



**Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI**

Innovación en las facultades de ingeniería:  
el cambio para la competitividad y la sostenibilidad

Centro de Convenciones Cartagena de Indias

4 al 7 de octubre de 2016

# **INTEGRACIÓN DE LA SEGURIDAD DE PROCESOS EN UN PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**Juliana Puello Méndez, Leopoldo Villadiego Coneo, Adriana Pareja Rico**

**Universidad de San Buenaventura  
Cartagena, Colombia**

## **Resumen**

A lo largo de la historia, han ocurrido incidentes catastróficos en industrias químicas, los cuales han captado la atención de los medios a nivel internacional, afectando la percepción que el público tiene acerca de los procesos industriales. A pesar de los esfuerzos por mitigar los riesgos y evitar los accidentes asociados a los procesos industriales, estos continúan ocurriendo. Estos factores han evidenciado la necesidad de crear una cultura de seguridad de procesos que inicie en las aulas, y que a su vez repercuta en la sostenibilidad de las empresas. Para esto, se requiere ajustar y modificar el alcance de la educación y la investigación en la ingeniería química, de manera que en los cursos del plan de estudios se incluyan tópicos relacionados con la seguridad de procesos. En este trabajo se presenta la experiencia que se ha tenido en el programa de Ingeniería Química de la Universidad de San Buenaventura, gracias a un programa de intercambio que inició desde el 2014 con el Mary Kay O'Connor Process Safety Center de la Universidad de Texas A&M. Con este programa de movilidad de estudiantes, egresados, docentes y directivos, se ha buscado fortalecer y proyectar la formación impartida en el programa, con un enfoque en Seguridad de Procesos. Se describen las actividades realizadas en diferentes escenarios, a partir de las cuales se han identificado las temáticas que se pueden incluir en los cursos del plan de estudios.

**Palabras clave:** ingeniería química; seguridad de procesos

## ***Abstract***

*Throughout history, catastrophic incidents have occurred in chemical industries. These accidents have attracted media attention worldwide and have affected the perception that the public has about industrial processes. Despite efforts to mitigate risks and avoid accidents associated with industrial processes, these continue to*

*occur. These factors have highlighted the need to create a culture of process safety that begins in the classroom, and which in turn impact on the sustainability of the companies. For this, it is necessary to adjust and modify the scope of education and research in chemical engineering, so that in the courses, topics related to process safety are included. This work presents the experience between the University of San Buenaventura Chemical Engineering Program and the Mary Kay O'Connor Process Safety Center, at the Texas A&M University. The mobility of students, graduates, professors and department heads, has sought to strengthen and project the training in the program, with a focus on Process Safety. This work describes the activities that have been done in different scenarios of this experience, and how this has helped identifying the topics of process safety that can be included in the Chemical Engineering Program courses.*

**Keywords:** *chemical engineering; process safety*

## 1. Introducción

En 1987, Robert Solow, del Massachusetts Institute of Technology, recibió el Premio Nobel de Economía por su trabajo sobre la identificación de las bases del crecimiento económico. Una de las conclusiones del trabajo de Solow señaló que la principal base del crecimiento de una economía son los avances tecnológicos. Es razonable concluir que el crecimiento de una industria depende también de los avances tecnológicos, lo cual es verdadero, especialmente en la industria química, que está en constante desarrollo de procesos cada vez más complejos: por ejemplo, cada vez se usan presiones más altas, se emplean químicos cada vez más reactivos y a su vez se diseñan materiales y equipos que puedan resistir estas condiciones. A medida que los procesos se hacen más complejos, se requiere tecnología más compleja para garantizar la seguridad de los mismos. Muchos industriales han llegado a considerar que el desarrollo y la aplicación de tecnologías para garantizar la seguridad de los procesos, constituye una restricción para el crecimiento de la industria química. A medida que la tecnología utilizada en los procesos se hace más compleja, los ingenieros químicos necesitan en su formación las bases que les proporcionen una comprensión detallada y fundamental sobre la seguridad de procesos. (Crowl and Louvar, 2011)

Con este trabajo se busca socializar la experiencia del Programa de Ingeniería Química de la Universidad de San Buenaventura en el proceso de inmersión de sus miembros (estudiantes, egresados, docentes y directivos) en el área de seguridad de procesos. El objetivo es motivar la extensión de estos tópicos a otras ramas de la ingeniería, de manera que se concentren los esfuerzos necesarios en la formación de los estudiantes, y a su vez estos esfuerzos repercutan en la calidad de los procesos de producción en Colombia. Se presenta una introducción general sobre lo que es la seguridad de procesos, y las áreas más comunes de investigación y desarrollo. También se describe cómo la seguridad de procesos ha cobrado fuerza en los últimos años en la formación de ingenieros químicos, y por último se describen las actividades que el Programa de Ingeniería Química de la Universidad de San Buenaventura ha realizado.

