

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

TÍTULO DEL PROYECTO: Estudio de la influencia de la geometría de los canales de alimentación y compuertas en la calidad de las piezas producidas a través del proceso de inyección.	FECHA: Julio 2021
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Diseño de moldes y procesos de manufactura de polímeros.	
Angie Katherine Lara Fonseca, angiek.laraf@ecci.edu.co , 47709.	

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

Estudio de la influencia de la geometría de los canales de alimentación y compuertas en la calidad de las piezas producidas a través del proceso de inyección

Presentado por:

Angie Katherine Lara Fonseca

Para la obtención del grado de:


Tecnóloga en Procesamiento de Plásticos

Asesorada por:

Ing. Helia Bibiana León Molina

Ing. Manuel Amézquita Pulido


Universidad ECCI
Tecnología en Procesamiento de Plásticos
Bogotá D.C
Año 2021

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

Contenido

Tabla de contenido

ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	4
1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS	7
2.1. OBJETIVO GENERAL	7
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. MARCO TEÓRICO	8
4. ESTADO DEL ARTE	11
5. METODOLOGÍA Y EXPERIMENTACIÓN.	12
5.1. METODOLOGÍA	12
5.2. EXPERIMENTACIÓN	12
5.2.1. MATERIALES	13
5.2.2. EQUIPOS UTILIZADOS	13
5.2.3. PROCEDIMIENTOS	15
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
6.1. RESULTADOS	18
6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	28
7. CONCLUSIONES	33
8. RECOMENDACIONES	33
Referencias Bibliográficas	34

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ecuaciones matemáticas para cálculo de pérdida de presión. Fuente: Modificado de [6]</i>	10
<i>Tabla 2 Ecuaciones matemáticas para cálculo de tiempo de enfriamiento para las compuertas. Fuente: Tomado de [6]</i>	10
<i>Tabla 3 Ecuaciones matemáticas para cálculo de tiempo de enfriamiento en canales de alimentación. Fuente: Tomado de [6]</i>	11
<i>Tabla 4 Características del polímero utilizado. Fuente: Tomado de [13]</i>	13
<i>Tabla 5 Propiedades del polipropileno. Fuente: Tomada de: [6]</i>	13
<i>Tabla 6 – Lista de equipos utilizados en la práctica experimental y sus especificaciones. Fuente: Autor</i>	13
<i>Tabla 8 – Vistas en sección de las geometrías de canales de alimentación. Fuente: Autor</i>	19
<i>Tabla 9 - Resultados de la geometría seleccionada. Fuente: Autor</i>	32

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 -Distribución de demanda de plásticos por sector en 2019. Fuente: Modificado de[3]</i>	6
<i>Figura 2 – Sistema de alimentación de un molde de inyección. Fuente: Autor.</i>	8
<i>Figura 3. Geometría de canales de inyección más comunes. Fuente: Modificada de [7]</i>	9
<i>Figura 4. Fases de metodología experimental. Fuente: Autor</i>	12
<i>Figura 5– Procedimiento de inyección. Fuente: Autor</i>	15
<i>Figura 6 – Procedimiento para la determinación de la velocidad de fluido del polipropileno. Fuente: Basado en norma ASTM D1238 [14]</i>	16
<i>Figura 7. Procedimiento para la realización de simulaciones en Solid Works-Plastics. Fuente: Autor.</i>	17
<i>Figura 8 Molde de inyección de llavero. Fuente: Autor</i>	18
<i>Figura 9–Llavero de Universidad ECCI inyectado. Fuente: Autor</i>	18
<i>Figura 10 –Plano bidimensional del sistema de alimentación del molde de inyección. Fuente: Autor</i>	19
<i>Figura 11 Numeración de cavidades. Fuente: Autor.</i>	21

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

Figura 12. Resultados de tiempo de llenado A. Geometría trapezoidal, B. Geometría Trapezoidal modificada, C. Geometría Circular, D. Geometría Semicircular, E. Geometría Hexagonal, F. Geometría Rectangular. Fuente: Autor.....22

Figura 13 Resultados de presión al final del llenado. G. Geometría trapezoidal, H. Geometría Trapezoidal modificada, I. Geometría Circular, J. Geometría Semicircular, K. Geometría Hexagonal, L. Geometría Rectangular. Fuente: Autor23

Figura 14 Resultados de temperatura final de llenado M. Geometría trapezoidal, N. Geometría Trapezoidal modificada, Ñ. Geometría Circular, O. Geometría Semicircular, P. Geometría Hexagonal, Q. Geometría Rectangular. Fuente: Autor25

Figura 15 Resultados de líneas de soldadura. R. Geometría trapezoidal, S. Geometría Trapezoidal modificada, T. Geometría Circular, U. Geometría Semicircular, V. Geometría Hexagonal, W. Geometría Rectangular. Fuente: Autor.....26

Figura 16 Resultados de líneas de soldadura. R. Geometría trapezoidal, S. Geometría Trapezoidal modificada, T. Geometría Circular, U. Geometría Semicircular, V. Geometría Hexagonal, W. Geometría Rectangular. Fuente: Autor.....28

Figura 17 – Análisis de tiempo de llenado de inyección. Fuente: Autor28

Figura 18 – Análisis de presión al final de llenado. Fuente: Autor29

Figura 19– Análisis de temperatura de llenado en el punto central de las cavidades A. geometría trapezoidal, C. trapezoidal modificada y C semicircular, D- Circular, E. rectangular y f. Hexagonal. Fuente: Autor30

Figura 20 Temperaturas en las líneas de soldadura por cavidad en A. geometría trapezoidal, C. trapezoidal modificada y C semicircular, D- Circular, E. rectangular y f. Hexagonal. Fuente: Autor.30

Figura 21 – Análisis de puntos de atrapamientos de aire. Fuente: Autor31

Figura 22 – Geometría de A. Canal y de B. compuerta seleccionada. Fuente: Autor32

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

1. INTRODUCCIÓN

Desde la década de los años 50 la producción de polímeros ha tenido un rápido aumento y ha superado a materiales más antiguos como el aluminio, el acero, el caucho, el cobre y el zinc. [1]. Esto es debido a su bajo costo de producción [2] y sus propiedades que lo hacen conveniente en la aplicación de diferentes sectores industriales los cuales se muestran en la figura 1.

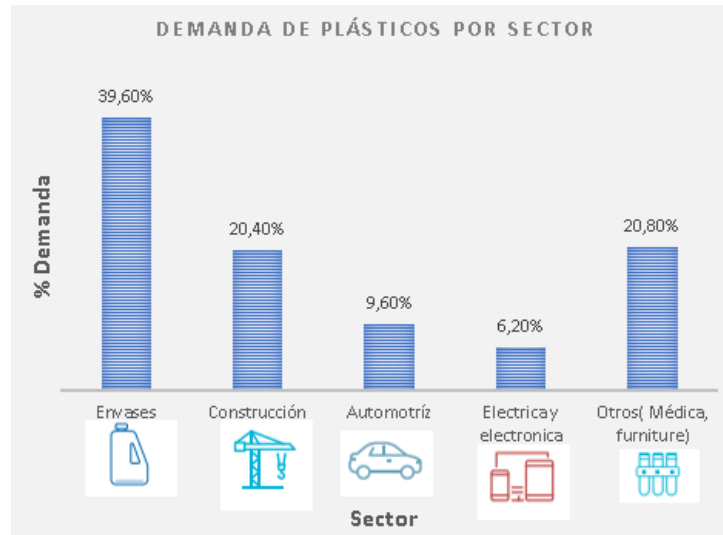




Figura 1 -Distribución de demanda de plásticos por sector en 2019. Fuente: Modificado de[3]

Los envases y la construcción representan los sectores de mayor demanda con el 60% de la distribución total, seguidos del sector otros con el 20,80% en el cual se encuentran las aplicaciones médicas, de ingeniería mecánica y de muebles. Ubicando así al sector automotriz y el sector eléctrico y electrónico con un porcentaje menor de demanda del 9,60% y 6,20% respectivamente.[3]

El moldeo por inyección es uno de los procesos más importantes para la fabricación de productos plásticos y aproximadamente un tercio de todas las piezas plásticas son producidas a partir del moldeo por inyección. [4] Uno de los factores que determinan el comportamiento de llenado y calidad de las piezas moldeadas por inyección es el sistema de alimentación en donde el polímero fundido ingresa a las cavidades del molde a través de los canales de alimentación y las compuertas. [5]

Es por lo anterior, que el presente trabajo pretende realizar un aporte en el estudio del impacto de la geometría de las secciones transversales de los canales de alimentación y compuertas en un molde de inyección realizando pruebas experimentales en la máquina inyección de la Universidad ECCI y utilizando herramientas computacionales que permitan realizar simulaciones con diferentes geometrías buscando minimizar los posibles defectos obtenidos en el proceso de inyección.

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar la relación existente entre la geometría de los canales de alimentación y compuertas en un molde de inyección y el comportamiento en el llenado del polímero seleccionado.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar el molde de inyección a analizar entre los disponibles en el taller de plásticos de la Universidad ECCI tomando en cuenta parámetros de diseño que afecten el llenado.
- Realizar pruebas experimentales de llenado del molde seleccionado en la máquina inyectora.
- Simular el llenado de la pieza variando la geometría de los canales de alimentación y compuertas utilizando el complemento Plastics del software SolidWorks.
- Proponer una geometría mejorada de las secciones transversales de los ductos de alimentación y compuertas del molde para minimizar los posibles defectos obtenidos en la inyección.

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

3. MARCO TEÓRICO

Sistema de alimentación de moldes de inyección

El sistema de alimentación permite transportar el polímero fundido desde la boquilla de la máquina inyectora hasta las cavidades del molde [6]. En la figura 2 se muestran las partes principales del sistema de alimentación en un molde de inyección:

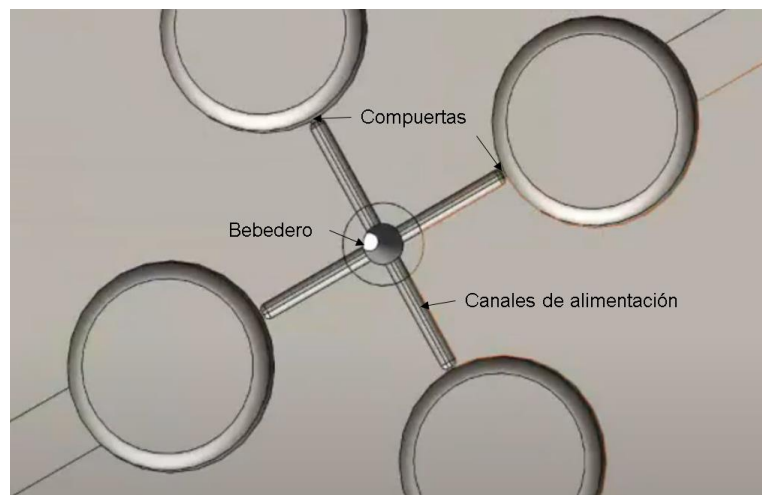


Figura 2 – Sistema de alimentación de un molde de inyección. Fuente: Autor.

