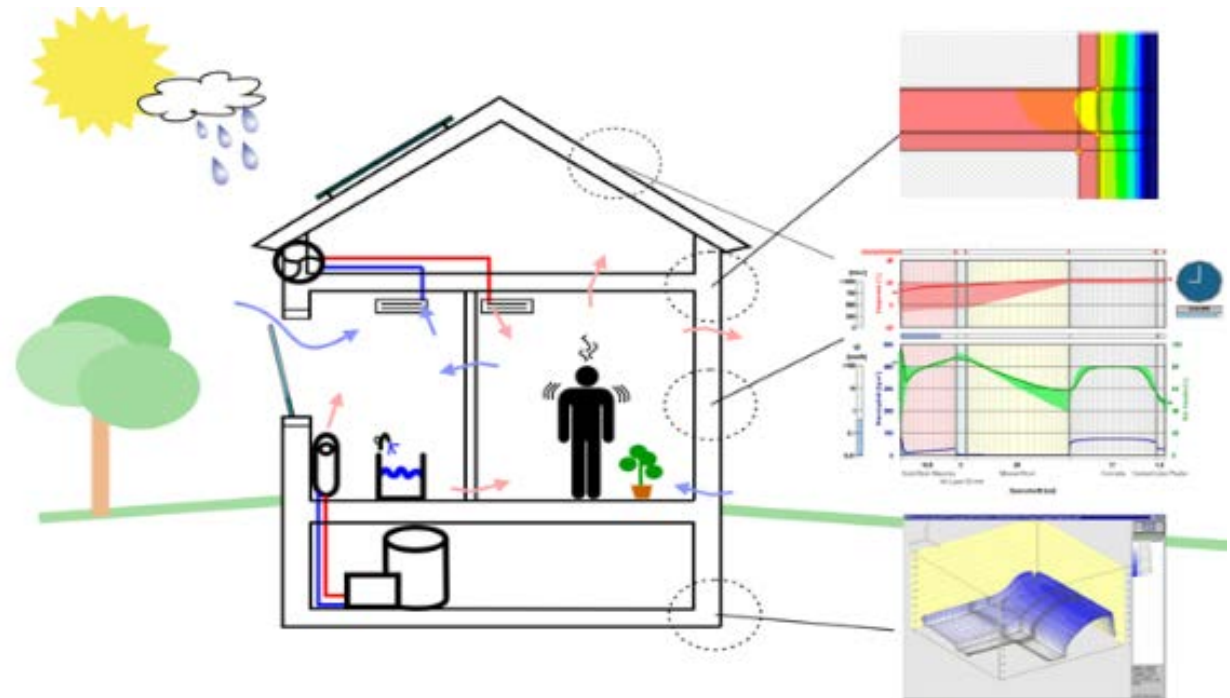


Eraikinen Fisika: Bero- eta masa-transferentzia itxituratan



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



ERAIKINETAKO BARRUKO HEZETASUNA MOTELTZEKO GAITASUNA

Eraikinen oreka higroskopikoa

- Eraikin barruko hezetasun maila faktore askoren araberakoa da:
 - Eguraldia
 - Aireztapena
 - Okupatzaileen hezetasun-ekoizpen tasa
 - Barruko airearekin hezetasuna trukatzeko ahalmena ematen dien itxitura eta altzariak osatzen dituzten materialen portaera higroskopikoa

Eraikinen oreka higroskopikoa

- Itxituren barruko estaldurak osatzen dituzten material porotsuek barruko hezetasun mailak moteltzeko gai dira eta, beraz, eraikinetako erosotasuna eta airearen kalitatea hobetzeko gaitasuna dute.
- Aldi berean, energia-kontsumo baxua dakarte barruko hezetasun maila moderatzeko
- Horregatik, sistema pasibotzat har daitezke, kanpoko energia-sarrerarik gabe funtzionatzen dutelako.

