



**Ministerio de Cultura y Educación  
Universidad Nacional de San Luis  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias  
Departamento: Ingeniería de Procesos  
Area: Procesos Físicos**

**(Programa del año 2022)**

**I - Oferta Académica**

<b>Materia</b>	<b>Carrera</b>	<b>Plan</b>	<b>Año</b>	<b>Período</b>
Operaciones Unitarias 3	INGENIERÍA QUÍMICA	Ord 24/12 -17/2 2	2022	1º cuatrimestre

**II - Equipo Docente**

<b>Docente</b>	<b>Función</b>	<b>Cargo</b>	<b>Dedicación</b>
MIRO, SILVIA MARCELA	Prof. Responsable	P.Adj Simp	10 Hs
MICCOLO, MARIA EUGENIA	Prof. Colaborador	P.Adj Exc	40 Hs
BLANCO, JUAN CARLOS AGUSTIN	Responsable de Práctico	JTP Simp	10 Hs

**III - Características del Curso**

<b>Credito Horario Semanal</b>				
<b>Teórico/Práctico</b>	<b>Teóricas</b>	<b>Prácticas de Aula</b>	<b>Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.</b>	<b>Total</b>
Hs	4 Hs	5 Hs	1 Hs	10 Hs
<b>Tipificación</b>			<b>Periodo</b>	
B - Teoria con prácticas de aula y laboratorio			1º Cuatrimestre	
<b>Duración</b>				
<b>Desde</b>	<b>Hasta</b>	<b>Cantidad de Semanas</b>	<b>Cantidad de Horas</b>	
14/03/2022	24/06/2022	15	150	

**IV - Fundamentación**

La Ingeniería Química tiene por objetivo concebir, calcular, proyectar, hacer construir y lograr que funcionen eficazmente los distintos equipos e instalaciones destinadas a preparar los reaccionantes, hacer que éstos reaccionen y separar los productos resultantes de las reacciones químicas. En la práctica, siempre estas tres etapas generales implican transferencia de materia entre fases. Una parte importante de las Operaciones Unitarias en Ingeniería Química son las denominadas operaciones de separación que están relacionadas por el hecho de que todas ellas implican transferencia de materia entre fases distintas. Éstas tienen por objetivo la separación de los componentes o grupos de componentes de una mezcla originalmente homogénea, haciendo posible el paso de alguno o algunos de ellos a una segunda fase con la que aquélla se pone en contacto. Esta segunda fase puede formarse a partir de la primera cambiando las condiciones de presión y temperatura o estar constituida por una nueva sustancia ajena a la mezcla o fase original.

En este curso nos centraremos en las separaciones que pueden analizarse como procesos en etapa de equilibrio.

En la industria química, en general, el porcentaje de capital invertido en instalaciones para el desarrollo de las operaciones de separación es muy elevado, llegando a alcanzar un 60 a 70 por ciento en la industria del petróleo. Por lo tanto, el estudio de la transferencia de materia y el de las operaciones unitarias que se basan en ella, afecta al equipo más costoso de la moderna

industria química.

Al concluir el desarrollo del curso se espera que el alumno reconozca los equipos de transferencia de materia y detransferencia simultánea de energía y materia empleados en la industria de procesos, que sea capaz de seleccionarlos, verificarlos, diseñarlos y optimizarlos, y que reconozca las variables involucradas en cada operación. Ello basándose en pautas de eficacia, seguridad y economía.

La asignatura Operaciones Unitarias 3 se ubica en el área temática Profesional Específica, en la cual se desarrollan los conocimientos fundamentales que identifican el perfil profesional del Ingeniero Químico.

## **V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje**

Que el alumno al finalizar el curso logre:

Aplicar los principios de las Operaciones Unitarias para el diseño de equipos de transferencia de materia y transferencia simultánea de materia y energía, bajo condiciones de equilibrio.