- **Bebedero:** El bebedero es el punto de entrada del polímero al molde.
- **Compuerta:** Es una abertura u orificio a través del cual el polímero fundido entra en la cavidad. La sección transversal de la compuerta suele ser más pequeña que la del canal y la pieza, de modo que la pieza pueda ser separada fácilmente del canal sin dejar una cicatriz visible en la pieza. El grosor de la compuerta controla el tiempo de empaquetado, una compuerta más grande reducirá el calentamiento viscoso (por fricción), permitirá velocidades más bajas y la aplicación de una mayor presión de empaquetado durante un periodo de tiempo más largo. [7]
- **Canales de alimentación:** Los canales de alimentación permiten un buen control de flujo debido a que son más grandes que las compuertas y por tanto son menos sensibles a los efectos térmicos, tienen un patrón de flujo estable y son más fáciles de mecanizar con precisión. [7] Su principal función es transferir el plástico fundido desde el bebedero a todas las cavidades a través de la compuerta. [1]

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

Geometrías de sección transversal de canales de alimentación

Existen diferentes formas de sección transversal para los canales de alimentación las más comunes se muestran en la figura 3:

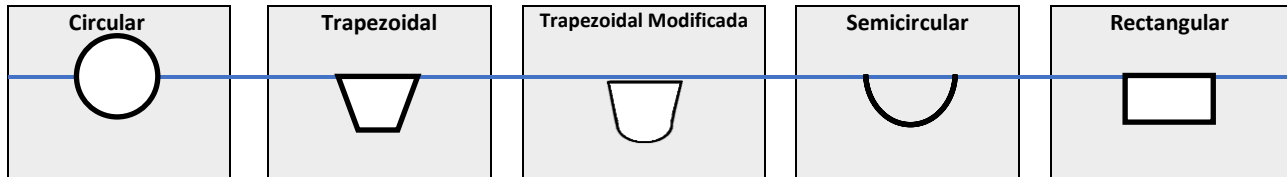


Figura 3. Geometría de canales de inyección más comunes. Fuente: Modificada de [7]

- **Circular:** Es la geometría más eficiente ya que proporciona una pérdida de presión más baja con el mismo volumen de polímero. Sin embargo, es el más costoso debido a que ambas mitades del molde deben mecanizarse para alinearse cuando el molde está cerrado y así evitar un desajuste que resulte en llenados poco uniformes. [7]
- **Trapezoidal:** Es una geometría óptima, ya que permite que el canal sea diseñado y cortado en un solo lado del molde. Es comúnmente utilizado en los moldes de 3 placas.[7]
- **Trapezoidal modificada:** Esta sección transversal es una combinación de la forma circular y la trapezoidal, la parte inferior redonda y se extiende hasta la línea de separación del ángulo del trapecio. [7]

Variables del sistema de alimentación

El recorrido del polímero fundido a través del molde está relacionado con las siguientes variables del proceso:

- **Presión:** La presión de inyección aumenta a medida que el polímero fundido se propaga por el sistema de alimentación y las cavidades y por tanto el sistema de alimentación debe diseñarse de tal manera que exista suficiente presión para conducir el polímero fundido a través de las cavidades del molde.[8] La presión para llenar el molde no debe ser superior al 75% de la capacidad de inyección de la máquina la máquina. Si la presión es muy superior a esta cantidad, las piezas pueden ser difíciles de moldear de forma consistente y de alta calidad. [6]

Cálculo de pérdida de presión

En la tabla 1 se muestran las ecuaciones matemáticas utilizadas para realizar el cálculo de caída de presión:

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

Tabla 1. Ecuaciones matemáticas para cálculo de pérdida de presión. Fuente: Modificado de [6]

Geometría	Modelo	Nomenclatura
Plana	$\Delta P = \frac{2 k L}{H} \left[\frac{2 \left(2 + \frac{1}{n} \right) \dot{V}}{W h^2} \right]^n$	P = Presión μ = Viscosidad [Pa] L = Longitud ḡ = Flujo volumétrico [m3/s] W = Peso [m] h = Espesor de la pared de la cavidad R = Radio [m]
Circular	$\Delta P = \frac{8 \mu L \dot{V}}{\pi R^4}$	

Para realizar el cálculo de la pérdida de presión se deben tener en cuenta variables tales como la viscosidad, el flujo volumétrico, el peso y espesor de las cavidades, entre otras y esta puede ser calculado según corresponda a una placa plana o circular.

- **Tiempo de enfriamiento**

El tiempo de enfriamiento de los canales de alimentación debe tener un tiempo de enfriamiento de no más de dos o tres veces el de la pieza. [7]

Cálculo de tiempo de enfriamiento

La tabla 2 muestra las ecuaciones matemáticas requeridas para el cálculo del tiempo de enfriamiento en las compuertas para placa plana.

Tabla 2 Ecuaciones matemáticas para cálculo de tiempo de enfriamiento para las compuertas. Fuente: Tomado de [6]

Modelo	Nomenclatura
$t_s = \frac{h^2}{\pi^2 \alpha} \ln \frac{8}{\pi^2} \frac{T_{fusión} - T_{molde}}{T_{expulsión} - T_{molde}}$	t_s = Tiempo de refrigeración. [s] α = Difusividad del polímero [m ² /s] T fusión = Temperatura de fusión del polímero [°C] T molde = Temperatura del molde [°C] T expulsión = Temperatura de expulsión del polímero [°C] D = Diámetro de la compuerta [m]

En la tabla 3 se muestra la ecuación utilizada para realizar el cálculo del tiempo de enfriamiento en los canales de alimentación de un molde de inyección:

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

Tabla 3 Ecuaciones matemáticas para cálculo de tiempo de enfriamiento en canales de alimentación. Fuente: Tomado de [6]

Modelo	Nomenclatura
$ts = \frac{h^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left(\frac{4 T_{\text{fusión}} - T_{\text{molde}}}{\pi T_{\text{expulsión}} - T_{\text{molde}}} \right)$	ts = Tiempo de refrigeración. [s] α = Difusividad del polímero [m^2/s] T fusión = Temperatura de fusión del polímero [°C] T molde = Temperatura del molde [°C] T expulsión = Temperatura de expulsión del polímero [°C] h = Espesor del canal [m]

4. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años se han realizado investigaciones con el fin de minimizar los posibles defectos de las piezas inyectadas y lograr minimizar desperdicios a través de las variables que involucran el diseño del sistema de alimentación de un molde. [9]

Uno de los estudios investigativos fue realizado por la Universidad Tecnológica de Nanyang con el fin de estudiar la geometría de compuerta rectangular mediante simulaciones de llenado de las cavidades de un molde de inyección, el estudio identificó que los frentes de flujo no son uniformes en las esquinas de las cavidades y la densidad también tiene una variación significativa debido a que se obtuvo una densidad baja cerca de la entrada del fluido y alta en el punto central de la cavidad. [10]

Además de la densidad, el índice de fluidez del polímero ha sido un factor estudiado y este genera un impacto en el llenado de las cavidades debido a que según estudios realizados en la Universidad de Australia del Sur, el desequilibrio del llenado disminuye con un aumento de fluidez [11][12].

Algunas de las geometrías estudiadas en investigaciones previas han realizado comparaciones entre diferentes tipos de geometrías. El Instituto Central de Ingeniería de Plásticos realizó un estudio donde se analizó el comportamiento de la geometría de canal elíptico y circular, identificando ventajas en la geometría elíptica sobre la circular, ya que la elíptica condujo a una reducción en el tiempo de ciclo y en la cantidad de desechos en comparación con la geometría de canal circular.[1]

Una de las variables que involucra el proceso de inyección de una pieza es la presión. Algunos estudios realizados por la Universidad Simón Bolívar fueron desarrollados para evaluar la influencia de la geometría de la pieza en el comportamiento de la presión de las cavidades en el proceso de inyección. Mediante software CAD/CAE de modelado y simulaciones de llenado de diferentes polímeros lograron identificar que a medida que aumenta el grosor de la pieza, la presión disminuye. Así mismo, a medida que la longitud de la pieza aumenta, la presión aumenta debido a que la cantidad de material inyectado es mayor y por tanto se requiere mayor presión para el llenado. [13] El tiempo de ciclo también interviene en el proceso de llenado y en el 2019, se realizó un estudio liderado por el comité científico de la Primera Conferencia Internacional sobre Avances

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

Recientes en Materiales y Manufactura, en el cuál identificaron a través de simulaciones en el software SolidWorks que el tiempo de ciclo afecta la tasa de producción y la calidad de la pieza y lo más recomendable es reducir el tiempo al menor posible con ayuda de la disminución del tiempo de refrigeración con canales que se ajusten a la pieza y se encuentren en la ubicación adecuada. [14]

5. METODOLOGÍA Y EXPERIMENTACIÓN.

5.1. METODOLOGÍA

El proyecto se realizó en 4 fases, las cuales se muestran gráficamente en la figura 4:

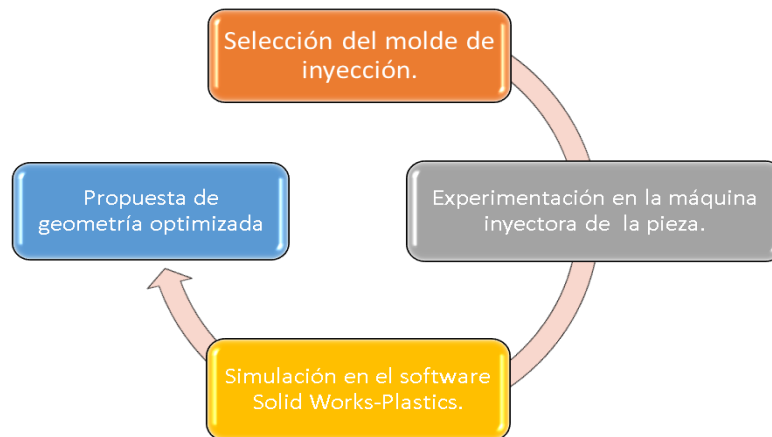



Figura 4. Fases de metodología experimental. Fuente: Autor.

La primera fase está enfocada en la definición de los parámetros que permitieron la selección del molde de inyección a analizar en el desarrollo del proyecto. Posteriormente, se realizó la segunda fase en la cual se realizaron experimentaciones en la máquina inyectora para generar muestras de inyección con el molde seleccionado. Después de esto, se desarrolló la tercera fase en la cual se utilizó el complemento Plastics del Software SolidWorks para generar simulaciones de llenado con los diferentes tipos de geometría de canales de alimentación y para finalizar, se desarrolló la última fase en la cual se propuso el tipo de geometría de canales de alimentación que logró el mejor comportamiento de llenado y la menor cantidad de defectos.

5.2. EXPERIMENTACIÓN

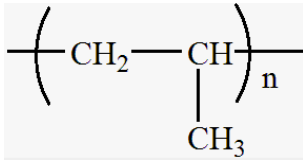

En el presente capítulo se presentarán los materiales, equipos y procedimientos empleados para el logro de los objetivos propuestos.

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

5.2.1. MATERIALES

La materia prima que se utilizó para las experimentaciones fue el polipropileno (PP). En la tabla 3 se muestra su estructura química:

Tabla 4 Características del polímero utilizado. Fuente: Tomado de [15]

MBRE	REFERENCIA	ESTRUCTURA QUÍMICA	IMAGEN
Polipropileno	Marca: Polimaxx		

En la siguiente tabla 4, se muestran las propiedades principales a tener en cuenta del polímero utilizado:

Tabla 5 Propiedades del polipropileno. Fuente: Tomada de: [6]

PROPIEDAD	VALOR
Fuerza de tensión [N/mm ²]	0.95-1.30
Densidad [g/cm ³]	0,905
Indice de fluidez [g/10min]	9
Temperatura HDT [°C]	107
Temperatura de fusión Tm [°C]	160




5.2.2. EQUIPOS UTILIZADOS

Los equipos utilizados en las prácticas experimentales se describen en la tabla 5:

Tabla 6 – Lista de equipos utilizados en la práctica experimental y sus especificaciones. Fuente: Autor

ITEM	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	IMAGEN
1	Máquina de inyección	-Marca: TRUBOR 50 RS-1 -Tipo: ADW-6 -Serial: # 8250-5	-Fuerza de cierre: 50 T -Zonas de Calentamiento: 3 -Frecuencia: 50/60 Hz -Potencia de bandas de calefacción: 1000 W	

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

			-Cap. plastificación: 9.6 kg/h	
2	Plastómetro de extrusión	-Equipo fabricado por estudiantes de la Universidad ECCI de acuerdo a la Norma: ASTM D1238	-Temperatura máxima: 400°C	
3	Balanza analítica	Marca: Ohaus Traveler 3000 g	-Protector de corrientes de aire: Si -Con adaptador de corriente y pilas. -Tablero electrónico de cristal.	

