INDICE

I- PRINCIPIOS BASICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Introducción	*2*
Transmisión de calor por conducción	*3*
Pared plana	*4*
Paredes planas en serie	*4*
Analogía eléctrica de la conducción	*5*
Paredes en paralelo	*5*
Resistencia de contacto	*6*
Conductividad térmica	*9*
Coeficientes de conductividad térmica para las aleaciones	*11*
Conductividad térmica en líquidos	*12*
Conductividad térmica de gases y vapores	*13*
Transmisión de calor por convección	*14*
Transmisión de calor por radiación	*18*
Mecanismos combinados de transmisión de calor	*21*

II- CONDUCCION DE CALOR EN REGIMEN ESTACIONARIO (I)

Introducción	*25*
Ecuación fundamental de la transmisión de calor por conducción	*26*
Conducción en un cilindro sin generación de energía	*28*
Espesor de aislamiento crítico para un cilindro; número de Biot	*30*
Pared esférica sin generación de energía	*32*
Conducción monodimensional en régimen estacionario con generación de energía	*34*
Pared plana	*34*
Placa plana rodeada por un fluido convector	*36*
Pared cilíndrica	*36*
Pared cilíndrica rodeada con una vaina en contacto con un fluido convector	*38*

III- CONDUCCION DE CALOR EN REGIMEN ESTACIONARIO (II)

Conducción de calor en función de dos o más variables independientes.- Método analítico	*41*
Conducción en régimen permanente en placas rectangulares	*41*
Placa rectangular con distribución de temperatura dada en una arista y nula en las demás	*42*
Placa con un borde a temperatura uniforme	*45*
Placa rectangular con distribución de la temperatura en dos bordes opuestos	*45*
Distribución de temperaturas en más de una superficie de contorno	*46*
Condición de contorno de convección	*47*
Conducción en un cilindro circular de longitud finita	*48*
Tablas de Funciones de Bessel $J_0(x)$ y $J_1(x)$	*51*
Distribución de temperaturas en secciones rectangulares	*52*
Distribución de temperaturas en paralelepípedos	*54*
Distribución de temperaturas en cilindros	*55*
Distribución de temperaturas en tubos	*57*
Método gráfico	*59*
Factores de forma para la conducción térmica para diferentes geometrías	*61*
Métodos numéricos	*62*
Nudos interiores	*63*
Nudos en contacto con un fluido	*63*
Generación de energía en la placa	*65*
Método de relajación	*65*
Ecuaciones para los residuos en el caso de nudos en los límites	*66*
Método matricial	*67*
Método de iteración	*68*

IV- CONDICION DE CONTORNO DE CONVECCION EN SOLIDOS INFINITOS

Introducción	*71*
Condición de contorno de convección	*71*

Condición de resistencia térmica interna despreciable	*72*
Condición de contorno isotérmica	*72*
Conducción transitoria en placa infinita con condición de contorno de convección	*74*
Conducción transitoria en un cilindro infinito con condición de contorno de convección	*80*
Conducción transitoria en una esfera con condición de contorno de convección	*85*
Conducción transitoria en 2 y 3 dimensiones en tubos	*89*
Transmisión de calor por conducción en régimen transitorio con generación de calor E	*91*
Tablas de Funciones de Bessel	*92*

V- CONDICION DE CONTORNO ISOTERMICA EN SOLIDOS INFINITOS

Conducción transitoria en placa infinita con condición de contorno isotérmica	*95*
Casos particulares	*99*
Conducción transitoria en pared cilíndrica infinita con condición de contorno isotérmica	*100*
Conducción transitoria en una esfera con condición de contorno isotérmica	*103*
Transmisión de calor por conducción en régimen transitorio con generación de calor E	*105*

VI- CONDUCCION DE CALOR TRANSITORIA EN SOLIDOS SEMIINFINITOS

Conducción transitoria en un sólido semiinfinito	*107*
Condición de contorno isotérmica en sólido semiinfinito	*108*
Condición de contorno de convección en sólido semiinfinito	*111*
Sólido semiinfinito sometido a un flujo térmico uniforme en su superficie	*113*
Contacto entre dos sólidos semiinfinitos	*114*
Sólido semiinfinito sometido a un pulso de energía en su superficie	*114*
Sólido semiinfinito con generación de calor y c.c. isotérmica	*114*
Sólido semiinfinito con generación de calor y c.c. convección	*114*
Sólido semiinfinito sometido a una variación periódica de su temperatura superficial	*114*
Conducción transitoria en un sólido con resistencia térmica despreciable	*118*
Pared que se calienta por una cara y se mantiene en contacto con un fluido por la otra	*119*
Temperatura de equilibrio	*120*

