

Solución Ejemplo 14.1:

No es necesario un esquema, pues cuando no existe la tercera superficie radiante, el caso corresponde al de área nula de la misma y la solución se reduce a la aplicación de la fórmula (14-19) a través de la (14-20). Para el cálculo de \mathcal{F}_{ij} , necesitamos las áreas de las superficies:

$$A_{\text{tubo}} = (\pi)(0,25)(0,5) = 0,393 \text{ m}^2 \quad ; \quad A_{\text{cámara}} = (6)(0,5^2) - (2)\left(\frac{\pi}{4}\right)(0,25^2) = 1,402 \text{ m}^2$$

y el factor de visión entre el tubo y la cámara, que, al no existir la tercera superficie, evidentemente es 1. De este modo,

$$\mathcal{F}_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} - 1 + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right) + \frac{1}{F_{1-2}}} = \frac{1}{\frac{1}{0,6} - 1 + \frac{0,393}{1,402} \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right) + \frac{1}{1}} = 0,576$$

y por (14-19),

$$q_{1,\text{neto}} = A_1 \mathcal{F}_{1-2} 5,67 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = (0,393)(0,576)(5,67) [(22,6)^4 - (14,6)^4] =$$
$$= 276,5 \text{ kW}$$

Solución Ejemplo 14.2

Se trata del ejemplo por defecto incluido en el Apéndice C del primer volumen, para las aplicaciones VISION y GRIS, véanse las pp. 802-805 y 794-795, respectivamente, del mismo. La configuración de la cámara se muestra en el menú *Ver* de la aplicación VISION. Por este motivo, nos limitaremos a justificar la emitancia ficticia de los planos equivalentes a las superficies tubulares calefactoras del horno, que en este caso corresponden a la configuración de la figura 14.1a, aunque con dimensiones limitadas, y a ejecutar la aplicación GRIS.

Para hallar la emitancia efectiva de los planos que soportan el haz de tubos, de acuerdo con (14-25) y (14-27), necesitamos el factor de visión F_{i-1} entre el plano ficticio que cubre el haz y los tubos del mismo, figura 1a, sistema que podemos reducir al módulo mostrado en la figura 1b. Este valor se puede hallar directamente de forma sencilla con la opción de la aplicación VISION que calcula los factores de visión de una sola superficie a otras. Con esta opción la configuración que usaremos es la de la figura 1c, que garantiza que la superficie de los cilindros que tenemos en cuenta es exactamente su mitad, y la ventana de datos la mostrada en la figura 2.

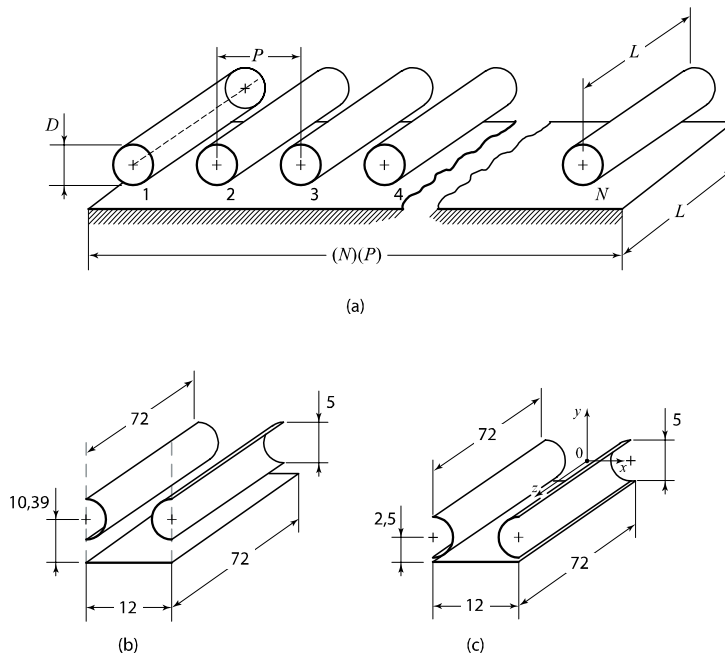


Figura 1 ejemplo 14.2. a) Sección transversal de un haz tubular de una sola fila y situado sobre una superficie aislante. N es el número de tubos, P la distancia entre sus centros (supuestos equidistantes), L su longitud y D su diámetro exterior. b) Módulo del haz. c) Configuración para establecer los datos para VISION. Nótese que, debido a que la superficie de los tubos es convexa, podemos limitar la radiación a los medios cilindros de la figura 1c, cilindros que definimos mediante la descripción simplificada de prismas regulares. Las dimensiones se dejan en in. porque sólo interesan las proporciones.

Para el cálculo con la aplicación VISION, la ventana de datos, con las medidas reales (longitud $(6)(12) = 72$ in) y un prisma de 37 lados (caras laterales)¹, se muestra en la figura 2 y los resultados en la figura 3.

Identificación: Ejemplo 14.2

Número máximo de evaluaciones=3000
Número máximo de triángulos= 300

```
[Superficie 0]
Tipo=poliedro
Vértice X_1=6
Vértice Y_1=-2.5
Vértice Z_1=0
```

¹Más adelante justifiaremos esta decisión.

Vértice X_2=-6
Vértice Y_2=-2.5
Vértice Z_2=0

Vértice X_3=-6
Vértice Y_3=-2.5
Vértice Z_3=72

Vértice X_4=6
Vértice Y_4=-2.5
Vértice Z_4=72

Cara_11=1
Cara_12=2
Cara_13=3
Cara_14=4

[Superficie 1]
Tipo=prisma exterior
Número de vértices base=37
Radio base=2.5
Angulo base=0
Centro base superior Z=72
Posición X=-6

[Superficie 2]
Tipo=prisma exterior
Número de vértices base=37
Radio base=2.5
Angulo base=0
Centro base superior Z=72
Posición X=6

Figura 2, ejemplo 14.2. Los semicilindros se han aproximado por un prisma de 37 lados y longitud $(6)(12) = 72$ in. Se ha limitado el número de evaluaciones a 3.000 para evitar la acumulación de errores numéricos debidos a la tangencia de las superficies, que se producen cuando el haz es corto (L/D menor de aproximadamente 25). Véase el ejemplo 14.4.

Ejecutando la aplicación obtenemos el resultado de la figura 3:

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA:Aplicación Vision

Identificación:

Ejemplo 14.2

DATOS:

Tipo de cálculos: de una superficie (0) a un conjunto de otras superficies.

