



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Rosario

Rosario, 5 de diciembre de 2017

VISTO el Expediente ID N° 8086758, relacionado con el programa analítico de la asignatura *Integración IV*, de la carrera Ingeniería Química, y

CONSIDERANDO

Que los objetivos y contenidos del mismo se ajustan a la reglamentación vigente.

Que dicho programa cuenta con el aval del respectivo Consejo Departamental.

Que la Comisión de Enseñanza evaluó la presentación y aconsejó su aprobación.

Por ello y atento a las atribuciones otorgadas por el artículo 85° del Estatuto Universitario.

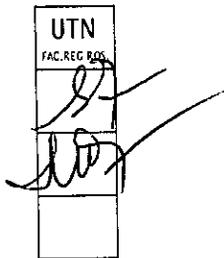
EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD REGIONAL ROSARIO
DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

RESUELVE:

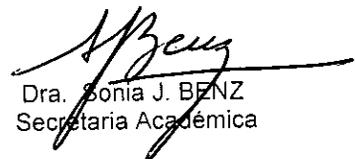
ARTÍCULO 1°.- Aprobar el programa analítico de la asignatura *Integración IV*, que se agrega como Anexo I de la presente resolución, de la carrera Ingeniería Química.

ARTÍCULO 2°.- Regístrese. Comuníquese. Cumplido, archívese.

RESOLUCIÓN N° 751/2017




Ing. Rubén F. CICCARELLI
Decano


Dra. Sonia J. BENZ
Secretaría Académica



PROGRAMA ANALÍTICO
ANEXO I
RESOLUCIÓN N° 751/2017

I. DATOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD CURRICULAR

ASIGNATURA			
Integración IV			
CARRERA	DEPARTAMENTO	PLAN DE ESTUDIOS	CARÁCTER
Ingeniería Química	Ingeniería Química	2004	Obligatoria
CARGA HORARIA ANUAL (hs cátedra)		RÉGIMEN DE DICTADO	
96		Anual	

II. OBJETIVOS

Los objetivos generales de la asignatura se corresponden con los expresados en la ordenanza Nro. 1028 que aprueba el plan de estudios para la carrera de Ing. Qca. Además, la asignatura Integración IV forma parte del Área Integración, en un todo de acuerdo con la filosofía que emana de tal ordenanza y del Área Informática Aplicada a la Ing. Qca, según Resolución Departamental.

En función del núcleo de contenidos mínimos propuestos para la asignatura se plantean los siguientes objetivos específicos, que se resumen en lograr que el alumno comprenda y domine:

- La definición y el alcance de la tarea del ingeniero de procesos.
- Los conceptos fundamentales de la ingeniería de procesos, la síntesis de estructuras alternativas, la evaluación de las mismas, la definición de criterios de selección y las herramientas adecuadas para tal fin.
- Los conceptos fundamentales del área de síntesis, simulación y diseño de procesos.
- Los conceptos y técnicas para realizar el modelado de operaciones unitarias y procesos y la resolución numérica de sistemas de ecuaciones no lineales.
- Los conceptos y las técnicas para la simulación de procesos, tanto en estado estacionario como dinámico.
- Distintas etapas de diseño de procesos. Ingeniería conceptual, de detalle.

En cuanto a las principales competencias, se pretende:

- Lograr competencias para enfrentar problemas específicos, tales como plantear un modelo para equipos particulares, seleccionar el método numérico adecuado para la solución del mismo, identificar los productos de acceso libre o comerciales existentes para su



implementación y/o programación por computadora, y proponer procesos dado un objetivo y un conjunto de materias primas disponibles.

