

## DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PROCESO Y MATERIALES ÓPTIMOS USANDO DEM

Álvaro Guerra-Sánchez de la Nieta

Jesús Las Heras-Casas

Andrés García-Pascual

Fernando Alba-Elías

*Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de La Rioja*

### Abstract

In this paper, the application of techniques DEM (discrete element method) in an automatic additive-tablet dosing is presented. The discrete element method, which is based in the family of numerical methods, can simulate systems parameterized models of discrete granular solid materials and discontinuous materials. Specifically EDEM software is used, in which the geometry can be implemented to simulate elements, or import it from a CAD tool. Thus, it claims to verify the benefits of discrete element method, which is applied to the automatic dosing device, to improve its performance. In particular, finding the optimal process parameters such as feed rate, which is an essential productivity index, the angle of inclination of the deposit with the vibration introduced. The vibration will be decisive to adjust the angle of inclination, looking for a balance, that minimizes contact between tablets, between this angle and the overuse of vibration. This avoids the waste and the consequent loss of mass from them due to their low compactness, ultimately protecting its integrity.

**Keywords:** *Dosage, additive food, tablet, productive process, DEM*

### Resumen

En el presente artículo se muestra la aplicación de técnicas DEM (discrete element method) en un sistema automático de dosificación de aditivo comprimido. El método de elementos discretos, enmarcado en la familia de métodos numéricos, permite simular modelos parametrizados de sistemas granulares sólidos y materiales discontinuos. Concretamente, el software empleado es EDEM, en el que se puede implementar la geometría de los elementos a simular, o importarla de una herramienta CAD. Así, se persigue comprobar las bondades del método de elementos discretos en su aplicación a la dosificadora de aditivo alimentario comprimido, para mejorar su funcionamiento. En concreto, encontrar los parámetros de proceso óptimos, tales como la velocidad de dosificación, que es un índice fundamental de productividad, el ángulo de inclinación del depósito junto con la vibración introducida. Dicha vibración será determinante a la hora de ajustar el ángulo de inclinación, buscando un equilibrio, que reduzca los contactos entre comprimidos, entre dicho ángulo y el uso en exceso de la vibración. Con ello, se evita el desgaste y la consecuente pérdida de masa de los mismos debido a su baja compactación, protegiendo finalmente su integridad.

**Palabras clave:** *Dosificación, aditivo alimentario, comprimido, proceso productivo, DEM*

## 1. Introducción

A día de hoy, de los numerosos prototipos desarrollados por el grupo de investigación EDMANS, en el seno del Área de Proyectos de Ingeniería de la Universidad de La Rioja, es objeto actual, el estudio y optimización de algunos de ellos con el empleo de técnicas de simulación. Prueba de ello son el dosificador automático en seco de aditivo alimentario comprimido (Figura 1) (Alba et al., 2005) y el prototipo mezclador y pretratador de aditivo alimentario.

Estos prototipos a escala de laboratorio han sido protegidos como patentes y modelos de utilidad (Alba et al., 2005, y Alba et al., 2007). En el presente artículo nos centraremos en el primer prototipo, el cual ofrece ventajas frente otros métodos empleados en la industria alimentaria, ya que es más higiénico, preciso y supone un menor coste de mano de obra.

**Figura 1: Dosificador automático en seco de aditivo alimentario comprimido**



Las técnicas de simulación anteriormente mencionadas, hacen referencia al Método de Elementos Discretos (DEM). Actualmente, DEM se está convirtiendo en una eficaz técnica de resolución de problemas de ingeniería de materiales granulares y discontinuos, ampliamente aceptada. Especialmente se ha extendido su aplicación en dinámica y flujo de partícula granulares, mecánica de partículas en polvo y sólidos de gran tamaño.

Inicialmente, se realiza una descripción introductoria a DEM para, posteriormente, mostrar la aplicación de dicha técnica al dispositivo de dosificación de aditivo alimentario comprimido. En la aplicación del método de elementos discretos se utilizará la plataforma EDEM® en sus versiones 2.2 y 2.3, herramienta de ingeniería asistida por ordenador (CAE) del fabricante *DEM Solutions* (DEM Solutions, Ltd., 2010). Es un software potente dentro del estado del arte de la tecnología DEM, capaz de generar simulaciones de gran alcance y análisis necesarios para resolver problemas en el diseño, prototipado, y en la optimización de productos a granel y equipos de proceso.

