

<b>Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo</b>			
<b>P1- PROGRAMA DE ASIGNATURA</b>			
<b>Asignatura:</b>	<b>OPERACIONES UNITARIAS</b>		
<b>Profesor Titular:</b>	<b>José A. Gálvez</b>		
<b>Carrera:</b>	<b>Ingeniería Industrial</b>		
<b>Año: 2023</b>	<b>Semestre: 2</b>	<b>Horas Semestre: 90</b>	<b>Horas Semana: 6</b>

### CONTENIDOS MÍNIMOS - PLAN DE ESTUDIOS ord 110-2004

Concepto. Transferencia de masa, momento y energía. Balances de transferencia. Correlación de las mezclas. Propiedades de equilibrio de mezclas. Operaciones de transferencia simultánea de masa y calor. Fraccionamiento. Extracción de Líquidos. Operación de transferencia de energía, conducción, convección y radiación. Transferencia simultánea de masa y calor: fluidización, humidificación, secado, evaporación y cristalización. Transferencia de masa, gas, líquido. Transferencia de momento. Separación de fase por mecánica de fluidos. Desintegración mecánica de sólidos. Aplicaciones en ingeniería.

### OBJETIVOS

Que el alumno: Incorpore el marco conceptual y los fundamentos teórico - prácticos de los mecanismos de transferencia de masa y energía, que posibilitan el cálculo de las operaciones unitarias en la industria. Maneje los fundamentos y técnicas de transferencia de calor y materia  
Esté capacitado para realizar, interpretar y aportar en el diseño y mejoramiento de sistemas de fraccionamiento, adsorción, absorción, humidificación, secado, extracción, fluidificación, etc.

### **CONTENIDOS PROGRAMA OPERACIONES UNITARIAS INDUSTRIAL**

#### **UNIDAD TEMATICA 1.- INTRODUCCION DE LA MATERIA – CALOR**

- A- Introducción:** Operación Básica. Operación continua, discontinua y semicontinua. Mecanismos de Transferencias: energía, masa y cantidad de movimiento. Requisitos para la transferencia de energía. Requisitos para la transferencia de materia entre fases. Operaciones tipo en la industria y fundamentos de las mismas.
- B- Conducción del calor:** Ley de Fourier, coeficiente de conductividad. Aislación. Ecuación general de la conductividad. Conductividad en sólidos y fluidos. Conducción en estados estacionarios y transitorios. Aplicaciones.
- C- Convección del calor:** Mecanismo. Coeficientes peliculares y globales de transmisión conjunta

por conducción y convección. Diferencias medias a usar en cálculos. Casos de co-corriente y contracorriente. Geometrías complejas aplicadas a intercambiadores de calor.

- D- Radiación:** Mecanismo. Naturaleza de la radiación. Radiación térmica. Absorción y emisión de superficies sólidas. Leyes de Kirchhoff, Stefan- Boltzmann, Planck y Wien. Poder Emisivo, emisividad. Cuerpos Negros y Grises. Aplicaciones de la radiación.

Total, de horas teórico- prácticas: 10 hs.

### **UNIDAD TEMATICA 2: GENERACION DE VAPOR - HORNOS:**

- A- Generadores de Vapor:** Clasificación. Calderas humo tubulares y acuotubulares. Calderas de circulación forzada. Calderas con recirculación de gases. Calderas de gran volumen de agua. Usos.
- B- Hornos:** Clasificación y usos. Componentes. Zona radiante. Zona de convección. Materiales de los tubos: espesor y temperatura.
- C- Cálculos:** calor a transferir en función del estado térmico del fluido, coeficientes de intercambio, áreas de transferencia y cantidad de combustible y aire.

Total, de horas teórico- prácticas: 5 horas.

