



## *Determinación de los parámetros de inyección para ladrillos plásticos en polipropileno*

### *Determination of injection parameters for plastic bricks in polypropylene*

### *Determinação de parâmetros de injeção para tijolos plásticos em polipropileno*

Miguel Ángel Escobar-Guachambala <sup>I</sup>  
[maescobar@esPOCH.edu.ec](mailto:maescobar@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9683-1479>

Jorge Isaías Caicedo-Reyes <sup>II</sup>  
[isaias.caicedo@esPOCH.edu.ec](mailto:isaias.caicedo@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-9875-6348>

Jorge Sebastián Buñay-Guamán <sup>III</sup>  
[jorge.bunay@esPOCH.edu.ec](mailto:jorge.bunay@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-6963-0383>

David Gregorio Palacios-Mazón <sup>IV</sup>  
[david.palacios@esPOCH.edu.ec](mailto:david.palacios@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-3973-5250>

**Correspondencia:** [maescobar@esPOCH.edu.ec](mailto:maescobar@esPOCH.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\***Recibido:** 02 de enero de 2022 \***Aceptado:** 20 de enero de 2022 \* **Publicado:** 08 de febrero de 2022

- I. Magister en Diseño Producción y Automatización Industrial, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. Riobamba, Ecuador.
- II. Magister en Diseño Mecánico, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. Riobamba, Ecuador.
- III. Master Universitario en Ingeniería Matemática y Computación, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. Riobamba, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. Riobamba, Ecuador.

## Resumen

Este proyecto explora determinar los parámetros para el proceso de inyección de polipropileno en la obtención de ladrillos plásticos. Así se comprende el estudio de polipropileno y los factores que influyen en el proceso de inyección. Para el proceso de inyección se emplea un molde diseñado específicamente para este producto. Se parte de la simulación del proceso de inyección en moldex3D mostrando como resultado una temperatura del molde a 30°C, presión de inyección 35MPa, temperatura del material de 240°C y un ciclo de inyectado de 20.4s con gramaje de inyección de 143gr. Para el protocolo de pruebas se emplea la máquina Inyectora Haitian MA1600 con un gramaje de inyección 253gr y partiendo de los parámetros de inyección simulados se obtuvieron ladrillos plásticos con una marcación superficial en la cara superior debido a los botadores evaluando como no estéticos. De esta manera se reajustaron los parámetros, y obteniendo los parámetros inyección experimental una temperatura del molde a 40°C, presión de inyección 39MPa, temperatura del material de 210°C y un ciclo de inyectado de 44.7s con gramaje de inyección de 143gr. Finalmente se obtuvieron ladrillos plásticos con un excelente acabado superficial. Se concluye que los parámetros simulados y experimentales fueron contrastados dándonos como resultado una cercanía entre los valores y siendo muy importantes los valores simulados para un punto de partida para el proceso de inyección.

**Palabras claves:** Inyección de Plástico; Polipropileno; Parámetros de Inyección; Moldex3D

## Abstract

This project explores determining the parameters for the polypropylene injection process in obtaining plastic bricks. Thus, the study of polypropylene and the factors that influence the injection process are understood. For the injection process, a mold designed specifically for this product is used. It is based on the simulation of the injection process in moldex3D, showing as a result a mold temperature of 30°C, injection pressure of 35MPa, material temperature of 240°C and an injection cycle of 20.4s with an injection weight of 143gr. For the test protocol, the Haitian MA1600 Injector machine was used with an injection weight of 253gr and based on the simulated injection parameters, plastic bricks were obtained with a superficial marking on the upper face due to the punches, evaluating them as unaesthetic. In this way, the parameters were readjusted, and the experimental injection parameters were obtained: a mold temperature of 40°C, an injection pressure of 39MPa, a material temperature of 210°C and an injection cycle of 44.7s with an

injection weight of 143gr. Finally, plastic bricks with an excellent surface finish were obtained. It is concluded that the simulated and experimental parameters were contrasted, resulting in a closeness between the values and the simulated values being very important for a starting point for the injection process.

**Keywords:** Plastic Injection; Polypropylene; Injection Parameters; Moldex3D

## Resumo

Este projeto explora a determinação dos parâmetros para o processo de injeção de polipropileno na obtenção de tijolos plásticos. Assim, entende-se o estudo do polipropileno e os fatores que influenciam o processo de injeção. Para o processo de injeção é utilizado um molde projetado especificamente para este produto. Baseia-se na simulação do processo de injeção no moldex3D, apresentando como resultado uma temperatura do molde de 30°C, pressão de injeção de 35MPa, temperatura do material de 240°C e um ciclo de injeção de 20,4s com peso de injeção de 143gr. Para o protocolo de teste foi utilizada a máquina injetora Haitian MA1600 com peso de injeção de 253gr e com base nos parâmetros de injeção simulados foram obtidos tijolos plásticos com marcação superficial na face superior devido aos punções, avaliando-os como inestéticos. Desta forma, os parâmetros foram reajustados, obtendo-se os parâmetros experimentais de injeção: temperatura do molde de 40°C, pressão de injeção de 39MPa, temperatura do material de 210°C e ciclo de injeção de 44,7s com peso de injeção de 143gr. Por fim, foram obtidos tijolos plásticos com excelente acabamento superficial. Conclui-se que os parâmetros simulados e experimentais foram contrastados, resultando em uma proximidade entre os valores e os valores simulados sendo muito importante para um ponto de partida para o processo de injeção.