## 2. Objetivos

El principal objetivo del presente artículo, es mostrar las bondades de la aplicación del método de elementos discretos en el modelado y simulación del dispositivo de dosificación de aditivo alimentario comprimido (Alba et al., 2005), para poder obtener resultados óptimos para los parámetros del dosificador en aras de mejorar la productividad del dispositivo.

### 3. Metodología

El método de elementos discretos (DEM), también llamado de volúmenes finitos, está ampliamente aceptado como una técnica muy eficaz para resolver problemas de ingeniería de materiales granulares y discontinuos. Así, se utiliza para resolver problemas en industrias químicas, farmacéuticas, agroalimentarias, ingeniería civil, etc., en aplicaciones como por ejemplo: de mezclado de materiales, silos de cereales, movimiento de tierras, etc.

Una de las cosas que hay que tener en cuenta en la aplicación del método de elementos discretos es el coste computacional que supone, normalmente limitado al número de partículas, a su vez compuestas por un número determinado de superficies, por lo que es beneficioso usar varios procesadores en paralelo. De ahí, uno de los fundamentos del método estriba en la definición de diferentes superficies discretas que conforman la partícula, las cuales pueden ser de diferente forma y propiedades.

A grandes rasgos, el método de elementos discretos consiste en los siguientes pasos: crear o importar la geometría del diseño creado con una herramienta CAD; parametrización de las características de los materiales y sus interacciones; creación de modelos de partículas por medio de superficies esféricas; definición de la dinámica del modelo, generación de partículas y de los parámetros de la simulación; y, obtención de una amplia serie de resultados, tanto gráficos como texto, en relación con la dinámica de partículas sólidas.

### 4. Resultados

#### 4.1 Diseño del modelo (Creator)

En la primera parte de la aplicación del método de elementos discretos se realiza la creación del modelo del sistema a simular. En esta primera fase del método se definen y parametrizan diferentes aspectos, entre los más destacados se encuentran: definición de materiales que intervienen en el proceso junto con alguna de sus propiedades físicas, así como las propiedades mecánicas de interacción entre ellos de manera experimental (Tabla 1); diseño de la partícula, que se asemeje a la partícula a simular (aditivo alimentario comprimido), por medio de superficies esféricas; generación de la geometría del modelo y sus propiedades dinámicas; establecer el modo y tiempo de creación de las partículas para el proceso de simulación.

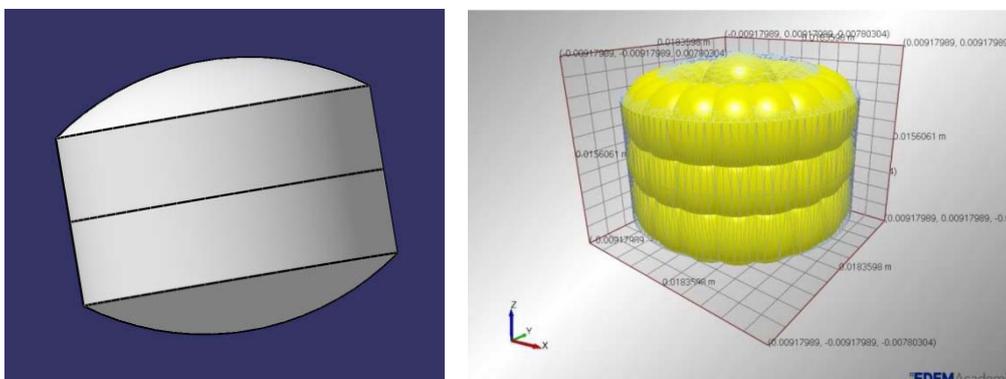
**Tabla 1. Parámetros óptimos aproximados de simulación de materiales y sus interacciones**

Material	Coefficiente de Poisson	Módulo de elasticidad (Pa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Sal	0,25	1,e+04	2165
Aluminio	0,35	3,e+10	2700
Polycarbonato	0,37	8,e+08	1200
Interacciones	Coefficiente de restitución	Fricción estática	Fricción dinámica
Sal-Sal	0,50	0,45	0,05
Sal-Aluminio	0,50	0,30	0,01
Sal-Polycarbonato	0,50	0,3	0,01

Definidos los materiales y sus interacciones, el siguiente paso consiste en modelar la partícula que se asemeje al aditivo alimentario comprimido utilizado en el proceso de dosificación. Esta tarea, es clave a la hora de obtener unos resultados aceptables en la aplicación del método de elementos discretos al caso de estudio, ya que es necesario

alcanzar un compromiso entre el número de superficies que componen el modelo de partícula, su semejanza al proceso real y el coste computacional. De ahí, se escogió un modelo de 83 esferas (Las Heras, et al., 2011) (Figura 2).