* Datos de la Superficie 0:

Tipo de superficie: poliedro

Vértices leídos:

i	x	y	z
1	6.000e+00	-2.500e+00	0.000e+00
2	-6.000e+00	-2.500e+00	0.000e+00
3	-6.000e+00	-2.500e+00	7.200e+01
4	6.000e+00	-2.500e+00	7.200e+01

Caras leídas:

Cara 1: 1 2 3 4

* Datos de la Superficie 1:

Tipo de superficie: prisma exterior

Base inferior (37 vértices):

i	x	y	z
1	2.500e+00	0.000e+00	0.000e+00
2	2.464e+00	4.225e-01	0.000e+00
3	2.357e+00	8.328e-01	0.000e+00
4	2.183e+00	1.219e+00	0.000e+00
.	.	.	.
34	1.945e+00	-1.571e+00	0.000e+00
35	2.183e+00	-1.219e+00	0.000e+00
36	2.357e+00	-8.328e-01	0.000e+00
37	2.464e+00	-4.225e-01	0.000e+00

Base superior (37 vértices):

i	x	y	z
38	2.500e+00	0.000e+00	7.200e+01
39	2.464e+00	4.225e-01	7.200e+01
40	2.357e+00	8.328e-01	7.200e+01
.	.	.	.
72	2.183e+00	-1.219e+00	7.200e+01
73	2.357e+00	-8.328e-01	7.200e+01
74	2.464e+00	-4.225e-01	7.200e+01

* Datos de la Superficie 2:

Tipo de superficie: prisma exterior

Base inferior (37 vértices):

i	x	y	z
1	2.500e+00	0.000e+00	0.000e+00
2	2.464e+00	4.225e-01	0.000e+00
.	.	.	.
36	2.357e+00	-8.328e-01	0.000e+00
37	2.464e+00	-4.225e-01	0.000e+00

Base superior (37 vértices):

i	x	y	z
38	2.500e+00	0.000e+00	7.200e+01
39	2.464e+00	4.225e-01	7.200e+01
.	.	.	.
73	2.357e+00	-8.328e-01	7.200e+01
74	2.464e+00	-4.225e-01	7.200e+01

Datos generales para integración:

Tolerancia: 1.000e-06 (valor por defecto)
Número máximo de evaluaciones de la función: 3000
Número máximo de triángulos: 300

RESULTADOS:

F0-1=2.794842e-01	Error=2.286781e-04	Tolerancia indicada excesivamente pequeña
F1-0=2.137670e-01	Error=1.749073e-04	Tolerancia indicada excesivamente pequeña
F0-2=2.794614e-01	Error=2.525725e-04	Tolerancia indicada excesivamente pequeña
F2-0=2.137495e-01	Error=1.931832e-04	Tolerancia indicada excesivamente pequeña

Figura 3, ejemplo 14.2. Si se ejecuta la aplicación con el prisma de 81 lados se obtiene $F_{0,1} = 0,279308$, lo que avala como suficiente el uso de 37 lados.

De acuerdo con estos resultados, $F_{i-t} = F_{0-1} + F_{0-2} = 0,2794842 + 0,2794614 = 0,5589456$.
Adoptando este valor, según (14-34),

$$F_{i-t} = F_{i-t}(2 - F_{i-t}) = (0,558946)(2 - 0,558946) = 0,805471$$

y, suponiendo $F_{i-i} \approx 0$, podemos aplicar (14-25),

$$\epsilon_{ef} \approx \frac{1}{\frac{1}{F_{i-t}} + \frac{B}{\pi} \left(\frac{1}{\epsilon_t} - 1 \right)} \approx \frac{1}{\frac{1}{0,8055} + \frac{2,4}{\pi} \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right)} = 0,698$$

Dada la crudeza del cálculo numérico empleado (escaso número de triángulos y de evaluaciones) sólo admitiremos como válidas dos cifras significativas, o sea que la emitancia del plano equivalente al haz de tubos sobre la pared refractaria sería $\epsilon_{ef} = 0,70$, valor poco distinto del de 0,702 dado en el Perry², referencia original, que supone el haz de longitud infinita³. Dado que la longitud de los cilindros es importante, como veremos en el ejemplo siguiente, en esta caso el error numérico nos da esta coincidencia algo fortuita, de modo que tomaremos un valor de 0,706, que también justificaremos en el ejemplo siguiente. Con este último valor y los datos de enunciado ($816^\circ\text{C} = 1.089\text{ K}$; $694^\circ\text{C} = 922\text{ K}$) tendremos el balance radiante mostrado en la figura 4:

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA: Aplicación Gris

Identificación:

Ejemplo 14.2

DATOS:

Superficie	Area (m2)	Emitancia	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	19,138000	0,800		0,0000e+00
2	11,148400	0,706	1089,000	
3	4,645200	0,900	922,000	

Matriz de factores de visión:

Superficie	1	2	3	Suma
1	0,446300	0,392500	0,161300	1,000100
2	0,673789	0,186400	0,139800	0,999989
3	0,664548	0,335518	0,000000	1,000066

RESULTADOS:

Superficie	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1039,334	0,0000e+00
2	1089,000	-1,1805e+05
3	922,000	1,1818e+05

Suma de las potencias= 1.3045e+02 W

Figura 4 ejemplo 14.2. La suma de potencias no es nula por el redondeo de las áreas y de los factores de visión.

Nótese que mediante la aplicación GRIS también obtenemos la temperatura del refractario, 1.039,3 K, lo que nos sirve para la elección del mismo.

²Establecido con el factor de visión subrayado igual a 0,81, obtenido de la figura 5.17, curva (5), de la 4ª edición en español del mismo.

³Véase el ejemplo siguiente.

La referencia original, con una emitancia de la superficie 2 (calefactora) de 0,702, da una potencia absorbida por la carga, de 118,00 kW y ejecutando la aplicación con una emitancia de la superficie 2 igual a 0,71, se obtiene una potencia absorbida de 118,53 kW y una temperatura del refractario de 1.039,6 K, lo que relativiza la necesidad de precisión en la emitancia ficticia.

Solución Ejemplo 14.3:

a) Sean las secciones transversales de dos cilindros paralelos de diámetro D y paso (distancia entre los ejes de los cilindros) P , figura 1.

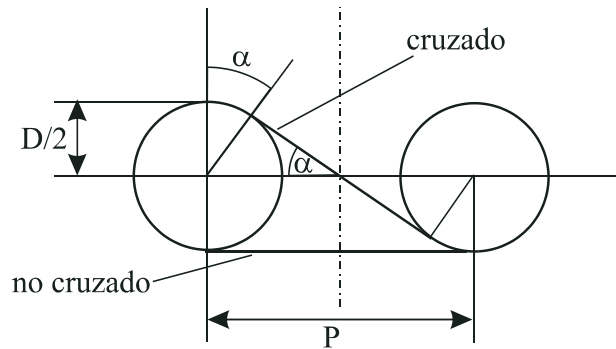


Figura 1 ejemplo 14.3. Sección transversal de dos cilindros (tubos) paralelos, componentes de un haz de una sola fila, para el cálculo analítico (bidimensional) del factor de visión entre dos cilindros paralelos infinitamente largos.

