

Desarrollo de nuevos modelos de cálculo para la industria del packaging

*Marc Crescenti, MSc Mechanical Engineering, Simulation
Engineer at LEITAT Technological Center*



Introducción	3
Modelo de degradación térmica	3
Modelo de generación de espuma	3
PARÁMETROS DE ENTRADA	4
ALGORITMO DE CÁLCULO	5
ENSAYOS EXPERIMENTALES	6
CORRELACIÓN	8
CAMPOS DE APLICACIÓN	8
Conclusiones.....	9

Introducción

Los cambios de temperatura al que puede estar sometido un producto envasado, así como la generación de espuma en los procesos de llenado de envases con productos con cierta capacidad espumante son problemáticas que afectan a la industria del packaging, aumentando los costes de logística y limitando su capacidad productiva.

En el entorno del proyecto de investigación promovido por el Barcelona Institute of Packaging y con apoyo económico de la agencia catalana ACCIÓ, el Centro Tecnológico LEITAT ha desarrollado dos nuevos modelos de cálculo con la finalidad de proporcionar a la industria del packaging nuevas herramientas de diseño y control con el fin de reducir el impacto de dichas problemáticas.

Este artículo se centra en la descripción del modelo de cálculo de generación de espuma, haciendo primeramente una breve introducción al modelo de degradación térmica.

Modelo de degradación térmica

El modelo de degradación térmica es capaz de calcular la evolución de temperatura en el interior del envase con el objetivo de prever la degradación que puede sufrir un producto envasado debido a los efectos térmicos. Este modelo se ha implementado de manera analítica mediante el código de programación MATLAB, se ha ajustado mediante modelos de simulación CFD (Computational Fluid Dynamics) y se ha correlado mediante ensayos experimentales.

Este modelo tiene en cuenta los efectos convectivos mediante el número adimensional de Grashof, el cual relaciona las fuerzas de flotabilidad con las fuerzas viscosas, lo que maximiza la precisión del modelo incluso cuando dichos efectos son importantes (líquidos de baja viscosidad sometidos a altas variaciones de temperatura).

La implementación analítica del modelo hace que su carga computacional sea relativamente baja, lo que permite incorporarlo en un microchip y por tanto en un producto que podría ofrecer a las industrias del sector del packaging (principalmente a aquellas que aplican ciclos térmicos en alimentos ya envasados para conservarlos) y las empresas de logística que trabajan con productos refrigerados una predicción en tiempo real de la temperatura que hay en el interior del envase, lo que posibilitaría la optimización de sus procesos y ofrecería una nueva fuente de información para la trazabilidad de los productos alimenticios en su logística.

Modelo de generación de espuma

El modelo de generación de espuma es un nuevo algoritmo de cálculo numérico integrado en un solver CFD multifásico y es capaz de calcular la generación de espuma en procesos de llenado de envases con productos espumantes (p.ej. detergentes). Este

es un fenómeno problemático para la industria del packaging ya que por un lado, obliga a reducir los caudales de inyección y por tanto a reducir la productividad del proceso.

Por otro lado, también evita que los envases puedan llenarse por completo, lo que causa que los envases tengan más volumen y por tanto más material del necesario y, además, produce una sensación negativa al usuario que tiene la impresión de que hay menos producto, afectando negativamente a las ventas del producto.

Parámetros de entrada

El modelo parte de la geometría del envase a analizar en 3D, la cual es dividida en un conjunto de celdas (malla) en cada una de las cuales ejecuta el cálculo del nuevo modelo junto con los modelos de cálculo de dinámica de fluidos y, si es necesario, transferencia de calor ya integrados en el solver CFD multifásico. De esta manera, el modelo tiene en cuenta los detalles de la geometría del envase así como los parámetros de proceso (velocidad de inyección, altura del inyector, diámetro de cánula...). La Figura 1 muestra un ejemplo de malla de un envase cilíndrico incluyendo la zona de inyección (proyección cilíndrica desde la salida de la cánula hasta la superficie del envase).

