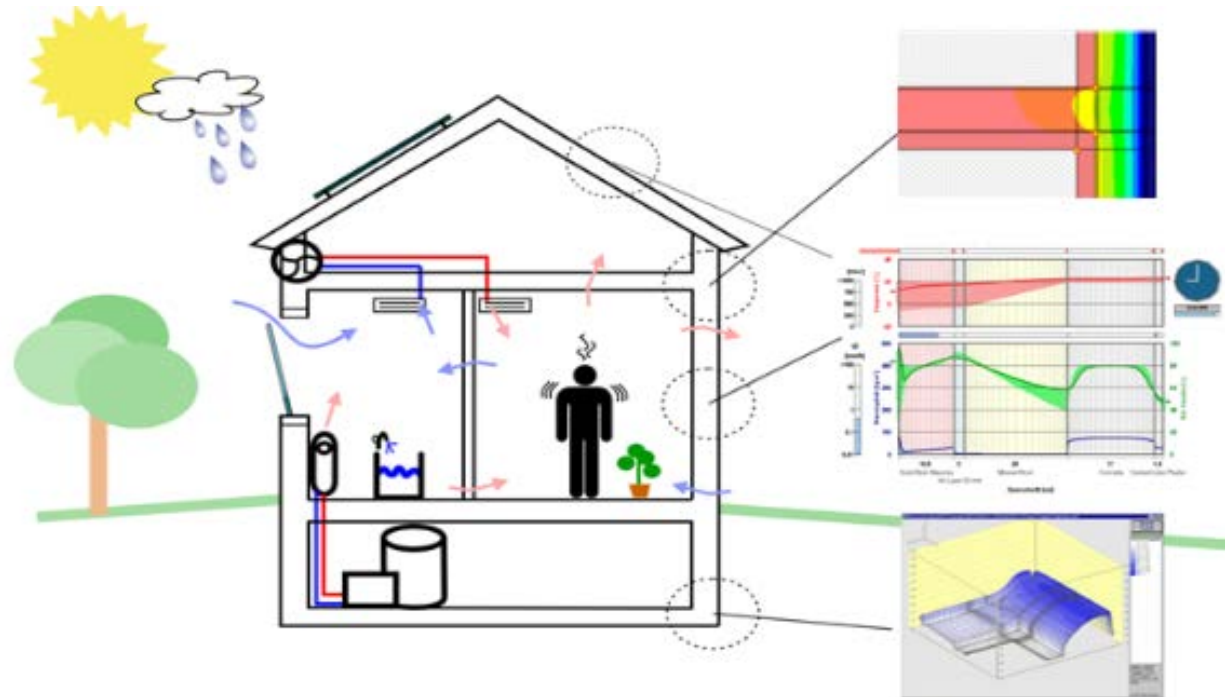




Eraikinen Fisika: Bero- eta masa-transferentzia itxituratan



Irudia: Fraunhofer Institute for Building Physics IBP
https://wufi.de/en/wp-content/uploads/sites/11/2014/04/800x321_WUFI-Plus-Schaubild.png

- Iñaki Gómez Arriaran
- Moises Odriozola Maritorea
- Koldobika Martín Escudero
- Estibaliz Pérez Iribarren
- Joseba Gainza Barrencua
- Aitor Erkoreka González



1 Gaia -

**BERO-TRANSFERENTZIA ITXITURATAN ERREGIMEN
EGONKOR ETA EZ-EGONKORREAN.
ZENBAKIZKO METODOEN BIDEZ BERO-TRANSMISIOAREN
ANALISIA.
ZUBI TERMIKOAK.**

Bero-transmisioa eraikuntzetan

- 1. zatia: Bero-transmisioa erregimen egonkorrean
- 2. zatia: Bero-transmisioa erregimen ez-egonkorrean
- 3. zatia: Zenbakizko metodoen bidez bero-transmisioaren analisia
- 4. zatia: Zubi termikoak

SARRERA

SARRERA

- Helburuak
- Testuinguru energetikoa
- Bero-transmisio mekanismoak eraikinetan
- Kondukzioa. Pareta lauan zeharreko kondukzioa bidezko bero-transmisioa
- Konbektzioa. Airearen mugimenduagatiko bero-transmisioa
- Erradiazio bidezko bero-transmisioa

Helburuak

- Erregimen egonkorrean eta ez-egonkorrean itxituratan zeharreko bero-transmisio mekanismoak ulertzea
 1. Bero-transmisioa erregimen egonkorrean
 2. Bero-transmisioa erregimen ez-egonkorrean
 3. Zenbakizko metodoen bidez bero-transmisioaren analisia
 4. Zubi termikoak

1. zatia: Bero-transmisioa erregimen egonkorrean

TESTUINGURU ENERGETIKOA

Irabaziak

Barnekoak

Eguzkitikoak

Beroketa-
sistema



Created by stockgiu - Freepik.com

Galerak

Transmisioa

Aire-infiltrazioak

Aireztapena

Galerak handituz edo irabaziak gutxituz, bero-eskaria handitzen da.

TESTUINGURU ENERGETIKOA

- Eraikinetan kontsumitzen den energia, totalaren %40 inguru da.
- Kontsumoa murrizteko neurriak
 - Bero-transmisio bidezkoa galerak murriztea
 - Aire-infiltrazioak murriztea
- Ondorioak: Aire kalitate eskasa eraikinetan
 - Gaixotasunak: asma, minbizia, ...
 - Hezetasunarekin erlazionatutako arazoak
- Aireztapen-sistemak arazo horiek ekiditeko:
 - Aire berritzeagatiko galerak handitzea
 - EKT-ko DB HE 0-1-ren aldaketa

TESTUINGURU ENERGETIKOA

- Eraikuntzaren Kode Teknikoa (EKT)
 - Energia primario ez-berriztagarrien kontsumoa
 - Etxebizitza erabilerarako eraikinetan energia primario ez-berriztagarrien kontsumoa mugatzen da
 - Horretarako muga balio batzuk ezartzen dira, neguaren gogortasunaren arabera zonaldeka desberdinduta
 - Energia primario totalaren kontsumoa ere mugatzen da
 - Kasu honetan ere, neguaren gogortasuna kontsideratzen da muga-balioak definitzeko

TESTUINGURU ENERGETIKOA

- Eraikuntzaren Kode Teknikoko (EKT) HS 3 Oinarrizko dokumentua (Documento Básico HS 3 del CTE)
 - Urteko CO₂ batez besteko kontzentrazioak 900 ppm baino baxuagoa izan behar du
 - Urtean, 1600 ppm-tik gora metatutako CO₂ kontzentrazioak 500.000 ppm·h-tik beherakoa izan behar du
- Gutxieneko emari finko batzuk ere definitzen dira aurreko irizpidearen ordezeko bezala
 - Etxebizitzaren tamainaren arabera lokaletako derrigorrezko aire-emari minimoa alda daiteke

TESTUINGURU ENERGETIKOA

- Berokuntza-eskariaren kalkulu sinplifikatua
 - Gainazal bakoitzaren transmitantzia termikoen batuketa

$$\sum A \cdot U$$

- Aireztapen-emia

$$\dot{Q}_{Demanda} = (T_{Base} - T_e) \left(V + \sum A \cdot U \right)$$

$$Q_{Demanda} = \frac{HDD \cdot \left(V + \sum A \cdot U \right)}{3,6 \cdot 10^6} \cdot t$$

TESTUINGURU ENERGETIKOA

- Hurbilketa bat da
 - Egunean zehar aireztapen-emia alda daiteke
 - Bero-transmisio bidezko galerak ere aldakorrak dira
 - Irabaziak egunean zehar aldatzen dira
 - Eguzkitiko erradiazioa
 - Sistemak
 - Okupazioa

Bero-transmisio mekanismoak

Tenperatura desberdinetan aurkitzen diren bi gorputzek energia trukatzeko duten bero moduan tenperatura-diferentzia hori desagertu arte.

- Hiru oinarrizko bero-transmisio mekanismo daude:
 - Kondukzioa
 - Konbektzioa
 - Erradiazioa

Bero-transmisio mekanismoak: KONDUKZIOA

Molekulen biraketaz eta bibrazioz barne-energiaren trukeari lotutako beroa transmititzeko mekanismoa da. Solidoetan gertatzen den mekanismoa da. Hiru modutan eman daiteke :

- Molekula bakoitzaren banakako bibrazioa (solido amorfoak)
- Sare kristalino osoaren bibrazio (solido kristalinoak)
- Elektroi libreen mugimendua (solido metalikoak)

Bero-transmisio mekanismoak: KONDUKZIOA

Ezaugarriak :

- Materialan zehar gertatzen da
- Kondukzioagatiko bero-fluxua, materialaren konduktibitate termikoarekiko (k) zuzenki proportzionala da
- Trukatutako bero kantitatea, trukaketa-gainazalaren azalerarekiko zuzenki proportzionala da
- Tenperatura diferentziarekiko zuzenki proportzionala da

Bero-transmisio mekanismoak: KONDUKZIOA

FOURIER-en LEGEA $\dot{Q}_{cond} = -k \cdot A \frac{dT}{dx}$

k Konduktibitate termikoa.

$\frac{dT}{dx}$ Tenperatura gradientea.

Bero-transmisio mekanismoak: KONDUKZIOA

- **BERO KONDUKZIOAREN ECUAZIO UNIDIMENTSIONALA PARETA LAUA BATETAN**

Ekuazio hau beroa transmititzeko norabide nagusi bat dugunean aplikatzen da (beraz gainontzeko norabideetan arbuigarria da bero-transmisioa).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{e}_{Gen} = \rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t}$$

Bero-transmisio mekanismoak: KONDUKZIOA

Konduktibitate aldakorra:
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{e}_{Gen} = \rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t}$$

Konduktibitate konstantea:
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{e}_{Gen}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Difusibitate termikoa:
$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c}$$

Kasu bereziak:

- Erregimen egonkorra
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{e}_{Gen}}{k} = 0$$
- Erregimen ez-egonkorra bero-sorrerarik gabe
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$
- Erregimen egonkorra bero-sorrerarik gabe
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0$$

Bero-transmisio mekanismoak: KONDUKZIOA

■ BERO KONDUKZIOAREN EKUAZIO MULTIDIMENSIONALA

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{e}_{Gen} = \rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t}$$

Bero-transmisio mekanismoak: KONBEKZIOA

Fluidoaren molekulen desplazamenduaren bitartez gertatzen den energia-transferentzia da.

- Molekulen arteko lotura indarrak ahulak dira
- Kondukzio bidezko bero-transmisioa gerta dadin, erresistentzia termikoa handia da
- Molekulak libreki mugitu daitezke
- Molekulen mugimenduagatik gertatzen da energiaren garraioa

Bero-transmisio mekanismoak: KONBEKZIOA

Konbekzio bidezko bero-transmisio mekanismoa faktore askoren arabera gertatzen da:

- Jariakinaren abiadura
- Geometria eta konfigurazioa
- Ukipen-gainazalaren ezaugarrien arabera
- Jariakinaren propietate termofisikoen arabera

Faktore hauek denak kontutan izateko helburuarekin, koefiziente bat definitzen da:

h = konbekzio-koefizientea edo pelikula-koefizientea (W/m^2K)

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_{\text{pared}} - T_{\text{fluido}}) = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Newton-en hozketa legea

Bero-transmisio mekanismoak: KONBEKZIOA

- Bi modutan gerta daiteke konbekzioa:
 - Konbekzio naturala
 - Konbekzio behartua

Bero-transmisio mekanismoak: KONBEKZIOA

Konbekzio naturala

Eraikin barruko gainazaletan

- Nusselt-en zenbakia $\rightarrow Nu = \frac{h \cdot L}{k} = f(Pr, Gr)$
- Prandtl-en zenbakia $\rightarrow Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu \cdot c_p}{k}$
- Grashof-en zenbakia $\rightarrow Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta\theta \cdot \Pi^3 \cdot \rho^2}{\mu^2}$
- Rayleigh-en zenbakia $\rightarrow Ra = Gr \cdot Pr$

Bero-transmisio mekanismoak: KONBEKZIOA

Konbekzio naturala



Eraikin barruko gainazaletan

- Nusselt-en zenbakia $\rightarrow Nu = f(Pr, Gr)$
- Prandtl-en zenbakia $\rightarrow Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^m = C \cdot Ra^m$
- Konbekzio-koefizientea $\rightarrow h_i = k_1 + k_2 \cdot \Delta T^a$
- Temperatura-diferentzia $\rightarrow \Delta T = T_{superficie} - T_{pared}$

Bero-transmisio mekanismoak: KONBEKZIOA

Konbekzio naturala

Eraikin barruko gainazaletan

Jatorria	Gainazal bertikala			Gainazal horizontala					
				Goranzko fluxua			Beheranzko fluxua		
	k_1	k_2	a	k_1	k_2	a	k_1	k_2	a
ASHRAE	3,08	-	-	4,04	-	-	0,92	-	-
PERRIES	-	1,60	0,38	-	2,10	0,23	-	1,0	0,33
BAUMAN	-	2,03	0,22	-	1,52	0,33	-	0,51	0,25

Egileek osatutako taula

Bero-transmisio mekanismoak: KONBEKZIOA

Konbekzio behartua

Eraikin kanpoko gainazaletan

- Nusselt-en zenbakia $\rightarrow Nu = \frac{h \cdot L}{k} = f(Pr, Gr)$
- Prandtl Nusselt-en zenbakia $\rightarrow Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu \cdot c_p}{k}$
- Reynolds Nusselt-en zenbakia $\rightarrow Re = \frac{c \cdot L}{\nu} = \frac{c \cdot L \cdot \rho}{\mu}$

Bero-transmisio mekanismoak: KONBEKZIOA

Konbekzio behartua \longrightarrow Eraikin kanpoko gainazaletan

▪ Nusselt-en zenbakia $\rightarrow Nu = f(Re, Pr)$

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \quad \longrightarrow \quad Nu \approx Re^{0,8}$$

$$h_e = a + b \cdot v^n \quad \left\{ \begin{array}{l} h_e = 9 + 0,7 \cdot v \quad (\text{Esposiziopean ez dagoen gainazala}) \\ h_e = 8 \cdot v^{0,605} \quad (\text{Esposiziopean dagoen gainazala}) \end{array} \right.$$

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

Argiaren abiaduraz mugitzen diren uhin elektromagnetikoen bitartez hedatzen den energia termikoa da.

- Uhin elektromagnetikoen bidez gertatzen da
- Uhinak norabide, fase eta frekuentzia guztien mugitzen dira
- Ez du materialik behar, hutsean zehar transmititzen da
- Zero absolutua baino tenperatura altuagoa duten gorputz guztiek erradiazioa igortzen dute

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

Gainazal baten erradiazio bidezko bero-transmisioa:

Gainazal erradiazio bidez igortzen duen energia eta inguruko gainazalek igorri eta iristen zaion erradiazioaren arteko diferentzia da.

Erradiazioa, frekuentziaren arabera (edo uhin-luzeraren arabera) sailkatzen da.

Erradiazio termikoa $1000 \div 1.000.000 \text{ \AA}$ uhin-luzera tartean gertatzen da.

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

Gainazal batetara iristen den irradiazioa G (W/m^2) :

- Islatu

$$\alpha \cdot G + \rho \cdot G + \tau \cdot G = G$$

- Absorbatu

- Transmittitu

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

Absortibitatea + Islatibitatea + Transmisibitatea = 1

$\alpha(\lambda)$

$\rho(\lambda)$

$\tau(\lambda)$

λ : Uhin-luzera

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

Transmitibitatearen arabera, gorputzak bi taldetan sailkatzen dira:

- Gorputz opakoak $\longrightarrow \tau = 0$
- Gorputz erdigardenak $\longrightarrow \tau \neq 0$

- Ultra morea: $0,25 - 0,37 \mu m$
- Argi ikuskorra: $0,37 - 0,7 \mu m$
- Infragorri hurbila: $0,7 - 2,0 \mu m$
- Infragorria: $2,0 - 40 \mu m$

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

- Gorputz bati iristen zaion erradiazioaren zein frakzio xurgatzen duen gorputzak absortibitateak adierazten du.
- Gorputz gardenetan ezaugarri bolumetrikoa da, opakoetan gainazalekoa.
- Balio maximoa unitatea da, eta gorputz beltzari dagokio

Uhin-luzera luzea:

- 0,9
- Pelikula metalikoak 0,05 – 0,2

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

- T temperatura absolutuan aurkitzeagatik, gorputz guztiek erradiazio igortzen dute
- Gorputz baten igorpen-ahalmena hurrengo faktoreen menpekoa da:

- Gorputzaren temperatura
- Gainazalaren emisibitatea
- Stefan – Boltzmann-en konstantea

$$E\left(\frac{W}{m^2}\right) = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

- Kirchhoff-en legea: $\varepsilon = \alpha$

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

- Emisibitatea, ε

- Materialen propietatea da

$$\varepsilon = \frac{E(T)}{E_b(T)}$$

- Gainazalaren ezaugarrien araberakoa da
- 0 eta 1 arteko balioak hartzen ditu.
- Ohiko balioak:
 - Gainazal normalak, $0,9$.
 - Pintura metalikoak eta bereziak, $0,03 - 0,2$.

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

Ikuspen-faktorea:

- F_{ij} \longrightarrow i gainazalak igorri eta zuzenean j gainazalera iristen den erradiazioaren frakzioa da.

- Orientazioa

- Distantzia

- $$\sum_{j=1}^{\infty} F_{1j} = 1$$

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

Eguzkia da lurraren energia-iturri nagusia.

EGUZKI-KONSTANTEA edo EGUZKI-IRRADIANTZIA TOTALA:

Eguzki-irradiantzia, eguzki-izpiekiko perpendikular dagoen gainazal batean, lurreko atmosferatik haratago.

Lurraren eta eguzkiaren arteko batez besteko distantzia 149,5 miloi *km*.

$$C = 1373 \cdot [1 + \cos(0,973 \cdot N)] \quad C = 1373 \frac{W}{m^2}$$

$$N = 1, 2, 3, \dots, 365$$

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

Erradiazio guztia ez da iristen lurrazalera:

- Islatu (hodeietan).
- Absorbatu (partikulak eta ozono geruza).
- Difusioa (gas molekuletan, partikulak eta hautsa).

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

Erradiazio totala hurrengo terminoen batuketaren emaitza da:

- Erradiazio zuzena:

Eguzkitik lurrazalera lero zuzena jarraituz iristen dena da.

- Erradiazio barreiatua:

Eguzkitik lurrazalera zuzenean iritsi ez den erradiazioa.

$$G_{Solar} \left(\frac{W}{m^2} \right) = G_D \cdot \cos \theta + G_d$$

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

Zeruaren temperatura:

Atmosferan esekitako partikula eta gas molekulekin erradiazio bidezko bero-trukea kontuan hartzeko erabiltzen den temperatura.

$$T_{Cielo} = \begin{cases} 230 \text{ K, zeru argi eta hotza} \\ 285 \text{ K, zeru lainotu eta epela} \end{cases}$$

Bero-transmisio mekanismoak: ERRADIAZIOA

Erradiazio bidezko bero-fluxu netoa azalera batean

$$\dot{q}_{neta,rad} = \sum E_{absorbida} - \sum E_{emitida}$$

$$\dot{q}_{neta,rad} = E_{solar,absorbida} + E_{cielo,absorbida} - E_{emitida}$$

$$\dot{q}_{neta,rad} = \alpha_s \cdot G_{solar} + \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{cielo}^4 - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4$$

$$\dot{q}_{neta,rad} = \alpha_s \cdot G_{solar} + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{cielo}^4 - T_s^4)$$

Bero-transmisioa erregimen egonkorrean

- Orain gutxi arte, araudia betetzeko nahikoa zen erregimen egonkorra kontsideratzea.
 - Transmittantzia termikoa.
- Hau sinplifikazio bat besterik ez da.
- **Portaera erreala dinamikoa edo ez-egonkorra da.**
 - Ingurune-baldintzak denborarekin aldatzen dira.

Bero-transmisioa erregimen egonkorrean

- Kondukzioa horma lau batetan: Geruza bat

$$\frac{\dot{Q}}{A} = -k \cdot \frac{dT}{dx} \quad \Longrightarrow \quad \dot{Q} \cdot dx = -k \cdot A \cdot dT$$

$$\int_0^l \dot{Q} \cdot dx = - \int_{T_1}^{T_2} k \cdot A \cdot dT$$

$$\int_0^l \dot{Q} \cdot dx = \dot{Q} \cdot x \Big|_0^l = \dot{Q} \cdot l$$

$$- \int_{T_1}^{T_2} k \cdot A \cdot dT = -k \cdot A \cdot T \Big|_{T_1}^{T_2} = k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

$$\dot{Q} = \frac{k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{l} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{l}{k \cdot A}}$$

Bero-transmisioa erregimen egonkorrean

- Kondukzioa horma lau batetan: Geruza bat

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{T_1 - T_2}{l/k} \implies R_{\text{Conducción}} = \frac{l}{k} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

- Kondukzioa horma lau batetan: Geruza bat baino gehiago

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{T_{s,1} - T_2}{l_A/k_A} = \frac{T_2 - T_3}{l_B/k_B} = \frac{T_3 - T_{s,4}}{l_C/k_C} = \frac{T_{s,1} - T_{s,4}}{\frac{l_A}{k_A} + \frac{l_B}{k_B} + \frac{l_C}{k_C}}$$

Bero-transmisioa erregimen egonkorrean

- Kondukzioa horma lau batetan: Geruza bat baino gehiago

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{T_{s,1} - T_{s,4}}{\frac{l_A}{k_A} + \frac{l_B}{k_B} + \frac{l_C}{k_C}} = \frac{T_{s,1} - T_{s,4}}{\sum_{i=A}^C \frac{l_i}{k_i}}$$

$$R = \sum_{i=A}^C R_i = \sum_{i=A}^C \frac{l_i}{k_i}$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{T_{s,1} - T_{s,4}}{R}$$

Bero-transmisioa erregimen egonkorrean

- Konbektzio bidezko bero-transmisioa

$$\dot{Q} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) = \frac{T_s - T_\infty}{\frac{1}{h \cdot A_s}}$$

$$R_{\text{Convección}} = \frac{1}{h \cdot A_s}$$

Bero-transmisioa erregimen egonkorrean

- Erradiazio bidezko bero-transmisioa

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{Convección}} + \dot{Q}_{\text{Radiación}}$$

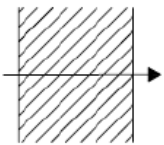
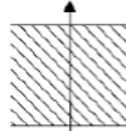
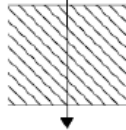
$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{Rad}} &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_s^4 - T_{\text{alred}}^4) = \\ &= h_{\text{Rad}} \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\text{alred}}) = \\ &= \frac{T_s - T_{\text{alred}}}{R_{\text{Rad}}} \end{aligned}$$

$$h_{\text{Comb}} = h_{\text{Conv}} + h_{\text{Rad}}$$

Bero-transmisioa erregimen egonkorrean

- Gainazaleko erresistentzia termikoa
 - Konbektzioa bidezkoa bero-transmisioa
 - Erradiazio bidezko bero-transmisioa

$$R_{s,e-i} = \frac{1}{h_{Conv} + h_{Rad}}$$

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Jatorria. Eraikuntzaren Kode Teknikoa (EKT)

Bero-transmisioa erregimen egonkorrean

- Inguratzailearen transmitantzia termikoa edo erresistetzia termikoa

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{T_{si} - T_{se}}{\sum_{i=A}^C \frac{l_i}{k_i}} = h_{cre} \cdot (T_e^* - T_{se}) = h_{cri} \cdot (T_i - T_{si})$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{T_e - T_i}{\frac{1}{h_{cre}} + \sum_{i=A}^C \frac{l_i}{k_i} + \frac{1}{h_{cri}}} = U \cdot (T_e - T_i)$$

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- Inguratzailearen transmitantzia termikoa edo erresistentzia termikoa

Transmitantzia termikoa

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{cre}} + \sum_{i=A}^C \frac{l_i}{k_i} + \frac{1}{h_{cri}}}$$

Erresistentzia termikoa

$$R = \frac{1}{h_{cre}} + \sum_{i=A}^C \frac{l_i}{k_i} + \frac{1}{h_{cri}} = \frac{1}{U}$$

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- Aire-ganberen erresistentzia termikoa
 - Bero-fluxuaren norantza
 - Horizontala
 - Goruntz
 - Beheruntz
 - Aireztapen maila
 - Aireztatu gabe
 - Apur bat aireztatua
 - Asko aireztatutako aire-ganbera

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- Aire-ganberen erresistentzia termikoa

Handitu egiten da ganberaren lodierarekin batera, baina airearen mugimendua ere lodierarekin erraztu egiten da, bere balioa saturatzea eragiten du.

$$R_{\text{Cámara de aire}} \neq \frac{l_{Ca}}{k_{Ca}}$$

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- Aire-ganberen erresistentzia termikoa

Aireztatu gabeko aire-ganberak: Altuera eta zabalera, gutxienez, lodiera baino 10 aldiz handiagoa:

$$R_{\text{Cámara de aire}} = \frac{1}{h_a + h_r}$$

h_a \Rightarrow Kondukzio-konbektzio koefizientea.

h_r \Rightarrow Erradiazio-koefizientea.