Según la fórmula (2-184) tendremos:

$$F_{t-t} = \frac{\text{suma de hilos cruzados} - \text{suma de hilos no cruzados}}{(2)(\text{longitud de } t)} = \frac{(2)(2)\left(\alpha \frac{D}{2} + \frac{P}{2} \cos\alpha\right) - 2P}{(2)\left(\frac{\pi}{2}\right)(D)} \quad (1)$$

pero, siendo $B = P/D$,

$$\cos\alpha = (1 - \sin^2\alpha)^{0,5} = \left(1 - \frac{1}{B^2}\right)^{0,5} = \frac{(B^2 - 1)^{0,5}}{B} \quad (2)$$

y se obtiene

$$F_{t-t} = \frac{4\left[\frac{D}{2} \arcsen\left(\frac{D}{P}\right) + \frac{D}{2}(B^2 - 1)^{0,5}\right] - 2P}{\pi D} = \frac{2}{\pi} \left[\arcsen\left(\frac{1}{B}\right) + (B^2 - 1)^{0,5} - B \right] \quad (3)$$

Así pues, con los datos del ejemplo 14.2, excepto la longitud de los tubos que suponemos infinita, según (3),

$$F_{t-t} = \frac{2}{\pi} \left[\arcsen\left(\frac{1}{2,4}\right) + (2,4^2 - 1)^{0,5} - 2,4 \right] = 0,134656$$

b) Este factor de visión se puede obtener numéricamente con la aplicación VISION y la configuración de la figura 2.

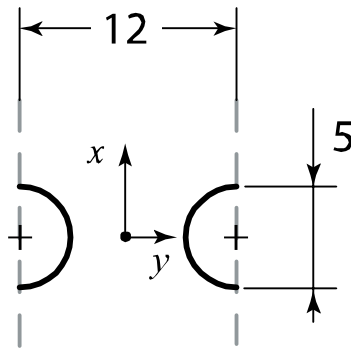


Figura 2 ejemplo 14.3. Configuración para la determinación tridimensional, con la aplicación VISION, del factor de visión entre dos cilindros (tubos) paralelos, componentes de un haz de una sola fila..

Para el cálculo con la aplicación VISION, la ventana de datos se muestra en la figura 3 (las dimensiones se dejan en in. porque sólo interesan las proporciones). Para aproximar la longitud infinita que comporta la fórmula 3, tomaremos una longitud de los cilindros muy grande, 1.500 in., y en cuanto a la aproximación de los cilindros, consideraremos prismas de 81 lados.

Identificación= Ejemplo 14.3

Número máximo de evaluaciones=5000

Número máximo de triángulos=500

```
[Superficie 1]
Tipo=prisma exterior
Número de vértices base=81
Radio base=2.5
Angulo base=0
Centro base superior Z=1500
Posición X=-6
```

```
[Superficie 2]
Tipo=prisma exterior
Número de vértices base=81
Radio base=2.5
Angulo base=0
Centro base superior Z=1500
Posición X=6
```

Figura 3, ejemplo 14.2. Nótese que debido a que la superficie de los tubos es convexa y a la simetría del sistema, basta calcular el factor de visión de un tubo al contiguo, simplemente.

Con estos datos se obtiene $F_{1,2} = F_{2,1} = F_{t-t} = 0,1330638$, valor muy próximo al analítico de 0,134656.

c) Como el modelo numérico es tridimensional y deja de contabilizar para la superficie de los tubos (y los planos i y r cuando intervienen) la radiación que, matemáticamente, desaparece por la sección transversal libre de los extremos, los valores de los factores de visión varían según la longitud del haz, mientras que el modelo analítico da un resultado único porque no incluye el efecto de los extremos, al ser bidimensional. Debido a esta pérdida de radiación por los extremos del haz, al aumentar su longitud el cálculo numérico se aproxima al analítico, que corresponde a una longitud infinita.

Para visualizarlo, con ayuda de la aplicación VISION, podemos preparar el cuadro siguiente:

Número de caras laterales	Longitud del haz, Z	F_{t-t}
37	72 (real)	0,1216418
37	120	0,1262252
37	600	0,1317840
37	1.500	0,1330246
∞	∞	0,134656

que corrobora la afirmación anterior. El comportamiento real de los extremos del haz es complejo y de evaluación difícil, motivo por el que propoñdremos un valor medio (véase más adelante y el ejemplo 14.2).

Por otro lado, nótese que si, manteniendo la longitud, se aumenta el número de lados del prisma, el cálculo da unas diferencias muy pequeñas entre los resultados; así, para una longitud de 1.500 in., la diferencia entre el valor del factor de visión para $N = 37$ lados (0,1330246) y para 81 lados (0,1329764), es de 48 diezmilésimas.

d) Conocido F_{t-t} , mediante el álgebra de factor de visión podemos obtener la emitancia del plano equivalente al haz, pues basta determinar el factor de visión entre los tubos de haz y el plano ficticio, F_{i-t} y usar las fórmulas (14-27) y (14-25). En efecto, si las dimensiones del haz son ilimitadas, en el recinto interno de la figura 14.1a, tendremos:

$$F_{t-i} + F_{t-r} + F_{t-t} = 1 \quad (4)$$

y

$$F_{t-i} \approx F_{t-r} = \frac{1 - F_{t-t}}{2} \quad (5)$$

Por el principio de reciprocidad, $A_i F_{i-t} = A_t F_{t-i}$, o sea

$$F_{i-t} \approx F_{r-t} = \frac{A_t}{2 A_i} (1 - F_{t-t}) \quad (6)$$

Dado que el haz es de una sola fila, $PF_{i-t} = \pi DF_{t-i}$ y

$$F_{i-t} \approx F_{r-t} = \pi \frac{D}{P} F_{t-i} = \pi \frac{D}{P} \frac{(1 - F_{t-t})}{2} = \frac{\pi}{2 B} (1 - F_{t-t}) \quad (7)$$

De esta forma, el valor del factor de visión F_{i-t} hallado analíticamente, nos permite calcular

$$F_{i-t} = \frac{\pi}{2 B} (1 - F_{t-t}) = \frac{\pi}{(2)(2,4)} (1 - 0,134656) = 0,566366$$