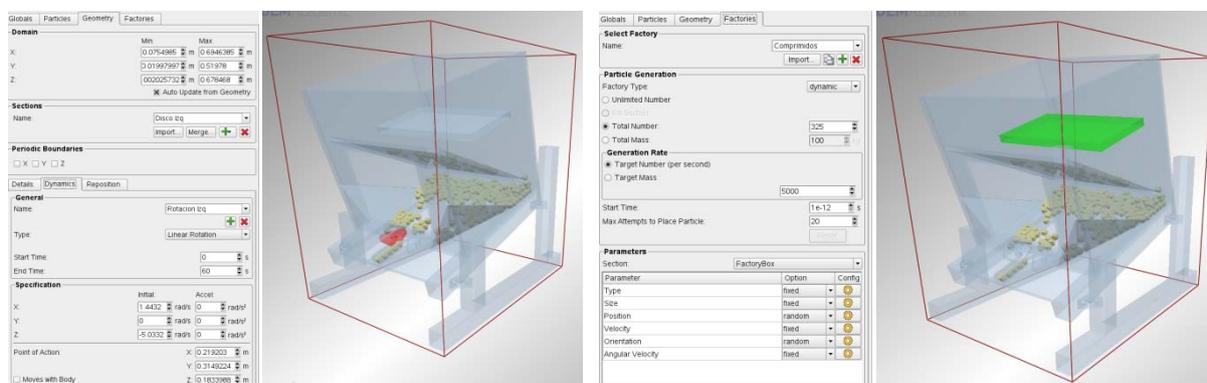
**Figura 2: (izq.) Modelo CAD 3D del comprimido, (dcha.) Modelo de partícula de 83 esferas desarrollado en EDEM**



Una vez importada y definida la geometría del modelo del dispositivo de dosificación, se define el dominio, en el que se delimita el área de simulación y se dota de rotación a los álabes del dispositivo, así como de otros tipos de dinámicas que pueda necesitar el dispositivo, como por ejemplo, el uso de la vibración (Figura 3 izq.).

Para finalizar con la primera parte del método de elementos discretos, se determina el número de partículas generadas, la forma en la que son generadas y el tiempo de generación (Figura 3 dcha.).

**Figura 3: (izq.) Configuración de las velocidades angulares de uno de los álabes del mecanismo de serialización; (dcha.) Configuración de la generación de partículas**



## 4.2 Parámetros de simulación del modelo (Simulator)

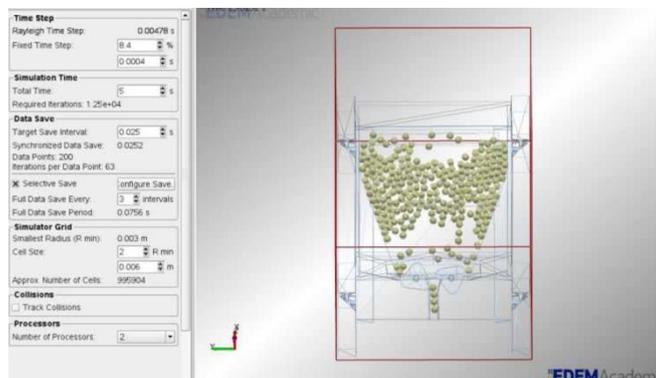
El segundo paso en la aplicación del método consiste en establecer la configuración de los parámetros de simulación, para obtener unos resultados significativos no penalizando el tiempo de cálculo por solicitar el cálculo y almacenamiento de resultados en excesivos periodos de tiempo (Figura 4).

