

Nb: 25
1965

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
BUENOS AIRES

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

OPERACIONES
UNITARIAS I

PROGRAMA
.....

C E D Q

1965

centro de estudiantes del
doctorado en química

2

1. - Introducción a las operaciones unitarias:

Definición de operación unitaria. Operaciones unitarias fundamentales y particulares. Breve Historia de la evolución en el estudio de la tecnología química y del origen de las operaciones unitarias.

Magnitudes, dimensiones y unidades. Sistemas de unidades a emplear. Transformación de unidades. Empleo de la constante g_c .

Fenómeno de transporte. Ecuación general del transporte. Su deducción a partir de la teoría cinética elemental para los gases. Transporte de cantidad de movimiento, de calor y de materia. Fuerzas impulsoras y resistencias.

Teoría de la semejanza. Criterios de semejanza. Semejanza geométrica y semejanza dinámica.

Análisis dimensional. Teoremas fundamentales. Técnica del cálculo de los números adimensionales. Aplicaciones. Limitaciones del análisis dimensional.

2. - Transporte de cantidad de movimiento :

Viscosidad. Definición y concepto físico de viscosidad. Ley de Newton. Régimen estacionario y régimen variable. Unidades de viscosidad. Viscosidad cinemática. Deducción de la Ley de Newton a partir de la ecuación general del transporte.

Predicciones de viscosidad para gases y líquidos. Teoría cinética elemental y teoría cinética corregida. Dependencia de la temperatura y la presión. Mezcla de gases.

Fluidos no-newtonianos. Distintos modelos.

Caracterización del movimiento de un fluido. Régimen laminar y turbulento. Fluctuaciones de la velocidad.

7

las operaciones difusionales. Definición de concentraciones, velocidades y flujos máximos.

Tema 2 : Ley de Fick. Difusividad. Aspectos cualitativos de la difusividad en gases, líquidos y sólidos. Teoría de la difusión ordinaria de gases a baja densidad. Forma general que asumen las tres transferencias tratadas para gases a baja densidad. Estimación de difusividades gases. Ecuación de Gilliland. Ecuaciones basadas en la teoría de Chapman-Enskog. Difusividad en líquidos. Ecuación de Wilke-Chang. Difusividad en sólidos. Difusión en poros: difusividad efectiva. Difusión Knudsen. Difusión superficial. Membranas celulares y difusividad.

Tema 3 : Ecuación general de la difusión. Condiciones de contorno. Algunas soluciones para difusión en mezclas binarias con aplicación a métodos experimentales para la determinación de difusividades. Celda de Stokes y método de Winkelmann. Contradifusión molecular y difusión a través de un fluido inmóvil. Extracción de un material sólido a través de un sólido poroso. Difusión en régimen no-estacionario. Semejanza con transferencia de calor.

Tema 4 : Transferencia de masa con convección. Coeficiente de transferencia de masa, de película líquida y de película gaseosa. Coeficiente total de transferencia de masa. Transferencia en régimen laminar: tubo, plano, película que cae absorbiendo un gas. Transferencia en régimen turbulento. Difusividad turbulenta de transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa. Analogías de Reynolds, de Prandtl-Taylor. Aproximación de Chilton-Colburn. Factores j . Limitaciones de las analogías.

Tema 5 : Ecuaciones de diseño, en transferencia de masa, para una sola fase móvil. Planos, tubos, esferas; lecho relleno; transferencia desde gotas. Introducción al problema de transferencia con dos fases en movimiento. Absorción de gases a bajas concentraciones del componente a absorber.

nar y turbulento. Condensación sobre tubos horizontales. Banca de tubos. Cálculo de la temperatura de pared. Efecto del vapor sobrecalentado y de gases no condensables. Condensación en gotas.

Tema 10: Ebullición. Introducción. Tipos de ebullición. Ebullición nucleada. Crecimiento y movimiento de burbujas. Ebullición con superficie libre. Efecto de la presión. Envejecimiento. Geometría de la superficie. Correlación de datos experimentales: a) ebullición nucleada con interfase libre; b) ebullición nucleada con convección; c) flujo máximo en ebullición nucleada. Ebullición en película.

