03-026

### IMPROVEMENT OF THE TANK OF A ROTARY TABLET PRESS MACHINE USING DEM SIMULATION

Ramirez Aragon, Cristina<sup>(1)</sup>; Muro Fraguas, Ignacio<sup>(1)</sup>; Múgica Vidal, Rodolfo<sup>(1)</sup>; Sainz García, Elisa<sup>(1)</sup>; Alba Elías, Fernando<sup>(1)</sup>

#### <sup>(1)</sup>Universidad de La Rioja

A wide variety of industries that use granular materials in their processes (mineral industry, food industry, pharmaceutical industry, etc.) are affected by the segregation of the materials. Segregation is a phenomenon in which a homogenous mixture of granular materials whose particles have different properties (size, density, shape, etc.) tends to get heterogeneous. This phenomenon is one of the principal problems in tablet press machines, as the composition of the tablets can be altered by segregation. An incorrect composition can reduce the quality of the tablet due to the compactability of the material can be modified. Moreover, it can result in health problems for the consumers in the case of food and pharmaceutical industries. In this work, a DEM simulation model is used to improve the design of the tank of a rotary tablet press machine with gravity feeder in order to reduce the segregation index that is produced into the tank. The improvement of the design consist on introducing some inserts into the tank. Thereby, it is possible to prevent the origination of the mechanisms of segregation that were identified previously in the original tank.

**Keywords:** Segregation; Granular material; Improvement; Rotary tablet press; Gravity feeder; Discrete Element Method

### MEJORA DEL DEPÓSITO DE UNA MÁQUINA COMPRESORA ROTATIVA MEDIANTE LA SIMULACIÓN DEM

Una amplia variedad de industrias que utilizan materiales granulares en sus procesos (industria minera, alimentaria, farmacéutica, etc.) se ven afectadas por la segregación de dichos materiales. La segregación es un fenómeno mediante el cual una mezcla homogénea compuesta por distintos materiales granulares cuyas partículas tienen diferentes propiedades (tamaño, densidad, forma, etc.) tiende a heterogeneizarse. El fenómeno de segregación es uno de los principales problemas de las máquinas compresoras, ya que puede alterar la composición de los comprimidos. Una composición incorrecta puede reducir la calidad del comprimido debido a que la compactibilidad del material puede verse modificada. Además, puede generar problemas de salud para los consumidores en el caso de los comprimidos alimenticios o farmacéuticos. En este trabajo, se emplea un modelo de simulación DEM para mejorar el diseño del depósito de una máquina compresora rotativa con alimentación por gravedad con el fin de reducir el índice de segregación producido en su interior. La mejora del diseño consiste en la introducción de los mecanismos de segregación que previamente se han identificado en el depósito original.

**Palabras clave:** Segregación; Material granular; Mejora; Máquina compresora rotativa, Depósito por gravedad, Método de los Elementos Discretos

Correspondencia: Fernando Alba-Elías; fernando.alba@unirioja.es



©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

## 1. Introducción

El fenómeno de la segregación afecta a multitud de procesos dentro del ámbito industrial. Por eso es muy interesante conocer cuáles son las causas que generan dicha segregación en los distintos procesos. Sin embargo, normalmente, resulta muy difícil analizar el comportamiento de las mezclas de manera experimental y, por lo tanto, es habitual recurrir a modelos matemáticos para predecir su comportamiento.

El Método de los Elementos Discretos (DEM) es un método numérico que permite simular el comportamiento mecánico de medios granulares. Dicho método consiste en dividir el medio granular en partículas (elementos discretos) que interactúan entre sí a través de sus puntos de contacto. Cuando se detecta un contacto entre partículas (o entre partículas y geometrías), se calculan las fuerzas de interacción mediante las ecuaciones definidas en los modelos de contactos. Existen distintos modelos, en los cuales se tienen en cuenta diferentes fuerzas de interacción, lo que permite simular el comportamiento de diferentes medios granulares (cohesivos o no cohesivos, con comportamientos elásticos o plásticos, etc.).

