectará directamente a la temperatura del material procesado. De esta forma, al aumentar la contrapresión se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

tiene que el tiempo de plastificación aumenta, por lo que también lo hará el tiempo de permanencia en la cámara. La compresión sobre el material aumenta, lo que incrementa la temperatura del fundido.

Una primera consecuencia de un aumento en la contrapresión, es que se registra un ligero aumento en la cantidad de material cargado. En sí, se recomiendan valores de contrapresión de entre 5 y 10 MPa, ya que si se tienen valores muy bajos, se pueden tener piezas inconsistentes y con poca homogenización del material. Por el contrario, elevados valores de contrapresión ocasionarán un aumento en la contribución de la fricción a la temperatura del fundido, pudiendo degradarse.

En general se pueden seguir dos lineamientos para el establecimiento de la contrapresión:

1. Cuando se utiliza un porcentaje elevado de la capacidad de plastificación de la máquina, se utilizarán valores altos de contrapresión a fin de aumentar la velocidad de plastificación y así conseguir un mayor volumen.
2. Si el porcentaje de utilización de la capacidad de plastificación de la máquina es pequeño, se utilizarán valores de contrapresión bajos, a fin de evitar que el material permanezca por periodos prolongados en la máquina.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 2.13 VERSIONES DE MOLDEX 3D

### ***Moldex3D Edesign:***

Es un programa CAE que nos ayudara a verificar rápidamente la manufacturabilidad del diseño de los moldes de Inyección de plástico. Con el motor de mayado Inteligente eDesign nos permite realizar simulaciones del modeladp de inyección.

### ***Moldex3d Solid Flow:***

Programa CAE para inyección de moldes de plástico, para análisis y simulación del proceso de llenado de material termoplástico en el molde, con el cual nos permite una detección de problemas potenciales como aire atrapado y zonas donde no penetra correctamente el flujo.

### ***Moldex3d Solid Pack:***

Programa CAE para inyección de moldes de plástico, para determinar la compresibilidad del plástico usando el volver NavierStokes que determina la variación en densidad y el comportamiento de flujo en el proceso de empaque de materiales termoplásticos. Con MOLDEX 3D PACK se pueden encontrar tiempos de enfriamiento en los Gates, tiempo de eficiencia de empaque, y la presión de trabajo ideal para minimizar áreas de contracción en las piezas.

### ***Moldex3d Solid Cool:***

Herramienta de cómputo para el sistema de refrigeración en moldes de inyección de plásticos, el cual es ejecuta una simulación real en 3D del proceso de enfriamiento del molde, cuenta con herramientas de detección de variaciones de temperatura, layout de canales de enfriamiento y el cálculo de su tiempo, este programa nos ayuda a controlar temperaturas durante el llenado, empaque y el resto de ciclo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

***Moldex3d Solid Warp:***

Programa para simulación de inyección de plásticos para ubicar las causas de la deformación, contracción, alabeo y la corrección de esos defectos antes de su construcción. El módulo Warp incluye definiciones de materiales compuestos para predecir estos defectos.

***Moldex3d Fiber:***

Programa de simulación para orientación de la fibra en el llenado en inyección de plásticos en moldes.

***Moldex 3d MCM:***

Programa de uso en moldeo de multicomponentes "colores" en inyección de plásticos. ("Moldex3D\_Manual," n.d.)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

### 3. METODOLOGÍA

1. Se recopiló información en las bases de datos Science Direct y IEEE. Sobre moldeo por inyección, simulación por programas CAE y polímeros vírgenes y compuestos. Avances y técnicas de implementación de simulación en procesos PIM.
2. Se utilizó el programa CAD Inventor para graficar la carcasa de un celular que aparece en la siguiente imagen.



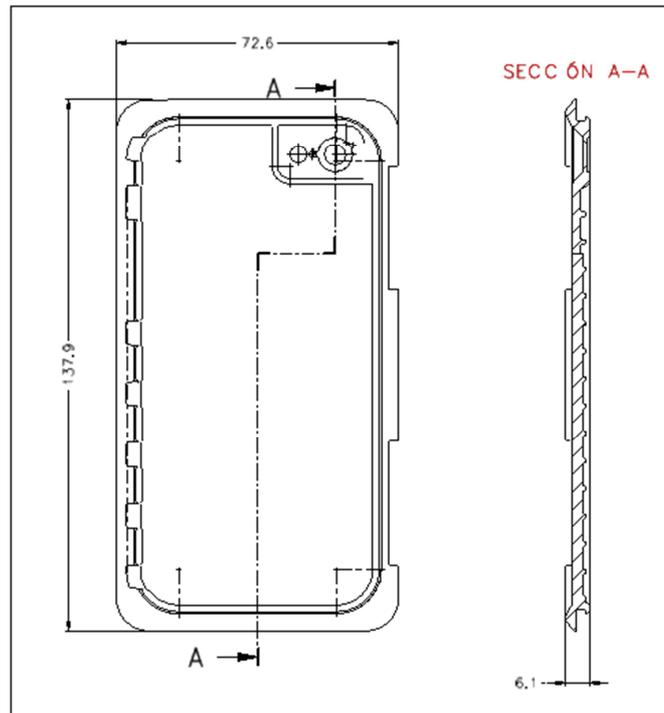
**Imagen 6 - Carcasa (Molde)**

**Fuente (Elaboración propia)**

Esta es la geometría obtenida por el programa Inventor que se utilizará como molde en los ensayos que se realizarán en el programa de simulación.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

En la imagen 7 se encontrara una imagen con mayor detalle y medidas que nos proporcionan un dimensionamiento del artículo real.



**Imagen 7 – Dimensiones generales Carcasa (Molde)**

**Fuente (Elaboración propia)**

3. Se seleccionó el programa CAE Moldex 3D para realizar una simulación al grafico anteriormente obtenido.
4. El material seleccionado para realizar los ensayos fue el polietileno de baja densidad = LDPE 1965T de SABIC sin cargas, comparado con el polietileno de baja densidad + cabosil al 5 % = DOW 641+5% CABOSIL y el polietileno de baja densidad + carbonato al 5% = DOW 641+ 5% CARBONATO
5. Se realizó la caracterización del material con base a la ley de potencias que aparece a continuación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

—

Se seleccionó la ley de potencias porque a pesar que no es un modelo muy completo incluye la zona pseudoplastic, que para el proceso de inyección, es la que más importa.

Por medio de esta fórmula obtendremos los parámetros de entrada que se introducen en el programa moldex para realizar la simulación.

***Propiedades de los materiales que se utilizaran como cargas:***

***Cabosil:***

Dióxido de silicio ligero Cab-O-Sil. Es un ácido silícico pirogénico que presenta una combinación extraordinaria de propiedades y efectos como espesamiento, tixotropía, fluidez, estabilidad en suspensión, aumento de resistencia mecánica y transparencia óptica. Se pueden conseguir en grupos de productos tan diversos como pinturas y lacas, sellantes, adhesivos, cosméticos, tintas tipográficas, plastisoles, elastómeros, alimentos, polvos, productos farmacéuticos, jugos, emulsiones, jaleas, geles. etc.

Es una sustancia no porosa, químicamente inerte, inodora, insípida blanca. Aprobada desde 1958 por la FDA (USA): \* Aditivo directo hasta 2% en peso \* Sustancia permitida en manufactura de materiales que pueden entrar en contacto directo con alimentos durante procesamiento, manufactura, embalaje, preparación, transporte o manipulación.(Falcos, 2010)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**Carbonato:**

***Principales características del carbonato de calcio:***

Las características más importantes que se deben tener en cuenta en un carbonato de calcio son:

Finura del material

La finura de la carga está definida por el tamaño medio de la partícula y el corte superior. El corte superior es el tamaño más grande de partícula que puede existir en una carga. Esta tiene una importante influencia en las propiedades mecánicas del producto terminado.

Superficie recubierta o tratada

La superficie recubierta de un Carbonato de Calcio es una propiedad muy importante ya que si no está recubierto no se podrá dispersar fácilmente.

***Ventajas del carbonato de calcio en los plásticos:***

- Mejora la resistencia al impacto
- Mejora la velocidad de producción
- Mejora la homogenización
- Reduce costos de formulación
- Mejora rigidez, más alto módulo de Young
- Superficie más brillante
- Menor encogimiento, mejor estabilidad dimensional
- Menor abrasión en la extrusora

(quiminet, 2011)

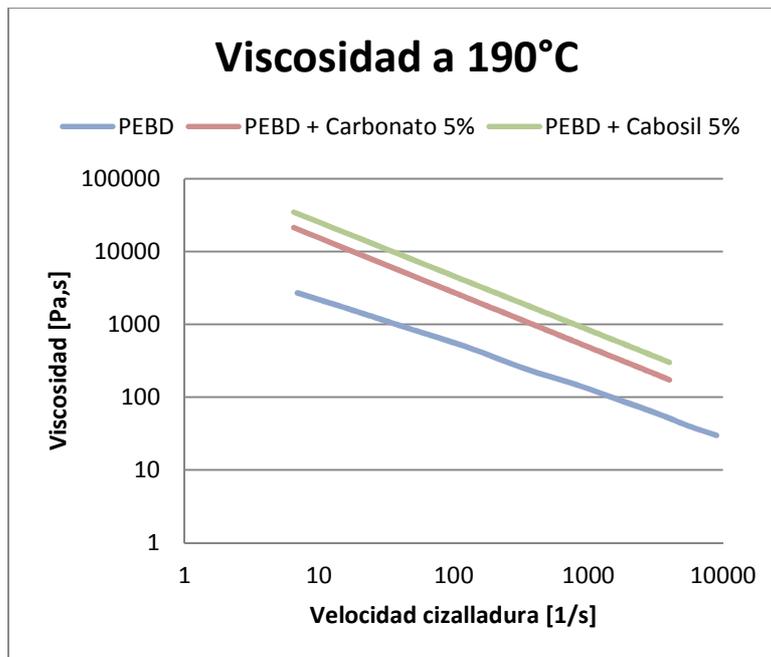
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**Caracterización de los materiales:**

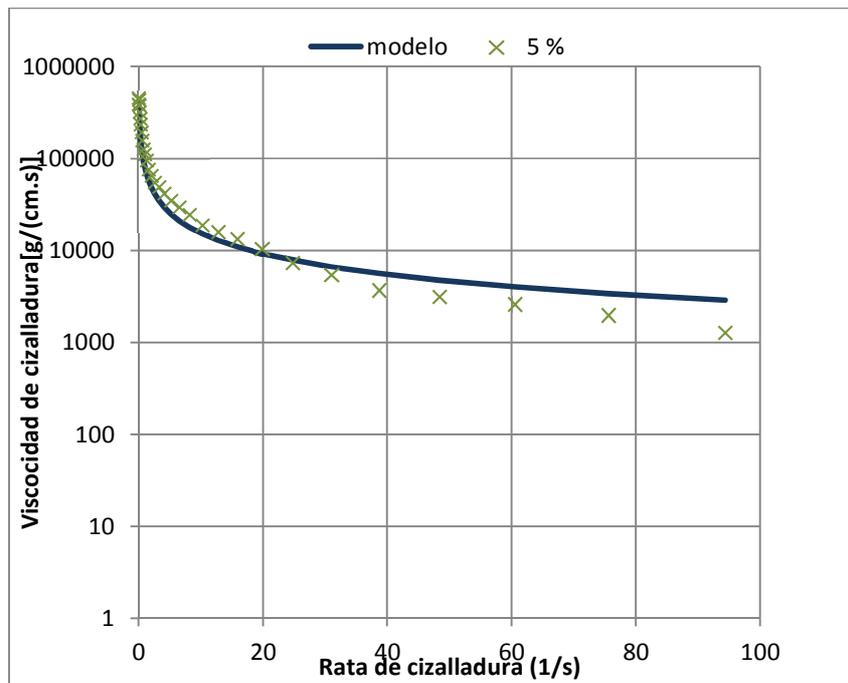
Se presenta los resultados obtenidos de la caracterización de los materiales seleccionado para la simulación, los cuales fueron aportados por el asesor del proyecto, apoyado por el grupo de investigación MATYER.