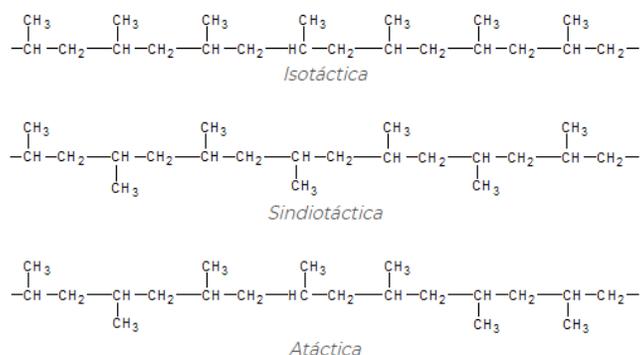
**Palavras-chave:** Injeção de Plástico; Polipropileno; Parâmetros de injeção; Moldex3D

## Introducción

### Polipropileno

El polipropileno, también conocido como PP, es un polímero semicristalino producido al polimerizar propileno en presencia de un catalizador específico. Similar al polietileno, pero uno de los carbonos en la unidad monomérica tiene un grupo metilo. La cadena principal del PP está

formada por hidrocarburos saturados, cada uno de los cuales tiene un grupo metilo, según su disposición, distinguimos tres formas de polipropileno: Isotácticos, Sindiotácticos y Atácticos.



**Figura 1:** Polipropileno en sus diferentes cadenas de monómeros.  
**Fuente:** (Textos Científicos, 2015)

El polipropileno es uno de los polímeros más utilizados en la industria debido a sus múltiples aplicaciones, el polipropileno o PP es un polímero termoplástico, es decir, se vuelve moldeable a altas temperaturas, aunque es similar al polietileno por su mayor punto de fusión. Su símbolo de reciclaje es un triángulo, el número 5 y las letras PP. Entre las principales características generales de este material se encuentran:

- Costo reducido.
- Fácil de moldear y colorear.
- Inodoro y no tóxico.
- Alta resistencia química a los disolventes.
- Buenas propiedades mecánicas.
- Buena estabilidad térmica
- Reciclable (Reutilizable).
- Excelente Aislante Eléctrico.



**Figura 2:** Polipropileno y su símbolo de reciclaje.  
**Fuente:** (Fuentes, 2019)

El polipropileno es uno de los principales polímeros termoplásticos utilizados para la fabricación de envases y contenedores y cuando se reciclan se pueden transformar en sillas y otros tipos de muebles, cajas de baterías, accesorios para automóviles, tuberías, accesorios, cuerdas, hilo, cinta y otros artículos para la industria textil. (Careaga, 1993 págs. 84-85)

Este polímero se puede transformar mediante una serie de procesos que incluyen: moldeo por inyección, soplado, termoformado, producción de fibra y producción de extrusión, siendo el primero más común.

### Comportamiento mecánico

En general se dice que el comportamiento mecánico del polipropileno es bueno, a continuación, se presentan las tablas con las propiedades.

**Tabla 1:** Polipropileno, Propiedades.

| Propiedad   | Valor                          |
|---|--------------------------------|
| Densidad  | 0.9 - 0.91 g / cm <sup>3</sup> |
| Temperatura de transición vítrea                                  | -10 ° C                        |
| Alargamiento a la rotura  | 150 - 600%                     |
| Flexibilidad (Módulo de flexión)                                  | 1.2 - 1.6 GPa                  |
| Dureza Rockwell M   | 1-30                           |
| Rigidez (Módulo de flexión)                                       | 1.2 - 1.6 GPa                  |
| Resistencia a la rotura (tracción)                                | 20 - 40 MPa                    |
| Resistencia al rendimiento (tracción)                             | 35 - 40 MPa                    |
| Resistencia (Impacto con muesca a temperatura ambiente)           | 20-60 J / m                    |
| Dureza a baja temperatura (Impacto con muesca a baja temperatura) | 27-107 J / m                   |
| Módulo de Young   | 1.1 - 1.6 GPa                  |

**Realizado por:** Autores.  
**Fuente:** (Omnexus, 2018)

## Factores que influyen en el proceso de moldeo

Entre todas las posibles opciones que pueden cambiar el resultado de un proceso de inyección, hay variables fundamentales que determinan la calidad de la pieza y la eficiencia de la producción:

- ✓ Temperatura
- ✓ Presiones
- ✓ Tiempos
- ✓ Recorridos
- ✓ Velocidades
- ✓ Control de alabeo y rechupe
- ✓ Sistema de refrigeración
- ✓ Sistema de Alimentación

Un proceso de inyección puede llamarse eficiente si el producto se obtiene en el menor tiempo posible, el equipo se desgasta al mínimo y se consume la menor cantidad de energía. (González, 2011)

### *Temperaturas*

Al hablar sobre el efecto de las temperaturas, esta variable también puede influir en varios elementos del sistema:

- Temperatura del cilindro o de inyección: Se relaciona con la temperatura del conjunto alimentador, dosificador, boquilla, cada una de las temperaturas debe controlarse y asignarse de forma independiente. A medida que el material fluye hacia la boquilla, pierde calor por conducción con el material en la boquilla y al mismo tiempo surge a través del calor de fricción presente con el movimiento. Dependiendo de las condiciones de moldeo, esta energía puede ser mayor o menor que la pérdida de transferencia de calor. Es bien conocido que la temperatura del material fundido está directamente relacionada con su viscosidad, por lo tanto, cuanto más calor pierde el material aumenta su viscosidad y su dificultad de inyección, esto hace que aumente la presión requerida para el proceso y aumenta el consumo de energía. Se debe tener cuidado con el material para que no llegue al estado de degradación térmica o descomposición por temperatura. (Innove Group, 2017) La tabla siguiente muestra los rangos de temperatura aceptables para el proceso de inyección de polímeros.

**Tabla 3:** Temperaturas para el procesamiento de los polímeros.

| Material | Temperatura (°C) |
|----------|------------------|
| PP       | 200-300          |
| PS       | 180-260          |
| PVC      | 160-180          |
| PMMA     | 185-250          |
| PA       | 230-280          |
| PC       | 280-310          |
| ABS      | 180-245          |
| SAN      | 180-280          |
| POM      | 180-225          |

**Realizado por:** Autores

**Fuente:** (González, 2011 pág. 5)

- Temperatura del molde: Depende directamente del tipo de material utilizado y la geometría de la pieza, por lo que su selección es fundamental ya que produce la velocidad de producción. Lo más común es que la herramienta tenga un sistema de refrigeración con agua a 15°C y un caudal entre 0,5 y 3 LPM; sabiendo que cuanto más turbulento sea el flujo, mayor será la transferencia de calor y, por tanto, su eficiencia.

