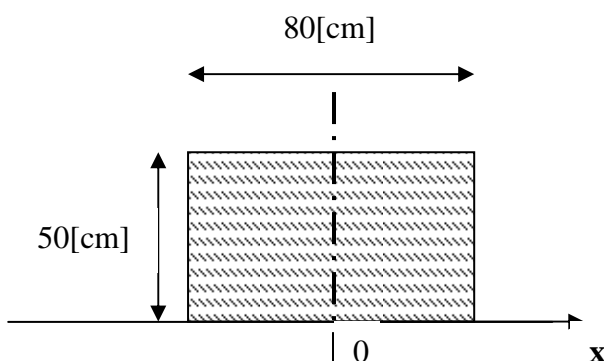


## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

1. ARIKETA	UZTAILA 5 2016	60 min.
------------	----------------	---------

Hozkailu- kamioi batetik, izotz bloke haundi bat deskargatzen da. Kamioitik ateratzen dutenean, bere temperatura  $-15[^\circ\text{C}]$ - takoa da eta lurlean uzten da  $5[^\circ\text{C}]$ - tan dagoen ingurugiroarekin kontaktuan. Momentuan jotzen ari den haize korrontearen eraginez,  $20 [\text{W/m}^2\text{K}]$ - ko konbekzio koefizientea estimatzen da.

Izotz blokeak paralelepipedo zuzen baten forma dauka, bere dimentsioak  $50 \times 80 \times 80 [\text{cm}]$  izanik. Irudiak, bloaren sekzioa erakusten du:



Denbora bat pasa ostean, izotzaren fusio prozesua hasten da, egoera solidotik egoera likidorako aldaketa hain zuzen ere, blokearen zentroan  $-5[^\circ\text{C}]$ - tako temperatura neurtzen delarik. Kontsideratuko da, izotz blokeak jasaten duen bero galera unidimentsionala dela eta  $x$  ardatzaren norantza positibo eta negatiboetan emanten dela soilik.

Izotzaren propietateak eroankortasun termikoari, dentsitateari eta bero espezifikoari dagokionez,  $2,18[\text{W/mK}]$ ,  $917[\text{kg/m}^3]$  eta  $2100[\text{J/kgK}]$  dira hurrenez hurren.

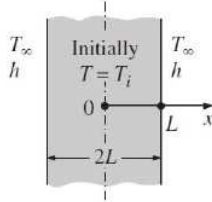
Kalkulatu:

1. Izotz blokean, aipatutako zentroko temperatura lortzeko pasa behar den denbora. **Oharra:** Kontsideratuko da ingurugiroaren baldintzak ez direla aldatzen. **(6 PTO.)**
2. Izotz blokearen zentroan,  $-5 [^\circ\text{C}]$ - tako temperatura neurtzen den unean, blokearen kanpoaldean neurtzen den temperatura. **(1 PTO.)**
3. Izotz blokea lurlean uzten denetik, blokearen zentroan,  $-5 [^\circ\text{C}]$ - tako temperatura neurtzen denerarteko denbora tartean eman den bero transferentzia. **(1.5 PTO.)**
4. Izotz blokearen zentroan,  $-5 [^\circ\text{C}]$ - tako temperatura neurtzen den unean, ondorioztatu temperatura banaketa ekuazioaren adierazpen partikularra. **(1.5 PTO.)**

## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

### Pareta laua hurbilketa bidezko ebazpena/Pared plana solución aproximada:

**Oharra/Nota:**  $Bi = h \cdot L / k$ ;  $2L$  sendoerako pareta batentzat. Para una pared de espesor  $2L$ .



**Oharra/Nota:** Beharrezkoa bada interpolatu. En caso necesario interpolar.

Bi	Plane Wall	
	$\lambda_1$	$A_1$
1.0	0.8603	1.1191
2.0	1.0769	1.1785
3.0	1.1925	1.2102
4.0	1.2646	1.2287

