



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado

APRUEBA CURSOS DE ACTUALIZACIÓN DE POSGRADO DEL DOCTORADO EN TECNOLOGÍAS QUÍMICAS

Buenos Aires, 22 de octubre de 2015

VISTO la presentación de la Facultad Regional Buenos Aires en la que solicita aprobar y autorizar cursos de posgrado para el Doctorado en Ingeniería, mención Tecnologías Químicas, y

CONSIDERANDO:

Que la citada Facultad Regional solicita la aprobación y autorización de implementación de los Cursos de Actualización de Posgrado "Procesos de transporte en sistemas multifásicos" y "Fenómenos de transporte: transferencia de calor y materia en sistemas multicomponentes".

Que los Cursos propuestos responden a la necesidad de brindar a docentes, investigadores y graduados de la Universidad conocimientos científicos actualizados dirigidos a doctorandos en Ingeniería, mención Tecnologías Químicas.

Que la Facultad Regional Buenos Aires cuenta con un plantel de profesores de elevado nivel académico y profesional, además de una prolongada y amplia experiencia en el dictado de cursos y seminarios vinculados a los propuestos.

Que la Comisión de Posgrado de la Universidad ha analizado los antecedentes que acompañan la solicitud y avala la presentación, y la Comisión de Ciencia, Tecnología y Posgrado recomienda su aprobación.

Que el dictado de la medida se efectúa en uso de las atribuciones otorgadas por el Estatuto Universitario.

A handwritten signature in black ink, appearing to be a stylized 'P' or similar character.



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado

Por ello,

EL CONSEJO SUPERIOR DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

ORDENA:

ARTÍCULO 1°.- Aprobar el currículum de los Cursos de Actualización de Posgrado "Procesos de transporte en sistemas multifásicos" y "Fenómenos de transporte: transferencia de calor y materia en sistemas multicomponentes".

ARTÍCULO 2°.- Autorizar el dictado de los mencionados Cursos en la Facultad Regional Buenos Aires con el Cuerpo Docente que figura en el Anexo II y es parte integrante de la presente Ordenanza.

ARTÍCULO 3°.- Regístrese. Comuníquese y archívese.

A small, handwritten mark or signature in the left margin.

ORDENANZA N° 1505

A large, stylized handwritten signature in black ink.

ING. HÉCTOR CARLOS BROTTTO
RECTOR

A smaller, stylized handwritten signature in black ink.

A.U.S. RICARDO F. O. SALLER
Secretario del Consejo Superior



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado



ORDENANZA Nº 1505

ANEXO I

CURSOS DE ACTUALIZACIÓN DE POSGRADO DEL DOCTORADO EN INGENIERÍA MENCIÓN TECNOLOGIAS QUÍMICAS

I. PROCESOS DE TRANSPORTE EN SISTEMAS MULTIFASICOS

1. Fundamentación

Los fenómenos de transporte constituyen parte de la currícula de las carreras de grado de químicos, físicos e ingenieros con diferentes aproximaciones y profundidad. Dada su complejidad, estos cursos se incluyen normalmente además como tópicos de postgrado con enfoques originados en distintas disciplinas (ingeniería química, ingeniería mecánica, fisicoquímica, matemáticas, etc.). No obstante, cuando se desea avanzar en el diseño de equipos y componentes en distintas escalas tales como intercambiadores de calor, heat pipes, equipos de enfriamiento de mini y micro componentes y otros que involucran fases múltiples y transferencia de calor y masa simultáneas, es necesario considerar y entender en procesos de transporte en sistemas multifásicos. Más aún si se desean aplicar conceptos modernos de aumento de los procesos de transporte a los efectos de compactar el equipo y reducir tiempos de contacto. De allí que sea poco común en grado y aun en postgrado que se impartan cursos donde se manejen en forma simultánea los tópicos necesarios para entender en las características complejas de los sistemas multifásicos. Por lo tanto, en conjunto se tratarán los siguientes temas:

1. Termodinámica de equilibrio entre fases múltiples. Efectos interfaciales.
2. Múltiples conjuntos de propiedades.



*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado*

3. Múltiples interfaces y condiciones de contorno.
4. Predomina la transferencia de calor latente
5. Predominan procesos acoplados de transferencia de calor y masa y efectos cruzados.
6. Se presentan dinámicas complejas: gotas, burbujas y ondas superficiales.
7. Existen varias escalas dentro de un problema.