La segregación es uno de los principales problemas de las máquinas compresoras. Principalmente, este fenómeno tiene lugar en el depósito alimentador, que es el elemento que contiene y dosifica el material granular. Por ello, existen bastantes trabajos en los que se emplea la simulación DEM para analizar el comportamiento de una mezcla en el interior de un depósito. Así, Ketterhagen et al. (2007) estudiaron la segregación de un material granular binario durante el vaciado de una tolva cilíndrica, atendiendo a diferentes factores como son la proporción del material fino, la relación de granulometría de los dos materiales, la forma de la tolva o el método empleado para llenarla. De manera similar, en 2010, Yu y Saxén analizaron la segregación de un material ternario durante la descarga de un silo. Por otra parte, Wu et al. (2009) investigaron los flujos de descarga del material en dos depósitos utilizando distintas mezclas, así como los cambios experimentados en dichos flujos tras la colocación de distintos injertos en el interior de uno de los depósitos.

En los últimos años, gracias al avance de la computación, se han simulado sistemas más complejos. En 2015, Martínez-Martínez simuló el funcionamiento de una máquina compresora excéntrica y analizó la segregación de una mezcla binaria en el interior del zapato. Otros autores han estudiado la influencia de los parámetros de funcionamiento de una máquina compresora rotativa sobre el tiempo de residencia de las partículas y la fuerza ejercida sobre ellas (Mateo-Ortiz et al., 2015) o han analizado cómo varía la cantidad de material que es dosificado en las matrices en función del diseño y funcionamiento de la máquina o de las propiedades del material utilizado (Gopireddy, Hildebrandt & Urbanetz, 2016). Posteriormente, Ramírez-Aragón et al. (2018) analizaron la segregación generada en el interior del depósito de una máquina compresora rotativa con alimentación por gravedad mediante un modelo de simulación DEM, que previamente había sido validado experimentalmente. En dicho trabajo, se identificaron los mecanismos de segregación producidos durante el llenado del depósito y el funcionamiento de la máquina.

En la presente comunicación, se utiliza el modelo DEM validado por Ramírez-Aragón et al. (2018) para prevenir la generación de los mecanismos de segregación que fueron detectados en dicho trabajo. Para ello, se propone la inserción de una serie de injertos en el interior del depósito mediante los cuales se pretende modificar los flujos de las partículas y reducir así la segregación.

# 2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es optimizar el diseño del depósito configurable de una máquina compresora rotativa con alimentación por gravedad mediante la inclusión de injertos en su interior con el fin de reducir la segregación del material. Para alcanzar dicho objetivo, se definen los siguientes objetivos secundarios:

- Cuantificar el índice de segregación de una mezcla binaria que se produce en el interior de varios diseños del depósito dotados de diferentes injertos.
- Identificar cuáles son los diseños de injertos que logran una mayor reducción de la segregación en cada uno de los depósitos.
- Analizar cómo influyen dichos injertos sobre los mecanismos de segregación producidos.

## 3. Metodología

### 3.1 Máquina compresora simulada

Las máquinas compresoras se utilizan para hacer comprimidos o tabletas mediante la compactación de materiales granulares. Existen dos tipos de máquinas compresoras: excéntricas y rotativas. Los principales elementos que componen ambas máquinas son los siguientes:

- Depósito. Es el elemento que contiene y dosifica el material granular. Está abierto por sus caras superior e inferior. Así, el depósito es alimentado de forma continua a través de su orificio superior, que está conectado a un depósito de mayor tamaño mediante un tubo. El depósito se encuentra apoyado sobre la platina, por lo que el material queda confinado en su interior en ausencia de matrices.
- **Platina.** Es el elemento sobre el cual se asienta el depósito. Consiste en una placa horizontal rígida que tiene un conjunto de agujeros pasantes, denominados matrices. En el caso de las máquinas excéntricas, la superficie de la platina suele ser rectangular. Sin embargo, suele tener forma de disco en las máquinas rotativas.
- **Punzones.** Son los elementos mediante los cuales se aplica presión al material. Se encuentran alineados con las matrices y se mueven en dirección vertical. Su movimiento permite crear una cavidad en la que depositar el material, compactarlo para formar un comprimido y expulsar dicho comprimido.