### **UNIDAD TEMATICA 3: PROPIEDADES DE MEZCLAS - FRACCIONAMIENTO:**

- A- Propiedades de mezclas:** Introducción. Estimación de propiedades de mezclas. Propiedades reales y aparentes. Mezclas complejas. Volatilidad. Ensayos de laboratorios. Destilaciones ASTM: Temperaturas de ebullición medias. Pendiente. Factor de caracterización. Destilación TBP. Curva Flash. Correlación entre curvas. Propiedades termodinámicas a considerar para la estimación: Fugacidad, actividad de sustancias. Definición. Aplicación a sustancias puras y mezclas.
- B- Fundamentos de fraccionamiento:** destilación instantánea de una etapa: conceptos, equipos, balances de materia y energía, efectos de la presión y temperatura Destilación por etapas múltiples o fraccionamiento: conceptos, etapa teórica, equipos: componentes y accesorios. Regímenes de flujo. Calor aportado. Usos.
- C- Métodos de cálculo:** McCabe-Thiele. Datos de cálculo. Variables operativas: P, T, relación de reflujo, número de etapas, tipo de condensador y reboiler, Análisis de la carga. Efecto de la presión y reflujo. Condiciones límites de la relación de reflujo. Reflujo óptimo. Efecto del vapor de agua.
- D- Introducción a la destilación multicomponente:** conceptos, componentes clave. Número mínimo de platos, relación de reflujo mínimo, componentes distribuidos y no distribuidos. Métodos de cálculo.

Total, de horas teórico- prácticas: 15 horas.

#### **UNIDAD TEMATICA 4: ABSORCION GASEOSA - ADSORCIÓN – INTERCAMBIO IÓNICO - EXTRACCION LIQUIDO-LIQUIDO:**

- A- Absorción:** Marco conceptual. Equipos utilizados: Columnas de absorción y desorción. Tipos de torres, accesorios. Maniobras operativas. Análisis de las etapas de la transferencia. Determinación del número de etapas teóricas. Métodos de cálculo. Factor de absorción o desorción: análisis y optimización. Velocidad de inundación. Canalización. Eficiencias.
- B- Adsorción:** Marco conceptual, Ecuaciones de adsorción. Resolución de las ecuaciones de transferencia de masa. Adsorbedores. Aplicación al cálculo de equipos.
- C- Intercambio iónico- Desionización del agua:** Marco conceptual, Resinas catiónicas y aniónicas. Distintos métodos y equipos. Ejemplos. **Agua para Calderas** Tratamientos de agua para calderas (por resinas y por ósmosis). Normas. Incrustación. Corrosión Tratamiento del agua de aporte y la contenida en la caldera. Mantenimiento. Inspección. Puesta en marcha.
- D- Extracción Líquido – Líquido:** Marco conceptual, Efectos de la temperatura y presión. Elección del solvente. Recuperación. Contactos en una etapa o en múltiples etapas en contracorriente. Método gráfico. Obtención. Aplicaciones.

Total, de horas teórico-prácticas: 10 horas.

#### **UNIDAD TEMATICA 5: HUMIDIFICACION – SECADO:**

- A- Evaporación.** Introducción, usos, características, conceptos aplicados de transmisión de calor. Balances de materia y entalpías. Características de evaporadores químicos, tipos y componentes. Sistemas simple y múltiple efecto: objetivos y rendimiento. Métodos de recuperación de vapor, termo compresión, trampas., Cálculo de evaporadores, datos entálpicos necesarios.
- B- Cristalización.** Introducción, nucleación, crecimiento de los cristales, poliformismo. Procesos de cristalización industrial: Equipos
- C- Operaciones de humidificación:** Conceptos de humidificación y deshumidificación de un gas. Enfriamiento de un líquido. Torres de enfriamiento: descripción, fundamentos, métodos de cálculo. Aplicaciones.
- D- Operaciones de Secado.** Definición. Tipos de secado continuo y discontinuo. Etapas. Velocidad de secado. Secado continuo adiabático e isotérmico. Equipos. Balances de materia y entalpía. Aire necesario. Superficie de calefacción. Secado a bajas y altas temperaturas. Cálculos.

Total de horas teórico-práctica: 10 horas

## **UNIDAD TEMATICA 6: FLUIDIZACIÓN - SEPARACIONES POR MECÁNICA DE FLUIDOS - MEZCLADO - TAMIZADO:**

- A- Fluidización:** fundamentos de la operación. Descripción de los equipos y funcionamiento. Aplicaciones. Etapas: características, pérdida de carga y aumento de la porosidad, Calidad de la fluidización. Cálculo de un lecho fluidizado; Variables y características a considerar, ecuaciones. Arrastre de partículas. T.D.H. Ciclones. Transferencia de calor.
- B- Separaciones por mecánica de fluidos:** Fundamentos. Sedimentación. Clasificación hidráulica. Sedimentación centrífuga. Flotación. Filtración de líquidos y gases.
- C- Mezclado:** Fundamentos. Mezcla y mezclado. Suspensión de partículas sólidas, Operaciones de mezclado. Tanques agitados, tanques air lift, columnas burbujeadas, Selección de agitador
- D- Tamizado:** Fundamentos, tipos de tamices.

