

Análisis de distribución de gases internos de un horno tipo shuttle con sección circular para el proceso de moldeo rotacional

Marcos Miguel Lais Gómez¹, Alejandro Ramírez Barrón²

¹Alumno de posgrado.

²Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ AC.

lais_gomez@yahoo.com.mx

RESUMEN.

El presente trabajo muestra el análisis del comportamiento del flujo de gases calientes de combustión en un horno de sección circular usado para el proceso de moldeo rotacional. Este análisis fluido-dinámico se enfoca en el estudio de los parámetros que definen la distribución de los gases de combustión dentro del horno. Aquí, la transferencia de calor se da por convección forzada, donde el proceso de combustión a través de un quemador genera gases calientes, los cuales, son después arrastrados por un extractor que genera un patrón de flujo característico. Como herramienta de análisis se usó la simulación numérica del sistema, donde las soluciones de las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía en un dominio discretizado permitieron la obtención de campos de temperatura y velocidad. En este caso, se consideró un horno de tamaño comercial de 4 metros de diámetro. Los resultados muestran que la distribución de los gases en la geometría analizada no es del todo uniforme, lo que provoca zonas de poco calentamiento que hacen ineficiente el ciclo de trabajo.

Palabras Claves: Moldeo rotacional, convección forzada, geometría de horno.

1 INTRODUCCIÓN

El moldeo rotacional o también conocido como rotomoldeo, es el método de procesamiento usado para la fabricación de productos plásticos huecos. El proceso consiste en agregar plástico en polvo (resina) a un molde y rotarlo en dos ejes perpendiculares entre sí mientras éste se calienta lentamente. Durante la rotación, el plástico se funde y forma una capa adoptando la superficie interna del molde. La parte es removida una vez que se enfría y se encuentra suficientemente sólida para su extracción [1].

El ciclo de procesamiento consta de cuatro etapas: llenado del molde, calentamiento, enfriamiento y vaciado del molde o desmoldeo (Figura 1).

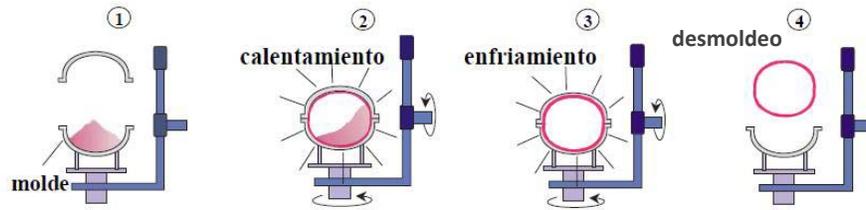


Figura 1. Proceso de rotomoldeo

El tiempo ciclo para el procesamiento de materiales es controlado principalmente por el tiempo requerido para calentar, derretir y solidificar el polímero [2], por lo que las variables principales consideradas son la temperatura en el horno, tiempo de horneado y enfriamiento.

Los hornos utilizados para el rotomoldeo son de convección forzada para el calentamiento interno, usando principalmente como fuente de energía la combustión de gas, aceite o electricidad [3]. Las temperaturas normales de horneado oscilan de 400° a 850°F (270° a 454°C). En su interior, cuentan con ventiladores y extractores para una distribución uniforme gases de combustión y así evitar zonas muertas [4].

La existencia de zonas con poco calentamiento se atribuye en gran medida a la geometría que tiene el horno, esto hace ineficientes los ciclos productivos al aumentar el tiempo y temperatura de horneado. Por otra parte, el calentamiento no uniforme dentro del horno genera una transferencia de calor desigual al molde, por lo que se obtiene un producto final con características fuera de especificación (diferencia de espesor de la pieza, zonas con exceso o falta de cocción, mal formación del producto, entre otros).

2 FUNDAMENTOS

La combustión es un proceso de conversión, donde la energía de enlaces químicos es transformada en energía térmica. Durante el proceso, el combustible reacciona con el oxígeno del aire para formar principalmente dióxido de carbono y agua a través de las reacciones químicas [5].

La combustión de los medios continuos gaseosos está dada por el sistema de ecuaciones Navier-Stokes, continuidad, energía y balance de especies:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho(\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{v} = -\nabla P + \nabla(\mu \nabla \mathbf{v}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} + \rho(\mathbf{v} \cdot \nabla)h = \nabla(k \nabla T) + q \mathbf{W} \quad (3)$$

$$\rho \frac{\partial c_j}{\partial t} + \rho(\mathbf{v} \cdot \nabla)c_j = \nabla(\rho \mathbf{D} \nabla c_j) - \mathbf{W}_j \quad (4)$$

Donde ρ , \mathbf{v} , P , T , h y c_j son densidad, vector velocidad, presión, temperatura, entalpia y concentración de especies, respectivamente, q es la liberación de calor de la reacción de oxidación de la combustión, \mathbf{W} es la velocidad de reacción química, \mathbf{W}_j es la tasa de conversión de la j -ésima especie (positivo para reactivos que se consumen y negativo para los productos de reacción que se producen), μ , k y \mathbf{D} son viscosidad, conductividad térmica y difusividad, respectivamente [6].