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

5.2.3. PROCEDIMIENTOS

- **Inyección de pieza plástica**

Se realizó práctica experimental en la máquina inyectora ubicada en la Universidad ECCI, en la figura 5 se presenta el procedimiento realizado:

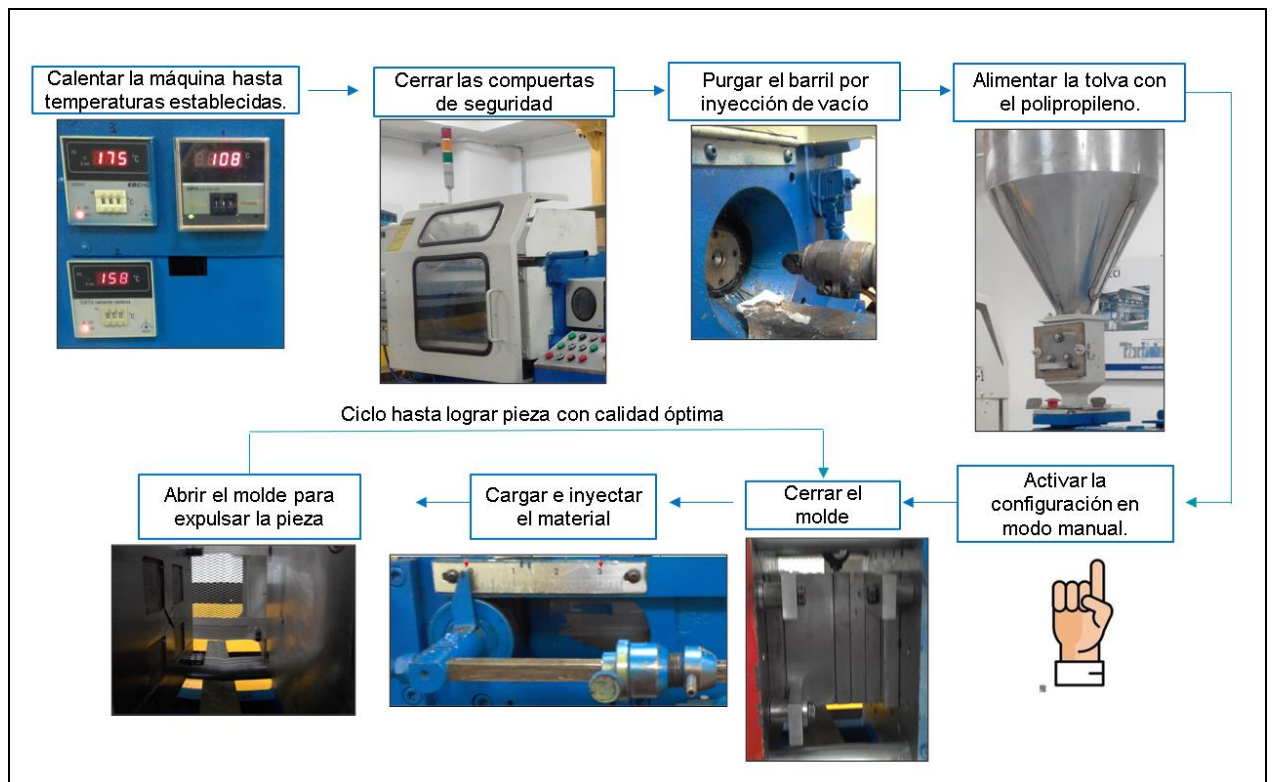


Figura 5– Procedimiento de inyección. Fuente: Autor

Inicialmente, se estableció la temperatura de las 3 zonas de calentamiento de la inyectora, una vez las tres zonas alcanzaron la temperatura parametrizada se cerraron las compuertas de seguridad y se inició el proceso de purga el cual consistió en realizar inyecciones de vacío para eliminar cualquier residuo de material de experimentaciones anteriores. Después de esto, se alimentó la tolva con el material polimérico y se activó la configuración manual de la máquina para cerrar el molde, cargar e inyectar el material mediante el tablero de control de la máquina y finalmente expulsar la pieza inyectada. Esto se realizó hasta lograr muestras de piezas inyectadas completas con la mejor calidad posible.

- **Determinación de la velocidad de flujo de fundido en el plastómetro de extrusión**

La determinación de la velocidad del flujo de fundido del polipropileno se realizó siguiendo el procedimiento descrito en la Norma ASTM D1238 el cuál es representado gráficamente en la figura 6:

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

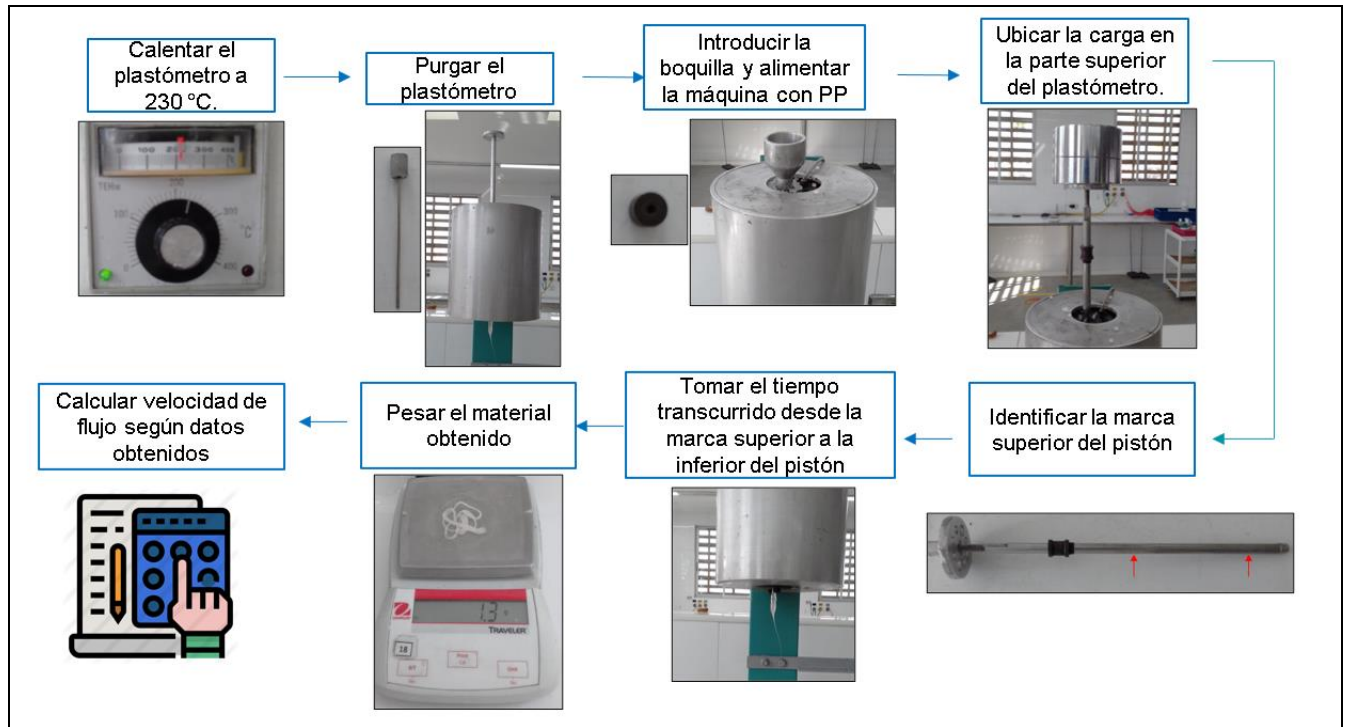


Figura 6 – Procedimiento para la determinación de la velocidad de fluido del polipropileno. Fuente: Basado en norma ASTM D1238 [16]

El plastómetro de extrusión es un cilindro pistón el cual él es calentado mediante resistencias. Inicialmente, el se asignó la temperatura establecida para este cilindro según la especificada en la norma para el material polipropileno la cuál es de 230°C. Una vez el cilindro alcanzó la temperatura asignada se realiza la purga del equipo con ayuda de los dispositivos de limpieza que permitieron retirar los residuos de material polimérico. Después de esto, la boquilla fue puesta en el cilindro y se alimentó el equipo con polipropileno. Posteriormente, se ubicó la carga establecida en la norma para el polipropileno la cuál es de 2.1 kg. La masa empuja al polímero y el pistón contiene 2 marcas, cuando se llega a la primera marca comienza a tomarse el tiempo hasta que llegue a la segunda marca en el cual se pesa la muestra obtenida y se realiza nuevamente este proceso en intervalos de tiempo definidos previamente.

- Procedimiento para simulaciones en software:

Las simulaciones se realizaron en el complemento Plastics del software siguiendo el representado en la figura 7:

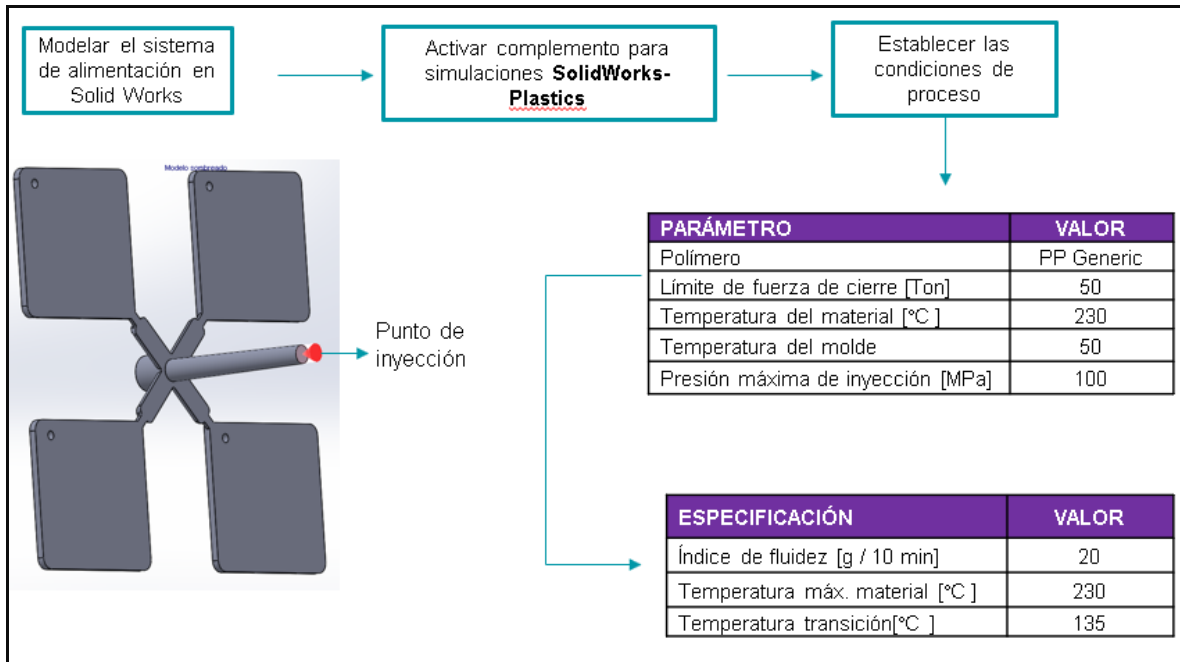


Figura 7. Procedimiento para la realización de simulaciones en Solid Works-Plastics. Fuente: Autor.

Inicialmente, se realizó el modelado del sistema de alimentación del molde en el software Solid Works, una vez modelado se activó en el software el complemento Plastics el cuál nos permite asignar el punto de inyección el cuál fue ubicado en la parte trasera de la pieza y posteriormente, se establecieron las condiciones de proceso tales como material polimérico a simular, límite de fuerza de cierre y presión máxima de inyección. Después de esto el software procesó las especificaciones e inicia el proceso de simulación de llenado de flujo.

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. RESULTADOS

Selección del molde

El molde de inyección seleccionado se encuentra en el taller de plásticos de la Universidad ECCI y corresponde a una pieza de llavero con el escudo de la universidad. Para seleccionar el molde se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- **Disponibilidad:** El molde se encuentra disponible para realizar pruebas experimentales en la máquina inyectora, así como para tomar registro fotográfico de sus componentes.
- **Características del molde:** El sistema de alimentación del molde seleccionado se muestra en la figura 8.

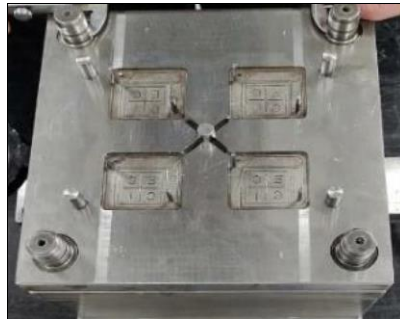


Figura 8 Molde de inyección de llavero. Fuente: Autor

El molde está compuesto por 4 cavidades lo que permitirá realizar análisis por cada cavidad. Adicional a esto, tiene machos para la generación de agujeros que permitirán analizar líneas de soldadura que se presenten y por último tiene canales de venteo definidos que permitirán el análisis de puntos de atrapamiento de aire.

