

## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

1. ARIKETA	MAIATZA 24 2016	50 min.
------------	-----------------	---------

Etxebizitza- eraikin baten fatxadaren portaera termikoa aztertzea nahi da. Fatxada honek, 45 [m]- tako altuera eta 18 [m]- tako zabalera dauka. Leihoen azalera oso txikia da fatxadaren azalera totalarekiko konparatuz. Hala, kontsideratuko da fatxadak ez daukala leihorik eta azterketa termikoa, 5 geruzaz osatua dagoen fatxadaren sekziara mugatuko da. Fatxadaren kanpoaldetik hasita etxebizitzaren barrukalderainoko ordena jarraituz, hurrengoak dira:

1. **Geruza.** Adreilu arrunta: 11,5 [cm]- tako sendoera eta 1,3 [W/mK]- tako eroankortasun termikoa.
2. **Geruza.** Zementua: 1 [cm]- tako sendoera eta 1,4 [W/mK]- tako eroankortasun termikoa.
3. **Geruza.** Aire: 2 [cm]- tako sendoera eta 0,026 [W/mK]- tako eroankortasun termikoa.
4. **Geruza.** Adreilu hutsa: 4 [cm]- tako sendoera eta 0,72 [W/mK]- tako eroankortasun termikoa.
5. **Geruza.** Igeltsua: 1,5 [cm]- tako sendoera eta 1,81 [W/mK]- tako eroankortasun termikoa.

Azterketa egiteko, eguzkitiko irradiazioa 30 [W/m<sup>2</sup>]- takoa den une bat kontsideratzen da. Momentu honetan, etxebizitzetako paretetan neurtzen den batzbesteko tenperatura 18 [°C]- takoa delarik.

**Oharra:** Suposatu fatxadaren kanpo tenperatura, etxebizitzetako paretetan neurtzen dena baino altuagoa dela.

Kalkulatu:

- 1) Deskribatutako momentuan, eroapen bidezko bero transferentziaren abiadura [W]- tan, kontuan izanik, adreilu arruntak eguzkitiko irradiazioaren %63- a absorbatzen duela. **(2PTO)**
- 2) Fatxadaren kanpo azaleran neurtzen den tenperatura. **(4,5PTO)**
- 3) Bero transferentziarako koefiziente globala. **(0,5PTO)**
- 4) Tenperatura banaketaren ekuazioaren adierazpen orokorra adreilu hutsezko geruzan. **(0,5PTO)**
- 5) Tenperatura banaketaren ekuazioaren adierazpen partikularra adreilu hutsezko geruzan. **(1,5PTO)**
- 6) Eroapena ez den beste mekanismoen bidez barreiatzen den potentzia. **(1PTO)**

## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

2. ARIKETA	MAIATZA 24 2016	60 min.
------------	-----------------	---------

Baldintza atmosferiko oso gogorretan erabiltzeko buzo bat, haize tunel batean frogatzen ari dira ospe haundiko erropa marka bateko teknikariak. Froga hurrengo baldintzetan gauzatzea nahi da:

- Buzoa eramango duen pertsona zutik aurkitzen da eta jasaten dituen haize boladak norabide zutean eragiten diote altuerarekiko.
- Airearen tenperatura 5 [°C]- tan finkatuko da eta haize korrontearen abiadura aldakorra izango da. Haizearen abiadura mespretxagarritik hasi eta 100 [km/h]-koa izan arte. Buzoaren kanpo azaleraren tenperatura 10 [°C]- tan mantentzen dela kontsideratuko da kasu guztietan.

Pertsona baten dimentsioi erreparatuz, gorputz zilindriko bat bezela modelatu daiteke. Bilutzik dagoen pertsona arrunt baten azaleraren kalkulurako hurrengo formula erabiliz:

$$\text{Azalera} = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot \text{altuera}^{0,725}$$

m eta altuera, persona ertain baten masa eta altuera direlarik hurrenez hurren. Kasu honen aplikaziorako, 70 [kg] eta 1,73 [m]- tako balioak hartzen dira.