Seleccionar operaciones de separación para la separación de mezclas líquidas o gaseosas según la naturaleza del sistema. Asociar las variables del proceso, el equilibrio del sistema y las condiciones de la operación de separación para el dimensionamiento del equipo, de acuerdo a las especificaciones de las materias primas y productos.

Dimensionar los equipos de separación y de sus accesorios a los fines del diseño o selección, aplicando los métodos de cálculo apropiados.

Analizar las dimensiones de los equipos para la evaluación de la influencia sobre los costos fijos y variables, de acuerdo a las condiciones límites de la operación de separación.

## **VI - Contenidos**

### **Unidad 1.- Introducción a las Operaciones de Transferencia de Materia.**

Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia, campos de aplicación, importancia económica. Fundamentos de la transferencia de materia por etapas de equilibrio. Equilibrio entre fases. Operación, alimentación, agente de separación, productos. Tipos de etapas: mezcla, contracorriente, co-corriente, flujos cruzados. Factor de separación (inherente y global). Factor y eficiencia de la separación.

### **Unidad 2.- Absorción.**

Caracterización de la absorción. Elección del solvente. Factor de absorción. Absorción y desorción. Tipos de equipos de contacto gas-líquido y su selección. Torres de platos. Torres llenas Tipos de relleno. Pérdida de carga de la torre. Cálculo del diámetro y altura de la columna. Cálculo de unidades de transferencia. Concepto de eficiencia. Número de etapas teóricas y reales. Soluciones diluidas. Absorción en régimen no isotérmico, esquema de cálculo riguroso, simplificaciones usuales. Resolución de problemas.

### **Unidad 3.- Humidificación.**

Principios de la operación. Aplicaciones industriales. Psicrometría. Diagramas. Temperatura de bulbo húmedo. Relación de Lewis. Sistema aire-agua. Operaciones Adiabáticas. Transferencia simultánea de energía y materia. Enfriamiento de agua con aire. Evolución de la temperatura del gas. Equipos. Torres de enfriamiento. Resolución de problemas.

### **Unidad 4.- Destilación.**

Introducción. Campo de aplicación. Equilibrio líquido-vapor.

Destilación en una etapa. Destilación flash. Selección de condiciones de operación. Equipos utilizados. Resolución de problemas

Destilación diferencial. Destilación discontinua en sistemas binarios, Ecuación de Rayleigh. Resolución de problemas.

Destilación continua en sistemas binarios. Descripción de los equipos usuales. Cálculo del número de etapas ideales: esquema general de cálculo. Cálculo del número de etapas teóricas: Método riguroso de Ponchon – Savarit y Método aproximado de McCabe – Thiele. Concepto de relación de reflujo mínima y de número mínimo de etapas. Ubicación de la bandeja de alimentación, reflujo óptimo. Variantes: condensador total, parcial, uso de vapor vivo, corrientes de alimentación múltiples. Resolución de problemas.

### **Unidad 5.- Extracción Líquido-Líquido.**

Principios teóricos en los que se basa la operación. Campo de aplicación. Información de equilibrio. Diagrama de Janecke.

Criterio en la selección del solvente. Operación en etapa única. Análisis usando diagramas libre de solvente. Límites de operación. Operación en etapas múltiples: corriente cruzada, contracorriente con y sin reflujo. Condiciones límites en cada caso. Contacto continuo. Equipos. Resolución de problemas.

#### **Unidad 6.- Extracción Líquido-Sólido.**

Principios de la operación. Equilibrio líquido-sólido. Campo de aplicación. Elección del solvente. Métodos de operación y cálculo. Etapa única. Multietapas, corrientes cruzadas, contracorriente. Equipos. Resolución de problemas.

