

## Capítulo 3

### Marco conceptual

En el presente capítulo se pretende delimitar conceptualmente el estudio de esta investigación. Para tales fines se desarrollan los aspectos teóricos acerca de; radiación, la radiación por los diferentes tipos de cuerpo, la definición del factor de forma, así como los métodos de cálculo para su evaluación. A partir de los cuales será posible enmarcar el tema.

#### 3.1. Radiación

El calor es la energía en tránsito debido a la diferencia de temperaturas. La transferencia de calor es un área de la ingeniería que trata los mecanismos encargados de la transferencia de energía de un lugar a otro cuando existe una diferencia de temperaturas. En el estudio de esta ciencia se encuentran tanto los procesos de equilibrio, como los de desequilibrio de energía. Así mismo permite determinar la razón, con respecto al tiempo, de la energía transferida provocada por un desequilibrio de temperaturas [17].

La transferencia de calor tiene tres áreas de estudio; conducción, convección y radiación. Esta última será el tema base de este proyecto de investigación.

La transferencia de calor por radiación es sólo uno de los numerosos fenómenos electromagnéticos. Este fenómeno se puede describir como una forma de transmitir calor sin la necesidad de un medio. El término **radiación** se aplica

generalmente a toda clase de procesos que transmiten energía por medio de ondas electromagnéticas. La gama total de esas ondas se subdivide en clases de acuerdo con la longitud de onda o frecuencia y también con la amplitud. Esto se puede representar mediante un espectro electromagnético, como se presenta en la Fig. 8, que abarca ondas eléctricas de gran longitud y baja frecuencia, hasta rayos cósmicos de longitud extremadamente corta y de baja frecuencia [1,18].

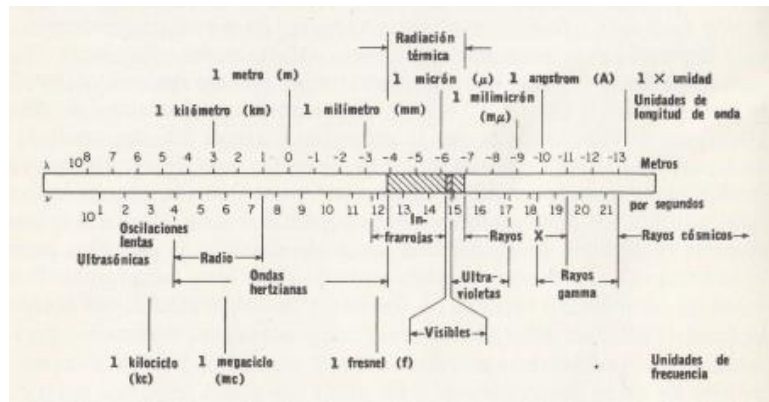


Fig. 8 Espectro de las ondas electromagnéticas [18].

### 3.1.1. Radiación de un cuerpo

Cuando un cuerpo homogéneo recibe energía por radiación ésta es parcialmente absorbida, parcialmente reflejada y, si el cuerpo es transparente, parcialmente transmitida. La relación que existe entre la energía absorbida, la reflejada y la transmitida es, de acuerdo con la ley de conservación de la energía:

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Ec. 1

Donde,

$\alpha$  = absorptividad, esto es, la fracción absorbida de la radiación incidente (-).

$\tau$  = transmitividad, esto es, la fracción de la radiación incidente transmitida a través del cuerpo (-).

$\rho$  = reflectividad, esto es, la fracción reflejada de la radiación incidente (-).

Las magnitudes relativas de  $\alpha$ ,  $\rho$  y  $\tau$  no solo dependen de la temperatura, las características de la superficie, las propiedades geométricas del cuerpo y el material, sino también varían con la longitud de onda. Del mismo modo la reflexión de la radiación desde una superficie puede ser difusa o directa [18].

### **3.1.2. Radiación de un cuerpo negro**

Un cuerpo negro es un objeto ideal que absorbe toda la energía radiante que incide sobre él. En este cuerpo la radiación incidente no se refleja o pasa a través, por lo que es absorbida. A pesar de su nombre, el cuerpo negro emite luz y constituye un sistema físico teórico para el estudio de la emisión de radiación electromagnética en todas las longitudes de onda y en todos los ángulos de incidencia.