Buzoa, hainbat geruzaz osatua dago, guztira 1,1 [cm]- tako sendoera hartzen duelarik. Kalkulatu:

- 1) Ereduaren altueraren balioa konstantea mantenduz. Ereduak, buzoa kontuan izanik izango duen kanpo azalera eta kanpo diametro baliokidearen neurria. **(2PTO)**
- 2) Haizeak 100 [km/h]- ko abiadura daukanerako taulan agertzen den zein irizpide jarraituko den justifikatu. **(3PTO)**

Konbekzio naturalaren eragina baztergarria	$\frac{Gr}{Re^2} < 0.1$
Konbekzio behartuaren eragina baztergarria	$\frac{Gr}{Re^2} > 10$
Bien eragina esanguratsua	$0.1 < \frac{Gr}{Re^2} < 10$

Demagun makurturik dagoen persona baten eredua aztertu nahi dela. Horrela, bere altuera 0,5 [m]- tan eta bere kanpo diametroa 0,6 [m]- tan finkatzen dira.

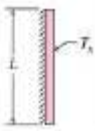


- 3) Kasu honetan azterketarako jarraituko den irizpidea justifikatu. **(1,5PTO)**
- 4) Soilik, konbekzio naturalari dagokion Nusselt zenbakiaren balioa. **(1,25PTO)**
- 5) 4 ataleko Nusselt zenbakiari dagokion batzbesteko konbekzio koefiziente eta bero transferentziaren abiadura. **(1,5PTO)**
- 6) Soilik, konbekzio behartuari, haizearen abiadura 100[km/h] - takoa denean, dagokion Nusselt zenbakiaren balioa. **(0,5PTO)**
- 7) Nusselt konbinatuaren balioa. **(0,25PTO)**

## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

**Airearen propietateak/ Propiedades del aire. Oharra/Nota: Beharrezkoa bada interpolatu. En caso necesario interpolar.**

$T$ [°C]	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ [J/kg · K]	$k$ [W/m · K]	$\alpha$ [m <sup>2</sup> /s]	$\mu$ [kg/m · s]	$\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	Pr [-]
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323

**Nusselt zenbaki adimentsionala kalkulatzeko konbekzio naturalaren kasurako korrelazioak/ Correlaciones para el cálculo del número adimensional Nusselt para el caso de convección natural. Oharra/Nota: Korrelazioak geruzaren batzbesteko temperaturan ebaluatzen dira. Las correlaciones se evalúan para una temperatura de película media.**

Geometria	Lc	Ra	Nu
Vertical plate 	L	$10^4 - 10^9$  $10^9 - 10^{13}$	$Nu = 0,59Ra^{1/4}$  $Nu = 0,1Ra^{1/3}$
Vertical cylinder 	L		Zilindro bertikal bat xafla lau bat bezela kontsideratu daiteke betetzen bada/ Un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical cuando $D \geq \frac{35L}{Gr^{1/4}}$
Horizontal cylinder 	D	$Ra \leq 10^{12}$	

**Nusselt zenbaki adimentsionala kalkulatzeko konbekzio behartuaren kasurako korrelazioa/ Correlación para el cálculo del número adimensional Nusselt para el caso de convección forzada. Oharra/Nota: Korrelazioa geruzaren batzbesteko temperaturan ebaluatzen da. La correlación se evalúa para una temperatura de película media.  $Lc=D$ .**

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62Re^{1/2}Pr^{1/3}}{\left[1 + (0.4/Pr)^{2/3}\right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5}$$

**Nusselt zenbaki adimentsional konbinatua/ Número adimensional Nusselt combinado**

$$Nu_{combined} = (Nu_{forced}^n + Nu_{natural}^n)^{1/n}; n = 3$$

## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

3. ARIKETA	MAIATZA 24 2016	60 min.
------------	-----------------	---------

Labe industrial bat flanak egosteko erabiltzen da. Bere geometria, bi xafla lau haundi eta paraleloz osatua bezela definitu daiteke, horizontalki kokatuak. Xafla bakoitzaren luzera eta sakonera 4 [m] eta 2 [m] direlarik hurrenez hurren.