Total de horas teórico-práctica: 10 horas

## **UNIDAD TEMÁTICA 7: SIMULACIÓN DE OPERACIONES UNITARIAS**

- A- Simulación:** Concepto de modelado y simulación. Simulación estática y dinámica. Simulación Rigurosa. Simulación en el área petrolera, importancia e impacto.
- B- Definición de propiedades termodinámicas:** Ecuaciones analíticas de estado (enfoque uniforme): virial, cúbicas y de Benedict-Webb-Rubin. Modelos líquido-vapor (enfoque dual): modelo de solución homogénea, ecuación de van Laar, Wilson, NTRL (Non Random Two Liquid), UNIQUAC (UNiversal QUAsi Chemical) y UNIFAC (UNiversal Functional group Activity Coefficients). Coeficientes de asimetría, de actividad y de interacción. Definición de propiedades de componentes puros y de mezclas para realizar simulación de procesos. Esquema de selección.
- C- Simulación de operaciones unitarias en industrias.** Criterios generales para la simulación de operaciones unitarias. Balances de masa y energía en la simulación de operaciones unitarias (general, equipos y planta completa).

Total, de horas teórico-práctica: 30 horas

### ***METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA***

La metodología de enseñanza, apuntara al trabajo en equipo de los alumnos, introduciéndolos en la primera clase del semestre, en los conceptos teóricos necesarios para la comprensión y el estudio de la Materia.

El dictado de teoría se enfocará en el desarrollo de temas conceptuales, haciendo énfasis en los procesos

de transferencia propiamente dichos, analizando en profundidad las etapas limitantes y transfiriendo al alumno los detalles que le permitan solucionar la resolución de problemas y diseño de equipos. También se dará especial importancia a la influencia de variables de cada transferencia estudiada, analizando la mejora del proceso a través del manejo de variables operativas. Las demostraciones matemáticas que correspondan a un determinado punto del programa se harán sólo si permiten que el alumno interprete mejor el fenómeno en cuestión, para no hacer grandes ejercicios matemáticos. Se pondrá especial interés en aclarar bien el uso de los números adimensionales para determinar parámetros de transporte y su rango de aplicación, uso de tablas y datos obtenidos de sistemas multimedia.

Se utilizará el método de aula invertida para el dictado de clases y mejorar la participación de los alumnos en clase. La primera clase será dictada de forma tradicional y se explicará a los alumnos la metodología de dictado de la materia, material didáctico disponible y forma de encarar el estudio. A partir de la segunda clase comenzará de lleno la metodología de dictado. Para ello se aprovechará la estructura virtual proporcionada por la Facultad a través del Aula Abierta. En esta página se disponen de videos de las clases teóricas, textos que estén disponibles según Creative Commons, apuntes y el material didáctico necesario.

La clase se dividirá en dos partes: en la primera de 4 hs el docente dará un breve resumen de la unidad temática y luego los alumnos participarán preguntando las dudas y respondiendo preguntas que elaborará el docente, analizando distintas alternativas, posteriormente pasarán a resolver problemas, aclarando las dudas que tuvieran en la resolución con el docente. Una vez concluido el problema un alumno seleccionado por el docente o que se ofrezca voluntariamente expondrá brevemente en forma conceptual la resolución de uno de los problemas en pizarrón y la clase, con la guía del docente, realizará el análisis de la resolución. Esto se repetirá si es posible con todos los problemas convocando a distintos alumnos, o bien se realizará la exposición con los problemas tipo en función del tiempo disponible. Los problemas resueltos por cada alumno se subirán a la página web en formato pdf, de forma tal que el profesor pueda revisarlo y si hay alguna corrección que realizar o profundizar el análisis le transmitirá los comentarios correspondientes a través de la retroalimentación que posee el aula abierta. El plazo de entrega de cada práctico será de 10 días a partir de la clase. El docente dispondrá de otros siete días para revisar y responder a los alumnos el resultado de la corrección. Posteriormente en las dos últimas horas la clase continuará con el desarrollo de la operación unitaria considerada mediante el uso de simulador. Se dispone de un simulador para uso académico con llave abierta (open key). Se conformarán grupos de dos a cuatro alumnos y cada grupo deberá llevar a clase una notebook para la resolución de la simulación que puede ser de un grupo seleccionado de operaciones o bien de una planta industrial que posea 3 ó 4 operaciones unitarias. Este desarrollo se hará a través del semestre.