Luego los sistemas se clasificarán según los siguientes grupos (a manera de ejemplo):

1. Flujo multifásico: Transferencia de Cantidad de movimiento, calor y materia en sistemas multifásicos.
2. Según las fases existentes.
3. Según la configuración geométrica.
4. Según la estructura de las interfaces

Según lo anterior es propósito del curso desarrollar expresiones y metodologías más abarcativas partiendo de las leyes físicas conocidas, mostrando su aplicación a todos los tipos de cambio de fase (en lo posible) en forma conceptual. Luego tomando algunos casos de sistemas multifásicos de interés tecnológico industrial o en la generación de energía eléctrica proceder a ejemplificar con aplicaciones.

El curso se complementa con algunas técnicas de solución numérica para las ecuaciones diferenciales ordinarias o en derivadas parciales que se plantean y también de metodologías semianalíticas, mediante por ejemplo perturbaciones, para obtener expresiones simples de solución de los problemas.

2. Objetivos

- Comprender la importancia del estudio de los Fenómenos de transporte en Sistemas Multifásicos.

A small, handwritten mark or signature in the bottom left corner of the page.



*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado*

- Desarrollar expresiones y metodologías para su aplicación a todos los tipos de cambio de fase (en lo posible) en forma conceptual.
- Ejemplificar con aplicaciones a casos actuales de sistemas multifásicos de interés tecnológico industrial o en la generación de energía eléctrica.

3. Contenidos

Unidad 1: Termodinámica y funciones energéticas.

1ra Ley, 2da Ley: Calor, trabajo, entropía. Apartamiento del equilibrio. Funciones termodinámicas.

Sistemas abiertos, ciclos: cambio y generación de entropía.

Consideración simultánea de la 1ra y 2da Ley: diseño por EGM (Minimización de la generación de entropía) o disponibilidad de trabajo (diseño por exergía).

Aplicación a fenómenos de transporte: fricción y forma, intercambiadores, mezclado, redes de cañerías y número de entropía.

Unidad 2: Sistemas monofásicos, multifásicos y multicomponente.

Sistemas multifásicos. Ecuación de Gibbs-Duhem. Regla de las fases generalizada.

Ecuaciones de estado y diagramas. El calor latente.

Estabilidad mecánica.

Estabilidad de los estados metaestables. Predicción: Ecuaciones de Lienhard.

Unidad 3: Fuerzas y flujos generalizados en los Fenómenos de Transporte.

Fuerzas impulsoras en los Fenómenos de Transporte. Cantidad de movimiento, Conducción, Difusión. Otros Fenómenos de Transporte cruzados: termodifusión, difusión de presión. Generalización.

Unidad 4: Modelos en Fenómenos de Transporte que llevan al diseño de equipos



*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado*

Balances y Modelos Globales: Tanque Agitado (TAC), Modelos matemáticos: Ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO).

Modelos Distribuidos: Flujo Pistón (FPI), Modelos Matemáticos: ecuaciones en derivadas parciales (EDP). Interfaces. Con o sin reacción. De separación, de control por el equilibrio y por la cinética.

Balances macroscópicos para sistemas multifásicos. Idem microscópicos. Desarrollo: Balances de Cantidad de Movimiento, Energía y Masa. Condiciones de contorno complementarias.

Formulaciones locales de los balances: Promediado de Euler y de Lagrange

Formulaciones promediadas para sistemas heterogéneos: de Superficie, de Volumen, Estadística de Boltzmann. Modelo Multifásico Multifluído. Mezcla Multifásica y Modelo Homogéneo.

Análisis dimensional: adimensionales en los sistemas multifásicos.

Análisis de escala de las EDP y EDO.

Unidad 5: Modelos de interfaces

5.1 Modelos de: doble film, remoción de la superficie, interfaces turbulentas.

5.2 Fuerzas en la interface. Tensor superficial y tensión superficial.

5.3 Termodinámica e interfaces: análisis y validez de la hipótesis de equilibrio en Transferencia de Masa. Distintos casos de Transferencia de Masa en sistemas multifásicos.

5.4 Nucleación. Teoría cinética sobre calentamiento y límite cinético. Resistencia interfacial de evaporación, condensación y transporte de masa. Aplicaciones: condensación en centrales termoeléctricas. Turbinas de vapor y línea de Wilson: aspectos térmicos y químicos.