Goikaldean dagoen xafla, altzairuzkoa da. Bere emisibitatea, 0,9-koa da eta egoera egonkorrean neurtzen den tenperatura azalera guztian  $300[^\circ\text{C}]$ -takoa da. Azpikaldean dagoen xaflan, flanak kokatzen dira xaflaren azalera guztia betez. Flanek osatzen duten azalaren emisibitatea 0,7-koa dela estimatzen da eta egoera egonkorrean neurtzen den tenperatura azalera guztian  $200[^\circ\text{C}]$ -takoa. **Oharra:** Kontsideratuko da bi azalera itxitura bat osatzen dutela. Kalkulatu:

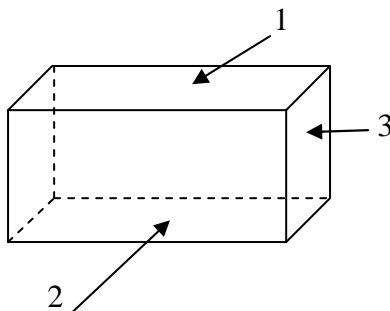
- 1) Deskribatutako bi azalaren arteko ikuspen faktoreak **(0,25PTO)**
- 2) Bi azalaren arteko erradiazio bidezko bero transferentziaren abiadura [W]-tan **(4PTO)**

Deskribatutako egoeran flanek jasaten duten egoste prozesua azkarregi gertatzen dela konprobatu da produktuaren kalitatea murriztuz. Arazo honi irtenbidea topatu nahian, flanek azalera erradiazioaren efektuetaz babesteko, aluminiozko paper bat jartzea erabakitzen da babesgarri gisa bi azalaren artean. Aluminio paperaren bi aurpegi erradiazioarekiko propietateak berdinak dira, gorputz opaku bat izanik eta isladapena 0,94-tan estimatzen delarik. Kalkulatu:

- 3) Aluminio paperaren emisibitatea. **(1PTO)**
- 4) Egoera berrian neurtzen den bero transferentziaren abiadura bi xaflen artean. **(0,25PTO).**

Demagun bi xaflen arteko distantzia 1,2 [m]-takoa dela, irudian ikus daitekeen bezela. Kontuan izanik, 1 eta 2 azalaren emisibitate eta tenperaturak balioak lehenengo parrafoan emandakoak direla eta 3 azalera, gorputz berrerradiatzaile baten portamoldea daukala. **Oharra:** 3 azalera 1 eta 2 azalaren arteko itxitura osatzen du. Kalkulatu:

- 5) Ikuspen faktoreak. **(2PTO)**
- 6) Erradiositateak azalera guztietan. **(1,25PTO)**
- 7) 2 azalaren neurtzen den bero transferentzia abiadura netoa. **(1,25PTO)**

