

ANÁLISIS DE PROCESO DE MEZCLA DE PROTOTIPO INDUSTRIAL. MÉTODO EXPERIMENTAL Y SIMULACIÓN VIRTUAL

Andrés García-Pascual

Álvaro Guerra-Sánchez-de-la-Nieta

Jesús Las Heras-Casas

Fernando Alba-Elías

Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de La Rioja

Abstract

The present article shows the research, development and simulation (both real and virtual) of a new mixed-conditioning system of food additives which currently can not be compressed. It will demonstrate the mixing prototype functioning front a experimental viewpoint (different tests with Prototype Industrial) and from a virtual or theoretical level (modeling and simulation program analysis of discrete elements EDEM) by comparison between the two results become clear that the modeling technique based on DEM is able to predict with a high degree of accuracy the kinematic behavior of the particles contained in the Industrial Prototype.

The numerical capabilities of this type of modeling (using EDEM) can be allowed to undertake a large number of virtual alternatives rather than experimental testing, the cost savings, time and material involved. Future research and through the use of EDEM, it will be ready to improve the performance of the prototype designed by modifying, for example, geometry and angle of the blades, shaft speed, chamber geometry, etc, in order to get a new mixing prototype more efficiently and economically buildable.

Keywords: *simulation, EDEM, experimental; mixing, tablet*

Resumen

En el presente artículo se muestran la investigación, desarrollo y simulación (tanto real como virtual) de un nuevo sistema de acondicionamiento de mezclas de aditivos alimentarios que actualmente no pueden ser comprimidos. Se demostrará el funcionamiento del sistema tanto a nivel experimental (diferentes pruebas con el Prototipo Industrial), como a nivel virtual o teórico (modelado y análisis con programa de simulación de elementos discretos EDEM) mediante comparativas entre ambos resultados, quedando patente que la técnica de modelado basado en DEM es capaz de predecir con alto grado de precisión el comportamiento cinemático de las partículas incluidas en el Prototipo Industrial.

Las capacidades numéricas de este tipo de modelado virtual con EDEM pueden permitir realizar un gran número de alternativas virtuales en lugar de tener que realizar pruebas experimentales, con el ahorro económico, temporal y material que ello supone. En investigaciones futuras y gracias al empleo de EDEM, se estará en disposición de mejorar el rendimiento del prototipo diseñado modificando, por ejemplo, la geometría y ángulo de las palas, la velocidad de rotación, etc., con el objetivo de obtener un nuevo prototipo de mezcla más eficiente y económicamente viable.

Palabras clave: *simulación; EDEM, experimental, mezcla, comprimido*

1. Introducción

El presente estudio tiene como objetivo fundamental la investigación, desarrollo y simulación (tanto real como virtual) de un nuevo sistema de acondicionamiento de mezclas de aditivos alimentarios que actualmente no pueden ser comprimidos.

Los trabajos que se describen en esta investigación comprenden todas las fases que deben ser llevadas a cabo para la obtención de un Prototipo Industrial, desde el estudio del proceso de fabricación de los comprimidos (utilaje de la maquinaria, mezclas de aditivos, distintos estados de agregación de los componentes de la mezcla, etc...), (Alba, 2004 y Alba et al., 2005) pasando por el diseño y construcción del sistema encargado del pretratamiento de dichos aditivos, para facilitar su compresión y posterior suministro mediante un dosificador automático de comprimidos (García 2008) hasta, finalmente, alcanzar el objetivo principal de este trabajo que supone la demostración del funcionamiento del sistema tanto a nivel virtual o teórico con EDEM (programa de simulación de elementos discretos), como a nivel real, realizando diversas pruebas de funcionamiento con el diseño del Prototipo Industrial (García, 2010).

2. Objetivos

La finalidad de este trabajo es justificar que, efectivamente, el Prototipo Industrial construido funciona tal y como se esperaba, realizando procesos de mezcla de forma eficiente y, lo que es más importante, simular, mediante un software específico (EDEM), el funcionamiento del sistema. Por tanto, se emplearán dos métodos diferentes para realizar el análisis de los resultados: primero se considerará cada método por separado y, posteriormente, se hará una comparación de los resultados en conjunto. Dichos métodos son los siguientes:

- Método experimental → Pruebas realizadas con el Prototipo Industrial.
- Modelado virtual → Simulación realizada con EDEM.

