

CAPÍTULO 2

CONVECCION NATURAL SOBRE PLACAS HORIZONTALES

2.1 Transferencia de Calor

La transferencia de calor es la ciencia que busca predecir la transferencia de energía que puede tener lugar entre dos cuerpos como el resultado de una diferencia de temperaturas. No solo busca explicar cómo esta energía es transferida sino que también busca predecir el gradiente de temperatura al cual esta transferencia tendrá lugar tomando en cuenta ciertas condiciones [2].

La transferencia de calor se puede clasificar en 3 modos: conducción, convección y radiación. En los 3 modos la transferencia de calor ocurre de o hacia una superficie.

La conducción es el modo donde la transferencia ocurre a través de un sólido o un fluido estacionario.

La convección al igual que la conducción necesita de un medio para llevarse a cabo, la diferencia es que la convección se lleva a cabo entre una superficie y un fluido en movimiento.

La radiación a diferencia de la conducción y convección es el modo de transferencia de calor que no necesita de un medio para ocurrir [3].

2.2 Convección

La convección es uno de los modos de transferencia de calor por difusión en el cual se transfiere calor entre una superficie sólida y un fluido en movimiento.

La convección está compuesta por dos mecanismos. Aparte de la energía que es transmitida por el movimiento aleatorio de moléculas (difusión) también hay transferencia de energía por el movimiento de bulto. Este movimiento está asociado con el hecho de que a cualquier instante grandes números de moléculas se mueven colectivamente. Este movimiento en presencia de una diferencia de temperatura contribuye a la transferencia de calor [3].

Se puede hablar de 2 tipos de convección, convección forzada y convección natural. La primera es en la cual el movimiento del fluido es provocado por agentes externos, como por ejemplo por una bomba o un ventilador. El otro tipo de convección que es el único que tendrá relevancia para este estudio es la convección natural. En la convección natural el movimiento del fluido es provocado por fuerzas de flotación que son originadas por diferencias de densidades debido al gradiente de temperatura que presenta el fluido [3].

Sin importar la naturaleza de la convección la ecuación que describe el flujo de calor está dada por la ley de enfriamiento de Newton [3]:

$$q = h (T_s - T_\infty) \quad (2.1)$$

Donde,

q: transferencia de calor por unidad de área [W/m^2]

T_s : temperatura de la superficie solida [$^{\circ}\text{C}$]

T_{∞} : temperatura del fluido [$^{\circ}\text{C}$]

h : coeficiente de convección [$\text{W}/\text{m}^2\text{^{\circ}\text{C}}$]

2.3 Transferencia de Calor por Convección Natural sobre una Placa Horizontal.

T_{∞}, h

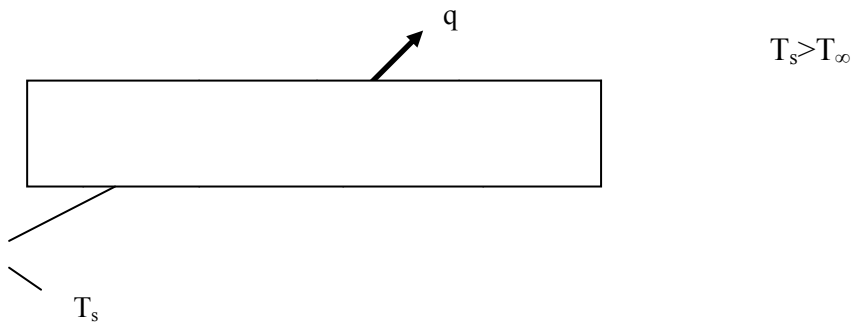


Figura 2.1 Placa Horizontal Adyacente a un Fluido [3]

Para la convección natural se toman en cuenta tres principios básicos:

- Conservación de masa.
- Conservación de momento.
- Conservación de energía.

Acompañado con estos principios se tienen que tomar en cuenta las siguientes suposiciones:

1. $\rho = \text{constante}$, la densidad es constante (incompresible).
2. $\frac{\partial}{\partial t} = 0$, no se toma en cuenta el cambio con respecto al tiempo.
3. El flujo se considera bidimensional.
4. $\mu = \text{constante}$, la viscosidad absoluta no cambia.
5. $\frac{\partial p}{\partial y} = 0$, no se considera la diferencia en presiones en el eje y .
6. $\tau_y \approx 0$, no hay esfuerzos cortantes a lo largo del eje y .
7. $c_p = \text{constante}$, el calor específico no cambia.
8. $k = \text{constante}$, el coeficiente de conductividad no cambia.

Conservación de masa,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.2)$$

Conservación de momento,

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = g\rho\beta(T - T_\infty) + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2.3)$$

Conservación de energía,

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (2.4)$$

En convección natural también se utiliza el coeficiente volumétrico de expansión termal el cual se denomina con la letra griega β . Este coeficiente define como varia el volumen cuando hay diferencias de temperatura. Su definición es la siguiente:

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dT} \right)_p \quad (2.5)$$

V: volumen [m^3]

T: temperatura [K]

Si asumimos que las propiedades del fluido son las de un gas ideal entonces β se simplifica de la siguiente manera:

$$\beta = \frac{1}{T} \quad (2.6)$$

Todas estas ecuaciones son por las cuales se puede llegar a obtener algunos de los números adimensionales que se presentaran más adelante en este capítulo.