El concepto de un cuerpo negro es básico para el estudio de la transferencia de energía radiante. Como absorbente perfecto, sirve como un estándar con el que absorbedores reales pueden compararse. El cuerpo negro también emite una energía máxima y por lo tanto sirve como un estándar ideal de comparación para un cuerpo emisor de radiación.

Aparte de ser un absorbente perfecto de la radiación, el cuerpo negro tiene otras propiedades importantes, tales como, emisor perfecto, isotropía de radiación en un espacio negro, es un perfecto emisor en ambas direcciones y en cada longitud de onda [19].

El concepto de coeficiente de emisividad se debe a la ley de Kichhoff que estatuye que ninguna superficie puede absorber o emitir más radiación que una negra. La emisividad varía dependiendo de la temperatura del cuerpo, la onda de radiación, y las condiciones de superficie del cuerpo. El cuerpo negro es, en consecuencia, un radiador ideal que absorbe toda la radiación incidente. Por lo que establece que en el equilibrio térmico, son iguales la absortividad y la emisividad de cualquier cuerpo, es decir;

$$\alpha = \mathcal{E} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde,

$\mathcal{E}$  = emisividad, esto es, la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura (-).

En base a la vida real, se tendría que aumentar el factor de emisividad y agregar un factor de forma para finalmente obtener una ecuación que describa la cantidad de energía entre dos cuerpos irradiando calor por lo que la ecuación sería, [1, 18, 20]:

$$Q_{\text{emitida}} = \sigma A \mathcal{E} F (T_1^4 - T_2^4) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde,

$\sigma$  = Conductividad (J/s·K·m).

A = Área (m<sup>2</sup>).

F = Factor de forma de radiación.

T = Temperatura (K).

### **3.2. Factor de forma y su evaluación**

Dos cuerpos que irradian calor entre si no siempre van a estar alineados, por lo que es necesario un factor de forma, o también llamado factor de vista, que representa la fracción de energía que un cuerpo está recibiendo de otro basado en la posición entre ellos. Este factor toma en cuenta que no toda la energía irradiada por un cuerpo es absorbida por otro cuerpo circundante, más bien se dispersa a su alrededor y solo una parte pega al cuerpo circundante.

La mejor manera de explicar este factor es la fracción de energía radiante que deja un cuerpo y que es recibido por otro, como se presenta en la Fig. 9 [1].

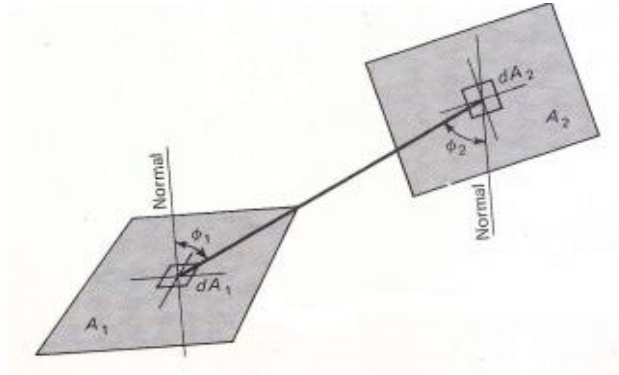


Fig. 9 Elementos del área para derivar factor de forma de radiación [20].

Hay una problemática al determinar la cantidad de energía que deja la superficie de un cuerpo para alcanzar otra en el intercambio de energía. Es por eso que el factor de forma está definido de la siguiente manera,

$F_{m-n}$  = Fracción de energía dejando la superficie  $m$  y alcanzando la superficie  $n$  [20].

### 3.2.1. Métodos de cálculo del factor de forma de radiación entre dos superficies

En base a lo mostrado sobre los factores de forma, se puede decir que existen diferentes formas de calcular el factor de forma entre dos cuerpos tridimensionales, unas más exactas que otras, y unas más cortas que otras. A continuación se muestran las diferentes formas de evaluación del factor de forma.

### 3.2.1.1.1. Definición general

Para hacer la configuración del factor es necesario definir la geometría del cuerpo irradiante y la del cuerpo receptor, así como el posicionamiento de uno contra otro.