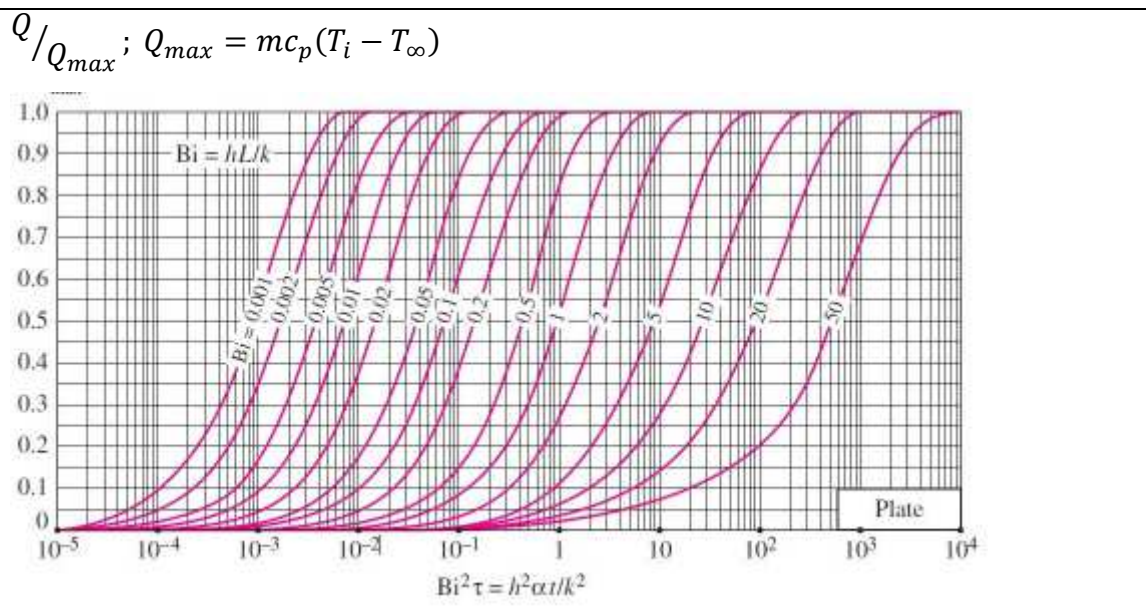
**Zentroa/Centro:**

$$\theta_{0,wall} = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = A_1 e^{-\lambda_1^2 \tau}$$

**Besteak/Resto:**

$$\theta(x,t)_{wall} = \frac{T(x,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} = A_1 e^{-\lambda_1^2 \tau} \cos(\lambda_1 x / L)$$

**Oharra/Nota:** Funtzio trigonometrikoak radianetan izan behar dute. Las funciones trigonométricas se operan en radianes.



## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

2. ARIKETA	UZTAILA 5 2016	50 min.
------------	----------------	---------

6x10[m<sup>2</sup>]- tako azalera neurtzen duen lokal baten zoruan, zoru irradiatzaile sistema bat instalatuta dago, negu garaian ematen diren beroketa beharrak asetzeko. Zoru irradiatzailea, sekzio zirkularra daukan eta hainbat aldiz bihurtzen den hodi batez osatzen den “zorua” dela kontsideratuko da. Hodiaren barrutik, 715 [l/h] ur likido pasaratzen dira ponpatze sistema bati esker. Hodiaren barne diametroa 16[mm]- takoa da eta sistemara ura 40[°C]- tan sartzen da, 28[°C]- tan irtetzen delarik. Sistema honekin, zorua berotzea lortzen da, ondoren, konbekzio naturala eta erradiazioaren bitartez, ingurua berotzen delarik. **Oharra:** Suposatuko da urak ez duela karga galerarik jasaten. Kalkulatu:

1. Sistema zeharkatzen duen ur fluxu masikoa. **(1 PTO.)**
2. Nusselt- en zenbakia. **(2.5 PTO.)**
3. Konbekzio koefizientea. **(1 PTO.)**
4. Bero transferentziaren abiadura. **(1 PTO.)**

Lokalaren giro tenperatura 20[°C] dela neurtzen da, zoruaren tenperatura, 22[°C] den momento batean. Kalkulatu:

5. Nusselt- en zenbakia. **(3 PTO.)**
6. Konbekzio koefizientea. **(1 PTO.)**
7. Bero transferentziaren abiadura zorutik ingurura erradiazioaren efektua mespretxagarria dela kontsideratuz. **(0.25 PTO.)**
8. Bero fluxua. **(0.25 PTO.)**

## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

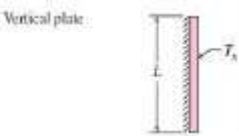
**Ur asearen propietateak/ Propiedades del agua saturada Oharra/Nota: Ez interpolatu, gertukoena den balioa hartu. No interpolar, tomar el valor más cercano.**