Unidad 6: Dinámica de sistemas Sólido-Líquido-Vapor

Equilibrio de gotas y burbujas en la microescala.





Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado

Dinámica de interfaces. Flujo termocapilar y transferencia de masa.

Aproximación de películas delgadas (Thin film) con superficie libre.

Unidad 7: Casos de sistemas multifásicos y aplicaciones industriales simples.

Tiempos de propagación. Validez de modelos tipo TAC.

Ejemplos con modelos simples: Recipientes en equilibrio Líquido/Vapor que se vacían, con rociadores para reducir la presión, ventean, etc. Flujos libres: jet macroscópico.

Balances no estacionarios

Unidad 8: Fusión y solidificación.

Aplicaciones, clasificación, regiones. Ablación: remoción de un material de la superficie por evaporación. Métodos de solución.

Perforado laser. Sinterizado.

Compuestos binarios, Mezclas.

Unidad 9: Deposición de vapor y sublimación.

Descripción del Fenómeno de Transporte y planteo.

Caso con reacción química.

Ejemplo: Fabricación de semiconductores.

Unidad 10: Condensación por inyección directa.

Hidrodinámica y jets. Jet laminar, modelos: renovación de la superficie. Jet turbulento: estabilidad y regiones.

Fenómenos de Transporte, modelado por analogías. Aplicaciones: Diseño de equipos.

Descarga de válvulas de seguridad. Diseño de spargers en condensación directa de vapor bajo agua. Precalentadores de inyección directa de vapor en ciclos térmicos.

Condensación en ambientes de baja gravedad: métodos para aumentar la remoción de condensado.



*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado*

Unidad 11: Evaporación por contacto directo.

Evaporación homogénea y heterogénea.

Evaporación de gotas. Jets de líquido en vapor. Hidrodinámica. Régimen laminar y turbulento. Evaporación de jets de líquido.

Transferencia de Masa. Mezclas.

Unidad 12: Evaporación en película delgada

Evaporación desde superficies lisas. Análisis de Nusselt generalizado. Régimen laminar monofásico en superficies onduladas.

Evaporación desde superficies onduladas y con generación de ondas en la superficie.

Evaporación en película desde soluciones salinas concentradas

Unidad 13: Procesos de Transporte y balances aplicados a procesos en centrales e instalaciones nucleares y térmicas en los que participan algunos sistemas multifásicos complejos.

Acoples entre fases: generación en sólidos-difusión-transporte convectivo-precipitación.

Sistemas abiertos y cerrados.

Detección de elementos combustibles fallados en centrales nucleares.

Ensuciamiento (fouling) de equipos por precipitación y deposición de partículas. Activación y transporte de actividad.

Corrosión asistida por flujo

Heat pipes: evaporación y condensación en medios porosos. Aplicación a recuperación de energía en centrales desde corrientes de baja temperatura. Aplicación a refrigeración de componentes electrónicos. Aislación de paredes de tubos en centrales supercríticas.

Unidad 14: Soluciones numéricas y mediante aproximaciones asintóticas y métodos de perturbación.





*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado*

Métodos numéricos para solución de algunos de los ejemplos del curso.

Aproximaciones asintóticas. Introducción. Aplicaciones a los ejemplos del curso.

4. Duración

El curso tendrá una carga horaria de OCHENTA (80) horas.

5. Metodología

El régimen de cursado previsto es presencial. El curso se desarrollará a través de clases teórico-expositivas, la resolución de problemas y la aplicación a casos actuales de sistemas multifásicos de interés tecnológico industrial o en la generación de energía eléctrica.

6. Evaluación:

Para la aprobación del curso se requerirá, además de la asistencia, la aprobación de un examen final escrito e individual.

II. FENOMENO DE TRANSPORTE: TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA EN SISTEMAS MULTICOMPONENTES

1. Fundamentación

Los fenómenos de transporte a nivel molecular constituyen parte de la currícula de las carreras de grado de químicos, físicos e ingenieros con diferentes aproximaciones y profundidad. Dada su complejidad, estos cursos se incluyen normalmente además como tópicos de postgrado con enfoques originados en distintas disciplinas (físicoquímica, matemáticas, etc.). No obstante, la elegancia de los planteos y soluciones se pierde al aparecer el flujo convectivo. Es así que en el curso de un capítulo al siguiente se comienza a hablar de coeficientes de transferencia de calor y materia, que en ocasiones pueden ser

A small, handwritten mark or signature in the bottom left corner of the page.