Esto se puede obtener mediante la siguiente formula,

$$F_{mn} = \frac{\cos\theta_n \cdot \cos\theta_m}{\pi R^2} A_n \quad \text{Ec. 4}$$

Donde,

$\Theta$  = Angulo en coordenadas cilíndricas o esféricas ( $^\circ$ ).

R = Radio (m).

$A_n$  = Área de la superficie que emite energía que se encuentra dentro del rango de visión del cuerpo que recibe la energía ( $m^2$ ).

Por lo tanto, el denominador de esta ecuación representaría la energía radiante que sale de la superficie m para alcanzar a la superficie n, siendo el denominador, el total de la energía radiante que deja la superficie m.

Esta definición permite por lo tanto calcular el factor de forma de cualquier geometría en cualquier posición [1, 20, 21].

### 3.2.1.1.2. Formas gráficas

Mediante el método gráfico, se tienen las geometrías y las posiciones de las superficies predeterminadas, mostrando los diferentes resultados que se pueden

obtener. Estas pueden variar según la distancia que hay entre las superficies y las dimensiones de estas.

A continuación se muestran unos ejemplos de las gráficas de las diferentes figuras y posicionamientos de los cuerpos [20-22].

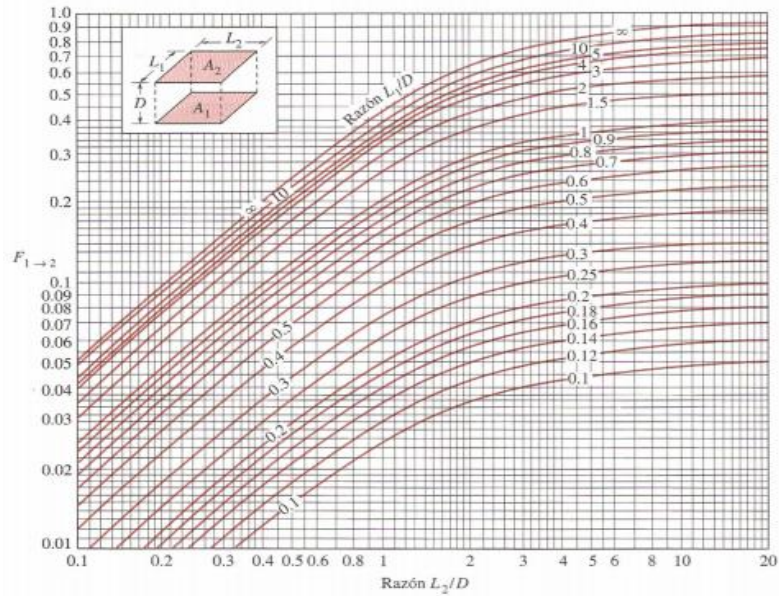


Fig. 10 Factor de forma entre dos rectángulos paralelos alineados de igual tamaño [22].



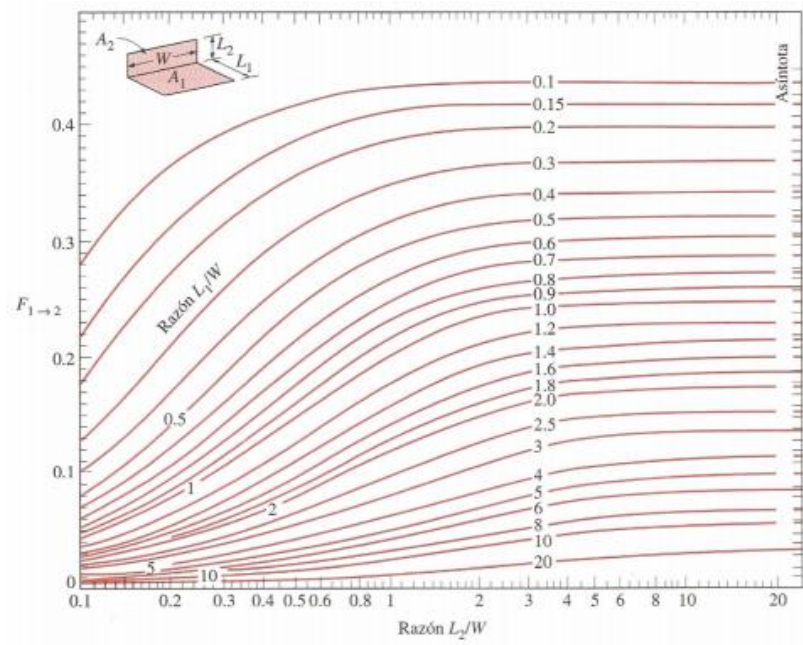


Fig. 11 Factor de forma entre dos rectángulos perpendiculares con una arista común [22].