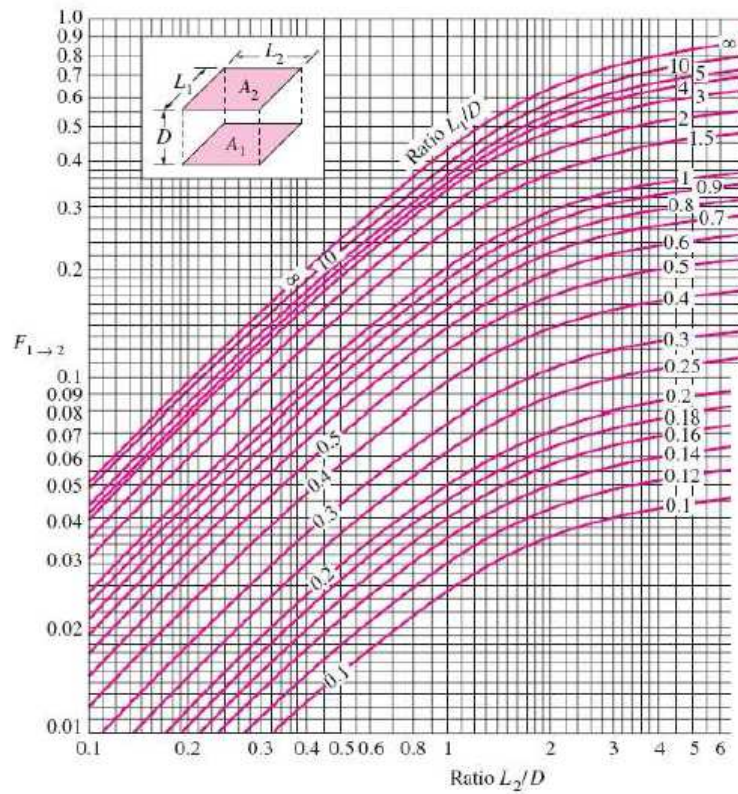


## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

**Erradiazio babesgarriak/Blindajes contra la radiación:**

$$\dot{Q}_{12,one\ shield} = \frac{E_{b1} - E_{b2}}{\frac{1 - \varepsilon_1}{A\varepsilon_1} + \frac{1}{AF_{13}} + \frac{1 - \varepsilon_3}{A\varepsilon_3} + \frac{1}{AF_{32}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{A\varepsilon_2}}$$

**Ikuspen faktorea/Factor de forma:**



## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

<b>EJERCICIO 1</b>	<b>24 MAYO 2016</b>	<b>50 min.</b>
--------------------	---------------------	----------------

Se quiere estudiar el comportamiento térmico de una fachada en un edificio de viviendas. Dicha fachada tiene una altura de 45 [m] y una anchura de 18 [m]. La superficie que ocupan las ventanas es muy pequeña comparada con la superficie total. Así, se considera que la fachada no tiene ventanas y el estudio se realiza en base a una sección de fachada constituida por 5 capas. Partiendo de la superficie exterior de la fachada hasta el interior de las viviendas, el orden de distribución de las capas es el siguiente:

**1ª Capa.** Ladrillo común: espesor de 11,5 [cm] y conductividad térmica de 1,3 [W/mK].

**2ª Capa.** Cemento: espesor de 1 [cm] y conductividad térmica de 1,4 [W/mK].

**3ª Capa.** Aire: espesor de 2 [cm] y conductividad térmica de 0,026 [W/mK].

**4ª Capa.** Ladrillo hueco: espesor de 4 [cm] y conductividad térmica de 0,72 [W/mK].

**5ª Capa.** Yeso: espesor de 1,5 [cm] y conductividad térmica de 1,81 [W/mK].

Para el estudio, se considera un instante donde la irradiación solar es de 30 [W/m<sup>2</sup>]. En ese momento, la temperatura media que se mide en las paredes de las viviendas es de 18 [°C].

**Nota:** Suponer que la temperatura medida en la parte externa de la fachada es superior a la que se mide en las paredes de las viviendas.

Calcular:

- 1) Para el instante descrito, velocidad de transferencia de calor en [W], considerando que el ladrillo común tiene una absorptividad solar del 63%. **(2PTO)**
- 2) La temperatura que se mide en la parte externa de la fachada. **(4,5PTO)**
- 3) Coeficiente global para la transferencia de calor. **(0,5PTO)**
- 4) Ecuación de distribución de temperaturas general para la capa formada por ladrillo hueco. **(0,5PTO)**
- 5) Ecuación de distribución de temperaturas particular para la capa formada por ladrillo hueco. **(1,5PTO)**
- 6) Potencia que se disipa mediante otros mecanismos además de la conducción. **(1PTO)**

## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

<b>EJERCICIO 2</b>	<b>24 MAYO 2016</b>	<b>60 min.</b>
--------------------	---------------------	----------------