La herramienta EDEM proporciona una sencilla interfaz de configuración, así como una orientación del tiempo de muestreo para el cálculo numérico según la ecuación (1), donde  $R$

es el radio de la partícula,  $\rho$  es la densidad,  $G$  es el módulo de elasticidad y  $\nu$  el coeficiente de Poisson.

$$T_R = \pi \cdot R \cdot \left(\frac{\rho}{G}\right)^{1/2} / (0.1631 \cdot \nu + 0.8766) \quad (1)$$

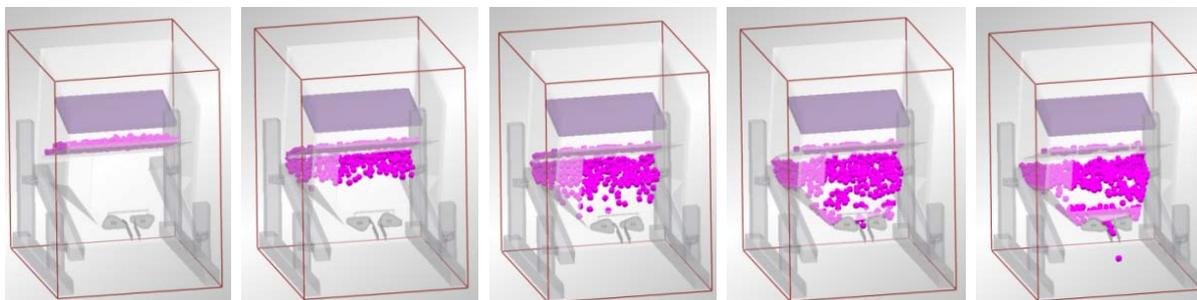
**Figura 4: Configuración de los parámetros de simulación**



### 4.3 Resultados de simulación (Analyst)

Tras la obtención de los resultados de la simulación entra en juego la tercera parte del método, el análisis y post-procesado de dichos resultados. Entre los resultados se encuentra una visualización en 4D del funcionamiento del proceso de dosificación automática de aditivos alimentarios comprimidos, obtenida en EDEM (Figura 5).

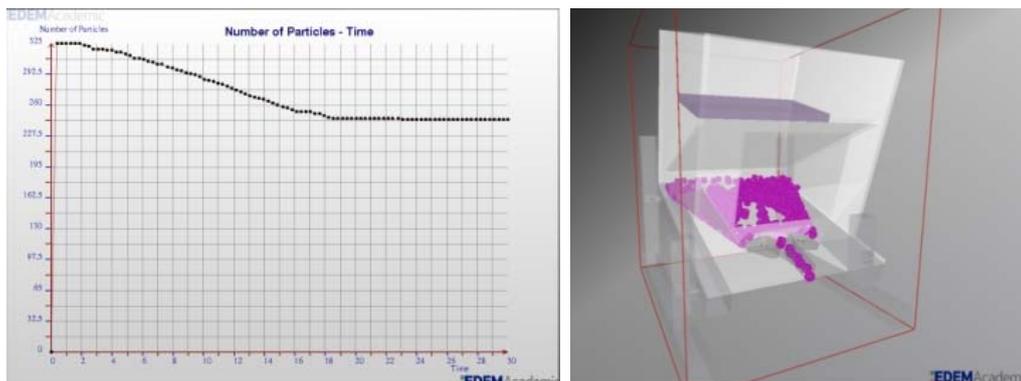
**Figura 5: Secuencia de funcionamiento del dosificador automático**



Con la ayuda de la información proporcionada sobre las partículas dentro del dominio de simulación, se obtiene la velocidad de dosificación del dispositivo, uno de los parámetros fundamentales de productividad del mismo, con un rango de 250 a 350 comprimidos por minuto.

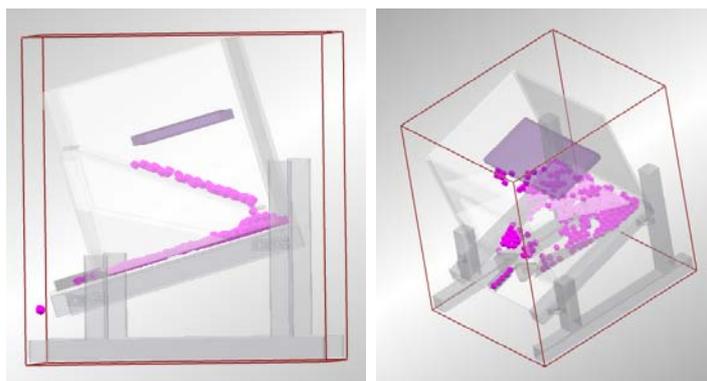
Un ejemplo es la gráfica de la Figura 6, en la que se representa el número de partículas en el dominio frente al tiempo, viéndose una rampa decreciente en el tiempo, correspondiente al descenso del número de partículas existentes dentro del dominio, indicador claro de la velocidad de dosificación de comprimidos. En los primeros quince segundos se expulsan unos 65 comprimidos, equivalente a 4,3 comprimidos por segundo, o lo que es lo mismo 260 comprimidos por minuto. A partir de dicho instante, el número de partículas se mantiene constante, permaneciendo éstas en el depósito del dosificador debido a los valores de interacción entre materiales.