*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado*

calculados y en otras son obligatoriamente resultado de experimentos, sin observarse cuál es el paso o vínculo entre ambas situaciones. De allí que se detecte tanto en la literatura como en la formación profesional esta dificultad y es propósito del curso, establecer cuál es el pasaje que relaciona el transporte a nivel molecular en sistemas multicomponente con los balances en un medio continuo necesarios para encarar el dimensionamiento de equipos o la predicción del estado de las variables en función del tiempo. Se prevé su aplicación a algunos casos actuales en el diseño de reactores y equipos de transferencia de calor-materia en ingeniería química tales como los que presentan separaciones reactivas.

2. Objetivos

- Comprender la importancia del estudio de los Fenómenos de transporte a nivel molecular en presencia de flujo convectivo.
- Analizar los mecanismos de obtención de los coeficientes de transferencia de calor y materia
- Establecer cuál es el pasaje que relaciona el transporte a nivel molecular en sistemas multicomponente con los balances en un medio continuo necesarios para encarar el dimensionamiento de equipos o la predicción del estado de las variables en función del tiempo.

3. Contenidos

Conceptos fundamentales

Unidad 1: Conceptos fundamentales y el problema de la transferencia de masa.

Introducción. Ideas y definiciones básicas. La hipótesis del continuo. Cuerpo, movimiento y coordenadas materiales. Derivadas respecto del tiempo. El Teorema del Transporte. Ecuaciones de balance macroscópico generalizadas para la conservación de propiedades



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado

de interés.

Establecimiento del problema mediante las escalas de aproximación. Distintas condiciones: medio estanco y movimiento impuesto en forma externa. Definición de concentraciones, flujos y velocidades en distintos sistemas de referencia para multicomponentes. Relaciones. Aplicaciones.

Unidad 2: Ecuaciones de balance microscópico para fluidos puros y mezclas binarias.

Diversas formas de las ecuaciones de cambio para sistemas isotérmicos y no isotérmicos. Las ecuaciones de continuidad, movimiento y energía. Ecuaciones constitutivas para el tensor de tensiones y transferencia de energía. Las ecuaciones de balance para sistemas en flujo turbulento. Sistemas con condiciones de salto en la interface.

Conducción del calor en sólidos en estado estacionario y no estacionario. Soluciones para distintas geometrías y condiciones de borde. Conducción en superficies extendidas. Análisis dimensional de las ecuaciones de variación. Conducción, convección y disipación viscosa en fluidos. Similitudes con problemas de difusión-convección con reacción química. Teoría de la capa límite. Aplicaciones: Convección natural y convección forzada, condensación, ebullición en película. Capa límite con transferencia de masa: disolución de la superficie, reacción en la superficie, ebullición en película con reacción en la superficie. Capa límite con transferencia de materia alrededor de objetos con flujos complejos.

Sistemas multicomponente

Unidad 3: Ecuaciones de balance microscópico para mezclas multicomponente.

Sistemas binarios. Sistemas multicomponente: ecuación de continuidad y balance de energía. Modelos de transferencia de masa y energía simultáneos. Diferentes aproximaciones del balance de masa multicomponente en condiciones de transporte bajo

A small, handwritten mark or signature in the bottom left corner of the page.



Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado



difusión-convección.

Unidad 4: Difusión en sistemas multicomponente

Ecuaciones constitutivas. Mezclas binarias. Ley de Fick generalizada. Teoría de Maxwell-Stefan (MF) para multicomponentes. Mezclas no ideales. La formulación generalizada de fuerzas y flujos mediante la teoría de Maxwell-Stefan. Soluciones exactas, linealización, difusividades efectivas. Estimación de coeficientes de difusión. Aplicaciones.

Unidad 5: Transferencia de masa interfacial.

Definición de coeficiente de transferencia de masa en multicomponentes. Problema general de la relación de los flujos convectivo, difusivo y concentraciones. Condiciones de determinancia físicas. Soluciones exactas, linealizadas y métodos simplificados explícitos. Coeficientes de transferencia de masa globales en interfaces para multicomponentes. Estimación de los coeficientes. Aplicaciones: condensación multicomponente, otras separaciones.