Un grupo de técnicos perteneciente a una prestigiosa marca de ropa está realizando pruebas en un túnel de viento, de un buzo que va a utilizarse en condiciones atmosféricas muy duras. Las pruebas se quieren realizar en las siguientes condiciones:

- La persona que porta el buzo está de pie y la dirección del flujo de aire que incide sobre ella es perpendicular a la altura.
- La temperatura del aire se fija en 5 [°C] y la velocidad del flujo de aire es variable. Desde una velocidad del aire despreciable hasta una velocidad de 100 [km/h]. Se considera para todos los casos que la temperatura de la superficie externa del buzo se mantiene en 10 [°C].

Atendiendo a las dimensiones de una persona, esta se puede modelar como un cuerpo cilíndrico. Utilizando la siguiente fórmula para el cálculo del área o superficie media de una persona desnuda.

$$\text{Área} = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot \text{altura}^{0,725}$$

Siendo  $m$  y altura, la masa y la altura medias de una persona. Para este caso se consideran los valores de 70 [kg] y 1,73 [m] respectivamente.

El buzo, está compuesto por varias capas, siendo su espesor de 1,1 [cm]. Calcular:

- 1) Siendo la altura del modelo constante, la superficie exterior y el diámetro exterior equivalente considerando que el modelo porta el buzo. **(2PTO)**
- 2) Cuando el flujo de aire alcanza los 100 [km/h], justificar el criterio que debe seguirse en base a la siguiente tabla. **(3PTO)**

El efecto de la convección natural es despreciable	$\frac{Gr}{Re^2} < 0.1$
El efecto de la convección forzada es despreciable	$\frac{Gr}{Re^2} > 10$
El efecto de ambas es significativo	$0.1 < \frac{Gr}{Re^2} < 10$

Supongamos que se quiere estudiar el modelo de una persona agachada. Así, se fija su altura en 0,5 [m] y su diámetro exterior en 0,6 [m].

- 3) Justificar el criterio que debe seguirse para el estudio en este caso. **(1,5PTO)**
- 4) Valor del número de Nusselt, considerando solo la convección natural. **(1,25PTO)**
- 5) Para el número de Nusselt del apartado 4, coeficiente de convección medio y velocidad de transferencia de calor. **(1,5PTO)**
- 6) Valor del número de Nusselt, considerando solo la convección forzada cuando el flujo de aire alcanza una velocidad de 100 [km/h]. **(0,5PTO)**
- 7) Valor del número de Nusselt combinado. **(0,25PTO)**

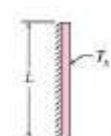

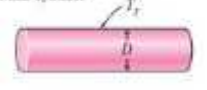


## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

**Airearen propietateak/ Propiedades del aire. Oharra/Nota: Beharrezkoa bada interpolatu. En caso necesario interpolar.**

$T$ [°C]	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ [J/kg · K]	$k$ [W/m · K]	$\alpha$ [m <sup>2</sup> /s]	$\mu$ [kg/m · s]	$\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	Pr [-]
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323

**Nusselt zenbaki adimentsionala kalkulatzeko konbekzio naturalaren kasurako korrelazioak/ Correlaciones para el cálculo del número adimensional Nusselt para el caso de convección natural. Oharra/Nota: Korrelazioak geruzaren batzbesteko temperaturan ebaluatzen dira. Las correlaciones se evalúan para una temperatura de película media.**

Geometria	Lc	Ra	Nu
Vertical plate 	L	$10^4 - 10^9$  $10^9 - 10^{13}$	$Nu = 0,59Ra^{1/4}$  $Nu = 0,1Ra^{1/3}$
Vertical cylinder 	L		Zilindro bertikal bat xafla lau bat bezela kontsideratu daiteke betetzen bada/ Un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical cuando $D \geq \frac{35L}{Gr^{1/4}}$
Horizontal cylinder 	D	$Ra \leq 10^{12}$	