Este valor, en (14-27), nos da

$$\bar{F}_{i-t} = F_{i-t}(2 - F_{i-t}) = (0,5664)(2 - 0,5664) = 0,8120$$

y con (14-25),

$$\varepsilon_{\text{ef.}} \approx \frac{1}{\frac{1}{\bar{F}_{i-t}} + \frac{B}{\pi} \left(\frac{1}{\varepsilon_t} - 1 \right)} \approx \frac{1}{\frac{1}{0,8120} + \frac{2,4}{\pi} \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right)} = 0,703$$

ligeramente mayor (1%) que el valor, también para longitud infinita, dado por la referencia original. Veamos ahora cual es el valor obtenido numéricamente por este procedimiento para la longitud real del haz. La ventana de datos es la misma de la figura 3 sustituyendo el valor de 1.500 para Z por 72 y el del número de vértices por 37. Ejecutando la aplicación con los nuevos datos obtenemos $F_{1-2} = F_{2-1} = F_{t-t} = 0,1216418$ que nos da

$$F_{i-t} = \frac{\pi}{(2)(2,4)} (1 - 0,1216418) = 0,5748841$$

y

$$\bar{F}_{i-t} = (0,5746417)(2 - 0,5748841) = 0,8192765$$

Finalmente

$$\varepsilon_{\text{ef.}} \approx \frac{1}{\frac{1}{\bar{F}_{i-t}} + \frac{B}{\pi} \left(\frac{1}{\varepsilon_t} - 1 \right)} \approx \frac{1}{\frac{1}{0,8193} + \frac{2,4}{\pi} \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right)} = 0,7084$$

que es el resultado numérico correcto y que sustituye al de 0,7 hallado en el ejemplo 14.2.

Vemos pues, que para el cálculo de la emitancia, por el efecto extremo, el método analítico es ligeramente conservador mientras que el numérico da valores por exceso.

A partir del cuadro del apartado (c, que mostraba el efecto de la longitud sobre el factor de visión de los tubos entre sí, con ayuda de la fórmula (7) de este ejemplo y de la (14-29) del texto podemos preparar el cuadro siguiente:

Número de caras laterales	Longitud del haz, Z	$\varepsilon_{\text{ef.}}$
37	72 (real)	0,7084
37	120	0,7065
37	600	0,7042
37	1.500	0,7036
∞	∞	0,70295

que corrobora la afirmación anterior.

Nótese que este cálculo indirecto obvia la acumulación de errores numéricos para longitudes cortas, que comporta la configuración de la figura 1c del ejemplo anterior, por lo que el valor de la emitancia ahora obtenido corresponde al resultado correcto con nuestro modelo, pero que, debido a la indefinición de la radiación en los extremos, no es la solución físicamente exacta, tengámoslo presente. Así pues, proponemos el valor de $0,706 \approx (0,703 + 0,7084)/2$, utilizado en el ejemplo 14.2.

Solución Ejemplo 14.4:

a) El cálculo para dos filas se efectúa en dos fases, partiendo de que el factor de visión del plano i al haz t , es la suma de los factores de visión a cada una de las filas por separado. Así lo recoge la tabla C-7 del catálogo de factores de visión de Howell,⁴ que corresponde a nuestro caso. Para un diámetro $D = 48$ mm y un paso $P = 120$ mm, indicados en el enunciado, $B = 2,5$ y, con tubos de longitud infinita, los valores del catálogo son:

$$F_{i-t1} = 0,5472$$

y

$$F_{i-t2} = 0,2140$$

osea

$$F_{i-t} = F_{i-t1} + F_{i-t2} = 0,5472 + 0,2140 = 0,7612$$

que da

$$F_{i-t} = F_{i-t}(2 - F_{i-t}) = (0,7612)(2 - 0,7612) = 0,9430$$

que se corresponde con el valor obtenido para esta configuración en la figura 10.51, curva 6, del Perry⁵. Las secciones transversales de tres cilindros paralelos, que forman el módulo del haz, se muestran en la figura 1.

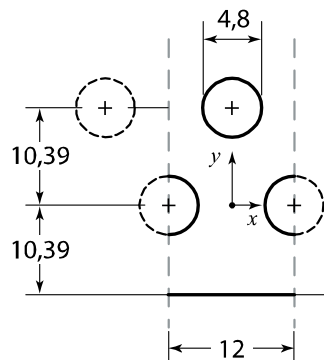


Figura 1 ejemplo 14.4. Módulo del haz infinitamente largo de dos filas al tresbolillo para la determinación del factor de visión entre la pared y los tres cilindros (tubos) paralelos formando parte del mismo.

De nuevo, debido a que la superficie de los tubos es convexa y a la simetría del sistema, basta calcular el factor de visión del rectángulo de refractario definido por las proyecciones de dos tubos contiguos y la longitud del haz (módulo de la figura 1) y dos hemis cilindros correspondientes a los mismos. Sin embargo, el cálculo se debe realizar con dos configuraciones, debido a que la aplicación sólo permite, de forma sencilla, trabajar con prismas cilíndricos completos, no medios cilindros, como los indicados en la figura y, por tanto, se tiene que “ocultar” la superficie que supere la mitad de la total. La configuración real de los tubos es la de la figura 1, pero con el método de cálculo de la aplicación, sólo da resultados correctos para el cilindro más alejado de la pared, pues la superficie de los dos cilindros más cercanos incluida en el alcance del cálculo supera la mitad de la total de cada cilindro. Para evitar esto, la configuración para el cálculo de los factores de visión de la pared a éstos, ha de ser la de la figura 2⁶, pero ésta no permite al más alejado recibir la misma radiación que con la de la figura 1, la real. El dilema se resuelve efectuando el cálculo en dos etapas, como ya sugiere la presentación de los valores en la referencia. Una con la

⁴Howell, John R.: *Catalog of Radiation Configuration Factors*, Mc Graw Hill, New York, 1982, caso C-7, p. 93.

⁵*Manual del Ingeniero Químico*, (7ª edición, cuarta en español) Mc GraW-Hill, Madrid 2001, Volumen I, p. 10-41.

⁶Que corresponde a la de la figura 1c del ejemplo 14.2.

configuración de la figura 1, que nos da el factor de visión enter la pared y los tubos más alejados, y otra con la configuración de la figura 2, que nos da el de la pared con los tubos más próximos. Así, el factor de visión del plano i al haz t es la suma de los factores de visión a cada una de las filas.