Los retos que supone este trabajo de investigación y los resultados esperados, una vez concluido, son los siguientes:

- Demostrar la eficiencia del Sistema Industrial de acondicionamiento de aditivo alimentario diseñado, realizando una serie de pruebas y su posterior análisis en laboratorio y estudio de los resultados.
- Empleo del software específico de elementos discretos (EDEM) con el fin de controlar todos los parámetros que intervienen en el funcionamiento del Prototipo Industrial y, de esta forma, simular el funcionamiento virtual del mismo.
- Realizar todas las pruebas y ajustes que sean necesarios para obtener aquellos parámetros que se adecuen al proceso requerido. La simulación con EDEM requiere la asignación de una elevada cantidad de parámetros, tanto propiedades físicas de los elementos que intervienen en el funcionamiento del prototipo, como a nivel de la propia simulación del programa (tiempos de generación, guardado, tamaño de celdas, etc.), que en algunos casos implica una simulación de varios días.
- Una vez demostrado que la simulación virtual realizada con EDEM refleja fielmente el funcionamiento real del Prototipo Industrial, se estará en disposición de realizar aquellos cambios, pruebas, modificaciones, etc., que ayuden a desarrollar y mejorar tanto el diseño actual como su eficiencia. Adicionalmente, el obtener un modelo de simulación virtual supondrá una serie de avances importantes con respecto al Prototipo Industrial construido, tales como ahorro de tiempo y de coste económico.

3. Metodología

a) Pruebas de funcionamiento con el Prototipo Industrial. Se realizará una serie de pruebas de funcionamiento con el Sistema Industrial para el acondicionamiento de aditivo alimentario diseñado en el laboratorio y posteriormente se estudiarán los resultados obtenidos. Las pruebas realizadas serán fundamentalmente de dos tipos, en función de las partículas que intervienen en la mezcla:

- Sal y cítrico. Reflejan el funcionamiento real del proceso, ya que este tipo de sustancias es el empleado en la industrial alimentaria. Sus resultados se analizarán en laboratorio mediante medida de PH y su comparación con la recta de calibración.
- Granza de color blanco y azul. De forma visual se podrá obtener una primera interpretación del proceso de forma rápida. Además, sus resultados también serán analizados en laboratorio pesando cada tipo de partícula por separado.

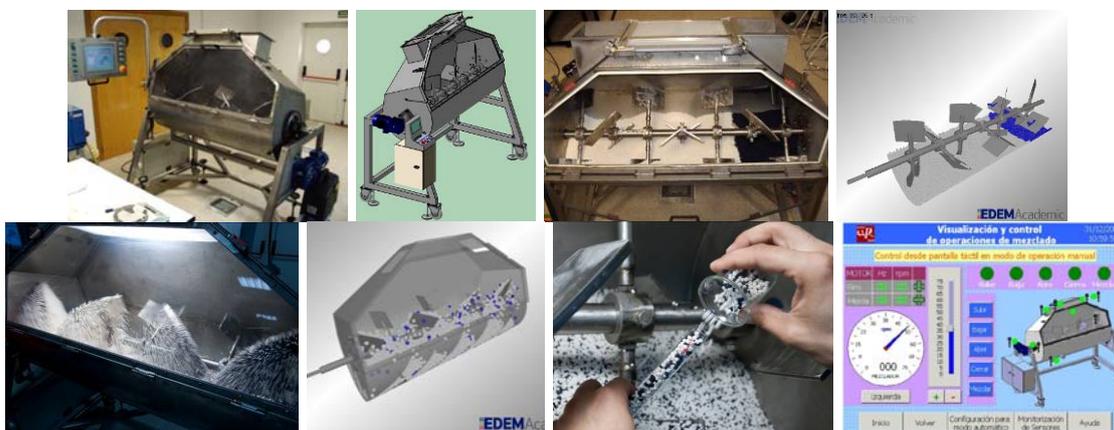
b) Adquisición y manejo del software EDEM. EDEM es capaz de generar potentes simulaciones y análisis necesarios para resolver complejos problemas en el diseño, creación de prototipos y optimización del manejo de materiales a granel y equipos de proceso. EDEM permite crear modelos parametrizados de un sistema sólido granular. Este software gestiona la información sobre cada partícula de forma individual (masa, temperatura, velocidad, etc.) y las fuerzas que actúan sobre ella. En cuanto al análisis del proceso, existe una herramienta de análisis de datos y visualizaciones 3D del flujo de partículas.