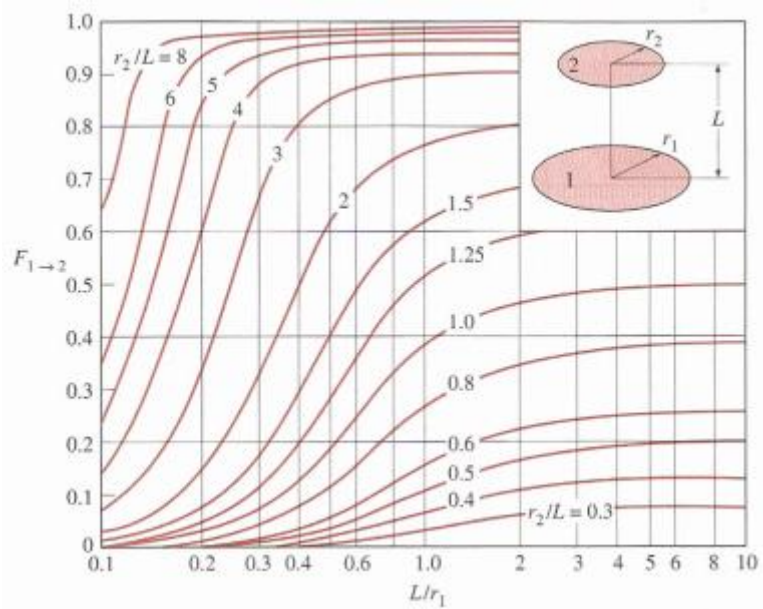


Fig. 12 Factor de forma entre dos discos paralelos coaxiales [22].

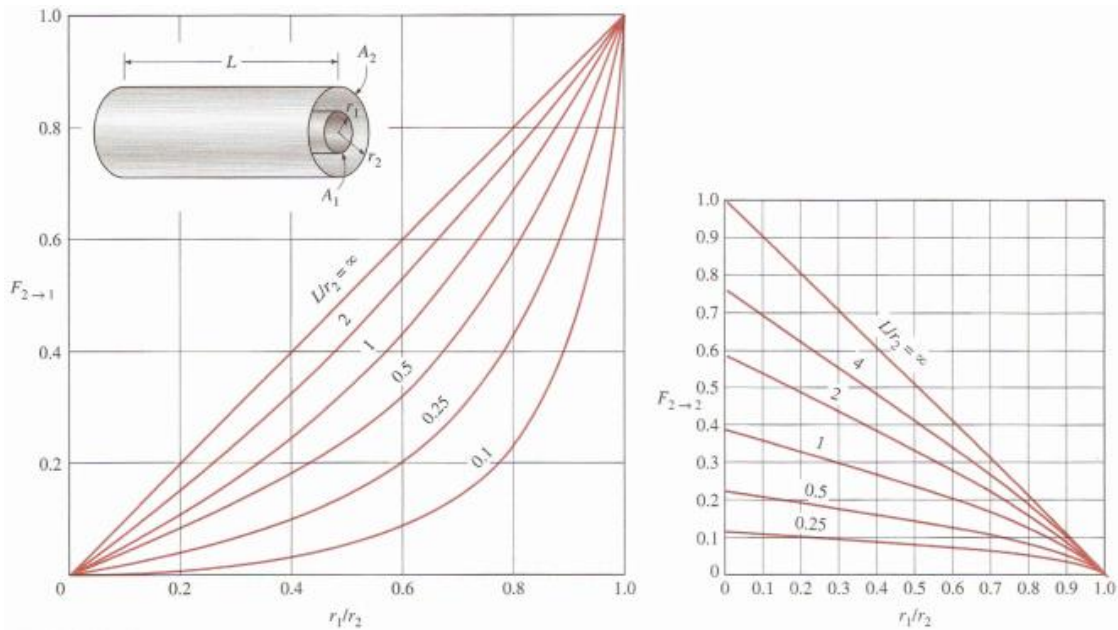


Fig. 13 Factores de forma para dos cilindros concéntricos de longitud finita: a) del cilindro exterior hacia el interior; b) del cilindro exterior hacia sí mismo [22].