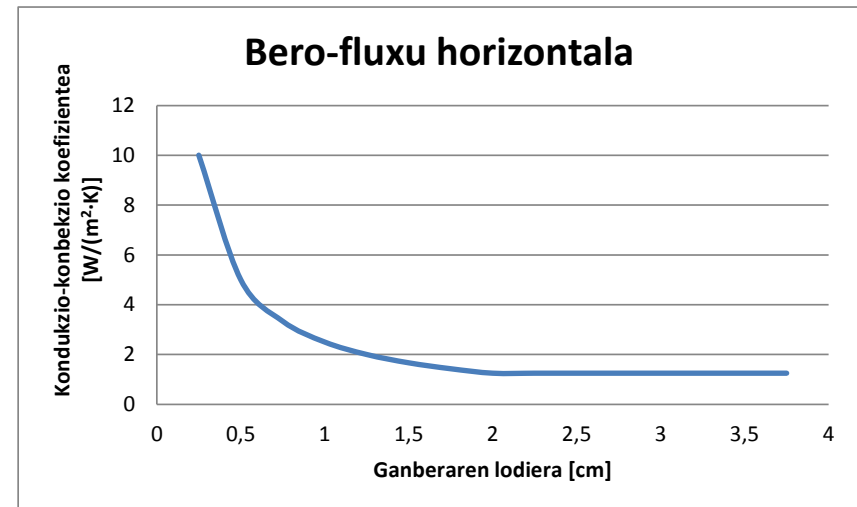
Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- h_a \Rightarrow Kondukzio-konbekzio koefizientea.

Bero-fluxua goruntz $\Rightarrow h_a = \max\left(1,95; \frac{0,025}{d}\right)$

Bero-fluxu horizontala $\Rightarrow h_a = \max\left(1,25; \frac{0,025}{d}\right)$

Bero-fluxua beheruntz $\Rightarrow h_a = \max\left(0,12 \cdot d^{-0,44}; \frac{0,025}{d}\right)$



Egileen irudia

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- h_r \Rightarrow Erradiazio-koefizientea.

$$\left(\frac{\dot{Q}}{A} \right)_{Rad} = \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$\left(\frac{\dot{Q}}{A} \right)_{Rad} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{Rad}}$$

$$R_{\text{Cámara de aire}} = \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_r}}$$

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- Aire-ganberen erresistentzia termikoa  **Film erreflexiboa**

Film erreflexiborik gabeko
aire-ganbera

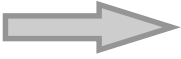

$$\left(\frac{\dot{Q}}{A}\right)_{Rad} = \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Film erreflexibodun aire-
ganbera

¿?

- Galera totalekiko, zenbatekoa da erradiazio bidezko galeren portzentaia? Komeni al da erradiazioa murrizteko blindajea sartzea aire-ganberan?

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- Aire-ganberen erresistentzia termikoa  
- Aireztatu gabeko aire-ganbera:
 - Ez da existitzen airea pasa dadin sistemarik.
 - Aire-ganbera eta kanpo-ingurunea irekidura batzuen bitartez konektatzen dira
 - Irekidura horiek ez dira hurrengo neurriak baino handiagoak:
 - 500 mm² luzera metro bakoitzeko bertikaletan
 - 500 mm² gainazal m² bakoitzeko horizontaletan

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- Aire-ganberen erresistentzia termikoa



EKT

- Aireztatu gabeko aire-ganbera

- Emisibitatea $> 0,8$

- Lodiera maximoa

$$D_{m\acute{a}x} = 0,1 \cdot m\acute{a}x(\text{altura}; \text{ancho})$$

$$D_{m\acute{a}x} = 0,3 \text{ m}$$


Resistencias térmicas de cámaras de aire en $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Jatorria. Eraikuntzaren Kode Teknikoa (EKT)

Bitarteko balioak linealki interpolatuz lortuko ditugu.

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- Aire-ganberen erresistentzia termikoa  EKT
 - Apur bat aireztatutako aire-ganbera
 - Ez da existitzen airearen mugimendua eragiten duen sistemarik.
 - Irekidurak ditu:
 - $500 \text{ mm}^2 < S_{\text{irekidura}} \leq 1500 \text{ mm}^2$ luzera m bakoitzeko ganbera bertikaletan.
 - $500 \text{ mm}^2 < S_{\text{irekidura}} \leq 1500 \text{ mm}^2$ gainazal m^2 bakoitzeko ganbera horizontaletan.

Apur bat aireztatutako aire-ganberen kasuan, erresistentzia termikoa aurreko taulan emandako balioen erdia izango da.

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- Aire-ganberen erresistentzia termikoa



- Aireztatutako aire-ganbera

- Irekidurak hurrengo balioak baino handiagoak dira:

- 1500 mm² ganbera bertikalen kasuan luzera horizontal m bakoitzeko.

- 1500 mm² ganbera horizontal m² bakoitzeko.

Erresistentzia termikoa lortzeko, aire-ganberaren eta ganberaren eta kanpoaldearen arteko geruzen erresistentzia termikoa gutxiesten da, eta geldi dagoen aireri dagokion kanpoko gainazaleko erresistentzia kontutan hartzen da.

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- Transmitantzia termikoaren balio maximoak EKT-ren arabera

Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de *transmitancia térmica*, U_{lim} [W/m²K]

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s , U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la <i>envolvente térmica</i> (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
<i>Huecos</i> (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%					5,7	

*Los *huecos* con uso de escaparate en *unidades de uso* con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

Jatorria. Eraikuntzaren Kode Teknikoa (EKT)

Erregimen egonkorra: TRANSMITANTZIA TERMIKOA edo ERRESISTENTZIA TERMIKOA

- Transmitantzia termikoaren balio maximoak EKT-ren arabera

Tabla 3.1.1.c - HE1 Valor límite K_{lim} [W/m^2K] para uso distinto del residencial privado

	Compacidad V/A [m^3/m^2]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos. Ampliaciones. Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	$V/A \leq 1$	0,96	0,81	0,76	0,65	0,54	0,43
	$V/A \geq 4$	1,12	0,98	0,92	0,82	0,70	0,59

Los valores límite de las compacidades intermedias ($1 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán sólo en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10%.

Las *unidades de uso* con actividad comercial cuya compacidad V/A sea mayor que 5 se eximen del cumplimiento de los valores de esta tabla.

Jatorria. Eraikuntzaren Kode Teknikoa (EKT)

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Leiho motaren arabera
 - Nola irekitzen diren kontutan izanik
 - Leiho finkoa
 - Ardatz aldagarriko leihoa
 - Leiho lerragarria

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Leihoen zatiak
 - Leihoetako markoak
 - Gainazalaren %10 – 30
 - Egurrezkoak
 - Itxura tradizionala
 - Portaera termiko ona (lodierarekin handitzen da)
 - Estaldurek portaera okertzen dute
 - Aluminiozkoak
 - Bero eroale ona
 - Kondentsazioak ager daitezke
 - Zubi termikoaren haustura

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Leihoetako markoak
 - PVC
 - Portaera termiko ona
 - Oso moldakorra da
 - Beste material batzuk
 - Egurrezko konposatuak
 - Marko konposatuak edo hibridoak

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Beira
 - Beira gardenak
 - Ezaugarri mekanikoak
 - Plastikoak
 - Merkeak
 - Ezaugarri termiko onak eta iraunkorra
 - Baldintza bereziak

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Beira
 - Hobetutako beirak
 - Tindatuak
 - Grisa, brontzea, urdina-berdea
 - Eguzkitiko erradiazioaren zati bat xurgatzen dute
 - Tradizionalak
 - Grisa y brontzea
 - Argia murrizten dute beroa baino gehiago
 - Selektibitate espektrala
 - Urdinak eta berdeak
 - Argia transmititzen dute, infragorria xurgatzen dute

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Hobetutako beirak
 - Emisio baxuko estaldurak
 - Bero-transmisioa baino argia gehiago murrizten dute
 - Lodiera handituz, murrizketa handiagoa lortzen da
 - Zilarra, urrea, brontzea
 - Leiho bikoitza
 - Uda garairako estaldura eta tindaketak efektiboak dira
 - Estaldura batzuek bakarrik murrizten dituzte galerak
 - 4 gainazal estaldurarentzat

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Beira
 - Hobetutako beirak
 - Leiho bikoitza
 - Ganberaren lodiera
 - 12 mm, airea ala argon
 - 6 mm, kripton

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Emisibitate baxuko estaldura
 - Kokapena

Kristal anitzeko beira sistemetan beroa transferitzeko mekanismo nagusia, orri beroaren eta orri hotzaren arteko erradiazioa da.

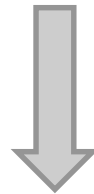
Helburua: Mekanismo honen efektua txikitzea

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Emisibitate baxuko estaldura
 - Motak \Rightarrow Uda edo negua
 - Hiru oinarrizko mota
 - Transmisio altua eta emisio baxua
 - Transmisio ertaina eta emisio baxua
 - Transmisio baxua eta emisio baxua

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Emisitibitate baxuko estaldura
 - Kokapena \longrightarrow Aire-ganberako gainazalak.

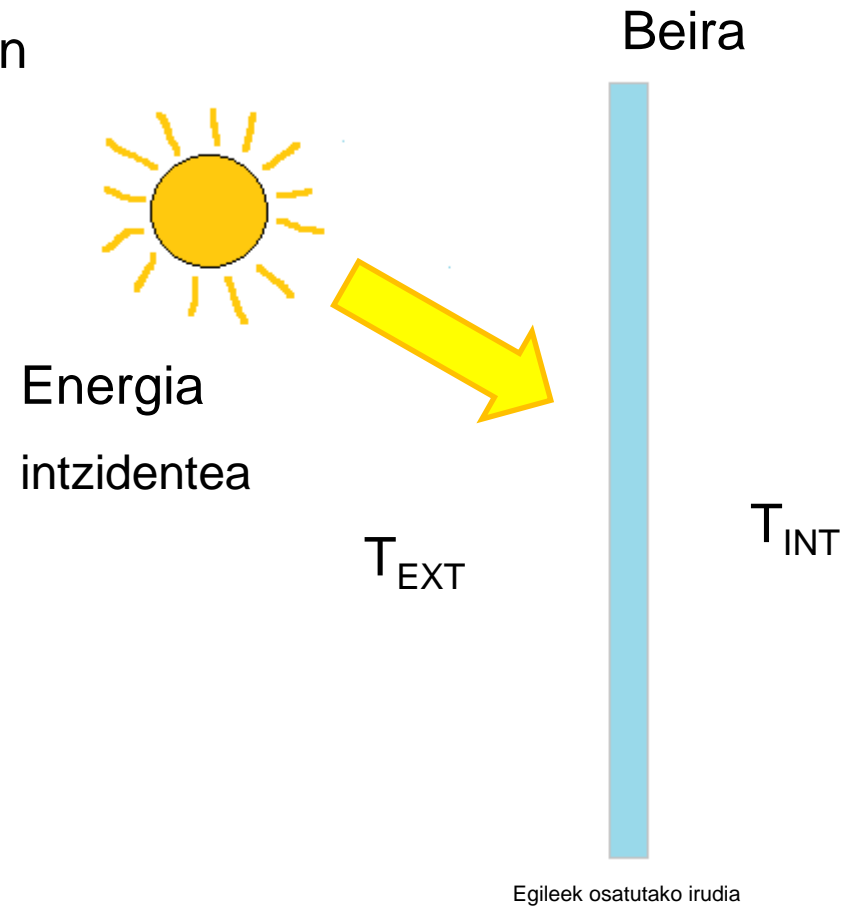


Lortutako efektua, beira bat gehitzearen baliokidea izateraino iritsi liteke.

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

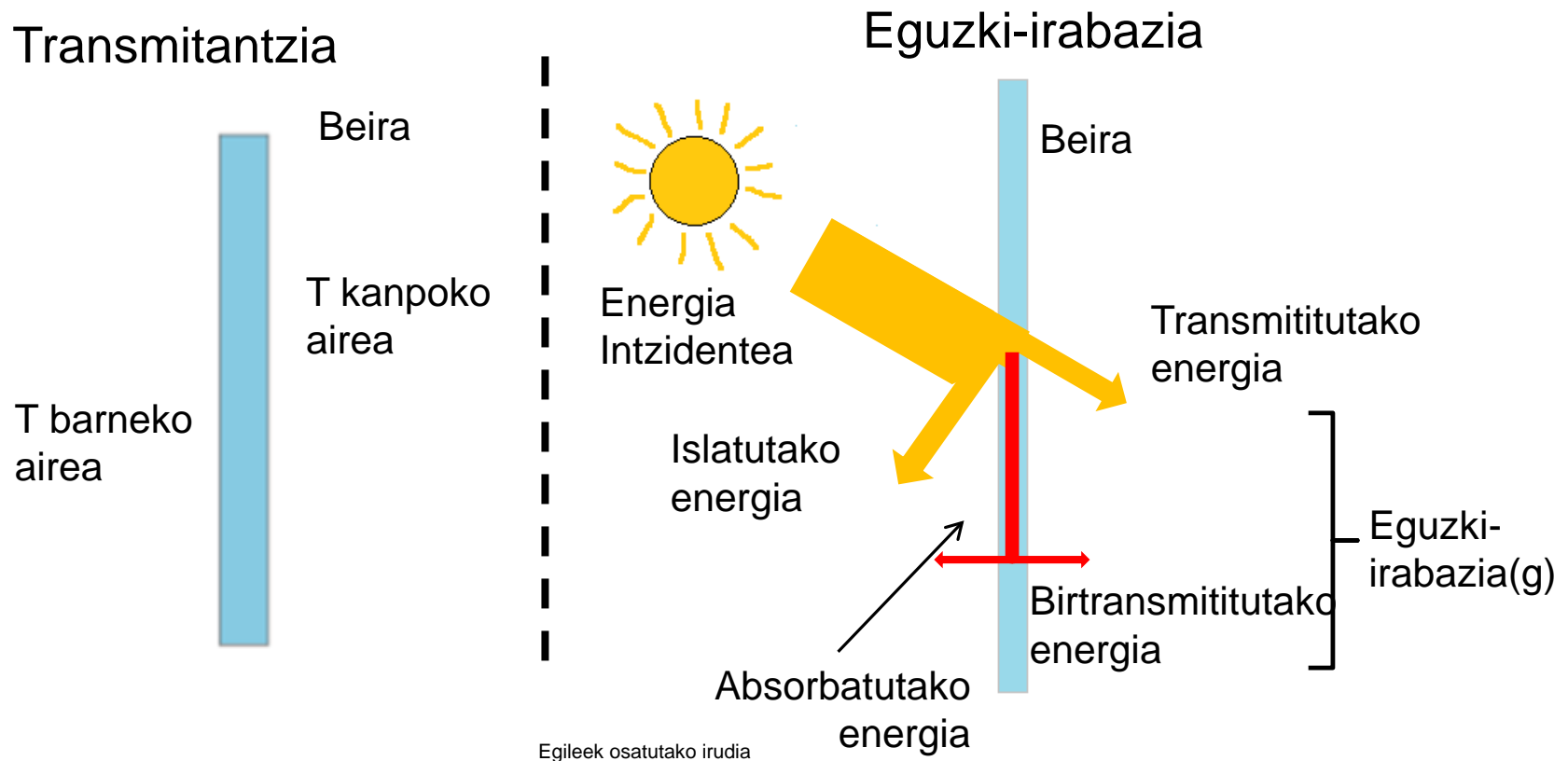
- Bero-transferentzia leihoetan

Aire-infiltrazioak ez dira kontsideratzen



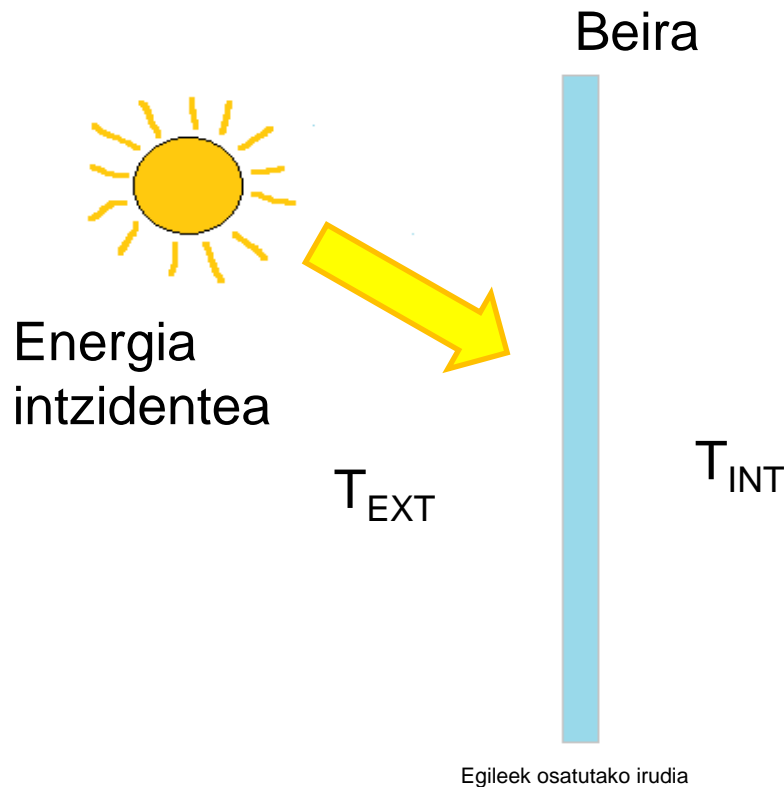
Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan



Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan



$$\dot{Q}_I = U \cdot A \cdot (T_{Ext} - T_{Int})$$

$$\dot{Q}_{II} = \tau \cdot A \cdot I$$

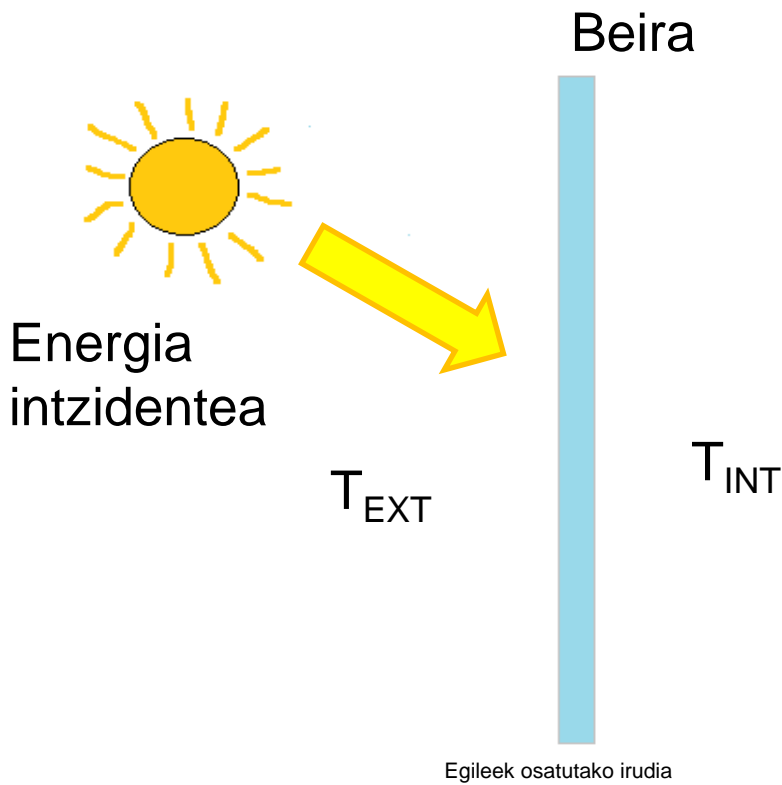
$$\dot{Q}_{III} = \alpha \cdot A \cdot I \cdot \frac{h_i}{h_i + h_e}$$

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (T_{Ext} - T_{Int}) + g \cdot A \cdot I$$

g \Rightarrow Eguzki-faktorea

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan



$$\dot{Q} = \dot{Q}_I + \dot{Q}_{II} + \dot{Q}_{III}$$

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (T_{Ext} - T_{Int}) + g \cdot A \cdot I$$

g \Rightarrow Eguzki-faktorea

Energia intzidentea eta eraikinaren barrura iristen den energiaren arteko erlazioa.

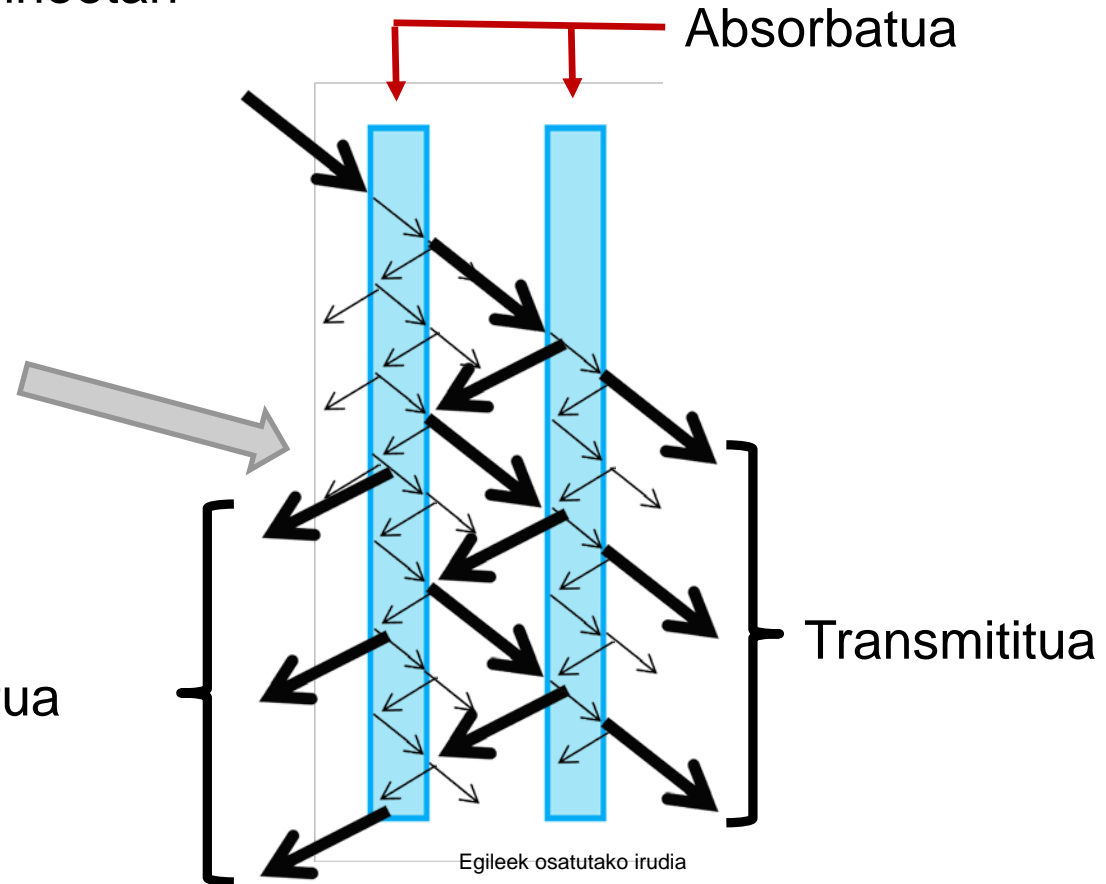
Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan

Leiho bikoitza

Gainazal desberdinetan
absortzio eta islapenak
agertzen dira

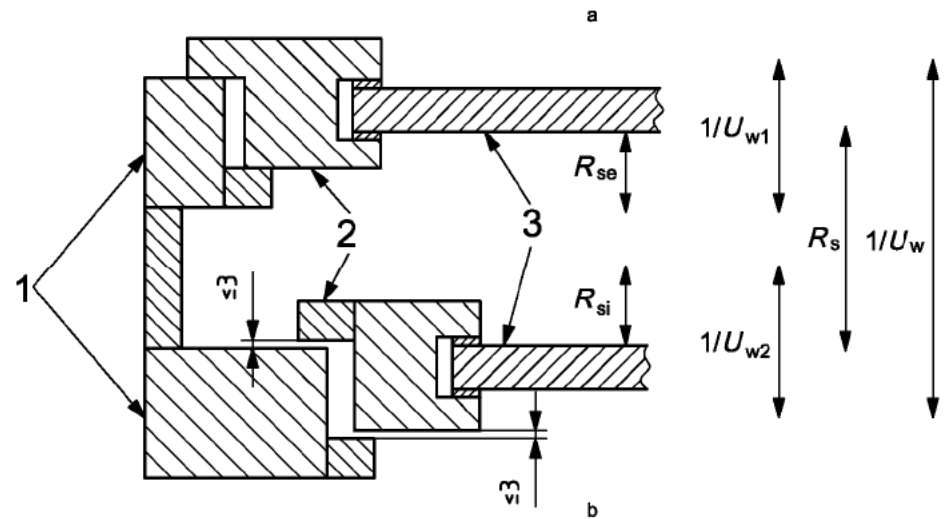
Islatua



Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmittantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)

UNE – EN ISO 10077-1



Leyenda

- 1 Marco (fijo)
- 2 Hoja (móvil)
- 3 Acristalamiento (sencillo o múltiple)

a Interior
b Exterior

Irudia. UNE-EN ISO 10077-1

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmittantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)

UNE – EN ISO 10077-1

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w_1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{w_2}}}$$

$$U_{w_{1,2}} = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

Beiraren konduktibitatea ezezaguna bada, erabili bedi $\lambda = 1,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ balioa.

$\Psi_g \Rightarrow$ Beira, banatzailea eta markoaren efektuengatik transmitantzia termiko lineala.