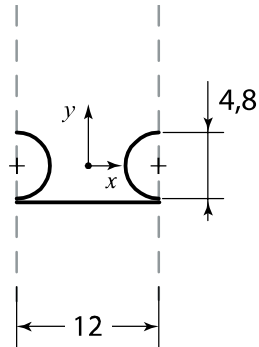


Figura 2 ejemplo 14.4. Configuración para el cálculo del factor de visión de una pared a dos cilindros paralelos inmediatos a ella, todos ellos infinitamente largos.

Plantearémos el problema con prismas de 37 lados y 600 in. de longitud, ésta suficientemente grande sin forzar la división en triángulos. Para la configuración de la figura 1 tendremos los datos de la figura 3 y los resultados de la 4.

```
[Superficie 1]
Tipo=prisma exterior
Número de vértices base=37
Radio base=2.4
Angulo base=0
Centro base superior Z=600
Posición X=6
```

```
[Superficie 2]
Tipo=prisma exterior
Número de vértices base=37
Radio base=2.4
Angulo base=0
Centro base superior Z=600
Posición X=-6
```

```
[Superficie 3]
Tipo=prisma exterior
Número de vértices base=37
Radio base=2.4
Angulo base=0
Centro base superior Z=600
Posición Y=10.392305
```

```
[Superficie 0]
Tipo=poliedro
Vértice X_1=6
Vértice Y_1=-10.392305
Vértice Z_1=0
```

```
Vértice X_2=-6
Vértice Y_2=-10.392305
Vértice Z_2=0
```

```
Vértice X_3=-6
Vértice Y_3=-10.392305
Vértice Z_3=600
```

```
Vértice X_4=6
```

Vértice Y_4=-10.392305
Vértice Z_4=600

Cara_11=1
Cara_12=2
Cara_13=3
Cara_14=4

Figura 3 ejemplo 14.4. Ventana de datos para calcular el factor de visión de la pared a la segunda fila de tubos.

Identificación= Ejemplo 14.4

.
. .
Número máximo de evaluaciones=1000
Número máximo de triángulos=500
. .

RESULTADOS: Z=600; D=4.8; L=600; 1000/500

F0-1=3.276674e-01	Error=5.727715e-05	Tolerancia indicada excesivamente pequeña
F1-0=2.610630e-01	Error=4.563452e-05	Tolerancia indicada excesivamente pequeña
F0-2=3.274838e-01	Error=5.773546e-05	Tolerancia indicada excesivamente pequeña
F2-0=2.609167e-01	Error=4.599967e-05	Tolerancia indicada excesivamente pequeña
F0-3=2.167106e-01	Error=5.299877e-05	Tolerancia indicada excesivamente pequeña
F3-0=1.726602e-01	Error=4.222580e-05	Tolerancia indicada excesivamente pequeña

Figura 4 ejemplo 14.4. Resultados para el factor de visión de la pared a la segunda fila de tubos.

Para la configuración de la figura 2, basta cambiar los datos para la superficie 0, pasando a ser los de la figura 5, y eliminar la superficie 3, aunque esto no es preciso.

[Superficie 0]
Tipo=poliedro
Vértice X_1=6
Vértice Y_1=-2.400
Vértice Z_1=0

Vértice X_2=-6
Vértice Y_2=-2.400
Vértice Z_2=0

Vértice X_3=-6
Vértice Y_3=-2.400
Vértice Z_3=600

Vértice X_4=6
Vértice Y_4=-2.400
Vértice Z_4=600

Cara_11=1
Cara_12=2
Cara_13=3
Cara_14=4

Figura 5.

y los resultados obtenidos se muestran en la figura 6.

RESULTADOS :

F0-1=2.738496e-01	Error=1.795169e-04	Tolerancia indicada excesivamente pequeña
F1-0=2.181846e-01	Error=1.430268e-04	Tolerancia indicada excesivamente pequeña
F0-2=2.737953e-01	Error=2.617612e-04	Tolerancia indicada excesivamente pequeña
F2-0=2.181414e-01	Error=2.085535e-04	Tolerancia indicada excesivamente pequeña

Figura 6.

Con estos resultados obtenemos

$$F_{i-t} = F_{0-1} + F_{0-2} + F_{0-3} = 0,2738496 + 0,2737953 + 0,2167106 = 0,764356$$

frente al valor del catálogo de 0,7612.

b) Respecto al caso anterior varía tan solo el diámetro de los tubos, que pasa a ser de 5 in. Los resultados obtenidos son⁷:

$$\begin{aligned} F_{0-1} &= 0,2835648 \\ F_{0-2} &= 0,2835869 \\ F_{0-3} &= 0,2257580 \end{aligned}$$

de modo que

$$F_{i-t} = F_{0-1} + F_{0-2} + F_{0-3} = 0,2835648 + 0,2835869 + 0,2257580 = 0,792910$$

Con el valor aquí obtenido, (14-27) nos da

$$\bar{F}_{i-t} = F_{i-t}(2 - F_{i-t}) = (0,792910)(2 - 0,792910) = 0,951147$$

y (14-26),

$$\varepsilon_{cf.} \approx \frac{1}{\frac{1}{\bar{F}_{i-t}} + \frac{B}{\pi} \left(\frac{1}{\varepsilon_t} - 1 \right)} \approx \frac{1}{\frac{1}{0,9511} + \frac{2,4}{2\pi} \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right)} = 0,872$$

el 24% mayor que el valor correspondiente a una única fila (0,703) obtenido en el ejemplo 14.2.

⁷Compárese el valor de $F_{i-t} = F_{0-1} + F_{0-2} = 0,56715$ aquí hallado con el de 0,56637, correspondiente a una longitud infinita, obtenido en el ejemplo 14.3

Solución Ejemplo 14.5:

Las presiones parciales de los gases participantes son

$$P_{CO_2} = (0,06)(1,01325) = 0,060795 \text{ bar y } P_{H_2O} = 0,111458 \text{ bar.}$$

Como en el haz de tubos la separación es igual a $8 - 4 = 4$ in., de acuerdo con el caso n° 23 de la tabla 14.1, la longitud media del rayo, L_m , es igual a

$$(2,8)(4)(0,0254) = 0,2845 \text{ m}$$

La ventana de datos correspondiente al enunciado se muestra en la figura 1

Opción = Gases de combustión
Temperatura gas = 964
Temperatura superficie = 686
Presión parcial H2O = 0.11146
Presión parcial CO2 = 0.06080
Parámetro L = 0.2845

Ejemplo 14.5, figura 1.

y los consiguientes resultados en la 2:

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical HOTTEL

Datos de entrada:

Opción de cálculo: emitancias y absorbancias de combustión

p (H2O)	p (CO2)	L (m)	Tsup (K)	Tgas (K)
0.111	0.061	0.2845	686.000	964.000

Resolución mediante las fórmulas de Hottel y Sarofim:

Emitancia del gas = 0.1406

Absorbancia del gas = 0.1979

Ejemplo 14.5 Figura 2

Los resultados del ejemplo original son 0,141 y 0,206, respectivamente (la máxima precisión esperable es de dos decimales).