- Disponer de la habilidad y la capacidad para intercambiar opiniones con especialistas de otras disciplinas (métodos numéricos, análisis de sistemas, programación) a los efectos de implementar soluciones informáticas adecuadas.
- Lograr que el alumno consolide "un saber hacer" que actúe como una síntesis de lo aprendido en la carrera en el área de diseño y modelado, dentro del contexto de la ingeniería de procesos. En otras palabras, habilidades y criterios para seleccionar distintas alternativas para plantear un modelo, la resolución del mismo, capacidad para elegir entre diversos tipos de modelos, sus relaciones con los fundamentos: termodinámica, estimación de propiedades fisico-químicas, los fenómenos de transporte, la cinética química; todo ello en el marco del diseño de equipos de diversa índole y la confección del arreglo estructural del proceso industrial.
- Lograr diferenciar entre diseño preliminar y bosquejo conceptual y la ingeniería conceptual de la ingeniería de detalle. Aquí resulta importante la identificación de la etapa del proyecto y su relación con la rigurosidad de los resultados requerida. Si es necesario utilizar métodos de optimización, simulación estacionaria o dinámica, métodos fisicoquímicos simplificados o rigurosos, entre otros aspectos fundamentales.
- Lograr que el alumno maneje adecuadamente simuladores comerciales (y/o abiertos) y pueda organizar la presentación de los resultados. Esto significa tener habilidad para modelar en el contexto del simulador una planta o complejo químico, introducir los datos, seleccionar los parámetros e hipótesis adecuadas, procesar los resultados para obtener información útil a partir de las simulaciones y preparar un reporte escrito (con las gráficas correspondientes) que indiquen las conclusiones obtenidas.
- Lograr competencias que se manifiesten en un espíritu crítico respecto del uso de los productos informáticos, especialmente en la interpretación de los resultados, la noción de los errores posibles, su relación con el desempeño del equipo real de planta, la necesidad de disponer de criterio y juicio de ingeniería; comprender las limitaciones de cualquier modelo por más riguroso que parezca, etc. Comprender claramente el concepto de modelo y realidad, resultados del simulador vs. la escala de laboratorio, banco, planta piloto y proceso real. Implicancias.
- Integrar todas las habilidades / competencias aludidas ante la problemática del diseño conceptual de procesos típicos en la ingeniería química. Habilidad para resolver los balances de materia y energía mediante herramientas informáticas e integrar los resultados en vistas a las sucesivas tareas de diseño de los equipos y el proceso completo.

El logro de tales objetivos implica una metodología de trabajo y de abordaje del proceso de enseñanza aprendizaje que contemple la relación docente-alumno y los elementos e infraestructura disponibles en la institución.

III. CONTENIDOS



PROGRAMA ANALÍTICO

Tema 1: MODELADO Y DISEÑO DE PROCESOS. SU RELACIÓN CON LOS MÉTODOS NUMÉRICOS. CONCEPTOS BÁSICOS APLICABLES EN EL CAMPO DE LA SIMULACIÓN Y EL DISEÑO DE PROCESOS

Modelos e Ingeniería. Principios del modelado en ingeniería química, su relación con la ingeniería de procesos. La computadora como herramienta del ingeniero. Aplicaciones. Importancia.

Métodos numéricos como herramienta para la resolución de modelos en Ingeniería Química. Revisión de Métodos Numéricos: Sistemas de ecuaciones algebraicos. Especificaciones de variables y grados de libertad. Método de Newton - Raphson. Sustitución directa o aproximaciones sucesivas. Convergencia. Aceleradores de convergencia. Wegstein.

Sistema de ecuaciones Diferenciales Ordinarias. Revisión de métodos para la solución de sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias. Métodos explícitos de resolución de EDOs, Método de Euler Métodos de Runge - Kutta. Métodos de múltiple paso. Métodos predictores-correctores, resolución Numérica. Modelado de Sistemas estacionarios y dinámicos.

Ejercitación Práctica. Resolución de Problemas.

Tema 2: REVISIÓN DE MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES TERMODINÁMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS.

Revisión de las propiedades termodinámicas de equilibrio. Equilibrio químico y equilibrio físico. Revisión de correlaciones para la estimación de la presión de vapor. Equilibrio líquido - vapor en sistemas ideales y semi-ideales. Propiedades termodinámicas de mezclas a bajas, moderadas y altas presiones. Su uso en modelos de diseño y simulación.

Equilibrios de fases en sistemas no ideales. Coeficientes de actividad y fugacidad. Ecuaciones de estado. Fase líquida. Ecuaciones de Margules, Van Laar, Wilson, NRTL, UNIQUAC - UNIFAC.

Uso de datos experimentales para calcular constantes. Cálculo de coeficientes de actividad y fugacidad. Métodos para la estimación del calor latente de vaporización. Capacidad calorífica de gases ideales y de mezclas de gases ideales y no ideales. Capacidad calorífica de líquidos puros y de mezclas. Revisión de entalpías de exceso. Estimación de Entalpía y Entropía. Sustancias puras y mezclas.

Estimación de propiedades físico-químicas y simulación de procesos. Selección del método para la predicción de propiedades del equilibrio líquido - vapor, entalpía, entropía y demás propiedades según los componentes a tratar.

Ejercitación Práctica. Resolución de Problemas.

Tema 3 : INGENIERÍA DE PROCESOS Y SIMULACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS.

Ingeniería de Procesos. Etapas en la tarea de diseño sistémico de procesos industriales. Síntesis de procesos, Simulación, Optimización. Evolución histórica. Distintos enfoques para



abordar el problema de síntesis. Descomposición del problema en sub-problemas. El criterio ingenieril.