- **Utilidad:** Es un molde de frecuente uso ya que su pieza es un llavero con el logo de la Universidad ECCI el cual es mostrado en la figura 9.



Figura 9–Llavero de Universidad ECCI inyectado. Fuente: Autor

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

Este llavero ha sido posicionado como una pieza publicitaria del programa que usualmente se da como obsequio a los estudiantes o visitantes de la universidad.

Las cavidades tienen forma rectangular con una dimensión de 44 mm x 34mm y espesor de 0.3mm, en la figura 10 se muestra el detalle de las dimensiones en el cuál se establecen como parámetros fijos las longitudes de trayectoria de los ductos de alimentación y las compuertas.

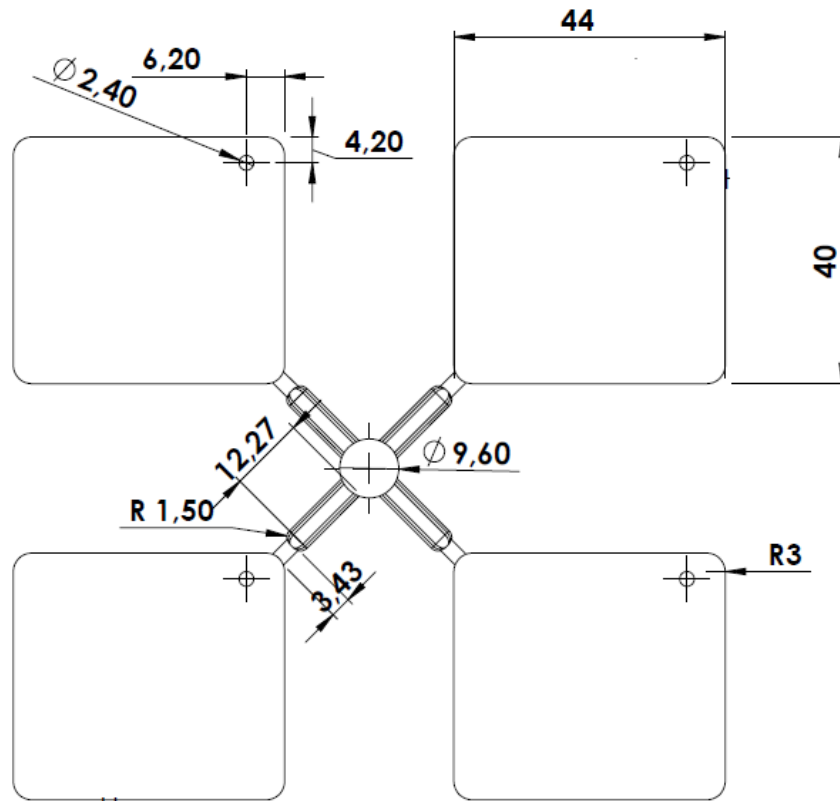



Figura 10 –Plano bidimensional del sistema de alimentación del molde de inyección. Fuente: Autor

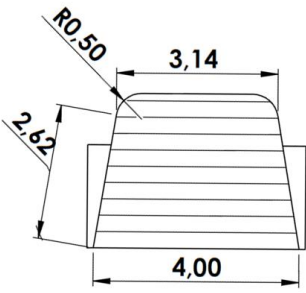
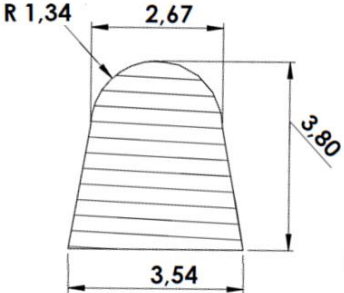
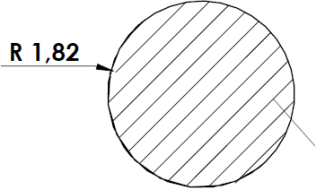
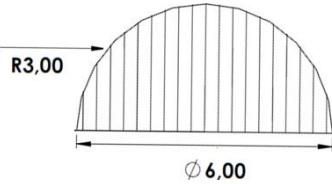
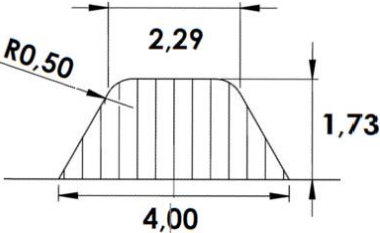
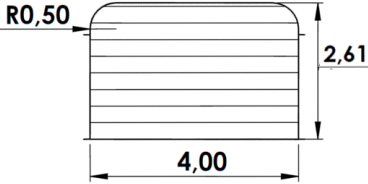
Modelado de geometrías de canal de alimentación en SolidWorks

En la tabla 8 se muestran 6 diferentes tipos de geometrías de canales de alimentación las cuales fueron modeladas en el software para su posterior simulación de llenado y análisis correspondiente:

Tabla 7 – Vistas en sección de las geometrías de canales de alimentación. Fuente: Autor

GEOMETRÍA TRAPEZOIDAL (Molde Actual)	GEOMETRÍA TRAPEZOIDAL MODIFICADA	GEOMETRÍA CIRCULAR
---	---	---------------------------

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

		
GEOMETRÍA SEMI-CIRCULAR	GEOMETRÍA HEXAGONAL	GEOMETRÍA RECTANGULAR
		

Todas las geometrías analizadas se diseñaron de tal forma que su área de sección transversal fuera la misma que el área de sección calculada para la geometría actual la cuál fue de 10.043 mm².

Simulaciones de llenado en complemento Plastics

Una vez modelados todas las geometrías se realizaron las simulaciones de llenado teniendo como principal enfoque las siguientes variables:

- Tiempo de llenado.
- Caída de presión.
- Temperatura de llenado en el punto central de cada cavidad.
- Presencia de defectos tales como líneas de soldadura y atrapamientos de aire.

Los valores tomados en los puntos centrales en cada cavidad se analizaron teniendo en cuenta la numeración mostrada en la figura 11:

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

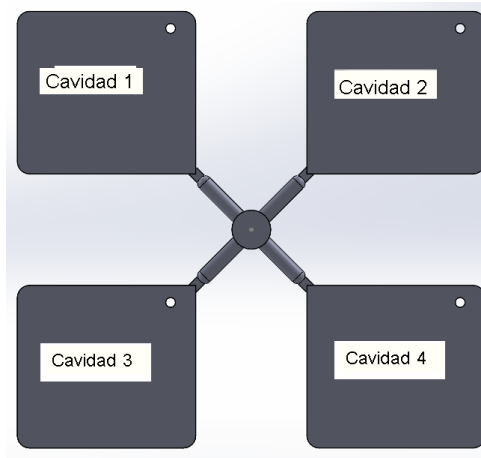
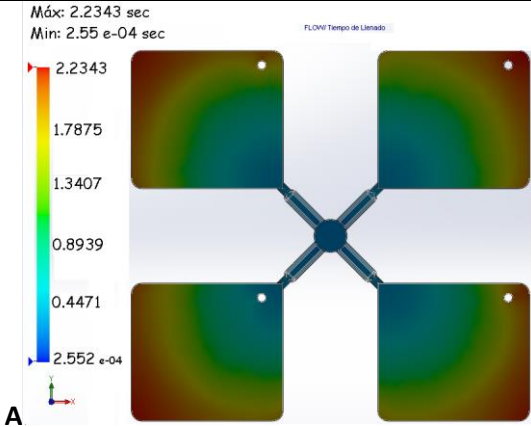
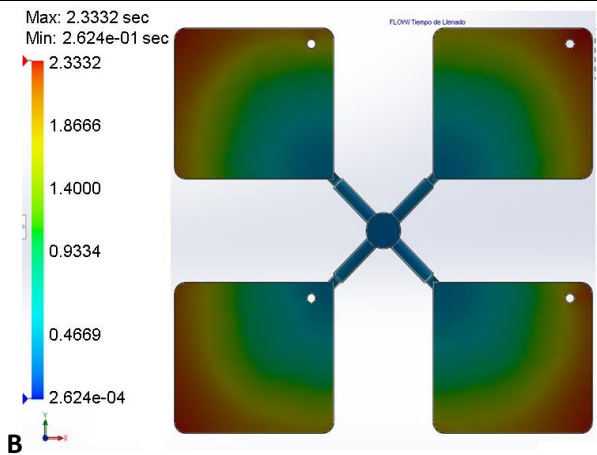


Figura 11 Numeración de cavidades. Fuente: Autor.

Tiempo de llenado

La figura 12 muestra los resultados de la simulación de tiempo de llenado para las seis geometrías de canal de alimentación modeladas:

Geometría de molde actual: Trapezoidal	Geometría: Trapezoidal modificada
 <p>A</p>	 <p>B</p>
Geometría de molde actual: Circular	Geometría de molde actual: Semicircular

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

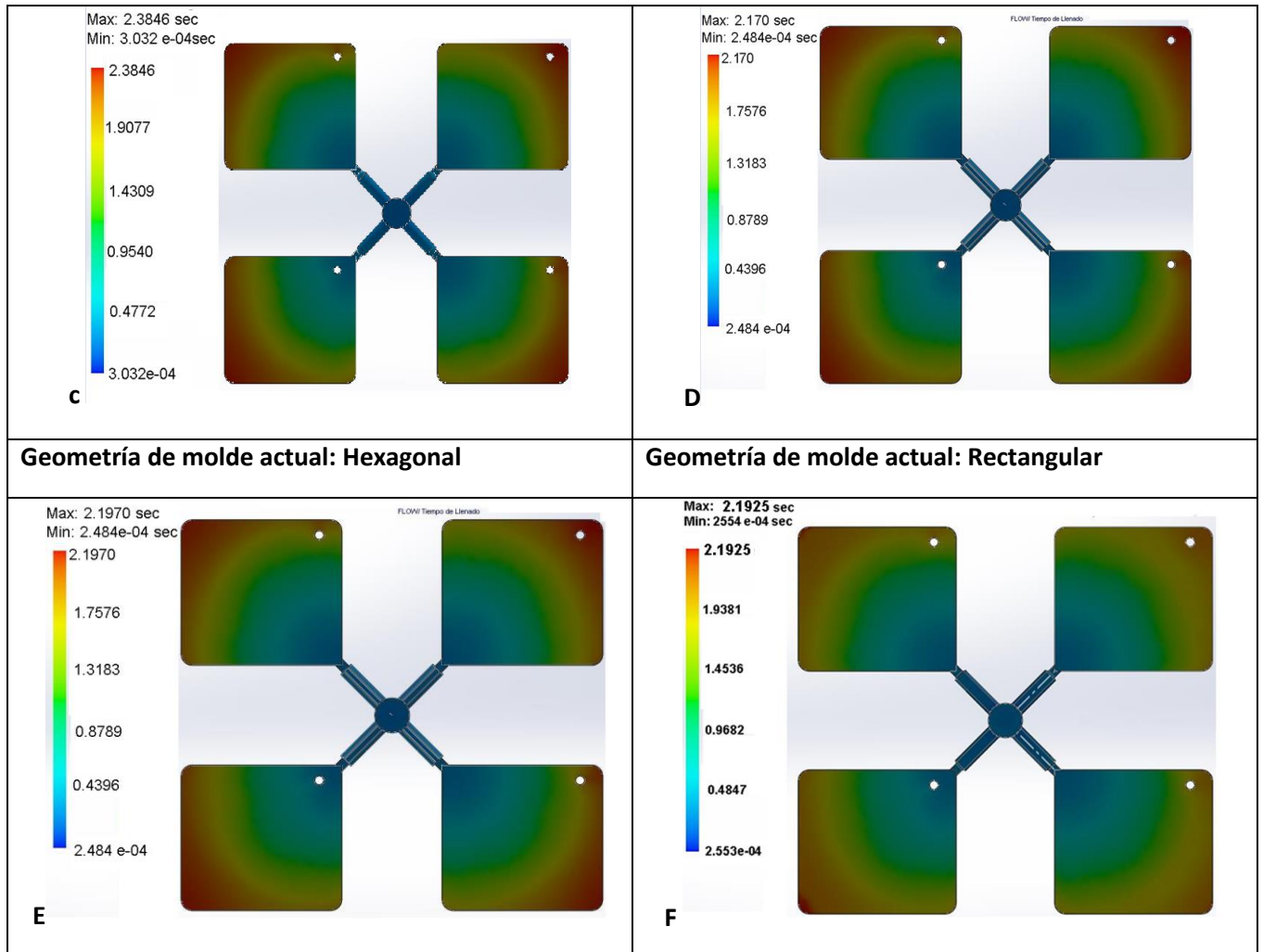


Figura 12. Resultados de tiempo de llenado A. Geometría trapezoidal, B. Geometría Trapezoidal modificada, C. Geometría Circular, D. Geometría Semicircular, E. Geometría Hexagonal, F. Geometría Rectangular. Fuente: Autor

La simulación de tiempo de llenado muestra los resultados apoyándose en colores, donde el color azul indica el inicio del llenado de la pieza y el color rojo indica las últimas zonas que el polímero alcanzó. Adicional, muestra una barra de datos en donde se logra identificar el tiempo mínimo y máximo según el color de la zona de cada cavidad.

