

## Optimización del proceso de extrusión soplado de un envase mediante elementos finitos.

Andrés Minchala Pallmay<sup>1</sup>, Christian Cobos-Maldonado<sup>2</sup>, Luis López<sup>3</sup>, Santiago Ferrándiz-Bou<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Nuevos Materiales y Procesos de Transformación - GIMAT, Carrera de Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador. Email: [@est.ups.edu.ec](mailto:@est.ups.edu.ec)

<sup>2</sup> Grupo de Investigación en Nuevos Materiales y Procesos de Transformación - GIMAT, Carrera de Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador. Email: [ccobos@ups.edu.ec](mailto:ccobos@ups.edu.ec)

<sup>3</sup> Grupo de Investigación en Nuevos Materiales y Procesos de Transformación - GIMAT, Carrera de Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador. Email: [llopez@ups.edu.ec](mailto:llopez@ups.edu.ec)

<sup>4</sup> Demes, Instituto Universitario Tecnológico de Materiales - IUTM, Departamento de ingeniería mecánica y materiales, Universitat Politècnica de València, Alcoi - España. Email: [sferrand@mcm.upv.es](mailto:sferrand@mcm.upv.es)

### Resumen

El presente proyecto técnico se desarrolla en la empresa ALL PLASTIC donde se optimiza el proceso de producción de un envase de polietileno de alta densidad (HDPE) mediante elementos finitos, con la ejecución de la herramienta computacional ANSYS®, los parámetros de medidas del envase se obtiene a partir de un elemento ya elaborado en la empresa, esto para proceder a realizar el diseño en el software INVENTOR, una vez realizada esta tarea se importa dicha geometría desde ANSYS, por medio del paquete especializado POLYFLOW, posteriormente investigamos las variables que inciden en el proceso de extrusión soplado para introducir los parámetros que requieren el software, experimentalmente se simula y valida el proceso de moldeo. basándonos en el modelo matemático de viscoelasticidad, donde se simuló el cierre del molde y el proceso de inflado a través de la implementación de un modelo viscoelástico integral K-BKZ en condiciones isotérmicas. Con esto se obtuvieron resultados predictivos acerca de la distribución de espesores en las paredes del producto soplado. Para introducir las características apropiadas en la simulación, se caracteriza geométricamente la preforma por medio de técnicas experimentales.

**Palabras clave:** extrusión soplado, elementos finitos, convección, polietileno de alta densidad (PEAD).

### Abstract

The present technical project is developed in the company ALL PLASTIC where the production process of a high-density polyethylene (HDPE) container is optimized using finite elements, with the execution of the ANSYS® computational tool, the parameters of measurements of the container are obtained from an element already elaborated in the company, Once this task is done, the geometry is imported from ANSYS, using the specialized package POLYFLOW, subsequently, we investigate the variables that affect the blown extrusion process to introduce the parameters required by the software, experimentally we simulate and validate the molding process. Based on the mathematical model of viscoelasticity, where the mould closing and the inflation process were simulated through the implementation of an integral viscoelastic model K-BKZ under isothermal conditions. Predictive results about the wall thickness distribution of the blown product were obtained. To introduce appropriate features into the simulation, the preform is geometrically characterized using experimental techniques.

**Keywords:** Blow molding, finite elements, convection, high density polyethylene (HDPE).

### 1. Introducción

En la industria moderna, el objetivo principal es lograr la fabricación de productos de alta calidad, a bajo costo y en un tiempo reducido [1]. Para cumplir con este propósito, se emplean sistemas de fabricación automatizados para la fabricación de moldes, junto con máquinas de moldeo por extrusión y soplado que

cuentan con sistemas de control PLC (Controlador Lógico Programable) [2].

La extrusión soplada es el método más común para la fabricación de contenedores de polietileno de alta densidad (HDPE), para producir cualquier producto con la forma y tamaño deseado, siendo este un proceso de fabricación muy eficiente y relativamente de bajo costo [3]. La consistencia de este proceso se desarrolla

en tres etapas, cada una de estas son cruciales al momento de su aplicación, en efecto, de esto dependerá la calidad del producto final [4], a continuación, se resume la secuencia:

- La formación del parison.
- El inflado del parison.
- La solidificación (enfriamiento) de la pieza.