$T$ [°C]	$P_{\text{sat}}$ [kPa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]		$h_{\text{fg}}$ [kJ/kg]	$c_p$ [J/kg · K]		$k$ [W/m · K]		$\mu$ [kg/m · s]		$Pr$ [-]		$\beta$ [1/K]
		Liq	Vap		Liq	Vap	Liq	Vap	Liq	Vap	Liq	Vap	Liq
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	$0.891 \times 10^{-3}$	$0.987 \times 10^{-5}$	6.14	1.00	$0.247 \times 10^{-3}$
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	$0.798 \times 10^{-3}$	$1.001 \times 10^{-5}$	5.42	1.00	$0.294 \times 10^{-3}$
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	$0.720 \times 10^{-3}$	$1.016 \times 10^{-5}$	4.83	1.00	$0.337 \times 10^{-3}$
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	$0.653 \times 10^{-3}$	$1.031 \times 10^{-5}$	4.32	1.00	$0.377 \times 10^{-3}$

**Nusselt zenbaki adimentsionala kalkulatzen konbekzio behartuen kasurako korrelazioak/ Correlaciones para el cálculo del número adimensional Nusselt para el caso de convección forzada. Oharra/Nota: Korrelazioa jariakinaren batzbesteko temperaturaren ebaluatzen da. La correlación se evalúa para una temperatura de fluido media.**

$Re < 2300$	3.66
$Re > 10000$	$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^n$ ; $n = 0.4$ beroketa; calentamiento $n = 0.3$ hozketa; enfriamiento

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

Geometria	Lc	Ra	Nu
Vertical plate 	L	$10^4 - 10^9$	$Nu = 0.59Ra^{1/4}$
		$10^9 - 10^{13}$	$Nu = 0.1Ra^{1/3}$
Goiko azalera beroa/Superficie superior caliente	As/p; As:azalera/area P:perimetroa/perímetro	$10^4 - 10^7$	$Nu = 0.54Ra^{1/4}$
Beheko azalera beroa/Superficie inferior caliente		$10^7 - 10^{11}$	$Nu = 0.15Ra^{1/3}$
		$10^5 - 10^{11}$	$Nu = 0.27Ra^{1/4}$

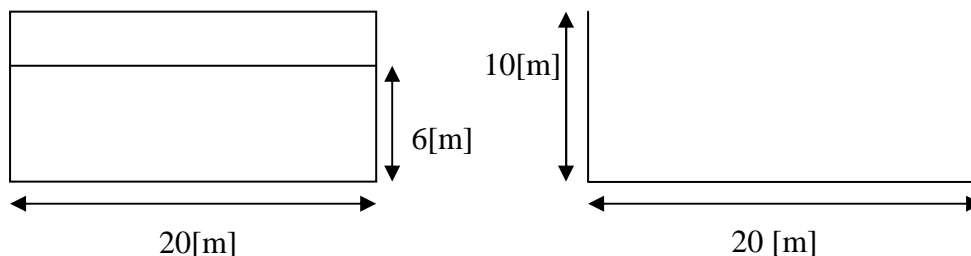
**Airearen propietateak/ Propiedades del aire Oharra/Nota: Ez interpolatu, gertukoena den balioa hartu. No interpolar, tomar el valor más cercano.**

$T$ [°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]	$Pr$ [-]
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296

## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

3. ARIKETA	UZTAILA 5 2016	60 min.
------------	----------------	---------

Irudian, bi azalera elkartut azaltzen dira. Horizontalki kokatuta dagoen azalera 20x20[m<sup>2</sup>] neurtzen ditu. Bertikalki kokatua dagoen azalera, 10x20[m<sup>2</sup>] neurtzen ditu, bi azalera osatua dagoelarik. Azalera bakoitzaren neurriak 6x20[m<sup>2</sup>] eta 4x20[m<sup>2</sup>] dira hurrenez hurren.



Azalera horizontalak, 1 azalera, 0,85-eko absorbitibitatea dauka eta gorputz opako baten portamoldea du, 40 [°C]-tako tenperatura neurtzen delarik bertan. 6x20[m<sup>2</sup>] neurtzen dituen azalera, 2 azalera, 0,9-ko emisibitatea dauka eta 4x20[m<sup>2</sup>] neurtzen dituen azalera, 3 azalera gorputz beltz baten portamoldea dauka bere tenperatura 305[K]-etako delarik. **Oharra:** Kirchhoff-en legea betetzen da.