**Trabajo práctico laboratorio:** Se realizará un trabajo práctico de laboratorio y una visita de análisis a la planta piloto de la Facultad.

**Visita de estudio a industria:** se hará una visita como mínimo a una planta industrial.

<b>Actividad</b>	<b>Carga horaria por semestre</b>
Formación Teórica	40
Formación Simulación	30
<b>Formación experimental</b>	
Formación Experimental – Laboratorio	2
Visitas de Estudio	1
Resolución de problemas de ingeniería	17
Proyecto y diseño	0
<b>Total</b>	<b>90</b>

### ***BIBLIOGRAFÍA***

#### ***Bibliografía básica***

<b>Título</b>	<b>Autor(es)</b>	<b>Editorial</b>	<b>Año de edición</b>
Transferencia de calor en ingeniería de procesos	Cao, Eduardo	Nueva Librería	2006 Edición: 2a. ed.
Operaciones unitarias en ingeniería química	McCabe, Warren L. Smith, JulianC.Harriott, Peter.	McGraw-Hill,	2007. Edición: 7
Operaciones de Separación en Ingeniería Química	Pedro J. Martínez de la Cuesta	Pearson	2005
Apuntes de la Cátedra de operaciones unitarias	Caballero, Alfredo Gálvez, José Pérez, Héctor	Publicación: Facultad de Ingeniería	2020

### ***EVALUACIONES (S/ Ord. 108-10\_CS)***

Se plantea la promocionalidad de la materia. Para ello la evaluación se hará orientada a esta metodología, pero el alumno dispondrá además de la opción de la evaluación mediante la obtención de la regularidad seguida de un Exámen Final.

### **Promoción de la materia.**

Se hará través de la evaluación de cada unidad temática del programa mediante una evaluación por cada una, a través de la resolución de un cuestionario conceptual y tres problemas en forma presencial a través del aula abierta, utilizando notebook, Tablet o celular, en un periodo de tiempo de 60 a 70 minutos al comienzo de la clase siguiente a la finalización de la unidad temática. De esta forma el alumno dispondrá del resultado de la misma inmediatamente finalice el tiempo fijado para realizar la evaluación. La evaluación será individual y se promocionará con el 80 % de las respuestas correctas ponderando 60 % al cuestionario y 40 % a los problemas (de estos debe realizar el 66 % de los mismos). Tendrá una posibilidad de recuperarla en la semana siguiente si no resultó aprobada. Si una de las evaluaciones no alcanza 80 % se promociona o aprueba el recuperatorio sólo se considerará la nota de este último y no la de la evaluación original ya que se considera el recuperatorio una etapa de aprendizaje.

En caso de no lograr esa instancia de aprobación el alumno podrá recurrir a la alternativa obtención de la regularidad y exámen final como se indica en el apartado siguiente.

Para la simulación los alumnos deberán realizar en clase y entregar cada práctico. Luego realizaran en el trabajo global como forma de evaluación. De esta forma se tendrá la evaluación de la unidad temática 7. En caso de inasistencia a una evaluación el alumno deberá realizar el recuperatorio correspondiente, y en caso de una inasistencia justificada se considerará el recuperatorio como evaluación inicial pudiendo existir otra instancia más para recuperar.

Para la obtención de la promoción el estudiante deberá entregar los trabajos prácticos, tener aprobadas todas las evaluaciones temáticas o sus recuperatorios (con el 80 % cada una) y el trabajo de simulación. En caso de no realizar una o más evaluaciones temáticas o su recuperatorio, el alumno pasará a la instancia de obtención de regularidad.

