



Transferencia de calor, masa y momentum

—Casos de estudio—

Claudio Gelmi Weston

Con la colaboración de
Pedro Saa Higuera

Índice general

Prólogo	1
1. Transporte en geometrías simples	5
1.1. Transferencia de calor	6
1.1.1. <i>La ventaja de los termopaneles</i>	6
1.1.2. <i>Conducción unidireccional en serie</i>	7
1.1.3. <i>Conductividad efectiva en materiales en paralelo</i>	9
1.1.4. <i>Conducción en serie y paralelo</i>	11
1.1.5. <i>Conducción con conductividad térmica variable</i>	12
1.1.6. <i>Conducción en un bloque de cobre con generación</i>	13
1.1.7. <i>Distribución de temperaturas en una placa rectangular</i>	14
1.1.8. <i>Distribución de temperatura en un alambre con aislante en su manto</i>	17
1.1.9. <i>Pared de un reactor nuclear</i>	19
1.1.10. <i>Pared con generación y condición de borde adiabática</i>	21
1.2. Transferencia de masa	24
1.2.1. <i>Difusión de feromonas en un pesticida</i>	24
1.2.2. <i>Factibilidad técnica de un basural</i>	25
1.2.3. <i>Columna de destilación</i>	27
1.2.4. <i>Modelo de difusión de O₂ en los pulmones</i>	28
1.2.5. <i>Análisis de un convertidor catalítico</i>	30
1.2.6. <i>Barra porosa sometida a convección y reacción</i>	33
1.3. Transporte de cantidad de movimiento	36
1.3.1. <i>Fluido de viscosidad variable entre placas paralelas</i>	36
1.3.2. <i>Escurrimiento en un plano inclinado</i>	37
1.3.3. <i>Flux de momentum de dos fluidos inmiscibles entre placas paralelas</i>	39
1.3.4. <i>Escurrimiento en un plano inclinado con viscosidad variable</i>	41
1.4. Problemas propuestos	43
2. Transporte en geometrías cilíndricas y esféricas	46
2.1. Transferencia de calor	47
2.1.1. <i>Aislación de una cañería</i>	47

2.1.2.	<i>Conducción en serie y paralelo en geometría esférica</i>	49
2.1.3.	<i>Balance diferencial transiente sin generación en una esfera</i>	53
2.1.4.	<i>Transferencia de calor en un contenedor esférico</i>	54
2.1.5.	<i>Fricción en un disco de freno</i>	57
2.2.	<i>Transferencia de masa</i>	60
2.2.1.	<i>Evaporación de una gotita de agua</i>	60
2.2.2.	<i>Reacción química en la superficie de un pellet</i>	62
2.2.3.	<i>Combustión de una partícula de carbón esférica</i>	64
2.2.4.	<i>Ecuación general de transferencia de masa para un gas ideal</i>	65
2.2.5.	<i>Velocidad másica media</i>	66
2.3.	<i>Transporte de cantidad de movimiento</i>	68
2.3.1.	<i>Deducción del perfil de velocidades de un fluido newtoniano en una cañería inclinada</i>	68
2.3.2.	<i>Bañado de un alambre</i>	70
2.3.3.	<i>Perfil de temperatura de un fluido que circula por un intercambiador de calor</i>	76
2.3.4.	<i>Perfil de velocidad en tubos concéntricos</i>	78
2.3.5.	<i>Flujo radial entre dos discos paralelos</i>	80
2.3.6.	<i>Escurrecimiento en ducto horizontal de sección cuadrada</i>	85
2.3.7.	<i>Flujo reptante alrededor de una esfera sólida</i>	86
2.4.	<i>Problemas propuestos</i>	89
3.	Aplicaciones de transporte convectivo: transferencia de masa y calor	91
3.1.	<i>Transferencia de calor</i>	92
3.1.1.	<i>Pérdidas de calor en una bodega</i>	92
3.1.2.	<i>Conducción con condiciones de borde adiabática y convectiva</i>	94
3.1.3.	<i>Enfriamiento de una esfera de acero: parámetros concentrados</i>	96
3.1.4.	<i>Parámetros concentrados v/s parámetros distribuidos</i>	97
3.1.5.	<i>La mejor manera de enfriar una lata de bebida</i>	103
3.1.6.	<i>Transferencia de calor en un biorreactor batch</i>	109
3.1.7.	<i>Condensación de vapor sobre una placa</i>	113
3.2.	<i>Transferencia de masa</i>	115
3.2.1.	<i>Evaporación de agua sobre una loza</i>	115
3.2.2.	<i>Evaporación dentro de un recipiente</i>	117
3.2.3.	<i>La estrategia de la gallina africana</i>	119
3.2.4.	<i>Evaporación desde la pared de una cañería</i>	122
3.3.	<i>Problemas propuestos</i>	126

4. Radiación y mecanismos múltiples de transferencia de calor	129
4.1. Radiación y convección	130
4.1.1. <i>Medición de la temperatura con una termocupla</i>	130
4.1.2. <i>Variación de la temperatura en una varilla cuando circula una corriente eléctrica</i>	131
4.1.3. <i>Análisis de la pared de un horno industrial</i>	132
4.1.4. <i>Descarga de vapor de oxígeno desde un contenedor esférico</i>	136
4.1.5. <i>Modelamiento de un colector solar plano</i>	139
4.1.6. <i>Temperatura al interior de un auto en verano</i>	141
A. Formulario	144
A.1. Ecuación de continuidad	144
A.2. Ecuación de balance de masa para una especie	146
A.3. Ecuación de energía	147
A.4. Ecuación de conservación de momentum –Ecuación de Navier-Stokes	148
A.5. Componentes del tensor de esfuerzos	150
A.6. Grupos adimensionales relevantes	152
B. Respuestas problemas propuestos	154
Bibliografía	155

Prólogo

Esta colección de problemas resueltos nació como una manera de facilitar la enseñanza y aprendizaje del curso Fenómenos de Transporte en la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Varios de estos problemas han sido utilizados en interrogaciones, tareas o controles; otros han sido adaptados de alguno de los textos descritos en la bibliografía.

Por el hecho de ser esta la primera edición de *Transferencia de calor, masa y momentum –Casos de estudio*, estamos seguros de que existirán errores. Es por ello, que a través de la página web <http://www.systemsbiology.cl/fdt>, mantendremos informado al lector sobre cualquier errata o novedades del texto.

Un trabajo de este tipo no es posible sin la ayuda de otros. En especial, quisiéramos agradecer a la Srta. Mariajosé Vega Chieyssel, quien participó en la escritura del primer borrador y adaptó los problemas *Conductividad efectiva en materiales en paralelo* (Capítulo 1) y *Transferencia de calor en un contenedor esférico* (Capítulo 2). Al señor José Cuevas, por crear el problema *Factibilidad técnica en un basural* (Capítulo 1). A los alumnos del curso IIQ2002 Fenómenos de Transporte, clases del 2009-2011, quienes muy entusiastamente participaron en la corrección de los borradores. Al profesor Ricardo Pérez, quien fue el primer docente en impartir este curso en la Escuela de Ingeniería UC, y de quien recibí todo su apoyo para continuar con la enseñanza de este fascinante tópico. Por último, y no por ello menos importante, quisiera agradecer el apoyo entregado por el Fondo de Desarrollo de la Docencia de la Pontificia Universidad Católica de Chile, para la elaboración de este texto universitario.

Claudio Gelmi Weston, Ph.D.
Depto. de Ing. Química y Bioprocesos

Santiago, agosto de 2011