

INDICE

I- PRINCIPIOS BASICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

| | |
|---|----|
| Introducción | 1 |
| Transmisión de calor por conducción | 2 |
| Pared plana | 3 |
| Paredes planas en serie | 3 |
| Analogía eléctrica de la conducción | 3 |
| Paredes en paralelo | 4 |
| Resistencia de contacto | 5 |
| Conductividad térmica | 6 |
| Coeficientes de conductividad térmica para las aleaciones | 7 |
| Conductividad térmica en líquidos | 7 |
| Conductividad térmica de gases y vapores | 9 |
| Transmisión de calor por convección | 10 |
| Transmisión de calor por radiación | 13 |
| Mecanismos combinados de transmisión de calor | 16 |

II- CONDUCCION DE CALOR EN REGIMEN ESTACIONARIO (I)

| | |
|--|----|
| Introducción | 19 |
| Ecuación fundamental de la transmisión de calor por conducción | 20 |
| Conducción en un cilindro sin generación de energía | 22 |
| Espesor de aislamiento crítico para un cilindro; número de Biot | 23 |
| Pared esférica sin generación de energía | 26 |
| Conducción monodimensional en régimen estacionario con generación de energía | 27 |
| Pared plana | 28 |
| Placa plana rodeada por un fluido convectivo | 29 |
| Pared cilíndrica | 30 |
| Pared cilíndrica rodeada con una vaina | 31 |

III- CONDUCCION DE CALOR EN REGIMEN ESTACIONARIO (II)

| | |
|--|----|
| Conducción de calor en función de dos o más variables independientes.- Método analítico | 35 |
| Conducción en régimen permanente en placas rectangulares | 35 |
| Placa rectangular con una distribución de temperatura dada en una arista y nula en las demás | 36 |
| Placa con un borde a temperatura uniforme | 39 |
| Placa rectangular con distribución de la temperatura en dos bordes opuestos | 40 |
| Distribución de temperaturas en más de una superficie de contorno | 40 |
| Condición de contorno de convección | 41 |
| Conducción en un cilindro circular de longitud finita | 42 |
| Tablas de Funciones de Bessel $J_0(x)$ y $J_1(x)$ | 45 |
| Distribución de temperaturas en secciones rectangulares | 46 |
| Distribución de temperaturas en paralelepípedos | 48 |
| Distribución de temperaturas en cilindros | 49 |
| Distribución de temperaturas en tubos | 51 |
| Método gráfico | 53 |
| Factor de forma para la conducción para diferentes geometrías | 54 |

| | |
|---|----|
| Métodos numéricos | 56 |
| Método de relajación | 58 |
| Ecuaciones para los residuos en el caso de nudos en los límites | 59 |
| Método matricial | 60 |
| Técnicas de iteración | 61 |

IV- CONDICION DE CONTORNO DE CONVECCION EN SOLIDOS INFINITOS

| | |
|--|----|
| Introducción | 63 |
| Conducción transitoria en placa infinita | 65 |
| Conducción transitoria en un cilindro | 71 |
| Conducción transitoria en una esfera | 77 |
| Conducción transitoria en 2 y 3 dimensiones en tubos | 81 |
| Transmisión de calor por conducción en régimen transitorio con generación de calor E | 82 |
| Tablas de Funciones de Bessel | 82 |
| Funciones de Bessel; fórmulas de recurrencia | 86 |

V- CONDICION DE CONTORNO ISOTERMICA EN SOLIDOS INFINITOS

| | |
|--|----|
| Conducción transitoria en placa infinita con condición de contorno isotérmica | 89 |
| Casos particulares | 94 |
| Conducción transitoria en pared cilíndrica infinita con condición de contorno isotérmica | 94 |
| Conducción transitoria en una esfera con condición de contorno isotérmica | 97 |
| Transmisión de calor por conducción en régimen transitorio con generación de calor E | 99 |

VI- CONDUCCION DE CALOR TRANSITORIA EN SOLIDOS SEMIINFINITOS

| | |
|--|-----|
| Conducción transitoria en un sólido semiinfinito | 101 |
| Condición de contorno isotérmica en sólido semiinfinito | 102 |
| Condición de contorno de convección en sólido semiinfinito | 105 |
| Sólido semiinfinito sometido a un flujo térmico uniforme en su superficie | 107 |
| Contacto entre sólidos semiinfinitos | 107 |
| Sólido semiinfinito sometido a un pulso de energía en su superficie | 107 |
| Sólido semiinfinito con generación de calor y c.c. isotérmica | 108 |
| Sólido semiinfinito con generación de calor y c.c. convección | 108 |
| Sólido semiinfinito sometido a una variación periódica de su temperatura superficial | 108 |
| Conducción transitoria en un sólido con resistencia térmica despreciable | 112 |
| Pared que se calienta por una cara y se mantiene en contacto con un fluido por la otra | 113 |