El espesor de las paredes del recipiente obtenido por extrusión soplado depende del espesor del parison, para obtener un espesor idóneo, empresas suelen utilizar métodos heurísticos basados en prueba y error hasta obtener la consistencia necesaria del embace, siendo un proceso largo y costoso [5].

La presión de soplado requerido para el conformado del parison depende de la consistencia y el espesor de este, así como del material utilizado para la producción del envase [6].

La etapa de enfriamiento depende mucho del diseño del molde, número de canales de refrigeración, distribución de los canales, materiales de que está fabricado entre otros [7]. Los sistemas de refrigeración en el proceso de extrusión soplado son cruciales, garantizando una temperatura óptima del molde para reducir las contracciones volumétricas del envase por el mismo intercambio de calor continuo que existe en el ciclo de moldeo, evitando deformaciones del producto final [8]. Para ello se debe analizar la distribución adecuada de los canales de refrigeración acorde el diseño de envase integrando el mayor número de canales de refrigeración y obtener una homogeneidad de la temperatura en el molde [9]. Algunos factores a considerar para su diseño son:

- Material del molde.
- Proceso de manufactura del molde.
- Polímero a transformar.
- Diseño de la geometría.
- Tamaño del molde.

Los moldes utilizados para el proceso de extrusión soplado suelen ser fabricados en acero y en aluminio laminado de alta calidad [10], tomando en consideración puntos como:

- Resistencia a la corrosión
- Resistencia al desgaste
- Resistencia a la compresión
- Conductividad térmica
- Tenacidad

De estos puntos dependerá escoger un material idóneo para la fabricación del molde [11].

En el proceso de moldeo por extrusión soplado, los parámetros como la presión del aire y los materiales, la temperatura del parison, el tiempo de soplado, el

tiempo de enfriamiento y la temperatura del molde afectan la calidad del contenedor, como la resistencia a la compresión y la contracción del producto [12].

En la actualidad la ingeniería computacional por medio de softwares de elementos finitos permite lograr simulaciones de procesos de transformación de polímeros como: inyección, extrusión, extrusión soplado, termo-conformado, entre otros [13]. Permitiendo a la industria determinar parámetros básicos para el proceso de producción previo al montaje del molde en máquina.

Para reducir al mínimo los errores durante el montaje y calibración del proceso de extrusión soplado lo que deriva en tiempo de para de máquina, es necesario una estrategia se simulaciones y un eficiente análisis de datos previos al montaje del molde [14].

El presente artículo describe una alternativa de estudios de simulación numérica secuenciales para el mejoramiento de las variables en un proceso de extrusión soplado de un molde de acero que produce envases octogonales de polietileno de alta densidad con una producción estimada de 10.000 piezas mensuales.

## 2. Metodología

La metodología utilizada para el desarrollo del siguiente trabajo de investigación se basa en una secuencia de etapas identificadas en el diagrama de flujo en la figura 1.

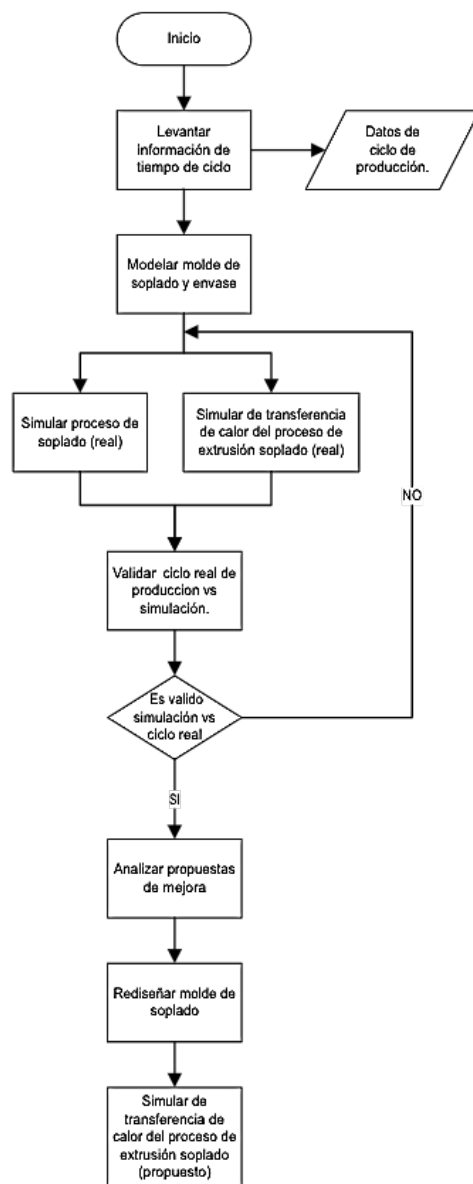


Figura 1. Etapas del proceso metodológico. Fuente: Elaboración propia.