## 2. La seguridad de procesos en la industria

Desde mediados del siglo XX, se han logrado avances tecnológicos significativos en el área de seguridad en procesos químicos. Hoy en día, la seguridad es tan importante como la producción, y se ha convertido en una disciplina científica que incluye un gran número de teorías y prácticas complejas. Algunos ejemplos de la tecnología desarrollada en seguridad de procesos comprenden modelos hidrodinámicos para representar el flujo bifásico a través de un dispositivo de alivio en un tanque, modelos de dispersión para representar la propagación de un vapor tóxico en una planta, después de un escape y técnicas matemáticas para determinar las diferentes formas en que pueden fallar los procesos y la probabilidad de dichas fallas.

Coloquialmente, la seguridad de procesos trata de evitar que se presenten escapes de sustancias que representen un peligro de explosión cuando hacen contacto con el aire, o que puedan intoxicar a las personas; la seguridad de procesos también trata de que no se presenten fallas en los equipos y en los materiales con los que se fabrican los equipos, para evitar las pérdidas, todo con un enfoque y rigor ingenieril, basado en cálculos, leyes y teorías propias de la ingeniería. Los avances recientes en la seguridad en plantas químicas hacen énfasis en el uso de herramientas tecnológicas apropiadas que proporcionen información para tomar decisiones sobre seguridad, en cuanto al diseño y operación de la planta. La palabra “seguridad”, se usaba anteriormente sólo para indicar la estrategia de prevención de accidentes mediante el uso de elementos de protección personal (cascos, botas, y una variedad de reglas y regulaciones). Recientemente, el término “seguridad” ha sido reemplazado por el de “prevención de pérdidas”. Este término comprende la identificación de peligros, la evaluación técnica y el diseño de nuevas ingenierías para prevenir pérdidas. Comúnmente se considera que los términos “seguridad” y “prevención de pérdidas” tienen el mismo significado. Para mayor claridad, se debe tener en cuenta que los términos “seguridad” y “prevención de pérdidas” se refieren a la prevención de accidentes mediante el uso de tecnologías apropiadas que permiten identificar los peligros de una planta química, y los eliminan antes de que ocurra un accidente; un “peligro” se refiere a una condición física o química que tiene el potencial de causar daño a las personas, al medio ambiente y a las propiedades. Por otra parte, un “riesgo” es una medida de cuánto se afectan las personas, el medioambiente, así como de las pérdidas económicas en términos tanto de la probabilidad de que ocurra el incidente como de la magnitud de las pérdidas o del efecto sobre las personas.

El interés por desarrollar procesos más seguros se ha originado por la ocurrencia de accidentes catastróficos en los que se presentaron grandes cifras en pérdidas humanas, impacto al medioambiente y en la economía de las industrias. Uno de los peores accidentes en la historia de la industria de procesos es el de Bhopal, India, en 1984. La noche del 2 al 3 de diciembre de 1984, la fábrica de pesticidas de Union Carbide en Bhopal sufrió un escape de unas 40 toneladas métricas de isocianato de metilo (MIC) que se extendió por toda la ciudad, en el centro de India. Cerca de medio millón de personas se vieron expuestas al escape. Debido al gas tóxico murieron entre 7.000 y 10.000 personas en la primera semana y cerca de 25.000 personas perdieron la vida en los siguientes 20 años (Atherton and Gil, 2008). Otros accidentes importantes son los reportados en New London (Estados Unidos, 1937), Flixborough (Reino Unido, 1974), Seveso (Italia, 1976), Cubatao (Brasil, 1984), Piper Alpha (Reino Unido, 1988), Las Tejerías (Venezuela, 1993), Usumacinta (México, 2007), Deepwater Horizon (Golfo de México, 2010), Dosquebradas (Colombia, 2011). (Muñoz, *et al.*, 2016)