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmittantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)

UNE – EN ISO 10077-1

$$U_{W_{1,2}} = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

Tipo de marco	Transmitancia térmica lineal para distintos tipos de acristalamientos Ψ_g	
	Doble o triple acristalamiento vidrio sin revestir relleno de aire o gas	Doble ^a o triple ^b acristalamiento con vidrio bajo emisor relleno de aire o gas
Madera o PVC	0,06	0,08
Metálico con rotura de puente térmico	0,08	0,11
Metálico sin rotura de puente térmico	0,02	0,05

^a Una de las hojas de vidrio del doble acristalamiento revestida.
^b Dos hojas de vidrio del triple acristalamiento revestidas.

Jatorria: UNE – EN ISO 10077-1

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmittantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)

UNE – EN ISO 10077-1

$$U_{W_{1,2}} = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

Tipo de marco	Transmitancia térmica lineal para diferentes tipos de acristalamientos con prestaciones térmicas mejoradas Ψ_g	
	Doble o triple acristalamiento vidrio sin revestir relleno de aire o gas	Doble ^a o triple ^b acristalamiento con vidrio bajo emisivo relleno de aire o gas
Madera o PVC	0,05	0,06
Metálico con rotura de puente térmico	0,06	0,08
Metálico sin rotura de puente térmico	0,01	0,04

^a Una de las hojas de vidrio del doble acristalamiento revestida.
^b Dos hojas de vidrio del triple acristalamiento revestidas.

Jatorria: UNE – EN ISO 10077-1

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmittantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)

UNE – EN ISO 10077-1

Posición de la ventana	Interior R_{si} [m ² ·K/W]	Exterior R_{se} [m ² ·K/W]
Acrilamiento vertical o inclinado respecto a la horizontal con un ángulo, α , tal que $90^\circ \geq \alpha \geq 60^\circ$ (dirección del flujo de calor de $\pm 30^\circ$ respecto al plano horizontal)	0,13	0,04
Acrilamiento horizontal o inclinado respecto a la horizontal con un ángulo, α , tal que $60^\circ > \alpha \geq 0$ (dirección del flujo de calor de más de 30° respecto al plano horizontal)	0,10	0,04

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{w2}}}$$

Jatorria: UNE-EN ISO 10077-1:2006

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmittantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)

R_s , EN 673 Arauaren arabera

- Leihoak
- Aire-ganbera
- Estaldurarik gabe edo gainazal bat bakarrik emisibitate baxuko kapa batekin
- Batez besteko tenperatura 283 K eta $\Delta T = 15$ K kanpoalde bien artean

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w_1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{w_2}}}$$

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmittantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)

R_s EN 673 Arauaren arabera

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w_1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{w_2}}}$$

Espesor de la cámara de aire	Resistencia térmica R_s $m^2 \cdot K/W$				
	Una cara revestida, con una emisividad normal de:				Ambas caras sin revestir
mm	0,1	0,2	0,4	0,8	
6	0,211	0,191	0,163	0,132	0,127
9	0,299	0,259	0,211	0,162	0,154
12	0,377	0,316	0,247	0,182	0,173
15	0,447	0,364	0,276	0,197	0,186
50	0,406	0,336	0,260	0,189	0,179

Jatorria: UNE-EN ISO 10077-1

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmitantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)
 - Beiraren transmitantzia termikoa

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{g2}}}$$

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{l_j}{k_j} + \sum_j R_{s,j} + R_{se}}$$

- Beira simple eta laminatuen kasuan

$$U_{g1,2} = \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{l_j}{k_j} + R_{se}}$$

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

Acristalamiento				Transmitancia térmica para diferentes tipos de gases de la cámara ^a U_g				
Tipo	Vidrio	Emisividad normal	Dimensiones mm	Aire	Argón	Kriptón	SF ₆ ^b	Xenón
Doble acristalamiento	Vidrio sin revestimiento (vidrio flotado)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0	2,6
			4-8-4	3,1	2,9	2,7	3,1	2,6
			4-12-4	2,8	2,7	2,6	3,1	2,6
			4-16-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
	Un vidrio revestido	≤ 0,2	4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3	1,6
			4-8-4	2,4	2,1	1,7	2,4	1,6
			4-12-4	2,0	1,8	1,6	2,4	1,6
			4-16-4	1,8	1,6	1,6	2,5	1,6
			4-20-4	1,8	1,7	1,6	2,5	1,7
	Un vidrio revestido	≤ 0,15	4-6-4	2,6	2,3	1,8	2,2	1,5
			4-8-4	2,3	2,0	1,6	2,3	1,4
			4-12-4	1,9	1,6	1,5	2,3	1,5
			4-16-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5
			4-20-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5
	Un vidrio revestido	≤ 0,1	4-6-4	2,6	2,2	1,7	2,1	1,4
			4-8-4	2,2	1,9	1,4	2,2	1,3
			4-12-4	1,8	1,5	1,3	2,3	1,3
			4-16-4	1,6	1,4	1,3	2,3	1,4
			4-20-4	1,6	1,4	1,4	2,3	1,4
Un vidrio revestido	≤ 0,05	4-6-4	2,5	2,1	1,5	2,0	1,2	
		4-8-4	2,1	1,7	1,3	2,1	1,1	
		4-12-4	1,7	1,3	1,1	2,1	1,2	
		4-16-4	1,4	1,2	1,2	2,2	1,2	
		4-20-4	1,5	1,2	1,2	2,2	1,2	

Jatorria: UNE-EN ISO 10077-1


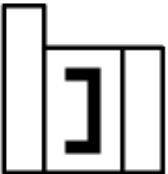
Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

Acristalamiento				Transmitancia térmica para diferentes tipos de gases de la cámara ^a U_g				
Tipo	Vidrio	Emisividad normal	Dimensiones mm	Aire	Argón	Kriptón	SF ₆ ^b	Xenón
Triple acristalamiento	Vidrio sin revestimiento (vidrio flotado)	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	1,9	1,7
			4-8-4-8-4	2,1	1,9	1,7	1,9	1,6
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0	1,6
	Dos vidrios revestido	≤ 0,2	4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,3	1,0	1,3	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,3	0,8
	Dos vidrios revestido	≤ 0,15	4-6-4-6-4	1,7	1,4	1,1	1,2	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,2	0,9	1,2	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,7	1,3	0,7
	Dos vidrios revestido	≤ 0,1	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0	1,1	0,8
			4-8-4-8-4	1,4	1,1	0,8	1,1	0,7
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2	0,6
	Dos vidrios revestido	≤ 0,05	4-6-4-6-4	1,6	1,2	0,9	1,1	0,7
			4-8-4-8-4	1,3	1,0	0,7	1,1	0,5
			4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1	0,5

Jatorria: UNE-EN ISO 10077-1

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmitantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)

Material del marco	Tipo de marco	U_f W/(m ² ·K)
Poliuretano	Con núcleo metálico Espesor de PUR ≥ 5 mm	2,8
Perfiles huecos de PVC ^a	Con dos cámaras exterior  interior	2,2
	Con tres cámaras exterior  interior	2,0

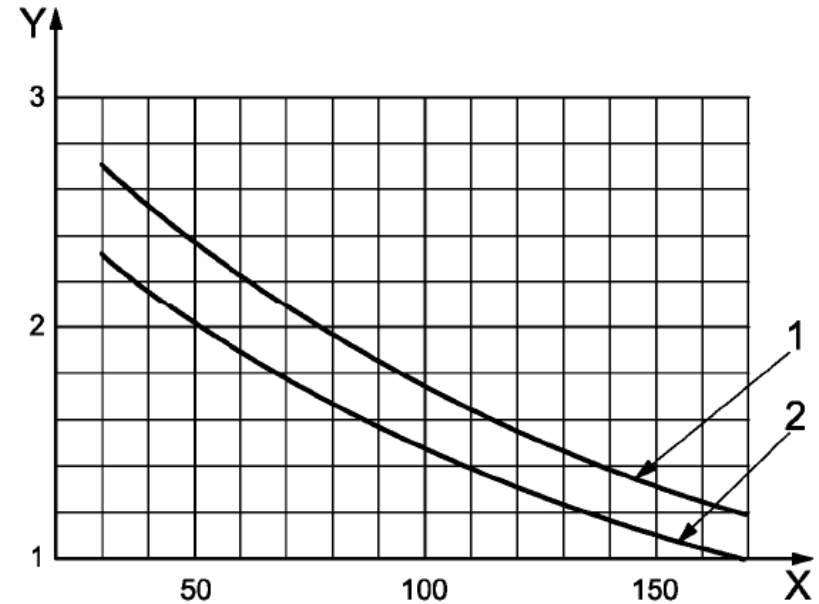
^a La distancia entre las paredes cada cavidad o cámara debe ser al menos de 5 mm (véase figura D.1).

Jatorria: UNE-EN ISO 10077-1

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmittantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)

Egurrezko markoa \Rightarrow



Leyenda

X Espesor del marco, d_f , expresado en milímetros

Y Transmittancia térmica del marco, U_f , en $W/(m^2 \cdot K)$

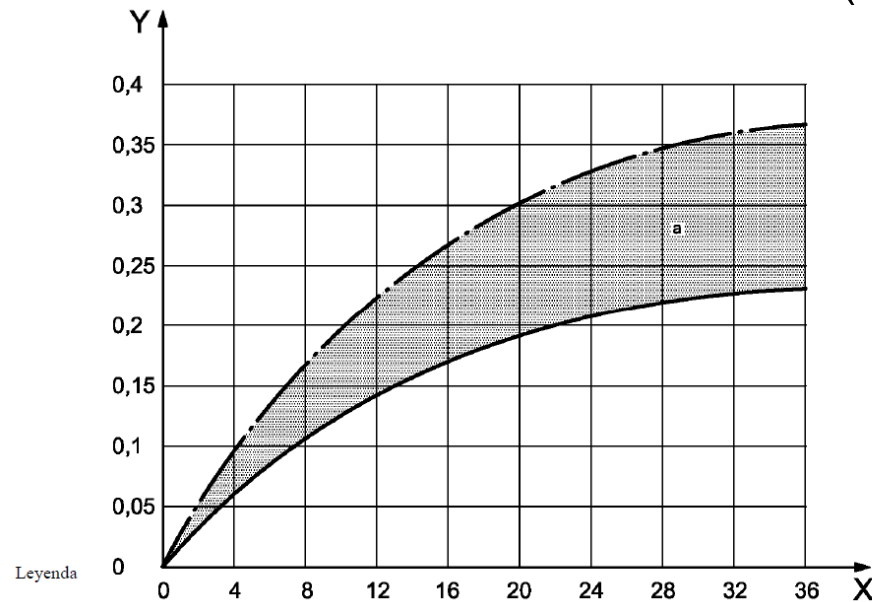
1 Frondosas (densidad 700 kg/m^3 , $\lambda = 0,18 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)

2 Coníferas (densidad 500 kg/m^3 , $\lambda = 0,13 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)

Jatorria: UNE-EN ISO 10077-1

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmittantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)



X Menor distancia, d , entre las secciones metálicas opuestas, expresada en milímetros

Y Resistencia térmica, R_f , del marco, expresada en $m^2 \cdot K/W$

^a La zona sombreada indica la gama de valores obtenidos a partir de numerosas mediciones sobre marcos, realizadas en varios países europeos, a partir de la diferencia de temperatura superficial de una parte a otra del marco.

Jatorria: UNE-EN ISO 10077-1

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Transmittantzia termikoaren kalkulua (Leiho bikoitzak)
 - Markoaren transmittantzia termikoa
 - ISO 10077-2 Araua \Rightarrow Zenbakizko metodoak
 - EN 12412-2 Araua \Rightarrow Kutxa beroa

Ohiko materialen kasuan, ISO 10077-1 Arauak ematen ditu transmittantzia termikoaren balioak.

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Argi-ezaugarriak eta eguzki-faktorea
 - Beirak
 - UNE – EN 410 Araua
 - Transmitibitate monokromatikoa, $\tau(\lambda)$
 - Islatibitate monokromatikoa,
 - *Barnekoa* $\rho_i(\lambda)$, *kanpokoa*, $\rho_o(\lambda)$
 - Argiarekiko transmitibitate, $\tau_V(\lambda)$
 - Argiarekiko islatibitatea,
 - *Kanpokoa* $\rho_o(\lambda)$, e *barnekoa*, $\rho_i(\lambda)$
- 300 –
2.500 nm
- Argi
ikuskorra

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan
 - Argi-ezaugarriak eta eguzki-faktorea
 - Beirak
 - UNE – EN 410 Araua
 - Eguzki-transmitibitate zuzena, τ_e
 - Eguzki-islatibitate zuzena, ρ_e
 - Eguzki-transmitibitate zuzena (eguzki-faktorea), g
 - UV izpien transmitibitate, τ_{UV}

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan



EKT

- UNE EN ISO 10077
- Bestela

$$U_H = (1 - FM) U_{H,g} + FM \cdot U_{H,m}$$

$U_{H,v}$ \Rightarrow Zati erdi-gardeneko transmitantzia termikoa, $\frac{W}{m^2 \cdot K}$.

$U_{H,m}$ \Rightarrow Markoaren transmitantzia termikoa, $\frac{W}{m^2 \cdot K}$.

FM \Rightarrow Markoaren azalera eta leiho osoaren azalaren arteko erlazioa.

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan \longrightarrow EKT
 - Leiho eta argi-zuloen eguzki-faktore aldatua

$$F = F_S \cdot [(1 - FM)g + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha]$$

F_S \longrightarrow Leiho-zuloaren itzal-faktorea, taulak begiratu. Behar bezala ezin bada justifikatu har bedi unitatea.

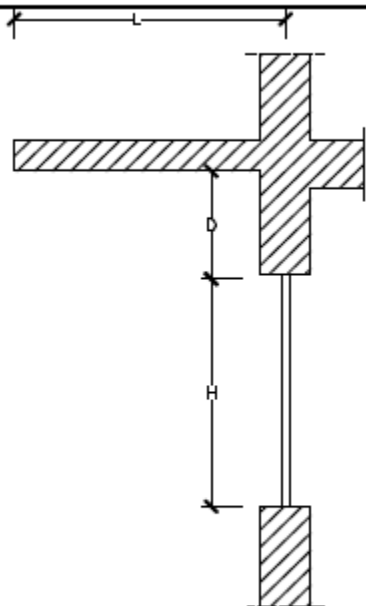
g \longrightarrow Intzidentzia normalarekiko zati erdi-gardenaren eguzki-faktorea.

α \longrightarrow Markoaren absortibitatea.

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan

Factor de sombra para obstáculos de fachada: Voladizo



NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

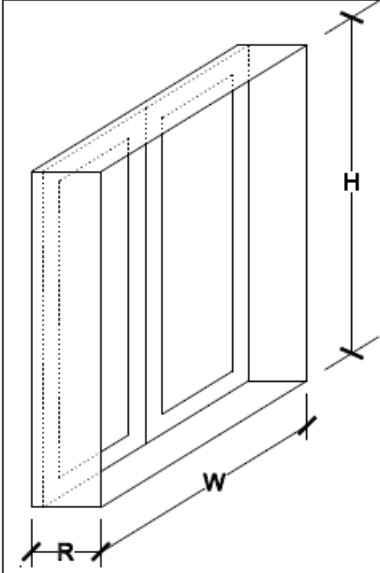
ORIENTACIONES DE FACHADAS			$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
		S	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50	0,28
$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87		0,64	0,39	0,22	
$D/H > 0,5$	0,93		0,82	0,60	0,39	
SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16	
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60	0,27	
	$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84	0,65	
E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92	0,77	0,55	0,22	
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96	0,86	0,70	0,43	
	$D/H > 0,5$	0,99	0,96	0,89	0,75	

Jatorria: Eraikuntzaren Kode Teknikoa.

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan

Factor de sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo



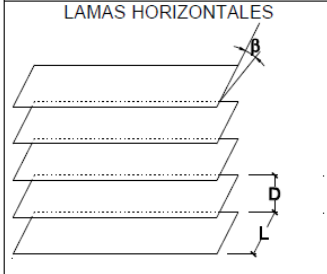
ORIENTACIONES DE FACHADAS			$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
S	$0,05 < R/H \leq 0,1$		0,82	0,74	0,62	0,39
	$0,1 < R/H \leq 0,2$		0,76	0,67	0,56	0,35
	$0,2 < R/H \leq 0,5$		0,56	0,51	0,39	0,27
	$R/H > 0,5$		0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$		0,86	0,81	0,72	0,51
	$0,1 < R/H \leq 0,2$		0,79	0,74	0,66	0,47
	$0,2 < R/H \leq 0,5$		0,59	0,56	0,47	0,36
	$R/H > 0,5$		0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$		0,91	0,87	0,81	0,65
	$0,1 < R/H \leq 0,2$		0,86	0,82	0,76	0,61
	$0,2 < R/H \leq 0,5$		0,71	0,68	0,61	0,51
	$R/H > 0,5$		0,53	0,51	0,48	0,39

Jatorria: Eraikuntzaren Kode Teknikoa.

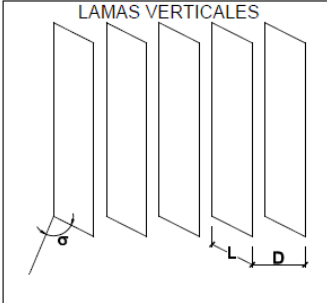
Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

■ Bero-transferentzia leihoetan

Factor de sombra para obstáculos de fachada: lamas

LAMAS HORIZONTALES		ORIENTACIÓN	ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
			0	30	60
	SUR	0,49	0,42	0,26	
	SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26	
	ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27	

Jatorria: Eraikuntzaren Kode Teknikoa.

LAMAS VERTICALES		ORIENTACIÓN	ANGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
			-60	-45	-30	0	30	45	60
	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32	
	SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30	
	ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32	
	OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29	
	SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38	

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1. El ángulo σ debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria.

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan

Factor de sombra para obstáculos de fachada: toldos

	CASO A		Tejidos opacos $\tau=0$		Tejidos translúcidos $\tau=0,2$	
	α	SE/S/SO	E/O	SE/S/SO	E/O	
	30	0,02	0,04	0,22	0,24	
	45	0,05	0,08	0,25	0,28	
	60	0,22	0,28	0,42	0,48	

	CASO B			Tejidos opacos $\tau=0$			Tejidos translúcidos $\tau=0,2$		
	α	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O		
	30	0,43	0,61	0,67	0,63	0,81	0,87		
	45	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60		
	60	0,14	0,39	0,28	0,34	0,42	0,48		

Jatorria: Eraikuntzaren Kode Teknikoa.

Erregimen egonkorra: ITXITURA ERDI-GARDENAK

- Bero-transferentzia leihoetan

		Factor de sombra para lucernarios					
		Y / Z					
		0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
X / Z	0,1	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44
	0,5	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52
	1,0	0,43	0,48	0,52	0,55	0,58	0,59
	2,0	0,43	0,50	0,55	0,60	0,66	0,68
	5,0	0,44	0,51	0,58	0,66	0,75	0,79
	10,0	0,44	0,52	0,59	0,68	0,79	0,85

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en esta tabla son válidos para lucernarios sensiblemente horizontales.
 En caso de lucernarios de planta elíptica o circular podrán tomarse como dimensiones características equivalentes los ejes mayor y menor o el diámetro.

Jatorria: Eraikuntzaren Kode Teknikoa.

1. Gaia: Bero-transferentzia itxituratan erregimen egonkor eta ez-egonkorrean

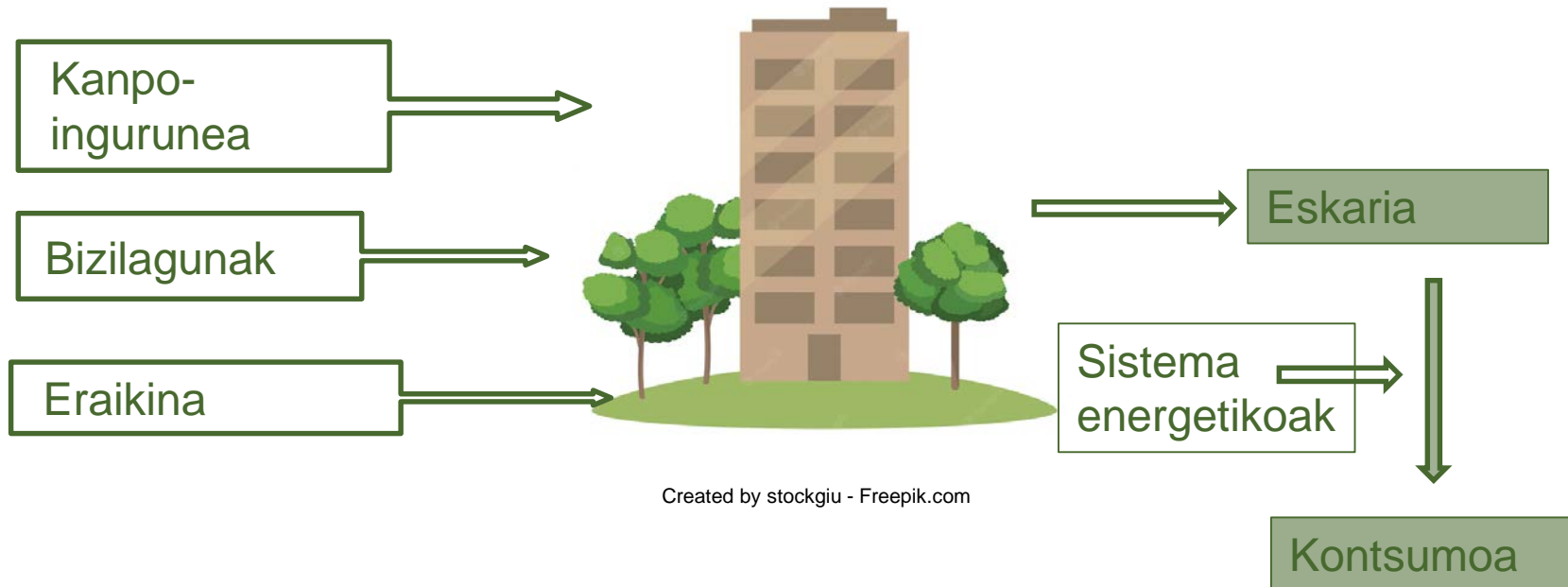
2. zatia: Bero-transmisioa erregimen ez-egonkorrean

Erregimen egonkorra vs. Erregimen ez-egonkorra

- Erregimen egonkorra vs. Erregimen ez-egonkorra
- Horma lauen portaera dinamikoa
- Inguruneko eta hasierako baldintzak
- Metodo analitikoak
 - Aldagaiak bereizteko metodoa
 - Laplace-ren transformatuaren metodoa
- Eskarien hurbilketan oinarritutako metodoak
 - Erantzute-faktoreak
 - Transferentzia-funtzioen koefizienteak
 - Metodo harmonikoak
- Zenbakizko metodoak

Erregimen egonkorra vs. Erregimen ez-egonkorra

Eraikina bere osotasunean



Erregimen egonkorra vs. Erregimen ez-egonkorra

Kalkulu energetikoak

- Modu mailakatuan egiten dira

Inguratzailea \Rightarrow Barneko ingurunea definitzen du

- Fatxadak
- Estalkia
- Leihoak
- Barneko trenkada

Erregimen egonkorra vs. Erregimen ez-egonkorra

Kalkulu energetikoak

Eraikinaren geometria eta inguratzailearen ezaugarri termikoak definitu ondoren



Erregimen egonkorra vs. Erregimen ez-egonkorra

Kalkulu energetikoak

- Oinarrizko ereduak matematikoak
 - Eredu estatikoak \longrightarrow Erregimen egonkorra

Arbuiatu egiten da:



Erregimen egonkorra vs. Erregimen ez-egonkorra

Inertzia Termikoa

- Eraikinen eskaria aldatu egiten da klima eta eguraldiaren arabera
 - Kanpo-ingurunea
 - Erabilera-baldintzak
- Inertzia termikoa kontutan hartzea derrigorrezkoa da

Erregimen ez-egonkorra

Erregimen egonkorra vs. Erregimen ez-egonkorra

Erregimen ez-egonkorra

- Inbariantza hipotesia

Eredu fisikoarena, ez ereduaren erregimen termikoarena.



Inguratzailearen konfigurazioa eta ezaugarri termofisikoak ez dira aldatzen.

Erregimen egonkorra vs. Erregimen ez-egonkorra

Erregimen ez-egonkorra

- Eredu termikoak
 - Eredu osoak
 - Eredu partzialak
 - Azpisistemez osatuak: Kalkuluak errazten ditu
 - Fatxadak
 - Leihoak
 - Estalkiak
 - Barneko trenkada

Kondukzioaren ekuazio orokorraren ebazpena

Pareta lauen portaera ez-egonkorra edo trantsitorioa

Kondukzioaren ekuazio orokorra: dimentsio bakarreko bero-fluxua

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{e}_{Gen}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

$\dot{e}_{Gen} \longrightarrow$ Bolumen eta denbora unitateko bero-garapena $\left[\frac{W}{m^3} \right]$.

Kasu bereziak $\dot{e}_{Gen} \neq 0$

- Zoru bero-emailea

Pareta lauen portaera ez-egonkorra edo trantsitorioa

Kondukzioaren ekuazio orokorra: dimentsio bakarreko bero-fluxua

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T(x,t)}{\partial t}$$

$$\dot{e}_{Gen} = 0$$

Ekuazio diferentzial parabolikoa.

Ingurune-baldintzak eta hasierako baldintzak

Kondukzio dimentsio bakarraren ekuazio diferentziala

- Ingurune-baldintzak

1. mailako ingurune-baldintzak (Dirichlet).