**Tabla 4:** Temperaturas óptimas para moldes.

| Material | Temperatura (°C) |
|----------|------------------|
| PP       | 15-65            |
| PS       | 10-40            |
| PVC      | 10-65            |
| PMMA     | 80-105           |
| PA 6     | 20-100           |
| PA 66    | 20-100           |
| PC       | 80-110           |
| ABS      | 40-90            |
| SAN      | 40-90            |
| PVC      | 10-65            |

**Realizado por:** Autores

**Fuente:** (González, 2011 pág. 7)

- Otras temperaturas: Aunque menos significativa, la temperatura del aceite en el sistema hidráulico afecta el proceso de inyección porque debe verificarse de proporcionarle un rango

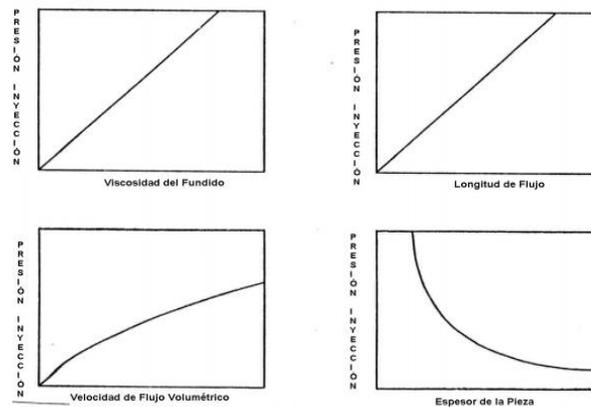
de viscosidad dinámica adecuada para material fundido, esto asegura la presión y el flujo. Normalmente una temperatura entre los 30°C y 40°C se considera aceptable, aunque debe consultarse también los valores recomendados por el fabricante.

### Presiones

Existen varias presiones a controlar en el proceso de inyección de polímeros, entre ellas:

- Presión de inyección hidráulica: Es la presión ejercida por el cilindro hidráulico que se visualiza en el manómetro en el momento de la inyección.
- Presión de Inyección: Es la presión con la que el tornillo empuja el material fundido hacia la cavidad del molde. Normalmente su valor se ve afectado por el rozamiento que se ejerce sobre el cilindro hidráulico por lo que es ligeramente inferior a este. Hay varios factores, por ejemplo: espesor de pared, sección transversal de la pieza, tamaño de la materia prima, longitud de flujo, tiempo de llenado, temperatura de fusión, temperatura del molde, tasa de inyección y tasa de flujo de fusión.

Se presentan curvas representativas del efecto de algunos de los factores ya mencionado en la presión de inyección.



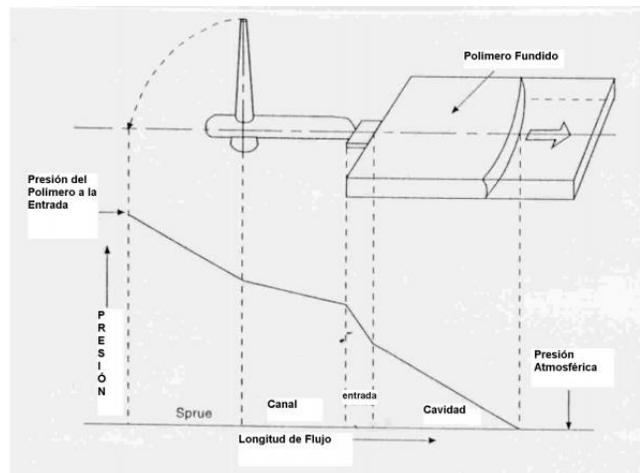
**Figura 3:** Parámetros que se relaciona con el proceso de inyección.

**Fuente:** (González, 2011 pág. 38)

- Presión en la cavidad: se refiere a la fuerza que ejerce el material sobre la superficie de la cavidad del molde desde que ingresa hasta que se solidifica.

- Contrapresión, compactación, residual o sostenida: es una presión resultante de la compactación del plástico fundido en el hueco del molde y es generada por el mismo sistema hidráulico.
- Contrapresión: Evita que el tornillo regrese durante el laminado.
- Presión residual: Es la presión residual en el producto terminado cuando es extraído del molde.

En cada momento de la inyección hay que recordar que el polímero fluye siempre desde las zonas de alta presión hacia las zonas de baja presión hasta alcanzar la presión atmosférica.



**Figura 4:** División del polímero fundido en relación de la presión.

**Fuente:** (González, 2011 pág. 13)

Además de las ya mencionadas, existen otras presiones que deben ser controladas en el proceso como son la presión de contacto en la boquilla, el cierre y apertura del molde, la presión de eyección y regulación.

### *Tiempo*

Los tiempos que se manejan en este proceso se categorizan así:

- Tiempo de inyección inicial: indica el tiempo requerido para llenar la cavidad en el molde, esto dependerá de factores tales como: el tamaño del molde, la viscosidad de la fusión del material, configuración del molde, capacidad de inyección utilizada normalmente, el tiempo que tarda el tornillo en entrar en el molde es de 2 a 3 segundos.