### 2.1 Levantamiento de ciclo de producción real.

En primera instancia se realizó el levantamiento de variables que influyen en el proceso de producción, entre las cuales tenemos: temperatura del molde, temperatura del refrigerante y tiempo de soplado, para obtener los datos de estos parámetros, contamos con la ayuda de las siguientes herramientas digitales; una cámara termográfica marca TESTO serie 868, un pirómetro y un cronómetro digital, como un evento de gran relevancia nos fijamos en la notable concentración

de calor que se presenta en la base del molde, a consecuencia de su deficiente diseño en el sistema de refrigeración, a continuación, exponemos una imagen tomada con nuestra cámara termográfica, podemos apreciar en la parte de color rojo que su temperatura se eleva hasta 168°C.

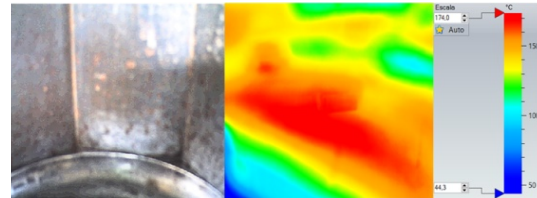


Figura 2. Imagen termográfica de base del molde durante el proceso de producción. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se tabula la data del proceso de producción.

**Tabla 1.** Variación de la temperatura del molde

Datos de Ciclo de producción			
T. Molde (°C)	Tiempo de soplado (s)	Tiempo de producción (min)	T. agua refrigerante (°C)
20	12	0	19
40	12	30	19
49	12	60	20
55	12	90	21
63	13	120	21
68.5	13	150	23
85	13	180	25
92	14	200	26
105	14	220	27
121	14	240	28
135	15	260	29
143	15	280	33
157	16	300	35

Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la figura 3 se evidencia al ascenso de la temperatura del molde durante el proceso de producción por un periodo de cinco horas.

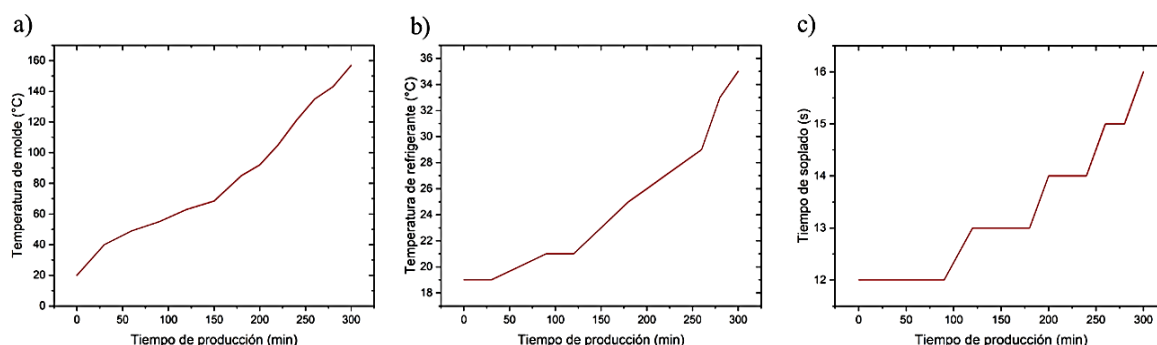


Figura 3. Incremento de temperatura en molde, líquido refrigerante e incremento de tiempo de soplado. Fuente: elaboración propia.

Se puede evidenciar que el molde y el refrigerante al transcurrir el tiempo de producción aumenta su temperatura por la conducción térmica del parison hacia el molde, evidenciando dos inconvenientes, i) la deficiente funcionalidad del sistema de refrigeración del molde, ii) el calentamiento del refrigerante utilizado por la deficiente pérdida de calor en la torre de enfriamiento del agua, iii) que, una vez transcurrido cinco horas de la producción, el material soplado tiende a adherirse a las paredes de moldeo por una deficiente refrigeración del mismo, el cual no permite seguir produciendo.

