

# Desarrollo de herramientas para la operabilidad de procesos productivos

Enrique E. Tarifa, Sergio L. Martínez, Samuel Franco Domínguez, Álvaro F. Nuñez, Andrea C. Nievez, Cristian D. Yurquina

Facultad de Ingeniería / Universidad Nacional de Jujuy / CONICET  
Ítalo Palanca N° 10 / S. S. de Jujuy / Provincia de Jujuy / Tel. 0388-4221591  
eetarifa@fi.unju.edu.ar; smartinez@fi.unju.edu.ar; sfdominguez@yahoo.com.ar;  
afnunez@fi.unju.edu.ar; andreacelez@hotmail.com; c.d.yurquina@hotmail.com

## Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo general desarrollar herramientas para la operabilidad de procesos productivos. Para ello se desarrollarán, adaptarán y aplicarán herramientas propias de la Ingeniería de Procesos. Los objetivos particulares del proyecto propuesto son los siguientes: 1) Desarrollar métodos para determinar y aumentar la flexibilidad de los procesos productivos; 2) Desarrollar sistemas de control avanzados para aumentar la controlabilidad y robustez de los sistemas productivos —en especial, se emplearán técnicas de Inteligencia Artificial—; 3) Desarrollar sistemas de diagnóstico de fallas para aumentar la operabilidad de los procesos productivos; 4) Desarrollar material para la enseñanza de Ingeniería Química (simuladores, optimizadores, sistemas de control, publicaciones y apuntes). Los procesos a estudiar serán procesos productivos vinculados a la industria química, a la industria de alimentos y a todo proceso productivo de la región que pueda beneficiarse con las herramientas a desarrollar.

**Palabras clave:** Operabilidad, Flexibilidad, Controlabilidad, Confiabilidad, Robustez.

## Contexto

El presente proyecto es financiado por SeCTER (Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales) y la Facultad de Ingeniería de la UNJu, y fue reconocido por el Programa de Incentivos con el código 08/D138

El proyecto propuesto se enmarca en las siguientes líneas prioritarias de la UNJu (Res. CS N°168/93):

- **Desarrollo Económico – Social Regional Sustentable:** Las herramientas a desarrollar en el proyecto servirán para aumentar la operabilidad de los procesos productivos de la región. En consecuencia, se favorecerá el desarrollo económico de la región.

## Introducción

El enfoque de estudio del proyecto propuesto es la operabilidad (Reay *et al.*, 2013; Kaya & Kahraman 2010). La operabilidad de un proceso productivo comprende las siguientes propiedades:

- **Flexibilidad:** Representa la capacidad del diseño de un sistema para obtener una operación en estado estacionario estable en un rango de condiciones inciertas que pueden encontrarse durante la operación de la planta, y es el primer paso que se debe considerar para la operabilidad de un diseño (Reay *et al.*, 2013; Wang & Zhang 2013).
- **Controlabilidad:** Puede ser definida como la facilidad con la cual un proceso continuo puede ser mantenido en un estado estable específico o deseado (Krishnan & Jayakumar, 2013; Escobar *et al.*, 2013).
- **Confiabilidad:** Hace referencia a la capacidad de todos los elementos que conforman la planta para funcionar continuamente por un periodo de tiempo se-

gún un conjunto de especificaciones o condiciones (Zambrano Contreras *et al.*, 2013).

- **Robustez:** Es la capacidad de un sistema de hacer mínima la variación de la medida de calidad de los productos ante variaciones de las condiciones de operación (Kaya & Kahraman, 2010).

Debido a que las propiedades enunciadas son importantes por sí mismas, existen trabajos que se centran en cada una de ellas. Los estudios de flexibilidad suelen enfocarse en la definición y posterior determinación de índices que capturen apropiadamente esta característica del proceso (Reay *et al.*, 2013; Wang & Zhang 2013). Entre las acciones a tomar para aumentar la flexibilidad de un proceso está la modificación de su diseño. En el aspecto de la controlabilidad, los estudios se orientan al planteo y verificación de condiciones que aseguren tal condición de los procesos (Krishnan & Jayakumar, 2013; Escobar *et al.*, 2013). Entre las acciones a tomar para mejorar la controlabilidad del proceso está la modificación del diseño y la implementación de un adecuado sistema de control. En el aspecto de la confiabilidad, los estudios tienen como objetivo determinar la probabilidad de ocurrencia de fallas y sus consecuencias (Zambrano Contreras *et al.*, 2013). En este caso, las acciones a tomar son preventivas (destinadas a disminuir la probabilidad de falla y sus consecuencias) y paliativas (producida la falla, se toman las medidas necesarias para atenuar sus efectos). En el aspecto de la robustez, los trabajos se concentran en el diseño de sistemas de control apropiados que se comporten adecuadamente en un rango amplio de condiciones de operación (Kaya & Kahraman, 2010). Finalmente, debido a que las acciones que se tomen para mejorar una propiedad también afectan a las restantes, existen trabajos que estudian simultáneamente dos o más de las citadas propiedades (Escobar *et al.*, 2013).