#### **Unidad 7.- Secado**

Principios de la operación. Curva de equilibrio. Ensayos de secado. Curva de secado. Velocidad y mecanismo de secado por lotes. Movimiento de la humedad dentro del sólido; mecanismos: difusión del líquido y movimiento capilar. Cálculo del tiempo de secado. Secado por lotes. Secado continuo. Resolución de problemas

## **VII - Plan de Trabajos Prácticos**

Se implementaran las siguientes actividades

Trabajos prácticos de aula

### **1) Resolución de problemas**

Los problemas se presentan en guías de trabajos prácticos relacionadas con la unidad del programa analítico en estudio, están basados en procesos específicos en situaciones reales de procesado y hacen hincapié en una comprensión básica de los conceptos que gobiernan la selección, comportamiento y cálculo de los procesos de separación basados en transferencia de materia y en transferencia simultánea de energía y materia. Las guías de trabajos prácticos, además, incluyen discusiones cualitativas con el fin de ampliar la comprensión del estudiante de los conceptos básicos e incrementar la capacidad de interpretar y analizar nuevas situaciones con éxito. En aquellas situaciones problemáticas donde se requiera se inducirá al uso de software apropiado.

Metodología: Los estudiantes dispondrán de una guía de trabajos prácticos donde se presentan una serie de problemas que deberá resolver. Por cada clase práctica se propondrá uno o más problemas para resolver en el aula. Al inicio de cada clase práctica, el estudiante realizará un cuestionario para autoevaluar los conocimientos necesarios a fin de abordar los problemas propuestos. Los alumnos recopilarán las resoluciones de los problemas en una carpeta.

Los estudiantes deberán presentar la resolución de los problemas propuestos, para su corrección y correspondiente devolución. Esta retroalimentación tiene como objetivo reforzar y corregir los puntos a evaluar en el parcial para alcanzar los resultados de aprendizaje.

Las guías de trabajos prácticos de aula se organizan de la siguiente manera:

TP1: Absorción

TP2: Humidificación

TP3: Destilación Flash

TP4: Destilación discontinua

TP5: Destilación binaria continua

TP6: Extracción líquido-líquido

TP7: Extracción sólido-líquido

TP8: Secado

Evaluación: El desempeño de los estudiantes se evalúa por heteroevaluación formativa continua durante la realización de los trabajos prácticos propuestos, utilizando una lista de chequeo donde los criterios de corrección son los siguientes:

1. Manejo de conceptos y formulación del planteo
2. Manejo de unidades
3. Manejo de información
4. Cálculo numérico y/o analítico
5. Capacidad para la producción escrita

### **2) Seminario:**

Metodología: Se propondrá un tema de estudio referido ya sea a equipos, accesorios, fabricantes de equipos, a fin de que el estudiante realice una investigación sirviéndose de los recursos disponibles (bibliografía, sitios web, catálogos, revistas,

material audio-visual, etc.). La investigación debe estar enfocada al análisis crítico del tema propuesto, será de carácter individual y guiada por el docente. La tarea deberá ser presentada a la semana, en formato digital e impreso en no más de 3 (tres) páginas y mediante una presentación de no más de 10 minutos ante sus pares y docentes.

Evaluación: Heteroevaluación formativa, empleando como instrumento de evaluación una lista de chequeo la cual será presentada a los estudiantes con antelación.

#### Trabajos prácticos de laboratorio

Se propone el desarrollo de los siguientes prácticos de laboratorio:

- Determinación de las condiciones de operación de una torre de enfriamiento.
- Extracción sólido-líquido batch en lazo abierto
- Secado de un material y construcción de una curva de secado

#### Metodología:

La metodología de trabajo se encuentra disponible en cada una de las guías de trabajo práctico de laboratorio según el tema a desarrollar. Los estudiantes se organizan en grupos de 3 o 4 integrantes, deberán seguir los lineamientos indicados en estas guías. Previo a cada experiencia el estudiante deberá realizar una lectura minuciosa sobre la ejecución del práctico propuesto. Luego de cada experiencia, el estudiante debe presentar un informe que contemple los siguientes ítems: breve introducción sobre el tema ejecutado en el laboratorio, materiales y métodos empleados, resultados (numéricos, gráficos) y análisis de resultados, conclusión. Este informe deberá ser presentado una semana después de la práctica de laboratorio.