## 2.2 Modelado

### Modelado de envase

La geometría del elemento a analizar se obtuvo a partir de una cadena de producción, este contenedor tiene una capacidad de almacenamiento de 1000 ml, el modelado en 3D, fue realizado mediante el software AUTODESK INVENTOR®. El envase tiene una altura de 138 mm, un ancho entre caras paralelas de 108mm, y un espesor en el centro de la botella de 1mm, a continuación, se presenta un ejemplo del envase de estudio.

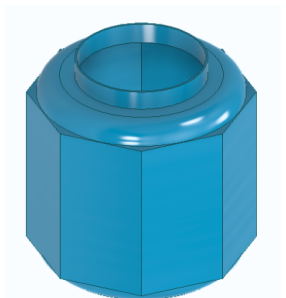


Figura 4. Envase de estudio. Fuente: elaboración propia.

### Definición del material de envase.

El material que utiliza la empresa All PLastics para la producción de envases es polietileno de alta densidad para soplado (PEAD) con masterbatch verde. de la casa comerciante Disan Ecuador S.A a continuación, sus propiedades:

Tabla 2. Propiedades del polietileno de alta densidad

Propiedades	
Variable	Valor
Densidad	950 kg/m <sup>3</sup>
Contracción	1.5 – 3 %
Resistencia a la tensión	18 – 35 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de fricción	0.29
Dureza rockwell	D60 – 73 Shore
Resistencia a la tracción	15 – 40 MPa
Temperatura de fusión (T <sub>m</sub> )	135 °C
Temperatura de transición vítrea (T <sub>g</sub> )	-130 °C
Cristalinidad	60%
Conductividad térmica	0.45 – 0.52

Fuente: elaboración propia.

### Modelado de molde de soplado original con su respectivo sistema de canales de refrigeración.

Las cavidades del molde están fabricadas en acero al carbono, el mismo está compuesto por dos pares de postizos que forman la parte superior (rosca) e inferior de la estructura del molde (base de botella), estos postizos son del mismo material. Los postizos de la

rosca y de la base de la botella tienen cortadores que cortan el material excedente durante la producción. También el postizo superior cuenta con un ingreso de la boquilla de soplado. El molde cuenta con un circuito de refrigeración constituido por dos canales que se conectan entre sí, permitiendo el flujo del refrigerante.

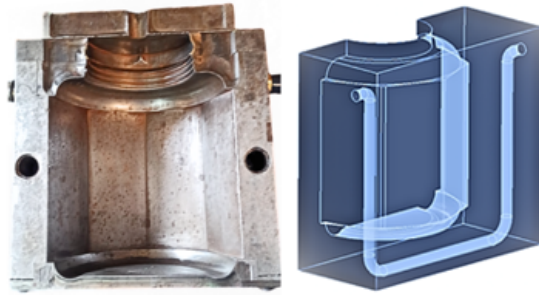


Figura 5. Molde de soplado original, sistema de refrigeración. Fuente: elaboración propia.

## 2.5 Simulación de proceso de soplado en condiciones reales de producción.

Se utilizó la herramienta informática; ANSYS POLYFLOW™, para simular el proceso de funcionalidad actual con el que cuenta la fábrica, para hacer un análisis de la difusión de la temperatura del parison hacia el molde durante el proceso de producción y tabular datos del proceso de extrusión soplado.

Estas herramientas de pre y post procesamiento generalmente se involucran con paquetes de software de diseño asistido por computadora (CAD).

Para ejecutar un análisis de extrusión - soplado se requiere solventar las siguientes características físicas: presión, contracción volumétrica, temperatura de fusión, y espesor del parison.

El método de elementos finitos (MEF), que se basa en la idea de discretización [15].

- Divide una estructura en pequeños elementos
- Asume que cada elemento es un modelo matemático
- Ensambla los elementos y resuelve el problema general

Para obtener un conformado óptimo del elemento, el software reconoce la geometría propuesta, para posteriormente realizar la generación de malla mediante nodos, como se ve en la figura 6.