VII.- CONDUCCION TRANSITORIA DEL CALOR EN SOLIDOS FINITOS

| | |
|--|-----|
| Conducción transitoria bidimensional y tridimensional | 115 |
| Sistemas bidimensionales | 119 |
| Sistemas tridimensionales | 119 |
| Conducción transitoria en 2 y 3 dimensiones (c.c. isotérmica) | 120 |
| Conducción transitoria en 2 y 3 dimensiones (c.c. convección) | 121 |
| Transmisión de calor por conducción en régimen transitorio con generación de calor E | 122 |

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

| | |
|---|-----|
| Soluciones numéricas a problemas de conducción monodimensionales en régimen transitorio | 125 |
| Nudos interiores | 125 |
| Nudos periféricos | 127 |
| Ecuaciones térmicas de los nudos y condiciones de estabilidad | 129 |
| Aplicación del método gráfico a paredes compuestas | 131 |
| Resolución gráfica con choque térmico | 132 |
| Resolución gráfica con convección en la superficie | 133 |

IX.- SUPERFICIES AMPLIADAS DE SECCION TRANSVERSAL CONSTANTE

| | |
|---|-----|
| Introducción | 135 |
| Transferencia de calor mediante aletas de sección transversal constante | 136 |
| Aleta muy larga | 138 |
| Aleta con su extremo libre aislado térmicamente | 138 |
| Aleta con convección desde su extremo libre | 139 |
| Aleta entre dos paredes a temperaturas diferentes | 141 |
| Campo de aplicación de las aletas rectas de sección uniforme | 141 |
| Perfil óptimo | 142 |
| Casos especiales | 144 |

X- SUPERFICIES AMPLIADAS DE SECCION TRANSVERSAL VARIABLE

| | |
|--|-----|
| Aletas de sección variable | 145 |
| Aleta anular de espesor constante | 146 |
| Aleta longitudinal de perfil trapecial | 150 |
| Aleta longitudinal de perfil triangular | 151 |
| Perfil óptimo de la aleta longitudinal de perfil triangular | 152 |
| Rendimiento de la aleta; casos particulares | 153 |
| Perfiles de aletas longitudinales de perfil parabólico | 156 |
| Protuberancias | 157 |
| Coefficiente global de transmisión de calor con aletas, para el aire | 159 |

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

| | |
|--|-----|
| Introducción | 161 |
| Ecuación diferencial de la transmisión de calor en un medio en movimiento | 163 |
| Capa límite laminar en flujo sobre placa plana: polinomios de grado 2 y 3 | 165 |
| Espesores y caudales de la capa límite | 168 |
| Espesor de desplazamiento de la capa límite | 168 |
| Espesor de la cantidad de movimiento de la capa límite | 169 |
| Espesor de energía de la capa límite | 169 |
| Caudal de la capa límite | 170 |
| Caudal de la cantidad de movimiento de la capa límite | 170 |
| Ecuación integral del impulso de la capa límite laminar | 170 |
| Caudal de la cantidad de movimiento | 171 |
| Fuerza de arrastre.- Casos particulares con perfiles de segundo y tercer grado | 171 |
| Ecuaciones de Prandtl de la capa límite | 173 |
| Ecuación clásica de Kàrmàn | 174 |
| Ecuación integral de la energía de la capa límite.- Casos particulares | 174 |
| Relación entre el coeficiente de arrastre y el de convección en flujo laminar sobre placa plana | 179 |
| Capa límite turbulenta para placa plana | 179 |
| Desprendimiento de la capa límite | 181 |
| Tabla de coeficientes de arrastre de algunos cuerpos y perfiles inmersos en una corriente fluida | 182 |

XII.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION EN CONDUCTOS

| | |
|---|-----|
| Flujo en conductos circulares; flujo isotérmico; Ec. de Poiseuille | 185 |
| Región de flujo desarrollado hidrodinámicamente | 186 |
| Flujo en conductos no circulares. Flujo laminar incompresible entre placas paralelas | 188 |
| Fluidos que circulan por tuberías en convección forzada en régimen laminar con flujo de calor constante | 189 |