Evaluación: El desempeño de los estudiantes se evalúa mediante heteroevaluación, formativa continua, empleando como instrumento de evaluación una rúbrica, la cual será presentada a los estudiantes con antelación.

Es obligatorio el conocimiento y cumplimiento de las **NORMAS GENERALES DE TRABAJO EN EL LABORATORIO** perteneciente a la asignatura.

#### Visitas a plantas industriales

Siempre y cuando la situación sanitaria y posibilidad económica lo permitan, se proyectaran visitas a plantas donde su proceso productivo involucre las operaciones de separación tratadas en esta asignatura. Estas visitas apuntan a que el estudiante tome conocimiento y criterio de referencia sobre las características reales a escala industrial en cuanto a dimensiones, condiciones operativas del proceso, volumen procesado, normas que regularizan la actividad, etc.

Metodología: Previo a la visita a planta, el estudiante deberá formular y presentar una serie de preguntas oportunas a la visita.

Evaluación: Heteroevaluación, dónde se evaluará la participación activa del estudiante durante la visita y su informe correspondiente, presentado en tiempo forma.

## VIII - Regimen de Aprobación

### A - METODOLOGÍA DE DICTADO DEL CURSO:

La asignatura Operaciones Unitarias 3, se dictara con modalidad de clases teóricas y prácticas. En las clases de teoría el profesor introducirá los fundamentos y principios de una operación de separación específica, presentación de equipos y sus principios de funcionamiento estimulando la participación de los alumnos y la discusión de los temas abordados. Las clases prácticas se organizan de la siguiente manera:

Trabajos prácticos de aula

Trabajos prácticos de laboratorio

Visitas a plantas industriales

La asignatura cuenta con la plataforma virtual Claroline, a través de la cual se pone a disposición del estudiante todo el material referido a guías de trabajos prácticos, material de apoyo y todo material que se considere de interés asociado tanto a la asignatura como a la carrera. También, en esta plataforma se realizan las entregas de los trabajos prácticos o actividades asignadas.

Las clases de consulta se llevan a cabo bajo la modalidad presencial, y en algunos casos de modo virtual de manera sincrónica o asincrónica. Los horarios de consulta se encontrarán establecidos en la planilla de Horarios frente a alumnos, que podrán visualizar en la puerta del Box 8 o disponible en la plataforma Claroline.

Las evaluaciones parciales abordarán cuestiones conceptuales teóricas y prácticas mediante resolución de problemas de los temas desarrollados hasta una semana antes de la fecha indicada. La modalidad del parcial es a libro abierto.

La evaluación de los exámenes parciales se realizará mediante rúbricas, cuyos criterios de evaluación son los siguientes:

1. Manejo de conceptos y formulación del planteo
2. Manejo de unidades
3. Manejo de información
4. Cálculo numérico y/o analítico
5. Capacidad para la producción escrita

Se proponen las siguientes fechas tentativas de evaluación parcial con sus correspondientes recuperaciones:

Fechas tentativas de las evaluaciones parciales:

Primer parcial 11/04/2022

Segundo parcial 02/06/2022

Tercer parcial 13/06/2022

La comunicación del resultado del parcial se realizará de manera individual, otorgando al alumno una instancia de reflexión sobre la metodología utilizada y los resultados obtenidos.

Cada informe de prácticas de laboratorio y visitas a plantas industriales tendrá una oportunidad de corrección, es decir que será corregido con la correspondiente devolución para una presentación final.

## B - CONDICIONES PARA REGULARIZAR EL CURSO

### Régimen para Alumnos Regulares

La regularización del curso se regirá según lo contemplado en el artículo 24 de la Ordenanza CS 13/03-Regimen Académico. Asistencia al 80% de las clases de Trabajos Prácticos, el porcentaje de asistencia será sobre las clases de Trabajos Prácticos que incluye cada parcial.