VII.- CONDUCCION TRANSITORIA DEL CALOR EN SOLIDOS FINITOS

Conducción transitoria bidimensional y tridimensional	*121*
Calor evacuado al exterior	*125*
Sistemas bidimensionales	*125*
Sistemas tridimensionales	*126*
Conducción transitoria en 2 y 3 dimensiones (c.c. isotérmica)	*126*
Conducción transitoria en 2 y 3 dimensiones (c.c. convección)	*127*
Transmisión de calor por conducción en régimen transitorio con generación de calor E	*129*

VIII- CONDUCCION TRANSITORIA DEL CALOR EN SOLIDOS FINITOS. METODO GRAFICO

Soluciones numéricas a problemas de conducción monodimensionales en régimen transitorio	*133*
Nodos interiores	*133*
Nodos periféricos	*136*
Ecuaciones térmicas de los nodos y condiciones de estabilidad	*138*
Aplicación del método gráfico a paredes compuestas	*139*
Resolución gráfica con choque térmico, c.c. isotérmica	*141*
Resolución gráfica con convección en la superficie	*142*

IX.- SUPERFICIES AMPLIADAS

Introducción	*145*
Transferencia de calor mediante aletas de sección transversal constante	*146*
Aleta muy larga	*148*
Aleta con su extremo libre aislado térmicamente	*149*
Aleta con convección desde su extremo libre	*149*
Aleta entre dos paredes a temperaturas diferentes	*151*
Campo de aplicación de las aletas rectas de sección uniforme	*152*
Perfil óptimo	*153*
Casos especiales	*154*
Aletas de sección variable	*155*
Aleta anular de espesor constante	*156*

Valores de las funciones de Bessel modificadas de primera y segunda especie, órdenes cero y uno	*158*
Método gráfico	*158*
Aleta longitudinal de perfil trapecial	*160*
Aleta longitudinal de perfil triangular	*161*
Método gráfico	*162*
Perfil óptimo de la aleta longitudinal de perfil triangular	*163*
Rendimiento de la aleta	*164*
Aleta longitudinal de sección uniforme, de superficie constante y extremo libre aislado	*164*
Aleta longitudinal de perfil triangular	*165*
Aleta anular de espesor constante	*166*
Método de Schmidt	*168*
Aletas longitudinales de perfil parabólico	*169*
Protuberancias parabólica convexa y cóncava	*170*
Protuberancia paralelepípedo sección cuadrada, y protuberancia cilíndrica	*172*
Protuberancia pirámide cuadrangular	*172*
Protuberancia cónica	*172*
Desarrollo matemático del proceso en protuberancia cónica	*174*
Coeficiente global de transmisión de calor para el caso particular de aletas refrigeradas por aire	*175*

X.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION. CAPA LIMITE TERMICA E HIDRODINÁMICA

Introducción	*177*
Ecuación diferencial de la transmisión de calor en un medio en movimiento	*179*
Capa limite laminar en flujo sobre placa plana: polinomios de grado 2 y 3	*182*
Espesores y caudales de la capa límite	*184*
Espesor de desplazamiento de la capa límite	*185*
Espesor de la cantidad de movimiento de la capa límite	*185*
Espesor de energía de la capa límite	*186*
Caudal de la capa límite	*186*
Caudal de la cantidad de movimiento de la capa límite	*186*
Ecuación integral del impulso de la capa límite laminar	*187*
Caudal de la cantidad de movimiento	*187*
Fuerza de arrastre.- Casos particulares con perfiles de segundo y tercer grado	*188*
Ecuaciones de Prandtl de la capa límite	*190*
Ecuación clásica de Kàrmàn	*190*
Ecuación integral de la energía de la capa límite.- Casos particulares	*191*
Relación entre los coeficientes de arrastre y convección en flujo laminar sobre placa plana	*195*
Capa límite turbulenta para placa plana	*196*
Desprendimiento de la capa límite	*197*
Tabla de coeficientes de arrastre de algunos cuerpos y perfiles inmersos en una corriente fluida	*198*