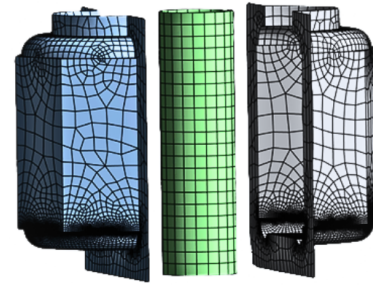


Figura 6. Generación de mallado en sistema de soplado. Fuente: elaboración propia.

### 2.5.1 Presión de soplado

La presión de aire que se aplica, debe ser acorde al tamaño del contenedor, es decir a mayor volumen mayor presión y viceversa, consecuentemente de no ser el caso, lo más probable es que se presente eventos no deseados en la formación de la pieza, comúnmente la presión de soplado oscila entre 40 a 60 libras por pulgada cuadrada (Psi) [16].

Otro punto relevante es el estado del aire, este debe ser completamente seco para evitar irregularidades en la superficie del producto final. Se debe tener en cuenta la boquilla de soplado su medida será acorde a la capacidad del contenedor que se ha de conformar [17]

TABLA 3. Dimensiones de la boquilla de soplado

Dimensiones	
Diámetro del orificio (mm)	Capacidad del contenedor (L)
1.6	1
4	1 - 4
13	4 - 200

Fuente: [6]

### 2.5.2 Contracción volumétrica.

En efecto, la contracción volumétrica es la disminución del volumen que se da desde el final de la fase de soplado hasta el momento en que la pieza se encuentra a temperatura ambiente (20°C), es decir que se encuentra en estado sólido, este evento se produce por el cambio de densidad del polímero debido a un comportamiento fisicoquímico [18] Bajo este contexto la relación de presión, volumen y temperatura es importante para calcular la contracción:

$$Cv = 1 - \frac{V_{mp}}{V_c} \quad (1)$$

Donde:

$Cv$  = Contracción volumétrica.

$Vmp$  = Volumen de la parte moldeada.

$Vc$  = Volumen de la cavidad.

### 2.5.3 Formación del parison

En el montaje de los elementos que generan la formación del parison podemos observar dos cuerpos cónicos; el cono macho tiene una medida en la base de 48 mm, y el cono hembra una medida en la base interna de 54 mm, entre estos dos forman una holgura con una abertura de 3 mm, esta medida es el espesor con el que se forma el parison que vemos en la figura 6, que fue tomada con la ayuda de una cámara termográfica marca TESTO serie 868 [19]. La cámara detecta una temperatura en el parison de 178°C.

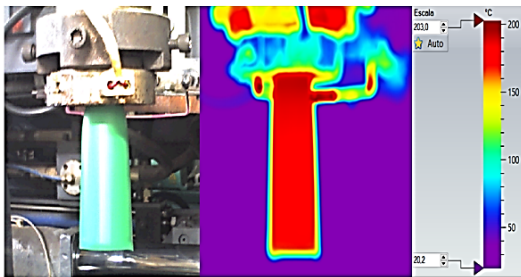


Figura 7. Imagen termográfica de la formación del parison. Fuente: elaboración propia.

### 2.5.4 Análisis en la distribución de espesores.

A partir del análisis viscoelástico del PEAD, se establece en los datos suministrados en ANSYS Polyflow; como un flujo newtoniano isotérmico en estado transitorio, es muy importante tener en cuenta este modelo para este tipo de procesos, debido a las propiedades reológicas del termoplástico, este fenómeno influye notablemente en la distribución de espesores, bajo la modalidad real se extrae una muestra de la producción y se realiza una serie de cortes seccionales, a través de la geometría para obtener una media de espesores.

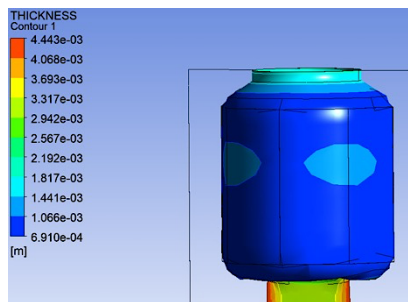


Figura 8. Simulación de distribución de espesores. Fuente: elaboración propia.

Con el resultado de la simulación, se realiza una comparación de la distribución de espesores, en la parte real con respecto de la parte simulada, se aprecia en la regleta una media de 0,8 mm de espesor en las paredes del envase, dato que tiene gran semejanza con los espesores reales del envase.