- Tiempo de permanencia o empaque: Se refiere al tiempo que se tarda en mantener el tornillo en su posición después de realizar la inyección inicial para que la presión en el molde no se vea afectada. Este tiempo transcurre desde que se llena completamente el molde hasta que el material solidifica en la cavidad de entrada del molde, tras lo cual se desconecta el pistón hidráulico para permitir que el material solidifique completamente en el interior del molde. En una pieza de 1,5 mm de espesor, este tiempo no supera los 6 segundos.
- Tiempo de enfriamiento: es el tiempo necesario para que la pieza se solidifique por completo, adquiriendo la rigidez necesaria para ser desmoldada sin sufrir fracturas ni deformaciones. Las partes externas se enfrían rápidamente por transferencia de calor con el molde, mientras que la parte central tarda más tiempo. Se considera un tiempo de enfriamiento efectivo para permitir la correcta solidificación de al menos 95° de la pieza.

Cuando el espesor de la pieza es de 1.5mm toma entre 9 y 12 segundos para solidificar correctamente. (Universidad de Alicante, 2012 pág. 20)

#### *Velocidad*

Es más bien el flujo de material que ingresa al molde, ya que se expresa en unidades de volumen por unidad de tiempo (cm<sup>3</sup>/s), determinando así si un molde se llena rápidamente o no. Determinada por la velocidad de giro del tornillo, por lo que también podemos expresarla en revoluciones por minuto que el tornillo se mueve hacia adelante y hacia atrás sin carga, ya que la velocidad depende directamente del tornillo y a su vez depende del sistema hidráulico del equipo; este parámetro es especificado por el fabricante. Durante el trabajo de la máquina, la velocidad real se verá afectada por la presión de inyección, la temperatura del material y también la configuración de la figura a moldear.

#### *Alabeo*

Cuando una pieza se mecaniza por inyección, existen tensiones internas residuales que provocan deformaciones en las piezas terminadas. Durante la solidificación existe una diferencia de temperatura en las zonas de la pieza lo que provoca estas tensiones térmicas en el interior. Asimismo, cuando la pieza se contrae sobre el macho del molde, también se producen tensiones internas que pueden perderse o no, dependiendo del componente viscoso en el comportamiento viscoelástico y de las condiciones de moldeo.

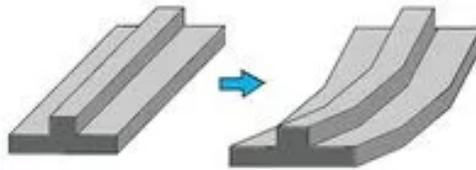


Figura 5: **Alabeo.**  
Fuente: (Gobierno Vasco, 2020)

Una de las principales consideraciones para reducir el alabeo es el diseño de la pieza tratando de que los cambios de sección sean lo más pequeños posible porque si hay una gran diferencia la parte más ancha tarda más en enfriarse generando más contracción y provocando en esta etapa la tracción y deformación del material.

Otro aspecto que interviene en la reducción del alabeo es el endurecimiento del molde, en particular en piezas largas y planas donde se debe garantizar una eficiente extracción de energía. La configuración del molde puede reducir este efecto también en piezas inyectadas, debiendo evitar grandes caudales de agua en el sistema de refrigeración ya que esto puede provocar que el agua se caliente en los canales y reduzca la eficiencia de refrigeración, dando lugar a gradientes térmicos y nuevas deformaciones. (Flores, 2021)

### Rechupe

Los rechupes son defectos comunes que se presentan en las piezas plásticas inyectadas y se ven como marcas superficiales en forma de agujeros o sumideros, generalmente en las zonas más gruesas.

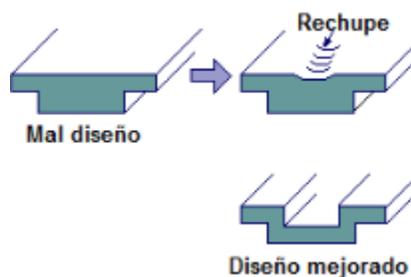


Figura 6: **Rechupe.**  
Fuente: (Flores, 2021)

Las contracciones térmicas también son un factor importante en la formación de hundimientos, sobre todo por el enfriamiento del producto, ya que existen zonas internas que se juntan o contraen cuando baja la temperatura ya que a mayor temperatura la pieza tiende a dilatarse y al disminuir la pieza se contrae por el fenómeno de dilatación térmica, cuando estas deformaciones son grandes, la superficie de la pieza se hunde o se comba.

Un diseño optimizado del elemento a inyectar garantiza que la probabilidad de hundimiento sea muy baja, es decir, la necesidad de mantener un espesor uniforme, utilizar cambios de espesor graduales entre partes gruesas y delgadas para evitar el efecto del enfriamiento y también reducir las partes más gruesas es fundamental.

Algunos de los factores más importantes incluyen el uso de parámetros de inyección inadecuados, como la temperatura del molde, el tiempo de enfriamiento, el tiempo de permanencia y la presión de retención, así como el diseño del molde y la tasa de transferencia de calor durante el enfriamiento de estas contracciones. (Prodavant, 2018)

Además de estas consideraciones, entre las sugerencias para reducir estos rechupes en la pieza están:

- Reducir el gradiente de temperatura con el molde.
- Aumentar el tiempo de enfriamiento y usar un sistema de convección forzada con agua.
- Utilizar materiales con buena conductividad térmica.
- Disminuir la temperatura del aire en el ambiente.
- Mantener un diseño de la pieza con un grosor uniforme (en lo posible).

### **Contracción de piezas moldeadas**

Una de las cuestiones de moldeo por inyección más importantes a considerar en el diseño de moldes es la contracción, definida como la diferencia entre el tamaño real del molde y el producto terminado completamente frío. La contracción es el cambio de densidad del polímero provocado por la solidificación, conocida como contracción térmica, está entre el 1% y el 4% del volumen inicial. Otros tipos de polímeros como el poliestireno, el acrílico o el policarbonato muestran retracción entre 0,3 y 0,7%. La siguiente tabla muestra los porcentajes de contracción de algunos polímeros.