Caída de presión

La figura 13 muestra los resultados de la simulación de caída de presión para las seis geometrías de canal de alimentación modeladas:

Geometría de molde actual: Trapezoidal	Geometría de molde actual: Trapezoidal modificada
---	--

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

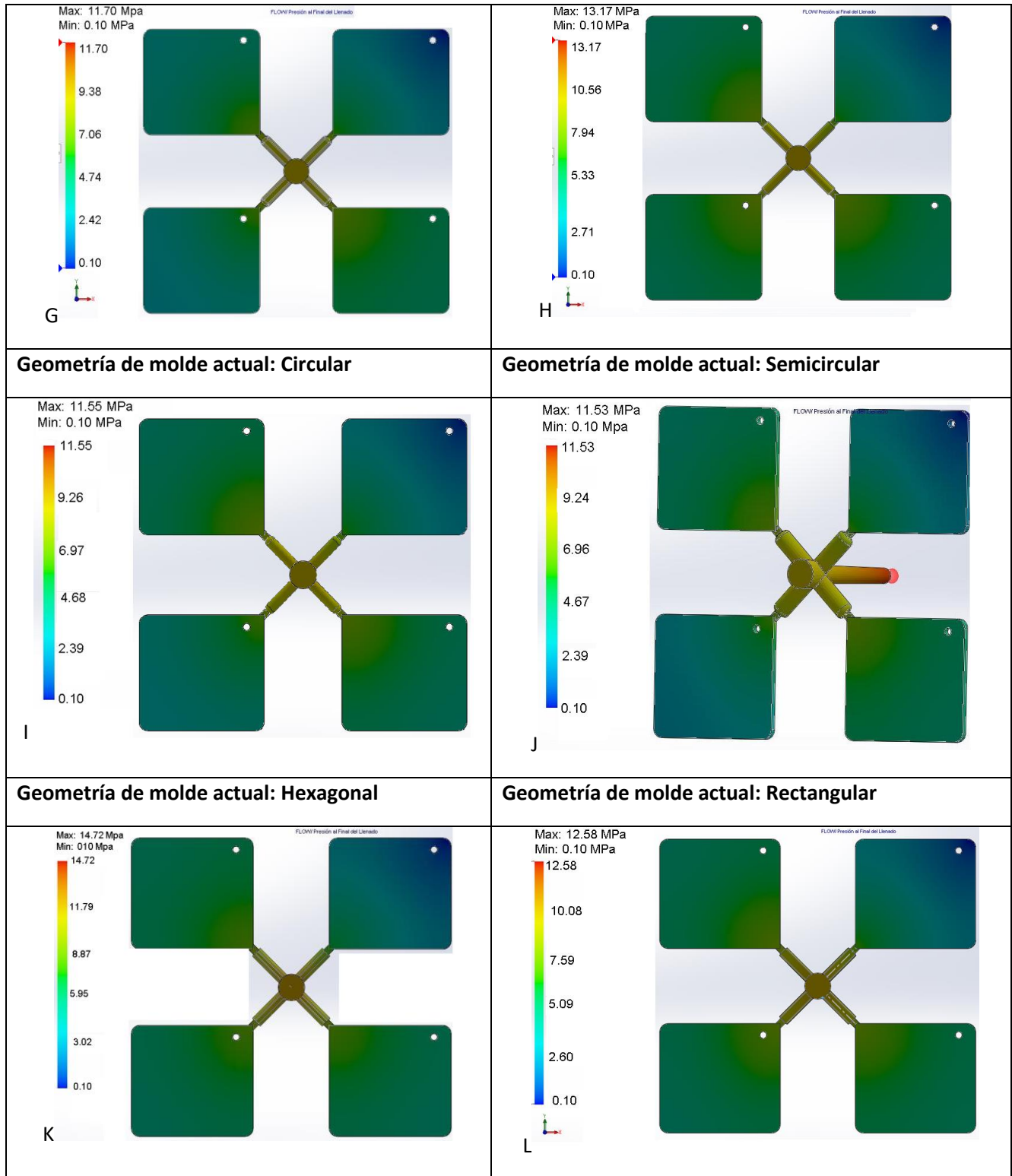


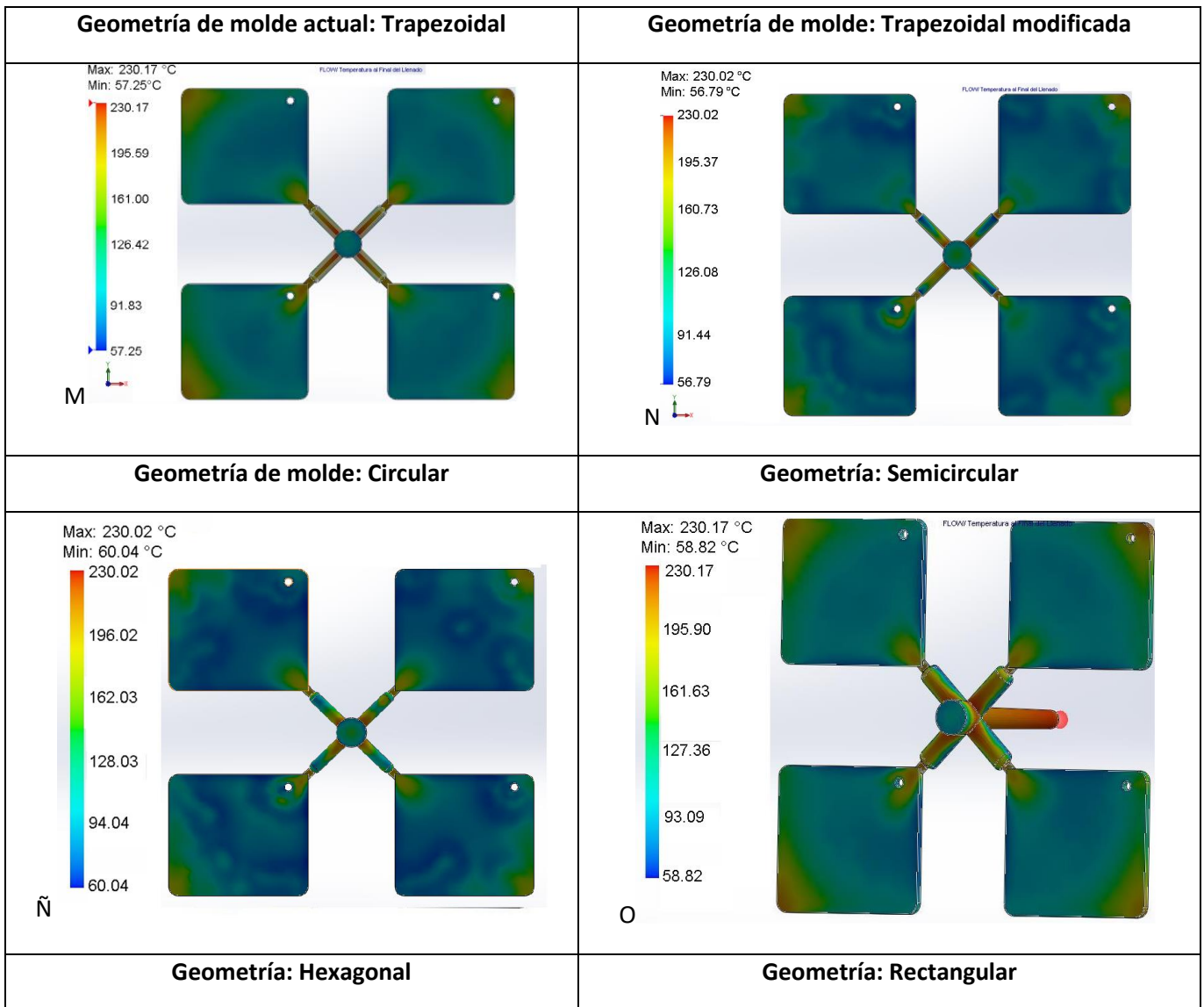
Figura 13 Resultados de presión al final del llenado. G. Geometría trapezoidal, H. Geometría Trapezoidal modificada, I. Geometría Circular, J. Geometría Semicircular, K. Geometría Hexagonal, L. Geometría Rectangular. Fuente: Autor

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

La simulación de presión de llenado permitió identificar en color azul oscuro las zonas en donde la presión fue baja y las zonas color verde donde tuvieron una presión mayor a las de la zona azul. Además de esto, el software proporciona una barra de datos situada en la parte izquierda de cada simulación que permite asociar la cantidad de presión de llenado según el color de cada cavidad.

Temperatura al final del llenado

La figura 13 muestra los resultados de la simulación de temperatura de final de llenado para las seis geometrías de canal de alimentación modeladas:



	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

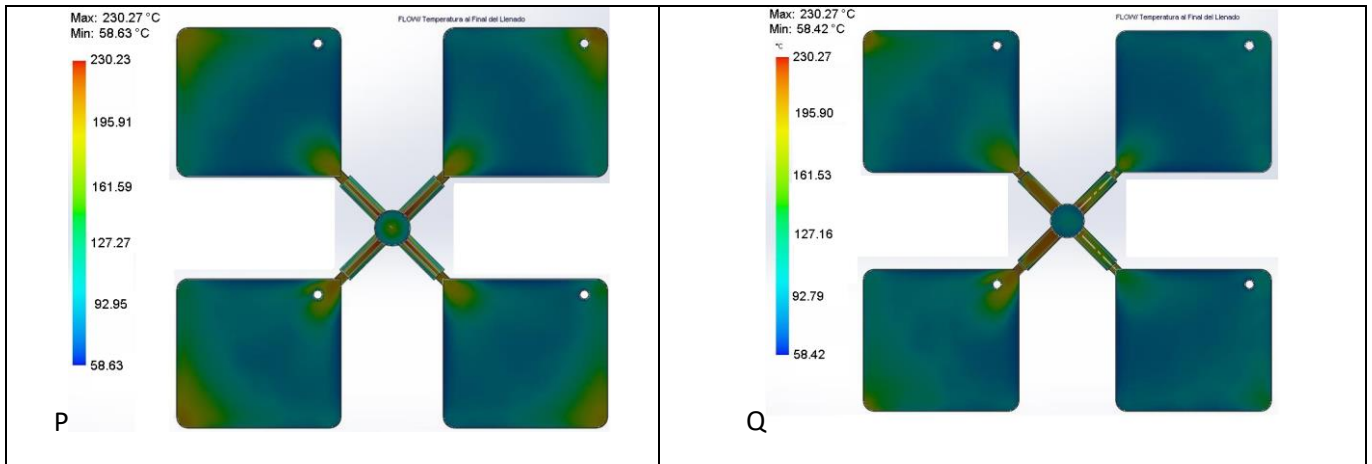
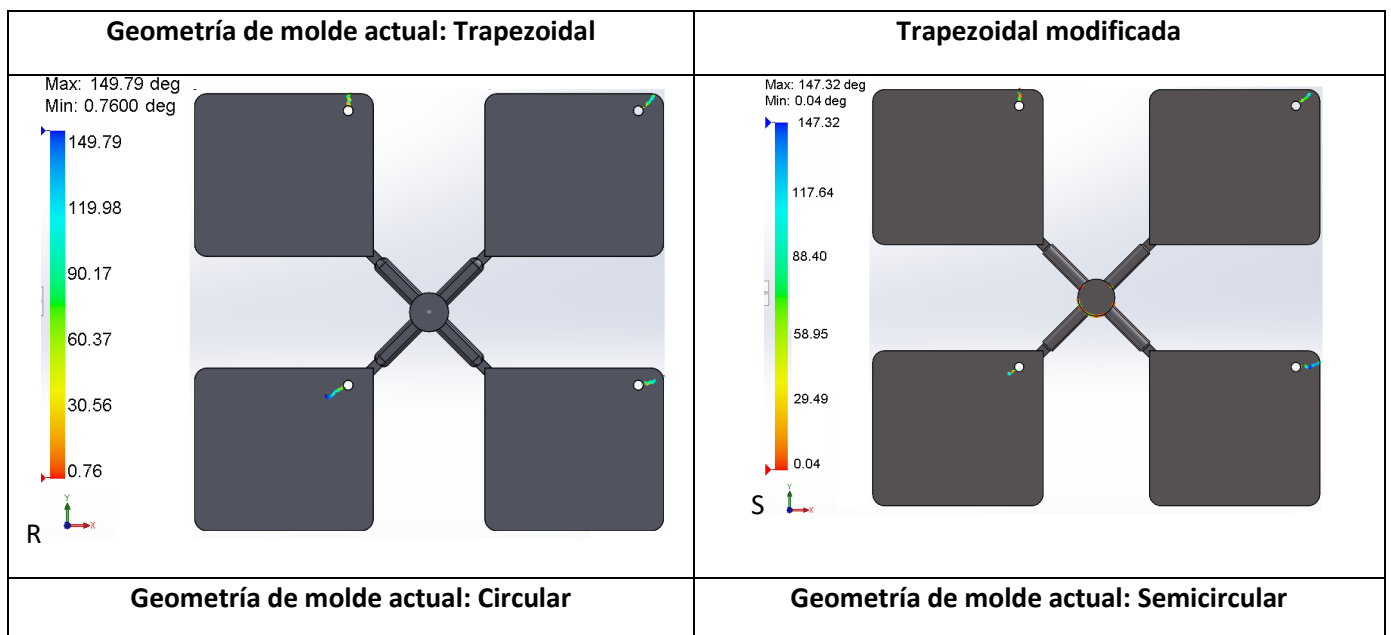