En las máquinas excéntricas, la platina se encuentra fija y el depósito, también llamado zapato, se desplaza sobre ella de forma lineal alternando el sentido del movimiento. Su funcionamiento se puede dividir en ciclos. Al inicio de cada ciclo, los punzones inferiores se colocan enrasados con la superficie superior de la platina y se hace avanzar el depósito hasta colocarse encima de las matrices. Una vez situado el depósito sobre las matrices, los punzones inferiores bajan, permitiendo que el material se introduzca en las cavidades formadas entre las matrices y los punzones. Después, el depósito retrocede, dejando enrasado el material contenido en las matrices. A continuación, los punzones superiores se mueven hacia abajo y se produce la compresión del material. Finalmente, se retiran los punzones superiores y los punzones inferiores suben hasta su posición inicial, de manera que los comprimidos quedan situados en la superficie de la platina. De esta forma, los comprimidos son empujados por el depósito al inicio del siguiente ciclo.

Sin embargo, en las máquinas compresoras rotativas, el depósito se encuentra fijo, mientras que la platina gira alrededor de su eje. En este caso, el movimiento de los punzones es más complejo puesto que, además de moverse en dirección vertical, giran solidariamente con la platina. El funcionamiento de las máquinas compresoras rotativas es el siguiente.

Inicialmente los punzones inferiores se desplazan hacia abajo hasta formar la cavidad deseada, de manera que cuando las matrices pasan por debajo del depósito, el material granular cae en el interior de las mismas y éstas comienzan a llenarse. El llenado de las matrices se completa a lo largo de la trayectoria. Finalmente, el contenido de las matrices es enrasado cuando estas abandonan el depósito. A partir de ese momento, los punzones superiores descienden y el contenido de las matrices es compactado. Finalmente, los punzones superiores se retiran y los punzones inferiores se mueven hacia arriba para expulsar el material compactado y vuelven a su posición inicial (véase la figura 1).



Figura 1. Máquina compresora rotativa modelo ZP11D de la marca Encapsulando®.

En este trabajo se ha simulado el funcionamiento de una máquina compresora rotativa con alimentación por gravedad, pero no se ha simulado el proceso de compactación de los comprimidos. Por lo tanto, los punzones no han sido modelados y, en su lugar, tres placas horizontales se han situado a ambos lados de la platina para contener el material de las matrices (dos de las placas se han colocado encima de la platina y una debajo).

#### 3.2 Generación del modelo de simulación

Para simular el funcionamiento de la máquina compresora rotativa objeto de este estudio, se ha empleado el modelo de simulación DEM que fue utilizado en un trabajo previo (Ramírez-Aragón et al., 2018). Para generar dicho modelo, se diseñaron los elementos de la máquina en un programa de CAD que, posteriormente, se importaron en formato STP en el programa de simulación EDEM® 2.7.2., desarrollado por DEM Solutions Ltd., Edimburgo, Escocia, Reino Unido.

Los elementos que se modelaron en dicho trabajo previo y que se han utilizado en éste se muestran en la figura 2 y son los siguientes:

Depósito. El depósito es configurable y está formado por dos placas longitudinales (frontal y trasera) y dos placas transversales. En función de las placas transversales que se utilicen, el depósito puede tener varias anchuras. Además, modificando la distancia entre las placas transversales (longitud) y/o su inclinación se pueden conseguir diferentes diseños. De todos los posibles, se han considerado tres diseños: *Corto, Largo* e *Inclinado*. La inclinación de las placas transversales en los depósitos *Corto y Largo* es de 90° respecto de la horizontal, es decir que se encuentran en posición vertical. El depósito *Corto* tiene una longitud de 62.5 mm, mientras que las placas transversales están separadas 114.5 mm en el depósito *Largo*. El depósito *Inclinado* tiene la misma longitud que el *Largo*, pero sus placas transversales forman 55° con la horizontal. El ancho de todos los depósitos es de 20 mm.