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

| | |
|--|-----|
| Analogía entre la transmisión de calor y la cantidad de movimiento en flujo turbulento | 195 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Capa límite térmica sobre placa plana. Conductividad térmica. Cantidad de movimiento | 195 |
| Expresión general de la relación básica de la analogía entre el calor y la cantidad de movimiento | 196 |
| Analogía de Reynolds | 198 |
| Analogía de Prandtl | 199 |
| Analogía de Von Karman | 200 |
| Diagrama de Moody | 201 |
| Analogía de Colburn | 202 |
| Análisis dimensional. Teorema de Buckingham | 203 |
| Ecuación general de resistencia | 204 |
| Ecuación general de la pérdida de carga en una conducción cilíndrica | 205 |
| El método básico de análisis dimensional | 205 |

XIV.- CORRELACIONES PARA LA CONVECCION NATURAL

| | |
|---|-----|
| Correlaciones analíticas para la convección natural en placa plana vertical | 209 |
| Solución integral en pared isotérmica | 210 |
| Placa isotérmica | 211 |
| Placa con flujo de calor constante | 212 |
| Correlaciones para la convección natural en placas | 212 |
| Convección natural, sobre placa vertical | 213 |
| Convección natural sobre placa vertical a temperatura uniforme | 214 |
| Convección natural sobre placa vertical con flujo de calor constante | 215 |
| Convección natural sobre placa inclinada | 216 |
| Convección natural en placa horizontal | 216 |
| Convección natural entre placas horizontales | 217 |
| Convección natural entre placas verticales | 218 |
| Convección natural entre placas inclinadas | 219 |
| Correlaciones para la convección natural en tubos | 220 |
| Convección natural sobre un tubo o un cilindro horizontal | 220 |
| Convección natural entre cilindros concéntricos | 221 |
| Correlaciones para la convección natural en esferas | 221 |
| Esfera isoterma | 221 |
| Convección natural entre esferas concéntricas | 222 |

XV.- CORRELACIONES PARA LA CONVECCION FORZADA

| | |
|--|-----|
| Correlaciones para la convección forzada en placas | 223 |
| Flujo laminar sobre placa plana horizontal | 223 |
| Flujo laminar totalmente desarrollado entre placas planas paralelas | 223 |
| Flujo turbulento sobre placa plana horizontal lisa; idem, sobre placa rugosa | 224 |
| Correlaciones para la convección forzada en el interior de tuberías | 225 |
| Flujo laminar por el interior de tuberías | 225 |
| Flujo turbulento desarrollado por el interior de tuberías (Ecuaciones de Dittus-Boelter, Polley, Sieder y Tate, etc) | 226 |
| Flujo turbulento no desarrollado por el interior de tuberías | 229 |
| Flujo turbulento de metales líquidos por el interior de tuberías | 230 |
| Flujo turbulento por un serpentín tubular | 230 |
| Correlaciones para la convección forzada por el exterior de tuberías | 231 |
| Flujo paralelo turbulento por el exterior de un tubo | 231 |
| Flujo paralelo turbulento por el exterior de tubos en batería (Diámetro hidráulico) | 231 |
| Correlaciones para la convección forzada en esferas | 232 |
| Convección natural y forzada combinadas | 233 |
| Correlaciones para la convección en flujos cruzados | 234 |
| Flujo cruzado en tubo único liso | 234 |
| Flujo cruzado en tubos en batería | 235 |
| Correlaciones para la convección de un flujo a través de un lecho compacto | 241 |
| Correlaciones para la convección en superficies giratorias: Discos, cilindros y esferas | 242 |

XVI.- CONDENSACION Y VAPORIZACION

| | |
|---|-----|
| Transferencia de calor por condensación | 247 |
| Condensación en forma de película | 247 |
| Condensación en película laminar sobre placas y tubos verticales | 251 |
| Condensación en película laminar sobre placas y tubos inclinados | 253 |
| Condensación en película laminar sobre un tubo horizontal | 253 |
| Condensación en régimen turbulento | 254 |
| Efecto de la velocidad del vapor en placas y tubos verticales | 255 |
| Condensación en régimen turbulento en el interior de tubos horizontales | 256 |
| Condensación en forma de gotas | 257 |
| Transferencia de calor por ebullición de líquidos en reposo | 257 |
| Evaporación en película descendente sobre una pared vertical | 257 |
| Ebullición nucleada en recipientes con un líquido en reposo | 258 |
| Ebullición en la superficie exterior de un hilo horizontal caliente sumergido en un líquido | 261 |
| Ebullición de líquidos en flujo forzado en el interior de tubos horizontales | 262 |
| Fenomenología de la evaporación en tubos verticales | 263 |
| Gradiente de presión en el interior de tubos verticales | 266 |
| Formulación para la evaporación en tubos verticales | 266 |