A continuación se muestra la tabla de viscosidad vs velocidad de cizalladura (Ver tabla 3) de los materiales seleccionados para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 1 - Tabla Comparativa de Viscosidad vs velocidad de cizalladura.**



**Tabla 2 Viscosidad de cizalladura vs Rata de cizalladura (+ carbonato al 5%)**



En la tabla anterior (Ver tabla 4), se puede observar el comportamiento de la viscosidad, entre el modelo, es decir el material sin carga vs el material cargado con carbonato al 5%.

Parámetros LDPE +carbonato 5%

T	463,15
$\eta_0$	790700,64
B	100006,46
Tb	1331,28
DP	6,10
Tao	6496,74
n	0,25

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Dónde:

T: Temperatura de Masa

$\eta_0$ : Viscosidad nula

B: Parámetro de tracción

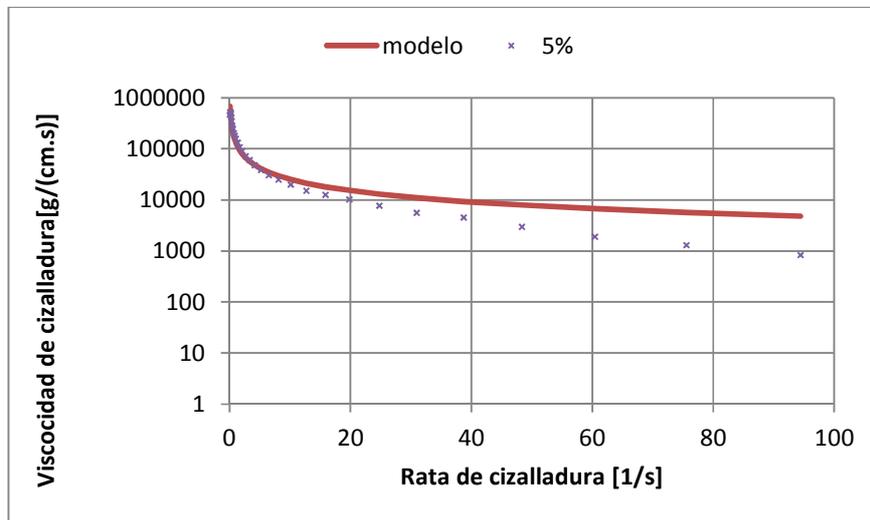
T<sub>b</sub>: Temperatura

Tao: Constante de transición

n: Viscosidad del modelo

Los anteriores parámetros son los obtenidos de las reologías y a su vez de la aplicación de la ley de potencias (ver imagen 7); con estos se debe alimentar el software en el icono de “User bank”, es allí donde creamos un nuevo material, con las características que se requieran según el caso, para el desarrollo de este proyecto como ya se ha mencionado antes, se cargaron las caracterizaciones del LDPE + 5% de carbonato y LDPE + 5% de cabosil, las características del material sin carga ya estaban especificadas en el software, puesto que se usó un material comercial.

**Tabla 3 Viscosidad de cizalladura vs Rata de cizalladura (+ cabosil al 5%)**



En la tabla anterior (Ver tabla 5), se puede observar el comportamiento de la viscosidad, entre el modelo, es decir el material sin carga vs el material cargado con Cabosil al 5%.

A continuación los parámetros a ser ingresados al software para el LDPE + cabosil 5%

T	463,15
$\eta_0$	176532,30
B	10460,69
Tb	1748,43
DP	8,26
Tao	2886,76
n	0,35

6. Se plantean 6 ensayos de simulación.

**Ensayo #1**

Material: LDPE 1965T de SABIC.  
 Número de Cavidades: 1  
 Artículo de Prueba: Carcasa celular

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Programa CAE utilizado: Moldex 3D

Se diseña entrada de material al molde (Carcasa de celular)

Se diseña sistema de refrigeración del molde.

### **Ensayo #2**

Material: DOW 641+ 5% CARBONATO

Número de Cavidades: 1

Artículo de Prueba: Carcasa de celular

Programa CAE utilizado: Moldex 3D

Para el ensayo #2 se utilizan el mismo diseño de entrada de material y sistema de refrigeración del ensayo #1

### **Ensayo #3**

Material: DOW 641+5% CABOSIL

Número de Cavidades: 1

Artículo de Prueba: Carcasa de celular

Programa CAE utilizado: Moldex 3D

Para el ensayo #3 se utilizan el mismo diseño de entrada de material y sistema de refrigeración del ensayo #1

### **Ensayo #4**

Material: LDPE 1965T de SABIC.

Número de Cavidades: 2

Artículo de Prueba: Carcasa celular

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Programa CAE utilizado: Moldex 3D

Se diseña entrada de material subterránea para el molde (Carcasa de celular)

Se diseña sistema de refrigeración del molde.

### **Ensayo #5**

Material: DOW 641+ 5% CARBONATO

Artículo de Prueba: Carcasa celular

Programa CAE utilizado: Moldex 3D

Para el ensayo #5 se utilizan el mismo diseño de entrada de material y sistema de refrigeración del ensayo #4

### **Ensayo #6**

Material: DOW 641+5% CABOSIL

Artículo de Prueba: Carcasa celular

Programa CAE utilizado: Moldex 3D

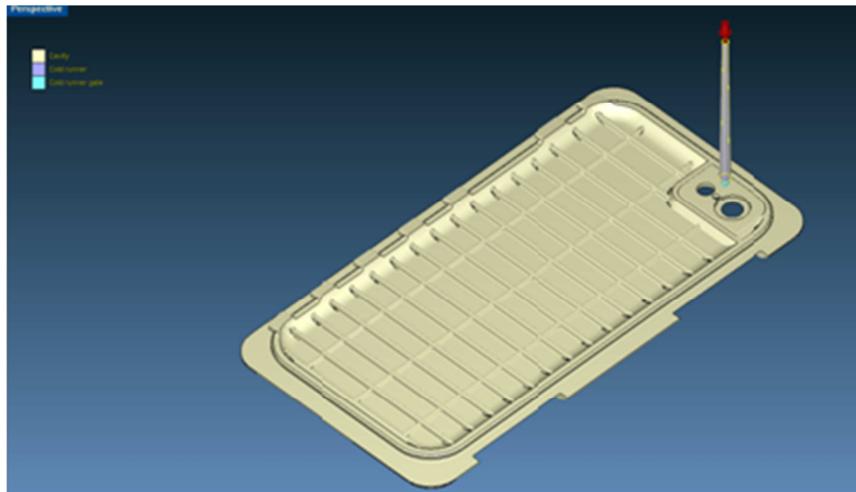
Para el ensayo #6 se utilizan el mismo diseño de entrada de material y sistema de refrigeración del ensayo #4

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 4. RESULTADOS

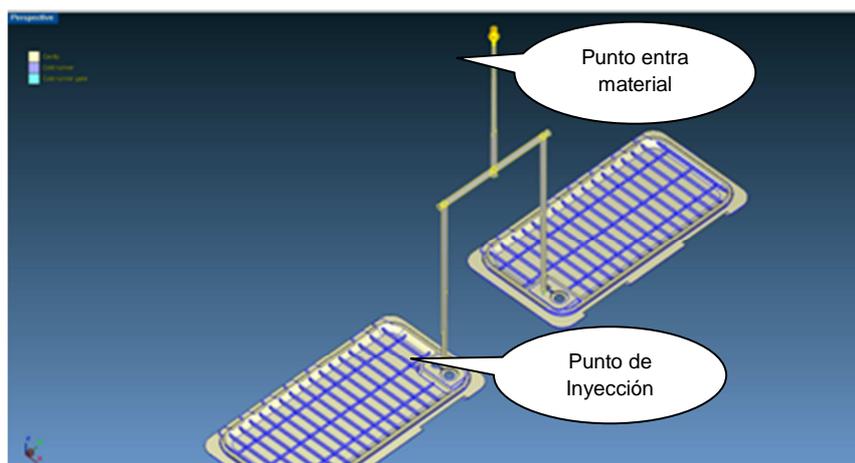
### ***DESARROLLO DEL DISEÑO DEL MOLDE***

PASO 1 y PASO 2



**Imagen 8 Diseño Punto de entrada del material**

Fuentes (Elaboracion propia)



**Imagen 9 Comparación punto de entrada de material y Punto de inyección**

Fuentes

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Lo primero es importar la geometría utilizada como molde, al programa de simulación Moldex R12 designer; Como segundo paso nos muestra por defecto el punto de inyección sugerido. Es posible cambiar el la ubicación del punto de inyección según criterio de análisis por las personas que realizaran el ensayo.

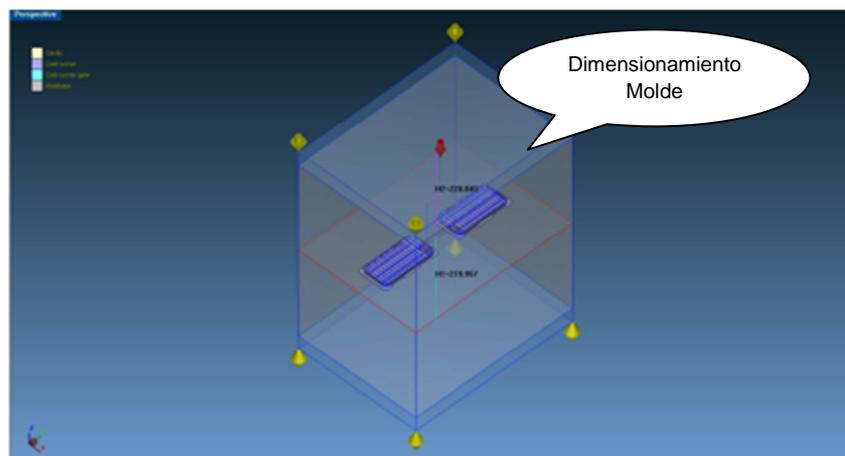
***Punto de Entrada del material:***

Este punto es el primer contacto que tiene el material con el molde.

***Punto de Inyección:***

Es el punto donde el material entra a la cavidad del molde. Este punto se debe ubicar donde el articulo tenga mayor detalle para evitar líneas de unión.