**Nusselt zenbaki adimentsionala kalkulatzeko konbekzio behartuaren kasurako korrelazioa/ Correlación para el cálculo del número adimensional Nusselt para el caso de convección forzada. Oharra/Nota: Korrelazioa geruzaren batzbesteko temperaturan ebaluatzen da. La correlación se evalúa para una temperatura de película media.  $Lc=D$ .**

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62Re^{1/2}Pr^{1/3}}{\left[1 + (0.4/Pr)^{2/3}\right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5}$$

**Nusselt zenbaki adimentsional konbinatua/ Número adimensional Nusselt combinado:**

$$Nu_{combined} = (Nu_{forced}^n + Nu_{natural}^n)^{1/n}; n = 3$$



## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

<b>EJERCICIO 3</b>	<b>24 MAYO 2016</b>	<b>60 min.</b>
--------------------	---------------------	----------------

Se utiliza un horno industrial para cocer flanes. Su geometría se compone de dos placas paralelas grandes dispuestas en posición horizontal. La longitud y profundidad de cada placa son 4 [m] y 2 [m] respectivamente.

La placa que está en la parte superior es de acero. Su emisividad es de 0,9 y en situación estacionaria se mide una temperatura uniforme en toda la placa de 300[°C]. En la placa inferior se colocan los flanes ocupando toda la superficie. Se estima que la superficie que forman los flanes tiene una emisividad de 0,7 y en situación estacionaria se mide una temperatura uniforme en toda la superficie de 200[°C]. **Nota:** Considerar que las dos superficies forman un recinto cerrado. Calcular:

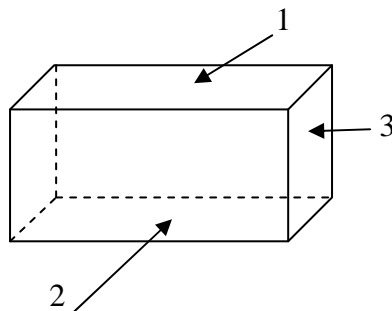
- 1) Factores de forma para las superficies descritas. **(0,25PTO)**
- 2) Velocidad de transferencia de calor entre las dos superficies en [W]. **(4PTO)**

Se observa que en la situación descrita el proceso de cocción de los flanes ocurre demasiado rápido, disminuyendo su calidad. Para proteger la superficie de los flanes de los efectos de la radiación y solucionar este problema, se recurre a la colocación entre las superficies de un papel de aluminio a modo de blindaje. Las propiedades relativas a la radiación del papel de aluminio en ambas caras son iguales, siendo un cuerpo opaco con una reflectividad estimada en 0,94. Calcular:

- 3) Emisividad del papel de aluminio. **(1PTO)**
- 4) La velocidad de transferencia de calor entre las dos placas para la nueva situación. **(0,25PTO).**

Supongamos que la distancia entre las dos placas es de 1,2 [m], según puede observarse en el dibujo. Considerando los valores para emisividad y temperatura de las superficies 1 y 2 descritas en el primer párrafo y que la superficie 3 se comporta como un cuerpo reirradiante. **Nota:** La superficie 3 forma un recinto cerrado con las superficies 1 y 2. Calcular:

- 5) Factores de forma. **(2PTO)**
- 6) Radiosidades de las tres superficies. **(1,25PTO)**
- 7) La velocidad de transferencia de calor neta en la superficie 2. **(1,25PTO)**



## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

**Erradiazio babesgarriak/Blindajes contra la radiación:**

$$\dot{Q}_{12,one\ shield} = \frac{E_{b1} - E_{b2}}{\frac{1 - \varepsilon_1}{A\varepsilon_1} + \frac{1}{AF_{13}} + \frac{1 - \varepsilon_3}{A\varepsilon_3} + \frac{1}{AF_{32}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{A\varepsilon_2}}$$

**Ikuspen faktorea/Factor de forma:**