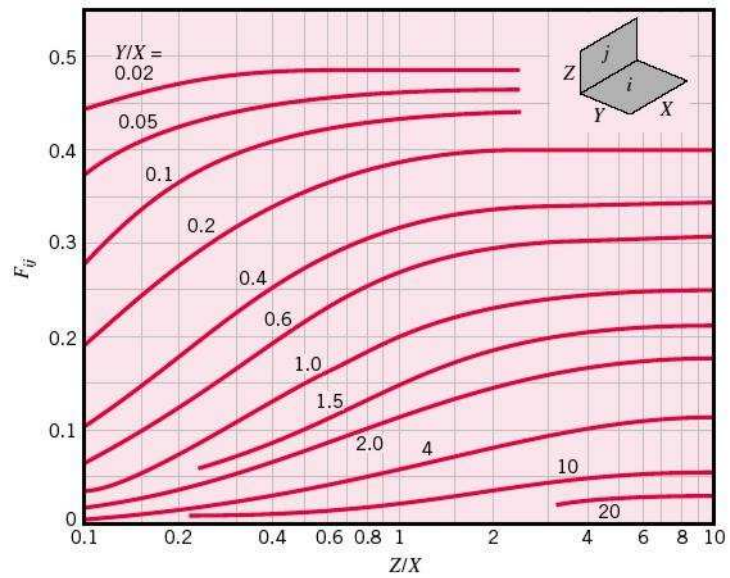
Udako egun batean, azalera horizontalean, eguzkitiko irradiazioarekiko, 300[W/m<sup>2</sup>]-tako balio zuzena eta 225[W/m<sup>2</sup>]-tako balio difusoa neurtzen dira 1 azalera, osagai zuzenak 20[°]-tako angelua osatzen duelarik elkartutarekiko. Kalkulatu:

1. Azalera horizontalak beste azalereekiko dauzkan ikuspen faktoreak. **(2 PTO.)**
2. Eguzkitiko irradiazioaren balioa. **(2 PTO.)**
3. Erradiositateak azalera guztietan. **(3 PTO.)**
4. Azalera horizontalean neurtzen den bero transferentzia netoa. **(1 PTO.)**
5. 2 azalera neurtzen den tenperatura. **(2 PTO.)**

## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

### Eguzkitiko irradiazioa/Radiación solar:

$$G_{\text{solar}} = G_D \cos \theta + G_d; \theta: \text{intzidentzia angelua ; ángulo de incidencia.}$$

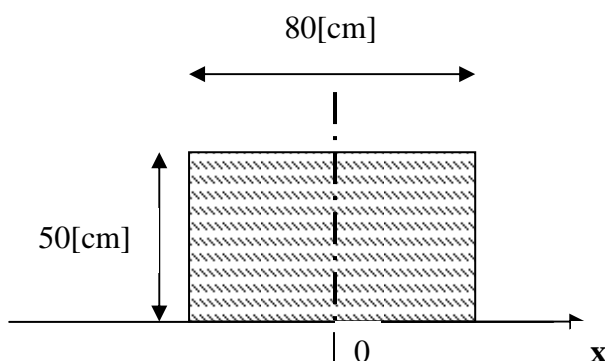


## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

<b>EJERCICIO 1</b>	<b>5 JULIO 2016</b>	<b>60 min.</b>
--------------------	---------------------	----------------

Se descarga un gran bloque de hielo de un camión frigorífico. Cuando se saca del camión su temperatura es de  $-15^{\circ}\text{C}$  y se deposita en el suelo en contacto con el aire ambiente que está a  $5^{\circ}\text{C}$ . Debido al viento que sopla es ese momento, se estima un coeficiente de convección de  $20 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ .

El bloque de hielo tiene forma de un paralelepípedo recto, siendo sus dimensiones,  $50 \times 80 \times 80 \text{ [cm]}$ . La figura muestra la sección del bloque:



Pasado un tiempo, comienza el proceso de fusión del hielo, es decir, el paso de la fase sólida a la líquida y se mide en el centro del bloque una temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$ . Se considera que la cesión de calor del bloque es unidimensional y que se mide solamente en los sentidos positivos y negativos del eje x.

Las propiedades del hielo respecto a conductividad térmica, densidad y calor específico son  $2,18 \text{ [W/mK]}$ ,  $917 \text{ [kg/m}^3\text{]}$  y  $2100 \text{ [J/kgK]}$  respectivamente.

Calcular:

1. Tiempo que debe transcurrir para que en el centro del bloque de hielo se mida la temperatura mencionada. **Nota:** Se considerará que las condiciones ambientales no varían. **(6 PTO.)**
2. Temperatura en la parte exterior del bloque de hielo cuando en el centro se miden  $-5^{\circ}\text{C}$  de temperatura. **(1 PTO.)**
3. Transferencia de calor que se mide desde que se deposita el bloque de hielo en el suelo hasta que en el centro del mismo se miden  $-5^{\circ}\text{C}$  de temperatura. **(1.5 PTO.)**
4. Cuando en el centro del bloque de hielo se miden  $-5^{\circ}\text{C}$  de temperatura, deducir la expresión particular de la ecuación de distribución de temperaturas.- **(1.5 PTO.)**

## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

<b>EJERCICIO 2</b>	<b>5 JULIO 2016</b>	<b>50 min.</b>
--------------------	---------------------	----------------

En el suelo de un local que mide  $6 \times 10 \text{ [m}^2\text{]}$ , se instala un sistema de suelo radiante para suplir las necesidades de calefacción en invierno. Se considera que el suelo radiante es un “suelo” que está formado por un tubo de sección circular plegado varias veces. Por el interior del tubo circulan  $715 \text{ [l/h]}$  de agua líquida gracias a un sistema de bombeo. El diámetro interior del tubo son  $16 \text{ [mm]}$  y al sistema entra agua a  $40^\circ\text{C}$  y sale a  $28^\circ\text{C}$ . Con este sistema se consigue calentar el suelo del local y mediante convección natural y radiación, se calienta el entorno. Nota: Se supone que el agua no tiene pérdidas de carga. Calcular:

1. Flujo másico que circula por el sistema. **(1 PTO.)**
2. Número de Nusselt. **(2.5 PTO.)**
3. Coeficiente de convección. **(1 PTO.)**
4. Velocidad de transferencia de calor. **(1 PTO.)**

Se mide una temperatura ambiente del local de  $20^\circ\text{C}$  en un momento en que la temperatura del suelo es de  $22^\circ\text{C}$ . Calcular:

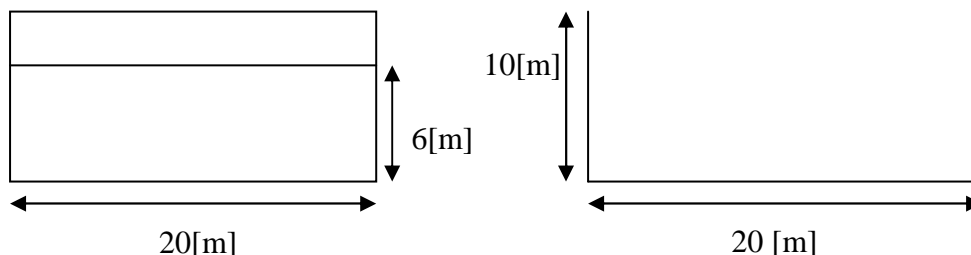
5. Número de Nusselt. **(3 PTO.)**
6. Coeficiente de convección. **(1 PTO.)**
7. Velocidad de transferencia de calor del suelo al entorno considerando despreciable el efecto de la radiación. **(0.25 PTO.)**
8. Flujo de calor. **(0.25 PTO.)**



## BERO TRANSFERENTZIA/ TRANSFERENCIA DE CALOR

<b>EJERCICIO 3</b>	<b>5 JULIO 2016</b>	<b>60 min.</b>
--------------------	---------------------	----------------

En la figura se muestran dos superficies perpendiculares. La que está dispuesta horizontalmente mide  $20 \times 20 \text{ [m}^2\text{]}$ . La superficie que está dispuesta verticalmente mide  $10 \times 20 \text{ [m}^2\text{]}$  y está compuesta por dos superficies. Las dimensiones de cada una de ellas son  $6 \times 20 \text{ [m}^2\text{]}$  y  $4 \times 20 \text{ [m}^2\text{]}$  respectivamente.



La superficie horizontal, la superficie 1, tiene una absorptividad de 0,85 y tiene un comportamiento de una superficie opaca que se encuentra a  $40 \text{ [}^\circ\text{C]}$  de temperatura. La superficie que mide  $6 \times 20 \text{ [m}^2\text{]}$ , la superficie 2, tiene una emisividad de 0,9 y la superficie que mide  $4 \times 20 \text{ [m}^2\text{]}$ , la superficie 3, tiene el comportamiento de un cuerpo negro siendo su temperatura  $305 \text{ [K]}$ . **Nota:** Se cumple la ley de Kirchhoff.

Un día de verano, respecto a la superficie horizontal se mide una componente de irradiación solar directa de  $300 \text{ [W/m}^2\text{]}$  y difusa de  $225 \text{ [W/m}^2\text{]}$ , formando un ángulo la radiación directa con la perpendicular a la superficie 1 de  $20^\circ$ . Calcular:

- Factores de visión de la superficie horizontal respecto a las demás superficies. **(2 PTO.)**
- Valor de la irradiación solar. **(2 PTO.)**
- Radiosidades en todas las superficies. **(3 PTO.)**
- Velocidad de transferencia de calor neta que se mide en la superficie horizontal. **(1 PTO.)**
- Temperatura que se mide en la superficie 2. **(2 PTO.)**