**PASO 3**



**Imagen 10 Dimensionamiento del Molde**

Fuente (Elaboracion propia)

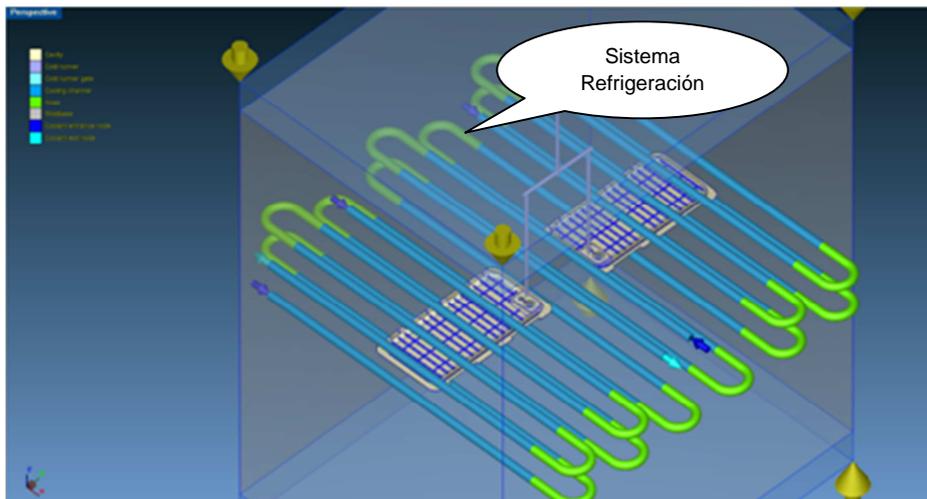
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

En este paso se define dimensionalmente el molde, Las flechas amarillas que aparecen en los extremos de la superficie azul, son límites de la geometría o dimensionamiento del molde.

***Dimensiones del molde:***

Sirven para definir según el número de cavidades el tamaño de la máquina de inyección que se va a utilizar.

**PASO 4**



**Imagen 11 Diseño Sistema de Refrigeración**

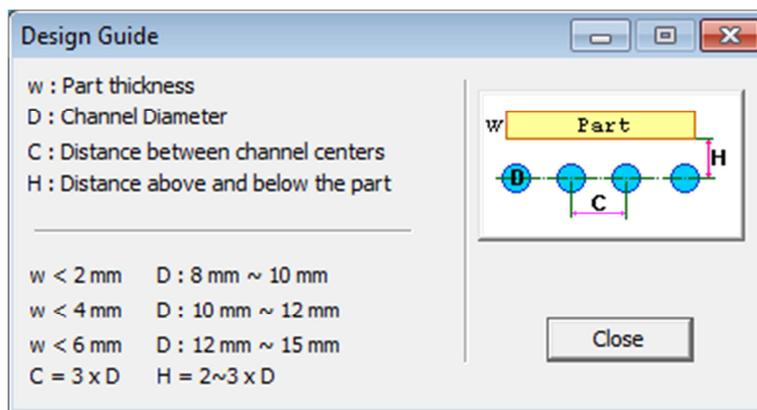
Fuente (Elaboracion propia)

En la Imagen 11 podemos observar las rutas del sistema de refrigeración. La entrada y salida de refrigerante con flechas de color azul rey y azul cielo respectivamente. Para el diseño de los canales de refrigeración utilizando la herramienta llamada “wizard”, este herramienta nos proporciona por defecto una ruta de refrigeración, la cual se debe evaluar y realizar los ajustar necesarios, generalmente presenta errores como son,

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

cruce entre tuberías, puntos muy cercanos al caminos de entrada de material, o a la cavidad del molde y rutas de tuberías no equidistantes.

Parámetros recomendados para el diseño sistema de refrigeración, Tomados del programa moldex.



**Imagen 12 Parámetros Diseño Sistema de refrigeración programa moldex**

(core tech system Co.Ltda Moldex 3D, 2012)

Estos parámetros son recomendados para evitar errores al cargar el molde en el programa de simulación, al diseñar el sistema de refrigeración. La utilización de la tabla anterior nos ayuda a obtener un diseño más equilibrado para garantizar un mejor fluidez de material en el molde y reducir el tiempo de desmolde de los artículos.

## PASO 5

Realizar el mallado de la geometría.

Mallado: Es la escala de detalle con la que el programa calculara la simulación.

En todos estos casos la alta resolución en el mallado 3D, es crucial para obtener un resultado con una aproximación alta en las variables como son: la precisión, viscosidad y temperatura, lo que mejora la predicción de la deformación de manera significativa.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## PASO 6

Luego de definir la entrada del material, punto de inyección, dimensionamiento del molde, rutas de refrigeración y el mallado se finalizas una primera etapa que está orientada al diseño del molde. Se procede a exportar el modelo obtenido para comenzar una segunda etapa que es la de simulación. (Moldex 3D R12).

## **DESARROLLO DE LA SIMULACION EN MOLDEX 3D R12**

### PASO1

Creación del nuevo proyecto en Moldex 3D R12.

Importar el archivo obtenido mediante el Moldex 3D R12 designer.

### PASO2

Cargar material LDPE 1965T de SABIC.

Cargar material DOW 641+ 5% CARBONATO

Cargar material DOW 641+5% CABOSIL

Se cargan respectivamente los materiales para cada ensayo. Teniendo en cuenta los parámetro de entrada (Caracterización del material), obtenidos de la ley de potencias.

### PASO 3

#### **Molde de 1 Cavidad**

Establecer parámetros del proceso:

La tabla que aparece a continuación nos relaciona los parámetros de entrada que se utilizaron para obtener los resultados que aparecen en las imágenes 13, 14, 15, 16, 17, 18,19,20 y 21 que corresponde al ensayo del molde de una cavidad.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**Tabla 4 parámetros del proceso**

PARAMETROS DEL PROCESO			
Material	carbonato 5%	cabosil5%	Sin carga
Tiempo de llenado	0.6050 Seg.	0.6050 Seg.	0.6050 Seg.
Temperatura del material	215°C	215°C	210 °C
Temperatura del Molde	40°C	40°C	30°C
Máxima presión de Inyección	202 Mpa	202 Mpa	202 Mpa
Tiempo de compactación	4.6 Seg.	4.6 Seg.	4.6 Seg.
Max presión de compactación	202 Mpa	202 Mpa	202 Mpa
Tiempo de enfriamiento	13,7 Seg.	13,7 Seg.	13,7 Seg.
Tiempo de apertura del molde	5 Seg.	5 Seg.	5 Seg.
Temperatura de Extracción	92,2°C	92,2°C	88,8°C
Temperatura del aire	25 °C	25 °C	25 °C
Temperatura del Agua	40°C	40°C	30°C
	120	120	120
Caudal del agua	Cm <sup>3</sup> /seg.	Cm <sup>3</sup> /seg.	Cm <sup>3</sup> /seg.

#### PASO 4

##### *Molde de 1 Cavidad (Presión de Llenado):*

Los resultados que se describen en la imagen 13, 14 y 15 nos muestran la comparación del comportamiento de la presión de llenado con los 3 materiales propuestos para los ensayos de simulación. Posteriormente se comparan estos resultados por medio de la tabla 5 comparativa.

Se toman 3 registros del perfil de llenado que son: Primer registro, punto de Inyección, segundo registro punto medio del artículo y tercer registro punto final del artículo.

### Ensayo #1

Material Polietileno de baja densidad sin cargas

LDPE 1965T de SABIC.

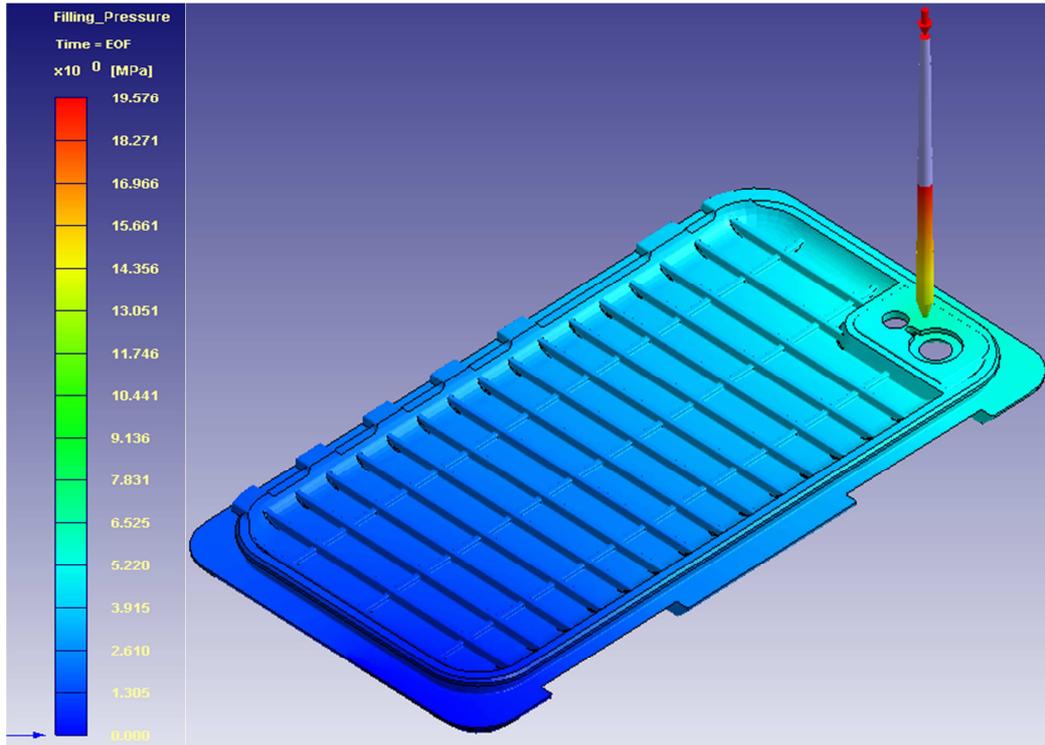


Imagen 13 Presión de llenado Molde de 1 cavidad

Fuente (Elaboracion propia)

### Ensayo #2

Polietileno de baja densidad + Carbonato 5%

DOW 641+ 5% CARBONATO

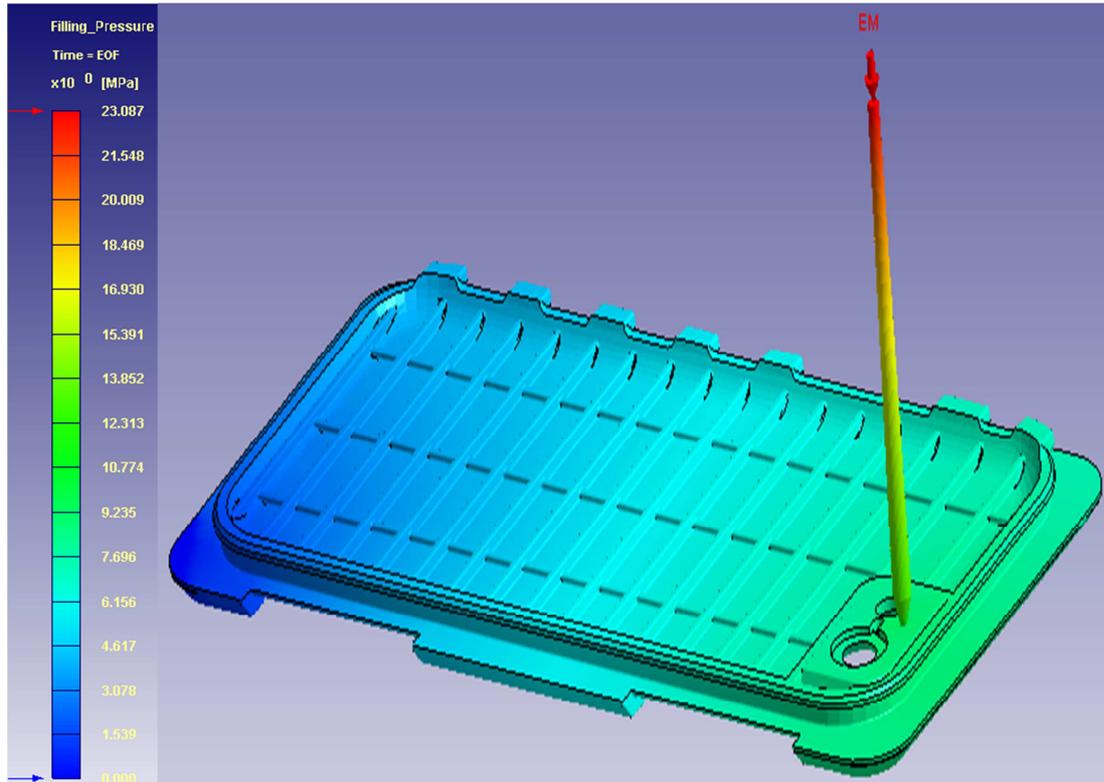


Imagen 14 - Presión de llenado Molde de 1 cavidad

Fuente (Elaboracion propia)