XI.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION EN CONDUCTOS

Flujo en conductos circulares; flujo isotérmico	*201*
Región de entrada	*201*
Región de flujo desarrollado hidrodinámicamente. Ecuación de Poiseuille	*202*
Flujo en conductos no circulares circulares	*203*
Flujo laminar incompresible entre dos placas paralelas	*203*
Fluidos por el interior tuberías en convección forzada y régimen laminar con flujo de calor constante	*205*

XII.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION. ANALOGÍAS Y ANALISIS DIMENSIONAL

Analogía entre la transmisión de calor y la cantidad de movimiento en flujo turbulento	*211*
Capa límite térmica sobre placa plana	*211*
Conductividad térmica y cantidad de movimiento	*212*
Expresión general de la relación básica de la analogía entre el calor y la cantidad de movimiento	*212*
Analogía de Reynolds	*214*
Analogía de Prandtl	*215*
Analogía de Von Karman	*216*
Analogía de Colburn	*217*
Diagrama de Moody	*218*
Análisis dimensional. Teorema de Buckinghan	*219*
Ecuación general de resistencia	*220*
Ecuación general de la pérdida de carga en una conducción cilíndrica	*221*
Método básico de análisis dimensional	*221*

XIII.- CORRELACIONES PARA LA CONVECCION NATURAL

Correlaciones analíticas para la convección natural en placa plana vertical	*225*
Solución integral en pared isotérmica	*227*
Placa isotérmica	*228*
Placa con flujo de calor constante	*228*
Correlaciones para la convección natural en placas	*229*
Convección natural, sobre placa vertical	*230*
Convección natural sobre placa vertical a temperatura uniforme	*230*
Convección natural sobre placa vertical con flujo de calor uniforme	*231*
Convección natural sobre una placa inclinada	*232*
Convección natural sobre placa horizontal	*232*
Placa horizontal a temperatura uniforme	*232*
Placa horizontal, con flujo de calor uniforme	*232*
Convección natural entre placas horizontales	*233*
Convección natural entre placas verticales	*234*
Convección natural entre placas inclinadas	*235*
Correlaciones para la convección natural en tubos	*235*
Convección natural sobre un tubo o un cilindro horizontal	*235*
Convección natural entre cilindros concéntricos	*236*
Correlaciones para la convección natural en esferas	*237*
Esfera isoterma	*237*
Convección natural entre esferas concéntricas	*237*
Correlaciones para la convección forzada en placas	*237*
Flujo laminar sobre placa plana horizontal	*237*
Flujo laminar totalmente desarrollado entre placas planas paralelas	*238*
Flujo turbulento sobre placa plana horizontal lisa	*238*
Capa límite turbulenta sobre una placa plana totalmente rugosa	*239*
Correlaciones para la convección forzada en el interior de tuberías	*239*
Flujo laminar por el interior de tuberías	*239*
Flujos desarrollados	*239*
Flujos no desarrollados	*240*
Flujo turbulento desarrollado por el interior de tuberías	*241*
Ecuaciónes de Dittus-Boelter, Polley, Sieder y Tate, Notter y Sleicher, Karman, Petukhov, Gnielinski	*241*
Flujo turbulento no desarrollado por el interior de tuberías	*243*
Flujo turbulento de metales líquidos por el interior de tuberías	*244*
Flujo turbulento por un serpentín tubular	*245*
Correlaciones para la convección forzada por el exterior de tuberías	*246*
Flujo paralelo turbulento por el exterior de un tubo	*246*
Flujo paralelo turbulento por el exterior de tubos en batería (Diámetro hidráulico)	*246*
Correlaciones para la convección forzada en esferas; ec. de Whitaker, Mc Adams	*247*
Convección natural y forzada combinadas	*248*
Correlaciones para la convección en flujos cruzados	*249*
Flujo cruzado en tubo único liso	*249*
Ecuaciones de Whitaker, Churchill y Bernstein	*250*
Flujo cruzado en tubos en batería	*251*
Primer método, disposiciones regular y triangular	*251*
Segundo método, ecuación de Zukauskas	*252*
Tercer método	*253*
Humos	*255*
Metales líquidos	*256*
Correlaciones para la convección de un flujo a través de un lecho compacto	*256*
Correlaciones para la convección en superficies giratorias: Discos, cilindros y esferas	*257*