Gainazaleko tenperatura ezaguna izatea:

$$T(0, t) = T_0$$

$$T(l, t) = T_1$$

Ingurune-baldintzak eta hasierako baldintzak

Kondukzio dimentsio bakarraren ekuazio diferentziala

- Ingurune-baldintzak

2. mailako ingurune-baldintzak (Neumann).

Bero-fluxu ezaguna:

$$-k \cdot \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = \dot{q}_0$$

$$-k \cdot \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=l} = \dot{q}_1$$

Kasu partikularra: $-k \cdot \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$

Ingurune-baldintzak eta hasierako baldintzak

Kondukzio dimentsio bakarraren ekuazio diferentziala

- Ingurune-baldintzak

3 mailako ingurune-baldintzak.

Fluido batekin kontaktuan, fluidoaren tenperatura ezaguna:

$$-k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_e \cdot (T(0, t) - T_e(t))$$

$$-k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=l} = h_i \cdot (T(l, t) - T_i(t))$$

Ingurune-baldintzak eta hasierako baldintzak

Kondukzio dimentsio bakarraren ekuazio diferentziala

- Hasierako baldintzak

Hasierako aldiunean definitzen den egoera da.

$$T(x,0) = f(x)$$

Ingurune-baldintzak eta hasierako baldintzak

Kondukzio dimentsio bakarraren ekuazio diferentziala

- Hipotesia
 - Sistema homogeen eta isotropoak
 - Sistema linealak
 - Sistema aldaezinak
 - Ekuazio lineal homogeneoa \Rightarrow Ez dago bero-garapenik

Ebazpen-metodoak

Bero-kondukzioaren ekuazioaren ebazpen-metodoak

- Metodo analitikoak
 - Aldagaien bereizketa
 - Laplace transformatua
- Ebazpen-metodo hurbilduak
 - Zenbakizko metodoak (DF, VF, EF)
 - Eskarien hurbilketa metodoak (FR, CTF, AR)

Metodo analitikoak

- Metodirik zaharrenak dira.
- Ekuazioa zehazki ebazten da.
- Zenbakizko metodoen eta metodo hurbilduen garapenerako oinarria dira.
- Aplikazio-eremua murrizta da (adibidez, pareta lau eta homogeneoetan kondukzio dimentsio bakarra).

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

$T = T(x,t)$ funtzioa, bi funtziotan bereizten da:

- Kokapenaren funtzio dena $f(x)$
- Denboraren funtzio dena $g(t)$

Hurrengoa lortzen delarik $T(x,t) = f(x) \cdot g(t)$.

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(x,t)}{\partial t}$$

$$T(0,t) = h_1(t)$$

$$T(l,t) = h_2(t)$$

$$T(x,0) = h_3(x)$$

Helburua:

Ekuazio orokorra ebaztea

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(x,t)}{\partial t}$$

$$\left. \begin{array}{l} T(0,t) = 0 \\ T(l,t) = 0 \end{array} \right\} \text{Ingurune-baldintza} \\ \text{homogeneoak}$$

$$T(x,0) = h(x)$$

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

Eraitza:

$$T(x, t) = \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot e^{\frac{-n^2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha}{l^2} \cdot t} \int_0^l h(x) \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot dx$$

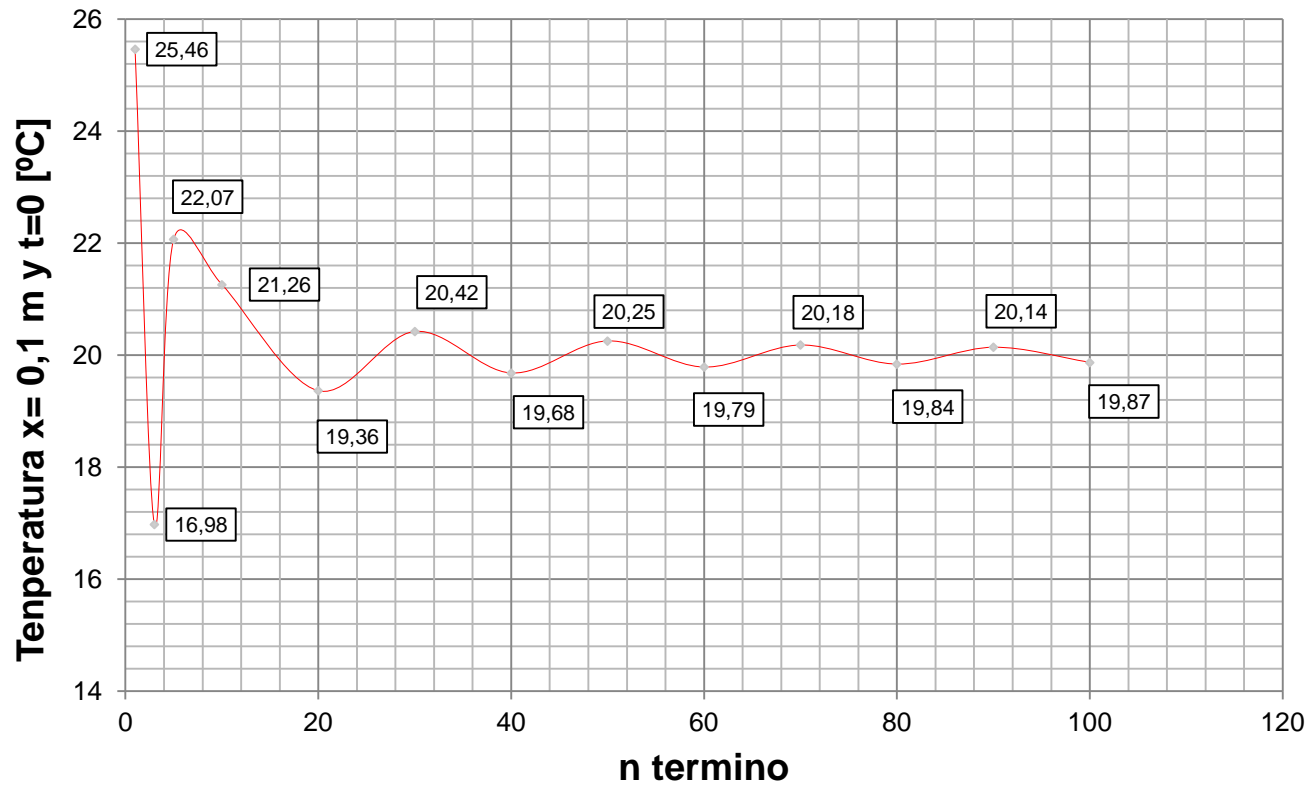
Baldin eta

$$T(x, 0) = h(x) = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T(x, t) = \frac{80}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cdot \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot e^{\frac{-n^2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha}{l^2} \cdot t}$$

Metodo analitikoak

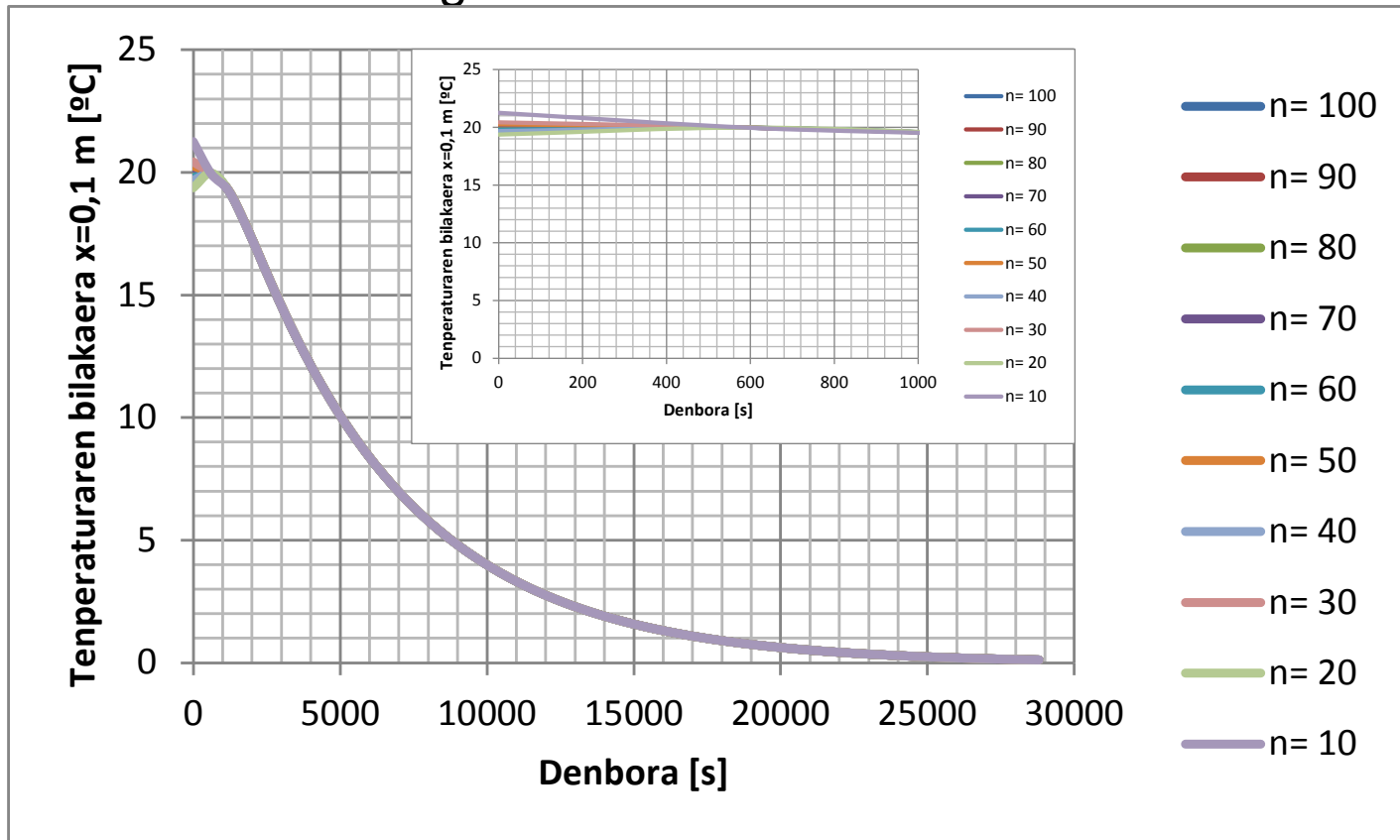
n -ren eragina



Egileek osatutako irudia

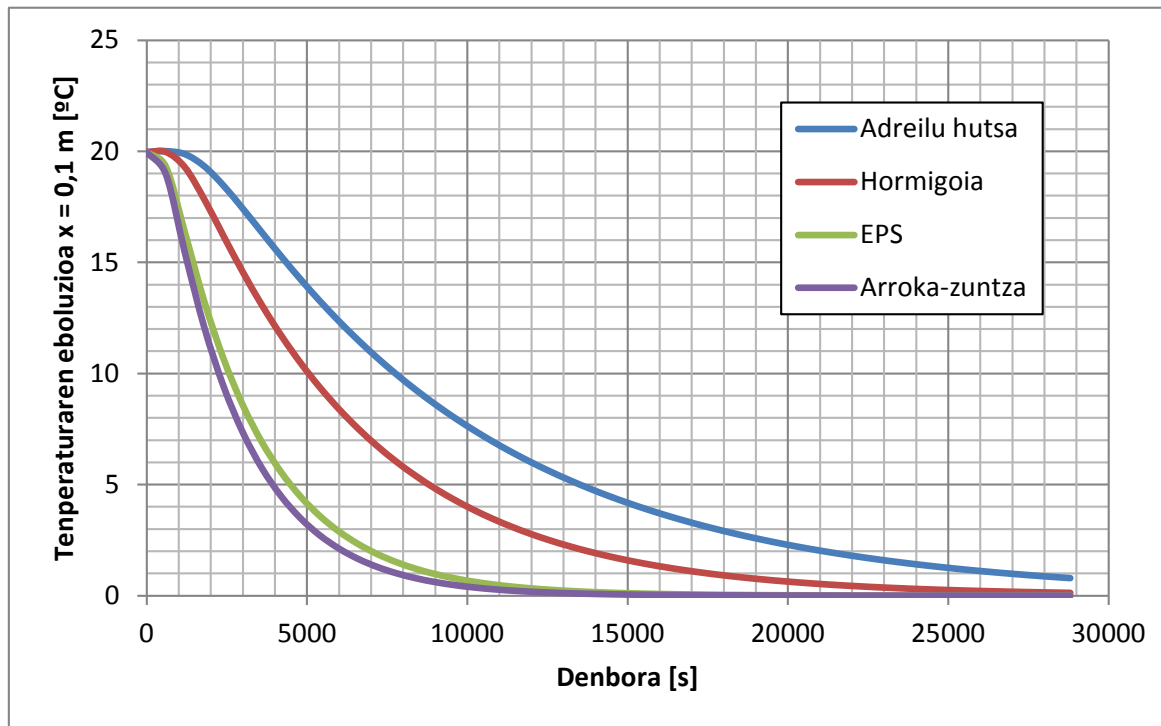
Metodo analitikoak

n -ren eragina



Metodo analitikoak

Materialaren eragina



Egileek osatutako irudia

$$\alpha_{\text{Adreilu hutsa}} = 4,884 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{kW}}$$

$$\alpha_{\text{Hormigoia}} = 7,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{kW}}$$

$$\alpha_{\text{EPS}} = 1,471 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{kW}}$$

$$\alpha_{\text{Arroka-zuntza}} = 1,68 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{kW}}$$

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(x,t)}{\partial t}$$

$$T(0,t) = 1$$

$$T(l,t) = 0$$

$$T(x,0) = 0$$

Ingurune-baldintza **ez**-homogeneoak

Maila unitarioa $T(x,t) = f(x) + g(x,t)$

Zati homogeneoa

Zati ez-homogeneoa

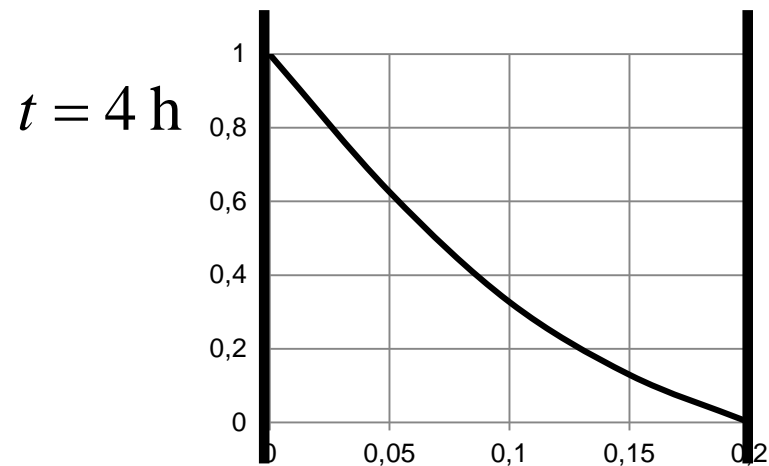
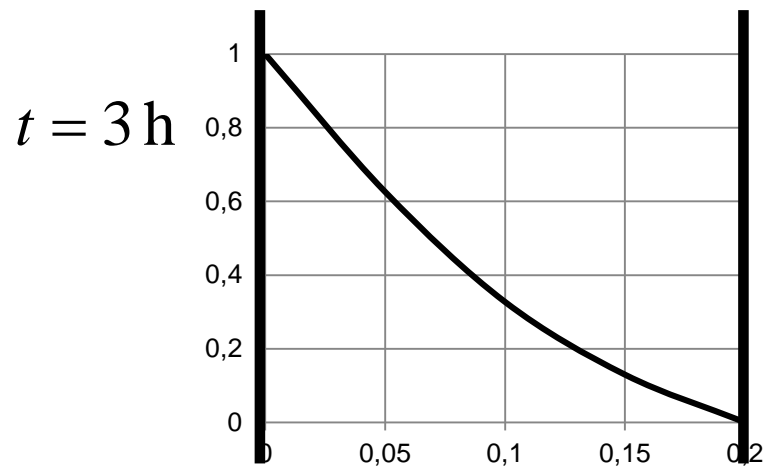
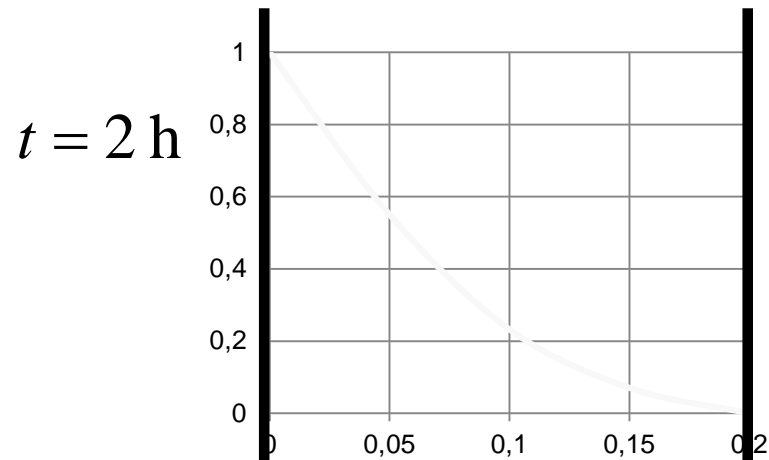
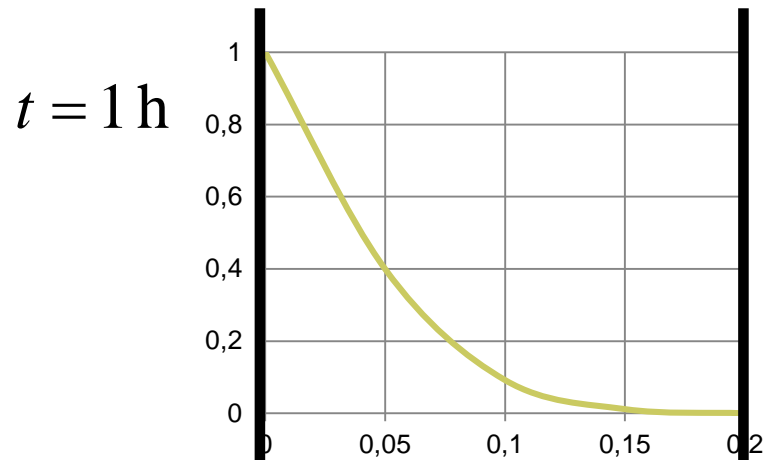
Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

Ebazpena:

$$T(x, t) = \left(1 - \frac{x}{l}\right) - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cdot \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot e^{-\frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha \cdot t}{l^2}}$$

Metodo analitikoak



Egileek osatutako irudia

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} &= \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} \\ T(0,t) &= h_1(t) \\ T(l,t) &= h_2(t) \\ T(x,0) &= h_3(x) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} T(x,t) &= f(x,t) + g(x,t) \\ T(x,t) &= u(x) \cdot v(t) + w(x) \cdot y(t) \\ f(x,t) &= u(x) \cdot v(t) \\ g(x,t) &= w(x) \cdot y(t) \end{aligned}$$

Zati homogeneoa eta Duhamel-en printzipioa erabiliz ebatzitako zatia

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

$$\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial f(x,t)}{\partial t}$$

$$f(0,t) = 0$$

$$f(l,t) = 0$$

$$f(x,0) = h_3(x)$$

$$\frac{\partial^2 g(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial g(x,t)}{\partial t}$$

$$g(0,t) = h_1(t)$$

$$g(l,t) = h_2(t)$$

$$g(x,0) = 0$$

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

- $f(x,t)$ -ren ebazpena zati homogeneoarentzat:

Jada ebatzi dugu!

$$f(x,t) = \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot e^{\frac{-n^2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha}{l^2} \cdot t} \int_0^l h_3(x) \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot dx$$

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

- $g(x,t)$ -ren ebazpena zati ez-homogeneoarentzat:

Maila funtzioari dagokion erantzuna ezaguna bada, Duhamel-en printzipioa erabiliz, edozein seinaleri dagokion erantzuna determina dezakegu.

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

- $g(x,t)$ -rentzat problema ez-homogeneoaren soluzioa:

$H(x,t)$, inguratzaillearen gainazalean aplikatutako maila motako seinalearen erantzuna da beste gainazaleko seinalea zeroan mantenduz:

Konboluzio integralaren bidez, $h(t)$ -ri dagokion $R(x,t)$ erantzuna lortzen da:

$$R(x,t) = \int_0^t h(\tau) \frac{\partial}{\partial t} H(x,t-\tau) d\tau = \int_0^t H(x,t-\tau) \frac{\partial h(\tau)}{\partial t} d\tau$$

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

- $g(x,t)$ -rentzat problema ez-homogeneoaren soluzioa:

Kasu orokorrean, barnealdeko eta kanpoaldeko gainazalak kitzikatu daitezke:

$$g(0,t) = h_1(t) \implies \text{Kanpoaldeko gainazala}$$

$$g(l,t) = h_2(t) \implies \text{Barnealdeko gainazala}$$

$$R(x,t) = \int_0^t \left[h_1(\tau) \frac{\partial H_1(x,t-\tau)}{\partial t} + h_2(\tau) \frac{\partial H_2(x,t-\tau)}{\partial t} \right] \cdot d\tau$$

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

- $g(x,t)$ -rentzat problema ez-homogeneoaren soluzioa:

$$R(x,t) = \int_0^t \left[h_1(\tau) \frac{\partial H_1(x,t-\tau)}{\partial t} + h_2(\tau) \frac{\partial H_2(x,t-\tau)}{\partial t} \right] \cdot d\tau$$

$$H_1(x,t-\tau) = \left(1 - \frac{x}{l}\right) - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot e^{-\frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha}{l^2} \cdot (t-\tau)}$$

$$H_2(x,t-\tau) = \frac{x}{l} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos(n \cdot \pi) \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot e^{-\frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha}{l^2} \cdot (t-\tau)}$$

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

- $g(x,t)$ -rentzat problema ez-homogeneoaren soluzioa:

$$\underline{g(x,t)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha}{l^2} \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot e^{\frac{-n^2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha}{l^2} \cdot t} \cdot \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \int_0^t e^{\frac{-n^2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha}{l^2} \cdot \tau} \cdot [h_1(\tau) - (-1)^n \cdot h_2(\tau)] d\tau$$

Metodo analitikoak

Aldagaien bereizketa metodoa

- Problema orokorraren soluzioa:

$$T(x, t) = f(x, t) + g(x, t)$$

$$\underline{f(x, t)} = \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot e^{\frac{-n^2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha}{l^2} \cdot t} \int_0^l h_3(x) \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot dx$$

$$\underline{g(x, t)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha}{l^2} \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot e^{\frac{-n^2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha}{l^2} \cdot t} \cdot \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{l} \cdot x\right) \cdot \int_0^t e^{\frac{-n^2 \cdot \pi^2 \cdot \alpha}{l^2} \cdot \tau} \cdot [h_1(\tau) - (-1)^n \cdot h_2(\tau)] d\tau$$

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

- Oso erabilia da ekuazio diferentzial linealen kasuan
- Ekuazio diferentziala, ekuazio algebraiko batetan bihurtzeko erabiltzen da

$$L[f(t)] = \bar{f}(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-s \cdot t} dt$$

- Laplace transformatuak definitzeko taulak eskura ditugu, baita ere bere propietateak definitzen dituztenak ere

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

- Ekuazio algebraikoak ebazteko erreza dira.
- Soluzioa berriz jatorrizko espaziora transformatu behar da.

$$f(t) = L^{-1}[\bar{f}(s)] = \frac{1}{2\pi} \int_{c-i\omega}^{c+i\omega} f(s) e^{s \cdot t} ds$$

- Integral honen kalkulua normalean zaila izaten da.