Resuelto por las fórmulas correspondientes a los gráficos de Hottel, opción *emitancias y absorbancias puras* en la aplicación, tenemos que el gas está a una temperatura superior a 750 K y la superficie a una inferior a 700 K. Por ello utilizaremos la aplicación dos veces, indicando una variable temperatura de 1.000 para el cálculo de la emitancia y una de 500 para el de la absorbancia. Así:

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical Emitancias

Datos de entrada:

Opción de cálculo: emitancias y absorbancias puras

Temperatura (K)	Presión (bar)	p (H2O)	p (CO2)	L (m)	Tsup (K)	Tgas (K)
-----------------	---------------	---------	---------	-------	----------	----------

1000.000 1.013 0.111 0.061 0.2845 686.000 964.000

Resolución mediante las fórmulas de Leckner:

Emitancia del vapor de agua = 0.078
Emitancia del dióxido de carbono = 0.0659

Incremento de emitancia total = 0.0030

Emitancia total = 0.1413

Absorbancia total = 0.1412

Ejemplo 14.5 Figura 3

Valor coincidente con la referencia.

Para la absorbancia tendremos la figura 4,

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical Emitancias

Datos de entrada:

Opción de cálculo: emitancias y absorbancias puras

Temperatura(K)	Presión(bar)	p(H2O)	p(CO2)	L(m)	Tsup(K)	Tgas(K)
500.000	1.013	0.111	0.061	0.2845	686.000	964.000

Resolución mediante las fórmulas de Leckner:

Emitancia del vapor de agua = 0.122
Emitancia del dióxido de carbono = 0.0568

Incremento de emitancia total = 0.0030

Emitancia total = 0.1759

Absorbancia total = 0.1797

Ejemplo 14.5 Figura 4

con una diferencia del 10,9%.

Solución Ejemplo 14.6:

La referencia original da la composición del gas a 3 atmósferas (10% CO₂, 10% H₂O y el resto nitrógeno) y el parámetro L (longitud media del rayo) igual a 0,34 m.

Con la opción *Individuales* se obtiene, para una presión de 3,03975 bar, los valores de la figura 1

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical Emitancias

Datos de entrada:

Opción de cálculo: emitancias y absorbancias puras

Temperatura (K)	Presión (bar)	p (H2O)	p (CO2)	L (m)	Tsup (K)	Tgas (K)
1000.000	3.040	0.304	0.304	0.3400	800.000	1600.000

Resolución mediante las fórmulas de Leckner:

Emitancia del vapor de agua = 0.203

Emitancia del dióxido de carbono = 0.1156

Incremento de emitancia total = 0.0174

Emitancia total = 0.3017

Absorbancia total = 0.3173

Figura 1 ejemplo 14.6

valores que difieren de los de la referencia original ($\epsilon_g = 0,194$ y $\alpha_g = 0,353$) por tratarse de una correlación distinta⁸. Usaremos los datos del enunciado original con la aplicación GRISCONGAS, considerando un recinto de una única superficie con emitancia igual a 1. Así obtenemos la ventana de resultados de la figura 2.

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Datos iniciales:

Emitancia del gas= 0.194

Temperatura del gas= 1600.000 K

Superficie	Area (m2)	Emitancia	Absor. gas	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1,000000	1,000	0,353	800,000	

Matriz de factores de visión:

Superficie	1	Suma
1	1,000000	1,000000

Resultados:

Superficie	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	800,000	6,3888e+04

Suma de las potencias= 6.3888e+04 W

Potencia del gas= 6.7582e+04 W

Figura 2 ejemplo 14.6.

El flujo de potencia radiante absorbido por las paredes es de 63,9 kW/m², coincidente con el hallado en la referencia.

⁸El original utiliza la de Ewards, D.K. y Matavosian, R., "Scaling rules for total absorptivity and emissivity of gases", *J. Heat Transfer*, Vol. 106 (1984), pp. 684-689.

Solución Ejemplo 14.7:

En equilibrio el gas emite lo mismo que absorbe y la potencia emergente de la superficie más caliente es la misma que absorbe la más fría. Por lo tanto, para hallar dicha potencia, hay que tantear, con ayuda de la aplicación GRISCONGAS, la temperatura del gas hasta que las potencias de las dos superficies sean iguales y de signo contrario, de forma que el gas no absorba nada.

La primera iteración la podemos efectuar suponiendo que la temperatura del gas es la media aritmética de las temperaturas de las dos superficies. Así obtenemos los resultados mostrados en la figura 1, donde veamos que el gas absorbe una cantidad apreciable de energía. Aumentandola temperatura y con varias iteraciones, llegamos a los resultados de la figura 2, que podemos dar por buenos.

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical recinto gris con gas. Ejemplo 14.7

Datos iniciales:

Emitancia del gas= 0.400
Temperatura del gas= 1000.000 K

Superficie	Area (m2)	Emitancia	Absor. gas	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1,000000	0,800	0,400	1200,000	
2	1,000000	0,700	0,400	800,000	

Matriz de factores de visión:

Superficie	1	2	Suma
1	0,000000	1,000000	1,000000
2	1,000000	0,000000	1,000000

Resultados:

Superficie	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1200,000	-5,5894e+04
2	800,000	4,3131e+04

Suma de las potencias= -1.2763e+04 W

Potencia del gas= -1.2763e+04 W

Figura 1 ejemplo 14.7.

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical recinto gris con gas. Ejemplo 14.7

Datos iniciales:

Emitancia del gas= 0.400
Temperatura del gas= 1071.600 K

Superficie	Area (m2)	Emitancia	Absor. gas	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1,000000	0,800	0,400	1200,000	
2	1,000000	0,700	0,400	800,000	

Matriz de factores de visión:

Superficie	1	2	Suma
1	0,000000	1,000000	1,000000
2	1,000000	0,000000	1,000000

Resultados:

Superficie	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1200,000	-4,8921e+04
2	800,000	4,8922e+04

Suma de las potencias= 6.7500e-01 W
Potencia del gas= **6.7500e-01 W**

Figura 2 ejemplo 14.7.

Es decir, el flujo neto de calor radiante entre las dos superficies es de 48,92 W/m², coincidente con el que da la referencia.