c) Aplicación particular del software EDEM al Prototipo Industrial. Una vez analizado y comprendido el manejo general del software EDEM, se realizará un estudio específico del mismo para su aplicación particular al Sistema Industrial diseñado y construido. Cada uno de los módulos que integran EDEM (creador, simulador, analizador) se ajustará a los requerimientos del Sistema analizado y se incluirán todos aquellos parámetros, datos, modelos necesarios para ello. Entre ellos se emplearán los diseños del prototipo realizados con otro software específico (CATIA) con el fin de obtener un fiel reflejo de la realidad.

d) Simulación de funcionamiento con EDEM. Una vez obtenidos los resultados provenientes de las pruebas realizadas con el Prototipo Industrial, se realizarán todas aquellas pruebas e iteraciones necesarias para reproducir aquella simulación con EDEM que obtenga unos resultados lo más ajustados posible a los obtenidos con el Sistema Industrial, o lo que es lo mismo, con la realidad.

e) Estudio de la relación entre las pruebas reales con el Prototipo Industrial y las obtenidas mediante la simulación con el software EDEM.

Figura 1: Fases de estudio, prototipo (imágenes 1,3,5, y 7) y simulación (imágenes 2,4,6 y 8)

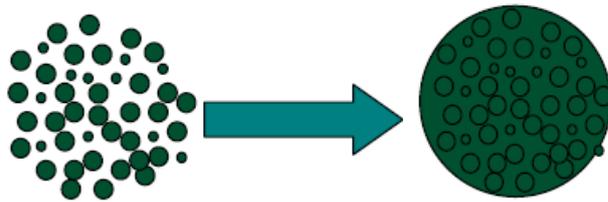


4. Resultados

Se analizaron diferentes tipos de simulaciones con diferentes tamaños de partículas, densidades, coeficientes de fricción, etc., con la finalidad de obtener los parámetros óptimos que simularan el proceso de mezcla de la forma más real posible.