Después de la catástrofe en Bhopal, India, 1984, las industrias solicitaron al Instituto American Institute of Chemical Engineers (AIChE) liderar un esfuerzo colaborativo para eliminar los incidentes catastróficos en procesos, mediante avances en el estado del arte en tecnología y prácticas de gestión, siendo este el primer recurso para suministrar información y brindar apoyo en seguridad de procesos en ingeniería, y así promover esta disciplina como un valor clave en la industria, que de esta manera inició su respuesta de la industria ante el trágico evento de Bhopal. En 1985, AIChE formó el Center for Chemical Process Safety (CCPS), con diecisiete compañías como miembros. El CCPS ha aportado numerosas publicaciones guía para implementar programas de seguridad de procesos en la industria, y lidera el programa SACHE (Safety in Chemical Engineering Education) para currículos de universidades (American Institute of Chemical Engineers)

### **3. Elementos de seguridad de procesos en las industrias químicas**

La seguridad de procesos se basa en cuatro elementos que son: El compromiso con la seguridad de procesos, la comprensión de los riesgos y peligros, la gestión de riesgos y el aprendizaje a partir de la experiencia. Estos elementos derivan en áreas técnicas que pueden ser diseñadas e implementadas en varios niveles de rigor para optimizar su gestión, desempeño, eficiencia y eficacia. Como breve descripción de estos elementos, se tiene que el compromiso con la seguridad de procesos es la base de la excelencia en el área de la seguridad de procesos.

Este compromiso logra que el personal esté activamente involucrado, que la organización apoye completamente la seguridad de procesos como un valor central, y así es posible llevar a cabo las actividades necesarias, en la forma correcta y en el momento correcto, sin necesidad de supervisión. La comprensión de los riesgos y peligros es la base del enfoque basado en el riesgo, que permite distribuir y asignar recursos limitados de la manera más efectiva posible. Por otra parte, la gestión de riesgos es la ejecución de tareas de seguridad de procesos con base en los riesgos que se puedan presentar. La gestión de riesgos permite que una compañía afronte mejor los riesgos resultantes, para mantener sus operaciones libres de accidentes y rentables a largo plazo. Por último, en el aprendizaje a partir de la experiencia, la métrica proporciona retroalimentación directa de los sistemas de seguridad de procesos basados en riesgos (RBPS por sus iniciales en inglés); de esta manera se pueden identificar señales de alarma tempranas de resultados no efectivos en seguridad de procesos. Las organizaciones deben tener en cuenta los errores propios y ajenos como motivación para tomar acciones, y considerarlos como oportunidades de mejora. (Mannan, 2005)

### **4. La seguridad de procesos como área crucial de formación en currículos de ingeniería química**

Desde hace varios años, el papel de la seguridad de procesos en cursos de pregrado y posgrado se considera como un componente crítico en la formación de ingenieros químicos. En el 2011, la Junta de Acreditación en Ingeniería y Tecnología de Estados Unidos (ABET por sus iniciales en inglés), que es una organización gubernamental reconocida por el Consejo para la Acreditación en Educación Superior (también en Estados Unidos), rectificó los requisitos para programas de ingeniería química, bioquímica, biomolecular y afines. El

cambio consistió en la adición de una cláusula indicando que el currículo de dichos programas no solo debía incluir la aplicación ingenieril de la química, física y/o biología al diseño, análisis y control de procesos, sino que también debía incluir los peligros asociados a los procesos. Por lo tanto, los departamentos de ingeniería en Estados Unidos debieron ajustar sus currículos con el fin de cumplir el nuevo requerimiento que se haría efectivo en las evaluaciones durante los años 2012 y 2013. (Dee, *et al.*, 2015). En Colombia, por lo general, los programas de ingeniería química ofrecen el curso de Seguridad e Higiene Industrial; sin embargo, igual que lo reportado en análisis de los cursos en Norteamérica, estos cursos de Seguridad e Higiene Industrial no representan la temática ni la intensidad sugerida por la ABET para formación en seguridad de procesos. Aparte de esto, la carrera de ingeniería química ya cuenta con un número importante de materias, lo cual deja muy poco espacio para incluir un curso específico para seguridad de procesos. Lo anterior sugiere la necesidad de establecer estrategias pedagógicas para incluir el componente de seguridad de procesos tanto en los cursos núcleo (termodinámica, balance de materia y energía, fenómenos de transporte de masa, cantidad de movimiento y calor, cinética e ingeniería de las reacciones, control de procesos, laboratorio de ingeniería química, diseño y/o proyecto) como en las electivas profesionales y complementarias.