Presentar los problemas de las clases de trabajos prácticos que se requiera.

La evaluación se realizará mediante la aprobación de tres evaluaciones parciales con una calificación al menos de (70) setenta puntos, las que tendrán dos instancias de recuperación cada una.

Para la aprobación de los trabajos prácticos de laboratorio es condición una asistencia del 100 y la aprobación de los correspondientes informes.

Aprobación del seminario definido en el apartado VII- (2).

## C – RÉGIMEN DE APROBACIÓN CON EXÁMEN FINAL

La aprobación del curso se regirá según el artículo 35 de la Ordenanza CS 13/03-Regimen Académico.

El examen final constará de una parte práctica (escrita), que consistirá en la resolución de un problema con los temas del Programa Analítico (que incluyen resolución de problemas), cuya aprobación será imprescindible para acceder a la evaluación oral. La evaluación del examen escrito será del tipo sumativa empleando las siguientes rúbricas

1. Manejo de conceptos y formulación del planteo
2. Manejo de unidades
3. Manejo de información
4. Cálculo numérico y/o analítico
5. Capacidad para la producción escrita

La evaluación oral consistirá en la exposición de las Unidades de Examen sorteadas (dos), correspondientes al Programa de Examen.

La aprobación del examen final se basa en una evaluación sumativa entre el examen final escrito, la exposición oral y el desempeño del estudiante durante la cursada.

### Programa de Examen

Unidad de Examen 1.- Corresponde a las Unidades 2 y 1

Unidad de Examen 2.- Corresponde a las Unidades 3 y 1

Unidad de Examen 3.- Corresponde a las Unidades 4 y 1

Unidad de Examen 4.- Corresponde a las Unidades 5 y 1

Unidad de Examen 5.- Corresponde a las Unidades 6 y 1

Unidad de Examen 6.- Corresponde a las Unidades 7 y 1

## D – RÉGIMEN DE PROMOCIÓN SIN EXAMEN FINAL

El curso no contempla régimen de promoción

## E – RÉGIMEN DE APROBACIÓN PARA ESTUDIATNES LIBRES

Realización de los trabajos prácticos de laboratorio y aprobación de los correspondientes informes. El estudiante deberá prever realizarlos al menos quince días antes de la fecha del examen.

La evaluación escrita consistirá en la resolución de problemas de los temas del Programa Analítico, cuya aprobación será imprescindible para acceder a la evaluación oral. La evaluación oral consistirá en la exposición de las Unidades de Examen sorteadas (dos), correspondientes al Programa de Examen.

La evaluación se realizará mediante rúbricas, será del tipo sumativa y cuyos criterios de corrección para las distintas actividades son los siguientes:

- Manejo de conceptos y formulación del planteo del problema o la actividad
- Manejo de unidades
- Manejo de información
- Calculo numérico y/o analítico según corresponda
- Capacidad de producción escrita. Organización de la actividad y presentación general

### Programa de Examen

Unidad de Examen 1.- Corresponde a las Unidades 2 y 1

Unidad de Examen 2.- Corresponde a las Unidades 3 y 1

Unidad de Examen 3.- Corresponde a las Unidades 4 y 1

Unidad de Examen 4.- Corresponde a las Unidades 5 y 1

Unidad de Examen 5.- Corresponde a las Unidades 6 y 1

Unidad de Examen 6.- Corresponde a las Unidades 7 y 1

## IX - Bibliografía Básica

- [1] Treybal Robert, Operaciones de Transferencia de Masa, Mc Graw – Hill, 1980. Ejemplares disponibles en Biblioteca VM, ocho.
- [2] King C. J., Procesos de Separación, Editorial Reverté, 1980. Ejemplares disponibles en Biblioteca VM, dos.
- [3] Henley Ernest y SeaderJ.. Operaciones de Separación por etapas de equilibrio en Ingeniería Química (2e), Editorial REVERTE, 1998. Ejemplares disponibles en Biblioteca VM, ocho.
- [4] Wankat P, Ingeniería de procesos de Separación, Editorial Pearson Educación (edición segunda), 2008. Ejemplares disponibles en Biblioteca VM, tres.
- [5] Perry Robert Edición 5e, 6e, 7e y 8e, Manual del Ingeniero Químico, Editorial Mc Graw – Hill. Ejemplares disponibles en Biblioteca VM, doce.