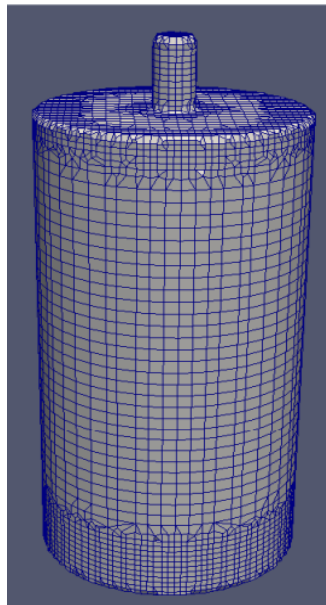


Figura 1. Mallado de un envase cilíndrico incluida la zona de inyección.

La mayoría de los tipos de espuma deben su existencia a la presencia de agentes tensioactivos, los cuales se concentran en la superficie de las burbujas, haciendo que se estabilicen las películas delgadas de líquido contra la rotura. Por este hecho, uno de los principales parámetros de entrada del nuevo modelo es la tensión

superficial del líquido a envasar. Otros parámetros necesarios son la viscosidad y densidad del líquido a envasar así como del gas presente en la atmósfera de envasado.

Algoritmo de cálculo

El nuevo algoritmo de cálculo se ejecuta en cada instante de tiempo del análisis, antes de calcular el equilibrio del sistema mediante las ecuaciones de la masa, movimiento y energía i analiza celda a celda la cantidad de gas que esta contiene.

Cuando una celda tiene una cantidad de gas superior a una variable definida por el usuario y que es característica de la capacidad espumante del líquido, indica que esta celda tiene las características necesarias para formar parte de una burbuja (volumen de gas rodeado de líquido). En caso de que sea así, el algoritmo analiza las celdas vecinas para ver si alguna de ellas pertenece ya a una burbuja.

Si alguna de las celdas vecinas pertenece ya a una burbuja añadirá la celda que el algoritmo está analizando a dicha burbuja. En caso de que ninguna celda vecina pertenezca a una burbuja se creará una burbuja nueva y se le añadirá la celda que está analizando. La Figura 2 muestra la metodología de identificación de burbujas, donde los círculos rojos sombreados representan dos burbujas.

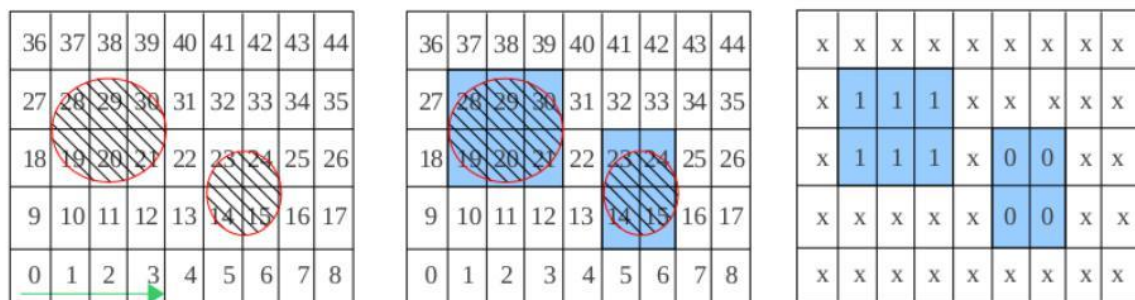


Figura 2. Metodología de identificación de burbujas.

Una vez el algoritmo ha identificado todas las burbujas con todas las celdas que las forman, se determina, para cada instante de tiempo del análisis, cuáles se convierten en fase espuma y cuáles no. La principal característica que determina si una burbuja se convierte en espuma es su volumen, el cual tiene que ser inferior a un volumen máximo definido por el usuario y que es característico de la capacidad espumante del líquido.

Finalmente, una vez determinadas las burbujas que se convertirán en espuma, se calcula qué cantidad se debe modificar de cada una de las fases (gas, líquido y espuma) para que se respete la ley de conservación de la masa.

La Figura 3 muestra una comparativa entre el modelo CFD multifásico original y el nuevo modelo con el algoritmo de generación de espuma integrado, donde el color azul hace referencia a la fase gas, el rojo a la fase líquido y el blanco a la fase espuma. Las diferentes columnas hacen referencia a distintos instantes de tiempo de la

simulación. Se observa como con el nuevo algoritmo se genera una cantidad de espuma notable.