### 2.5.5 Simulación de transferencia de calor.

En este caso la transferencia de calor que existe desde el parison hacia el molde es recurrente por acción del ciclo de trabajo, es decir, en una producción en serie existe considerable incremento de temperatura en las cavidades del molde, por lo tanto podemos definir como un proceso isotérmico, debido a la convección del sistema, por esta razón se realiza una simulación en ANSYS STEADY STATE THERMAL, con el objetivo de corroborar la variación de temperatura en función del tiempo, y a la vez reconocer los puntos críticos donde existe una mayor concentración de temperatura.

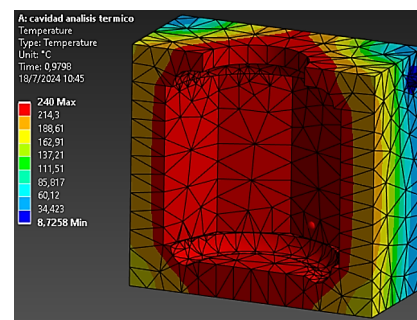


Figura 9. Simulación de transferencia de calor del parison hacia el molde. Fuente: elaboración propia.

Según los resultados que nos brinda el software; podemos apreciar la considerable disipación de calor hacia las cavidades, bajo un análisis se deduce que la causa de este problema se da porque el actual sistema de refrigeración es deficiente, cabe recalcar que, para poder establecer una propuesta de mejora en toda la sección del sistema, se analiza la geometría y los puntos donde existe mayor concentración de calor.

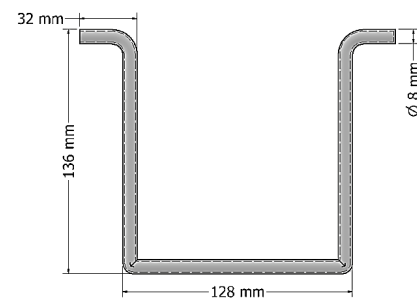


Figura 10. Sistema de refrigeración actual. Fuente: elaboración propia.



Para el análisis de la propuesta mejorada tomamos como referencia el diseño actual y calculamos como dato preliminar el caudal del refrigerante en este caso agua.

$$Q = v * \frac{\pi D^2}{4} \quad (2)$$

Donde  $Q$  es el caudal del refrigerante,  $v$  es la velocidad del flujo del agua,  $D$  es el diámetro de la canal

## 2.6 Diseño de propuesta

Previo a la propuesta se revisa la literatura de la norma de refrigeración, donde dice que las tuberías, canales en este caso deben tener una distancia promedio entre canales de 40 mm, de esta manera se ejecuta el diseño con una sección circular que rodea la geometría que formara el envase, obteniendo una eficiente distribución del flujo para el sistema, a continuación, se expone el modelado del nuevo sistema de refrigeración:

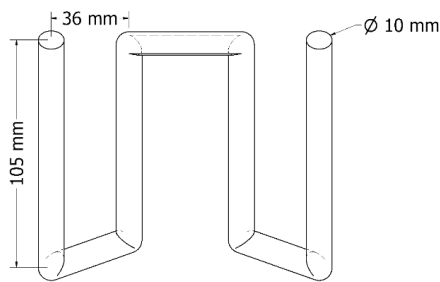


Figura 11. Rediseño del sistema de canales de refrigeración. Fuente: elaboración propia.

Una vez ejecutado el modelo propuesto, procedemos a realizar la respectiva simulación de transferencia de calor por convección, por medio de ANSYS STEADY STATE THERMAL, dando como resultado una notable disminución de transferencia de calor, a continuación, se puede observar en la siguiente figura:

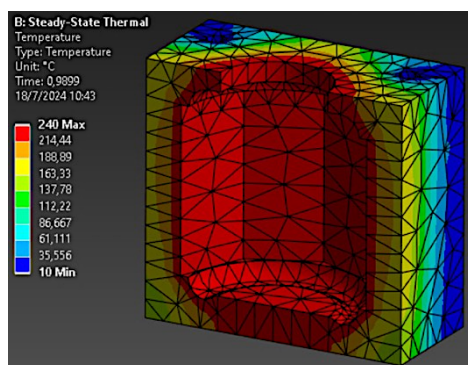


Figura 12. Simulación de transferencia de calor del parison hacia el molde con rediseño de canales. Fuente: elaboración propia.