Ensayo #3

Polietileno de baja densidad + Cabosil 5%

DOW 641+5% CABOSIL

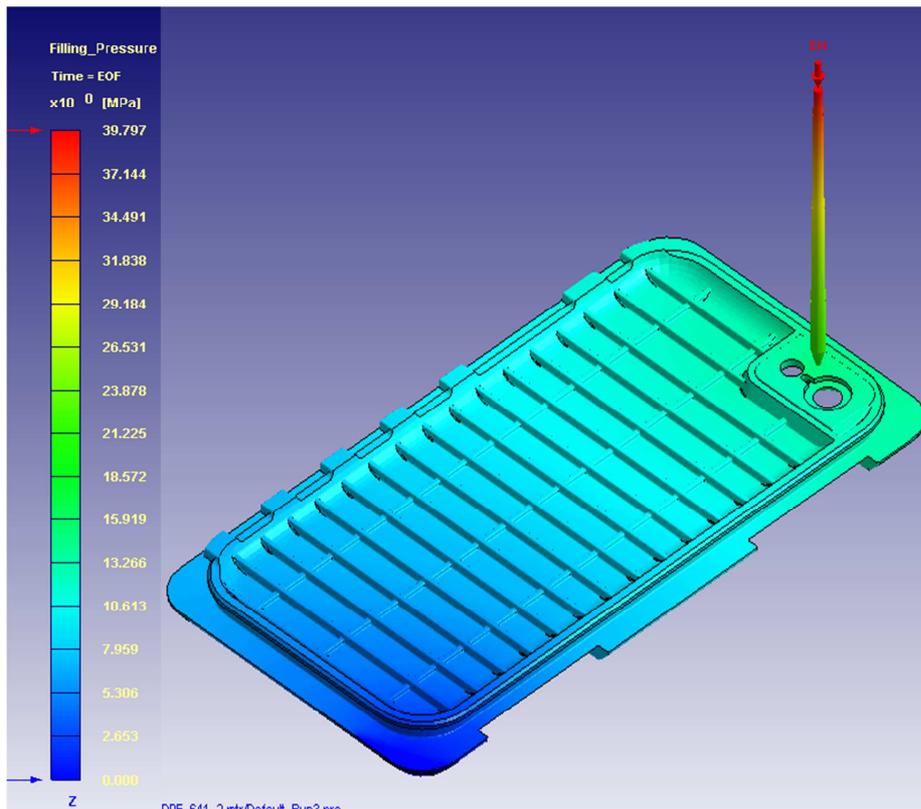


Imagen 15 - Presión de llenado Molde de 1 cavidad

Fuente (Elaboracion propia)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**Tabla 5 comparativa Presiones**

PRESION DE LLENADO			
Material Polietileno	+ carbonato 5% (Mpa)	+ cabosil5% (Mpa)	Sin carga (Mpa)
Punto de inyección	9,235	16	6
Centro del articulo	6	10	3
Final del articulo	0	0	0

#### PASO 4

##### *Molde de 1 Cavidad (Temperatura de Llenado):*

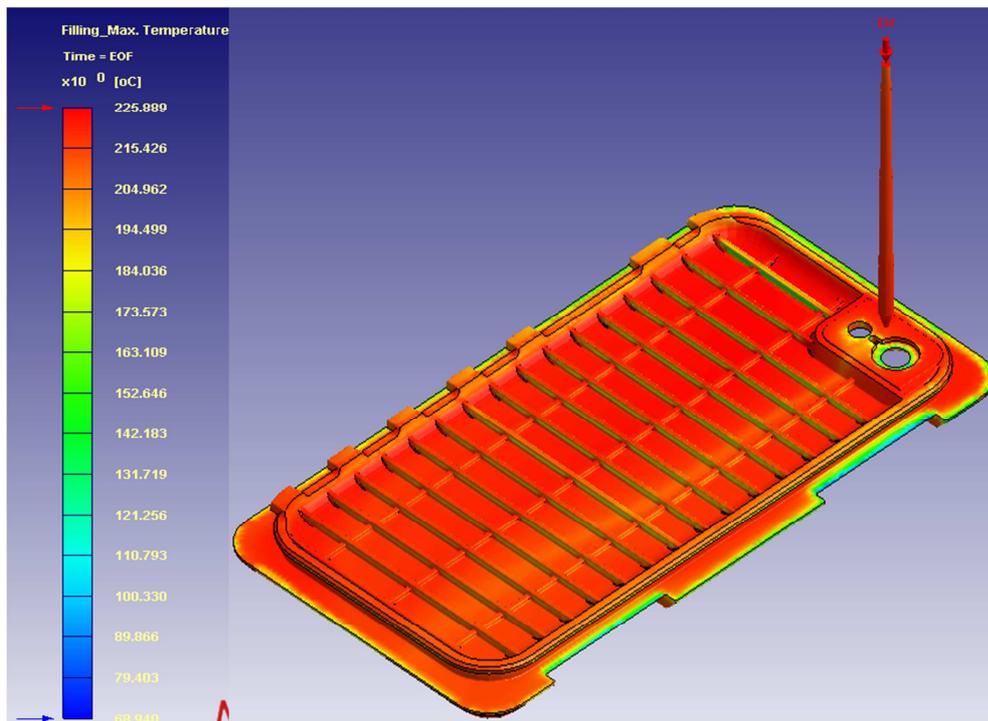
Los resultados que se describen en la imagen 16, 17 y 18 nos muestran la comparación del comportamiento de la temperatura en el llenado con los 3 materiales propuestos para la simulación.

Posteriormente se comparan estos resultados por medio de la tabla 6 comparativa. Igual que en los ensayos de presión se toman 3 registros del perfil de llenado que son: Primer registro, punto de Inyección, segundo registro punto medio del artículo y tercer registro punto final del artículo.

##### Ensayo #1

Material Polietileno de baja densidad sin cargas

LDPE 1965T de SABIC.



**Imagen 16 - temperatura de llenado Molde de 1 cavidad**

Fuente (Elaboracion propia)

Ensayo #2

Material Polietileno de baja densidad + Carbonato al 5%

DOW 641+ 5% CARBONATO

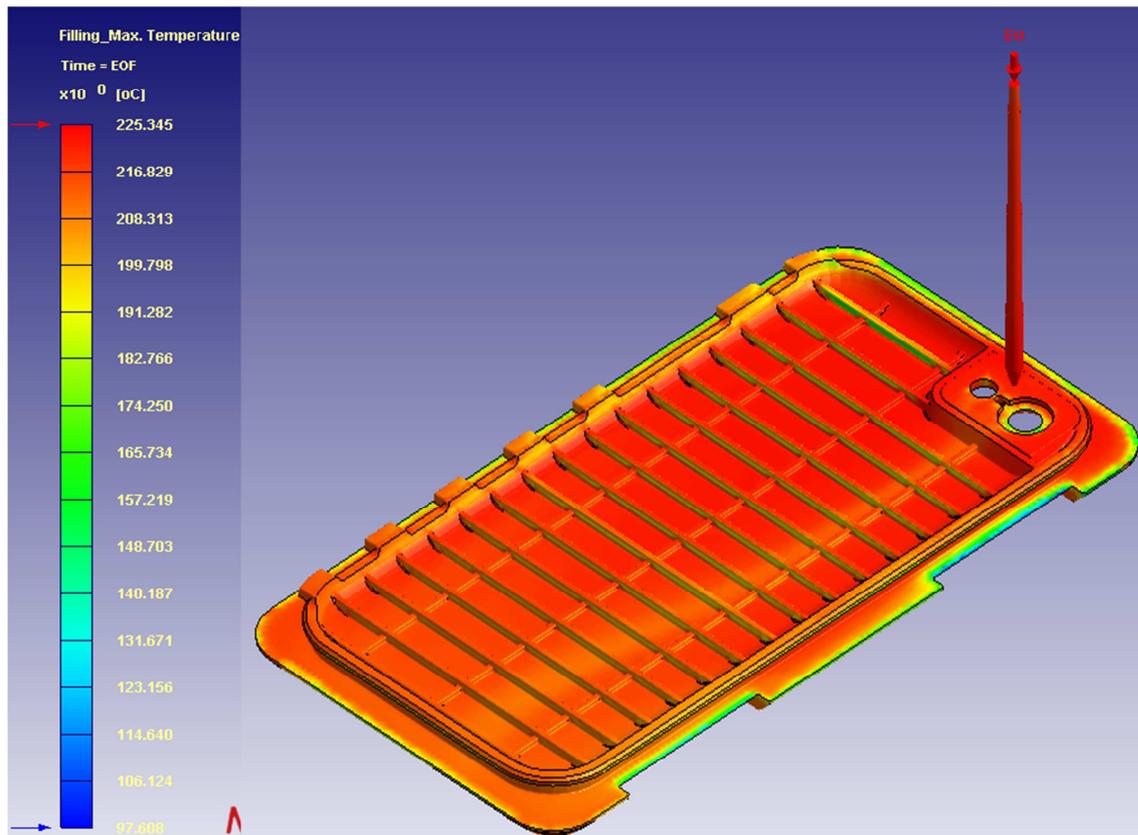


Imagen 17 - temperatura de llenado Molde de 1 cavidad

Fuente (Elaboracion propia)

Ensayo #3

Material Polietileno de baja densidad + Cabosil 5%

DOW 641+5% CABOSIL

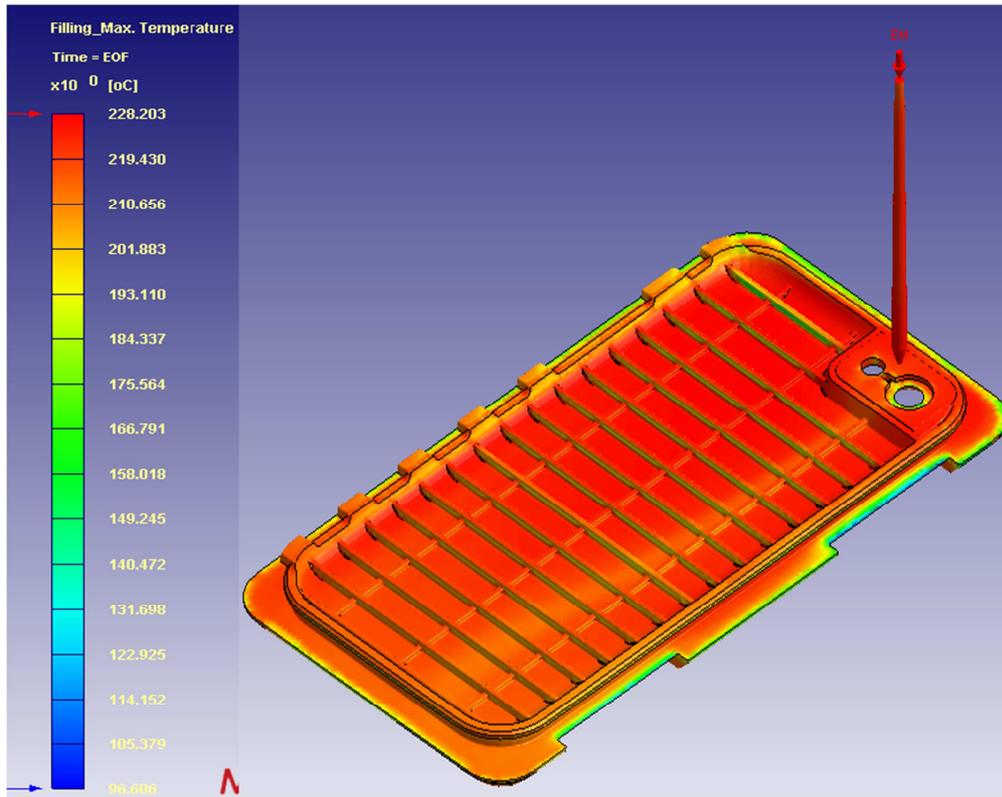


Imagen 18 - temperatura de llenado Molde de 1 cavidad

Fuente (Elaboracion propia)

Tabla 6 comparativa Temperaturas.