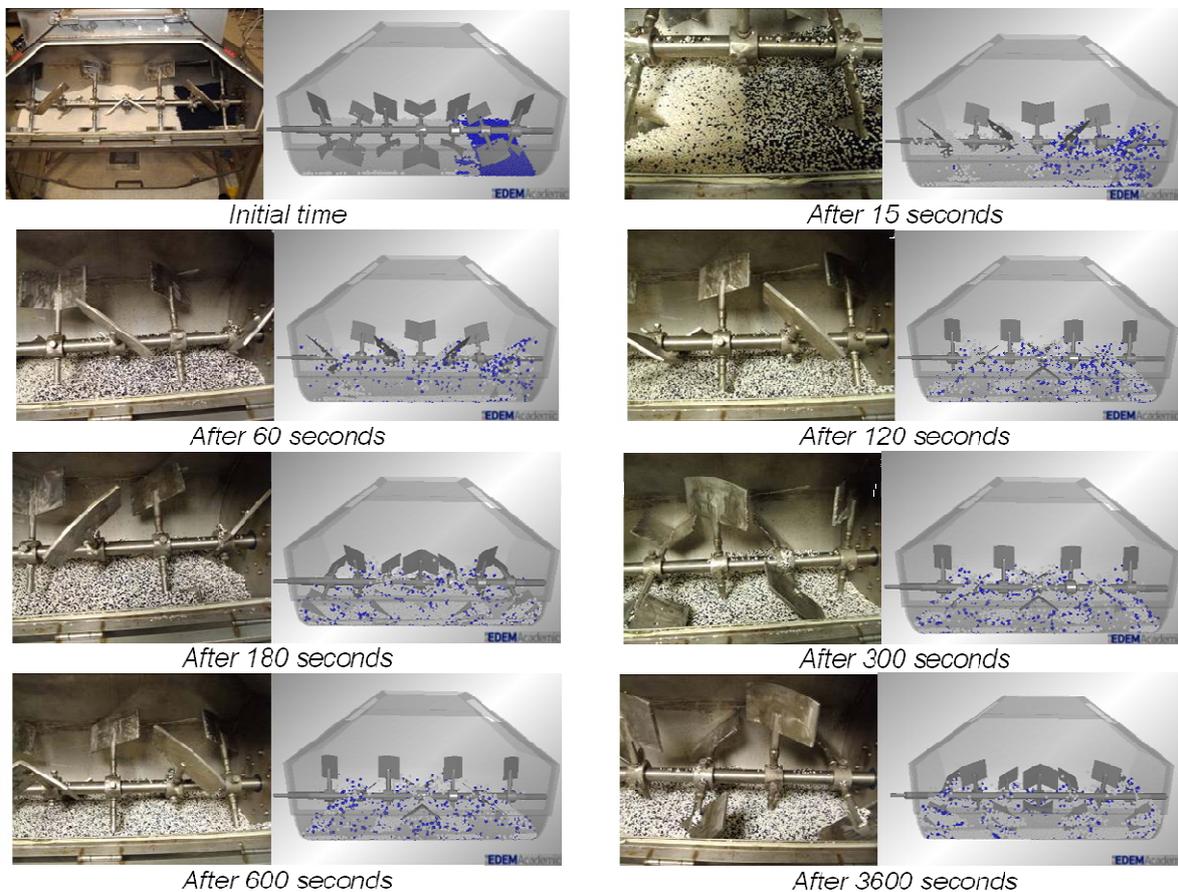
Gracias al estudio llevado a cabo por Hassanpour et al., 2010, se puede considerar la simplificación relativa a que partículas de mayor tamaño, pero con una densidad equivalente a la densidad a granel de las partículas, generan movimientos con la misma velocidad, es decir, "paquetes" de partículas finas se mueven con la misma velocidad que una partícula mayor con densidad equivalente.

Figura 2: Hipótesis de simplificación del tamaño de la partícula



Particle Φ	Simulation time
5	1061 hours (estimated)
10	453 hours (estimated)
15	169 hours (real)
20	72 hours (real)

Figura 3: Proceso de mezcla con prototipo y su simulación para diferentes instantes de tiempo



La figura 3 muestra varias imágenes tomadas en diferentes instantes de tiempo durante el proceso de mezcla, tanto del Prototipo Industrial (izq.), como de la simulación virtual (dcha.).

En la figura mostrada a continuación, se muestran diferentes fases durante el análisis del proceso de mezcla; las dos imágenes de la izquierda reflejan la toma de muestras de granza (superior) y el pesado de las mismas (inferior), las dos imágenes centrales hacen referencia al proceso de mezcla de sal y cítrico, calibrado de la curva de pH (superior) y toma de muestras (inferior), mientras que las dos imágenes de la derecha representan diferentes fases de la simulación virtual proceso inicial (inferior) y proceso intermedio (superior).

Figura 4: Diferentes fases durante el estudio (toma de muestras y análisis)