Tema 11: Equipos de transferencia de energía. Intercambiadores de calor. Tipos de intercambiadores. Doble tubo; carcaza y tubo, etc. Coeficiente total de transferencia y factor de ensuciamiento. Ecuaciones generales válidas para intercambiadores de doble tubo. Temperatura media logarítmica. Coeficiente total de transferencia que varía linealmente con la diferencia de temperaturas. Intercambiadores de carcaza y tubo. Influencia de los cortacorrientes. Área media. Empleo de gráficos para varios pasos. Flujo cruzado. Método de Wilson: obtención de coeficientes peliculares. Formas especiales de intercambiadores. Transferencia de calor en reactores; serpentín y camisa. Correlaciones. Calentamiento de líquidos en tanques.

Tema 12: Radiación. Generalidades. Origen de la radiación. Distribución de la energía radiante con la longitud de onda. Relación entre emisividad y coeficiente de absorción. Influencia de la temperatura sobre el poder emisor. Intercambio de energía entre dos placas infinitas - cuerpos negros - entre cuadrados, discos, rectángulos. Intercambio de energía entre dos placas paralelas de diferente emisividad, infinitas, pantallas, esferas y cilindros concéntricos. Radiación a un medio completamente absorbedor: v.g. desde un caño aislado al ambiente. Radiación de gases. Radiación solar.

TRANSFERENCIA DE MASA

Tema 1: Generalidades. Vaporización del agua del mar. Secado por pulverización. Absorción de gases. Clasificación de las operaciones de transferencia de masa. Formas de realizar

instantánea en régimen turbulento. Intensidad de turbulencia y escala de turbulencia.

Balances diferenciales de masa y de cantidad de movimiento. Análisis de los esfuerzos en la ecuación de movimiento. Ecuación de Navier Stokes y de Euler. Generalización de la ecuación de Navier Stokes. Aplicaciones de las ecuaciones de cambio.

Régimen laminar. Balances de cantidad de movimiento para distintos casos. Perfiles de velocidades. Deducción de la ley de Hagen-Poiseuille. Velocidad media. Flujo másico.

Fricción en flujo de fluidos. Balance de energía para un fluido en movimiento. Teorema de Bernoulli. Energía cinética, su expresión en función de la velocidad media. Cálculo de la pérdida por fricción. Factor f . Su dependencia del número de Reynolds. Aplicaciones al cálculo, método de Von Karman.

Flujo a través de lechos porosos. Ecuación de Blake-Kozeny. Factor de fricción para lechos porosos. Ecuación de Ergun. Flujo simultáneo de dos fluidos. Conceptos de permeabilidad y saturación. Velocidades de transición y de inundación. Métodos de cálculo para torres rellenas.

Perturbaciones del flujo frente a superficies sólidas. Formación de la capa límite. Longitud crítica y longitud de estabilización. Distribución de velocidades en la capa límite. Aplicación de la teoría de la capa límite al cálculo del perfil de velocidades en régimen turbulento. Espesor de la subcapa laminar.

Movimiento relativo entre fluidos y partículas. Concepto de arrastre. Ley de la resistencia de Newton. Ley de Stokes. Velocidad terminal. Coeficiente de arrastre y su dependencia del Reynolds. Formación de la capa límite sobre partículas. Método de Heywood para el cálculo de la velocidad terminal en régimen turbulento. Movimiento uni

forme de partículas no esféricas.

Pérdidas de energía por variaciones de sección del conducto o de dirección del flujo. Distintos casos. **Pérdidas** en accesorios.

Flujo de fluidos compresibles. Balance de energía. Flujo ideal isotérmico y adiabático. Flujo de gases reales. Factor de expansión.

Medición de caudales. Distintos métodos y dispositivos.

Bombas. Distintos tipos de bombas. Breve descripción. Curvas características. Cálculo de la energía de bombeo. Selección de bombas rendimiento.

TRANSFERENCIA DE CALOR

Tema 1 : Generalidades. Mecanismos de transferencia de energía; conducción y radiación. Convección. Ejemplos.

Tema 2 : Conducción. Ley de Fourier. Conductividad térmica. Aspectos cualitativos de las conductividades térmicas en diversos medios. Dependencia de la presión y la temperatura. Gráficos basados en propiedades reducidas.

Teoría de la conductividad térmica de gases a baja densidad. Resultados de la teoría de Chapman-Enskog.

Conductividades de gases poliatómicos y de mezclas gaseosas.

Teoría de la conductividad térmica de líquidos.

Conductividades de sólidos. Ecuación de Wiedeman, Franz y Lorenz. Sólidos porosos.