TEMPERATURA DE LLENADO			
Material Polietileno	+ carbonato 5% (°C)	+ cabosil5% (°C)	Sin carga (°C)
Punto de inyección	220	227	223
Centro del articulo	215	219	210
Final del articulo	208	210	205

Resultado de la medición del esfuerzo cortante máximo en la etapa de llenado.

Grafica presión de bebederos [Mpa] Vs Tiempo[s] en etapa de llenado

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

#### PASO 4

##### *Molde de 1 Cavidad (Rata de Cizalladura):*

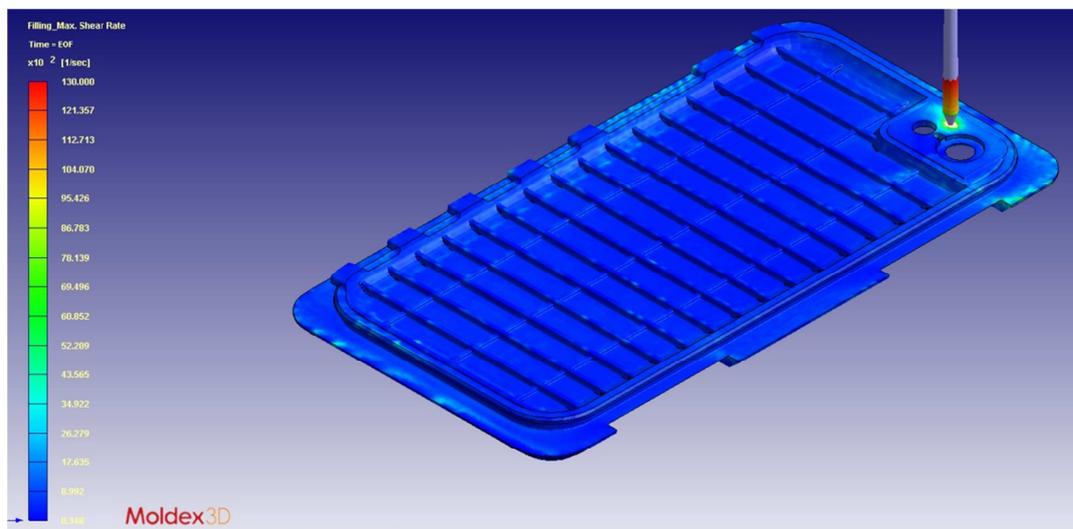
Los resultados que se describen en la imagen 19, 20 y 21 nos muestran la comparación del comportamiento de la cizalladura en la etapa de llenado con los 3 materiales propuestos para la simulación.

Posteriormente se comparan estos resultados por medio de la tabla 7 comparativa. Igual que en los ensayos de presión se toman 3 registros del perfil de llenado que son: Primer registro, punto de Inyección, segundo registro punto medio del artículo y tercer registro punto final del artículo.

#### Ensayo #1

Material Polietileno de baja densidad sin cargas

LDPE 1965T de SABIC.



**Imagen 19 – Rata de Cizalladura Molde de 1 Cavidad**

Fuente (Elaboracion propia)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## Ensayo #2

Material Polietileno de baja densidad + Carbonato al 5%

DOW 641+ 5% CARBONATO

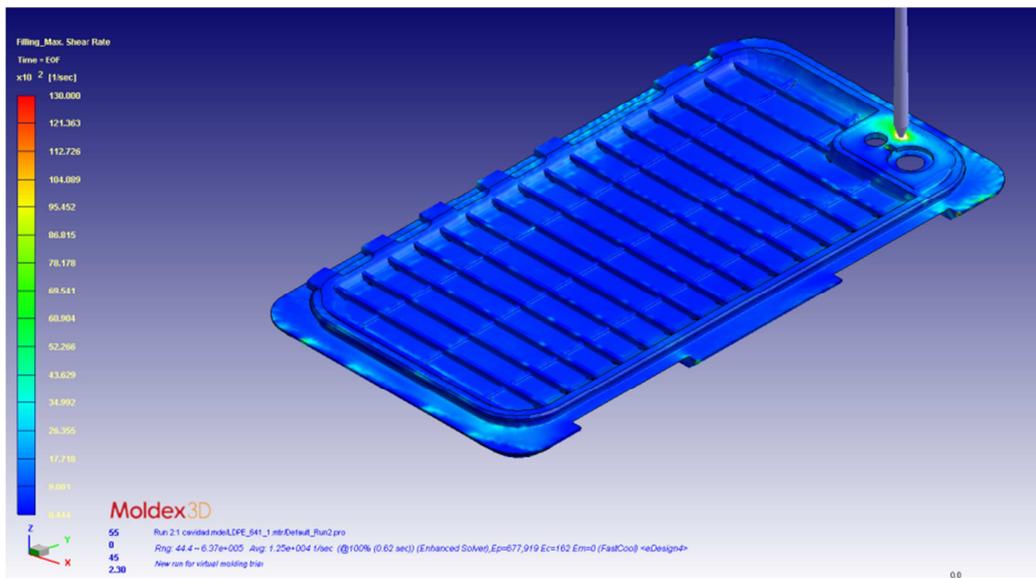


Imagen 20 – Rata de Cizalladura Molde de 1 Cavidad

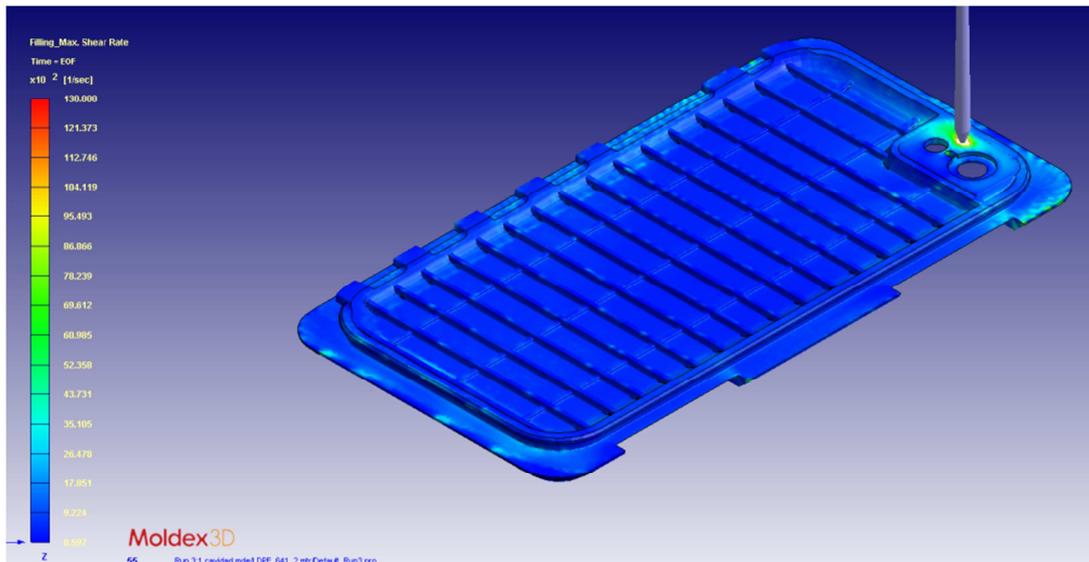
Fuente (Elaboracion propia)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

### Ensayo #3

Material Polietileno de baja densidad + Cabosil 5%

DOW 641+5% CABOSIL



**Imagen 21 – Rata de Cizalladura Molde de 1 Cavidad**

Fuente (Elaboracion propia)

Rata de cizalladura en la prueba del material si carga, se observa mayor cizalladura en los alrededores del punto de inyección donde llega hasta unos 69495 1/s, además en los bordes de la pieza se observa que es de 43565 1/s, y en lugares intermedios de la geometría se notan 34922 1/s

Rata de cizalladura en la prueba del material si cargado con carbonato, se observa mayor cizalladura en los alrededores del punto de inyección donde llega hasta unos 78100 1/s, además en los bordes de la pieza se observa que es de 52266 1/s , en lugares intermedios de la geometría se notan 43029 1/s.

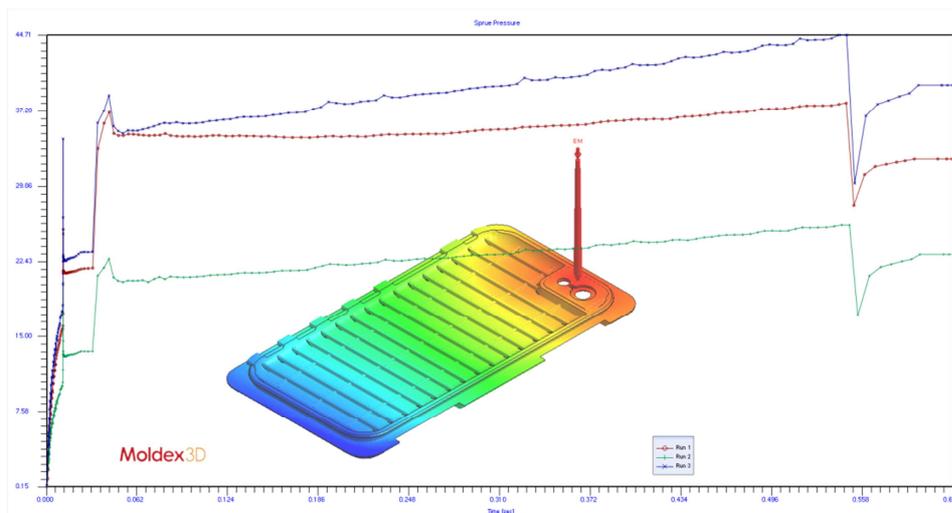
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Rata de cizalladura en la prueba del material si cargado con cabosil, se observa mayor cizalladura en los alrededores del punto de inyección donde llega hasta unos 86866 1/s, además en los bordes de la pieza se observa que es de 55000 1/s , en lugares intermedios de la geometría se notan 44000 1/s.