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

- Garrantzitsuak diren teorema batzuk kontutan izan behar dira.
- Alderantzizko transformatua lortzeko:
 - Taulak erabil ditzakegu
 - Hondarren teorema

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

- Erantzun inpultsionala eta konboluzio integrala

$$G(s) = \frac{R(s)}{E(s)}$$

$G(s)$ \Rightarrow Transferentzia-funtzioa

$R(s)$ \Rightarrow Erantzunaren Laplace transformatua

$E(s)$ \Rightarrow Sarreraren Laplace transformatua

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

$e(t)$ sarrera, $\delta(t)$ inpultsu unitario funtzio bat bada

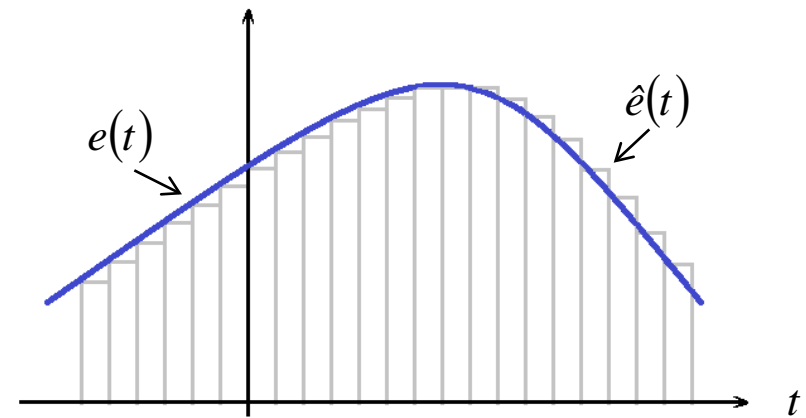
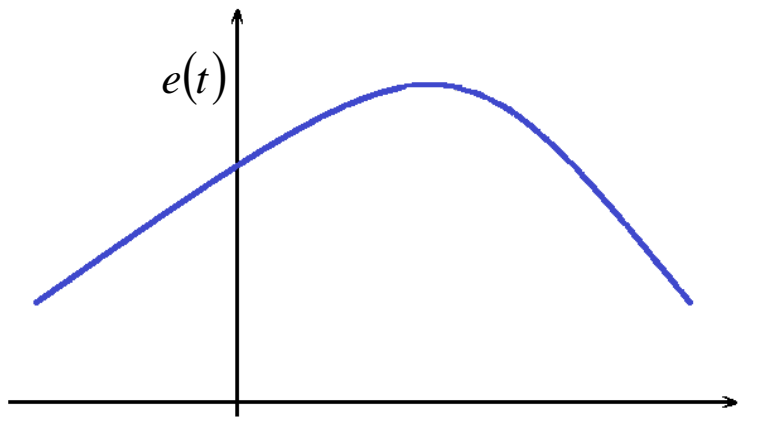
$$e(t) = \delta(t) \rightarrow L(\delta(t)) = E(s) = 1$$

$$R(s) = G(s)$$

Alderantzizko transformatua $\Rightarrow r(t) = g(t) = \varphi(t)$

Metodo analitikoak

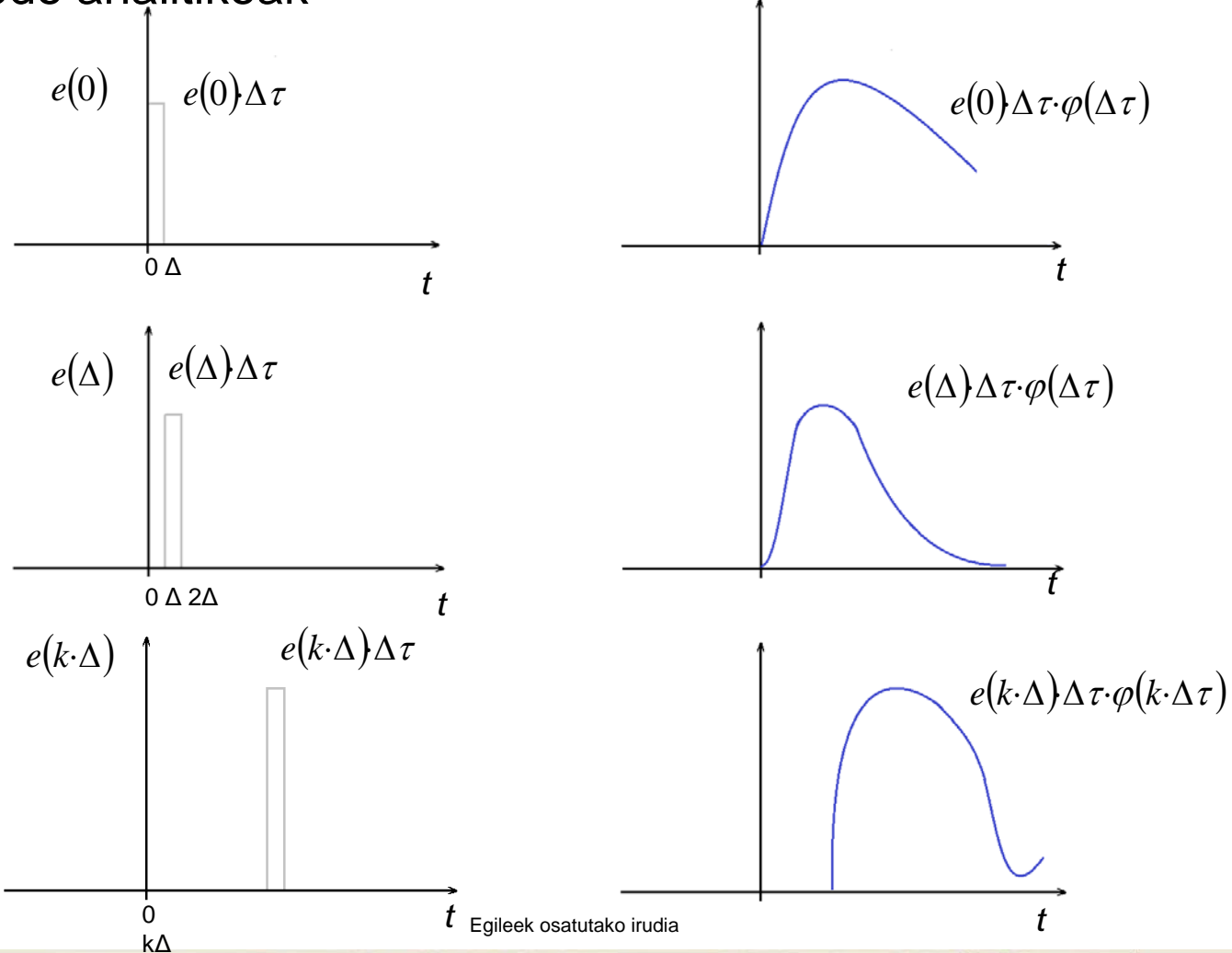
Laplace transformatuaren metodoa



Egileek osatutako irudia

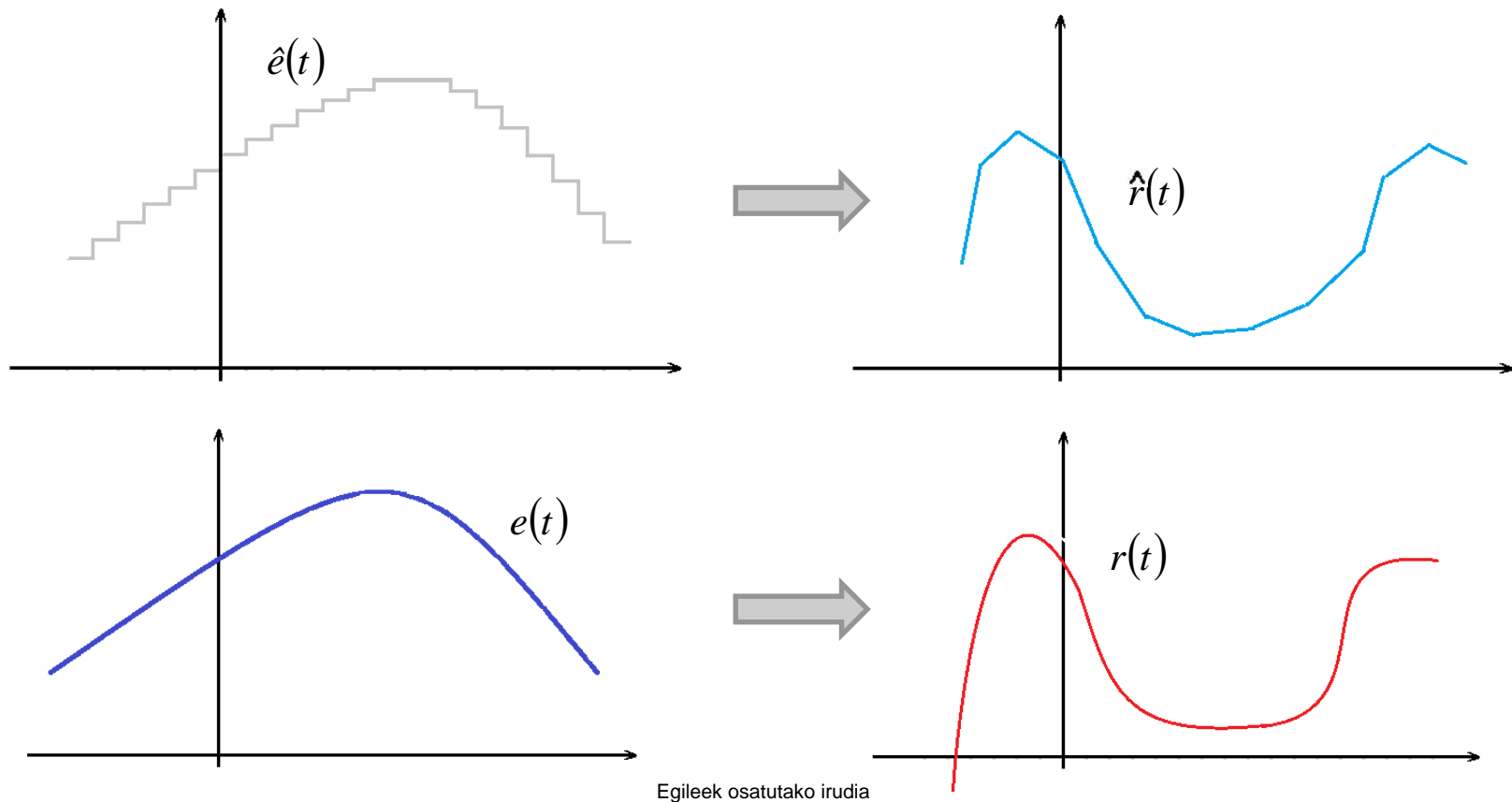
Baldin eta $\Delta \rightarrow 0$, inpulstu serie bat izango dugu

Metodo analitikoak



Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa



Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

- Inpultsu unitarioa erabiltzen da
- Aldiune bakoitzeko kitzikaduren erantzunak batzen dira

$$r(t) = \lim_{\substack{\Delta\tau \rightarrow 0 \\ n \rightarrow \infty}} \sum \varphi(k \cdot \Delta\tau) e(t - k \cdot \Delta\tau) \Delta\tau$$

$$r(t) = \int_0^{\infty} \varphi(\tau) e(t - \tau) d\tau = \varphi(t) * e(t)$$

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(x,t)}{\partial t}$$

$$\left. \begin{array}{l} T(0,t) = 0 \\ T(l,t) = \delta(t) \end{array} \right\} \text{Inguratzailearen barnealdeko} \\ \text{gainazalean inpultsua}$$

$$T(x,0) = 0$$

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

$$\frac{\partial^2 T(x, s)}{\partial x^2} = \frac{s}{\alpha} \bar{T} \quad \text{“Soluzioa”:$$

$$\left. \begin{array}{l} \bar{T}(0, s) = 0 \\ \bar{T}(l, s) = 1 \\ \bar{T}(x, 0) = 0 \end{array} \right\} \bar{\varphi}_{T_1}(x, s) = \frac{\sinh\left(x \cdot \sqrt{\frac{s}{\alpha}}\right)}{\sinh\left(l \cdot \sqrt{\frac{s}{\alpha}}\right)}$$

Alderantzizko
transformatua
lortu behar da

Alderantzizko transformatuak, x balio batentzat, $x = l$ -ko sarrera unitarioari dagokion tenperatura adierazten du.

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

Alderantzizko transformatuari Fourier-en legea aplikatuz:

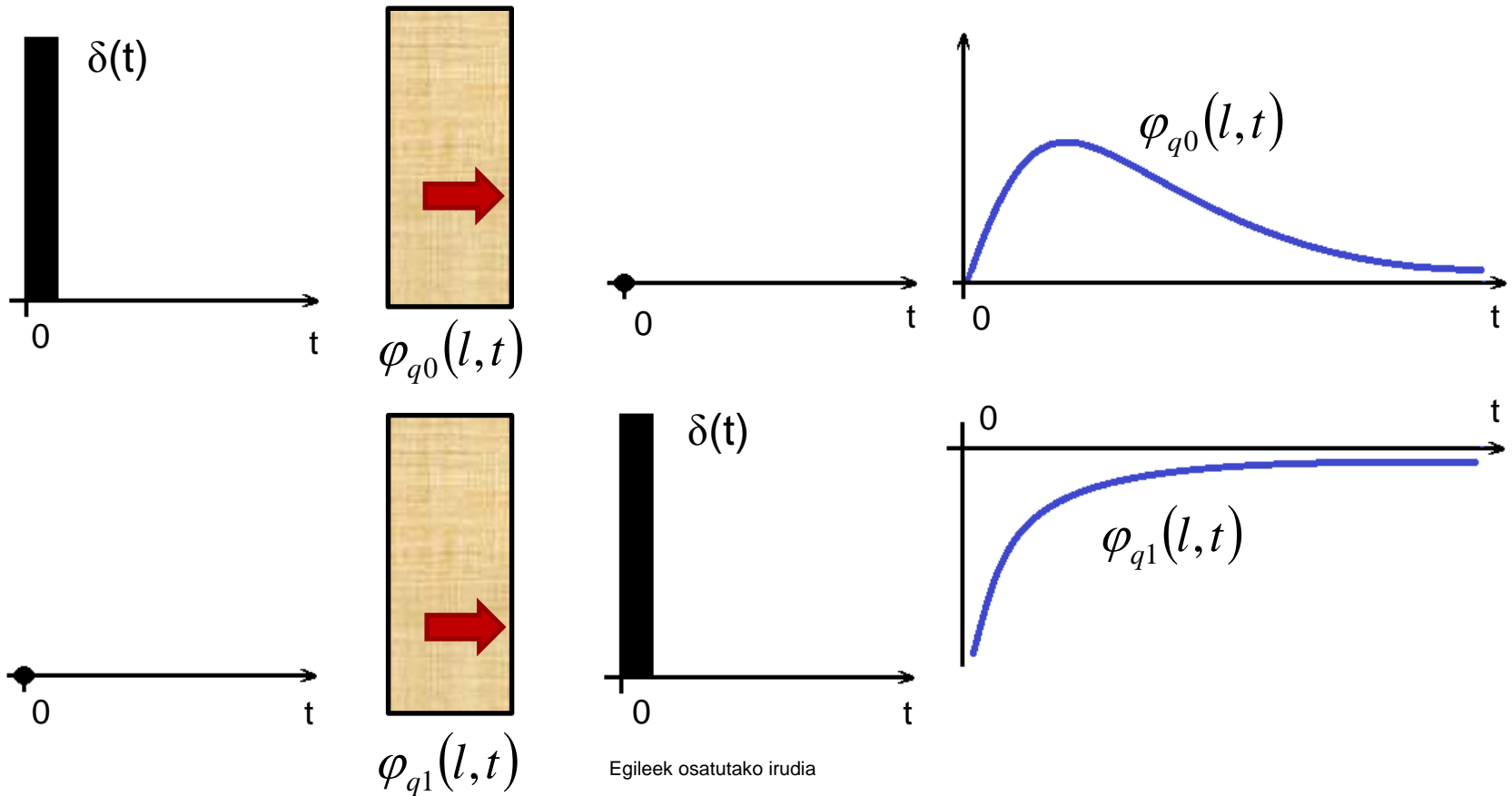
$$\varphi_{q1}(x, t) = -k \cdot \frac{d\varphi_{T1}}{dx}$$



Bero-fluxua x -en, $x = l$ -en tenperatura kitzikadura baten ondorioz.

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa



Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

- Gainazalean **tenperatura** eta **bero-fluxuen** balioak jakin nahi ditugu
- $T(0,t)$ eta $T(l,t)$ gainazalen gainean kitzikadura bat dagoenean, gainjartzea erabiliz \implies konboluzioa

$$\dot{q}(0,t) = \int_0^\infty \varphi_{q0}(0,\tau) T(0,t-\tau) d\tau + \int_0^\infty \varphi_{q1}(0,\tau) T(l,t-\tau) d\tau$$

$$\dot{q}(l,t) = \int_0^\infty \varphi_{q0}(l,\tau) T(0,t-\tau) d\tau + \int_0^\infty \varphi_{q1}(l,\tau) T(l,t-\tau) d\tau$$

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

$$\bar{q}(0, s) = \bar{\varphi}_{q0}(0, s) \bar{T}(0, s) + \bar{\varphi}_{q1}(0, s) \bar{T}(l, s)$$

$$\bar{q}(l, s) = \bar{\varphi}_{q0}(l, s) \bar{T}(0, s) + \bar{\varphi}_{q1}(l, s) \bar{T}(l, s)$$

Forma matritziala \Rightarrow

$$\begin{bmatrix} \bar{q}(0, s) \\ \bar{q}(l, s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\varphi}_{q0}(0, s) & \bar{\varphi}_{q1}(0, s) \\ \bar{\varphi}_{q0}(l, s) & \bar{\varphi}_{q1}(l, s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{T}(0, s) \\ \bar{T}(l, s) \end{bmatrix}$$

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa

$$\begin{bmatrix} \bar{\varphi}_{q0}(0, s) & \bar{\varphi}_{q1}(0, s) \\ \bar{\varphi}_{q0}(l, s) & \bar{\varphi}_{q1}(l, s) \end{bmatrix} \longrightarrow \text{Transferentzia-matrizea}$$

Berrantolatu dezakegu

$$\begin{bmatrix} \bar{T}(0, s) \\ \bar{q}(l, s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{T}(l, s) \\ \bar{q}(l, s) \end{bmatrix}$$

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa: Geruza anitzeko pareta

$$\begin{bmatrix} \bar{T}(0, s) \\ \bar{q}(l, s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1(s) & B_1(s) \\ C_1(s) & D_1(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_2(s) & B_2(s) \\ C_2(s) & D_2(s) \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} A_n(s) & B_n(s) \\ C_n(s) & D_n(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{T}(l, s) \\ \bar{q}(l, s) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1(s) & B_1(s) \\ C_1(s) & D_1(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_2(s) & B_2(s) \\ C_2(s) & D_2(s) \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} A_n(s) & B_n(s) \\ C_n(s) & D_n(s) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{T}(0, s) \\ \bar{q}(l, s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{T}(l, s) \\ \bar{q}(l, s) \end{bmatrix}$$

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa: Geruza anitzeko pareta

- Gainazaleko erresistentziak kontsideratzen direnean

$$\begin{bmatrix} \bar{T}(0, s) \\ \bar{q}(l, s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & R_{se} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_{si} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{T}(l, s) \\ \bar{q}(l, s) \end{bmatrix}$$

non

$$R_{se} = \frac{1}{h_e} \qquad R_{si} = \frac{1}{h_i}$$

Metodo analitikoak

Laplace transformatuaren metodoa: Geruza anitzeko pareta

Transferentzia-matrizeko 4 terminoen alderantzizko transformatuak aurkitu behar ditugu.

Eskarien hurbilketan oinarritutako metodoak

Bi taldetan sailka ditzakegu:

- Metodo inpultsionalak:

Inpultsu, maila eta malda motako oinarrizko kitzikadurak

- Metodo harmonikoak:

Sinu motako oinarrizko kitzikadurak.

Eskarien hurbilketan oinarritutako metodoak

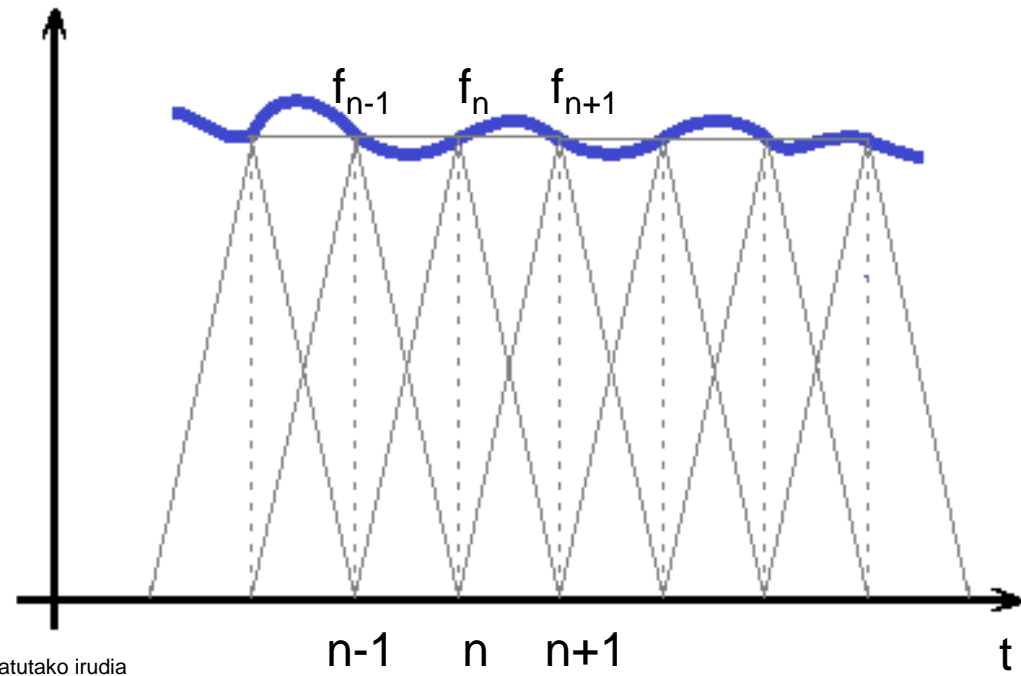
- Bakarrik baliagarriak ekuazio diferentzialak eta algebraikoak linealak badira.
- Erantzunaren anplitudea kitzikadurarekiko proportzionala da.
- Aldiune desberdinetako kitzikapen berdinek beti erantzun berdinak ematen dituzte.
- Azkenik, metodo harmonikoen kasuan, kitzikadurek periodikoak izan behar dute.

Erantzute-faktoreak

Kanpo-kitzikadura ez periodikoak

- Airearen tenperatura
- Eguzki-erradiazioa

Seinale triangeluarrak erabiliz errepresentazioa



Egileek osatutako irudia

Erantzute-faktoreak

Triangelu motako oinarrizko kitzikadurak

- Helburua: Kitzikadura hauei dagozkien erantzunak ezagutzea

4 erantzute-faktore mota desberdin:

$X(j)$ \Rightarrow Kanpoaldeko kitzikadura bategatik barnealdeko erantzuna

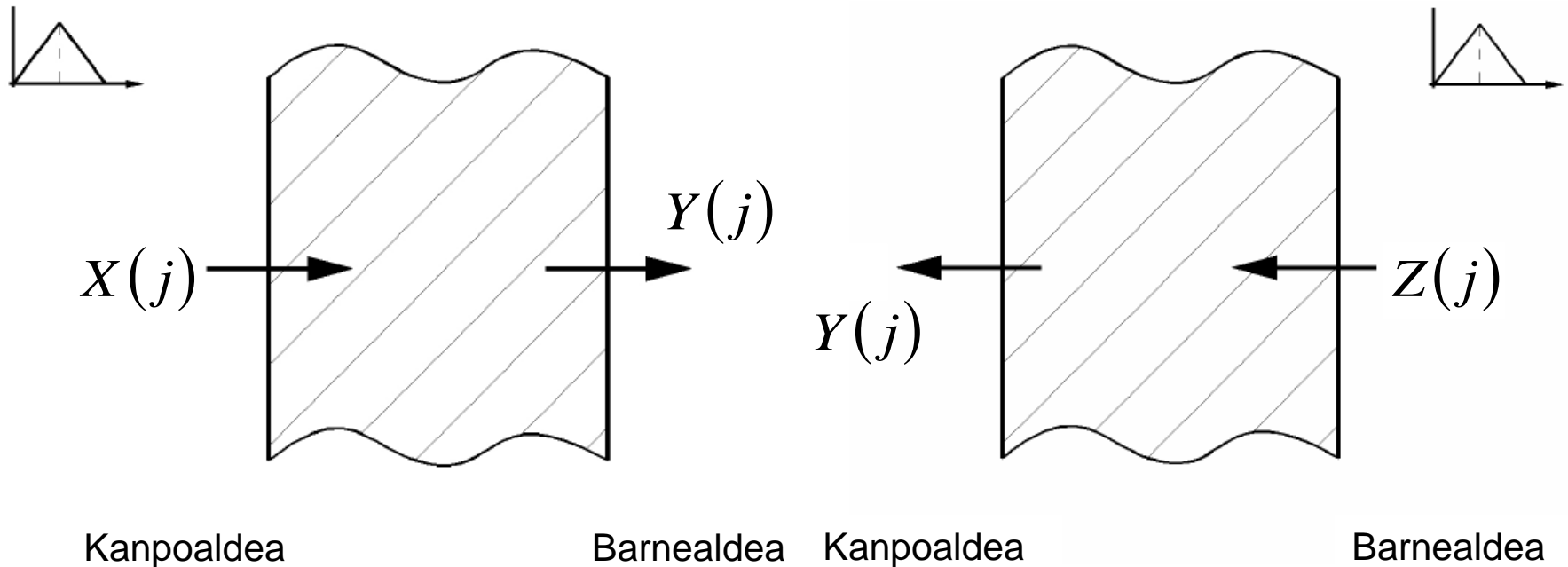
$Y(j)$ \Rightarrow Kanpoaldeko kitzikadura bategatik kanpoaldeko erantzuna

$Y(j)$ \Rightarrow Barnealdeko kitzikadura bategatik kanpoaldeko erantzuna

$Z(j)$ \Rightarrow Barnealdeko kitzikadura bategatik barnealdeko erantzuna

Erantzute-faktoreak

Triangelu motako oinarrizko kitzikadurak



Egileek osatutako irudia

Erantzute-faktoreak

- Kanpoaldeko gainazalean bero-fluxua

Kanpo kitzikaduragatiko bero-fluxua $\Rightarrow q_0(0, n) = \sum_{j=0}^{\infty} X(j) T_0(n - j)$

Barne kitzikaduragatiko bero-fluxua $\Rightarrow q_0(l, n) = \sum_{j=0}^{\infty} Y(j) T_1(n - j)$

$$q(0, n) = \sum_{j=0}^{\infty} X(j) T_0(n - j) - \sum_{j=0}^{\infty} Y(j) T_1(n - j)$$

Erantzute-faktoreak

- Barnealdeko gainazalean bero-fluxua


Kanpo kitzikaduragatiko bero-fluxua $\Rightarrow q_1(0, n) = \sum_{j=0}^{\infty} Y(j) T_0(n - j)$

Barne kitzikaduragatiko bero-fluxua $\Rightarrow q_1(l, n) = \sum_{j=0}^{\infty} Z(j) T_1(n - j)$

$$q(l, n) = \sum_{j=0}^{\infty} Y(j) T_0(n - j) - \sum_{j=0}^{\infty} Z(j) T_1(n - j)$$

Erantzun totala, aurretiazko eta momentuko kitzikapenen ekarpen infinituen batura da.