Desde mediados del 2014 la Universidad de San Buenaventura inició el proceso de inmersión en el área de Seguridad de Procesos con una conferencia dictada por el Doctor Sam Mannan, Director Ejecutivo del Mary Kay O'Connor Process Safety Center (MKOPSC), con motivo del XXIV Encuentro Nacional de Estudiantes de Ingeniería Química y de Procesos, organizado por los estudiantes de ingeniería química de la Universidad de San Buenaventura Cartagena. A partir de entonces, se generó un convenio de movilidad internacional con el MKOPSC gracias al esfuerzo conjunto de la Universidad de San Buenaventura y el MKOPSC, en el que estudiantes, profesores y directivos han participado en diversas experiencias académicas e investigativas que buscan fortalecer tanto la investigación como la internacionalización del programa en el área de seguridad de procesos, y a su vez ha permitido identificar la temática que debe incluirse en los cursos del plan de estudios. El convenio de movilidad establecido entre el Programa de Ingeniería Química de la Universidad de San Buenaventura Cartagena y el MKOPSC se fortaleció gracias a que en Colombia, a inicios del 2016, el Consejo Profesional de Ingeniería Química acordó con los directivos de programas de ingeniería química la inclusión de tópicos relacionados con seguridad de procesos en el plan de estudios de Ingeniería Química, en respuesta a la cláusula que la ABET incluyó en los requerimientos de formación en ingeniería química y programas afines. En Colombia, la Universidad de Los Andes ha sido pionera en el área de seguridad de procesos, y entre las actividades que adelanta en la actualidad, cuenta con un programa de investigación establecido con empresas y universidades que tiene como objetivo el desarrollo de módulos educativos para su implementación y seguimiento en programas de ingeniería química a nivel nacional, entre los cuales se encuentra la Universidad de San Buenaventura.

A manera de información, el Centro de Seguridad de Procesos Mary Kay O'Connor (MKOPSC) es un centro de investigación, desarrollo y educación adscrito a la Universidad de Texas A&M en College Station, Texas, el cual fue establecido en 1995 en honor a una superintendente de operaciones que murió en una explosión el 23 de octubre de 1989 en el Complejo de Phillips Petroleum, en Pasadena, Texas. En 1997, el Doctor Sam Mannan, debido a su reputación como experto a nivel mundial en el área de seguridad de procesos, fue designado como director del centro. La misión de este centro es promover la seguridad como una segunda naturaleza en la

industria mundial, con el objetivo de prevenir futuros accidentes. De esta manera el MKOPSC ha logrado generar una red de conocimiento en la que se desarrollan programas y actividades que buscan cambiar el paradigma de la seguridad de procesos. La Universidad de San Buenaventura también participa activamente en la red de conocimiento generada por el MKOPSC.

## 5. Actividades del programa de inmersión en seguridad de procesos de la Universidad de San Buenaventura Cartagena

A continuación, una breve descripción de las actividades realizadas desde el inicio del programa:

*Fecha:* Julio 16 de 2014.

*Actividad:* Conferencia magistral “Process safety analysis to establish the root causes in catastrophic accidents” XXIV ENEIQ, 2014.

*Participante(s) y/o encargado(s):* Dr Sam Mannan, Director Ejecutivo del Mary Kay O’Connor Process Safety Center, College Station, TX.

*Descripción:* Introducción general sobre seguridad de procesos y análisis de accidentes catastróficos (Bhopal India 1984 y Transbordador Columbia (2003).

*Fecha:* Enero 2015 – Julio 2015 (6 meses)

*Actividad:* Pasantía de investigación a nivel de pregrado.

*Participante(s) y/o encargado(s):* Tres estudiantes de décimo semestre de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena, Un trabajador de la Refinería de Cartagena, estudiante del programa de profesionalización de Ingeniería Química.

*Descripción:* Proyecto - Trabajo de grado “Application of HAZOP, LOPA and SIL to the alkylation unit catalyzed with hydrofluoric acid at Ecopetrol Refinery in Cartagena – Colombia”, apoyo a actividades de investigación de estudiantes de posgrado y profesores en el MKOPSC, socialización de resultados ante miembros del MKOPSC, asistencia a cursos, eventos y reuniones de comité en seguridad de procesos.

*Fecha:* Agosto 2015 – Febrero 2016 (6 meses)

*Actividad:* Pasantía de investigación a nivel de pregrado.

*Participante y/o encargados:* Una estudiante de décimo semestre de Ingeniería Química.

*Descripción:* Proyecto de investigación en reacciones no controladas, uso de software especializado para análisis termodinámico de reacciones, socialización de resultados ante miembros del MKOPSC, asistencia a cursos, eventos y reuniones de comité en seguridad de procesos.