**Figura 6: Velocidad de dosificación de 300 comprimidos por minuto**



Si los parámetros son inferiores al valor inicial, valor obtenido mediante ensayos de corte aproximados, las partículas deslizan demasiado unas sobre otras y con el policarbonato del depósito (Figura 7). Sin embargo si son parámetros mayores al real, ocurre lo que se ve a continuación, que la mayoría de los comprimidos rozan demasiado entre sí y entre las paredes y rampas del depósito.

**Figura 7: Influencia de los coeficientes de rozamiento sobre la dinámica de los comprimidos**



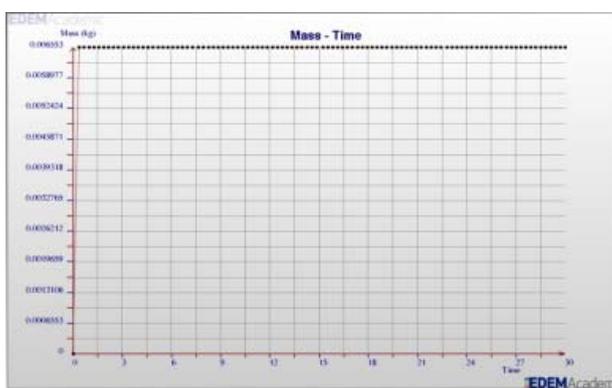
A continuación se muestra una serie de resultados, obtenidos a partir de las simulaciones realizadas en EDEM, graficando con la herramienta de post-procesado algunas de las variables que influyen en el proceso de dosificación.

Primeramente se ve la velocidad angular de las partículas (Figura 8). Como se puede observar, los mayores valores se dan en el momento de la generación de partículas, cuando estas empiezan a rodar por la rampa inicial del depósito del dispositivo. Posteriormente una vez han caído a la rampa secundaria o están en contacto con el dispositivo, no se da una rotación excesiva, si no que más bien los comprimidos siguen un movimiento traslacional. Estos valores de rotación, dan a entender que no sufren una fricción elevada entre sí los comprimidos, o con el policarbonato. Este comportamiento se observa también sobre la propia secuencia de funcionamiento del dosificador automático de comprimidos una colorimetría de los valores que toman dichas variables. A continuación se puede ver, que el valor medio de la masa de todos los comprimidos, se mantiene constante, por lo tanto, no hay una pérdida de masa considerable. Hecho positivo ya que el 100% del compuesto del comprimido es materia activa, con lo cual es necesario no desaprovechar nada de su totalidad (Figura 9). Se demuestra así, que se respeta la integridad de los mismos.

Figura 8: (dcha.) Velocidad angular de los comprimidos; (izq.) Rotación de los comprimidos



Figura 9: Pérdida de masa de los comprimidos



Los resultados obtenidos en EDEM en relación con la fuerza de compresión total sufrida por los comprimidos, indican que se dan mayores valores del módulo de dichas fuerzas en los segundos iniciales del proceso, debido a los choques sobre la caída en la rampa inicial y la rampa secundaria (Figura 10). Además los primeros comprimidos, se van depositando cerca de los álabes de serialización y van sufriendo la llegada del resto de partículas que se depositan tras ellos.