En este caso se ha desarrollado la simulación, estableciendo como dato del refrigerante a una temperatura de 20°C, en la imagen podemos apreciar la concentración de calor, con una disminución considerable, con respecto al modelo inicial, sin embargo, existe la probabilidad de que el refrigerante suba su temperatura a medida que transcurre el tiempo de producción, para solucionar este problema nos planteamos una siguiente propuesta.

## 2.7 Optimización de propuesta.

En esta sección analizamos la posibilidad de proponer la instalación de un equipo denominado CHILLER. ¿QUÉ ES UN CHILLER? El CHILLER es un refrigerador de líquido, que como en un sistema de expansión directa, calienta o enfría mediante el intercambio térmico, el objetivo de adaptar este equipo en nuestro sistema es para que la temperatura del agua sea constante y ayude a mantener las cavidades en una temperatura optima para que la producción no sufra eventos no deseados, previo a la propuesta formal al personal de planta, se procede a realizar una simulación de la disipación de calor con una temperatura del refrigerante a 10°C, a continuación presentamos los resultados de la simulación con la propuesta mencionada:

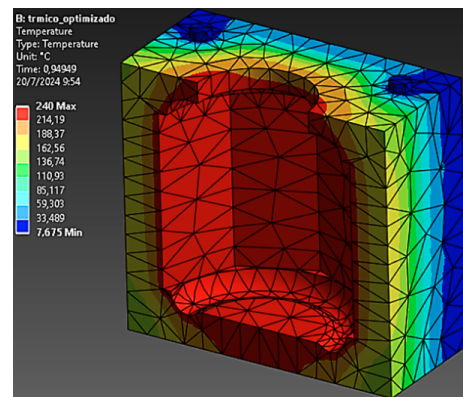


Figura 13. Optimización de refrigeración en el molde de soplado. Fuente: elaboración propia.

En efecto; se puede evidenciar la notable disminución de transferencia de calor hacia las cavidades, con respecto a la anterior simulación sin el equipo Chiller.

## 3. Resultados

### 3.1 Análisis de la distribución de espesores

Los resultados obtenidos por el MEF en comparación con el método real, presenta una ligera diferencia, debido a que el software lo interpreta a la temperatura del material como constante es toda su trayectoria, y así mismo la presión no presenta variaciones como ocurre en la parte experimental.

### 3.2 Determinación de caudales

Caudal de agua en el actual sistema de refrigeración

$$Q = 3 \text{ m/s} * \frac{\pi * 0.008^2 \text{ m}}{4}$$

$$Q = 0.15 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Calculo de caudal en el nuevo sistema de refrigeración

$$Q = 3 \text{ m/s} * \frac{\pi * 0.01^2 \text{ m}}{4}$$

$$Q = 0.23 \text{ l/s}$$

Obtenemos un mayor caudal con el nuevo sistema de refrigeración, por lo tanto, se evidencia un mayor flujo de refrigerante.

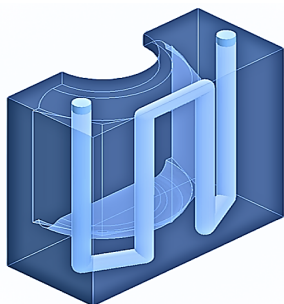


Figura 14. Cavidad con el nuevo sistema de refrigeración. Fuente: elaboración propia.

### 3.3 Análisis de temperatura en el líquido refrigerante.

Con el nuevo sistema se logra obtener un resultado favorable en la distribución del refrigerante, por otro lado apreciamos que la temperatura del agua empieza a variar con respecto del tiempo de producción, para solventar este evento no favorable, se propone adaptar un equipo que permita mantener el refrigerante a una temperatura baja constante, para lo cual realizamos la respectiva simulación para corroborar los resultados que nos da el programa, estableciendo una temperatura de 10°C al refrigerante, y efectivamente existe una mejora notable en la transferencia de calor, de esta manera este sistema propuesto se consolida como modelo optimo para llevar a cabo la producción.

### 3.4 Análisis de mejora en el tiempo de soplado y llenado

Como tiempo de soplado tenemos un dato inicial de 12 segundos, y a medida que transcurre el tiempo este dato sube a 16 segundos como máximo, debido al calentamiento elevado del sistema.

Con las nuevas condiciones del sistema mejorado existe la probabilidad que como máximo exista una variación de 1 segundo en el tiempo de soplado

## 4 Conclusiones

El sistema que brinda el espesor del parison está establecido según parámetros manejados por la empresa, dotando una distribución optima en las paredes del molde.