Transferentzia-funtzioen koefizienteak

- Erantzute-faktoreen metodoa
 - Inertzia termikoa handia denean  Termino kopuru handia
- T^a -ren “historia” vs. Bero-fluxuaren “historia” adieraztea da helburua
 - Termino kopurua murrizten da
- Transferentzia-funtzioen koefizienteak (CTF).

Transferentzia-funtzioen koefizienteak

- Aurreko kasuan Laplace transformatua

$$L[f(t)] = \bar{f}(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-s \cdot t} dt$$

- Kasu honetan $f(t)$ denbora-tartearen arabera diskretizatuko dugu $\longrightarrow f(0), f(\Delta t), f(2 \cdot \Delta t), \dots$

$$f^*(t) = f(0) \cdot \delta(t) + f(\Delta t) \cdot \delta(t - \Delta t) + f(2 \cdot \Delta t) \cdot \delta(t - 2 \cdot \Delta t) + \dots$$

Transferentzia-funtzioen koefizienteak

- Diskretizatutako funtzioaren Laplace transformatua

$$L[f^*(t)] = \overline{f^*}(s) = f(0) + f(\Delta t)e^{-s \cdot \Delta t} + f(2 \cdot \Delta t)e^{-s \cdot 2 \cdot \Delta t} + \dots$$

$$z = e^{s \cdot \Delta t}$$

$$\overline{f^*}(s) = f(0)z^0 + f(\Delta t)z^{-1} + f(2 \cdot \Delta t)z^{-2} + \dots$$

Transferentzia-funtzioen koefizienteak

- Sistemaren transferentzia-funtzioa ezaguna bada

$$G(z) = \frac{R(z)}{E(z)}$$

- Orokorrean, transferentzia-funtzioa izango da

$$G(z) = \frac{a_0 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2} + a_3 \cdot z^{-3} + \dots}{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2} + b_3 \cdot z^{-3} + \dots} = \frac{N(z)}{D(z)}$$

- Polinomioaren ordenak, kontsideratutako denbora karakteristikoak adierazten ditu

Metodo harmonikoak

- t denboraren funtzio den temperatura kitzikadura bat Fourier serie baten bidez adieraz dezakegu

$$T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} T_n \cdot e^{i\omega_n t}$$

$$\omega_n = \frac{2\pi}{T} \longrightarrow \text{Frekuentzia angeluarra}$$

Problema lineala eta aldaezina izanik, gainjartze printzipioa aplika dezakegu.

Metodo harmonikoak

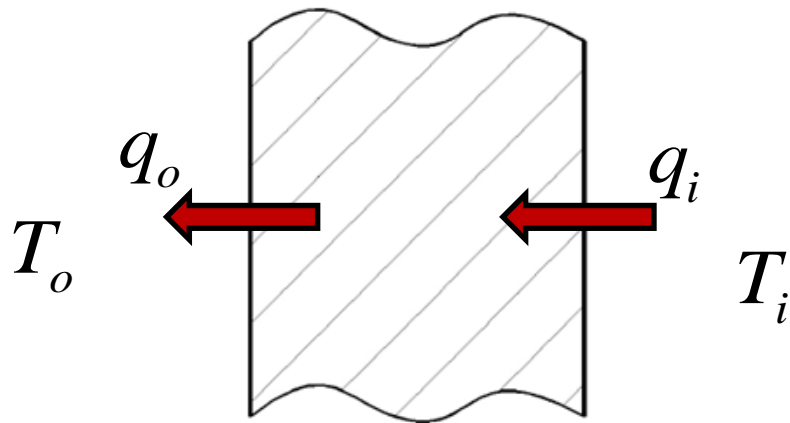
- Lortzen den erantzuna bero-fluxua bada

$$q(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} q_n \cdot e^{i\omega_n t}$$

- Beraz, kitzikadura harmonikoen arabera lortzen dira erantzunak

Metodo harmonikoak

- Eraikinetan bero-transferentzia $\longrightarrow q_o, q_i, T_o, T_i$



Kanpoaldea

Barnealdea

Egileek osatutako irudia

$$\begin{bmatrix} T_o \\ q_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ q_i \end{bmatrix}$$

$$A = D = \cosh(\xi \cdot l)$$

$$B = \frac{\sinh(\xi \cdot l)}{k \cdot \xi} \quad \xi = (1 + i) \sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot \alpha}}$$

$$C = k \cdot \xi \cdot \sinh(\xi \cdot l)$$

Matrize-ekuazioa Laplace transformatuen bidez lortutakoaren berdina da.

3. zatia: Zenbakizko metodoen bidez bero-transmisioaren analisia

Zenbakizko metodoen bidez bero-transmisioaren analisia

- Sarrera
- Diskretizazioa eta nodo sarearen osaketa
- Diferentzia finituak
- Elementu finituak
- Bolumen finituak
- Ekuazioen ebazpen-metodoak

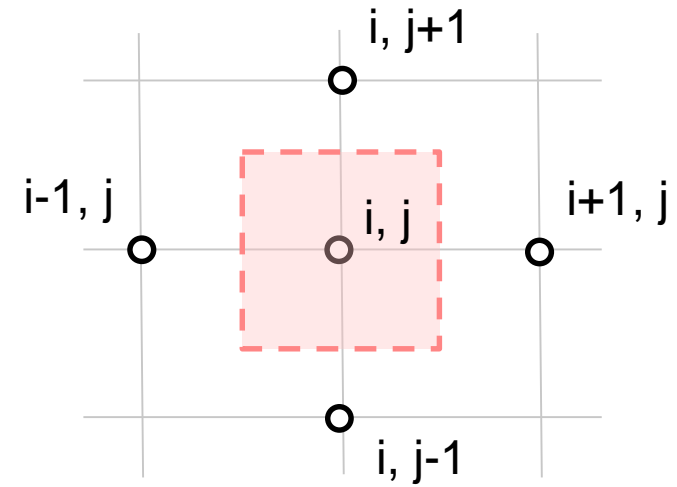
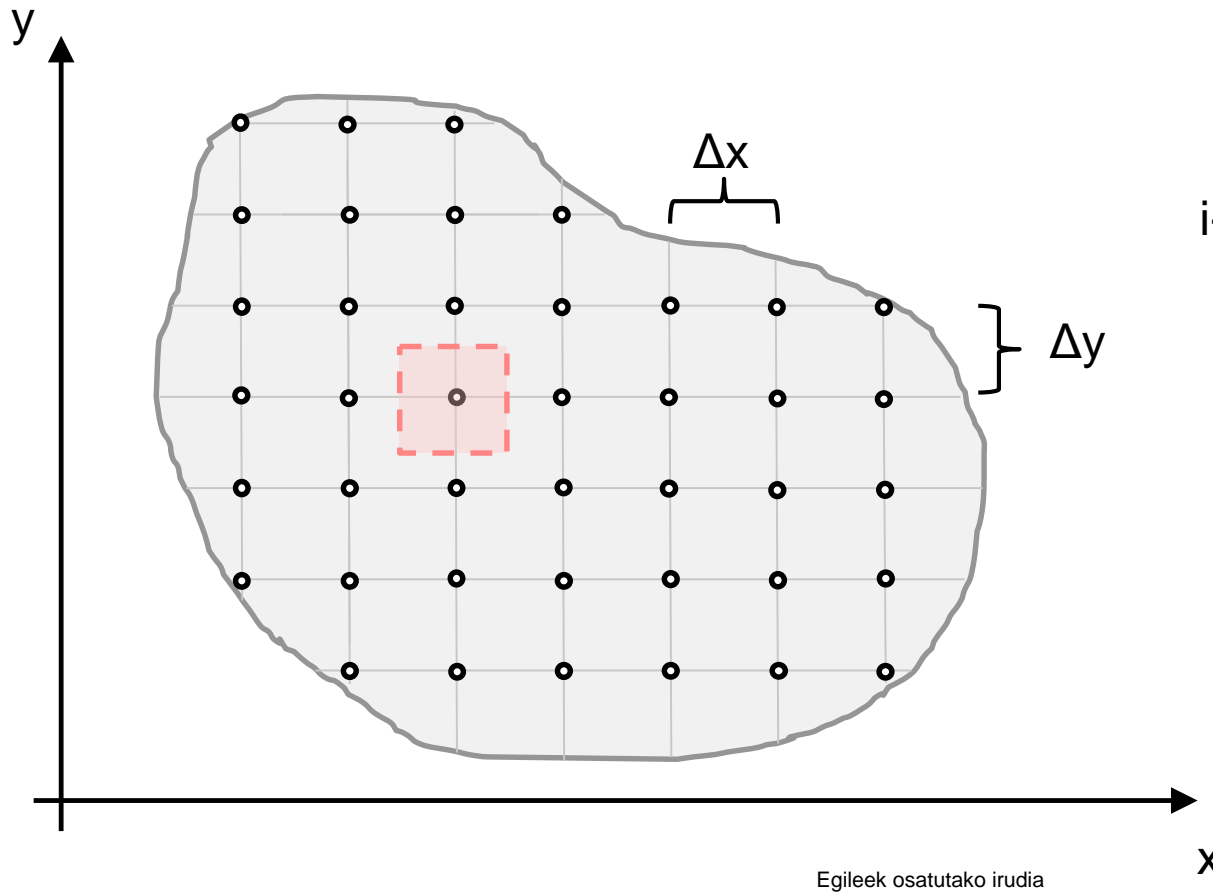
Sarrera

- Orain arteko metodoek ezagutza matematiko sakona eskatzen dute.
- Bestalde, metodo analitikoak erabilgarriak dira:
 - Geometria sinpleen kasuan
 - Materialen propietate termofisikoak konstanteak direnean
- Zenbakizko metodoen erabilera
 - Ordenagailu potente eta azkarrak eskura
 - Erabilera errazeko software-n garapena
- Ekuazio diferentzialak, ekuazio algebraiko bihurtzean datza

Diskretizazioa eta nodo sarearen osaketa

- Zenbakizko metodoen kasuan, aztergai diren aldagaiak jarraiak izanik, eremuko puntu konkretu batzutan bakarrik aztertzen dira.
- Puntu horiei nodo deitzen zaie eta sare bat osatzen dute.
- Nodoetan aplikatzen dira ekuazio algebraikoak ekuazio diferentzialak diskretizatu ondoren.
- Nodoetan bakarrik lortzen dira emaitzak, eremuko gainontzeko puntuetan interpolazioz lortzen dira emaitzak

Diferentzia finituak



Orokorrean $\Delta x \neq \Delta y$

Diferentzia finituak

- Printzipioz, emaitza zehatzagoak lortzen dira Δx eta Δy balioa txikiagoekin.
- Erregimen ez-egonkorrean Δt ere kontsideratu behar da.
- Diskretizazio teknika desberdinak ditugu:
 - Diferentzia finituak
 - Elementu finituak
 - Bolumen finituak

Diferentzia finituak

- Taylor-en serieak erabiliz:

$$T_{i+1,j} = T_{i,j} + \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{i,j} \cdot \Delta x + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right)_{i,j} \cdot \frac{\Delta x^2}{2} + \left(\frac{\partial^3 T}{\partial x^3}\right)_{i,j} \cdot \frac{\Delta x^3}{6} + \dots$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{i,j} = \frac{T_{i+1,j} - T_{i,j}}{\Delta x} - \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right)_{i,j} \cdot \frac{\Delta x}{2} - \left(\frac{\partial^3 T}{\partial x^3}\right)_{i,j} \cdot \frac{\Delta x^2}{6} + \dots$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{i,j} = \frac{T_{i+1,j} - T_{i,j}}{\Delta x} + \text{Errorea}(\Delta x)$$

Zehaztasuna irabazteko
errorea murriztuz



$$\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{i,j} = \frac{T_{i+1,j} - T_{i-1,j}}{2\Delta x} + \text{Errorea}(\Delta x^2)$$

Diferentzia finituak

- Bigarren mailako deribatu partzialen kasuan:

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right)_{i,j} = \frac{T_{i+1,j} - 2 \cdot T_{i,j} + T_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \text{Errorea}(\Delta x^2)$$

- Kondukzioaren ekuazio orokorra, bero-garapenik gabe eta dimentsio bakarrean planteatuz:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{T_{i+1}^n - 2 \cdot T_i^n + T_{i-1}^n}{\Delta x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t}$$

Diferentzia finituak

- Problema algebraikoaren ebazpena bi modutan planteatu dezakegu:

- Esplizitua:
$$T_i^{n+1} = T_i^n + \alpha \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \cdot (T_{i+1}^n - 2 \cdot T_i^n + T_{i-1}^n)$$
- Implizitua: Crank-Nicholson-en forma erabiliz adibidez ekuazio parabolikoen kasuan.

Hurbilketa esplizitua:

- Programatzeko “sinple” eta “erreza”.
- Egonkortasun arazoak Δt balio txikiak hartzen ez badira.

Hurbilketa implizitua:

- Δx balio berdinentzat, Δt balio handiagoak erabiltzeko aukera.
- Programatzeko konplexu eta zailagoa.

Elementu finituak

- Suposa dezagun elementu finituak erabiliz diskretizatzen dugula aztergai den eremua.
- Tenperaturaren balioa elementu finitu bakoitzean hurrengo moduan adierazten da:

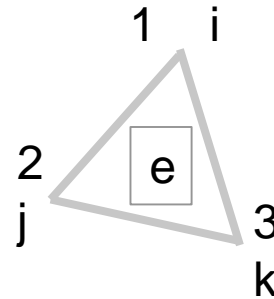
$$T \cong \sum_{i=1}^n N_i^e \cdot T_i^e$$

Non N_i^e , "e" elementuaren "i" nodoaren forma funtzioa den, eta nodoetako balioak erabiliz interpolazioak egiteko erabiltzen dira; T_i^e berriz, tenperaturaren balioa "i" nodoan; eta "n" elementuko nodo kopurua.

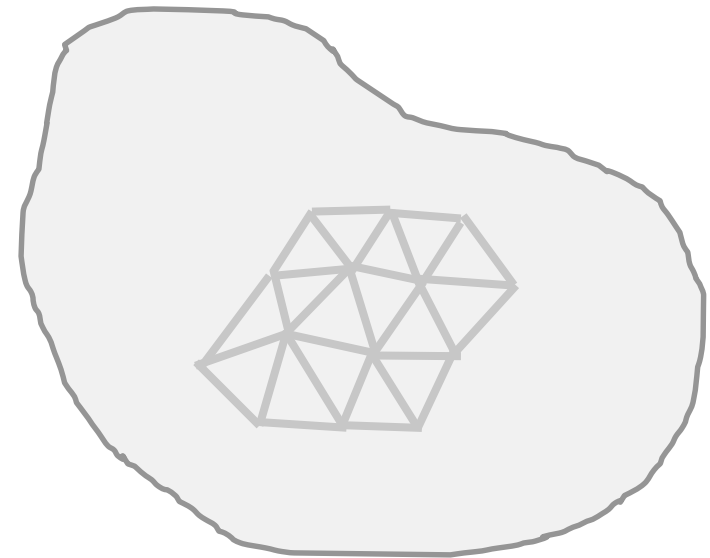
Elementu finituak

$$T \cong \sum_{i=1}^n N_i^e \cdot T_i^e$$

N_i^e -k 1 balioa du "i" nodoan eta 0 gainontzeko nodoetan



Egileek osatutako irudia



Adibide honetako bi dimentsioko elementuaren kasuan:

$$N_i^e = \frac{1}{2 \cdot A^e} \cdot (a_i^e + b_i^e \cdot x + c_i^e \cdot y)$$

$$a_i^e = x_j^e \cdot y_k^e - x_k^e \cdot y_j^e$$

$$b_i^e = x_j^e - x_k^e$$

$$c_i^e = y_k^e - y_j^e$$

Non A^e , "e" elementuaren azalera den; x_i^e eta y_i^e "i" nodoaren koordinatuak.

Bolumen finituak

- Bolumen finituen kasuan, eremua bolumen txikiagotan zatitzen da.
- Metodo honetan beharrezkoak diren ekuazioak, bolumen balantzeak aplikatuz lortzen dira.
- Fluxu hauek bolumeneko aurpegi bakoitzean inguruko bolumenetako tenperaturak erabiliz definitzen dira.
- Horretarako, kasu batzuetan diferentzia finituetan oinarritutako ekuazioak erabiltzen dira edo, baita ere, elementu finituetan erabiltzen diren interpolazioak.
- Ondorioz, kasu partikular batzuetan, lortzen diren ekuazioak, elementu finituak erabiliz lortzen direnen berdinak dira.

Bolumen finituak

- Sareak eragina du lortutako emaitzen zehaztasunean.
- Sareak egituratuak ala ez-egituratuak izan daitezke.

Egituratua

1	2	3
4	5	6

Ez-egituratua

3	1	5
6	4	2

Egileek osatutako irudia

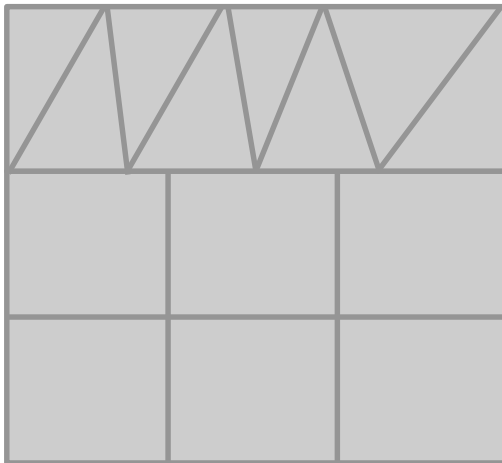
- Forma berdina izanik, loturak aldatzen dira.
- Ondorioz, loturei dagokion informazioa ere gorde behar da sarea ez-egituratua den kasuan.
- Ez-egituratu denean, kalkulua ez da hain efizientea.

Bolumen finituak

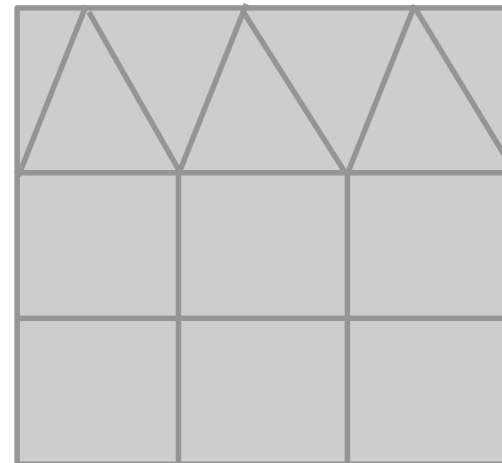
- Aztergai den eremua oso konplexua bada, ez da posible sare egituratua osatzea.
- Sare egituratua osatzeak kostu handia du denbora eta giza-baliabideak kontsideratuz.
- Aztergai den eremua blokeka ere saretu dezakegu, bloke bakoitzean elementu mota desberdinak erabili.
- Horrela bada, sarea konformea ala ez-konformea izan daiteke.

Bolumen finituak

Konformea



Ez-konformea



Egileek osatutako irudia

- Aurpegietan zeharreko bero-fluxua kalkulatzeko beharrezkoa da interpolatzea ez-konformea denean interfasea.
- Zehaztasuna eta konbergentzia galtzen da.

Bolumen finituak

- Sarearen kalitatea bermatzeko jarraibideak:
 - Gelasken tamaina txikia izateak zehaztasuna handitzen du.
 - Garrantzitsua da gelasken tamaina bapatean asko ez aldatzea, batez ere fluxuaren norabidean.
 - Gelasken formak ez luke oso deformatua izan behar, hau “skewness” parametroa erabiliz kontrolatzen da.
 - Fluxuaren norabidean gelaskak ez dute luzeak izan behar.
 - Ahal dela, gelasken paretak fluxuarekiko elkarzut jarritz.
 - Kapa limitea aztertzerakoan, y^+ balioa kontsideratu behar da.

4. zatia: Zubi termikoak

Zubi termikoak

- Helburuak
- Definizioa eta ondorioak
- Sailkapena
- Araudiaren arabera kalkuluak egiteko metodologia
- Kalkulu hipotesi eta ereduak
- Analisi termografikoaren bidezko detekzioa

Helburuak

- Zubi termiko bat zer den ulertzea eta nola kuantifikatu haren eragina energiaren ikuspuntutik.
 1. Zubi termikoen definizioa eta sailkapena.
 2. Araudi aplikagarria eta kalkulatzeko metodoak.
 3. Erregimen egonkorra eta ez-egonkorraren arteko diferentziak.
- Erregimen egonkorra eta ez-egonkorraren arteko kalkulu-desberdintasunak.
- Zubi termikoak detekzioa analisi termografikoaren bidez.

Definizioa eta ondorioak

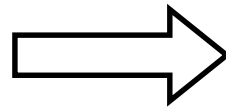
- UNE EN ISO 10211 Arauak emandako definizioa:

Eraikin baten itxituraren zati bat, non erresistentzia termikoa, normalean uniformeoa, nabarmen aldatzen den, arrazoi hauengatik:

- *Eroankortasun termiko desberdina duten materialen sartzeko osoak edo partzialak eraikin baten itxituran;*
- *Aldaketa bat fabrikaren lodieran;*
- *Barneko edo kanpoko eremuen arteko aldea, hala nola hormen, zoruen edo sabaien arteko junturak.*

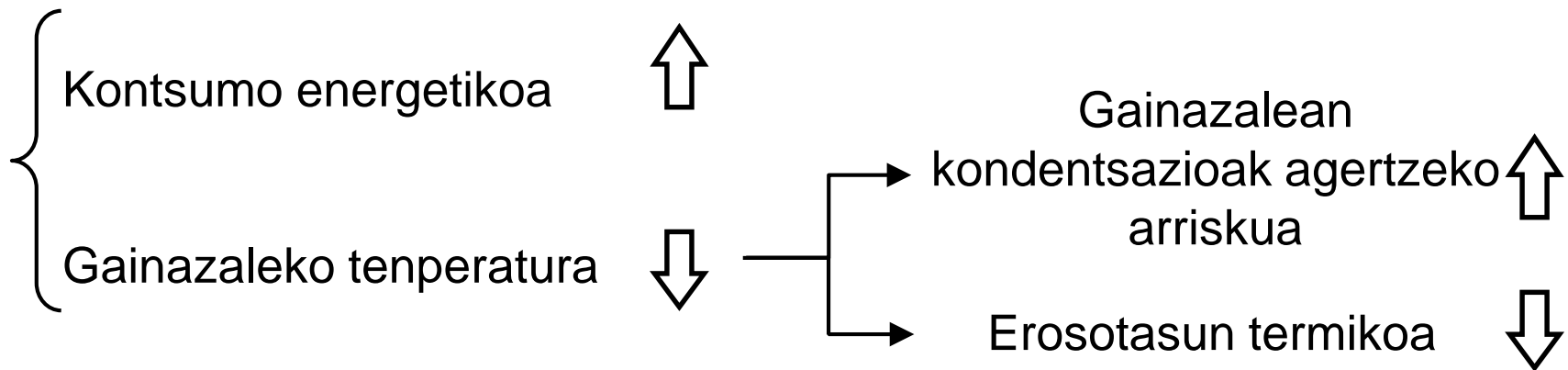
Definizioa eta ondorioak

R_t balioaren
murrizketa bat

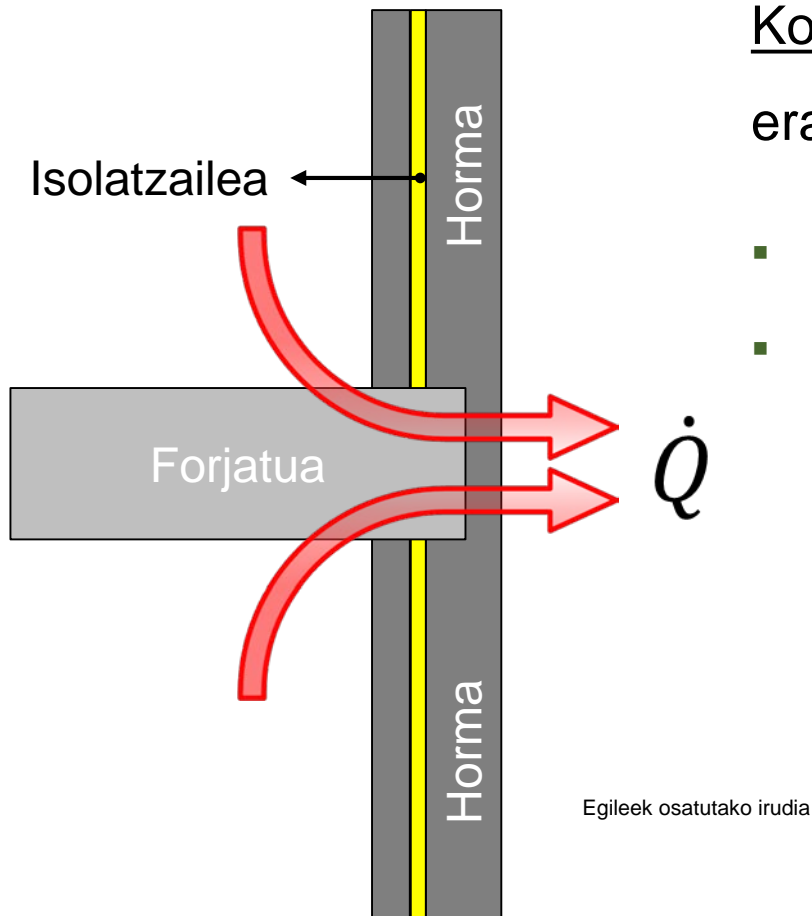


Dimentsio anitzeko bero-fluxua
inguratzaile termikoaren zati
batzuetan

ZUBI TERMIKOEN ERAGIN NEGATIBOA:



Definizioa eta ondorioak



Kontsumo energetikoa → ZB-en eragina eraikinen eskari energetikoan:

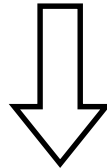
- %10-30 artean dago
- %5 kanpoaldetik zaharberritutako eraikinetan



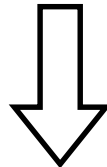
Created by Brgfx - Freepik.com

Definizioa eta ondorioak

Gainazaleko
kondentsazioak



Gertatu dadin bete beharreko
baldintzak



$$T_{\text{horma}} < T_{\text{ihintza}}$$



Egileek osatutako irudia

Definizioa eta ondorioak

Gainazaleko kondentsazioak $\rightarrow T_{\text{horma}} < T_{\text{ihintza}}$ betetzeko:

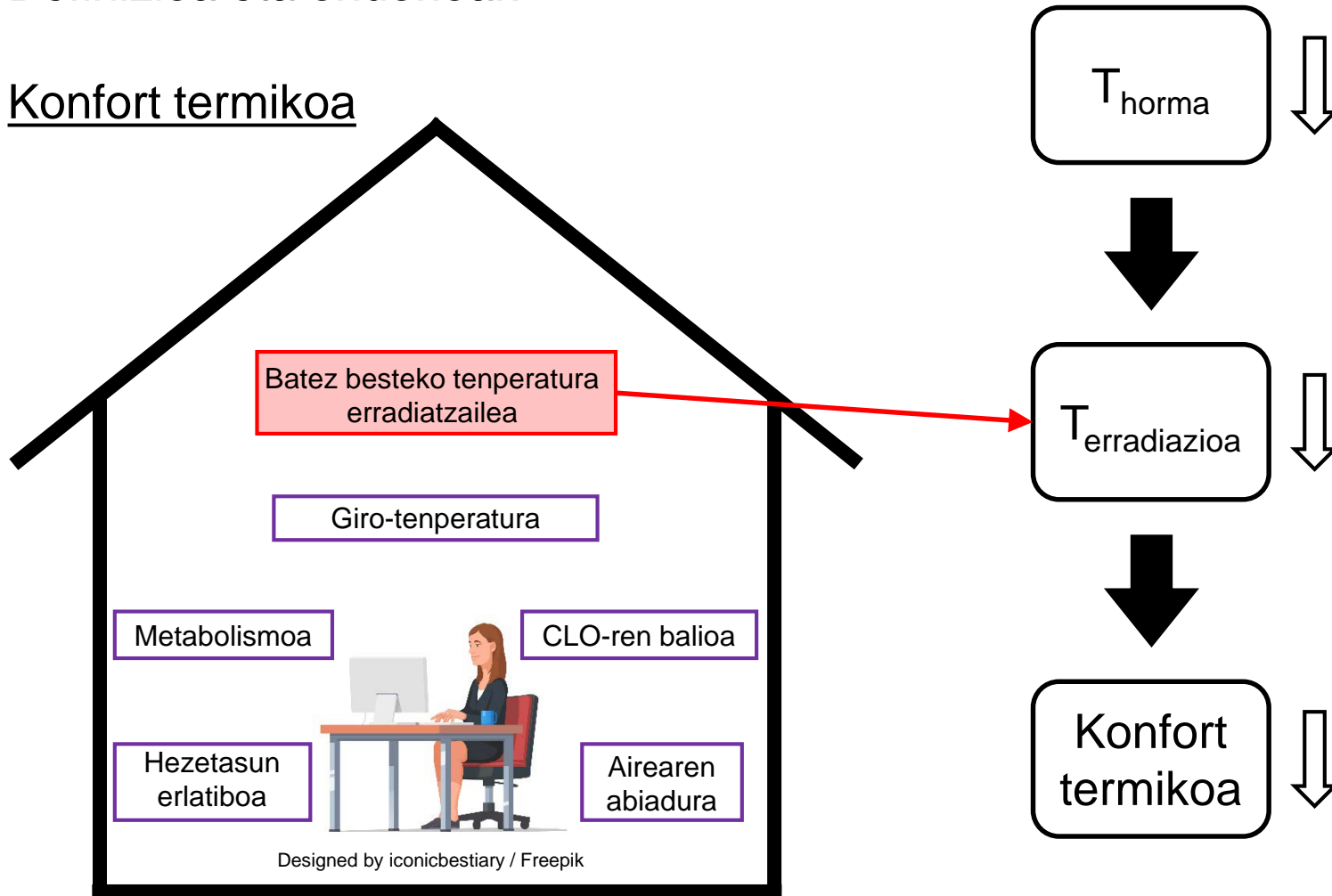


- Diseinu okerra
- Aireztapen eskasa
- Erabiltzaileen ohitura txarrak

- Barneko airearen kalitatea okertzea (alergiak)
- Materialen degradazioa (irizpide estetikoak eta egiturazkoak)

Definizioa eta ondorioak

Konfort termikoa



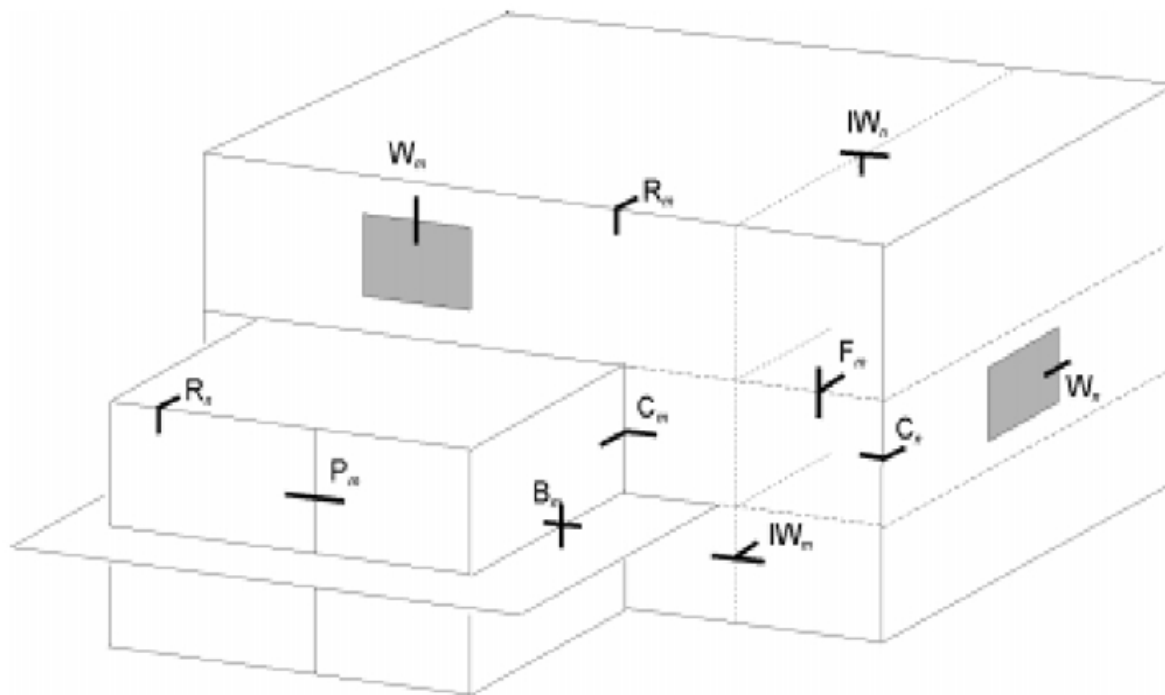
Designed by iconicbestiary / Freepik

Sailkapena

- Eraikuntzaren Kode Teknikoa (EKT):
 - Itxituratan integratuak
 - Fatxada-itxituratan integratutako pilareak
 - Leiho eta argizuloen inguruak
 - Pertsiana-kaxak
 - Itxituren elkarguneek sortutako zubi termikoak
 - Fatxada eta forjatuaren artean
 - Estalkia eta fatxadaren arteko elkargunea
 - Lauza edo zolata eta fatxaden arteko elkarguneak
 - Izkinak edo fatxaden elkarguneak
 - Hegalki eta fatxaden arteko elkarguneak
 - Barne-trenkaden eta kanpo-itxituren arteko elkarguneak

Sailkapena

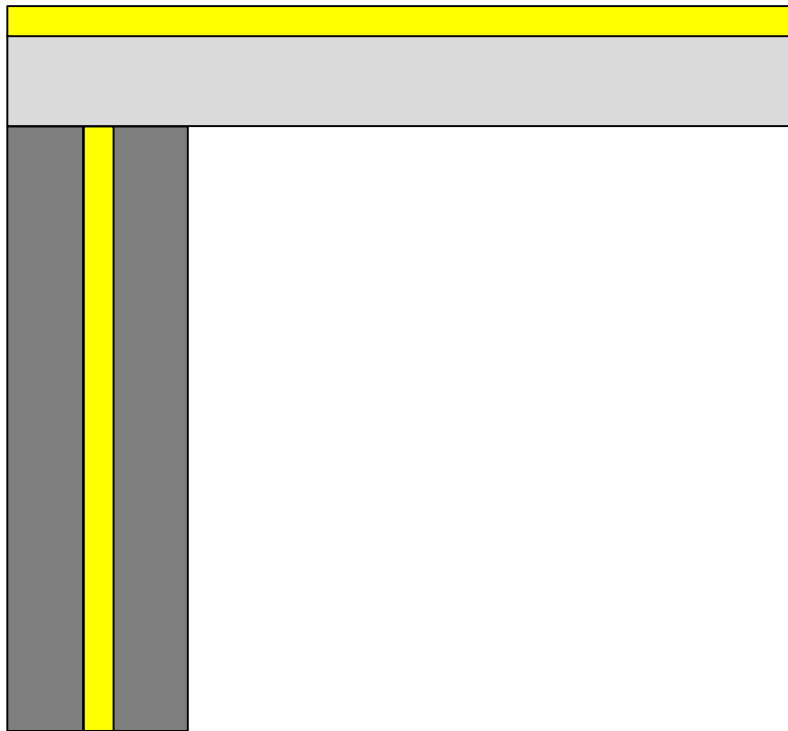
- UNE-EN ISO 14683 Araua



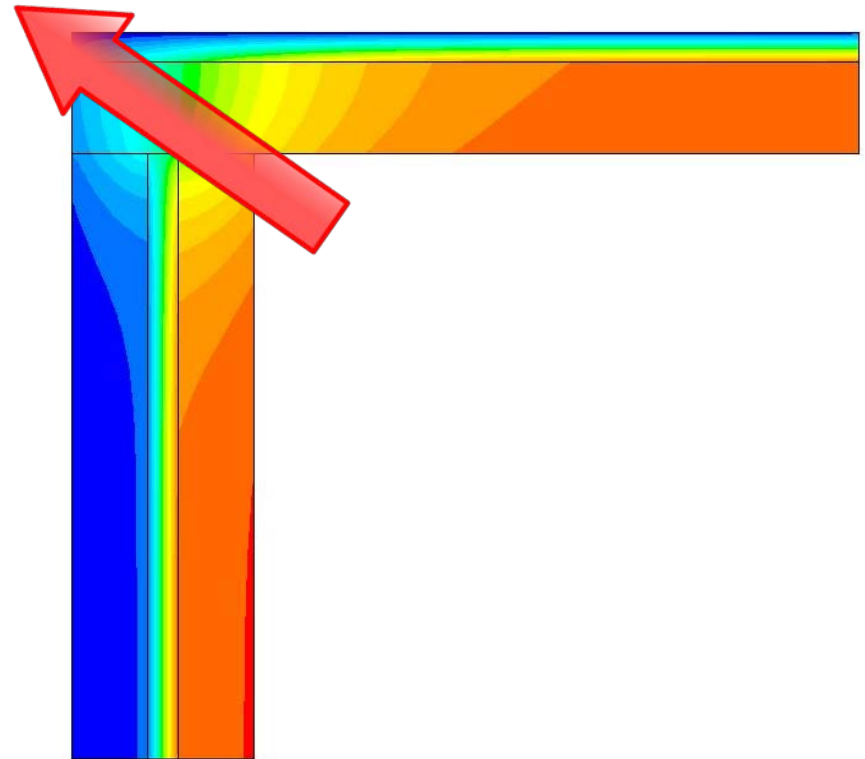
UNE-EN ISO 14683 Araua

- R:** Roof (Estalkia)
- B:** Balcony (Balkoia)
- C:** Corner (Izkina)
- F:** Floor (Lurzorua)
- IW:** Internal wall (Barne-horma)
- P:** Pillar (Zutabea)
- W:** Window (Leihoa) ¶

Sailkapena

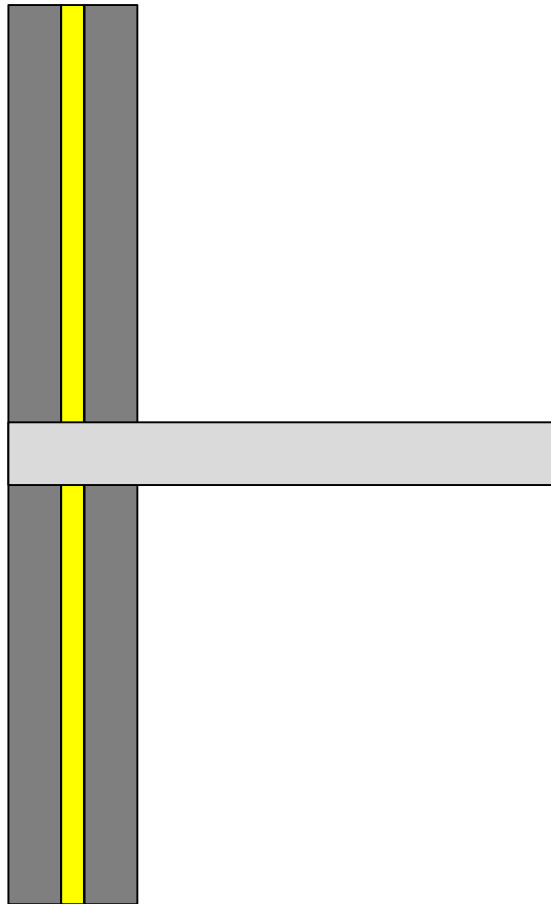


Teilatuak (estalkiak)

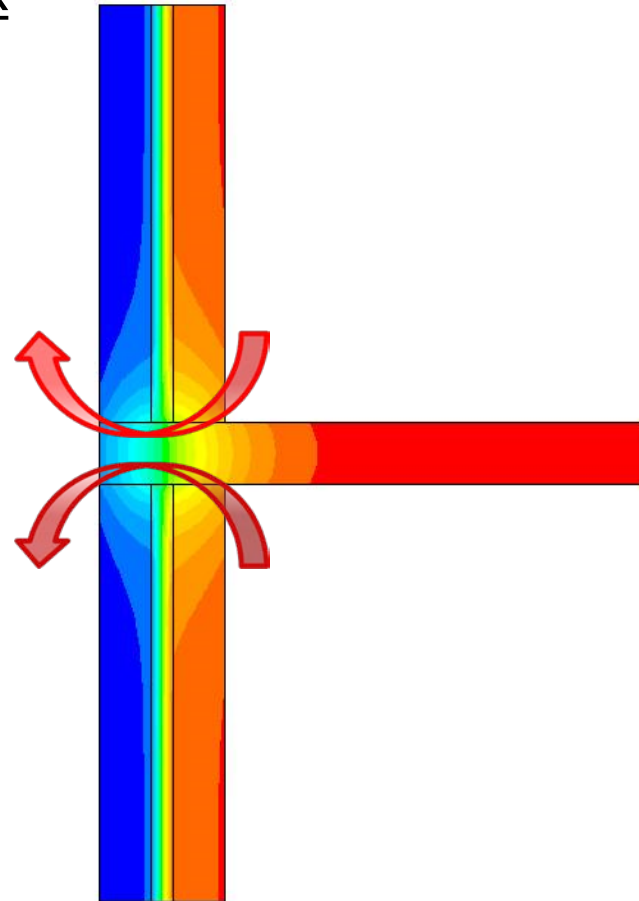


Egileek osatutako irudia

Sailkapena



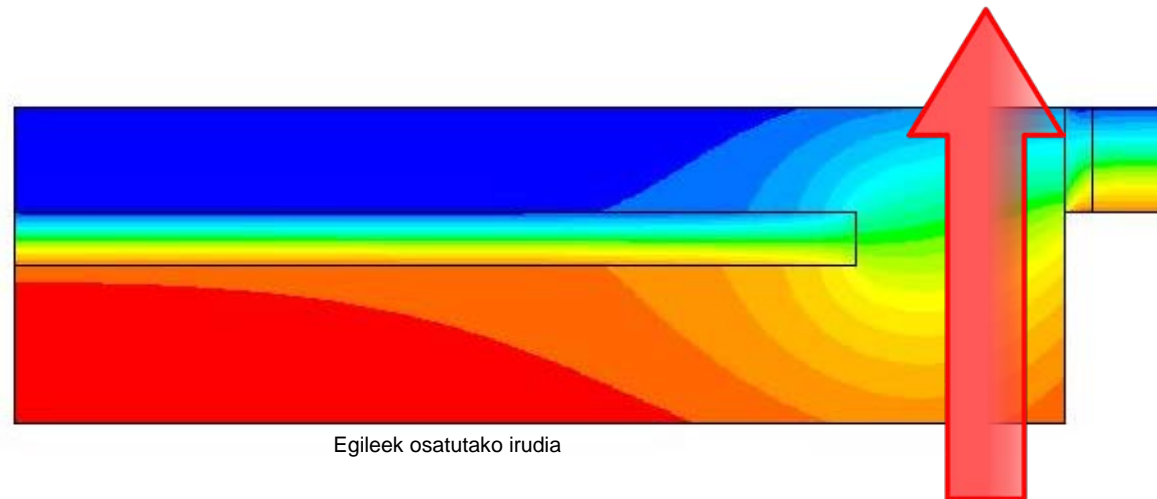
Lurzoruak



Egileek osatutako irudia

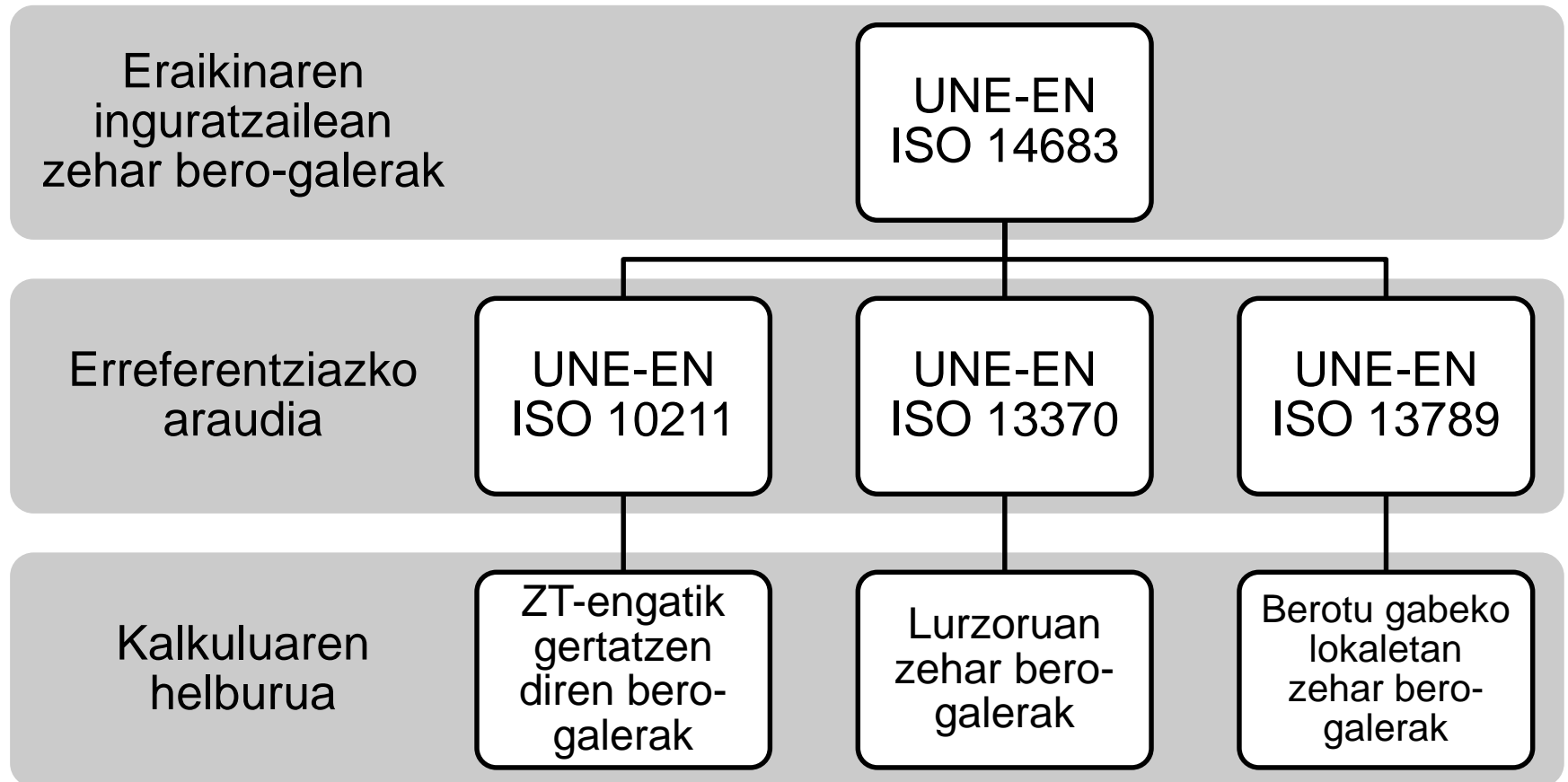
Sailkapena

Leihoak



Egileek osatutako irudia

Araudiaren arabera kalkuluak egiteko metodologia



Araudiaren arabera kalkuluak egiteko metodologia

- ZT-ak karakterizatzeko definizioak:
 - Transmittantzia termiko lineala (Ψ) \rightarrow Luzera-unitateko, bi dimentsioko ZT baten ondorioz sortutako bero-fluxu gehigarria $\Delta T = 1$ °C dugunean.
 - Transmittantzia termiko puntuala (χ) \rightarrow Hiru dimentsioko ZT baten ondorioz sortutako bero-fluxu gehigarria $\Delta T = 1$ °C dugunean.
 - Akoplamendu termikoaren koefizientea (L^{2D} o L^{3D}) \rightarrow Analizatu beharreko eraikuntza-soluzioak bereizten dituen inguruneetako temperatura-diferentziaren ondorioz bero-fluxua.
 - Barnealdeko azaleko temperatura-faktorea (f_{Rsi}) \rightarrow Barnealdeko azaleko temperaturaren eta kanpoko temperaturaren diferentzia eta barruko eta kanpoko temperaturen diferentziaren arteko erlazioa.

Araudiaren arabera kalkuluak egiteko metodologia

ZT-en ezaugarriak
(ISO 10211)

Bero-galerak

Gainazaleko
kondentsazioa

Ψ

χ

f_{Rsi}

$$L^{2D} - \sum_j U_j \cdot l_j$$

$$L^{3D} - \sum_j U_j \cdot A_j - \sum_k \Psi_k \cdot l_k$$

$$f_{Rsi} = \frac{T_{si} - T_e}{T_i - T_e}$$

Araudiaren arabera kalkuluak egiteko metodologia

Kontsultatutako araudiak eta bibliografiak diotenez, ZT puntualen (χ) eragina arbuiatu dezakegu.