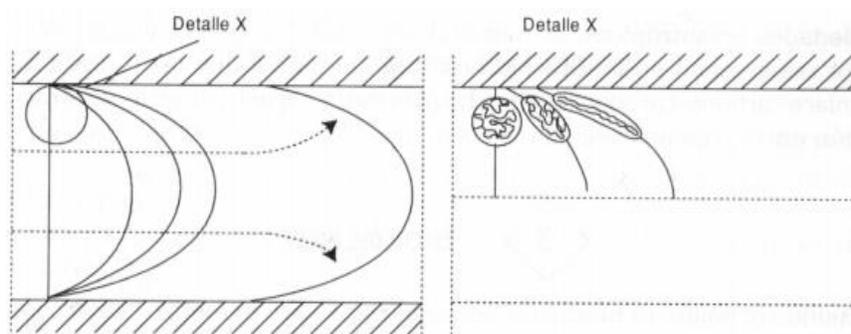
**Tabla 5:** Contracción de algunos polímeros.

| Polímero                              | Porcentaje de contracción |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Polipropileno                         | 1,5                       |
| Cloruro de polivinilo no plastificado | 0,3                       |
| Cloruro de polivinilo                 | 1,0-5,0                   |
| Nylon 6,6                             | 1,5                       |
| Policarbonato                         | 0,6                       |
| Polietileno de baja densidad          | 2                         |
| Polietileno de alta densidad          | 4                         |
| Acrilonitrilo butadieno estireno      | 0,3-0,8                   |
| Acetal                                | 0,0-2,2                   |
| Acrílico                              | 0,2-0,8                   |

**Realizado por:** Autores

**Fuente:** (Universidad de Alicante, 2012 pág. 54)

La orientación del polímero en la entrada del molde es crítica en términos de contracción. Las moléculas de polímero normalmente aparecen como cadenas enredadas, pero cuando se aplica presión a este material fundido, tienden a desenredarse y orientarse en la dirección del flujo para que las partículas puedan fluir más fácilmente, esta relación es lo que provoca la orientación.



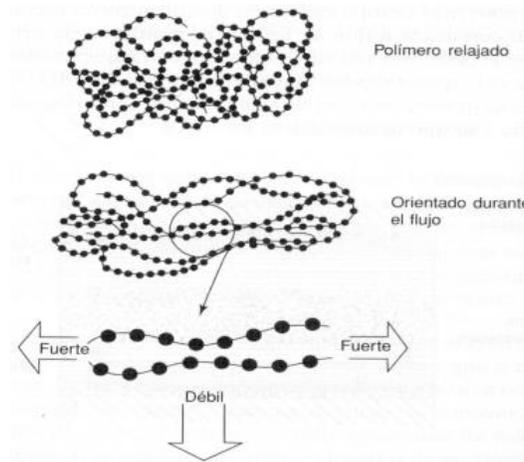
**Figura 3-2:** Formación de las cadenas sólidas en el flujo de monómeros.

**Fuente:** (Universidad de Alicante, 2012 pág. 48)

Una vez que se elimina la tensión y el material permanece fundido durante un período de tiempo, se produce la "relajación", un proceso en el que las moléculas vuelven a su forma original "entrelazada". En el caso particular del moldeo por inyección, este tiempo no es suficiente para producir una orientación residual, lo que se denomina tensiones o deformaciones fijas. En los

polímeros cristalinos, la tensión hace que las piezas se deformen, lo que se conoce comúnmente como contracción.

Las moléculas de polímero eventualmente se relajan, el problema es que se alinean más en una dirección que en otra, por lo que las propiedades serán diferentes en esas direcciones (propiedades anisotrópicas).



**Figura 4-2:** Anisotropía provocada por la orientación de las cadenas.  
**Fuente:** (Universidad de Alicante, 2012 pág. 49)

La pieza se encoge en longitud en el sentido del flujo mientras que la producida en el sentido perpendicular es menor, por lo que su encogimiento también es menor. El fabricante de moldes debe considerar este fenómeno como inevitable, aunque puede evitarse controlando las condiciones del proceso de moldeo como el tiempo de relajación.

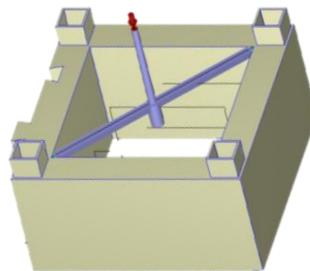
## Metodología

### Simulación de Inyección en el molde

Uno de los pasos esenciales en el proceso de fabricación de piezas de plástico es simular el proceso de inyección, esto garantizará piezas de calidad que mantendrán la forma y el tamaño deseados. La forma en que se distribuye el material en el molde, así como las orientaciones de flujo y las posibles contracciones deben conocerse o al menos estimarse antes de la construcción del molde, entonces las herramientas digitales serán de gran ayuda para verificar este proceso.

El programa utilizado para esta verificación será Moldex3D, un software especializado en la simulación de moldeo por inyección de plásticos mediante cálculos iterativos. Para el proceso de inyección es importante crear el sistema de flujo y su ubicación, porque esto corresponderá a un buen llenado de la cavidad para el proceso de inyección.

Los orificios se establecen en diferentes puntos del molde. Se han colocado válvulas angulares de sección rectangular entre 2 esquinas opuestas de la pieza a realizar y sobre esta una válvula de sección circular perpendicular a la anterior. El material seguirá durante el proceso de inyección desde el punto más alto mostrado con color rojo.