- **Platina.** La platina es un disco que tiene una altura de 22 mm y un diámetro de 420 mm. Las matrices son agujeros cilíndricos pasantes de diámetro 20 mm equidistantes respecto del eje a una distancia de 150 mm y están distribuidos uniformemente cada 18°.
- **Tolva.** La tolva se utiliza para alimentar el depósito. Tiene forma de embudo. Sus paredes transversales están separadas 42.5 mm y sus paredes laterales forman un ángulo de 67° con la horizontal, de forma que el orificio de salida inferior tiene una superficie de 42.5 x 20 mm<sup>2</sup>.
- Placas horizontales. Los punzones existentes en las máquinas reales se han sustituido por tres placas colocadas encima y debajo de la platina. Su función es impedir que el material abandone las matrices.

Además de dichos elementos, se han diseñado varios injertos que se han colocado en el interior de los depósitos.



Figura 2. Elementos de la máquina simulados en el modelo DEM.

El proceso simulado se muestra en la figura 3. Inicialmente, las matrices situadas debajo del depósito son taponadas mediante la colocación de cilindros en su interior. De esta forma, la superficie sobre la cual cae el material no presenta irregularidades y se evita que se genere una mayor segregación durante el llenado del depósito. A continuación, se realiza el llenado del depósito. Para ello, se introduce una mezcla homogénea en el interior de la tolva manteniendo cerrado su orificio inferior. Una vez que las partículas se han asentado en el interior de la tolva, se abre el orificio de salida, de manera que la mezcla de material se introduce en el depósito. Tras el llenado del depósito, la platina comienza su movimiento. La platina rota alrededor de su eje de forma intermitente, de manera que gira durante 0.6 segundos a una velocidad de 5 rpm (recorre un ángulo de 18º, correspondiente a la separación entre matrices) y se para durante 0.5 segundos. Los tapones y el contenido de cada una de las muestras son eliminados una vez que llegan al extremo de las placas horizontales. Este movimiento se repite hasta obtener 30 muestras.



#### Figura 3. Funcionamiento de la máquina simulada.

Los materiales empleados en este trabajo son los mismos que se utilizaron en el trabajo previo. Sus propiedades se muestran en la tabla 1. Se ha simulado el comportamiento de una mezcla binaria formada por un 75% de material grueso y un 25% de material fino.

	Partículas gruesas	Partículas finas	Geometrías
Nº partículas	3577	9469	-
Diámetro (mm)	3.9	1.95	-
Densidad (kg/m³)	1350	1360	-
Módulo de Young (Pa)	3.6 x10 <sup>6</sup>	3.6 x10 <sup>6</sup>	1.0 x10 <sup>6</sup>
Coeficiente de Poisson	0.4	0.4	0.4

#### Tabla 1. Propiedades de los materiales utilizados en las simulaciones DEM.

El comportamiento del material granular queda determinado por el modelo de contacto *Hertz-Mindlin (No Slip) with RVD Rolling Friction.* Los parámetros de interacción entre los materiales simulados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros	de interacción	utilizados en las	simulaciones DEM.

	Coeficiente de restitución	Coeficiente de fricción estática	Coeficiente de rodadura
Geometrías - Partículas finas	0.70	0.25	0.30
Geometrías - Partículas gruesas	0.40	0.30	0.30
Partículas finas - Partículas gruesas	0.40	0.20	0.10
Partículas finas - Partículas finas	0.40	0.20	0.40
Partículas gruesas - Partículas gruesas	0.40	0.25	0.40

### 3.3 Diseño de los injertos

Los distintos diseños de injerto que se han propuesto tienen como finalidad reducir el índice de segregación (IS) de la mezcla granular que se produce en el interior del depósito de la máquina compresora rotativa. Para lograr dicha reducción, se han colocado injertos que han sido diseñados para evitar la aparición de los mecanismos de segregación que fueron identificados en un trabajo previo (Ramírez-Aragón, 2018). Tal y como se indica a continuación, el comportamiento de la mezcla objeto de este estudio fue distinto en cada uno de los diseños del depósito.