Figura 14 Resultados de temperatura final de llenado M. Geometría trapezoidal, N. Geometría Trapezoidal modificada, Ñ. Geometría Circular, O. Geometría Semicircular, P. Geometría Hexagonal, Q. Geometría Rectangular. Fuente: Autor

La simulación de temperatura al final de llenado permite identificar en color azul oscuro las zonas en donde la temperatura fue baja y las zonas color amarillo a rojo donde la temperatura fue muy alta. Además de esto, el software proporciona una barra de datos situada en la parte izquierda de cada simulación que permite asociar la temperatura máxima y mínima según el color en las zonas de cada cavidad

Líneas de soldadura

La figura 15 muestra los resultados de las líneas de soldadura para las seis geometrías de canal de alimentación modeladas:



	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

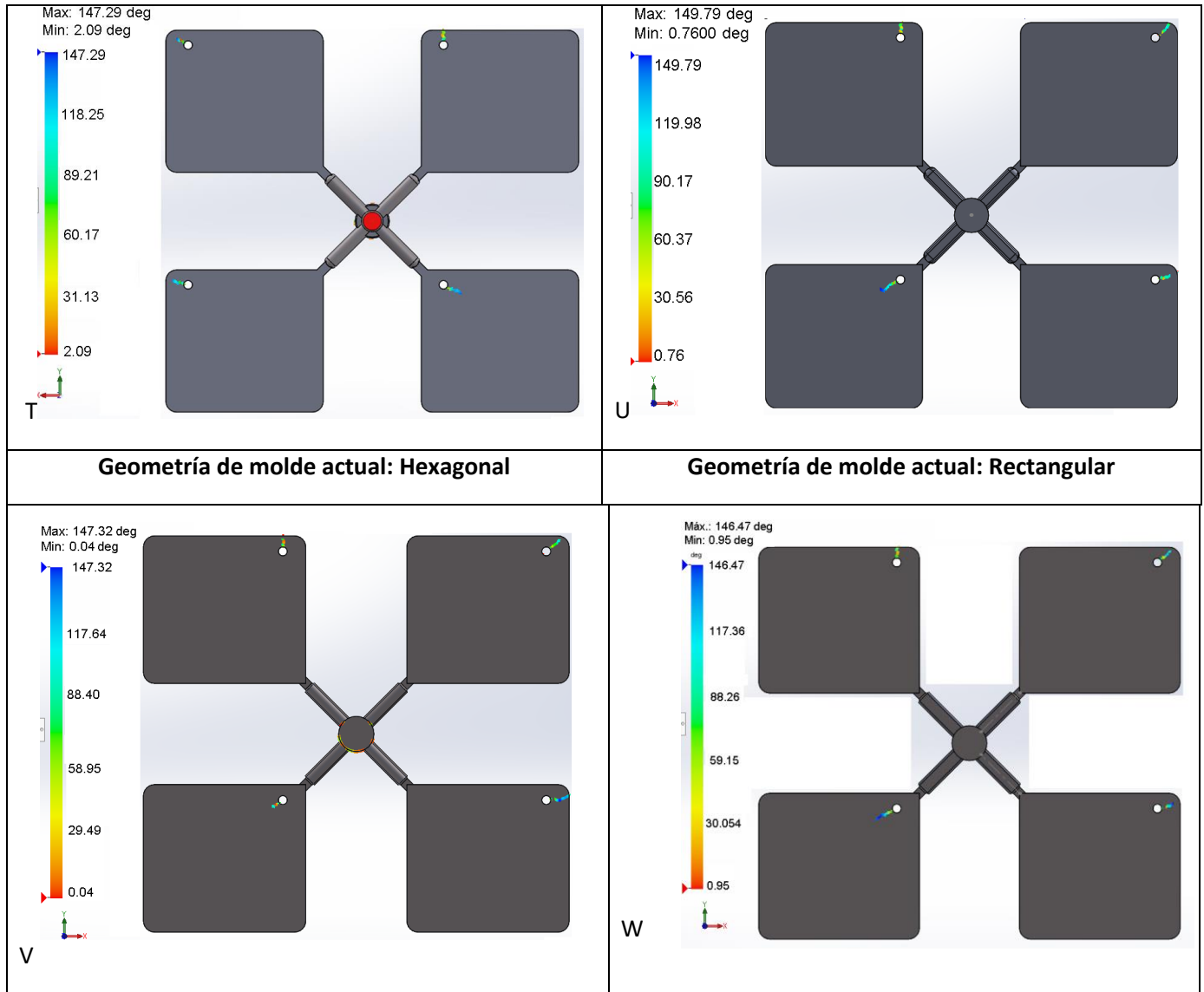


Figura 15 Resultados de líneas de soldadura. R. Geometría trapezoidal, S. Geometría Trapezoidal modificada, T. Geometría Circular, U. Geometría Semicircular, V. Geometría Hexagonal, W. Geometría Rectangular. Fuente: Autor

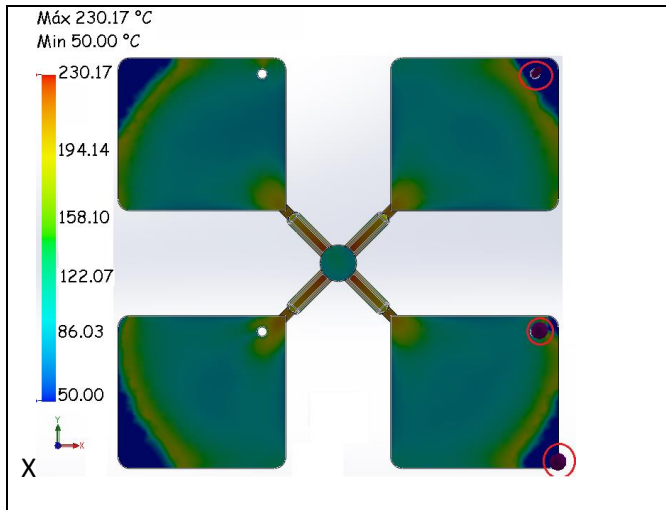
La simulación permite identificar la ubicación de las líneas de soldadura y su temperatura en el trayecto de flujo de esta línea. Además de esto, el software proporciona una barra de datos situada en la parte izquierda de cada simulación que permite asociar la temperatura máxima y mínima de llenado según el color de cada línea de soldadura.

Atrapamientos de aire

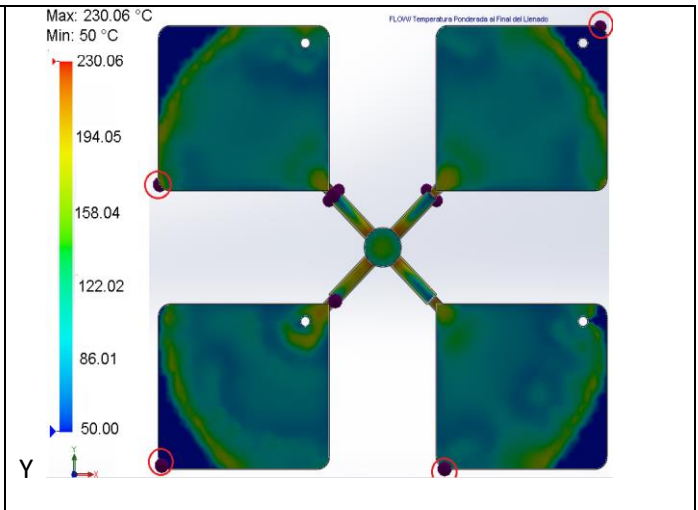
La figura 16 muestra los puntos de atrapamiento de aire para las seis geometrías de canal de alimentación modeladas:

Geometría de molde actual: Trapezoidal	Trapezoidal modificada
---	-------------------------------

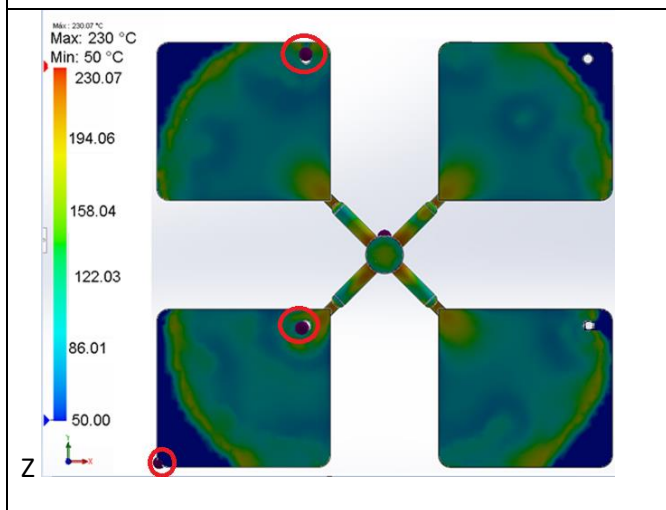
	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	