Procesos típicos en Ingeniería Química. Visión sistémica. El sistema de utilidades (vapor, energía eléctrica y mecánica, agua de enfriamiento, gases inertes, sistemas contra incendio, etc.) Consumos energéticos. Insumos típicos y características generales de los procesos químicos. El sistema de reacción. El sistema de separación. El sistema de intercambio calórico. Recuperación de energía. El problema del reciclo de materiales y energía. Estructura del proceso. Métodos sistémicos para la determinación de diagramas de flujos apropiados.

Representación estructural de procesos. Planos y Diagramas de Flujos de procesos. Modelado de la estructura. Grafos Orientados. Diagrama de flujo de información. Sistemas cíclicos. Algoritmos de particionado, rasgado y ordenamiento. Filosofía de resolución modular secuencial o global -simultánea. Métodos de particionado. Algoritmo de particionado de Keham y Shacham. Rasgado del diagrama de flujos o grafo. Algoritmo de Barkeley y Motard (1972).

Simulación de Procesos Químicos. Simulación estacionaria y dinámica. Simuladores modulares secuenciales vs. globales. Módulos de equipos en un simulador modular de procesos químicos. Banco de modelos para la estimación de propiedades físico-químicas. Uso de un simulador de procesos modular secuencial en estado estacionario. Simuladores comerciales más difundidos. Simuladores de acceso abierto.

Ejercitación Práctica. Resolución de Problemas.

Tema 4: MÓDULOS PARA LA SIMULACIÓN DE EQUIPOS DE PROCESO

Biblioteca de Módulos típicos de un simulador modular. Modelado y Estrategias de resolución de los modelos asociados a cada módulo y sus diversas variantes posibles. Módulos Sumadores, Divisores, Intercambiadores de calor sencillos. Simulación de evaporadores Flash. Flash isotérmico. Flash adiabático. Otras especificaciones para el equipo flash. Modelos para el cálculo de temperatura de burbuja y de rocío. Determinación de la fase de un sistema dado. Separadores líquido - líquido (L-L) y sistemas (L-L-V) líquido-líquido-vapor.

Módulos Reactor (y sus variantes), Bombas, válvulas, Tanques, Compresores, Expansores, otros. Módulos para la simulación de separadores de mezclas multi-componentes en cascadas contracorriente múltiple etapa en equilibrio. Distintos modelos basados en etapas de equilibrio. Eficiencia de etapa. Métodos de resolución aproximados. Métodos etapa a etapa. Modelo matemático. Métodos rigurosos de resolución simultánea (matriciales). Modelos rate based. Atura equivalente de plato teórico.

Módulos de simulación específicos y posibilidad de incorporación de módulos del usuario en los simuladores comerciales. Usos avanzados de los simuladores de proceso.

Ejercitación Práctica. Resolución de Problemas.

Tema 5: SIMULACIÓN DINÁMICA DE EQUIPOS Y PROCESOS

Simulación dinámica de Separadores flash. Reactores típicos tanque agitado y sus variantes.



Simulación dinámica de equipos de separación de mezclas multicomponentes, múltiple etapa en contracorriente. Módulos específicos. Destilación batch. Otros equipos.

Simuladores comerciales dinámicos. Su utilización. Sistemas Abiertos. Sistemas Cerrados. Introducción a los modelos de controladores PID. Modelos y Simulación dinámica de procesos controlados.

Ejercitación Práctica, Resolución de Problemas.

Tema 6: PROCESOS TÍPICOS EN INGENIERÍA QUÍMICA. SIMULACIÓN E INGENIERÍA CONCEPTUAL

Distintas etapas durante el desarrollo de un proyecto de ingeniería básica. Representación de los Procesos Químicos. Planos y Diagramas. Diagrama en Bloques, Diagrama de Flujos de Proceso, P+I+D. La importancia del balance de materia, energía y cantidad de movimiento (simuladores de procesos).

Métodos, estructuras y modelos para la simulación de procesos complejos. Simulación de procesos y representación de los Sistemas de utilidades, sistemas de agua de enfriamiento, de generación de vapor, energía eléctrica y/o potencia mecánica. Relación entre simulación y el Layout de planta, Piping.

Uso de simuladores comerciales y diseño conceptual de procesos químicos. Procesos Inherentemente seguros. Procesos Sustentables. Desechos, tratamiento de efluentes, contaminación del ambiente. Descripción de procesos Químicos típicos.