- **Depósito** *Corto*. Tal y como se comprobó en dicho trabajo, en el depósito *Corto* se genera muy poca segregación. El material apenas se segrega durante el llenado del depósito y tampoco lo hace durante el funcionamiento de la máquina.
- **Depósito** *Largo.* El IS en este diseño del depósito fue ligeramente superior al obtenido en el depósito *Corto.* Tal y como se indicó en el trabajo previo, esto se debe a los flujos de las partículas que tienen lugar durante el funcionamiento de la máquina.
- **Depósito** *Inclinado*. En el depósito *Inclinado* se obtuvo el mayor de los ISs. La segregación del material se produjo en gran medida durante el llenado del depósito, pero también se detectaron otros mecanismos de segregación durante el funcionamiento de la máquina.

No obstante, se observó que, en todos los depósitos, se producen, en mayor o menor medida, dos flujos de partículas. Debido al movimiento de las matrices llenas, se genera un flujo de arrastre (flujo lineal) de las partículas situadas en el fondo del depósito. Este flujo, a su vez genera un movimiento ascendente de las partículas localizadas en el lado del depósito hacia el que se dirigen las matrices. Este movimiento ascendente finalmente se transforma en un flujo circular (Ramírez-Aragón, 2018, figura 15).

Por lo tanto, se pretende evitar la formación de dichos flujos y la segregación que implican mediante la colocación de injertos. La presencia de dichos injertos hace que los flujos de las partículas se vean modificados. De manera similar, Wu et al. (2009) colocaron injertos en el interior de un depósito para alterar los flujos preferentes de las partículas durante la descarga del mismo.

En la figura 4 se muestran los injertos que han sido introducidos en cada uno de los diseños del depósito. Como se puede observar, a pesar de que los depósitos requieren actuaciones distintas, se han propuesto diseños muy similares en todos ellos. No obstante, éstos han sido adecuados al tamaño y forma propios de cada depósito. De este modo se pretende comprobar el efecto combinado del diseño del depósito y del injerto sobre los mecanismos de segregación generados.



Figura 4. Diseño de los injertos utilizados en cada uno de los depósitos.

### 3.4 Análisis de la segregación

Para cuantificar el índice de segregación producida durante el funcionamiento de la máquina, se compara la composición del material contenido en cada matriz con la composición teórica de la mezcla. El índice de segregación es determinado como la raíz de la desviación cuadrática media (RMSD) entre el porcentaje de material fino obtenido en cada matriz y el porcentaje teórico del material fino introducido en el depósito al inicio de la simulación, tal y como se indica en la ecuación 1.

$$IS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (p_{o} - p_{i})^{2}}{n}}$$
(1)

donde n es el número de matrices analizadas,  $p_0$  es el porcentaje de material fino inicial y  $p_i$  es el porcentaje de material fino de la i-ésima matriz.

En este caso, para comprobar la eficacia de los injertos durante el funcionamiento habitual de la máquina (en régimen permanente), únicamente se tiene en cuenta la composición de las 20 muestras intermedias. De este modo, los efectos del llenado del depósito (5 primeras muestras) y del funcionamiento de la máquina con el depósito prácticamente vacío (5 últimas muestras) son descartados.

### 4. Resultados

### 4.1 Índices de segregación

En la figura 5 se muestran los valores de IS obtenidos en el interior de los depósitos en ausencia de injertos y tras la introducción de los injertos mostrados la figura 4. Tal y como se puede observar en la figura 5, tomando como referencia los ISs obtenidos en los depósitos originales (sin injertos), se ha conseguido reducir la segregación producida en todos los diseños de depósito gracias a la introducción de alguno de los injertos.

Además, estos resultados indican que los diseños de injertos óptimos son distintos en cada uno de los depósitos. En el caso del depósito *Corto*, mediante la utilización de los injertos 3 y 5, se consigue reducir por igual el IS. El diseño 5, además, es el óptimo en el caso del depósito *Largo*, ya que se logra la mayor reducción de IS mediante su uso. Sin embargo, el injerto 1 resulta ser el que mejor se comporta dentro del depósito *Inclinado*.

También se observa que, en aquellos casos en los que se mejora el depósito *Corto*, la reducción de la segregación es prácticamente despreciable (0.10%) y algo mayor en el depósito *Largo* (0.68%). Por el contrario, la mejora obtenida es mucho mayor en el depósito *Inclinado*, donde se consigue una reducción de la segregación de 1.6%. Este hecho parece lógico ya que el IS inicial (sin injertos) en los depósitos *Corto* y *Largo* es mucho menor que el producido en el depósito *Inclinado* y, por lo tanto, existe mayor margen de mejora en este último.