XIV.- CONDENSACION Y VAPORIZACION

Transferencia de calor por condensación	*259*
Condensación en forma de película	*259*
Proceso dinámico	*259*
Proceso térmico	*261*
Espesor de la capa de condensado	*261*
Coeficiente de transferencia de calor	*262*
Condensación en película laminar sobre placas y tubos verticales	*263*
Determinación del tipo de régimen del flujo en la película	*263*

Condensación sobre placa vertical y tubos verticales, en régimen laminar	*263*
Otras expresiones para la condensación sobre placa vertical y tubos verticales, en régimen laminar	*264*
Condensación sobre placa vertical o tubos verticales, en película laminar ondulatoria	*264*
Efecto del subenfriamiento del líquido	*265*
Efecto del sobrecalentamiento del vapor en la condensación	*265*
Condensación en película laminar sobre placas y tubos inclinados	*265*
Condensación en película laminar sobre un tubo horizontal	*266*
Coef. de convección de un vapor puro saturado que condensa en el exterior de un tubo horizontal	*266*
Condensación sobre una batería de N tubos horizontales, en régimen laminar	*266*
Relación entre los coeficientes de convección hC horiz y hC vert	*266*
Condensación en régimen turbulento	*267*
Efecto de la velocidad del vapor en placas y tubos verticales	*268*
Condensación en régimen turbulento en el interior de tubos horizontales	*269*
Condensación en forma de gotas	*269*
Transferencia de calor por ebullición de líquidos en reposo	*270*
Evaporación en película descendente sobre una pared vertical	*270*
Ebullición nucleada en recipientes con un líquido en reposo	*271*
Convección libre	*271*
Evaporación nucleada	*271*
Pico de calor	*273*
Evaporación en película	*274*
Flujo de calor mínimo, ec. de Zuber y Tribus	*274*
Evaporación en la superficie exterior de un hilo horizontal caliente sumergido en un líquido ó en el exterior de un tubo horizontal, por cuyo interior circula un fluido calefactor sumergido en un líquido	*275*
Evaporación de líquidos en flujo forzado en el interior de tubos	*277*
Fenomenología de la evaporación en tubos horizontales	*277*
Fenomenología de la evaporación en tubos verticales	*278*
Factores que afectan al flujo térmico crítico	*281*
Gradiente de presiones en el flujo en 2 fases en el interior de tubos verticales	*282*
Coeficiente de convección en la evaporación en el interior de tubos verticales para el flujo en 2 fases	*282*
Ecuaciones de David-David, y Klimenko	*283*

XV.- INTERCAMBIADORES DE CALOR: METODO DE LA (LMTD)

Introducción	*285*
Tipos básicos de intercambiadores de calor	*285*
Intercambiadores de paso simple 1-1	*286*
Intercambiador de corrientes paralelas en contracorriente 1-2	*289*
Intercambiador 2-4	*291*
Intercambiador de flujos cruzados	*293*
Coeficiente U de transferencia térmica global	*294*
Factor de suciedad	*294*
Transmisión de calor entre fluidos en movimiento, a temperaturas variables, a través de una pared	*296*
Temperatura media logarítmica (LMTD)	*298*
Factor de corrección de la (LMTD)	*299*
Factores de corrección de la (LMTD)	*301*

XVI- INTERCAMBIADORES DE CALOR: METODO DE LA EFICIENCIA

Eficacia de los intercambiadores de calor	*305*
Flujos paralelos en equicorriente	*307*
Flujos paralelos en contracorriente	*309*
Valores de la eficiencia térmica y del (NTU) para configuraciones de flujos de carcasa y tubos, y flujos cruzados	*311*
Intercambiadores de calor compactos	*314*
Selección de la superficie frontal para intercambiadores de calor compactos	*317*

XVII- RADIACION TERMICA: FUNDAMENTOS

Introducción	*323*
Física de la radiación	*24*
Concepto de cuerpo negro	*324*
Ley de Planck	*325*
Ley del desplazamiento de Wien	*325*
Ley de Stefan-Boltzman	*326*
Funciones de radiación	*326*