*Fecha:* Septiembre de 2015

*Actividad:* Ponencia en Semana de la Ciencia, Tecnología e Investigación, Universidad de San Buenaventura Cartagena

*Participante(s) y/o encargado(s):* Tres egresadas del Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena.

*Descripción:* Ponencia “Aplicación de las metodologías HAZOP, LOPA y SIL al proceso de alquilación catalizado con ácido fluorhídrico de la refinería de Ecopetrol S.A. Cartagena Colombia”.

*Fecha:* Octubre de 2015.

*Actividad:* Ponencia en III Congreso Bonaventuriano de Investigación.

*Participante(s) y/o encargado(s):* Profesora Investigadora del Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena.

*Descripción:* Ponencia a nivel nacional vía RENATA para las seccionales Bogotá, Medellín, Cali y Cartagena “Application of HAZOP, LOPA and SIL to the alkylation unit catalyzed with hydrofluoric acid at Ecopetrol Refinery in Cartagena – Colombia”.

*Fecha:* Octubre 2015 – Abril 2016 (6 meses).

*Actividad:* Pasantía de investigación.

*Participante(s) y/o encargado(s):* Egresado del Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena (2015).

*Descripción:* Apoyo a actividades de investigación de estudiantes de posgrado y profesores en el MKOPSC, socialización de resultados ante miembros del MKOPSC, asistencia a cursos, eventos y reuniones de comité en seguridad de procesos.

*Fecha:* Noviembre 2015 – Enero 2016 (3 meses).

*Actividad:* Pasantía de investigación.

*Participante(s) y/o encargado(s):* Profesora Investigadora del Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena.

*Descripción:* Desarrollo de tema de investigación para seminario “Peligros y riesgos en plantas de coquización retardada”, identificación de temas de seguridad de procesos para ajuste de currículo de cursos del plan de estudios en la Universidad de San Buenaventura Cartagena, gestión con profesores y directivos para continuidad del programa de movilidad, presentación de seminario ante miembros del MKOPSC, asistencia a cursos, eventos y reuniones de comité en seguridad de procesos.

*Fecha:* Diciembre 2015 (1 semana)

*Actividad:* Visita académica.

*Participante(s) y/o encargado(s):* Decano de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño de la Universidad de San Buenaventura Cartagena.

*Descripción:* Gestión con profesores y directivos del centro y de la Universidad de Texas A&M para continuidad del programa de movilidad, presentación de seminario “Desarrollo sostenible en zonas costeras – Caso La Boquilla en Cartagena” ante miembros del MKOPSC.

*Fecha:* Febrero 2016

*Actividad:* Nueva línea de investigación en el semillero SIMMYS (Semillero de Investigación en Modelamiento y Simulación de Procesos) de la Universidad de San Buenaventura Cartagena.

*Participante(s) y/o encargado(s):* Profesora Investigadora y Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena.

*Descripción:* Inicio de proyectos de investigación a nivel de pregrado, con miras a desarrollo de trabajos de grado y formación investigativa.

*Fecha:* Febrero 2016 – Junio 2016

*Actividad:* Participación en proyecto liderado por Uniandes-Ecopetrol para el desarrollo, implementación y seguimiento de módulos de seguridad de procesos.

*Participante(s) y/o encargado(s):* Directora de Programa y Profesora Investigadora del Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena, Profesores Programa de Ingeniería Química Universidad de San Buenaventura Cartagena.

*Descripción:* Asistencia a reunión de socialización de objetivos del proyecto, recepción y revisión de material pedagógico (módulos), coordinación de actividades para la implementación de módulos en el plan de estudios.

*Fecha:* Marzo 2016

*Actividad:* Charla de inducción a estudiantes de la Especialización en Ingeniería de Procesos de Refinación de Petróleo y Petroquímicos Básicos, de la Universidad de San Buenaventura Cartagena.

*Participante y/o encargados:* Profesora Investigadora del Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena.

*Descripción:* Peligros y riesgos asociados a plantas de coquización retardada en refinerías.

*Fecha:* Abril 2016

*Actividad:* Charla "Seguridad de Procesos"

*Participante(s) y/o encargado(s):* Directora de Programa y Profesora Investigadora del Programa de Ingeniería Química, Universidad de San Buenaventura Cartagena.

*Descripción:* Conceptos generales sobre seguridad de procesos, peligros y riesgos asociados a plantas de coquización retardada en refinerías.