Distintas Ramas de la Ingeniería Química. Algunos ejemplos típicos. Procesamiento de hidrocarburos. Industria del Gas Natural. Petroquímica. Simulación. Optimización. Procesos de separación de mezclas azeotrópicas. Obtención de alcohol. Simulación. Procesos Baten. Otros procesos de interés.

Ejercitación Práctica. Resolución de Problemas.

IV. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES TEÓRICAS Y PRÁCTICAS

GUIA DE CLASES TEORICO-PRACTICAS Y DE TRABAJOS PRÁCTICOS

La guía de clases teórico-práctica y de trabajos prácticos, si bien específica de cada período en particular y su correspondiente planificación de cátedra, se compone como mínimo de:

Clases teórico - prácticas

- Particionado, Rasgado y Ordenamiento de Diagramas de Flujo de Información de procesos complejos
 - Modelado de equipos sencillos en Estado estacionario según la filosofía Modular Secuencial. Implementación numérica de los mismos.
 - Modelado de métodos para la estimación de propiedades termodinámicas y físico-químicas. Implementación numérica de los mismos.
-



-
- Modelado de procesos complejos en estado estacionario. Estrategias de Resolución.
 - Modelado de procesos complejos en estado dinámico. Estrategias de Resolución.

Trabajos Prácticos

- Introducción al entorno de un software de simulación típico. Análisis de los resultados proporcionados por el simulador.
- Estimación de propiedades termodinámicas y generación de curvas de equilibrio, Uso de Spreadsheet
- Uso de Componentes Hipotéticos
- Simulación de equipos con reacciones químicas.
- Simulación Dinámica
- Diseño y Simulación de sistemas de Bombeo.
- Simulación de un caso específico de procesos Complejos y análisis de problemáticas específicas, con confección de informes y conclusiones, tales como ejemplos de procesos industriales:
 - Planta de Tratamiento de Gas.
 - Proceso de Producción de Alcohol (Sistemas Azeotrópicos).
 - Sistema de Generación de Vapor, Potencia y energía mecánica
 - Sistema de agua de enfriamiento y refrigeración

IV. METODOLOGÍAS DE ENSEÑANZA

En el marco del perfil y alcance en que la Ordenanza Nro. 1028 encuadra el Plan de Estudios de la Carrera de Ingeniería Química (1995) y modificatorias, se delinearán los contenidos mínimos de la asignatura Integración IV. Básicamente se refieren al estudio de procesos enfocado al modelado y las herramientas para el diseño, simulación y optimización, utilizando métodos computacionales apropiados. El objetivo es comprender la tarea de la ingeniería de procesos a nivel conceptual, comenzar a desarrollar habilidades para evaluar, simular, optimizar y diseñar procesos a escala industrial en el marco de la actividad profesional del ingeniero de procesos.

La Ingeniería de Procesos es una disciplina relativamente madura. Se basa en el avance importante realizado en las últimas décadas en el campo del modelado de procesos fisicoquímicos, el cálculo numérico y simbólico, junto a la evolución vertiginosa de la computación como ciencia y como herramienta auxiliar en la tarea del ingeniero, tanto en el diseño como en el gerenciamiento de la producción. Conceptualmente, en las últimas décadas se ha consolidado una nueva visión o filosofía, el "Diseño Sistémico de Procesos", o "Process System Engineering". Este enfoque se basa en metodologías para lograr el diseño tanto de la



estructura de un flowsheet (síntesis de procesos) como su análisis, evaluación y optimización (selección de la alternativa más prometedora) mediante un ciclo iterativo de síntesis - análisis - optimización - síntesis.

El tronco principal de conocimientos en los cuales se basa la visión sistémica del diseño de procesos (y por lo tanto esta asignatura); se relaciona con los fundamentos de la ingeniería química o fenómenos de transporte, termodinámica, fisicoquímica y cinética química, las operaciones unitarias, al igual que el modelado y el análisis numérico como herramienta de resolución de sistemas de ecuaciones de alta dimensión. La asignatura Integración IV pertenece al tronco integrador del Plan de Estudios de la Carrera de Ingeniería Química (Ordenanza Nro. 1028). Dentro de este contexto, la asignatura se relaciona con las otras integradoras, que abarcan desde la definición de la ingeniería química hasta la realización del proyecto final. En esta integración vertical, se ubicará al alumno frente a la tarea de diseño de procesos químicos, desde "la idea" a nivel laboratorio hasta el proyecto de diseño final; destacando a las herramientas computacionales como un soporte indispensable en la actividad del diseño de procesos, enfatizando la importancia de las mismas en el ejercicio integral de la profesión. También naturalmente, de sus limitaciones. No solo desde el punto de vista técnico, sino económico y legal.