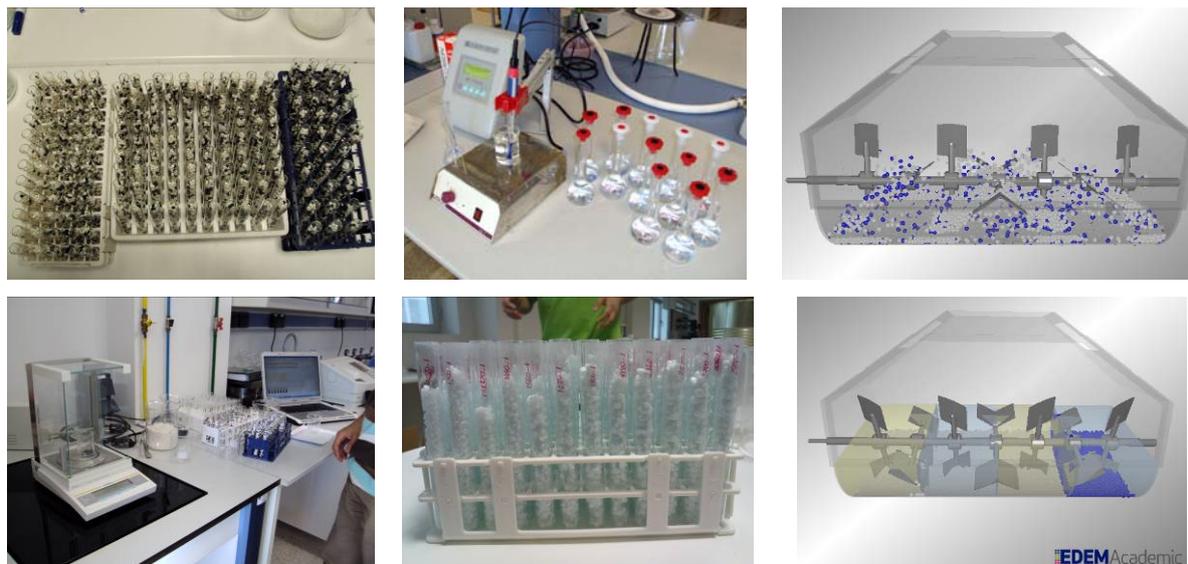
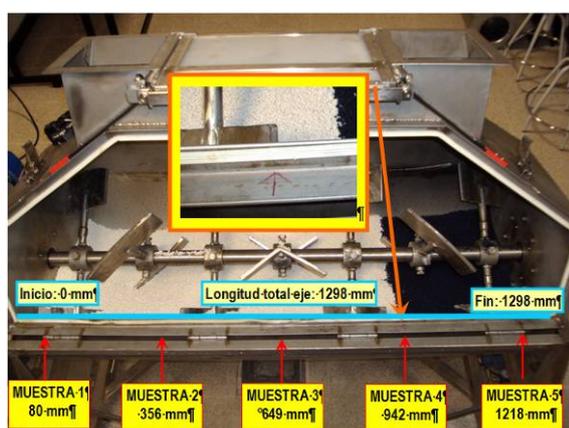


Figura 5: Zonas de muestreo (izq.) y resultados de las pruebas realizadas (dcha.)



Estado inicial	Tipo de muestra				
	1	2	3	4	5
Granza 25-75%	23.0%	22.8%	23.2%	23.3%	24.4%
Granza 18-82%	18.4%	17.4%	18.9%	18.3%	18.8%
Sal-Cítrico 25-75%	24.9%	25.5%	25.4%	25.7%	26.1%
EDEM 25-75%	25.0%	25.1%	24.7%	25.0%	25.6%
EDEM 18-82%	18.1%	18.1%	18.0%	17.9%	18.1%

En la imagen anterior se detallan las zonas de muestreo realizadas en el Prototipo Industrial (izq.) mientras que en la tabla (dcha.) se muestran los resultados obtenidos en cada una de las zonas mencionadas y para cada uno de los métodos empleados. La desviación media entre la realidad y la simulación virtual muestra unos valores aceptables (7% en el caso de Granza 25-75%, 2% para Sal-cítrico y 3% si se considera granza 18-82%), siendo la desviación máxima obtenida para todos los ensayos de un 9%.