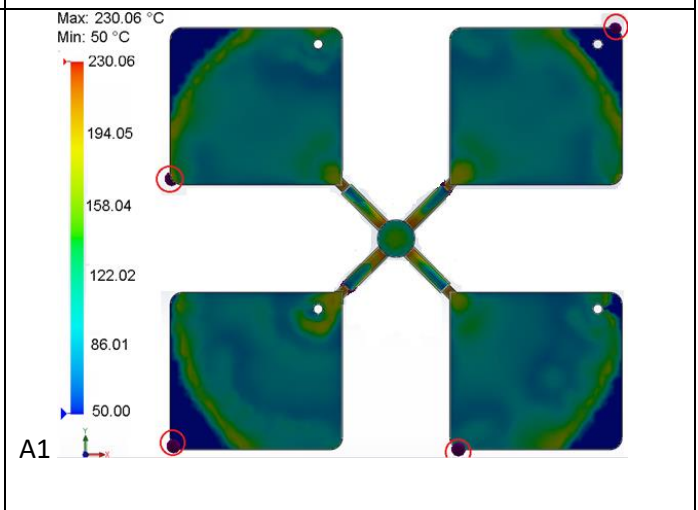
Geometría de molde actual: Circular



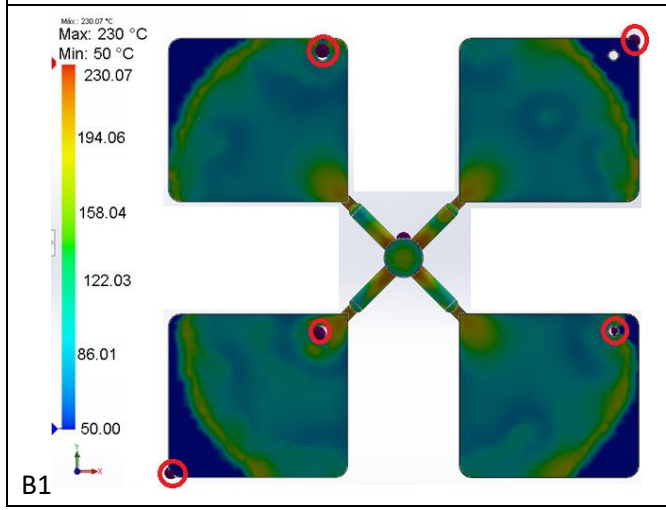
Geometría de molde actual: Semicircular



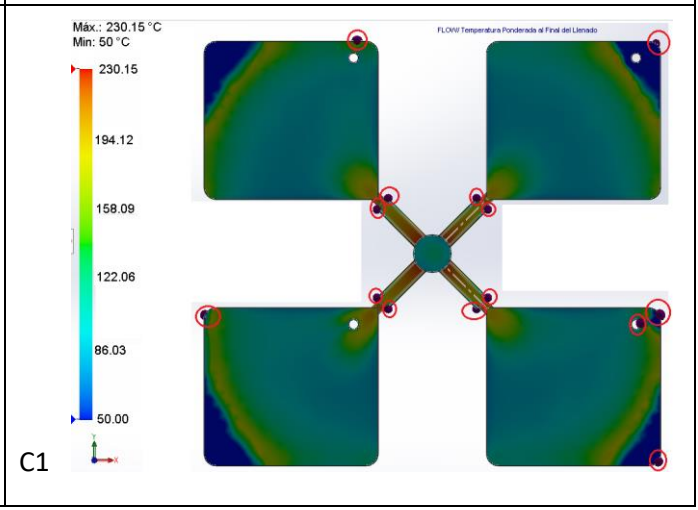
Geometría de molde actual: Hexagonal



Geometría de molde actual: Rectangular



B1



C1


	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

Figura 16 Resultados de líneas de soldadura. R. Geometría trapezoidal, S. Geometría Trapezoidal modificada, T. Geometría Circular, U. Geometría Semicircular, V. Geometría Hexagonal, W. Geometría Rectangular. Fuente: Autor

La simulación permitió identificar los puntos de atrapamientos de aire como pequeñas esferas en color morado en cada cavidad.

6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Tiempo de llenado

En la figura 17 se muestra el tiempo de llenado obtenido para las 6 geometrías analizadas:

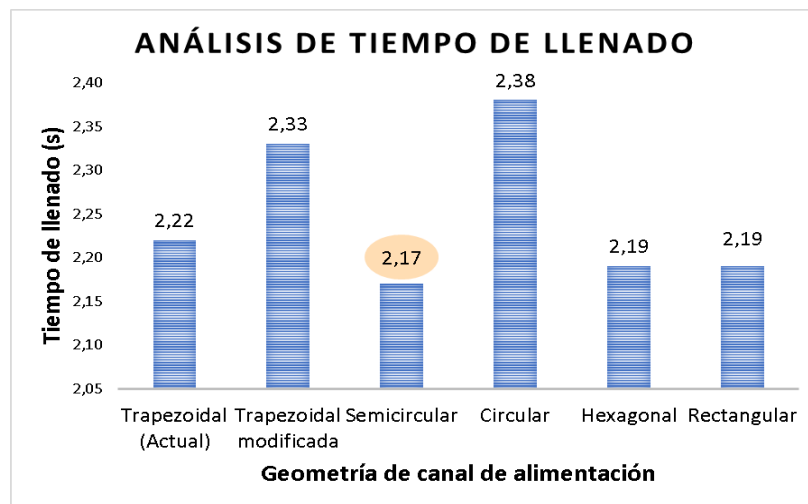


Figura 17 – Análisis de tiempo de llenado de inyección. Fuente: Autor

El tiempo de llenado es muy cercano en todas las geometrías, sin embargo, se identificó un mayor tiempo de llenado en la geometría rectangular y un tiempo de llenado menor en la geometría semicircular.

Caída de presión

En la figura 18 se muestra los valores obtenidos de presión de llenado obtenido para las 6 geometrías analizadas:

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021



ANÁLISIS DE PRESIÓN AL FINAL DE LLENADO

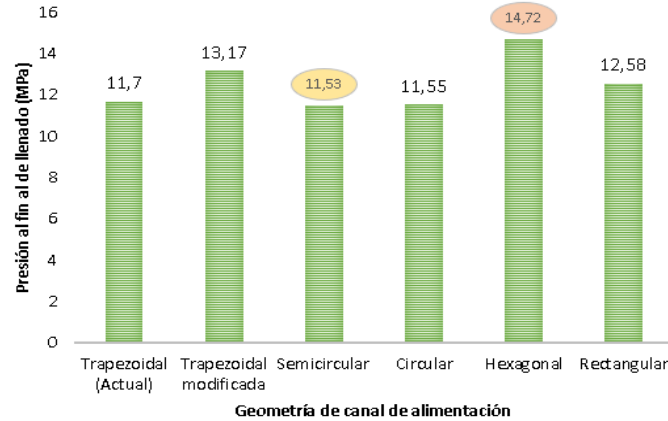
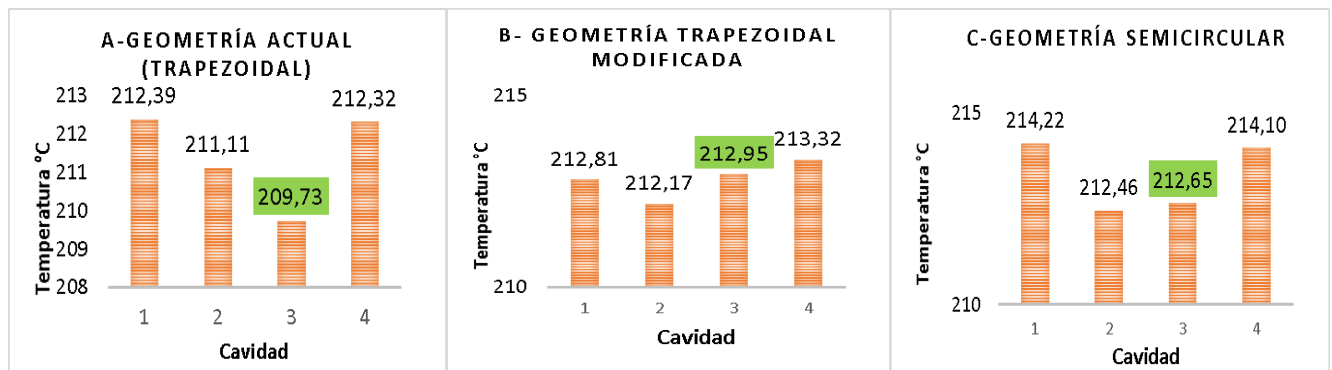


Figura 18 – Análisis de presión al final de llenado. Fuente: Autor

Se identifica que la geometría trapezoidal (actual), trapezoidal modificada y circular presentaron el menor valor de caída de presión y por tanto es probable que sea una buena indicación del nivel de uniformidad de llenado en las cavidades. [7] La geometría hexagonal presentó un aumento de alrededor de 3 MPa en comparación con la geometría actual, a pesar de esto, continúa estando en dentro del límite debido a que está por debajo del 66% de la capacidad de presión de inyección establecida en las condiciones del proceso la cuál fue de 100 MPa.

Temperatura de llenado

En la figura 19 se muestra los valores de temperatura de llenado en la mitad de cada cavidad obtenido para las geometrías analizadas:



	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

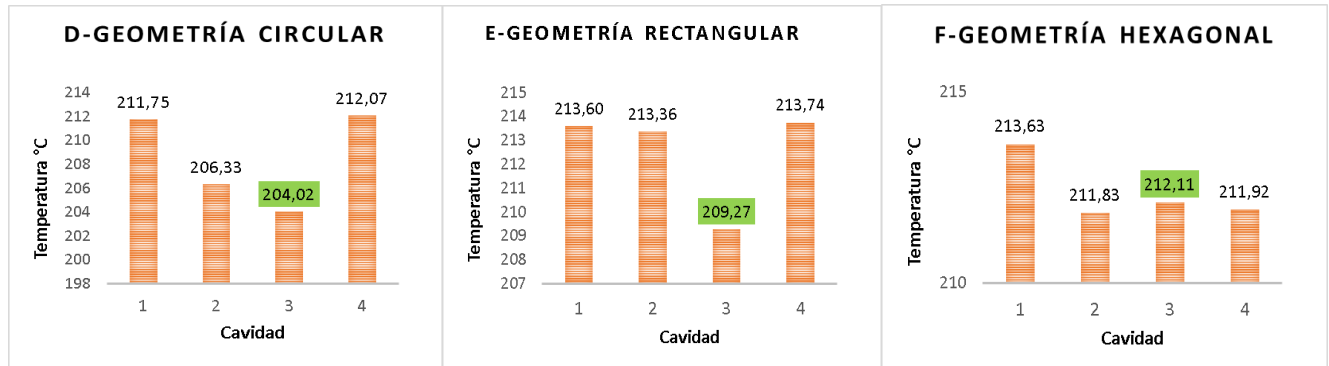


Figura 19– Análisis de temperatura de llenado en el punto central de las cavidades A. geometría trapezoidal, C. trapezoidal modificada y C semicircular, D- Circular, E. rectangular y f. Hexagonal. Fuente: Autor

Líneas de soldadura

En la figura 20 se muestra los valores de temperatura obtenidos en cada línea de soldadura para las geometrías analizadas:

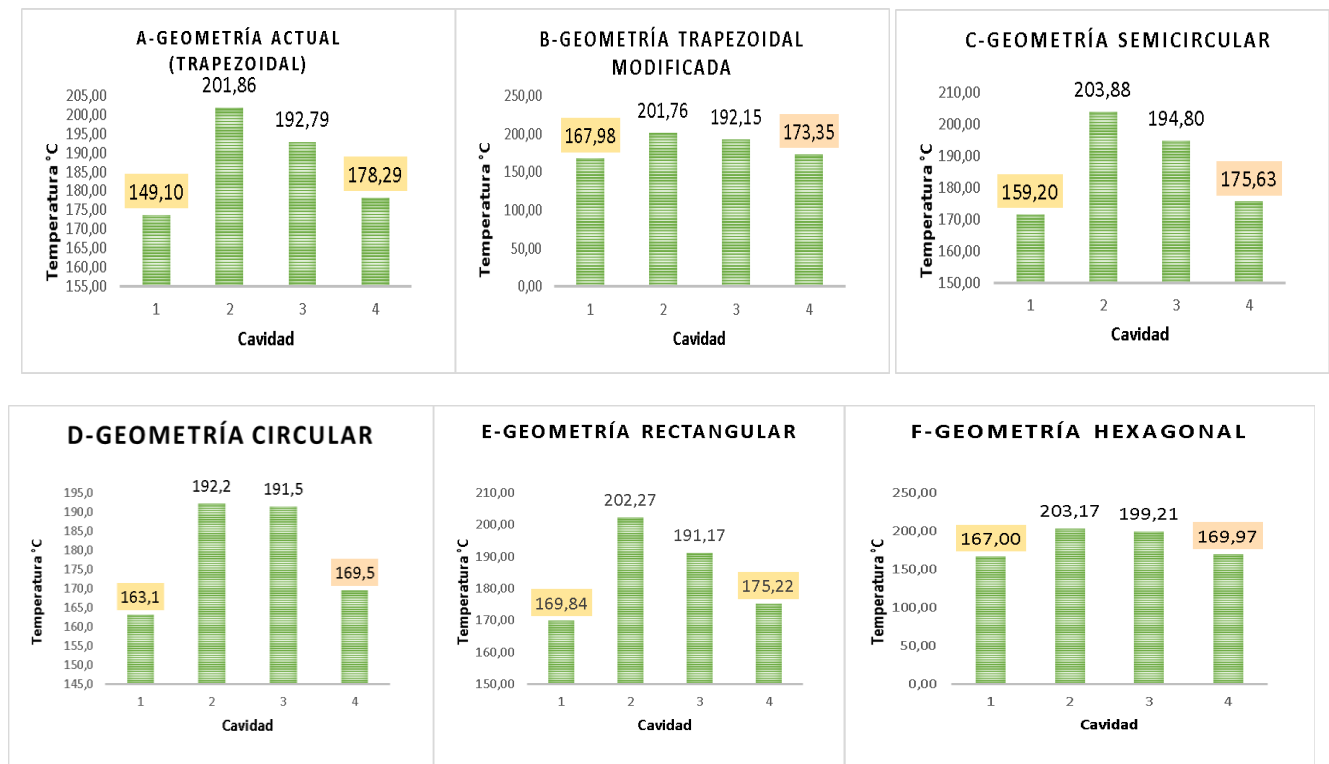


Figura 20 Temperaturas en las líneas de soldadura por cavidad en A. geometría trapezoidal, C. trapezoidal modificada y C semicircular, D- Circular, E. rectangular y f. Hexagonal. Fuente: Autor.