Ensayos experimentales

Los ensayos experimentales se han llevado a cabo en una máquina de envasado piloto cedida por la empresa Antonio Mengíbar SA, (empresa socia y miembro del consejo asesor del BIP).

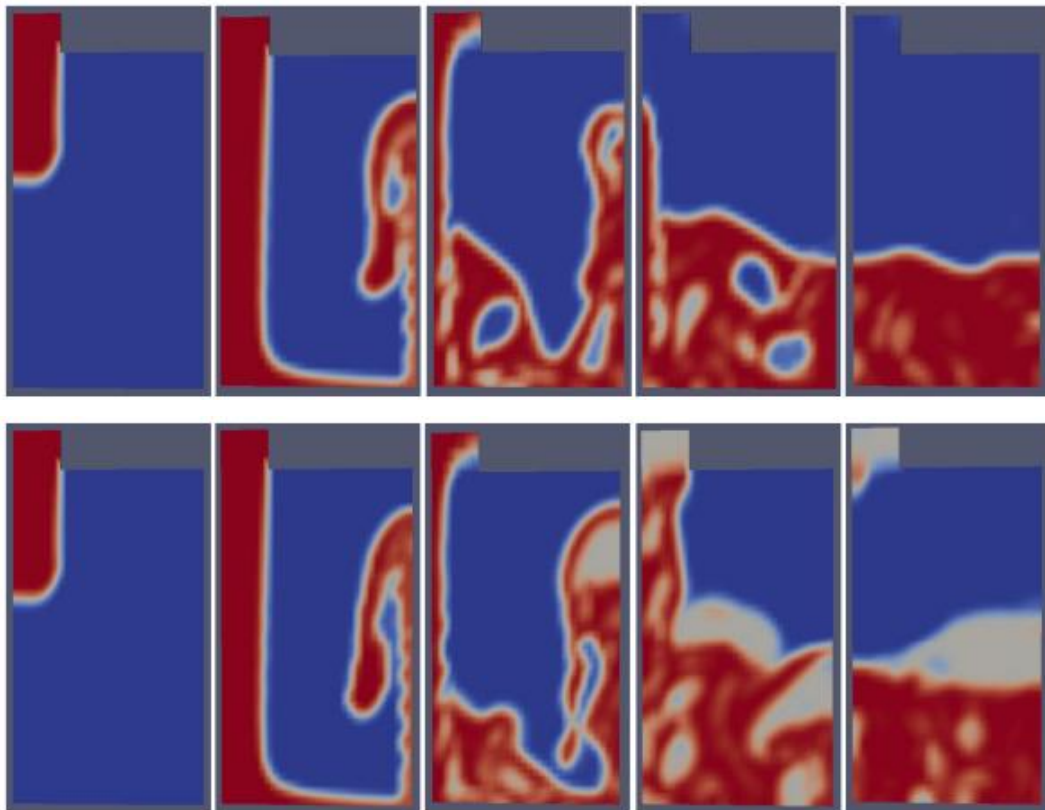


Figura 3. Comparativa entre el modelo CFD original (superior) y el nuevo de generación de espuma (inferior).

En los procesos de llenado se diferencian dos etapas: etapa inicial de llenado donde predomina la turbulencia inicial que se crea cuando el líquido inyectado impacta con la base de la botella; y una segunda etapa, donde, una vez ya se alcanza un cierto volumen de llenado, la turbulencia inicial pierde influencia y la espuma se forma principalmente debido al gas arrastrado hacia el interior del líquido en el canal de arrastre que se forma alrededor del chorro de inyección.

Para evaluar experimentalmente ambas etapas por separado y también combinadas, se han llevado a cabo diferentes ensayos donde las principales variables han sido la geometría del envase y la velocidad de inyección, y el principal parámetro a evaluar la altura máxima de espuma formada. El líquido utilizado ha sido el limpia-

suelos Tenn Universal. En total se han realizado 119 ensayos con tres geometrías diferentes de envase. La Figura 4 muestra tres instantes de un ensayo experimental de uno de los envases analizados.