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

| | |
|---|-----|
| Introducción | 269 |
| Tipos básicos de intercambiadores de calor | 269 |
| Intercambiadores de paso simple 1-1 | 270 |
| Intercambiador de corrientes paralelas en contracorriente 1-2 | 273 |
| Intercambiador 2-4 | 274 |
| Intercambiador de flujos cruzados | 276 |
| Coeficiente U de transferencia térmica global | 276 |
| Factor de suciedad | 277 |
| Transmisión de calor entre fluidos en movimiento, a temperaturas variables, a través de una pared | 279 |
| Temperatura media logarítmica (LMTD) | 280 |
| Factores de corrección de la (LMTD) | 281 |
| Factores de corrección de la (LMTD), para diversas configuraciones de intercambiadores | 283 |

XVIII- INTERCAMBIADORES DE CALOR: METODO DE LA EFICIENCIA

| | |
|--|-----|
| Eficacia de los intercambiadores de calor | 287 |
| Flujos paralelos en equicorriente | 289 |
| Flujos paralelos en contracorriente | 291 |
| Valores de la eficiencia térmica para diversas configuraciones de intercambiadores | 293 |
| Intercambiadores de calor compactos | 295 |

XIX- RADIACION TERMICA: FUNDAMENTOS

| | |
|------------------------------------|-----|
| Introducción | 305 |
| Física de la radiación | 306 |
| Concepto de cuerpo negro | 306 |
| Ley de Planck | 306 |
| Ley del desplazamiento de Wien | 306 |
| Ley de Stefan-Boltzman | 308 |
| Funciones de radiación | 308 |
| Transmisión de calor por radiación | 309 |

| | |
|---|-----|
| Factor de forma de la radiación | 310 |
| Factor de forma para dos superficies infinitesimales | 311 |
| Factor de forma para una superficie finita y otra infinitesimal | 312 |
| Factor de forma para dos superficies finitas | 313 |
| Propiedades de los factores de forma | 313 |
| Álgebra de factores de forma.- Casos particulares | 314 |
| Eliminación de superficies cóncavas | 315 |
| Factores de visión para tres superficies convexas generadas a lo largo de una recta | 317 |
| Método de las cuerdas cruzadas | 318 |
| Gráficas para la determinación de factores de forma en 2 dimensiones | 320 |
| Gráficas para la determinación de factores de forma en 3 dimensiones | 321 |

XX- RADIACION TERMICA: INTERCAMBIOS RADIATIVOS

| | |
|--|-----|
| Intercambio radiativo entre superficies negras | 327 |
| Intercambio radiativo entre dos superficies negras y una refractaria | 330 |
| Superficies refractarias | 330 |
| Temperatura de la superficie refractaria | 330 |
| Factor de forma general.- Casos particulares | 331 |
| Intercambio radiativo entre superficies grises | 332 |
| Superficies refractarias | 334 |
| Recinto formado por dos superficies grises.- Casos particulares | 335 |
| Recinto formado por dos superficies grises especulares | 336 |
| Recinto formado por dos superficies grises y una o varias pantallas de radiación | 337 |
| Recinto formado por tres superficies grises, dos opacas y una refractaria | 339 |
| Técnicas matriciales | 340 |
| Superficies con temperaturas conocidas | 340 |
| Superficies con flujo neto de calor conocido | 342 |

XXI- RADIACION TERMICA EN GASES

| | |
|--|-----|
| Radiación a través de un medio transmisor y absorbente | 343 |
| Transferencia de calor entre dos superficies infinitas con un gas intermedio | 343 |
| Transferencia de calor entre dos superficies finitas con un gas intermedio | 346 |
| Intercambio radiativo entre un gas isoterma y un recinto negro | 347 |
| Intercambio radiativo entre un gas isoterma y un recinto gris | 347 |
| Propiedades radiativas de los gases | 348 |
| Emisividad de los gases | 349 |
| Longitud característica | 349 |
| Emisividad de una mezcla de gases | 350 |
| Absortividad de los gases | 350 |
| Determinación práctica de la emisividad | 353 |
| Radiación de nubes de partículas | 355 |
| Llamas luminosas | 357 |
| Llamas de carbón pulverizado | 358 |
| Cálculos en hornos y hogares | 358 |
| Medida de temperaturas | 360 |

| | |
|--|-----|
| TABLAS de propiedades térmicas de sólidos, líquidos, gases y vapores | 363 |
|--|-----|

| | |
|--------------|-----|
| BIBLIOGRAFÍA | 393 |
|--------------|-----|

| | |
|--------|-----|
| INDICE | 395 |
|--------|-----|