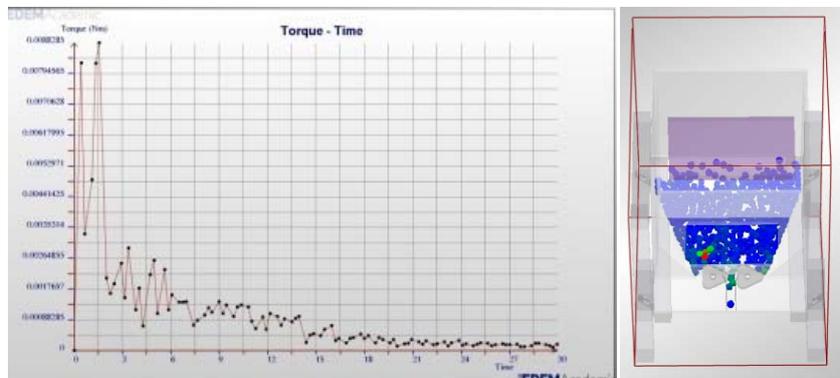
Figura 10: Fuerza de compresión que sufren los comprimidos



Así como ocurre con las fuerzas de compresión, ocurre con el par y el valor medio de la fuerza total que sufren los comprimidos. Si alguno de ellos se queda apoyado entre la cúspide de la semiesfera y el vértice de la cara lateral, es posible que no rote bien, se den picos de fuerza y cuando el álabe mueve los comprimidos, se disipe y hace que se libere.

En cuanto al par, se ve que no se producen valores elevados (Figura 11), salvo cuando varios comprimidos se quedan en posición contraria, impidiendo una fácil rotación entre sí, cerca de los álabes de serialización, que una vez mueve a los comprimidos, hace que estos roten sobre sí mismos.

**Figura 11. Par sufrido por los comprimidos en el momento de la compresión**



## 5. Conclusiones

Este dispositivo de dosificación automática proporciona ventajas en la industria alimentaria: mejorar la productividad y eficiencia en costes. De acuerdo con los resultados obtenidos en la modelización y simulación del proceso utilizando EDEM y relacionado estos con el comportamiento real, se puede afirmar que esta herramienta es adecuada para este proceso. EDEM es un software eficaz y rápido para optimizar los parámetros del dispositivo, como el ángulo de inclinación, o la forma de los álabes.

En trabajos futuros, se pretende hacer uso de los resultados proporcionados por EDEM para aplicar técnicas de minería de datos. El objetivo será obtener las mejores configuraciones de parámetros del modelo (fricción, velocidad de álabes o el ángulo de inclinación) para reducir al mínimo los contactos entre los aditivos comprimidos, que provocan pérdida de masa en los mismos. Otra tarea importante es la calibración de un sistema de vibración para evitar los atascos de los aditivos comprimidos. Además, este sistema hace reducir el ángulo de inclinación, fijándolo para no establecer una pendiente demasiado elevada, y debe evitar el desgaste y rotura de los comprimidos.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo del Plan Regional de Investigación de la Comunidad Autónoma de La Rioja a través del proyecto FOMENTA 2010/02, y de la Universidad de La Rioja a través del proyecto API10/15.

## Referencias

- Alba, F., Ordieres, J., Vergara, E., Martínez de Pisón, F. J., & Castejón, M. (2005), *Patente europea, EP 1 595795 A1, Device for supplying/dosing packaged tablets for the food industry.*
- Alba, F., Ordieres, J., Vergara, E., Martínez de Pisón, F. J., Pernía, A. V., Castejón, M., & González, A. (2005), *Modelo de utilidad, ES 1 059 831, Comprimido de producto aditivo para su dosificación automática a envases en la industria alimentaria.*
- Alba, F., Ordieres, J., Vergara, E., Martínez de Pisón, F. J., & Castejón, M. (2007), *Patente con examen previo, ES 2 277 503, Mejoras introducidas en la patente de invención nº*

*P200202907 por: Suministrador-dosificador de comprimidos a envases para la industria alimentaria”.*

DEM Solutions, Ltd. (2010), “EDEM 2.2 User Guide” Copyright © 2009, Edinburgh, Scotland, UK.

Las Heras, J., Guerra, Á., Alba, F., Bao, C., & Martínez-de-Pisón, E. (2010), XIV International congress on project engineering, Product design applied to improved a device for dosing additive tablets in the food industry.

Las Heras, J., Guerra, Á., García, A. y Alba, F. (2011), XV International congress on project engineering, Aplicaciones en el ámbito industrial del método de elementos discretos. modelado de partícula simulando un aditivo alimentario comprimido con DEM.

**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](mailto:fernando.alba@unirioja.es)