Es de destacar que los actuales estudios de operabilidad involucran cada vez más el uso de técnicas de Inteligencia Artificial (redes neuronales, sistemas expertos, lógica

*fuzzy*, entre otras), siendo los sistemas de control inteligentes los mejores exponentes de esta situación (Kaya & Kahraman, 2010). También se han aplicado con éxito estas técnicas para mejorar el diseño de los procesos, recurriendo en especial a estrategias evolutivas (Rakesh, 2006).

## Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación

El proyecto propuesto se enmarca en las siguientes líneas prioritarias de la UNJu (Res. CS N°168/93):

- **Desarrollo Económico – Social Regional Sustentable:** Las herramientas a desarrollar en el proyecto servirán para aumentar la operabilidad de los procesos productivos de la región.

El proyecto propuesto se enmarca principalmente en la siguiente línea prioritaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy:

- **Línea 3 - El estudio de procesos específicos o integrados que contribuyan a la cadena de valor de los productos obtenidos:** Esta línea comprende los siguientes temas: Análisis, diseño y síntesis óptima de procesos; Simulación y optimización de procesos; Operación y mantenimiento de procesos; Supervisión y control de procesos; Sistemas de apoyo a la toma de decisiones en procesos; Integración de masa y energía; Análisis de la Performance de procesos. Los resultados a obtener con el proyecto propuesto están vinculados a todos los temas citados.

Por otra parte, el proyecto propuesto también involucra temas de los Lineamientos estratégicos 2012-2015 planteados en el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, que comprende:

1) Agroindustria:

- a) **Procesamiento de alimentos:** Uno de los procesos característicos de la región a estudiar está en el sector de concentración de jugo de una planta procesadora de tomate. Uno de los integrantes del grupo *IngProAr*, el Ing. Álvaro Núñez,

está desarrollando una tesis doctoral sobre ese tema.

2) Energía:

a) **Tecnología para petróleo y gas:** El director del proyecto, Dr. Enrique Tarifa, dirige dos tesis doctorales vinculadas con el tratamiento del gas natural y una beca de postgrado vinculada con el tratamiento primario del petróleo. Por lo tanto, las herramientas a desarrollar en este proyecto y las temáticas de estudio de las tesis están sólidamente vinculadas.

3) Industria:

a) **Transformación de recursos naturales en productos industriales de alto valor agregado:** El grupo *IngProAr* incorporó al proyecto a una becaria CIN, la estudiante Andrea Nieves, quien trabajará en la optimización de plantas de litio. Por lo tanto, las herramientas a desarrollar en el proyecto en consideración serán aplicadas también en esta área.

Finalmente, la aplicación de las herramientas a desarrollar para aumentar la operabilidad de procesos productivos implicará aumentos en la producción y en la calidad de la misma, con los consecuentes efectos positivos sobre la sociedad

## Objetivos y Resultados

El presente proyecto tiene como objetivo general desarrollar herramientas para la operabilidad de procesos productivos. Para ello se desarrollarán, adaptarán y aplicarán herramientas propias de la Ingeniería de Procesos.

Los objetivos particulares del proyecto propuesto son los siguientes:

- 1) Desarrollar métodos para determinar y aumentar la flexibilidad de los procesos productivos.
- 2) Desarrollar sistemas de control avanzados para aumentar la controlabilidad y robustez de los sistemas productivos. En especial, se emplearán técnicas de Inteligencia Artificial.
- 3) Desarrollar sistemas de diagnóstico de fallas para aumentar la operabilidad de los procesos productivos.

4) Desarrollar material para la enseñanza de Ingeniería Química: simuladores, optimizadores, sistemas de control, publicaciones y apuntes.

Los procesos a estudiar serán procesos productivos vinculados a la industria química, a la industria de alimentos y a todo proceso productivo de la región que pueda beneficiarse con las herramientas a desarrollar.

Para el nivel de desarrollo actual del proyecto, se realizaron diversas actividades como se detalla.

### *Publicaciones internacionales*

- Martínez J., Ale Ruiz L., Vega J.M., Carrera M.C., Erdmann E., Tarifa E.E., “Topping Process Using Different Methodologies”, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), ISSN (e): 2250-3021, ISSN (p): 2278-8719, Vol. 04, Issue 04 (April. 2014), ||V1|| PP 30-40, 2014.
- Benitez L.A., Gutiérrez J.P., Erdmann E., Ale Ruiz L., Tarifa E. E., “Two Novel and Simple Correlations to Estimate Equilibrium Water Dew Point for Natural Gas Dehydration Process”, Journal of Engineering Research and Applications, ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 4( Version 1), April 2014, pp.114-119, 2014