**Tabla 7 Comparativa Rata de cizalladura**

RATA DE CIZALLADURA MOLDE DE 1 CAVIDAD				
MATERIAL		CARBONATO 5%	CABOSIL 5%	MATERIAL SIN CARGA
PUNTO DE INYECCION CENTRO DEL	DE DEL	78100 [1/s]	86866 [1/s]	69495 [1/s]
ARTICULO BORDES DEL		43029 [1/s]	44000 [1/s]	34922 [1/s]
ARTICULO		52266 [1/s]	55000 [1/s]	43565 [1/s]

Grafica presión de bebederos [Mpa] Vs Tiempo[s] en etapa de llenado



**Imagen 22 – Resultado de la Medición**

Fuente (Elaboracion propia)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Run1: Material sin cargas (Línea de color Rojo)
- Run2: Material cargado con carbonato al 5% (Línea de color Verde)
- Run3: Material cargado con cabosil al 5% (Línea de Color Azul)

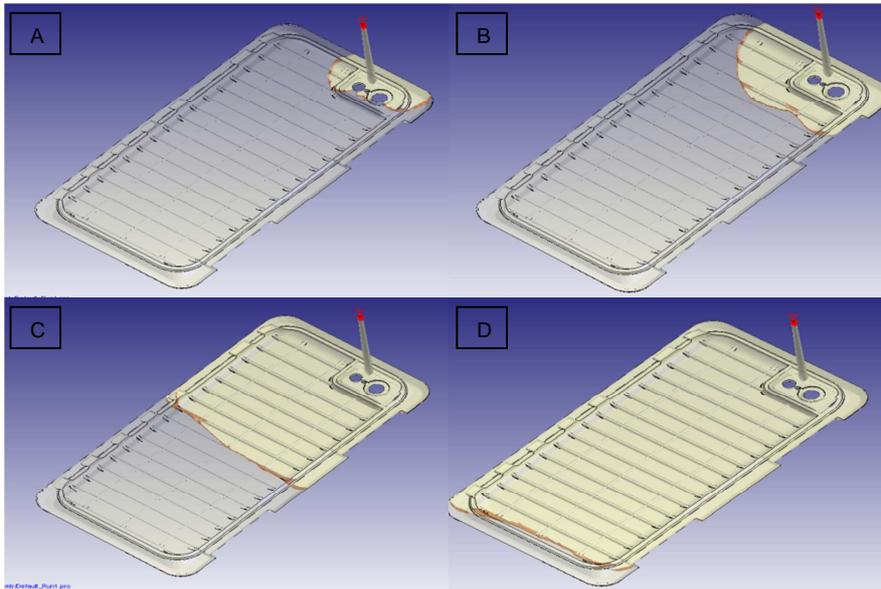
Explicación comportamiento según grafica anterior.

En el 2% de llenado del material se observa un pico de la presión, siendo más alta la presión del material cargado con cabosil, seguido del material sin carga y la presión más baja es la del material cargado con carbonato. Con valores de 38.74 Mpa; 26.07 Mpa; 20.11Mpa respectivamente. El material al llegar al punto de inyección se encuentra con una reducción de área que eleva la presión. (El área es inversamente proporcional a la presión). En el 5% de llenado el material se cruza con 2 pines que restringen el flujo del material, y ocasiona un incremento de la presión, llevándola hasta 38.74 Mpa para el material cargado con cabosil, 37.25Mpa para el material sin carga y 22.35 Mpa para el material cargado con carbonato, luego de estas presiones se estabilizan; se observa un incremento proporcional al llenado hasta alcanzar el punto máximo de presión que se da en el 90% del llenado, para el material con cabosil de 44.61 Mpa, 38 Mpa para el material sin cargas y para el material cargado con carbonato de 26.07 Mpa, luego se observa un caída de presión.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## PERFIL DE LLENADO

Debido a que los parámetros de entrada fueron iguales no se noto una variación en el perfil de llenado, se tomaron registros como se observa en la siguiente imagen



**Imagen 23 – Perfil de llenado**

Fuente (Elaboracion propia)

a-Perfil de llenado al 10%; b-Perfil de llenado al 20%;  
c-Perfil de llenado al 50%; d-Perfil de llenado al 90%.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

### PASO 3

#### Molde de 2 Cavidad

Establecer parámetros del proceso:

La tabla que aparece a continuación nos relaciona los parámetros de entrada que se utilizaron para obtener los resultados que aparecen en las imágenes 19, 20, 21, 22, 23 y 24 que corresponde al ensayo del molde de dos cavidades.

**Tabla 8 parámetros del proceso**

PARAMETROS DEL PROCESO			
Material	carbonato 5%	cabosil5%	Sin carga
Tiempo de llenado	0.552 Seg.	0.552 Seg.	0.552 Seg.
Temperatura del material	215°C	215°C	210 °C
Temperatura del Molde	40°C	40°C	30°C
Máxima presión de Inyección	156 Mpa	156 Mpa	156 Mpa
Tiempo de compactación	4.27 Seg.	4.27 Seg.	4.27 Seg.
Max presión de compactación	156 Mpa	156 Mpa	156 Mpa
Tiempo de enfriamiento	12.9 Seg.	12,9 Seg.	12.9 Seg.
Tiempo de apertura del molde	5 Seg.	5 Seg.	5 Seg.
Temperatura de Extracción	92,18°C	92,18°C	88,85°C
Temperatura del aire	25 °C	25 °C	25 °C
Temperatura del Agua	40°C	40°C	30°C
	120	120	120
Caudal del agua	Cm <sup>3</sup> /Seg.	Cm <sup>3</sup> /Seg.	Cm <sup>3</sup> /Seg.

#### *Molde de 2 Cavidad (Presión de Llenado):*

Los resultados que se describen en la imagen 19, 20 y 21 nos muestran la comparación del comportamiento de la presión de llenado con los 3 materiales propuestos para los ensayos de simulación. Posteriormente se comparan estos resultados por medio de la tabla # comparativa que describe los valores en la cavida 1 y la tabla comparativa que describe valores en la cavidad 2.

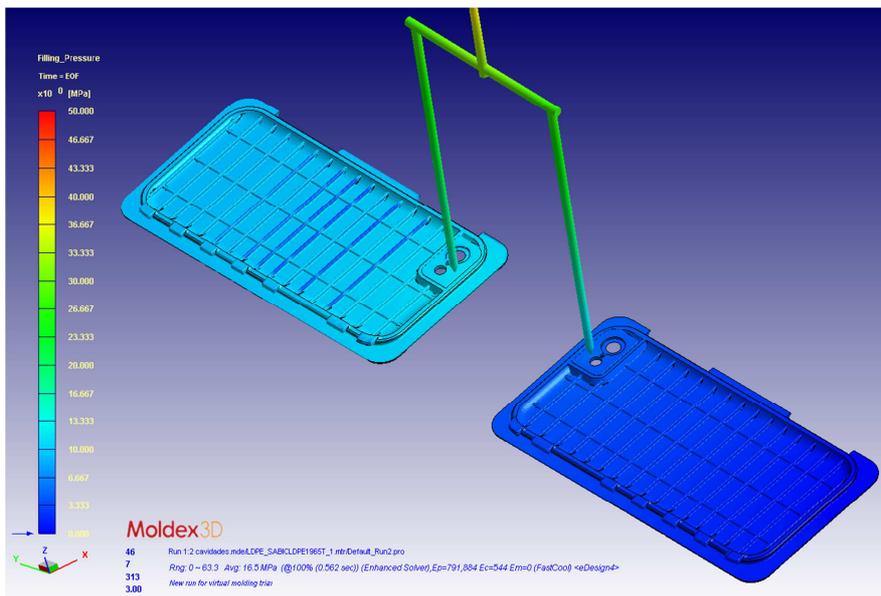
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Se toman 3 registros del perfil de llenado que son: Primer registro, punto de Inyección, segundo registro punto medio del artículo y tercer registro punto final del artículo

#### Ensayo #4

Material Polietileno de baja densidad sin cargas

LDPE 1965T de SABIC.



**Imagen 24 - Presión de llenado Molde de 2 cavidades**

Fuente (Elaboracion propia)

Ensayo #5

Polietileno de baja densidad + Carbonato 5%

DOW 641+ 5% CARBONATO

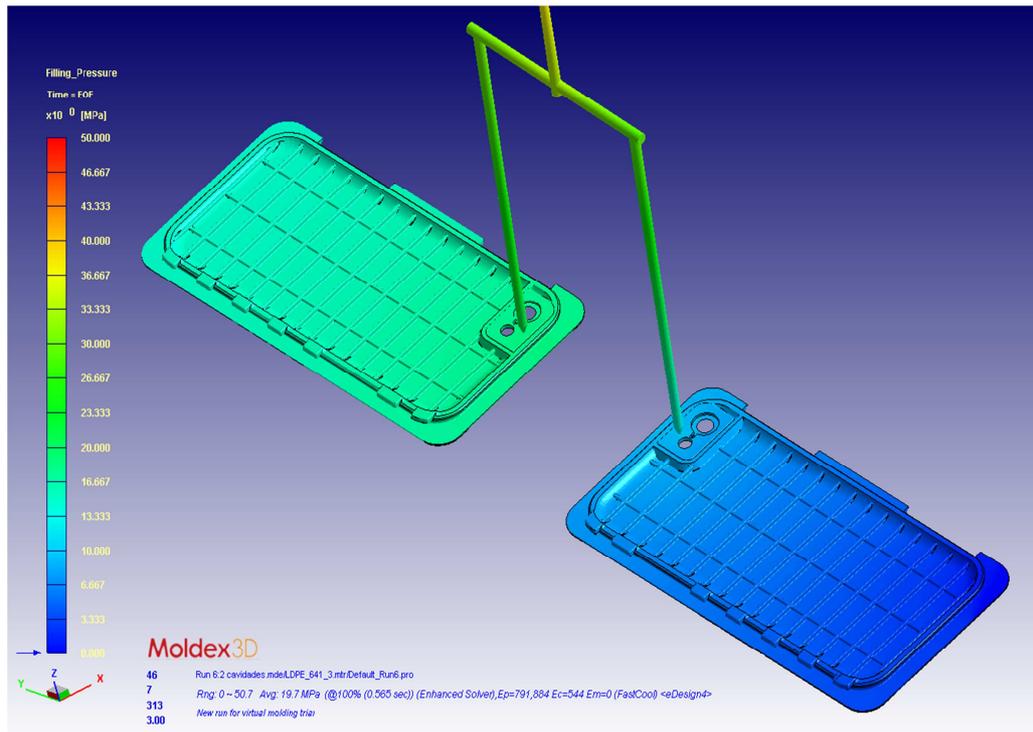


Imagen 25 - Presión de llenado Molde de 2 cavidades

Fuente (Elaboracion propia)