Unidad 6: Transferencia de masa multicomponente con reacción química.

Transferencia de masa multicomponente con reacción química en sistemas homogéneos y heterogéneos. Mezclas binarias y pseudobinarias. Modelo del Dusty Gas (DG). Derivación a partir de argumentos de la conservación de la cantidad de movimiento. Ecuación generalizada de flujos y fuerzas: difusión de presión y difusión térmica, gradiente de presión. Caso no isotérmico. Metodologías de resolución. Aplicaciones: separaciones reactivas: reactores de membrana catalítica, distintas configuraciones. Reacción con absorción.

Unidad 7: Otros modelos y condiciones

Coeficientes de transferencia de materia con alta velocidad de transporte en la interface. Modelos de renovación de la superficie. Modelos con reacciones químicas rápidas. Modelos que incorporan el efecto de fuerzas interfaciales. Efectos sobre la transferencia de calor y



*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado*

materia simultáneas.

Extensión del modelo de Kerkhof-Geboers (KG) al balance de momento por especie.

Viscosidades parciales y balance global. Mezclas de gases y líquidos. Modificaciones al planteo de Maxwell-Stefan y fuerzas generalizadas. Revisión del transporte en poros de catalizadores: ampliación del modelo del Dusty Gas y condiciones de contorno.

Sistemas multifásicos

Unidad 8: Conceptos

Sistemas multifásicos y escalas. Termodinámica: interfaces en equilibrio: tensión superficial, presión diferencial, burbujas y gotas. Sobrecalentamiento y subenfriamiento. Metaestabilidad y nucleación. Sistemas multicomponente multifásicos: balances macroscópicos. Balances diferenciales. Condiciones de contorno en la interface simples.

Modelos generalizados para sistemas multifásicos. Formulaciones promediadas: de Euler, de Lagrange y estadísticas promediadas.

Aplicaciones a la transferencia de materia multiespecie: condensación y evaporación en poros y canales. Promediado en la sección y flujos separados.

Unidad 9: Aspectos sobre matemática de superficies e interfaces

Matemática de las interfaces y superficies. Coordenadas. Gradiente de campos escalares y vectoriales superficiales. Tensores superficiales y transformaciones. El tensor tangente y de proyección. Geometría diferencial y curvaturas. Divergencia e integración superficial. Teoremas integrales en la superficie para tensores.

Unidad 10: Ecuaciones constitutivas, balances y aplicaciones

Interfaces y el Balance de Cantidad de Movimiento en la interface. El principio de indiferencia y las ecuaciones constitutivas en la interface. Interface de un fluido newtoniano,

A small, handwritten mark or signature in the bottom left corner of the page.



*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado*

viscosidades. Caso particular: ecuación de Laplace. Aplicación: viscosímetro para determinar viscosidades superficiales.

Casos límite de la Transferencia de energía y masa con gradiente de tensión superficial inducido por gradiente de temperatura. Aplicaciones de los balances diferenciales a la transferencia de masa aplicando un modelo para el tensor de tensiones en la interface.

4. Duración

El curso tendrá una carga horaria de OCHENTA (80) horas.

5. Metodología

El régimen de cursado previsto es presencial. El curso se desarrollará a través de clases teórico-expositivas, la resolución de problemas y la aplicación a casos actuales en el diseño de reactores y equipos de transferencia de calor-materia en ingeniería química tales como los que presentan separaciones reactivas.

6. Evaluación

Para la aprobación del curso se requerirá, además de la asistencia, la aprobación de un examen final escrito e individual.

A small, handwritten mark or signature in the left margin, consisting of a circle with a vertical line through it and a small tail.



*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado*

ORDENANZA N° 1505

ANEXO II

**CURSOS DE ACTUALIZACIÓN DE POSGRADO DEL DOCTORADO EN INGENIERÍA
MENCION TECNOLOGIAS QUIMICAS
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES**

I. PROCESOS DE TRANSPORTE EN SISTEMAS MULTIFASICOS

- CHOCHRÓN, Mauricio

Ingeniero Químico, Universidad de Buenos Aires.

Doctor de la Universidad de Buenos Aires en Ingeniería

II. MODELADO MOLECULAR: ESTUDIO DE PROPIEDADES DE MATERIALES

- CHOCHRÓN, Mauricio

A handwritten signature in black ink, appearing to be a stylized name.