Las siguientes imágenes muestran unos gráficos con la evolución del proceso de mezcla para varios instantes de tiempo y según las diferentes pruebas y simulaciones realizadas, en los cuales, se puede apreciar claramente cómo los valores de mezcla se van aproximando de forma rápida al valor de mezcla inicial, pese a estar en la configuración inicial más desfavorable (mezcla totalmente separada en la cámara de mezcla)

Figura 6: Ejemplo de los resultados de porcentaje de mezcla de una prueba y muestra concreta

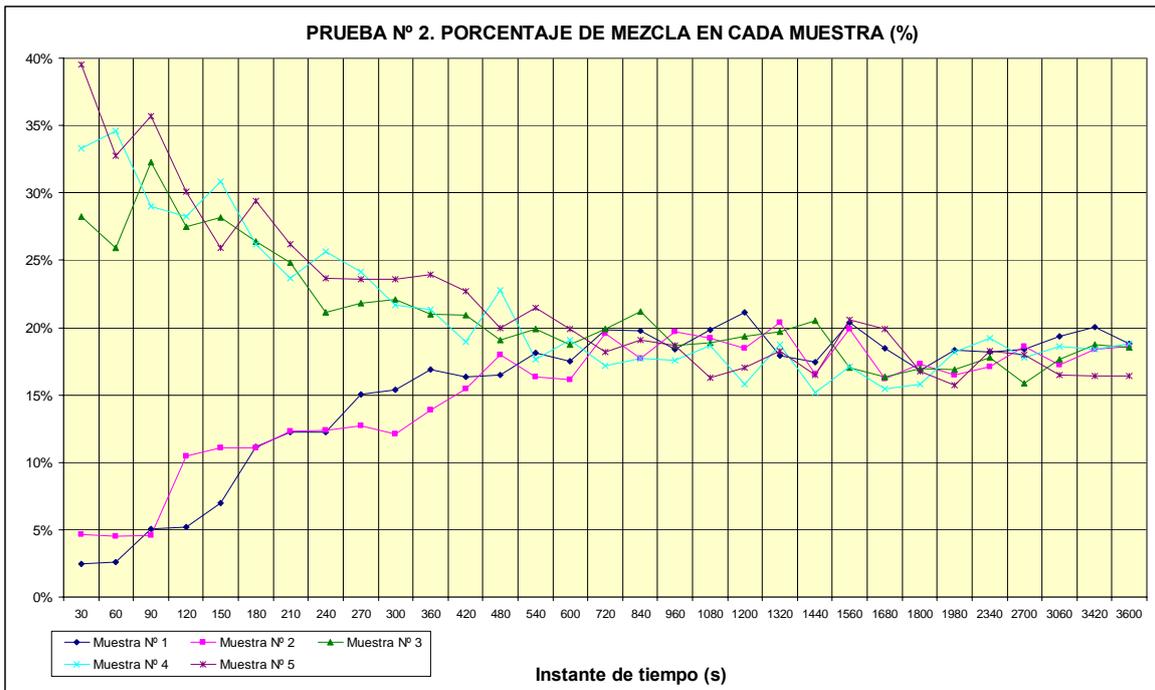
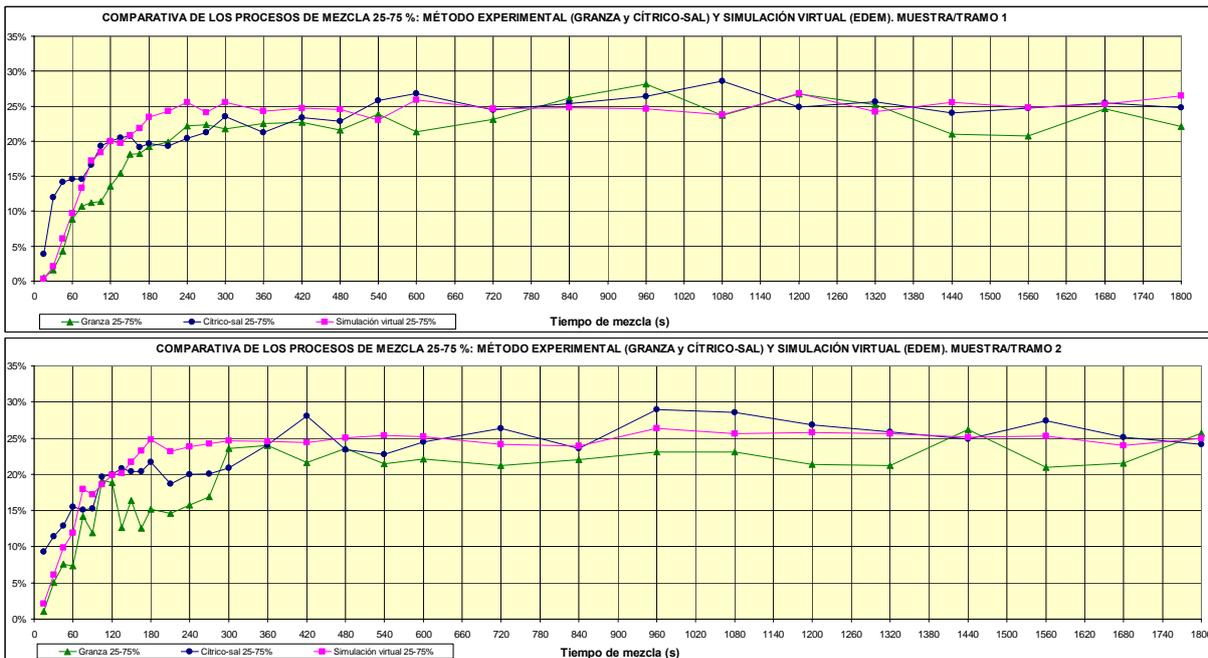


