

# **Título de la Tesis: “Ingeniería del equilibrio entre fases de procesos de producción de biodiesel”**

**Doctorado en Ingeniería Química**

**Autor: Cotabarren, Ivana M.**

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

## **Resumen**

El ritmo de aplicación de los procesos que manejan sólidos particulados ha crecido significativamente. Sin embargo, la complejidad de los fenómenos físicos/químicos que tienen lugar ha limitado la mejora continua de los mismos. Por ejemplo, las plantas de granulación (industrias cuyos procesos aumentan el tamaño de partículas) distan de operar bajo condiciones óptimas, presentando frecuentes problemas operativos y paradas indeseadas. A menudo los desafíos operativos se resuelven por prueba y error, en lugar de ser enfrentados utilizando principios científicos. Considerando que la urea es el fertilizante nitrogenado más usado, que la tecnología líder para su producción es la granulación en lechos fluidizados y que existe una falta de entendimiento de los principios fundamentales que gobiernan la operación de plantas de granulación, esta Tesis se centra en el desarrollo de herramientas matemáticas que permitan la operación eficiente de circuitos de granulación de fertilizantes. En particular, el circuito de granulación de urea bajo estudio está constituido por: una unidad central de granulación (lecho fluidizado multicámaras) donde se produce el crecimiento de las partículas, un enfriador aguas abajo; una zaranda de clasificación que separa (mediante el uso de dos mallas de diferentes aperturas) la corriente de salida del enfriador en material en especificación (producto), material de tamaño mayor que el deseado (gruesos) y material más fino que el producto (finos); y un molino de rodillos (constituido por dos pares de rodillos) que reduce el tamaño de los gruesos para ser reciclados al granulador junto con los finos provenientes de la zaranda. En primer lugar se presentan los modelos correspondientes al molino de rodillos y la zaranda vibratoria. Los parámetros involucrados en los modelos son ajustados a partir de datos experimentales disponibles de una planta de granulación de urea de alta capacidad. En cuanto al granulador, se implementa un modelo desarrollado previamente en nuestro grupo de investigación. Por su parte, en esta Tesis se desarrolla el modelo de un enfriador de lecho fluidizado basado en el modelo del equipo de granulación. Luego de haber validado los modelos que presentan parámetros de ajuste usando información experimental, se presenta un simulador completo del circuito de granulación de urea. El mismo resulta de la integración de los modelos de todos los equipos descritos anteriormente y de la implementación de la corriente de reciclo (de material fuera de especificación) que ingresa al granulador. Una vez que se verifica la capacidad del simulador

para reproducir los datos industriales disponibles, se realiza un análisis de sensibilidad donde se determinan las variables operativas y/o de diseño que más afectan la performance del

circuito. El análisis dinámico de respuesta a lazo abierto del sistema ante diversas perturbaciones refleja que la dinámica de este tipo de circuitos resulta extremadamente compleja de predecir sin contar con un simulador que facilite esta tarea.

Para finalizar, se analizan diversos casos de optimización de estado estacionario relevantes para la práctica industrial, con el objeto de encontrar nuevos puntos operativos manipulando variables operativas y/o de diseño. Considerando que la dinámica de los circuitos de granulación suele ser oscilante en el tiempo a causa del reciclo, también se postulan optimizaciones dinámicas formuladas como problemas de control óptimo. Este último estudio resulta de utilidad para identificar los cuellos de botella que limitan, en particular, los aumentos de capacidad de planta y para analizar posibles acciones tendientes a superarlos. En síntesis, en esta Tesis se desarrolla un simulador dinámico que permite representar la operación de un circuito de granulación de urea de manera apropiada, ofreciendo un recurso en condiciones de ser aplicado para múltiples propósitos: evaluar cambios de diseño o

**Título de la Tesis: “Ingeniería del equilibrio entre fases de procesos de producción de biodiesel”**

**Doctorado en Ingeniería Química**

**Autor: Cotabarren, Ivana M.**

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

diagrama de flujo, ser usado como herramienta de capacitación, valorar el efecto de diferentes perturbaciones, estudiar distintos escenarios a lazo abierto o cerrado, etc.

# **Título de la Tesis: “Ingeniería del equilibrio entre fases de procesos de producción de biodiesel”**

**Doctorado en Ingeniería Química**

**Autor: Cotabarren, Ivana M.**

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

## **Abstract**

Studies about particle technology have grown significantly during the last years. However, the complexity of the involved physical/chemical phenomena has limited the improvement of the processes that handle particulate solids. For example, granulation plants (i.e., industries dedicated to the particles size enlargement) operate far from optimal conditions, with frequent operating problems and plant shutdowns. The operating challenges are often overcome by trial and error instead of being solved by means of scientific principles. Taking into account that urea is the most widely used nitrogen based fertilizer, fluidized bed granulation is the leading technology for its production and that there is a lack of understanding of the fundamental principles governing the operation of granulation plants, this Thesis focuses on the development of mathematical tools to allow the efficient operation of fertilizer granulation circuits. In particular, the urea granulation circuit under study includes: a central granulation unit (multichamber fluidized bed) where particles growth takes place; a fluidized-bed cooler downstream the granulator; a double-deck vibrating screen (using two decks of different mesh openings) that separates the material that leaves the cooler into particles on specification (product), material bigger (oversize) and smaller (fines) than the desired product size; and a double-roll crusher that reduces the size of oversize particles which are recycled to the granulator together with the fines classified by the screen. The mathematical models for the crusher and screen are first presented. The required model parameters are fitted considering experimental data available from a high capacity urea plant. Regarding the granulation unit, a model previously developed in our research group is used. In this Thesis, the fluidized bed cooler model is developed based on its similarity with the granulator mathematical representation. After proving the good capability of the individual models to represent experimental trends adequately, a simulator for the complete urea granulation circuit is presented. This is achieved by integrating the previously described models and by solving the recycle stream (off-specification material) that enters the granulator. Once the simulator ability to track the particle size distributions of the circuit solids streams is verified, a steady-state sensitivity analysis is performed in order to determine the operating and/or design variables that most affect the circuit performance. The non steady-state analysis, i.e. the study of the open-loop circuit behavior subject to different disturbances, indicates that the granulation circuit dynamics is extremely complex to be predicted without a simulator that facilitates this task. Finally, several steady-state optimization cases, relevant to the industrial practice, are studied with the aim of finding new operating points by manipulation of operating and/or design variables. Considering that granulation circuits usually present an oscillating behavior due to the recycle stream, dynamic optimizations formulated as optimal control problems are also performed. This latest study is useful not only to identify the bottlenecks that limit, for example, increments in plant capacity but also to analyze possible actions to overcome them. In summary, in this Thesis, a dynamic simulator to properly represent the operation of a urea granulation circuit is developed, providing a multi-task tool. In fact the simulator can be used to explore design changes or flowsheet variations, as a training tool, for evaluating the effect of different disturbances, to study different open or closed loop operations, etc.