Si no estuviese el gas interpuesto la transferencia sería mayor. Para comprobarlo podríamos utilizar la aplicación DOSSUPERFICIES, pero bastará suponer en la GRISCONGAS, la emitancia y la absorbancia del gas nulas, siendo indiferente su temperatura. Así obtenemos el resultado de la figura 3.

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical recinto gris con gas

Datos iniciales:

Emitancia del gas= 0.000
Temperatura del gas= 1000.000 K

Superficie	Area (m2)	Emitancia	Absor. gas	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1,000000	0,800	0,000	1200,000	
2	1,000000	0,700	0,000	800,000	

Matriz de factores de visión:

Superficie	1	2	Suma
1	0,000000	1,000000	1,000000
2	1,000000	0,000000	1,000000

Resultados:

Superficie	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1200,000	-5,6208e+04
2	800,000	5,6208e+04

Suma de las potencias= -3.6380e-11 W
Potencia del gas= **0.0000e+00 W**

Figura 3 ejemplo 14.7.

Vemos que la disminución debida a la presencia del gas es de 56,21 - 48,92 = 7,29 W/m². En la referencia original el resultado obtenido es el mismo.

Solución ejemplo 14.8:

El problema planteado queda definido por las relaciones (14-32), (2-147), (14-33), $\epsilon = \epsilon(T_g)$; $\alpha(T_g, T_i)$ con las que se han establecido las aplicaciones HOTTEL y GRISCONGAS, pero fijados solamente $q_1 = 0$; $q_3 = 118.100 \text{ W}$ y $T_3 = 922 \text{ K}$, no tenemos los datos adecuados para obtener de forma directa T_1 y T_2 .

Por ello, la solución se ha de hallar por tanteo suponiendo las temperaturas del gas y de la superficie calefactora (tubos). Para mantener la temperatura (922 K) y la potencia (118,1 kW) absorbida por la carga, supondremos que la superficie calefactora cede calor a la carga y al gas, el cual, a su vez, también calienta a la carga, de modo que, en estado estacionario, el calor absorbido por el gas es igual a la diferencia entre el que abandona los tubos y el que estos ceden a la carga. Así, para el tanteo, partiremos de las temperaturas supuestas, coherentes con lo que acabamos de exponer, siguientes: $T_2 = 1.200 \text{ K}$ y $T_g = 1.020 \text{ K}$.

Las propiedades del gas necesarias las calcularemos con la aplicación HOTTEL, con la opción de propiedades de gases de combustión, dado que el gas está aproximadamente a la presión atmosférica. De acuerdo con (14-51) tendremos

$$L_m = \frac{3,85 V}{A} = \frac{(3,85)(480)}{376} = 4,9149 \text{ ft.} = 1,49806 \text{ m}$$

y

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical HOTTEL. Sup. 1

Datos de entrada:

Opción de cálculo: emitancias y absorbanCIAS de combustión

p (H2O)	p (CO2)	L (m)	Tsup (K)	Tgas (K)
0.000	0.250	1.4981	1100.000	1020.000

Resolución mediante las fórmulas de Hottel y Sarofim:

Emitancia del gas = 0.1512

Absorbancia del gas = 0.1362

Figura 2 ejemplo 14.8.

Análogamente para la superficie 2 a 1.200 K,

Emitancia del gas = 0.1512

Absorbancia del gas = 0.1220

y para la 3 a 922 K,

Emitancia del gas = 0.1512

Absorbancia del gas = 0.1693

Con estos valores efectuamos el primer cálculo de temperaturas y potencias del recinto.

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical recinto gris con gas. Ej. 14.8

Datos iniciales:

Emitancia del gas= 0.151

Temperatura del gas= 1020.000 K

Superficie	Area (m2)	Emitancia	Absor. gas	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	19,138000	0,800	0,136		0,0000e+00
2	11,148400	0,706	0,122	1200,000	
3	4,645200	0,900	0,169	922,000	

Matriz de factores de visión:

Superficie	1	2	3	Suma
1	0,446300	0,392500	0,161300	1,000100
2	0,673789	0,186400	0,139800	0,999989
3	0,664548	0,335518	0,000000	1,000066

Resultados:

Superficie	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1106,891	0,0000e+00
2	1200,000	-2,8270e+05
3	922,000	2,0356e+05

Suma de las potencias= **-7.9145e+04 W**
Potencia del gas= **-1.3472e+05 W**

Figura 3 ejemplo 14.8.

Hay que modificar los datos para que la potencia absorbida por la carga se reduzca y que se equilibre la potencia que recibe el gas de los tubos, con la que cede a la carga. Sin alterar la emitancia bajaremos la temperatura de los tubos, a 1.199 K, por ejemplo, y a continuación la del gas, de 10 en 10°, por ejemplo. Así llegamos a los resultados de la figura 4, suficientemente aproximados para establecer unas propiedades constantes del gas.

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical recinto gris con gas. Ej. 14.8

Datos iniciales:

Emitancia del gas= 0.151
Temperatura del gas= 997.000 K

Superficie	Area (m2)	Emitancia	Absor. gas	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	19,138000	0,800	0,136		0,0000e+00
2	11,148400	0,706	0,122	1096,000	
3	4,645200	0,900	0,169	922,000	

Matriz de factores de visión:

Superficie	1	2	3	Suma
1	0,446300	0,392500	0,161300	1,000100
2	0,673789	0,186400	0,139800	0,999989
3	0,664548	0,335518	0,000000	1,000066

Resultados:

Superficie	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1040,312	0,0000e+00
2	1096,000	-1,3407e+05
3	922,000	1,1808e+05

Suma de las potencias= **-1.5991e+04 W**
Potencia del gas= **-5.6506e+04 W**

Figura 4 ejemplo 14.8.

Con las temperaturas de la figura 4 tendremos

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical Emitancias. Superficie 1

Datos de entrada:

Opción de cálculo: emitancias y absorbancias de combustión

p (H2O)	p (CO2)	L (m)	Tsup (K)	Tgas (K)
0.000	0.250	1.4981	1040.300	997.000

Resolución mediante las fórmulas de Hottel y Sarofim:

Emitancia del gas = 0.1527

Absorbancia del gas = 0.1451

Figura 5 ejemplo 14.8.