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

En todas las geometrías se presentaron 4 líneas de soldadura alrededor de los agujeros que presenta cada cavidad en la esquina superior derecha, estas líneas de soldadura se forman cuando convergen dos o más frentes de flujo del plástico fundido.[10] y entre las posibles causas para su formación están las superficies de cierre del molde, o un estancamiento del frente de flujo. Al observar las seis graficas se puede observar un comportamiento similar ya que las cavidades 1 y 4 presentan la menor temperatura en todas las geometrías, así mismo, la geometría trapezoidal modificada presenta temperaturas muy cercanas entre ellas y todas son superiores a la temperatura de fundición del fundido la cuál es de 160° C, debido a esto es probable que este comportamiento permita obtener piezas con propiedades mecánicas similares ya que la temperatura de llenado es uniforme en el punto central de todas las cavidades.

Atrapamientos de aire

En la figura 21 se muestra la cantidad de puntos de atrapamiento de aire obtenido para cada geometría analizada:

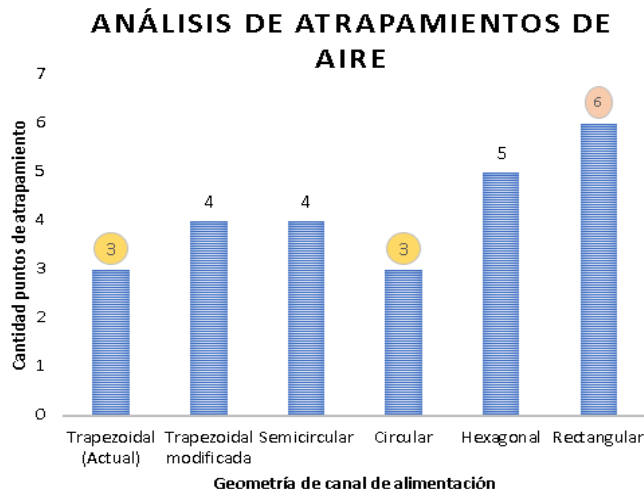


Figura 21 – Análisis de puntos de atrapamientos de aire. Fuente: Autor

La geometría rectangular presenta el mayor número de puntos de atrapamiento de aire, esto puede provocar un proceso de llenado incompleto en la ubicación del aire atrapado o incluso un orificio en la pieza causado por el aire atrapado.[12] Estos puntos se deben tener en cuenta para ubicar nuevos respiraderos o venteos que permitan dejar salir el aire y evitar que la pieza tenga un defecto notorio.

Selección de geometría

De acuerdo al análisis realizado, en la figura 22 se muestra la geometría seleccionada y las dimensiones de la compuerta que permitieron mejorar los resultados de la geometría actual para el molde seleccionado:

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

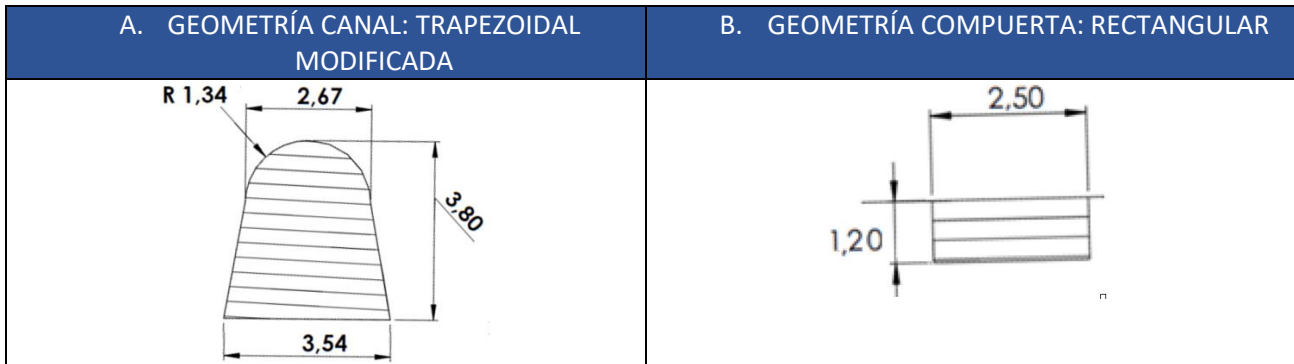


Figura 22 – Geometría de A. Canal y de B. compuerta seleccionada. Fuente: Autor

En la tabla 9 se muestran los resultados generales obtenidos en la simulación con la geometría seleccionada.

Tabla 8 - Resultados de la geometría seleccionada. Fuente: Autor

PARÁMETRO	VALOR
D_h	5.26 mm
Área de sección transversal del canal	10.043 mm ²
Área de sección de las compuertas	3.75 mm ²
Caída de presión	13.17 MPa
Tiempo de llenado	2.33 s
Temperatura máxima de llenado	230,17 °C
Número de atrapamientos de aire	4

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

7. CONCLUSIONES

- Se seleccionó el molde que permitió efectuar el estudio teniendo en cuenta que fuera un molde multi cavidades, que presentara algún problema de llenado y para el cual fuese sencillo implementar los cambios en la geometría de los canales y compuertas.
- Se obtuvo un tiempo de llenado muy cercano en todas las geometrías analizadas, siendo la geometría de canal semicircular la que obtuvo el menor valor con 2,17 s y la geometría circular con el mayor valor de tiempo de llenado el cuál fue de 2,28 s.
- Se obtuvo una caída de presión mayor con la geometría de canal hexagonal con un valor de 14,72 MPa con una diferencia de 3 MPa en comparación con la geometría actual la cual obtuvo un valor de 11,72MPa.
- La temperatura en el punto central de la cavidad N° 3 fue inferior a las demás cavidades en cuatro de las seis geometrías analizadas, es probable que una de las causas sea la ubicación del pin de expulsión del molde el cuál se encuentra más cercano a la compuerta en comparación a las demás cavidades en las cuales dicho pin se encuentra en los extremos más lejanos.
- La geometría trapezoidal modificada fue seleccionada como la más óptima para el molde seleccionado ya que presentó el comportamiento de llenado más uniforme en relación a la temperatura en el punto central de las cavidades con valores cercanos entre 212°C y 213°C lo cual indica que las propiedades mecánicas de las cavidades serán similares. Además de esto, la temperatura en las líneas de soldadura presentadas es superiores a la temperatura de fusión del material polimérico inyectado (160°C) lo cual indica que existe difusión del polímero entre los frentes de flujo de la línea y por tanto es probable que no sean puntos débiles en la pieza.
- La geometría seleccionada no obtuvo el mejor comportamiento en todas las variables estudiadas ya que presentó 4 puntos de atrapamiento de aire y el valor de presión de caída aumentó en comparación con la geometría actual (11,72MPa) ya que fue de 13,17 MPa, sin embargo, este valor obtenido continúa estando dentro del límite ya que no superó el valor de presión máxima establecido en las condiciones del proceso el cuál fue de 100 MPa.

8. RECOMENDACIONES

- Evaluar la posibilidad de adquirir un molde de cavidades con insertos intercambiables con el fin de realizar pruebas con la geometría propuesta con el molde real en la inyectora.
- Reubicar los pines de expulsión del molde actual de tal manera que se logre simetría en todas las cavidades.
- Continuar el estudio tomando en cuenta otras variables de análisis, tales como el tipo de polímero a utilizar, presión de inyección, velocidad de inyección y material de la cavidad

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Moayyedian, K. Abhary, and R. Marian, "Elliptical cross sectional shape of runner system in injection mold design," *Int. J. Plast. Technol.*, vol. 20, no. 2, pp. 249–264, Dec. 2016, doi: 10.1007/s12588-016-9153-4.
- [2] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, *Plásticos De Un Solo Uso*, vol. 227, no. 5. 2019.
- [3] demand and waste data. <https://www.plasticseurope.org>. Plastics Europe, 2019. Plastics — the facts 2018. An analysis of European plastics production, "Plásticos – Situación en 2019," *Plast. Eur.*, 2019, [Online]. Available: <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/2511-plasticos-situacion-en-2019>.
- [4] S. H. Tang, Y. M. Kong, S. M. Sapuan, R. Samin, and S. Sulaiman, "Design and thermal analysis of plastic injection mould," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 171, no. 2, pp. 259–267, Jan. 2006, doi: 10.1016/J.JMATPROTEC.2005.06.075.
- [5] Z. C. Herrera Jorge, "DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCION DE PLASTICOS, CON BASE EN ANALISIS DE LLENADO, MEDIANTE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES." <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15562/2018jorgeherrera.pdf?isAllowed=y&sequence=1> (accessed Jun. 14, 2021).
- [6] D. O. Kazmer, *Injection Mold Design Engineering*. 2007.
- [7] F. Edition, "Moldflow Design Guide A Resource for Plastics Engineers," *Moldflow Des. Guid. A Resour. Plast. Eng.*, pp. I–XX, 2006, doi: 10.3139/9783446418547.fm.
- [8] M. K. Shafique, "Injection Molding Simulation & Analysis using SolidWorks (TM) Plastics for a Computer Exhaust Fan Injection Molding Simulation Analysis of a Computer Exhaust Fan Using SolidWorks ® Plastics."
- [9] C. H. Wu and W. J. Liang, "Effects of geometry and injection-molding parameters on weld-line strength," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 45, no. 7, pp. 1021–1030, 2005, doi: 10.1002/pen.20369.
- [10] C. K. Au, "A geometric approach for injection mould filling simulation," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 45, no. 1, pp. 115–124, Jan. 2005, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2004.06.012.
- [11] M. Moayyedian, K. Abhary, and R. Marian, "Optimization of injection molding process based on fuzzy quality evaluation and Taguchi experimental design," *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, vol. 21, pp. 150–160, May 2018, doi: 10.1016/j.cirpj.2017.12.001.
- [12] K. Wilczyński and P. Narowski, "Simulation studies on the effect of material characteristics and runners layout geometry on the filling imbalance in geometrically balanced injection molds," *Polymers (Basel)*,

	FORMATO PRESENTACIÓN PROYECTO SEMINARIO DE GRADO 2021-I		Código: FR-IN- Versión: 01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 02-06-2021	Fecha de versión: 02-06-2021	

vol. 11, no. 4, p. 639, Apr. 2019, doi: 10.3390/polym11040639.

- [13] M. V. Candal and R. A. Morales, "Influence of geometrical factors on cavity pressure during the injection molding process," *Polym. - Plast. Technol. Eng.*, vol. 47, no. 4, pp. 376–383, 2008, doi: 10.1080/03602550801897562.
- [14] S. S. Deepika, B. T. Patil, and V. A. Shaikh, "Plastic injection molded door handle cooling time reduction investigation using conformal cooling channels," in *Materials Today: Proceedings*, Jan. 2020, vol. 27, pp. 519–523, doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.316.
- [15] "CAMPUSplastics | datasheet ALCOM DET PP FC 8010 14084." <https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/ALCOM+DET+PP+FC+8010+14084/MOCOM/5/d0224972/SI?pos=0>.
- [16] ASTM D1238, "Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer," *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. 08.01, no. 8, pp. 284–299, 2014, doi: 10.1520/D1238-13.