**Figura 8:** Sistemas de corrido  
**Fuente:** Autores

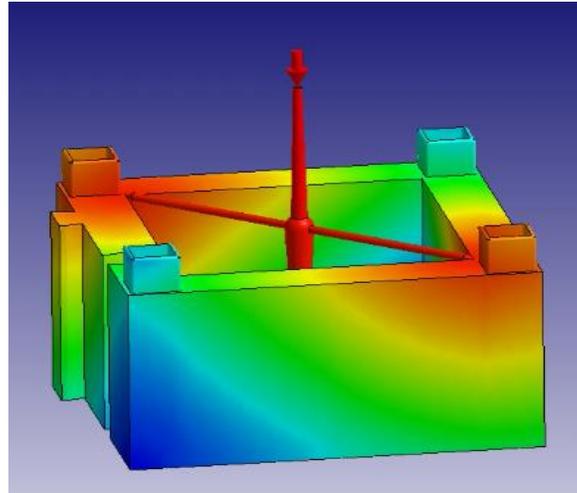
Moldex3D utiliza este sistema para revisar el proceso de inyección 3D el cual va de la mano con el sistema de enfriamiento y su red. Se debe indicar el material a inyectar, en este caso el material es Polipropileno. El uso del programa durante la simulación se puede ver en la siguiente tabla.

**Tabla 6:** Propiedades del Polipropileno en Moldex3D.

| Parámetro              | Valor |
|------------------------|-------|
| Tiempo de llenado      | 1.8 s |
| Tiempo de empaquetado  | 5.6 s |
| Temperatura de fusión  | 240°C |
| Temperatura del molde  | 30°C  |
| Tiempo de enfriamiento | 13 s  |

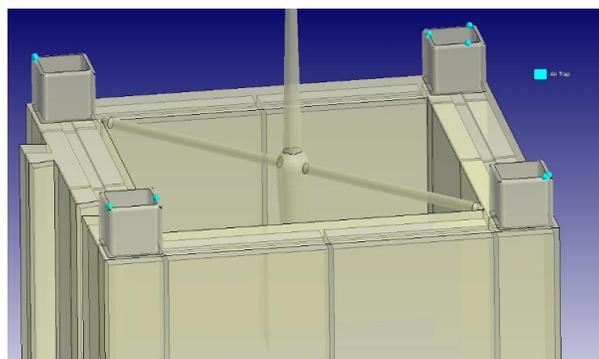
**Realizado por:** Autores  
**Fuente:** (Rong, 2017)

El primer aspecto para evaluar es el tiempo durante el cual el material llega a todos los espacios del molde, los que se llenan primero son de color rojo y los últimos en llegar son de color azul, la simulación nos muestra que ya en menos de 2 segundos se llenará la totalidad de la cavidad.



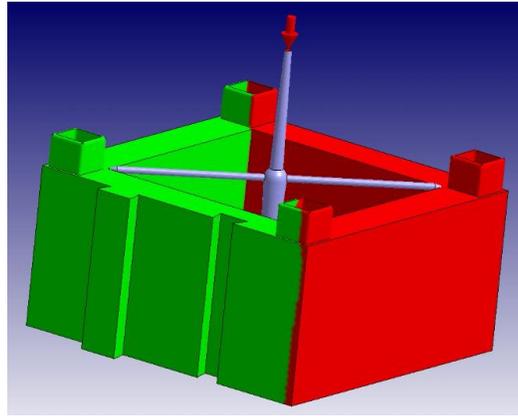
**Figura 11:** Tiempo de llenado en la inyección.  
**Fuente:** Autores

Durante un proceso de inyección es común encontrar trampas de aire, estos son espacios en los que debido al flujo del material dentro de la cavidad el aire queda atrapado en puntos específicos donde la pieza quedará incompleta o imperfecta. Nos muestra unos 9 orificios de ventilación colocados en la parte superior del ladrillo, debido a que las trampas se ubican en las conexiones verticales entre ladrillo y ladrillo, estas no se consideran críticas en la funcionalidad del proyecto, por lo que se decide continuar con este arreglo.



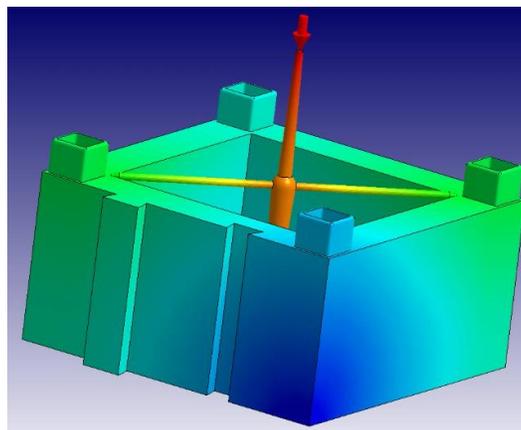
**Figura 12:** Trampas de aire.  
**Fuente:** Autores

Otros aspectos importantes que deben examinarse en la simulación de la inyección son la distribución del material utilizando las válvulas ejecutadas, la presión en el sistema durante el proceso, la temperatura y la fuerza.



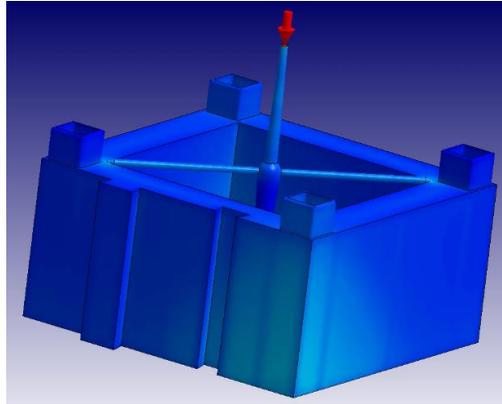
**Figura 13:** Distribución de las válvulas de llenado  
**Fuente:** Autores

Cada válvula ubicada en las esquinas suministra aproximadamente 50% del cuerpo de ladrillos.