Dentro de este contexto, se imparte la asignatura integrando los conceptos gradualmente, con una revisión que concatene operativamente y relacione conceptualmente a los elementos aprendidos anteriormente tanto vertical como horizontalmente. En este sentido puede decirse que la materia es una de las primeras en las cuales el alumno deberá integrar una enorme cantidad de competencias y conocimientos previamente adquiridos, y aún aquellos impartidos en otras asignaturas en paralelo con el dictado de la misma. Esto conlleva una dificultad tanto en lo pedagógico como en lo didáctico, e impone una clara estrategia a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Es por ello que se combinan secuencialmente una serie de clases teóricas, clases teórico-prácticas y trabajos prácticos, de tal manera de revisar conceptos previos, impartir conocimiento nuevo, consolidar su uso en un marco de resolución de problemas de complejidad creciente, y adquirir progresivamente las competencias propias para el manejo de herramientas computacionales características de la tarea del ingeniero de procesos, en la etapa de ingeniería conceptual.

VI. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para regularizar la asignatura se deben cumplir requisitos de asistencia a clases, en particular de las clases prácticas, y la entrega y aprobación de los informes correspondientes a los mismos.

Para la aprobación directa, según normativa, se deben aprobar dos instancias parciales de evaluación (con una de recuperación si fuera necesaria), más la aprobación de dos trabajos prácticos que exigen la entrega de un informe acerca de la resolución de procesos típicos de la ingeniería química.

También puede aprobarse la materia mediante una evaluación final integral del contenido de la asignatura, una vez regularizada la misma



VII. BIBLIOGRAFÍA

Biegler, L.T., Grossmann, I.E., y Westerberg, A.W. (1997). Systematic methods of chemical process design (Prentice Hall PTR).

Constantinides, A. (1999). Numerical Methods for Chemical Engineers with MATLAB Applications (Prentice Hall PTR).

Edgar, T.F., Himmelblau, D.M., y Lasdon, L.S. (2001). Optimization of chemical processes (McGraw-Hill).

Fletcher, R. (1980). Practical Methods of Optimization: Unconstrained optimization (J. Wiley).

Fletcher, R. (1981). Practical Methods of Optimization: Constrained optimization (J. Wiley).

Franks, R.G.E. (1972). Modeling and simulation in chemical engineering (Wiley-Interscience).

Gmehling, J., y Kolbe, B. (2012). Chemical Thermodynamics for Process Simulation (John Wiley & Sons).

Henao, C.A. (2010). Simulación y evaluación de procesos químicos. Herramientas básicas para la síntesis de proceso (Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana).

Husain, A. (1986). Chemical process simulation (Wiley).

Karris, S.T. (2007a). Numerical Analysis Using MATLAB and Excel (Orchard Publications).

Karris, S.T. (2007b). Numerical Analysis Using MATLAB and Excel (Orchard Publications).

Kiusalaas, J. (2005). Numerical Methods in Engineering with MATLAB® (Cambridge University Press).

Kooijman, H.A., y Taylor, R. (2000). The ChemSep Book (H.A. Kooijman and R. Taylor).

Kyle, B.G. (1992). Chemical and process thermodynamics (Prentice Hall).

Luyben, W.L. (1990). Process modeling, simulation, and control for chemical engineers (McGraw-Hill).

Manuales de HYSYS

Manual de usuario de COCO simulator: On-line Help on COCO.

http://www.cocosimulator.org/index_help.php?page=coco.htm

Medeiros D. (2016). DWSIM - Process Simulation. Modeling and Optimization Technical Manual.

Moler, C.B. (2010). Numerical Computing with MATLAB: Revised Reprint (SIAM).



Poling, B.E., Prausnitz, J.M., y O'Connell, J.P. (2000). The Properties of Gases and Liquids 5E (McGraw Hill Professional).

Polking, J.C., y Arnold, D. (2004). Ordinary Differential Equations Using MATLAB (Pearson/Prentice Hall).

Rao, S.S., y Rao, S.S. (2009). Engineering Optimization: Theory and Practice (John Wiley & Sons).

Ravindran, A., Reklaitis, G.V., y Ragsdell, K.M. (2006). ENGINEERING OPTIMIZATION: METHODS AND APPLICATIONS (Wiley India Pvt. Limited).

Reid, R.C. (1987). The Properties of Gases and Liquids (McGraw-Hill).

Scenna, N.J. (2002). Modelado, simulación y optimización de procesos químicos (Eduotec-UTN).

Smith, R. (2016). Chemical Process Design and Integration (John Wiley & Sons).