La combustión no-premezclada se genera cuando el combustible y el oxidante son inyectados por separados a una cámara de combustión, donde simultáneamente se mezclan y encienden [7]. El flujo turbulento en un modelo de combustión no-premezclado está dado por el modelo k - ε . [8] (k es la energía cinética de turbulencia y ε es la tasa de disipación de la turbulencia), el cual está dado mediante las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla \cdot (\rho k \mathbf{v}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \nabla \cdot (\rho \varepsilon \mathbf{v}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

Donde G_k es la generación de energía cinética debido a los gradientes promedios de velocidad. Los valores σ_k y σ_ε son el número de turbulencia de Prandtl para k y ε respectivamente, $C_{1\varepsilon}$ y $C_{2\varepsilon}$ son constantes. La viscosidad turbulenta μ_t se calcula:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

Para las constantes del modelo $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, C_μ , σ_k y σ_ε se consideran los valores:

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, C_{\mu} = 0.09, \sigma_k = 1.0 \text{ y } \sigma_{\varepsilon} = 1.3$$

Para el cálculo de una solución aproximada de las ecuaciones del flujo del fluido, éstas deben hacerse discretas; es decir, el dominio del flujo es dividido entre el numero de control de volúmenes [9].

3 PROCEDIMIENTO

En el siguiente modelo se simuló un horno para el proceso de moldeo rotacional con sección cilíndrica y tamaño de 4 metros de diámetro. El tipo de análisis realizado es fluido-dinámico, logrando obtener principalmente, el comportamiento de distribución de gases de combustión dentro del horno. En la Figura 2 se muestra el modelo del horno analizado. Las partes principales consideradas para el análisis son: quemador, extractor y el horno de sección circular.

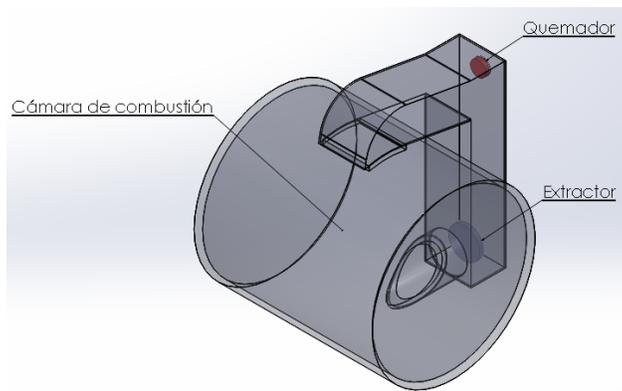


Figura 2. Modelo de horno analizado.

El modelo consiste en un mallado de 35,896 nodos formados por celdas cuadriláteras, mismo que se muestra en la Figura 3.

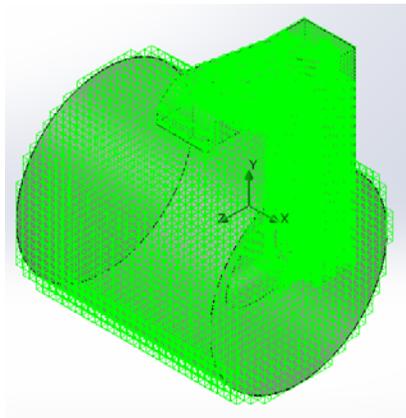


Figura 3. Mallado del horno.

Las condiciones de frontera definidas fueron velocidad de salida de los gases calientes de combustión del quemador, velocidad de entrada de los gases al extractor y presión atmosférica dentro del horno. En la Tabla 1 se muestran las condiciones de frontera aplicadas al modelo analizado.

Tabla 1. Condiciones de Frontera

Condición de Frontera	Magnitud
Velocidad de gases de combustión a la salida del quemador	20 [m/s]
Velocidad de gases de combustión a la entrada del extractor	15 [m/s]
Presión atmosférica dentro del horno	101325 [Pa]

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Figuras 4, 5 y 6 se muestran la distribución de gases de combustión calientes dentro del horno mediante líneas de corriente. Considerando la velocidad como factor de distribución, es visible que no en todas las partes del horno se tiene flujo uniforme. La Figura 7 muestra los contornos respecto a la velocidad del aire de la sección media del horno.

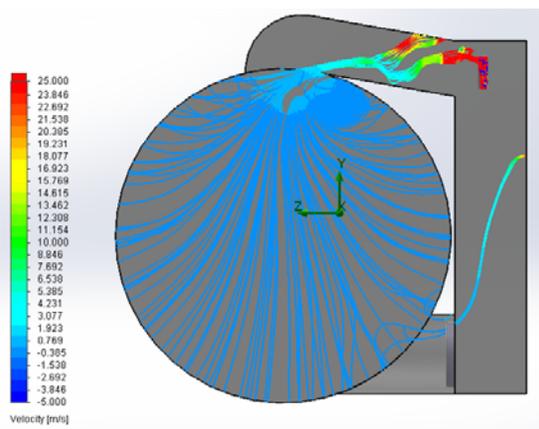


Figura 4. Líneas de flujo de gases (vista lateral).