*Fecha:* Abril 2016

*Actividad:* Desarrollo de trabajos técnicos para el XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Química 2016

*Participante(s) y/o encargado(s):* Profesora Investigadora y estudiantes miembros del semillero SIMMYS (Semillero de Investigación en Modelamiento y Simulación de Procesos), Universidad de San Buenaventura Cartagena.

*Descripción:* Trabajos técnicos sobre peligros y riesgos asociados a plantas de coquización retardada en refinerías, y peligros y riesgos en plantas de generación de hidrógeno en refinerías.

*Fecha:* Abril 2016

*Actividad:* Jornada de capacitación para la implementación de módulos educativos en seguridad de procesos.

*Participante(s) y/o encargado(s):* Profesores líderes de proyecto Uniandes-Ecopetrol para el desarrollo, implementación y seguimiento de módulos de seguridad de procesos. Asistieron: Profesores Programa de



Ingeniería Química Universidad de San Buenaventura Cartagena, SENA Cartagena, Asociación Colombiana de Ingeniería Química Capítulo Bolívar, Representantes de la industria en Cartagena.

*Descripción:* Socialización de módulos sobre conceptos generales en seguridad de procesos, integridad mecánica, reacciones fuera de control y técnicas de análisis de riesgos.

*Fecha:* Junio 2016

*Actividad:* Participación en Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación

*Participante y/o encargados:* Cuatro estudiantes miembros del semillero SIMMYS (Semillero de Investigación en Modelamiento y Simulación de Procesos).

*Descripción:* Participación con propuestas de investigación: HAZOP de una planta de amoníaco en Cartagena, y Peligros asociados a la operación de plantas de coquización retardada en refinerías. Ambos proyectos clasificaron al Encuentro Nacional de Semilleros 2016.

Como actividades proyectadas se tienen el desarrollo de una tesis de Maestría en Diseño de Procesos y Productos, en el área de Seguridad de Procesos por parte de la Directora de Programa de Ingeniería Química de la Universidad de San Buenaventura, así como la pasantía de investigación de un estudiante de décimo semestre, una egresada graduada en el 2015, y una profesora investigadora del programa. A continuación, se mencionan algunos ejemplos para la implementación de temas sobre seguridad de procesos en los cursos del plan de estudios de ingeniería química:

- Introducción a la ingeniería química: Conceptos generales de seguridad de procesos
- Balance de materia: Análisis de los peligros en los procesos descritos en los ejemplos.
- Termodinámica: cálculo de temperatura adiabática de llama, volumen de vapor a partir de líquido, estimación de punto de chispa en hidrocarburos, calores de reacción y combustión, cálculo de presiones de vapor, propiedades de sustancias puras y mezclas.
- Ciencia de los materiales: corrosión, integridad mecánica.
- Transferencia de calor: Cálculo de calor total, flujo de calor liberado por un proceso, tiempo en el que se libera un flujo de calor, estimación de temperatura en superficie, predicción de formación de puntos calientes.
- Cinética química: reacciones fuera de control, formación de puntos calientes.
- Operaciones unitarias y procesos químicos: peligros asociados a procesos.
- Seguridad e Higiene Industrial: técnicas de análisis de riesgos, toxicidad
- Diseño de plantas: HAZOP, LOPA y SIL
- Control y simulación: instrumentación, dispositivos de alivio.

## 6. Referencias

- American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety. History. Consultado el 27 de junio de 2016 en <http://www.aiche.org/ccps/about/history>

- Atherton, J. and Gil, F. (2008). Incidents that define Process Safety, John Wiley Interscience, Hoboken, pp. 25-30.
- Crowl, D.A. and Louvar, J.F. (2011). Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications, Prentice Hall, Upper Saddle River, pp. 1-2.
- Dee, S.J., Cox, B.L. and Ogle, R.A. (2015) Process Safety in the Classroom: The Current State of Chemical Engineering Programs at US Universities. Process Safety Progress, Vol. 34, No. 4, pp. 316-319.
- Mannan, S. (2005). Lees' Loss Prevention in the Process Industries, Volume 3, Third Edition, Elsevier, pp. Appendix 34-3.
- Muñoz, F., Amaya, R., Romero, R., Arbeláez, C. (2016). Notas de clase. Módulo 1. Conceptos generales sobre seguridad de procesos. Módulos para la formación de ingenieros en temas relacionados con seguridad de procesos, Universidad de Los Andes, Bogotá, pp. 33-34.

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2016 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)