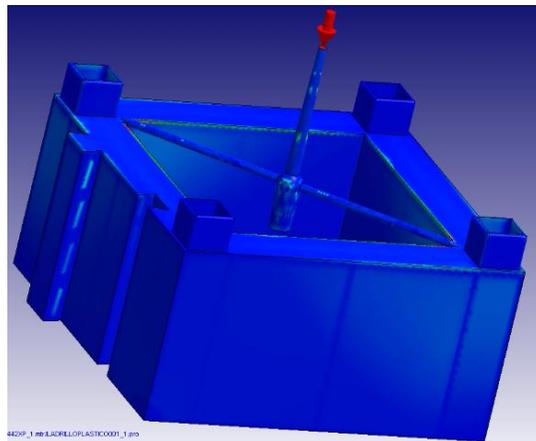
**Figura 14:** Flujo de la presión.  
**Fuente:** Autores

Comienza con 84,9 MPa en la parte superior del material (en rojo) y disminuye hasta las esquinas inferiores en azul, donde alcanza alrededor de 0 MPa.



**Figura 15:** Distribución de la temperatura  
**Fuente:** David Gregorio Palacios Mazón

Con una temperatura máxima de 270,18 °C en color rojo y una mínima de 44,66 °C en color azul.



**Figura 16:** Tensión de Corte del fluido  
**Fuente:** David Gregorio Palacios Mazón

Con una máxima de 3,30 MPa posicionada en la válvula de alivio y en la esquina interna del ladrillo.

Finalmente se puede mencionar que todos los parámetros principales se han examinado mediante los datos obtenidos en la simulación y se puede concluir que en cuanto al proceso de inyección no habrá mayores dificultades que las ya previstas, por lo que se prevee que el proceso resultará según lo esperado y con ello que el diseño del molde es adecuado.

Una vez revisado este proceso, se debe continuar con la determinación de la resistencia mecánica del molde por simulación.

## Parámetros de inyección

Antes de acercarse a la planta de producción, es fundamental definir los parámetros a seguir antes y durante el proceso de inyección para asegurar que el producto a obtenerse sea el esperado. Entre estos parámetros se debe definir la configuración de la máquina con los valores que se detallan a continuación obtenidos a través de la simulación.

**Tabla 7:** Parámetros simulados de la inyección.

| Parámetro              | Simulado |
|------------------------|----------|
| Presión                | 35 Mpa   |
| Tiempo de llenado      | 1.8 s    |
| Tiempo de empaquetado  | 5.6 s    |
| Temperatura de fusión  | 240 °C   |
| Temperatura de molde   | 30 °C    |
| Tiempo de enfriamiento | 13 s     |
| Tiempo de ciclo        | 20.4 s   |

**Realizado por:** Autores

**Fuente:** Autores

Además de estos parámetros y antes de iniciar con el procedimiento de inyección es necesario realizar las siguientes comprobaciones:

- Comprobar la lubricación del molde en todas las partes móviles.
- Montar el molde cerca de la máquina.
- Calentar el molde hasta alcanzar una temperatura superficial de 40°C.

## Producción del ladrillo plástico.

El siguiente paso en el proceso es la producción de ladrillos plásticos para verificar la funcionalidad del molde recién construido, así como verificar que el producto obtenido cumpla con las expectativas. Para estas primeras pruebas se utiliza polipropileno reciclado en la inyección, que anteriormente fueron utilizados en la fabricación de visores y cajas de plástico. Las pruebas se realizan de acuerdo a los parámetros de presión y temperatura descritos anteriormente.



**Figura 17:** Pruebas del molde de inyección.  
**Fuente:** Autores

Después de varias pruebas, la inyección se realiza con la temperatura fijada a 220 °C y la presión en la máquina a 39 MPa. Es fundamental obtener la correcta fluidez del material ya que si no se consigue en partes de la pieza podría quedar semivacíos y con inyección incompleta. También se pudo notar que era necesario precalentar el molde con un soplete hasta que alcance los 40°C como estaba previsto, si se omite este paso la pieza se mantendrá en el molde sin poder ser expulsada, lo que llevaría al desmontaje completo del molde para sacar la pieza retenida retrasando la producción. Otra causa de retención en el molde puede ser la falta de lijado de las piezas.



**Figura 18:** Acondicionamiento del Molde  
**Fuente:** Autor

La eyección de la pieza se calculó con dimensiones "ajustadas" sin sobresalir del molde, para ello fue necesario aumentar la longitud de los pines, al momento de la inyección de los pines se observó

que el proceso dejaba un rastro cuando se ejecuta un enfriamiento de 30 segundos que afecta el proyecto original, es por eso que se decidió cambiar el proceso de enfriamiento a 40 segundos; después de probar con esta modificación se comprobó que el tiempo es el adecuado con lo que la extracción del ladrillo se produjo sin la necesidad de golpes.



**Figura 19:** Tablero de control  
**Fuente:** Autor

Para concluir, se inyectaron muestras del ladrillo plástico para comprobar las dimensiones esperadas. Es relevante mencionar que al utilizar material plástico reciclado sin un tratamiento previo complicó al proceso de inyección, especialmente sobre el movimiento y funcionamiento del tornillo.



**Figura 20:** Producto inyectado.  
**Fuente:** Autor

Al revisar las dimensiones esperadas de los ladrillos obtenidos se identificó una variación en la contracción del material que ya se esperaba, puesto que al usar plástico reciclado este valor difiere del usado en los cálculos perteneciente a un material en estado virgen. Con ayuda de las dimensiones tomadas en varias muestras del ladrillo plástico inyectado se pudo determinar una contracción adicional a lo esperado de al menos 1.45mm.

Aunque existe una diferencia dimensional en las piezas obtenidas, se debe indicar que esta reducción no afecta al prototipo puesto que la contracción se da de forma tridimensional haciendo que la pieza mantenga su uniformidad y con ello los ladrillos puedan conectarse y sujetarse correctamente.

Una vez que se fabricaron los ladrillos de forma adecuada se pudo determinar los parámetros reales usados en la configuración de la máquina que se detallan a continuación.