Figura 5. Índices de segregación obtenidos en cada uno de los depósitos.

### 4.2 Flujos de partículas

En las figuras 6, 7 y 8 se representan los flujos de partículas producidos en el interior de los depósitos *Corto, Largo* e *Inclinado*, respectivamente, como consecuencia del movimiento de la platina. Dichas figuras muestran los vectores de velocidad codificados por color de las partículas gruesas durante el movimiento de la platina tras el llenado de la decimoquinta matriz.

Como se puede observar en la figura 6, la intensidad del flujo circular presente en el depósito Corto sin injertos se ve reducida al introducir la mayoría de los injertos o prácticamente es eliminado, como es el caso del inierto 1. Sin embargo, tal v como se indica en la figura 5, el mayor IS corresponde al uso del injerto 1. Aunque se ha tratado de reducir el efecto del llenado del depósito tomando los valores de las muestras centrales, esto puede deberse a que la segregación del material durante el llenado del depósito con el injerto 1 sea mayor que la producida en el mismo depósito en ausencia de injertos. Otro comportamiento se observa en los injertos 2, 3 y 5, donde algunas partículas giran alrededor del injerto con poca velocidad, mientras que las partículas de mayor velocidad se encuentran en la base del depósito. Aunque los flujos de partículas en estos casos son similares, sólo se ha conseguido reducir el índice de segregación mediante el uso de los injertos 3 y 5 en dicho depósito (véase la figura 5). Es posible que se haya generado menos segregación durante el llenado del depósito con estos dos últimos injertos debido a la forma circular de los mismos. Las caras planas e inclinadas del injerto 2 podrían hacer que las partículas reboten al impactar sobre ellas, mientras que éstas deslizan más fácilmente sobre la superficie circular de los injertos 3 y 5. Sin embargo, la intensidad del flujo circular parece explicar el IS obtenido en el caso del injerto 4. La forma inferior del injerto 4 provoca que el flujo circular se origine en su interior. Este hecho podría ser el causante del aumento del IS, respecto del depósito original (sin injertos), indicado en la figura 5.



#### Figura 6. Flujos de partículas en el depósito Corto con y sin injertos.





Al igual que en el depósito *Corto*, la mayoría de los injertos introducidos en el depósito *Largo* evitan que se genere el flujo circular de partículas producido durante el funcionamiento de la máquina en ausencia de injertos o reducen su efecto, tal y como muestra la figura 7. Sin embargo, mediante estos injertos, no ha sido posible eliminar el flujo superficial debido a la pendiente de la superficie libre del material. Únicamente se ha reducido en el caso del injerto 5. Precisamente, dicho injerto ha resultado ser óptimo, atendiendo al IS (véase la figura 5). Por contra, a pesar de reducir el flujo circular, el IS ha aumentado en el caso del injerto 3. Por otra parte, como se puede observar, la forma de los injertos en el depósito *Largo* influye de distinta manera que en el *Corto*. Un claro ejemplo de esto es el injerto 4. En el depósito *Corto*, se genera un flujo circular en la parte inferior de dicho injerto (figura 6). Sin embargo, en el depósito *Largo* no ocurre lo mismo (figura 7). Esto es debido a que el injerto está situado encima de la matriz cuando empieza su movimiento en el primer caso, mientras que en el segundo caso, los injertos se encuentran entre dos matrices.

En la figura 8 se aprecia cómo se reduce significantemente el movimiento de las partículas gracias a la introducción de los injertos en la mayoría de los casos (las partículas situadas en la parte superior izquierda del depósito se mueven a muy baja velocidad o permanecen en reposo en los depósitos que contienen los injertos 2, 3, 4 y 5). Otro comportamiento se muestra en el depósito que dispone del injerto 1. En este caso, además de evitarse el flujo circular, el depósito se va descargando por columnas, por lo que se consigue una mayor reducción de la segregación, tal y como indica la figura 5. Comparando los depósitos *Largo* e *Inclinado*, también se observa que la forma del depósito influye en los flujos de partículas. Aunque en ambos casos, los injertos están situados a la misma distancia de las matrices, las paredes inclinadas de este último depósito favorecen la formación de flujos circulares. Si se compara el comportamiento del material en los tres depósitos que utilizan el injerto 4, se puede observar cómo, tanto en el depósito *Corto* (figura 6) como en el *Inclinado* (figura 8) se genera un flujo circular en la parte inferior de los injertos (en el injerto de la izquierda, en el caso del depósito *Inclinado*), que no se produce en el depósito *Largo* (figura 7).