Ensayo #6

Polietileno de baja densidad + Cabosil 5%

DOW 641+5% CABOSIL

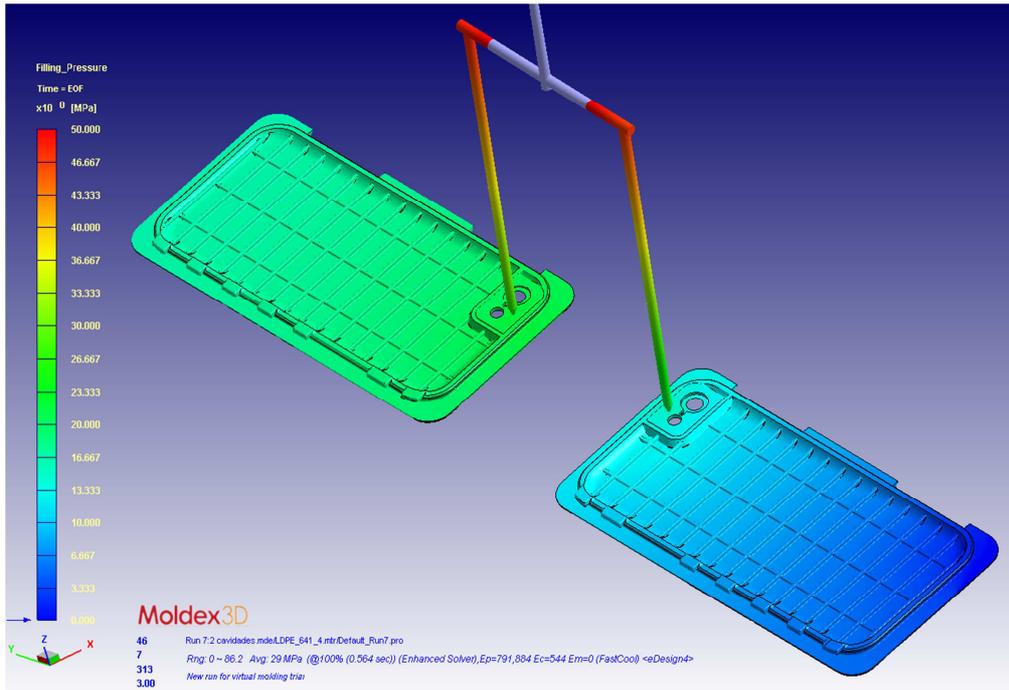


Imagen 26 - Presión de Llenado Molde de 2 cavidades

Fuente (Elaboracion propia)

Tabla 9 comparativa presiones de llenado cavidad 1

PRESION DE LLENADO PARA MOLDE DE DOS CAVIDADES ANALISIS CAVIDADES 1			
MATERIAL	CARBONATO 5%	CABOSIL 5%	MATERIAL SIN CARGA
PUNTO DE INYECCION	20	26	13
CENTRO DEL ARTICULO	16	16	10
FINAL DEL ARTICULO	13	15	6

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**Tabla 10 comparativa presión de llenado cavidad 2**

PRESION DE LLENADO PARA MOLDE DE DOS CAVIDADES ANALISIS CAVIDADES 2			
MATERIAL	CARBONATO 5%	CABOSIL 5%	MATERIAL SIN CARGA
PUNTO DE INYECCION	10	15	6
CENTRO DEL ARTICULO	6	6	3
FINAL DEL ARTICULO	3	3	2

#### PASO 4

*Molde de 2 Cavidad (Temperatura de Llenado):*

Los resultados que se describen en la imagen 22, 23 y 24 nos muestran la comparación del comportamiento de la temperatura en el llenado con los 3 materiales propuestos para la simulación. Posteriormente se comparan estos resultados por medio de la tabla # comparativa que describe los valores en la cavida 1 y la tabla comparativa que describe valores en la cavidad 2. Se toman 3 registros del perfil de llenado que son: Primer registro, punto de Inyección, segundo registro punto medio del articulo y tercer registro punto final del artículo.

Ensayo #4

Material Polietileno de baja densidad sin cargas

LDPE 1965T de SABIC.

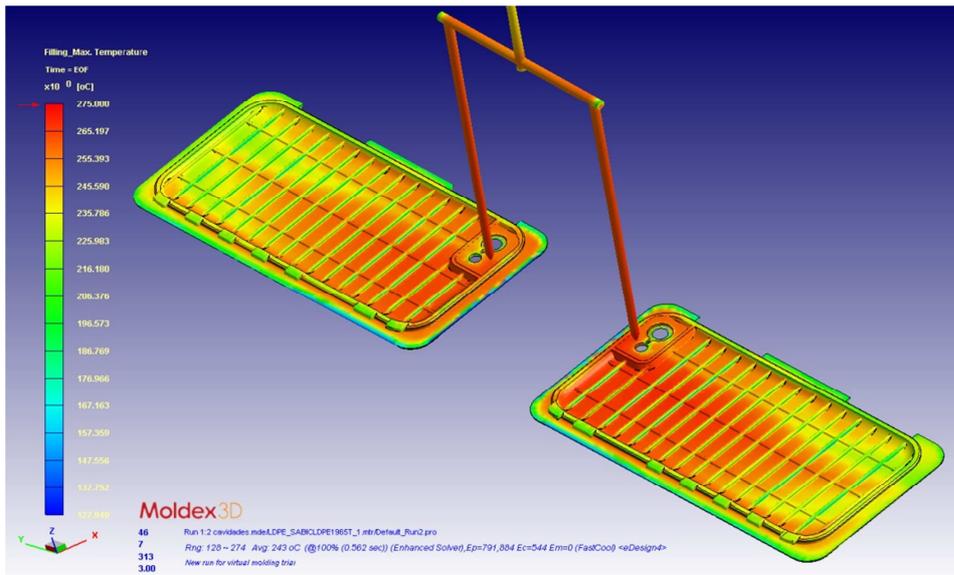


Imagen 27 - temperatura de llenado Molde de 2 cavidades

Fuente (Elaboracion propia)

Ensayo #5

Polietileno de baja densidad + Carbonato 5%

DOW 641+ 5% CARBONATO

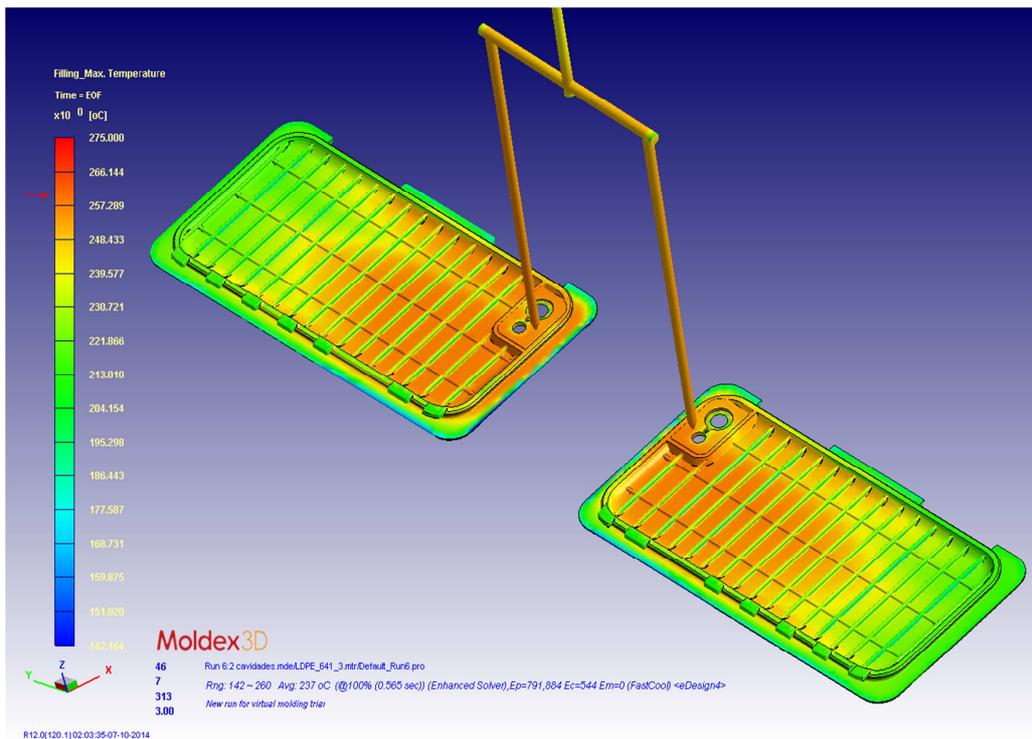


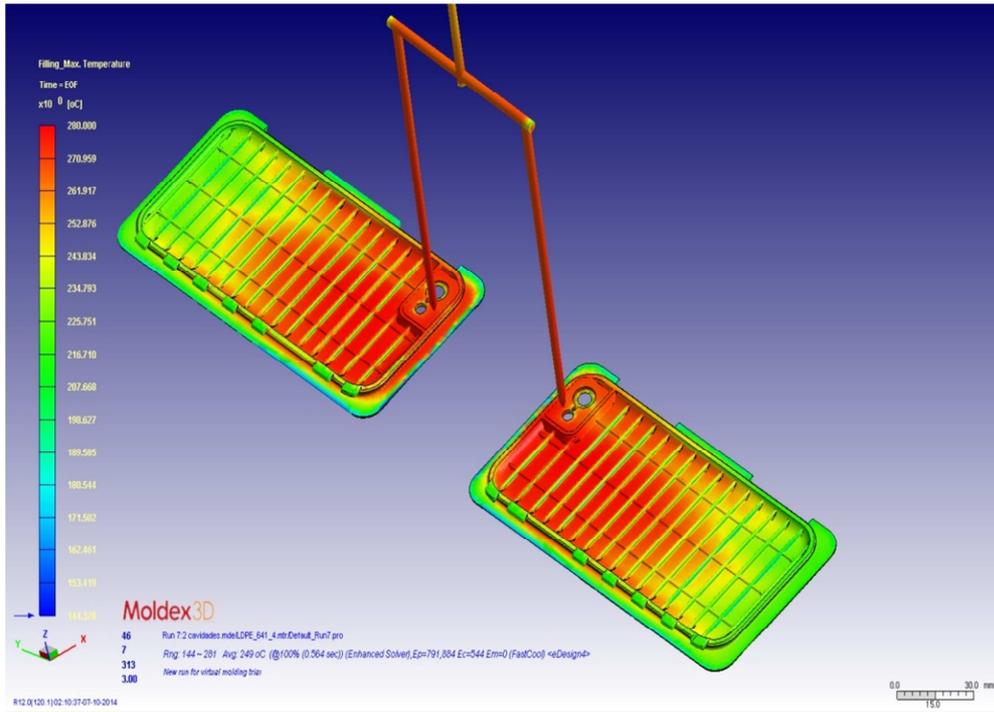
Imagen 28 - Temperatura de llenado Molde de 2 cavidades

Fuente (Elaboracion propia)

### Ensayo #6

Polietileno de baja densidad + Cabosil 5%

DOW 641+5% CABOSIL



**Imagen 29 - Temperatura de llenado Molde de 2 cavidades**

Fuente (Elaboracion propia)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

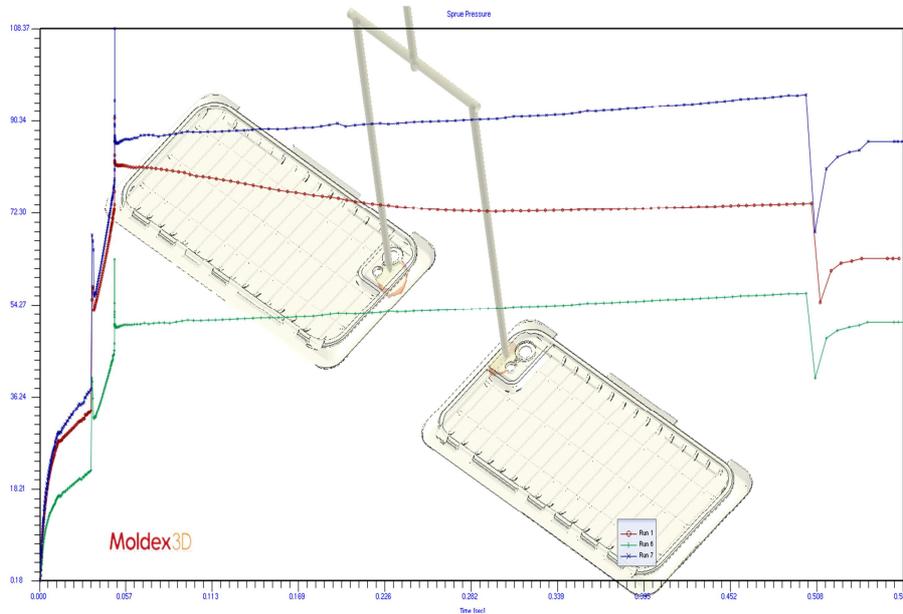
**Tabla 11 comparativa temperaturas de llenado cavidad 1**