Tema 3 : Conducción. Ecuación general de la conducción. Fuentes de energía. Reducción al estado estacionario. Pared plana y cilíndrica. Concepto de resistencia térmica debido a la conducción y la convección. Paredes compuestas: planas y cilíndricas. Coeficiente de convección. Coeficiente total de transferencia. Ordenes de magnitud de los coeficientes peliculares. Radio crítico de aislación. Espesor óptimo

de aislación. Prolongaciones. Eficiencia de una prolongación. Aplicación de la Transformada de Laplace. Error de una termocupla. Fuente de energía. Distribución de las temperaturas en un conductor eléctrico.

Tema 4 : Estado no-estacionario. Condiciones iniciales y de contorno. Pared infinita: resolución por combinación de variables. Aplicación de Transformada de Laplace a un problema no-estacionario. Esquematización de un método numérico de resolución. Método de Schmidt. Análisis dimensional y régimen no-estacionario. Empleo de gráficos. Formas diversas: prismas, cubos, etc. de dimensiones finitas. Cuerpos finitos y semi-infinitos. Cuerpos con gradientes internos despreciables.

Tema 5 : Transferencia de calor en régimen laminar. Ecuación general de balance de energía. Aplicación en lubricación. Convección forzada en tubos. Temperatura constante en la pared. Convección natural entre placas paralelas. Convección sobre un plano: perfil de velocidades desarrollándose. Convección natural con placa vertical.

Tema 6 : Transferencia de calor en régimen turbulento. Flujos adicionales de cantidad de movimiento y energía. Elementos de la teoría de la capa límite: método integral de Von Karman. Transferencia desde un plano para régimen turbulento.

Tema 7 : Análisis dimensional y transferencia de energía con convección. Análisis dimensional de las ecuaciones diferenciales y teorema Π ; aplicación a convección forzada y natural. Números adimensionales de interés.

Tema 8 : Resultados experimentales en transferencia de calor. Flujo en tubos; régimen laminar y turbulento. Secciones no circulares. Sección anular. Convección libre y forzada, combinadas, en tubos. Flujo sobre un plano, régimen laminar y turbulento. Cuerpos sumergidos. Cilindros. Bancada de tubos. Efecto de cortacorrientes. Esferas; convección natural y forzada. Transferencia en lecho relleno. Resultados experimentales para convección natural: pared vertical, régimen laminar y turbulento. Tubos horizontales. Ecuaciones simplificadas para aire.

Tema 9 : Condensación. Condensación sobre tubos verticales. Deducción de Nusselt. Pared (tubo) vertical. Régimen lami-

BIBLIOGRAFIA

Transferencia de Calor

- 1) W. H. Mc Adams. "Heat Transmission". Mc Graw (1954)
- 2) D. Q. Kern. "Process Heat Transfer". Mc Graw (1950)
- 3) Perry. Manual del Ingeniero Químico
- 4) Coulson J.M., Richardson J.F. "Chemical Engineering"
2º Ed. (1964)
- 5) C.O. Bennet, J.E. Myers, "Momentum, Heat and Mass Transfer". Mc Graw (1962)
- 6) Bird B.R., Stewart W.E., Lightfoot E.N., "Transport Phenomena". J. Wiley (1960)
- 7) W.M. Rohsenow, H.Y. Choi, "Heat, Mass and Momentum Transfer". Prentice Hall Inc. (1963)
- 8) E. R. G. Eckert, "Introduction to Heat and Mass Transfer". Mc Graw (1963)
- 9) Carslaw-Jaeger-"Conduction of Heat in Solids".
Oxford (1959). 2º Ed.

Transferencia de Masa

además de las obras Nos. 3), 4), 5), 6), 8), en la bibliografía de transferencia de calor, se pueden agregar:

- 1) Norman, W.S. "Absorción, Destilación y Torres de Enfriamiento". Longmans. (1961)
- 2) Sherwood T.K., Pigford R.L., "Absorción y Extracción".
Mc. Graw (1952)
- 3) Treybal R.E. "Operaciones de Transferencia de Masa"
Mc. Graw (1955)
- 4) Crank J. "Matemáticas de la difusión" Oxford.
- 5) Levich G.V. "Hidrodinámica físico-química".
Prentice Hall (1962)
- 6) Jost W. "Difusión" Academic Press (1960)