#### Figura 8. Flujos de partículas en el depósito Inclinado con y sin injertos.

# 5. Conclusiones

En este trabajo, se ha utilizado un modelo de simulación DEM para analizar la segregación de una mezcla binaria que es producida en el interior de tres diseños (*Corto, Largo* e *Inclinado*) del depósito configurable de una máquina compresora rotativa con alimentación por gravedad.

Varios diseños de injerto fueron introducidos en el interior de cada uno de los depósitos analizados. Aunque dichos diseños se han modificado en función del tamaño y diseño de cada depósito, la característica principal de cada uno de ellos se mantuvo igual en todos los depósitos. De este modo, se ha podido evaluar el efecto conjunto del diseño del depósito y del injerto.

Los resultados muestran que la máxima reducción del IS se ha alcanzado en el depósito *Inclinado*, ha sido menor en el depósito *Largo* y casi es despreciable en el depósito *Corto*. Además, se ha comprobado que existe un diseño óptimo distinto para cada uno de los depósitos.

En trabajos futuros se estudiarán nuevos diseños de injerto y se analizará cómo influye la posición de los mismos sobre los flujos de partículas generados. También se estudiará la aplicación de los mismos a distintos materiales y mezclas.

# Referencias

- Gopireddy, S. R., Hildebrandt, C. & Urbanetz, N. A. (2016). Numerical simulation of powder flow in a pharmaceutical tablet press lab-scale gravity feeder. *Powder Technology*, *302*, 309-327.
- Ketterhagen, W. R., Curtis, J. S., Wassgren, C. R., Kong, A., Narayan, P. J. & Hancock, B. C. (2007). Granular segregation in discharging cylindrical hoppers: A discrete element and experimental study. *Chemical Engineering Science*, *62*, 6423-6439
- Martínez-Martínez, L., Sainz-García, E., Muro-Hernández, J., Alba-Elías, F. & González-Marcos, A. (2015). Segregation of a binary granular mixture in a feed shoe of a single punch press using DEM. En J. L. Ayuso Muñoz et al. (Eds.) Selected Papers from the 17th International AEIPRO Congress held in Logroño, Spain, in 2013 (pp. 249-263). Springer.
- Mateo-Ortiz, D., Muzzio, F. J. & Méndez, R. (2014). Particle size segregation promoted by powder flow in confined space: The die filling process case. *Powder Technology*, *262*, 215-222.
- Ramírez-Aragón, C., Alba-Elías, F., González-Marcos, A. & Ordieres-Meré, J. (2018). Segregation in the tank of a rotary tablet press machine using experimental and discrete element methods. *Powder Technology*, *328*, 452-469.
- Wu, J., Binbo, J., Chen, J. & Yang, Y. (2009). Multi-scale study of particle flow in silos. *Advanced Powder Technology*, 20, 62-73.
- Yu, Y. & Saxén, H. (2010). Experimental and DEM study of segregation of ternary size particles in a blast furnace top bunker model. *Chemical Engineering Science, 65*, 5237-5250.

#### Agradecimientos

Las simulaciones y el análisis mediante el Método de los Elementos Discretos (DEM) se han realizado mediante el software de simulación de material granular EDEM 2.7.2 propiedad de DEM Solutions Ltd., Edimburgh, Scotland, UK. La autora, E. Sainz-García, como personal investigador postdoctoral de la Universidad de la Rioja, agradece al programa de formación postdoctoral financiado por el Plan propio de la Universidad de la Rioja y el V Plan Riojano de I+D+I de la Comunidad Autónoma de la Rioja.