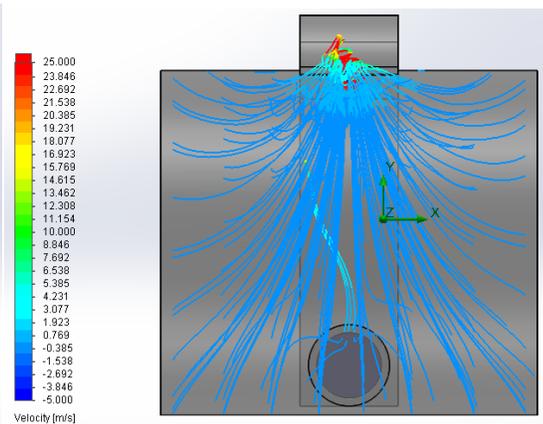


Figura 5. Líneas de flujo de gases (vista frontal).

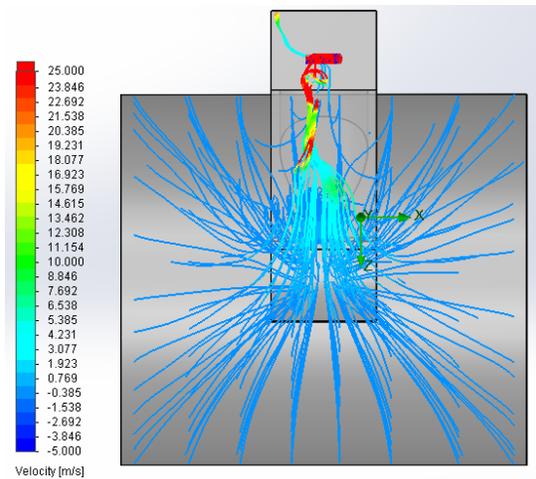


Figura 6. Líneas de Flujo de gases
(vista superior).

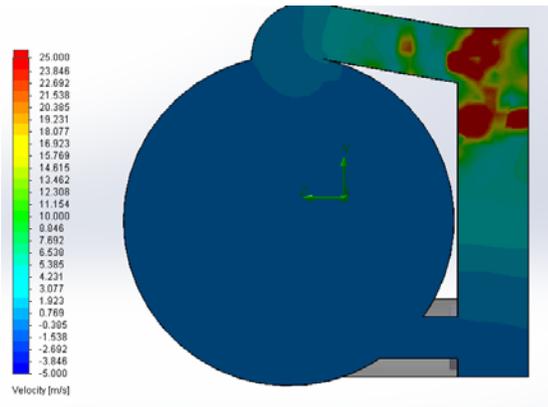


Figura 7. Contorno de dispersión
de gases de combustión.

5 CONCLUSIONES

Con el análisis realizado, se concluye que existen zonas internas dentro del horno donde los gases calientes de combustión no alcanzan a llegar, por lo que el calentamiento interno no es homogéneo. Las áreas donde el calor es menor, no afectan directamente al producto a procesar; dado que en la parte central del horno existe la mayor cantidad de gases, siendo esta la zona donde principalmente el proceso es llevado a cabo. El tener zonas con poco calentamiento genera que los ciclos de producción aumenten en pequeña proporción, ya que es necesario mantener una temperatura homogénea durante el ciclo y no puede ser lograda hasta que las diferentes zonas se encuentren a la temperatura de operación.

REFERENCIAS

- [1] CRAWFORD, ROY J.; THRONE, JAMES L. Rotational molding technology. 1a Ed. Norwich : Plastics desing library/William Andrew Publishing, 2002.
- [2] WAJID ALI KHAN; JIM METHVEN. Proceedings of the 36th International MATADOR Conference. Control of the uniformity of direct electrical heating for Rotational Moulding.1a Ed. London: Springer-Verlag London, 2010. p.87-90.
- [3] MARCILLA GOMIS, ANTONIO; BELTRÁN RICO, MARIBEL. Tecnología de polímeros: procesado y propiedades. 1a Ed. Alicante: Universidad de Alicante, 2012.
- [4] LYONDEKKBASELL. "A Guide to Rotational Molding", [En línea], 2014, (Citado el: 29 de Abril de 2015):
<http://www.lyondellbasell.com/techlit/techlit/Brochures/Guide%20to%20Rotational%20Molding%205717.pdf>
- [5] JUNGWAN RYU, et al. Surface ignition behaviors of methaneair mixture in a gas oven burner. Applied Thermal Engineering, 2014, Vol. 65, No 1, p. 262-272.
- [6] TAREK, ECHEKKI. Turbulent Combustion Modeling: Advances, New Trends and Perspectives. Vol. 95. Epaminondas Mastorakos, 2011.
- [7] SEN, MIHIR. Analytical Heat Transfer. Notre Dame: University of Notre Dame, 2015.
- [8] YARIN L.P. The Pi-Theorem: Applications to Fluid Mechanics and Heat and Mass Transfer.1a Ed. Springer Science & Business Media, 2012.
- [9] ILLÉS, BALÁZ; BAKÓ, ITSVÁN. Numerical study of the gas flow velocity space in convection reflow oven. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2014, Vol. 70, p. 185-191.