MAXIMA TEMPERATURA PARA MOLDE DE DOS CAVIDADES ANALISIS CAVIDADES 1			
MATERIAL	CARBONATO 5%	CABOSIL 5%	MATERIAL SIN CARGA
PUNTO DE INYECCION	257	275	260
CENTRO DEL ARTICULO	250	265	255
FINAL DEL ARTICULO	213	216	225

**Tabla 11 comparativa temperaturas de llenado cavidad 2**

MAXIMA TEMPERATURA PARA MOLDE DE DOS CAVIDADES ANALISIS CAVIDADES 2			
MATERIAL	CARBONATO 5%	CABOSIL 5%	MATERIAL SIN CARGA
PUNTO DE INYECCION	250	280	265
CENTRO DEL ARTICULO	248	270	260
FINAL DEL ARTICULO	221	234	235

Grafica presión de bebederos [Mpa] Vs Tiempo[s] en etapa de llenado



**Imagen 9 – Presión de bebederos**

(core tech system Co.Ltda Moldex 3D, 2012)

- Run 1 material sin carga (rojo)
- Run 6 carbonato (verde)
- Run 7 cabosil(azul)

Explicación comportamiento según grafica anterior.

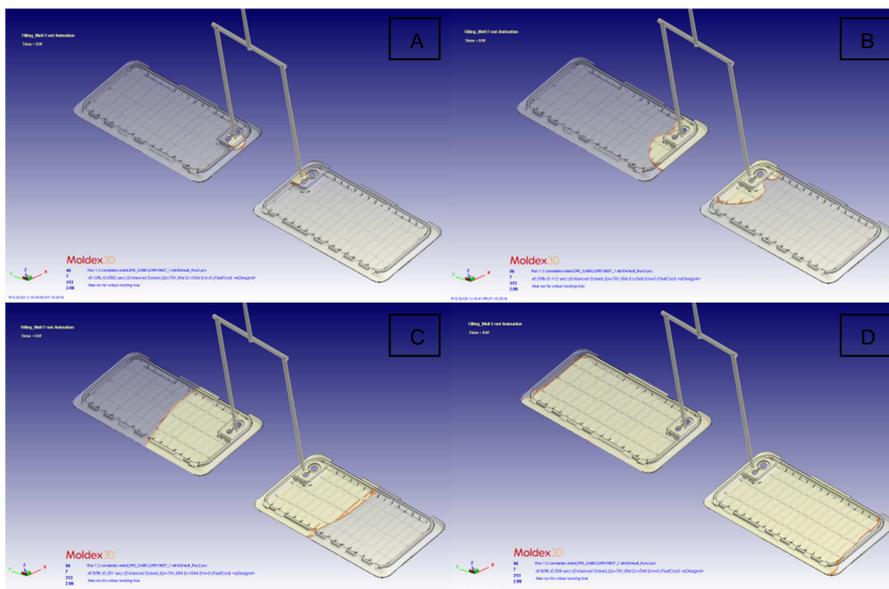
En el 5% de llenado del material se observa un pico de la presión, siendo más alta la del material cargado con cabosil, seguido del material sin carga y la presión más baja es la del material cargado con carbonato. Con valores de 70.30 Mpa; 56.27 Mpa; 38.24 Mpa respectivamente. El material al llegar al punto de inyección se encuentra con una reducción de área que eleva la presión. (El área es inversamente proporcional a la presión). En el 9% de llenado el material se cruza con 2 pines que restringen el flujo del material, y ocasiona un incremento de la presión, llevándola hasta 108.37 Mpa para el

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

material cargado con cabosil, 68 Mpa para el material sin carga y 65 Mpa para el material cargado con carbonato, luego de estas presiones se estabilizan; se observa un incremento proporcional al llenado hasta alcanzar el punto máximo de presión que se da en el 90% del llenado, para el material con cabosil de 92.34 Mpa, 54.27 Mpa para el material con carbonato y para el material sin carga se observa un descenso en la presión hasta llegar a 72.30 Mpa, luego se observa un caída de presión.

### PERFIL DE LLENADO

Debido a que los parámetros de entrada fueron iguales no se noto una variación en el perfil de llenado, se tomaron registros como se observa en la siguiente imagen



**Imagen 31 – Perfil de Llenado**

Fuente (Elaboracion propia)

a-Perfil de llenado al 10%; b-Perfil de llenado al 20%;  
c-Perfil de llenado al 50%; d-Perfil de llenado al 90%.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Los cambios de viscosidad con la adición de cargas son representativos, como se puede observar en la tabla 1, en la cual se nota que el material cargado con cabosil, es el de la mayor viscosidad, seguido del material cargado con carbonato; de allí la razón de la diferencia de las presiones de llenado en todos los ensayos, del molde de una y dos cavidades; donde se pudieron evidenciar aumentos en la presión de hasta un 100% para el LDPE+ cabosil, un 65% en el LDPE+ carbonato según tabla comparativa, es decir, la maquina inyectora, tendría que hacer más esfuerzo a la hora de inyectar un material cargado.

Este mismo comportamiento queda evidenciado en las temperaturas que se presentan en el llenado, sigue siendo el cabosil el de más alta temperatura, debido a la mayor viscosidad, se presenta mayor cizalladura en el material, es decir mayor fricción interna, ya que el cabosil esta particulado en el orden de nm.

En las imágenes de temperatura máxima, se observa una línea de baja temperatura que inicia desde el punto de inyección y va perpendicular hasta el final de la pieza, la posible causa es el recorrido que debe hacer el material pasando por la zona de mayor detalle geométrico.

Se analiza el perfil de llenado en los 3 ensayos de materiales y en los dos tipos de moldes, se plantean mediciones al 10%, 20%, 50% y 90% de llenado; se compara el tiempo no se observó algún cambio relevante en las pruebas. Debido a que la temperatura utilizada como parámetro de entrada fue igual para todos los ensayos.

Otra de las variables donde se observa un cambio en el comportamiento, es en la rata de cizalladura (Ver tabla 7), como era de esperarse, el material cargado con cabosil fue el que obtuvo mayores valores, aumentando hasta en un 25%, en comparación con el material sin cargas, demostrando una vez más las repercusiones del aumento en la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

viscosidad, su dificultad para fluir en el molde y el roce interno entre sus partículas; adicional a esto el comportamiento del material cargado con carbonato es muy similar aunque en menor escala, este en cambio con respecto al material sin carga aumento solo un 13%, con esto podemos concluir que cuando se desee trabajar con un material cargado con cabosil, lo ideal es acortar al máximo el tiempo de llenado, dado que este es directamente proporcional a la cizalladura, así podríamos evitar deformaciones en el material y al mismo tiempo presiones de llenado muy elevadas.

Es muy importante definir el punto de entrada del material, debe ser por el lado donde el Artículo tenga mayores detalles. Con el fin de evitar al máximo las líneas de unión.

Una de las principales desventajas de los materiales compuestos en general son el aumento de la viscosidad, con el software de simulación tenemos la posibilidad de caracterizar los diferentes materiales utilizados, permitiendo optimizar y controlar las mezclas y analizar el perfil de fluidez.

Las mezclas y los nanocompuestos son utilizados para mejorar las propiedades mecánicas de un polímero final. Son empleados como refuerzo en materiales compuestos, los más utilizados son las fibras inorgánicas.

La simulación que se realizó por medio del software Moldex, nos permitió conocer la utilización de los dos programas que utilizamos.

Se divide en dos etapas que fueron diseño y comportamientos del material.

1 Etapa:

Moldex 3D R12 designer.

Este programa es utilizado para la primera etapa que es la de diseño donde se definen variables como son: Numero de cavidades, Punto de Inyección, ruta de refrigeración y dimensiones del molde; Todo lo relacionado directamente con el diseño del Molde.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 2 Etapa

### Moldex 3D R12.

En una segunda etapa se carga el diseño obtenido de la primera parte, en el programa moldex 3D R12. Cargamos los materiales que se van a trabajar y se procede hacer la simulación. Finalmente obtendremos comportamientos que nos sirven para estudiar los materiales y analizar los comportamientos y cambios que sufre en la simulación sin necesidad de incurrir en pruebas reales de ensayo y error.

La grafica de presión de llenado muestra que es máximo en el punto de entrada del material y va disminuyéndose en el cambio de área transversal.

Finalmente se recomienda para un trabajo futuro una comparación entre este trabajo y un modelo de inyección en campo para comparar resultados obtenidos y evaluar el alcance del programa de simulación.

Realizar esta prueba modificando las temperaturas para obtener un perfil de velocidad de llenado bajo unas nuevas condiciones y analiza su comportamiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## REFERENCIAS

- Apache/2.0.52 (Centos). (2011). *unidad de cierre del molde. 13 marzo del 2011*. Retrieved from [http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Moldes/INYECTORA\\_files/image005.jpg](http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Moldes/INYECTORA_files/image005.jpg)
- Arturo, C. (2010). *Imagen Molde. 2010*. Retrieved August 20, 2013, from <http://image.slidesharecdn.com/2diseodemoldesparainyecciondeplasticos-120621163318-phpapp02/95/slide-1-728.jpg?1340314656>
- Brandau, O., & Container, A. (2012). *3 Practical Guide to Injection Molding of Preforms. Bottles, Preforms and Closures* (Second Edi., pp. 79–114). Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-1-4377-3526-0.00003-6
- core tech system Co.Ltda Moldex 3D. (2012). Moldex 3D.
- Dang, X.-P. (2014). General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 41, 15–27. doi:10.1016/j.simpat.2013.11.003
- Falcos. (2010). *corp cabot*. Retrieved from <http://www.falcos.com.ve/pages.php?plD=3&osCsid=8ac7656c24ebd7c5e5cc6dd902d26ed9>
- Introduccion a los materiales compuestos. (1962), 1–29.
- Lee, L., Zeng, C., Cao, X., Han, X., Shen, J., & Xu, G. (2005). Polymer nanocomposite foams. *Composites Science and Technology*, 65(15-16), 2344–2363. doi:10.1016/j.compscitech.2005.06.016
- MATERIALES, P. I. DE. (2011). *imagen procesos de moldeo por inyeccion. 13 de junio del 2011*. Retrieved from [wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/images](http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/images)
- Moldex3D\_Manual. (n.d.).
- Nardin, B., Kuzman, K., & Kampus, Z. (2002). Injection moulding simulation results as an input to the injection moulding process, 131, 310–314.
- Outline, C. (2012). 8 Injection Stretch Blow Molding Machines. doi:10.1016/B978-1-4377-3527-7.00008-0





INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Código	FDE 089
Versión	01
Fecha	2013-09-16

FIRMA ESTUDIANTES Tablo Andrés Arbelaez  
Lario Andrés Castaño P.

FIRMA ASESOR \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

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: \_\_\_\_\_