La presión de soplado influye de gran manera en la distribución de espesores, por el hecho de que si esta es muy elevada la superficie del molde es vulnerable a sufrir deformaciones en su superficie, o caso contrario puede que el envase no se termine de formar según la geometría, debida a la baja presión.

El material del molde es un acero al carbono, un excelente conductor térmico, para lo que se debe diseñar un sistema de refrigeración que permita tener una temperatura estable del molde, para no sufrir alteraciones en los tiempos de producción.

El fluido del agua en el sistema se determina como un flujo turbulento, a causa de los cambios de trayectoria, que conforman los canales de refrigeración, en consecuencia, esto genera una emisión de energía al sistema, para minimizar este fenómeno se diseño con bordes suaves en las uniones de las canales, y a su vez mejorando el sistema de refrigeración.

## 5 Agradecimientos

De manera especial agradezco al personal que conforma la empresa All Plastic's por abrimos las puertas y darnos el acceso hacia la maquinaria para trabajar en conjunto y cumplir con el objetivo del proyecto.

## 6 Referencias

- [1] D.V. Rosata, A.V. Rosata, D.P. Dimattia, Blow Molding Handbook, 2nd ed., Hanser, 2004.
- [2] Keyence (2023), ¿Qué es el moldeo por soplado? [disponible en: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/machining/injection-molding/about.jsp> Accedido el: 14 de marzo de 2024].
- [3] Ramos (2007), Extrusion De Plasticos/ Plastics Extrusion: Principios Basicos/, Limusa.
- [4] Acevedo, G., & Chavez, J. (2015). Automatización del sistema de termorformado para otimizsar los tiempos.
- [5] García, S. (2009). Referencias históricas y evolución de los plásticos. Revista Iberoamericana de polímeros, 10(1), 71-80.
- [6] Basu, S y Fernandez, F (1983), Theoretical and experimental stdy of non-isothermal deformation of a blow molding parison. Adv. Polym. Tech. 3, 143



- [7] Edwards, P. (1979). Heat transfer in blow molding operations. *Polymers Engineering and Science*, 910-916.
- [8] Xiong, S. (2004). Determination of Percent Crystallinity of Polyethylene by the Density Gradient and Differential Scanning Calorimetry.
- [9] Piñeres, L. (2010). Efecto de los pigmentos sobre las propiedades y la estructura del polietileno de alta densidad procesado por extrusión soplado. [Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/12212/u671112.pdf?sequence=1> Accedido el: 14 de marzo de 2024]
- [10] Mariano., (2023). "Extrusión - soplado". *Tecnología de los Plásticos*. [Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/extrusion-soplado.html> Accedido el: 14 de marzo de 2024]
- [11] W, Fred y J, Billmeyer (1975) *Ciencia de los polímeros*. [Disponible en: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/117588?page=507> ]
- [12] M, Beltran y A, Marcilla. (2012) *Tecnología de polímeros procesado y propiedades*. [Disponible en: [https://books.google.co.ve/books?id=jxilUUn4\\_QAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.ve/books?id=jxilUUn4_QAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false) Accedido el: 14 de marzo de 2024]
- [13] T, Osswald y J, Hernandez. (2006) *Polymer processing; Modelling and simulation*.
- [14] C. L. Tucker. *Simulation of viscoelastic fluid Flow, in computer modeling for polymer processing*. Hanser, Munich (1989)
- [15] Cook, R. D. (2007). *Concepts and applications of finite element analysis*. John wiley & sons.
- [16] Daubenbüchel, W.: *Coextrudierte Kunststoff-Kraftstoff-Behälter*, *Kunststoffe* 82 (1992) 3
- [17] Shebo y Gan (2014), *Glosario de términos para moldeo termoendurecido*. [Disponible en: <https://studylib.es/doc/6545827/glosario-de-t%C3%A9rminos-para-moldeo-termoendurecido> Accedido el: 11 de mayo del 2024].
- [18] A. Garcia, R. W. DiRaddo, and M. E. Ryan, J. *Non-Newtonian Fluid Mech*, 44, 171 (1992)
- [19] TESTO. Serie 868. Manual.
- [20] ANSYS Polyflow. (2010) User Manual