**Tabla 8:** Parámetros experimentales en la inyección.

| Parámetro              | Experimental |
|------------------------|--------------|
| Presión                | 39 Mpa       |
| Tiempo de llenado      | 1.5 s        |
| Tiempo de empaquetado  | 3.2 s        |
| Temperatura de fusión  | 210 °C       |
| Temperatura de molde   | 40 °C        |
| Tiempo de enfriamiento | 40 s         |
| Tiempo de ciclo        | 44.7 s       |

**Realizado por:** Autores

**Fuente:** Autores



**Figura 21:** Ladrillo Plástico.

**Realizado por:** Autores

**Fuente:** Autores

## Resultados

Al evaluar los resultados obtenidos del proceso de inyección, se puede notar que existe una diferencia entre los parámetros de la simulación y los experimentales, se concluye que son relativamente cercanos, se tuvieron que ajustar los parámetros en la experimentación para obtener el mejor resultado en los ladrillos. La mayor diferencia se observa en el parámetro de tiempo de enfriamiento porque durante el procesamiento de las piezas se observó que en el tiempo definido en la simulación la pieza presentaba algunos defectos superficiales y al ser modificado el acabado fue mejor y los punzones no dejaban huellas en el ladrillo plástico.

**Tabla 10:** Comparación de los parámetros de inyección

| <b>Parámetro</b>       | <b>Simulado</b> | <b>Experimental</b> |
|------------------------|-----------------|---------------------|
| Presión                | 35 Mpa          | 39 Mpa              |
| Tiempo de llenado      | 1.8 s           | 1.9 s               |
| Tiempo de empaquetado  | 5.6s            | 3.2 s               |
| Temperatura de fusión  | 240 °C          | 220 °C              |
| Temperatura de molde   | 30 °C           | 40 °C               |
| Tiempo de enfriamiento | 13 s            | 40 s                |
| Tiempo de ciclo        | 20.4 s          | 44.7 s              |

**Realizado por:** Autores

**Fuente:** Autores

## Conclusiones

Se logró determinar los parámetros de inyección para la obtención de ladrillos plásticos en polipropileno. Los parámetros obtenidos de la simulación fueron: temperatura del molde 30°C, presión de inyección 35MPa, temperatura del material 240°C y un ciclo de inyectado de 20.4s con gramaje de inyección de 143gr. Los parámetros experimentales fueron: temperatura del molde 40°C, presión de inyección 39MPa, temperatura del material 220°C y un ciclo de inyectado de 44.7s con gramaje de inyección de 143gr. Los parámetros experimentales obtenidos partieron de los parámetros simulados, se debió aplicar un reajuste a los parámetros obtenidos mediante la simulación debido a que los ladrillos plásticos mostraron una marcación superficial en la cara superior debido a los botadores. Finalmente se obtuvieron ladrillos plásticos con un excelente

acabado superficial. Se observa que los parámetros simulados y experimentales son muy próximos resultando muy importantes los parámetros obtenidos por simulación como punto de partida para el proceso de inyección.

## Referencias

1. Careaga, Juan Antonio. 1993. Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes. s.l. : Instituto Nacional de Ecología, 1993.
2. Departamento de Ingeniería Química UA. 2019. Universidad de Alicante. [En línea] 2019. [Citado el: 20 de Diciembre de 2019.] <http://iq.ua.es/TPO/Tema5.pdf>.
3. Flores, Laura. 2021. Plásticos. [En línea] Octubre de 2021. [Citado el: 15 de Diciembre de 2021.] <https://www.plastico.com/temas/Como-solucionar-problemas-en-piezas-moldeadas-por-inyeccion+100321?pagina=2>.
4. Fuentes, Josselyn. 2019. Comunidad Todo Comercio Exterior EC. [En línea] 8 de Diciembre de 2019. [Citado el: 20 de Junio de 2021.] <https://comunidad.todocomercioexterior.com.ec/profiles/blogs/3002100000-polipropileno>.
5. Gobierno Vasco. 2020. Eusko Jaurlaritz. [En línea] 31 de Marzo de 2020. [Citado el: 15 de Febrero de 2021.] [https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/DMPP/DMP\\_P03/es\\_DFM\\_DMPP03\\_Contenidos/website\\_42\\_sistema\\_de\\_alimentacin.html](https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/DMPP/DMP_P03/es_DFM_DMPP03_Contenidos/website_42_sistema_de_alimentacin.html).
6. Innove Group. 2017. CN Cajas. [En línea] 2017. [Citado el: 27 de Diciembre de 2019.] <https://www.cn-cajas.com/cuatro-factores-esenciales-que-afectan-la-calidad-del-moldeo-por-inyeccion-de-plastico/>.
7. Maya, Enrique. 2007. Diseño de moldes de inyección de plástico con ingeniería recurrente. México : Instituto Politécnico Nacional, 2007.
8. Omnexus. 2018. Omnexus. [En línea] 2018. [Citado el: 20 de Diciembre de 2019.] <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polypropylene-pp-plastic>.
9. Prodvant. 2018. Prodvant. [En línea] 28 de Diciembre de 2018. [Citado el: 15 de Agosto de 2021.] <https://www.prodvant.com/blog/2018/12/28/como-solucionar-los-rechupes-en-la-inyeccion-de-plasticos/>.

10. Rosato, Dominick, Rosato, Donald y Rosato, Marlene. 1985. Injection Molding Handbook. Springer : Springer Science, 1985. ISBN 978-4613-7077-2.
11. Sánchez, Jaime. 2001. Metodología para el diseño de moldes de inyección de plástico de colada caliente. México : Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores Monterrey, 2001.
12. Textos Científicos. 2015. Textos Científicos. [En línea] 14 de Agosto de 2015. [Citado el: 15 de Marzo de 2021.] <https://www.textoscientificos.com/polimeros/polipropileno>.
13. Universidad de Alicante. 2012. Departamento de Ingeniería Química. [En línea] 2012. [Citado el: 29 de Diciembre de 2019.] <http://iq.ua.es/TPO/Tema5.pdf>.
14. RONG, Yeu Chang. Moldex3D. 14. computer software. 2017. Miami, FL : Moldex3d Northern America. (Rong, 2017)