**Obtención de regularidad:** Se hará través de la evaluación de cada unidad temática del programa mediante una evaluación por cada una, a través de la resolución de un cuestionario conceptual y tres problemas en forma presencial a través del aula abierta, utilizando notebook, Tablet o celular, en un periodo de tiempo de 60 a 70 minutos al comienzo de la clase siguiente a la finalización de la unidad temática. De esta forma el alumno dispondrá del resultado de la misma inmediatamente finalice el tiempo fijado para realizar la evaluación. La evaluación será individual y se aprobará con el 60 % de las respuestas correctas ponderando 60 % al cuestionario y 40 % a los problemas. Tendrá una posibilidad de recuperarla en la semana siguiente si no resultó aprobada. Para considerar aprobada esta etapa el alumno deberá tener una nota de 60 % en las seis evaluaciones y los recuperatorios que hubiera realizado. Para el cálculo de la nota en caso de recuperatorio sólo se considerará la nota de este último y no la de la evaluación original más las de las evaluaciones aprobadas ya que se considera el

recuperatorio una etapa de aprendizaje.

En caso de no lograr esa instancia de aprobación el alumno podrá recurrir a la alternativa de un examen global con su correspondiente recuperatorio que se realizará de la misma forma que las evaluaciones (en forma conceptual via Aula Abierta) y la nota de aprobación será de 60 %.

Para la simulación los alumnos deberán realizar en clase y entregar cada práctico. Luego realizaran en el trabajo global como forma de evaluación. De esta forma se tendrá la evaluación de la unidad temática 7. En caso de inasistencia a una evaluación el alumno deberá realizar el recuperatorio correspondiente, y en caso de una inasistencia justificada se considerará el recuperatorio como evaluación inicial pudiendo existir otra instancia más para recuperar.

Para la obtención de la regularidad el estudiante deberá entregar los trabajos prácticos, tener aprobadas las evaluaciones temáticas o sus recuperatorios (manteniendo 60 % en dada examen) o el examen global (o su recuperatorio) y el trabajo de simulación. En caso de no realizar una o más evaluaciones temáticas o su recuperatorio, el alumno deberá realizar el examen global para obtener la regularidad, además de la aprobación del trabajo de simulación.

**Examen final:** Se realizará para todos los alumnos regulares, libres por pérdida de regularidad y libres que no hayan alcanzado la regularidad. En el caso de libres por pérdida de regularidad el examen será similar a los regulares y los alumnos libres deberán realizar un examen escrito que incluye la resolución de un problema más una serie de preguntas conceptuales sobre simulación previo al examen regular.

El alumno recibirá una hoja en donde estarán escritas las consignas del examen. Este incluirá la resolución de un problema de complejidad similar a los dictados en clase, en donde el alumno además de la resolución deberá justificar conceptualmente la metodología. En esta etapa el docente podrá preguntar conceptos que amplíen el tema considerado de forma de disponer del equivalente de un tema de teoría además del problema resuelto. Posteriormente el alumno desarrollará un tema de teoría indicado por el docente.

### **Criterios de evaluación:**

Aplicando la metodología de evaluación por competencias se proponen los siguientes criterios de evaluación, rúbrica analítica y niveles de logro.

#### a) Criterios de evaluación

- 1- Conozca los principios termodinámicos, fisicoquímicos y matemáticos que modelan las operaciones de transferencia de calor, materia y cantidad de movimiento.
- 2- Identifique los equipos utilizados y describa sus componentes y detalles necesarios para realizar la transferencia.

- 3- Identifique los mecanismos de transferencia que ocurren en una operación unitaria definida en base al equipo utilizado
- 4- Identifique y obtenga las propiedades necesarias para modelar la transferencia por experimentación, por base de datos (tablas, gráficos, bases informáticas) o correlaciones adimensionales entre propiedades conocidas o medibles.
- 5- Aplique los conceptos o principios para modelar la o las transferencias que ocurren en una operación unitaria definida
- 6- Calcule el número de etapas y dimensiones para cada equipo de transferencia de calor, materia o cantidad de movimiento en una operación unitaria definida.

### ***Programa de examen***

Las preguntas prácticas y teóricas del Examen Final, surgen en forma aleatoria de una carpeta de Examen Final, preparada por la Catedra, para ese fin.

Cada pregunta contiene un ejercicio práctico simple de una Unidad Temática y una pregunta de desarrollo de otra Unidad Temática del programa de estudio.

24/7/23



José Antonio Gálvez

**FECHA, FIRMA Y ACLARACIÓN  
TITULAR DE CÁTEDRA**