Figura 7: Comparación de los resultados entre el método experimental (Prototipo Industrial) y la simulación virtual (EDEM): factor de mezcla VS tiempo de mezcla





5. Conclusiones

El prototipo de máquina acondicionadora de mezclas especiales, Sistema Industrial para el acondicionamiento de aditivo alimentario, diseñado y construido funciona correctamente y permite realizar el proceso de mezcla de los aditivos de forma eficiente, empleando unos tiempos aceptables a nivel industrial.

Esta máquina proveerá a la industria alimentaria de un sistema de dosificación para las mezclas especiales eficiente e higiénico.

La comparación entre las mediciones realizadas con el método experimental (pruebas realizadas con el Prototipo Industrial) y el análisis DEM (modelado o simulación virtual) muestra que la técnica de modelado basado en DEM es capaz de predecir con alto grado de precisión el comportamiento cinemático de las partículas incluidas en el Prototipo Industrial.

El modelado con EDEM puede reproducir, dentro de unos valores aceptables, el comportamiento real de las partículas en el interior de la cámara de mezcla estudiada. Las capacidades numéricas de este tipo de modelado pueden permitir realizar un gran número de alternativas virtuales en lugar de tener que realizar pruebas experimentales, con el ahorro económico, temporal y material que ello supone.

Referencias

Alba, F. (2004), *Aplicación del QFD para el Diseño de Sistema Automático de Dosificación seca de aditivos especiales en la Industria Alimentaria*. Tesis Doctoral. Universidad de La Rioja

- Alba, F., Ordieres, J., Vergara, E., Martínez de Pisón, F. & Castejón, M. (2005), European patent, EP 1 595 795 A1, Device for supplying/dosing packaged tablets for the food industry.
- DEM Solutions, Ltd. (2010), "EDEM 2.3 User Guide," Copyright © 2010, Edinburgh, Scotland, UK.
- García, A. (2008). *Sistema Industrial para el acondicionamiento de aditivo alimentario*. Proyecto fin de carrera, Ingeniería Industrial. Universidad de La Rioja.
- García, A. (2010). *Análisis del proceso de mezcla de prototipo industrial. Método experimental y simulación virtual*. Diploma of Advanced Studies PhD courses in Project Management. La Rioja University.
- Hassanpour, A.; Tan, H.; Bayly, A., Gopalkrishnan, P., Ng, B. & Ghadiri, Mojtaba (2010). Analysis of particle motion in a paddle mixer using Discrete Element Method (DEM). *Powder Technology*, available online 20 August 2010.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Fernando Alba Elías
Área de Proyectos de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.
Universidad de La Rioja
C/ Luis de Ulloa 20, 26004 Logroño, La Rioja (España).
Phone: +34 941 299 276
E-mail: fernando.alba@unirioja.es