

# **Título de la Tesis: “Modelado y simulación de un granulador de lecho fluidizado para la producción de urea”**

**Doctorado en Ingeniería Química**

**Autor: Bertín, Diego Esteban**

**Directores: Bucalá, Verónica - Piña, Juliana**

## **Resumen**

A pesar del uso generalizado de la granulación en la industria de fertilizantes, existe aún necesidad de generar conocimiento en el área de modelado y simulación de granuladores conti-nuos de lecho fluidizado (GCLF) industriales para la producción de urea. Actualmente, las condiciones operativas del granula-dor, que permiten obtener operaciones estables y gránulos con los atributos deseados, se definen por prueba y error. El GCLF es básicamente un lecho de sólidos fluidizado por aire, al cual se alimentan una corriente de partículas de urea y una solución acuosa de urea concentrada que se atomiza desde la parte inferior de la unidad. Los gránulos crecen debido a la deposición sucesiva de pequeñas gotas sobre las semillas. En la literatura abierta, se presentan diversos modelos matemáticos con diferentes grados de complejidad. Sin embargo, los artículos acerca de granulación fundida, proceso que represen-ta la granulación de urea, son muy escasos. Por esta razón, el objetivo general de esta Tesis es desarrollar un modelo mate-mático confiable que describa apropiadamente la opera-ción de un GCLF para la producción de urea. En el Capítulo 1 se introducen conceptos acerca del uso de fertilizantes, el proceso industrial de producción de urea y de los mecanismos de cambio de tamaño que pueden ocurrir dentro del granula-dor. En el Capítulo 2 se formulan, teniendo en cuenta las fases que coexisten dentro de la unidad, los balances de ma-sa y energía para describir el estado estacionario del granula-dor. Los resultados indican que las temperaturas del gas y de los sólidos son prácticamente iguales, que la evaporación del agua presente en la solución de urea alimentada es completa y que la unidad es prácticamente adiabática. Por último, el modelo propuesto se valida utilizando temperaturas provenien-tes de una planta industrial. En el Capítulo 3 se formula un modelo dinámico del GCLF y se estudia su comportamiento a lazo abierto. Los resultados indican que la mayoría de las variables del proceso exhiben dinámicas muy lentas. Un análi-sis de sensibilidad en estado estacionario permite concluir que el área de descarga del producto, la temperatura y caudal del aire de fluidización resultan ser las variables manipuladas más adecuadas para controlar las alturas, temperaturas y porosi-dades de los lechos fluidizados. Reconociendo que una des-cripción completa de la operación del granulador requiere la estimación de la granulometría del producto, el Capítulo 4 se centra en la deducción del balance de población. Se analizan distribuciones de tamaño de partículas predichas suponiendo distintos modelos de flujo de sólidos y diferentes número de cámaras de granulación. En el Capítulo 5, usando el balance población, se analiza la sensibilidad de la dinámica de la granu-lometría en el granulador frente a perturbaciones en diferen-tes variables claves. Se concluye que la PSD de las semillas resulta ser la variable que más afecta a la PSD de la corrien-te que sale del granulador. Por otro lado, se comprueba que dicha PSD puede ser predicha de modo satisfactorio utilizando balances macroscópicos que permiten el cálculo de la media y la desviación estándar geométricas de la población. En el Capítulo 6 se valida el modelo del granulador teniendo en cuenta granulometrías experimentales. Con este objetivo, se propone un nuevo método numérico para resolver el balance de población y se incluye la elutriación como otro fenómeno que afecta el tamaño de las partículas dentro del granulador. Los cambios realizados permiten contar con un modelo final del granulador de urea, en su versión de estado estacionario, que puede reproducir la operación industrial satisfactoria-mente. Por último, en el Capítulo 7, se resumen los resultados más destacables y se presentan las futuras líneas de investi-gación en las que debería orientarse el estudio de los granu-ladores.

# **Título de la Tesis: “Modelado y simulación de un granulador de lecho fluidizado para la producción de urea”**

**Doctorado en Ingeniería Química**

**Autor: Bertín, Diego Esteban**

**Directores: Bucalá, Verónica - Piña, Juliana**

## **Abstract**

Despite the widespread use of the granulation process in the fertilizers industry, there is a lack of work regarding the modeling and simulation of continuous fluidized-bed granulators (CFBG) for urea production. Currently, trial and error is required to define the CFBG operating conditions that allow stable operations and product granules with the desired attributes. The CFBG is a bed of solids fluidized by air, fed continuously with small urea particles and a urea concentrated aqueous solution that is sprayed from the bottom of the unit. The granules grow through the deposition of successive tiny liquid droplets on the seeds material. Physically-based granulator mathematical models, with different degrees of complexity, are presented in the open literature. However, there is lack of articles taking into account the melt granulation that represents the urea process. For this reason, the overall objective of this Thesis is to develop a reliable mathematical model to appropriately describe the operation of a CFBG for urea production. Chapter 1 introduces concepts related with the use of fertilizers, the urea industrial granulation process, and the size change mechanisms that may occur within the granulator. Taking into account the phases that coexist within the unit, Chapter 2 presents the mass and energy balances to describe the granulator steady-state operation. The results indicate that the solids and gas temperatures are practically the same, the evaporation of the urea solution water content is complete and the unit is almost adiabatic. Finally, the proposed model is validated using temperatures from an industrial plant. In Chapter 3, a CFBG dynamic model is formulated and its open-loop behavior is studied. The results indicate that most of the process variables exhibit slow dynamic responses. A steady-state sensitivity analysis shows that the product discharge area, the temperature and flowrate of the fluidization air are the most suitable manipulated variables to control the heights, temperatures and porosities of the fluidized beds. Recognizing that a complete description of the granulator operation requires the estimation of the product particle size distribution (PSD), Chapter 4 focuses on the derivation of the population balance equation (PBE). Calculated PSDs of the granular product are presented assuming different solids flow models and different number of granulation chambers. In Chapter 5, by means of the PBE, the product PSD dynamics is studied under disturbances imposed in different key granulator variables. The seeds PSD is the variable that most affects the PSD of the stream leaving the granulator. This granulometry can also be predicted satisfactorily using the macroscopic balances that allow calculating the geometric mean and standard deviation of the population. In Chapter 6, the granulator model is validated against experimental PSDs. A new numerical method is proposed to solve the population balance and elutriation is included as another phenomenon that affects the size of the particles within the granulator. The performed changes lead to a steady-state urea granulator model that reproduces the industrial operation successfully. Finally, in Chapter 7, the more important outcomes are summarized. Also, future research lines related with the granulators modeling are presented.