## X - Bibliografia Complementaria

- [1] Schweitzer P, Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers 3e, Editorial Mc Graw- Hill, 1996. Un Ejemplar disponible en Biblioteca VM.
- [2] Kister Henry, DistillationDesign Editorial Mc Graw Hill, 1992.
- [3] Holland Charles, Fundamentos de destilación de mezclas multicomponentes 3e, Editorial LIMUSA, 1988.
- [4] Van Winkle M, Distillation, Editorial Mc Graw Hill, 1967. Un ejemplar disponible en Biblioteca VM.
- [5] Sherwood Thomas, Pigford Robert y Wilke Charles, Transferencia de masa, 1979. Ejemplares disponibles en Biblioteca VM, tres.
- [6] Foust A. y otros, Principios de Operaciones Unitarias, Editorial John Wiley, 1985. Ejemplares disponibles en Biblioteca VM, cuatro.
- [7] Costa Novella E y otros, Ingeniería Química - 5 Transferencia de materia. 1ra Parte, Editorial Alhambra, 1988. Un Ejemplar disponible en Biblioteca VM.
- [8] Ruthven Douglas (Editor) - Kirk-Othmer Encyclopedia-, Encyclopedia of Separation, Editorial John Wiley and Sons,1997. Un ejemplar disponible en Biblioteca VM.
- [9] Marcilla Gomis A., Introducción a las Operaciones de Separación Contacto Continuo, Editorial Textos Univeristarios, 1999. Ejemplar disponible en la asignatura
- [10] Marcilla Gomis A., Introducción a las Operaciones de Separación Cálculo por etapas de equilibrio, Editorial Textos Universitarios, 1998. Ejemplar disponible en la asignatura
- [11] Martínez de la Cuesta P.J., Operaciones de Separación en Ingeniería Química. Métodos de Cálculo, Editorial Prentice Hall, 2004. Un ejemplar disponible.
- [12] Smith J. y Van Ness H., Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química (5e ó 7e), Editorial Mc Graw Hill,

2007. Ejemplares disponibles en Biblioteca VM, siete

[13] Ludwig E., Applied process design for chemical and petrochemical plants, Editorial Houston Gulf Pub, 1984. Un Ejemplar disponible en Biblioteca VM.

## **XI - Resumen de Objetivos**

Que el alumno logre

Aplicar los principios de las Operaciones Unitarias.

Seleccionar operaciones de separación para la separación de mezclas líquidas o gaseosas

Asociar las variables del proceso, el equilibrio del sistema y las condiciones de la operación de separación

Dimensionar los equipos de separación y de sus accesorios

Analizar las dimensiones de los equipos

## **XII - Resumen del Programa**

Unidad 1.- Introducción a las Operaciones de Transferencia de Materia

Unidad 2.- Absorción

Unidad 3.- Humidificación

Unidad 4.- Destilación

Unidad 5.- Extracción Líquido-Líquido

Unidad 6.- Extracción Líquido-Sólido

Unidad 7.- Secado

## **XIII - Imprevistos**

En caso de imprevistos que impidan la modalidad presencial de las clases de teoría, las clases prácticas y las clases de consulta, las mismas se desarrollarán de manera virtual y sincrónica, a través de la plataforma Meet. Se comunicará a los estudiantes el link de ingreso antes de cada clase a través del correo electrónico o alguna red social creada a los efectos de una comunicación rápida y fluida. El material de estudio se pondrá a disposición de los alumnos en la plataforma Claroline.

## **XIV - Otros**