Para la superficie 2, a 1096 K, obtenemos:

Emitancia del gas = 0.1527

Absorbancia del gas = 0.1360

y para la superficie 3, a 922 K,

Emitancia del gas = 0.1527

Absorbancia del gas = 0.1682

Tomaremos como valores definitivos $\epsilon_g = 0,15$; $\alpha_1 = 0,145$; $\alpha_2 = 0,14$ y $\alpha_3 = 0,17$, que consideraremos constantes en el rango de temperaturas establecido. Así tendremos, después de varias aproximaciones sucesivas, los resultados de la figura 6, donde la potencia absorbida por la carga es de 118,18 kW y, aproximadamente, el gas absorbe el mismo calor que suministra a la carga

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical recinto gris con gas. Ejemplo 14.8

Datos iniciales:

Emitancia del gas= 0.150

Temperatura del gas= 1002.000 K

Superficie	Area (m2)	Emitancia	Absor. gas	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	19,138000	0,800	0,145		0,0000e+00
2	11,148400	0,706	0,140	1107,000	
3	4,645200	0,900	0,170	922,000	

Matriz de factores de visión:

Superficie	1	2	3	Suma
1	0,446300	0,392500	0,161300	1,000100
2	0,673789	0,186400	0,139800	0,999989
3	0,664548	0,335518	0,000000	1,000066

Resultados:

Superficie	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1040,805	0,0000e+00
2	1107,000	-1,6117e+05
3	922,000	1,1805e+05

Suma de las potencias= -4.3120e+04 W
Potencia del gas= -5.4369e+04 W

Figura 6 ejemplo 14.8.

Damos pues, como resultado, que la temperatura a la que se han de mantener los tubos es mayor cuando el gas es participante, como ya vimos en el ejemplo 14.7, y que, en este caso, un valor de la diferencia de temperaturas aceptablemente aproximado es 20° (según el cálculo $1.107 - 1.089 = 18$ K).

Solución Ejemplo 14.9:

Las operaciones para efectuar el balance de masa de la combustión, a efectuar con hoja de cálculo, se puede estructurar en 4 hojas o tablas como las que siguen (véase apéndice Q).

1. Cálculo de oxígeno estequiométrico necesario, a partir de la composición total del combustible.

	Componente	Composición, molar	Productos	kmol/h	kmol O ₂ /h
Oxidables	C	8	CO ₂	8	8
	H	18	H ₂ O	9	4,5
	S	0	SO ₂		
	O	0	O ₂		
	N	0	N ₂		0
	Total				
No oxidables	Humedad	0	H ₂ O		0
	Cenizas	0	Cenizas	-----	0
Total				kmol O ₂ /h	12,5

2. Cálculo de los gases no quemados y consumo de aire. El aire está seco.

	kmol/h	exceso aire	Consumo	Total (kmol/h)
O ₂	12,5	(0,5)(12,5)	-12,5	6,25
N ₂ = O ₂ 0,7905/0,2095	47,166	(0,5)(47,166)	0	70,749
H ₂ O = (O ₂ + N ₂) H _r P _s / (1 - H _r P _s)	0		0	0

3. Cálculo de los gases producidos por la oxidación del combustible.

	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	Total, kmol/h
C	8				8
H		9			9
Humedad		0			0
Cenizas					0
Total	8	9	6,25	70,749	94

4. Finalmente hemos de establecer la composición molar de los humos, que nos da las presiones parciales de los componentes, necesarias para calcular la emitancia y absorbancia de los humos.

	kmol/h	% en volumen
CO ₂	8	8,51
H ₂ O (combustión + humedad comb. + humedad aire)	9 + 0	9,57
O ₂	6,25	
N ₂	70,749	
Total	94	100

Con datos originales (presión total 1,2 atm.), las presiones parciales son:

$$P_{\text{CO}_2} = (0,0851)(1,2)(1,01325) = 0,1035 \text{ bar} \text{ y } P_{\text{H}_2\text{O}} = 0,1164 \text{ bar.}$$

Según la tabla 14.1, caso nº 2, $L_m = D = 0,25 \text{ ft.} = 0,0762 \text{ m.}$

Así tenemos (Aplicación HOTTEL) que, si despreciamos el efecto de la presión (20% de más), podemos aplicar las fórmulas simplificadas para gases de combustión.

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical Emitancias (HOTTEL). Ej. 14.9

Datos de entrada:

Opción de cálculo: emitancias y absorbancias de combustión

p (H2O)	p (CO2)	L (m)	Tsup (K)	Tgas (K)
0.116	0.103	0.0762	505.600	1366.700

Resolución mediante las fórmulas de Hottel y Sarofim:

Emitancia del gas = 0.0511

Absorbancia del gas = 0.1433

Figura 1 ejemplo 14.9.

frente a 0,0564 y 0,1013, respectivamente, en la referencia original

Con nuestros valores obtenemos

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical recinto gris con gas. Ej. 14.9

Datos iniciales:

Emitancia del gas= 0.051
Temperatura del gas= 1366.700 K

Superficie	Area (m2)	Emitancia	Absor. gas	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1,000000	1,000	0,143	505,600	

Matriz de factores de visión:

Superficie	1	Suma
1	1,000000	1,000000

Resultados:

Superficie	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	505,600	9,5776e+03

Suma de las potencias= 9.5776e+03 W
 Potencia del gas= **9.9193e+03 W**

Figura 2 ejemplo 14.9.

La potencia ganada por la pared discrepa apreciablemente de la correspondiente perdida por el gas, cuando en estado estacionario deberían iguales, el que no lo sean cabe atribuirlo a la poca precisión de los valores de la emitancia y la absorbancia del gas empleados.

En cuanto a la potencia transferida, la referencia original da 10,88 kW, frente a 0,5(9,578 + 9,919 = 9,748 kW), o sea una diferencia, en más, del 11,16%.

Con las propiedades del gas de la referencia original obtenemos:

TRANSFERENCIA DE CALOR TÉCNICA - B. SIGALÉS

Logical recinto gris con gas. Ej. 14.9

Datos iniciales:

Emitancia del gas= 0.056
 Temperatura del gas= 1366.700 K

Superficie	Area (m2)	Emitancia	Absor. gas	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	1,000000	1,000	0,101	505,600	

Matriz de factores de visión:

Superficie	1	Suma
1	1,000000	1,000000

Resultados:

Superficie	Temperatura (K)	Potencia (W)
1	505,600	1,0782e+04

Suma de las potencias= 1.0782e+04 W
 Potencia del gas= **1.0948e+04 W**

Figura 3 ejemplo 14.9.

Vemos que las potencias transferidas en la pared y por el gas son prácticamente iguales (1.53% de discrepancia) a las originales, indicando la bondad de los valores originales de las propiedades del gas, superior a los aquí calculados. Asimismo, la diferencia de la potencia suministrada con el valor original es mínima [0,5(10,78 + 10,95) = 10,865 kW frente a 10,88 kW].