Para captar experimentalmente la espuma generada debido al fenómeno de arrastre de gas se ha diseñado un dispositivo de ensayo especial, con el objetivo de que la altura de líquido no varíe durante el proceso de inyección y poder caracterizar así de manera más precisa la cantidad de espuma generada debido a este fenómeno. Este dispositivo se ha dotado con una microcámara de alto aumento para analizar en detalle la estructura de la espuma formada en cada ensayo. La Figura 5 muestra uno de los ensayos llevados a cabo en este dispositivo así como una de las imágenes obtenidas de la microcámara.

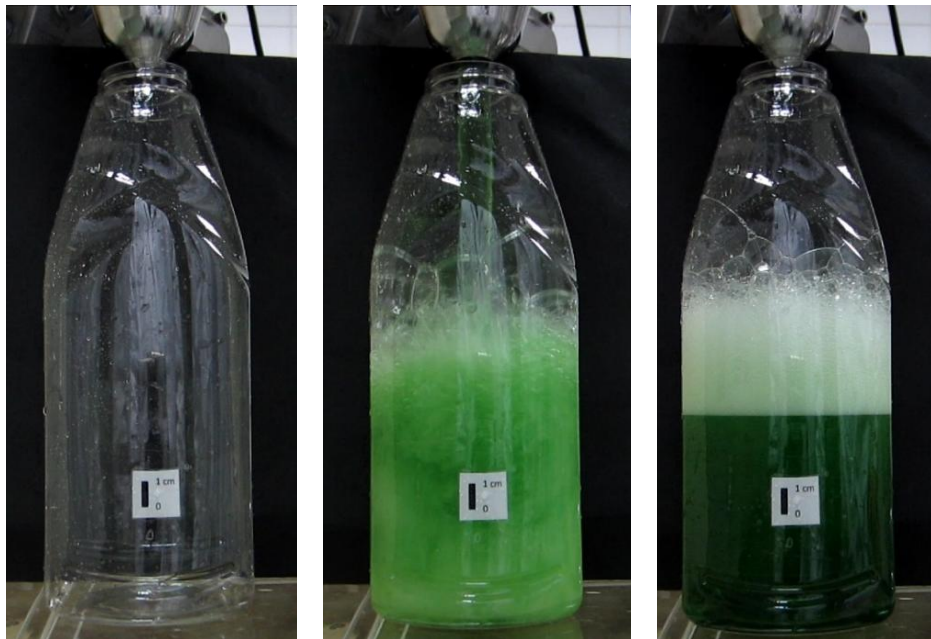


Figura 4. Ensayo experimental de uno de los envases analizados.

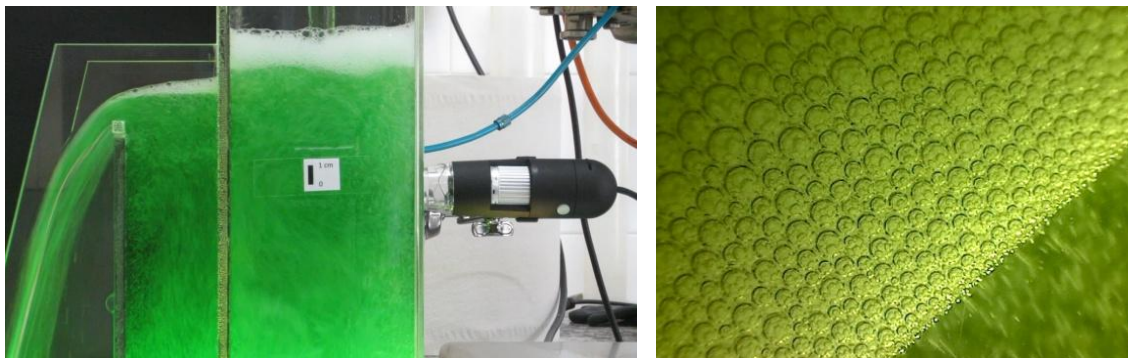


Figura 5. Dispositivo de caracterización de arrastre de gas (izquierda) y imagen obtenida de la microcámara (derecha).