### *Publicaciones nacionales*

- Benitez L.A., Gutierrez J.P., Ale Ruiz L., Erdmann E., Tarifa E., “Simulación y Diseño del Proceso de Deshidratación de una Planta de Acondicionamiento de Gas Natural”, III Reunión Interdisciplinaria de Tecnología y Procesos Químicos - RITeQ 2014, 13 al 16 de abril de 2014, Los Cocos, Córdoba, Argentina, 2014.
- Martinez J., Ale Ruíz L., Erdmann E., Tarifa E.E., “Integración Energética de la Destilación Primaria del Crudo”, III Reunión Interdisciplinaria de Tecnología y Procesos Químicos - RITeQ 2014, 13 al 16 de abril de 2014, Los Cocos, Córdoba, Argentina, 2014.
- Tarifa E.E., Núñez A.N., Martínez S., Argañaraz J.F., “Implementación de un Aula Virtual en el Ciclo Superior de Inge-

nería Química”, II Congreso Argentino de Ingeniería, CADI 2014, del 17 al 19 de septiembre de 2014, San Miguel de Tucumán, 2014.

- Nievez A.C., Franco Domínguez S., Tarifa E.E., “Análisis Técnico-Ambiental de la Producción de Carbonato de Litio en Jujuy”, II Congreso Argentino de Ingeniería, CADI 2014, del 17 al 19 de septiembre de 2014, San Miguel de Tucumán, 2014.
- Núñez A.F., Tarifa E.E., Franco Domínguez S., “Análisis de la distribución estadística de sólidos solubles y pH en jugos de tomate”, II Congreso Argentino de Ingeniería, CADI 2014, del 17 al 19 de septiembre de 2014, San Miguel de Tucumán, 2014.
- Martínez S. L., Tarifa E. E., Franco Domínguez S., “Diseño simplificado de controladores fuzzy MIMO con estructuras fuzzy SISO”, XX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2014), 20 al 24 de octubre de 2014, San Justo, Buenos Aires, 2014.

## Formación de recursos humanos

El equipo de trabajo está formado por profesores, graduados y pasantes de la Facultad de Ingeniería, quienes desarrollaron las siguientes actividades en la formación de recursos humanos:

### *Becas doctorales*

- Dirección de la beca posdoctoral “Optimización del proceso de destilación primaria del petróleo (topping)”, becaria Dra. Julieta Martínez (DNI: 27.175.420), UNSa, beca posdoctoral de CONICET, desde 2012.
- Dirección de tesis doctoral del Ing. Álvaro F. Núñez, con beca doctoral de la ANPCyT, desde 2009. Cursa el Doctorado Regional en Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Facultad de Ingeniería de la UNJu. Tesis doctoral “Simulación, optimización y control de procesos de la in-

dustria alimentaria de la región”. Director: Dr. Enrique Tarifa

- Ing. Leonel Benítez, con beca doctoral de CONICET, desde 2011. Cursa el Doctorado en Ingeniería en la Facultad de Ingeniería de la UNSa. Tesis doctoral “Desarrollo de procedimientos óptimos de operación para el sector de ajuste de punto del rocío en plantas de acondicionamiento de gas natural”. Director: Dr. Enrique Tarifa.

### *Becas en investigación*

- Beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas, CIN, 2014-2015. Tema “Optimización de una planta industrial de litio”. Becaria Andrea Celeste Nievez, estudiante de Ingeniería Química en la Facultad de Ingeniería de la UNJu. Director Dr. Enrique Tarifa.
- Beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas, CIN, 2014-2015. Tema “Control Inteligente para piletas de concentración de una planta procesadora de litio”. Becario Cristian D. Yurquina, estudiante de Ingeniería Química en la Facultad de Ingeniería de la UNJu. Director Mg. Ing. Sergio L. Martínez.

## Referencias

- Escobar M., Trierweiler J. O., Grossmann I. E., “Simultaneous Synthesis of Heat Exchanger Networks with Operability Considerations: Flexibility and Controllability”, *Computers & Chemical Engineering*, Volume 55, 8 August 2013, Pages 158-180, ISSN 0098-1354, 2013.
- Kaya İ., Kahraman C., “A new perspective on fuzzy process capability indices: Robustness”. *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no 6, p. 4593-4600, 2010.
- Krishnan B., Jayakumar K., “Controllability of fractional dynamical systems with prescribed controls”, *IET Control Theory & Applications*, vol. 7, no 9, p. 1242-1248, 2013.

Reay D., Ramshaw C.; Harvey A., *Process Intensification: Engineering for efficiency, sustainability and flexibility*. Butterworth-Heinemann, 2013.

Wang X., Zhang J., “Process Flexibility: A Distribution-Free Bound on the Performance of K-Chain”, (August 16, 2013). Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2311268> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2311268>.

Zambrano Contreras S., Tarantino Alvarado R., Aranguren Zambrano S., Agudelo Gómez C., “Metodología para identificación de fallos críticos en procesos industriales basada en técnicas de confiabilidad operacional”, *Revista colombiana de tecnologías de avanzada (RCTA)*, vol. 2, no 20, 2013.