El coeficiente de convección h , ya sea forzada o natural, depende en gran medida del estado en el que se lleva a cabo la transferencia de calor. A continuación se presenta una tabla donde se pueden apreciar los rangos de este coeficiente de convección h .

Tabla 2.1 Valores Típicos de la Transferencia de Calor por Convección [2]

proceso	h [W/m ² °C]
convección natural	
Gases	2-25
Líquidos	50-1,000
Convección forzada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20,000
Convección con cambio de fase	2,500- 100,000

2.4 Números Adimensionales

Numero de Nusselt: (Nu)

Representa el gradiente de temperatura adimensional en la superficie

$$Nu = \frac{h L}{k} \quad (2.7)$$

Donde,

h : coeficiente de convección [W/m²°C]

L : longitud característica [m]

k : coeficiente de conducción [W/m°C]

Número de Grashof: (Gr)

Representa la relación entre las fuerzas de flotación y fuerzas de viscosidad en el fluido

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2} \quad (2.8)$$

Donde,

g : gravedad [m/s²]

β : coeficiente de expansión volumétrica termal [1/K]

ν : viscosidad cinemática [m²/s]

ΔT : diferencia de temperatura [°C]

L : longitud de la placa [m]

Numero de Prandtl: (Pr)

El numero de Prandtl es una medida de la efectividad relativa de momento y transporte de energía por difusión en las capas límite de velocidad y de temperatura.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.9)$$

Donde,

ν : viscosidad cinemática [m^2/s]

α : difusividad térmica [m^2/s]

Numero de Rayleigh: (Ra)

Refleja la transición del régimen de la conducción al régimen de la convección en la convección natural.

$$Ra = Gr Pr \quad (2.10)$$

2.5 Capa Límite Térmica

La capa límite térmica está definida como la región donde los gradientes de temperatura están presentes en el flujo. Estos gradientes de temperatura resultan de un proceso de intercambio de calor entre la superficie y el fluido [2].

Para este estudio el concepto de capa límite es especialmente importante pues su espesor jugará el papel de longitud característica para el análisis de todos los experimentos realizados por otros autores que serán tratados en esta tesis.

2.6 Ecuaciones y Conceptos Representativos

En la literatura es posible encontrar un gran número de ecuaciones que puedan representar el fenómeno de transferencia de calor por convección natural dependiendo de los parámetros específicos de cada caso.

Es muy importante mencionar que muchas de estas ecuaciones surgen a partir de experimentos y por ello es que cada una aplica para diferentes rangos de diversos parámetros.

La siguiente tabla muestra algunas expresiones generales para placas horizontales en convección natural calentadas desde arriba y desde abajo:

Tabla 2.2 Números de Nusselt Promedio Sugeridos en Convección Natural de Placas Horizontales.

Placas calentadas encaradas hacia arriba y placas enfriadas encardas hacia abajo.	
$\overline{Nu}_L = 0.54Ra_L^{1/4}$ [4]	$10^4 \leq Ra_L \leq 10^7$
$\overline{Nu}_L = 0.15Ra_L^{1/3}$ [4]	$10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}$
Placas calentadas encaradas hacia abajo y placas enfriadas encaradas hacia arriba (caso importante para este trabajo).	
$\overline{Nu}_L = 0.27Ra_L^{1/4}$ [5]	$10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}$
$\overline{Nu}_L = 0.58Ra_L^{1/5}$ [6]	$10^6 \leq Ra_L \leq 10^{11}$
$\overline{Nu}_L = 0.31Ra_L^{1/4}$ [7]	$10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}$

Un concepto importante y que vale la pena discutir es el de longitud característica. La longitud característica es un concepto utilizado para los cálculos de transferencia de calor que es la longitud físicamente representativa para el caso de interés. Varios autores difieren en la definición misma del concepto. Como puede verificarse en los trabajos de Al-Arabi et al. [8], Lewandowski et al. [9], Lloyd et al. [4] y Fuji et al. [6]. Hay diferencias en la definición que utilizaron para la longitud característica (L_c). Estas diferencias se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.3 Diferencias de Longitud Característica Entre [4], [6], [8] y [9].

Autores	Longitud característica (L_c)
Lloyd y Moran [4]	Área/perímetro
Al-Arabi y Riedy [8]	Ancho o diámetro de la placa
Lewandowski, Radziemska, Buzuk y Bieszk [9]	Ancho de la placa
Fuji e Imura [6]	Ancho de la placa

Como se puede apreciar en la Tabla 2.3 entre diferentes autores hay diferentes conceptos de la Longitud característica (L_c).

López [1] presento una tesis en la cual propone utilizar una longitud característica que pueda tener un significado más representativo para el estudio de convección natural en placas horizontales calentadas desde abajo.

En su estudio, López [1] propone utilizar el espesor de la capa límite térmica como longitud característica. Una vez propuesto esto y por medio de la obtención de resultados originales de experimentos de Al-Arabi et al. [8], Lewandowski et al. [9], Lloyd y Moran [4], Fuji e Imura [6] entre otros fue posible para él presentar una serie de resultados que representaban la transferencia de calor por convección natural con el espesor de capa límite térmica como longitud característica.