### 3.2.1.1.3. Expresiones algebraicas

Este método consiste en la obtención del factor de forma de forma analítica, mediante ecuaciones preestablecidas para configuraciones geométricas seleccionadas.

A continuación se muestran las expresiones del factor de forma para algunas configuraciones geométricas comunes de tamaño finito [20-22].

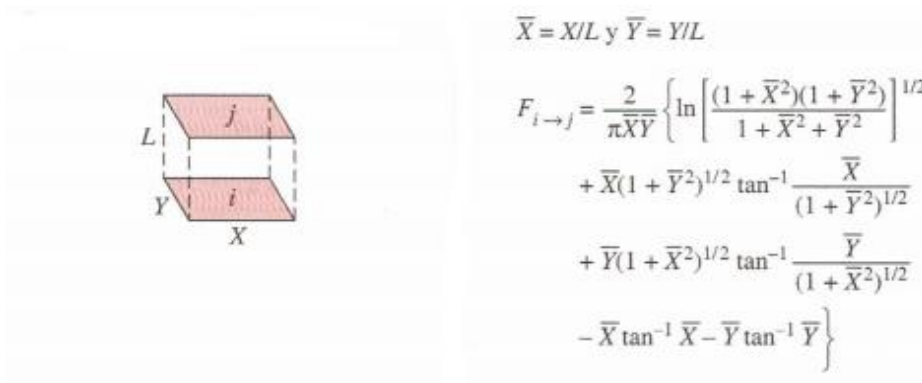


Fig. 14 Relación de rectángulos paralelos alineados [22].

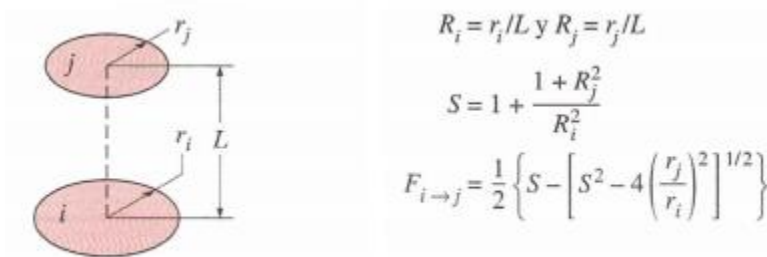


Fig. 15 Relación de discos paralelos coaxiales [22].

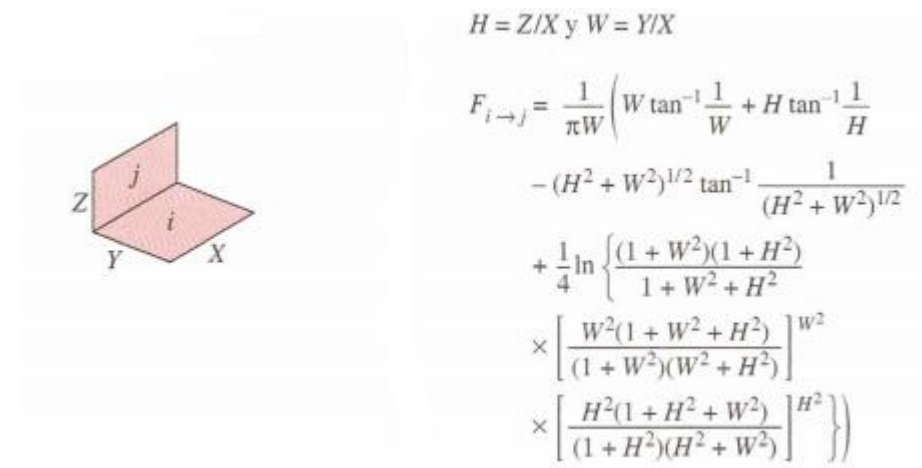


Fig. 16 Relación de rectángulos perpendiculares con una arista en común [22].

Con estos conceptos teóricos se abordará la presentación de la metodología y de los resultados en los apartados siguientes.