- Kasu bereziak (ez arbuiatu):
 - Eraikin ez-konbentzionalak
 - Elementu eroankorrak inguratzaillean sartzen direnean



Designed by Freepik

Araudiaren arabera kalkuluak egiteko metodologia

- Bero-galerak kalkulatzeko ZT-ei dagokien eragina integratzea:

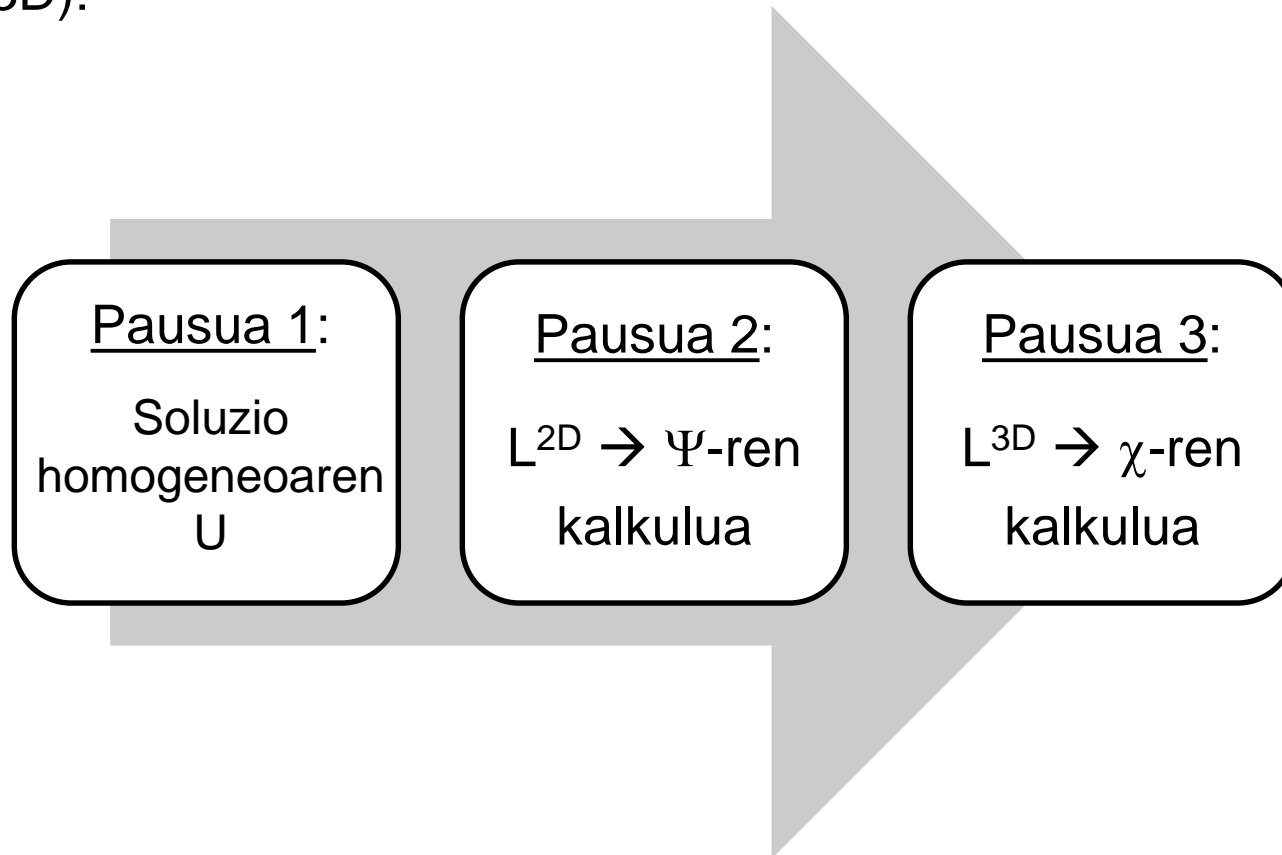
$$\Phi_T = \left(\sum U_i \cdot A_i + \sum \psi_j \cdot L_j + \sum \chi_k \right) (\theta_i - \theta_e) = U_m \cdot A_T \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

- ZT puntualei dagokien eragina arbuizatzuz:

$$\Phi_T = \left(\sum U_i \cdot A_i + \sum \psi_j \cdot L_j \right) (\theta_i - \theta_e) = U_m \cdot A_T \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Kalkulu-metodoak

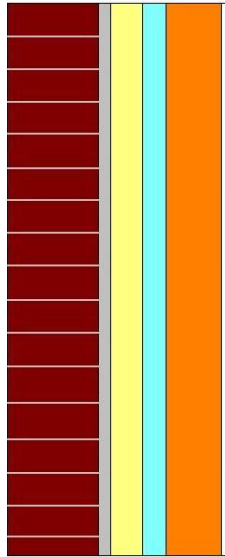
Adibidea: Forjatua eta izkina baten elkargunean ZT-en eragina kalkulatzeko pausuak (3D):



Araudiaren arabera kalkuluak egiteko metodologia

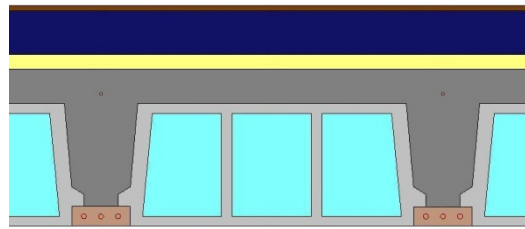
Pausua 1:

■ Fatxada



$$U = 0,459 \text{ W/m}^2\text{K}$$

■ Forjatua

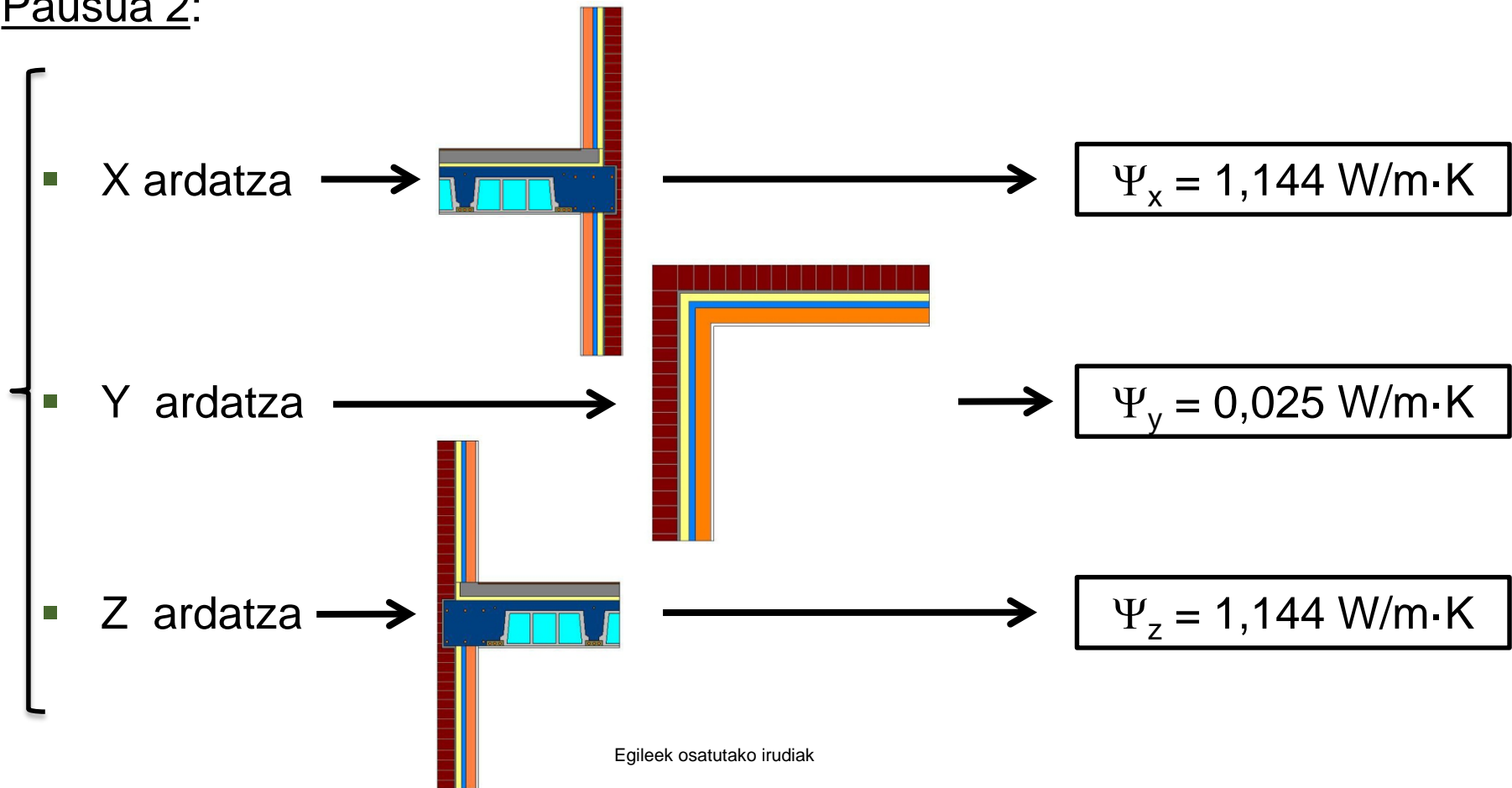


$$U = 0,606 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Egileek osatutako irudiak

Araudiaren arabera kalkuluak egiteko metodologia

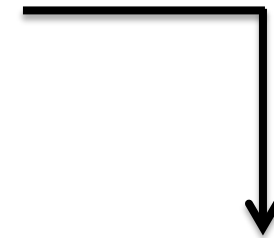
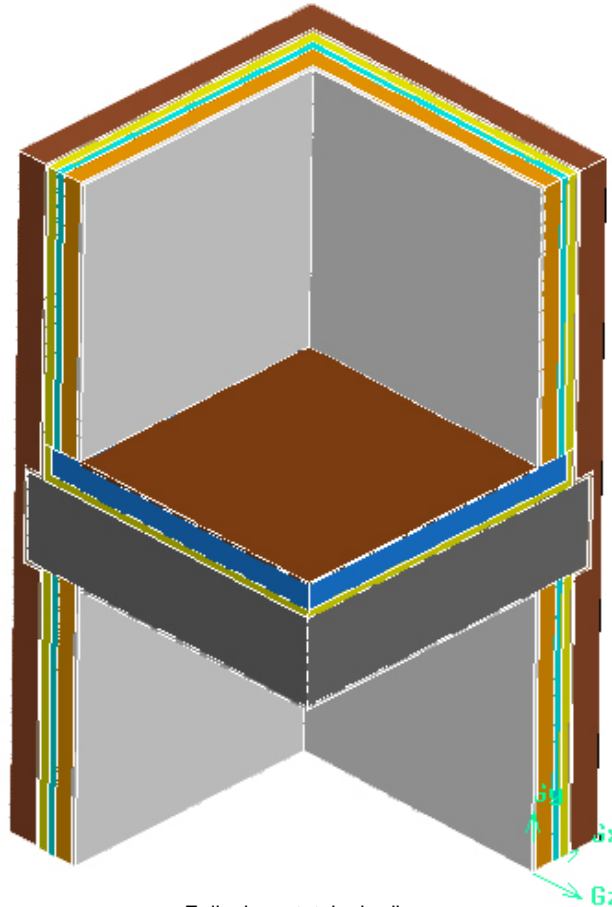
Pausua 2:



Araudiaren arabera kalkuluak egiteko metodologia

Pausua 3:

- PT puntuala



$$\chi = -0,639 \text{ W/K}$$

Kalkulu hipotesi eta ereduak

Dimentsio bakarra

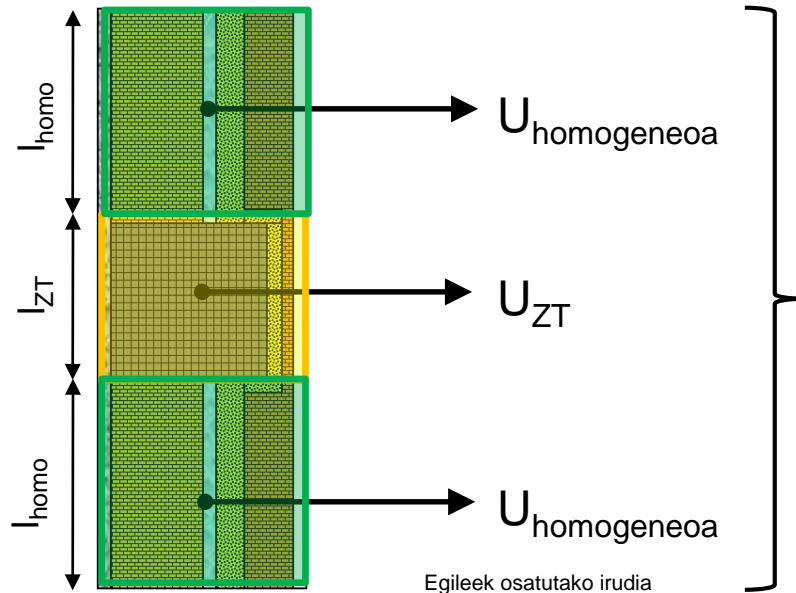
- Metodo sinplifikatua
- UNE-EN ISO 6946

Hibridoak

- $\lambda_{\text{baliokidea}}$
- EKT metodo orokorra (Ψ desfaserik gabe)
- Ψ desfasearekin

Dinamikoak

- Horma baliokidea



$$U_{\text{equi}} = \frac{U_{PT} \cdot l_{PT} + U_{\text{homo}} \cdot l_{\text{homo}}}{l_{PT} + l_{\text{homo}}}$$

Kalkulu hipotesi eta ereduak

Dimentsio bakarra

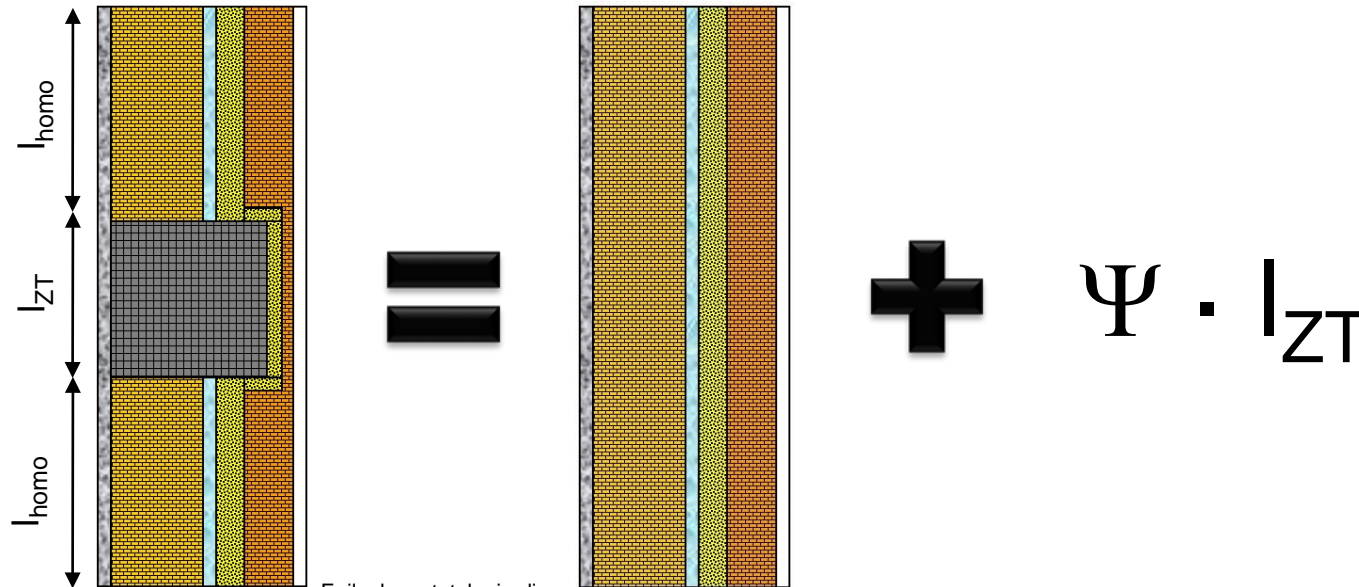
- Metodo sinplifikatua
- UNE-EN ISO 6946

Hibridoak

- $\lambda_{\text{baliokidea}}$
- EKT metodo orokorra (Ψ desfaserik gabe)
- Ψ desfasearekin

Dinamikoak

- Horma baliokidea



Egileek osatutako irudia

Kalkulu hipotesi eta ereduak

Dimentsio bakarra

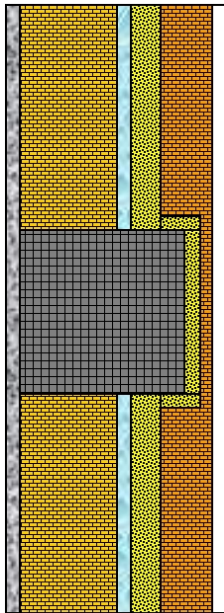
- Metodo sinplifikatua
- UNE-EN ISO 6946

Hibridoak

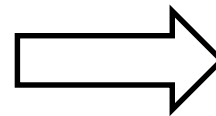
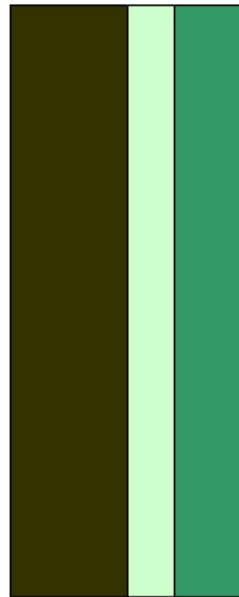
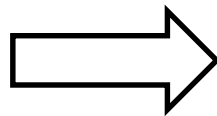
- $\lambda_{\text{baliokidea}}$
- EKT metodo orokorra (Ψ desfaserik gabe)
- Ψ desfasearekin

Dinamikoak

- Horma baliokidea



Egileek osatutako irudia



Portaera termiko bera erregimen egonkorrean eta ez-egonkorrean

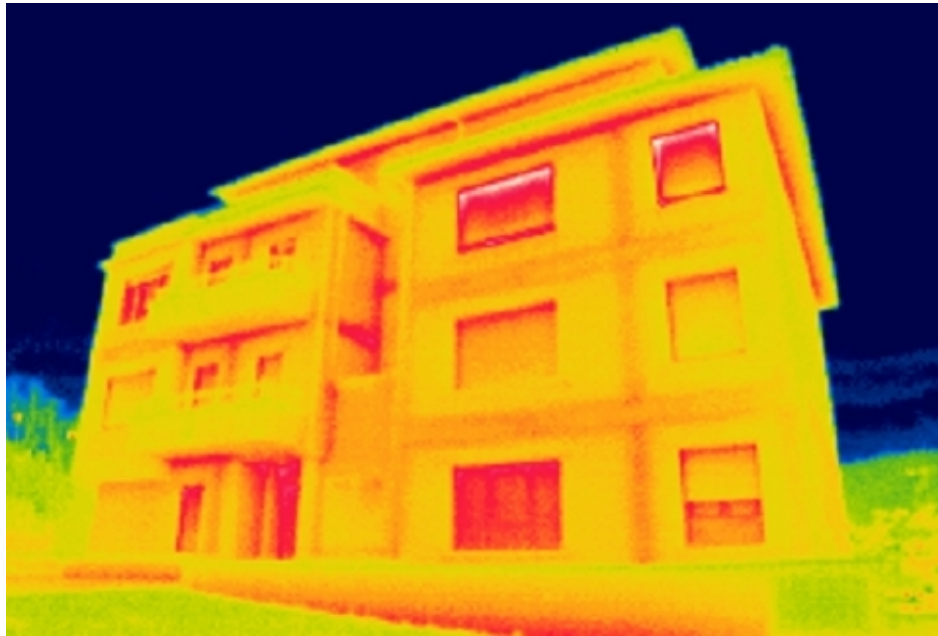
Kalkulu hipotesi eta ereduak

ZT-en tratamendua erregimen ez-egonkorrean, UNE-EN ISO 13786 Arauaren arabera:

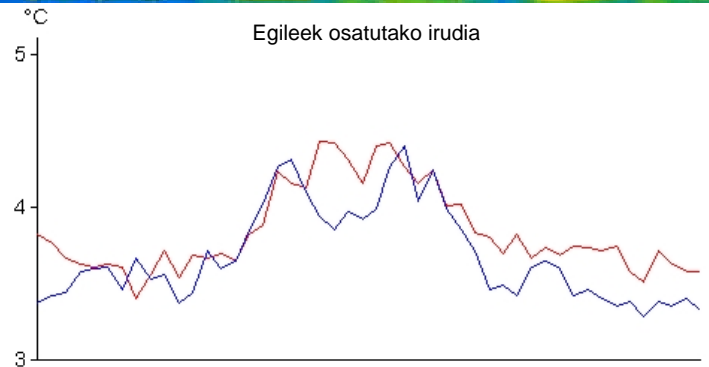
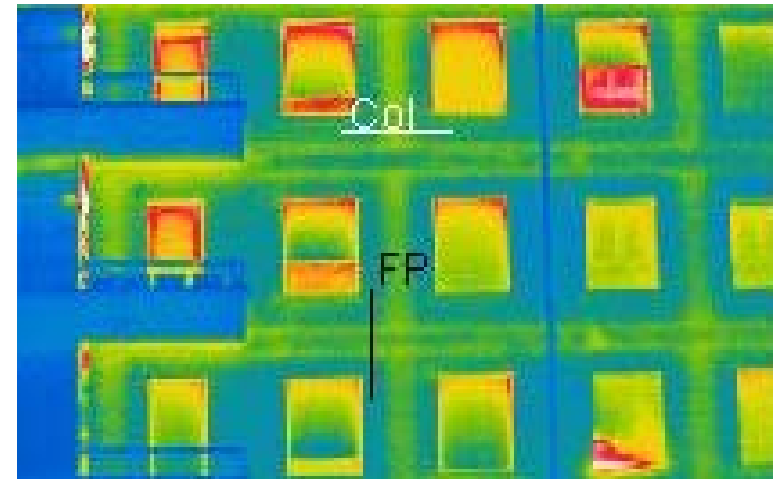
- *“Eraikinen osagaietan agertu ohi diren zubi termikoek ez diete nabarmen eragiten ezaugarri termiko ez-egonkorrei, eta baztertu ahal izango dira.” → **GEZURRA***
- *“Osagai ez-lauen eta zubi termiko garrantzitsuak dituzten osagaien ezaugarri termiko ez-egonkorrak kalkulatzeko, bero-transferentzia ekuazioa ingurune-baldintza periodikoak erabiliz ebatzi behar da. Horretarako, EN ISO 10211 Arauan emandako eredu jarraituko da, zenbakizko metodoekin konbinatuta, hala nola diferentzia finituko metodoekin eta elementu finituekin.” → **EZTABAIDAGARRIA***

Analisi termografikoaren bidezko detekzioa

Kanpoaldeko analisia



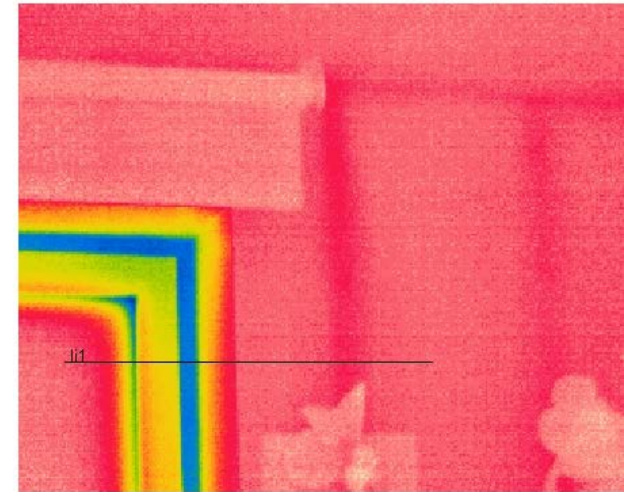
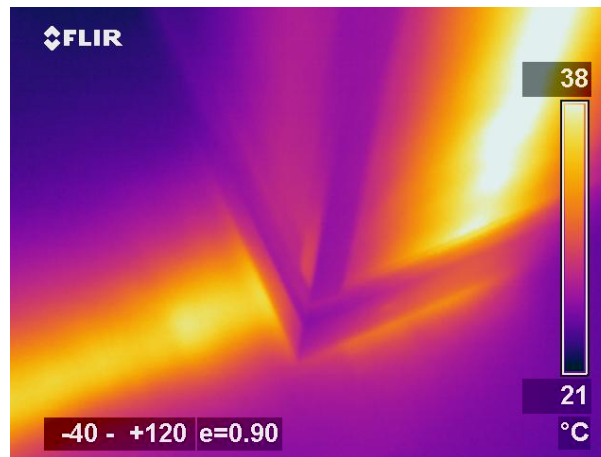
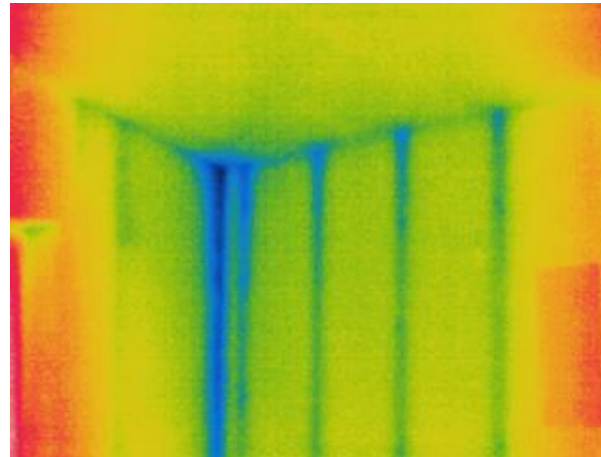
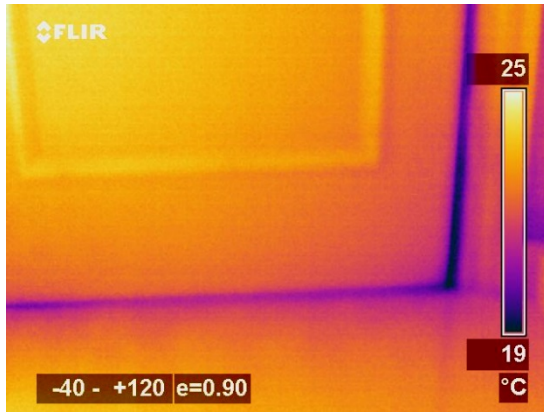
Egileek osatutako irudia



Etiqueta	Mín.	Máx.	Med.
<input checked="" type="checkbox"/> Col	3.4	4.4	3.8
<input checked="" type="checkbox"/> FF	3.3	4.4	3.7

Analisi termografikoaren bidezko detekzioa

Barnealdeko analisia



Egileek osatutako irudiak

[YouTube kanalean gai honi buruzko laburpen bideo bat duzu, ikusi eCampusOCW plataformako esteka](#)

Eskerrik asko!