Transmisión de calor por radiación	*327*
Factor de forma de la radiación	*329*
Factor de forma entre dos superficies infinitesimales	*329*
Factor de forma para una superficie finita y otra infinitesimal	*331*
Factor de forma para dos superficies finitas	*331*
Propiedades de los factores de forma	*332*
Álgebra de factores de forma.- Casos particulares	*333*
Eliminación de superficies cóncavas	*336*
Factores de forma para tres superficies convexas generadas a lo largo de una recta	*337*
Método de las cuerdas cruzadas (Hottel)	*337*
Determinación de factores de forma de radiación en 2 dimensiones	*339*
Determinación de factores de forma de radiación en 3 dimensiones	*340*
Intercambio radiativo entre superficies negras	*346*
Intercambio radiativo entre dos superficies negras y una refractaria	*349*
Concepto de superficie refractaria	*349*
Temperatura de la superficie refractaria	*350*
Factor de forma general.- Casos particulares	*350*
Intercambio radiativo entre superficies grises	*352*
Superficies refractarias	*354*
Recinto formado por dos superficies grises, difusas y opacas	*354*
Recinto formado por dos superficies grises especulares	*355*
Dos placas paralelas infinitamente anchas	*355*
Dos cilindros concéntricos largos, o dos esferas concéntricas, $F_{12} = 1$	*356*
Recinto formado por dos superficies grises y una o varias pantallas de radiación	*356*
Recinto formado por tres superficies grises, dos opacas y una refractaria	*359*
Técnicas matriciales	*360*
Superficies con temperaturas conocidas	*360*
Superficies con flujo neto de calor conocido	*362*

XVIII- RADIACION TERMICA EN GASES

Radiación a través de un medio transmisor y absorbente	*365*
Intercambio radiativo entre dos superficies infinitas con un gas intermedio	*365*
Intercambio radiativo entre dos superficies finitas con un gas intermedio	*368*
Intercambio radiativo entre un gas isotermo y un recinto negro	*369*
Intercambio radiativo entre un gas isotermo y un recinto gris	*370*
Propiedades radiativas de los gases	*370*
Emisividad de los gases	*372*
Longitud característica	*374*
Emisividad de una mezcla de gases	*375*
Absortividad de los gases	*376*
Determinación práctica de la emisividad y de la absortividad	*376*
Anhidrido carbónico	*376*
Oxido de carbono	*377*
Vapor de agua	*377*
Humos	*378*
Radiación de nubes de partículas	*380*
Llamas luminosas	*381*
Llamas de carbón pulverizado	*381*
Cálculos en hornos y hogares	*382*
Medida de temperaturas	*384*

ANEXO A.- MATERIALES AISLANTES

Aislamientos térmicos	*385*
Aislamientos para temperaturas elevadas	*386*
Aislamientos para temperaturas intermedias	*391*
Aislamientos para temperaturas bajas	*392*
Aislamientos en edificios	*394*
Aislamientos para temperaturas criogénicas	*398*

ANEXO B.- FUENTES DE GENERACIÓN DE CALOR

Generación de calor por fenómenos de fisión nuclear	*401*
Generación de calor por fenómenos eléctricos y magnéticos	*404*
Resistencias eléctricas	*405*
Calentamiento por fenómenos de inducción	*407*

Calentamiento dieléctrico	*409*
Arco eléctrico	*412*
Características de los arcos eléctricos	*413*
Generación de calor por reacciones químicas	*415*

ANEXO C.- COEF. DE TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN PARA EL CASO PARTICULAR DEL AGUA

Convección forzada en el interior de tubos en régimen turbulento	*419*
Convección forzada en el interior de tubos en régimen laminar	*419*
Convección forzada en el exterior de tubos en régimen turbulento	*420*
Condensación en régimen laminar	*420*
Condensación en régimen turbulento en placa vertical	*420*
Condensación en régimen turbulento en el exterior de tubos	*421*
Vaporización; pico de calor	*421*

ANEXO D.- FUNCIONES DE BESSEL; FÓRMULAS DE RECURRENCIA	*423*

TABLAS	*427*

INDICE	*465*