Correlación

La correlación del nuevo modelo de cálculo con los resultados experimentales se ha llevado a cabo para cuatro velocidades de inyección diferentes: 0.85, 1.02, 1.35 y 1.44 m/s. El siguiente paso ha sido ajustar el nuevo modelo de simulación a uno de los casos, variando el volumen máximo de burbuja para encontrar el volumen de burbuja que caracteriza la capacidad espumante del líquido (parámetro de entrada del modelo).

Finalmente, el una vez determinado el volumen máximo de burbuja se han analizado el resto de casos. La Figura 6 muestra el resultado de la correlación del nuevo modelo, donde D indica la desviación estándar de los resultados experimentales y E el error de los resultados de la simulación con referencia al valor medio de los experimentales.

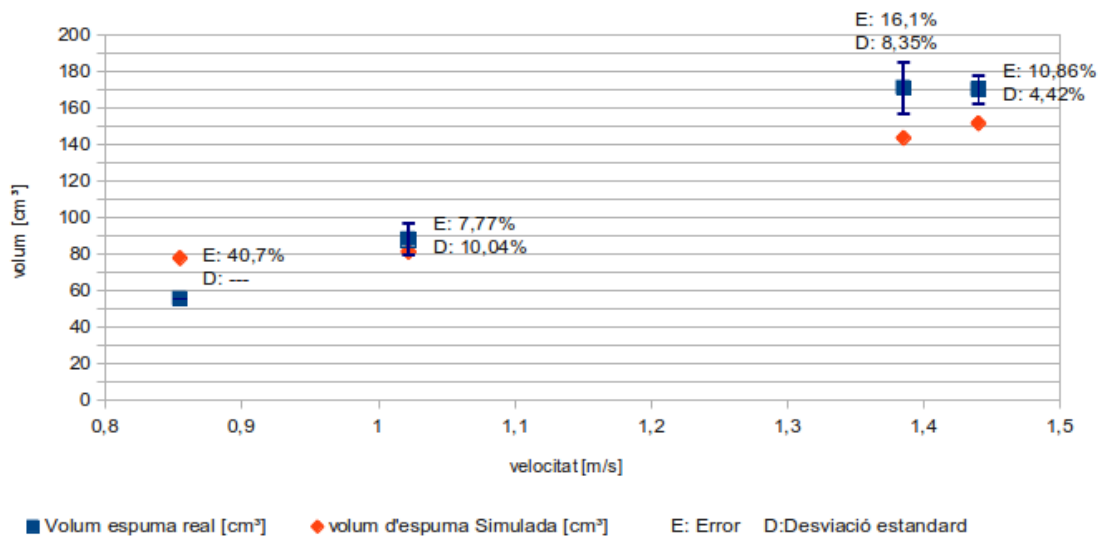


Figura 6. Correlación del nuevo modelo de cálculo con ensayos experimentales.

Campos de aplicación

El nuevo modelo se presenta como una nueva herramienta de diseño y optimización para la industria del packaging así como para la industria de productos de alta rotación. En concreto se distinguen cuatro grandes áreas de aplicación: (i) diseño de envases (ecodiseño), mediante la cual se podrían diseñar nuevos envases que gracias a su geometría minimizaran la generación de espuma; (ii) formulación de productos, mediante la cual se podría prever cuánta espuma generaría un cierto producto; (iii) optimización de parámetros de proceso y (iv) diseño de cánulas de inyección de las máquinas de envasado, mediante la cual se podría aumentar la productividad de los proceso de envasado.

Conclusiones

Se ha desarrollado un nuevo modelo para prever la generación de espuma en procesos de llenado de envases con productos espumantes, el cual es capaz de identificar las burbujas que se forman cada instante de tiempo y transformarlas en fase espuma si estas cumplen unas ciertas características.

El nuevo modelo se presenta como una nueva herramienta de diseño y optimización para la industria del packaging así como para la industria de productos de alta rotación.

El principal parámetro de entrada del nuevo modelo es el volumen máximo de burbuja, el cual es una nueva propiedad que caracteriza la capacidad espumante de los líquidos.

La correlación ha demostrado que la precisión del nuevo modelo es más elevada para caudales de inyección elevados, llegando a valores cercanos al 90% de precisión. 🌀

Septiembre de 2013