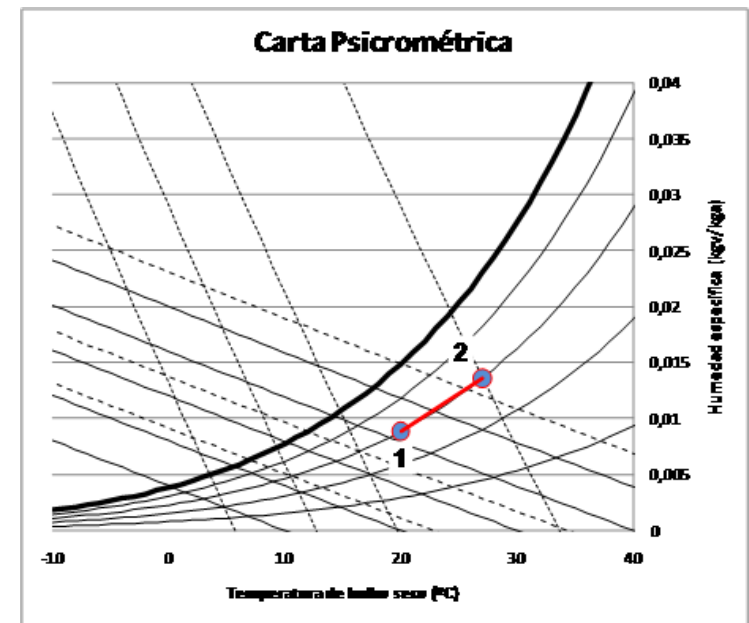
Eraikinen oreka higroskopikoa

- Barneko airean material higroskopikoek izan dezaketen eragina azaltzeko, ondoko adibidea oso argigarria da. Demagun ontzi itxi batean non airea hasieran % 60ko hezetasun erlatiboan eta 20 °C-tan dagoen, eta bertan kotoia jartzen dugula, egoera baldintza berdinetan, hots, % 60ko hezetasun erlatiboko eta 20 °C-ko baldintzetan dago kotoia era sartu aurretik.



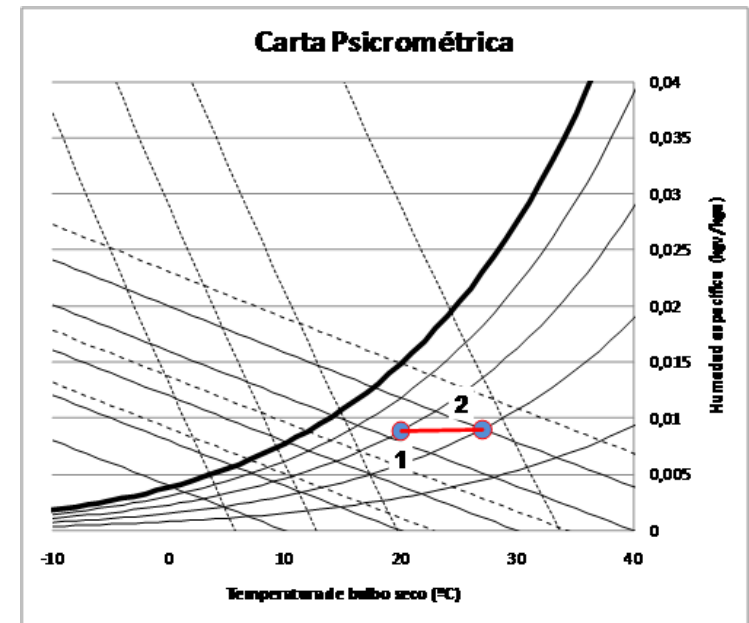
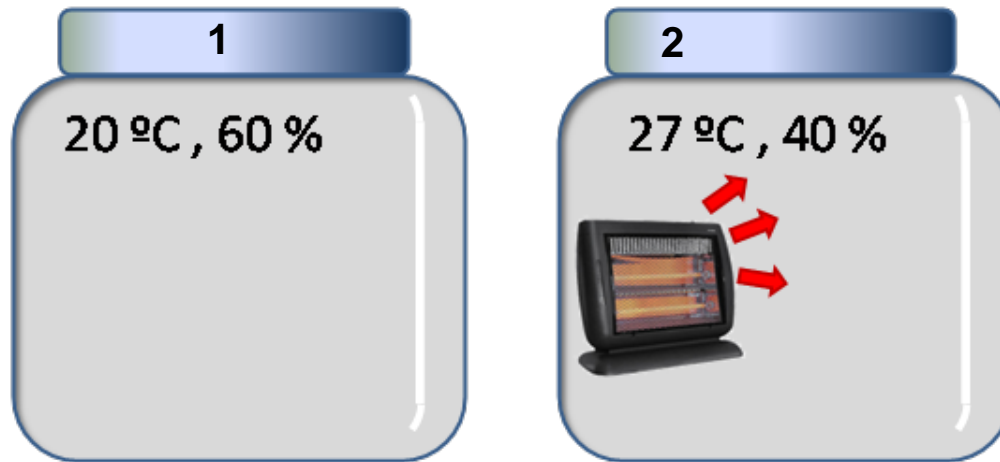
Eraikinen oreka higroskopikoa

- Ontzian tenperatura igoko balitz, kotoiak airearen hezetasun erlatiboa ia konstante mantenduko luke, material higroskopikorik ezean gutxituko litzatekeen bitartean. Kotoia hezetasunaren gordailu edo "buffer" gisa jokatzen du.



Eraikinen oreka higroskopikoa

- Ontzian kotoirik ez balego (hau da, material higroskopikorik ez balego), ontziko airearen beroketa sentikorrek ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tik $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra) hezetasun erlatiboa gutxitzea ekarriko luke, %60tik. %40.

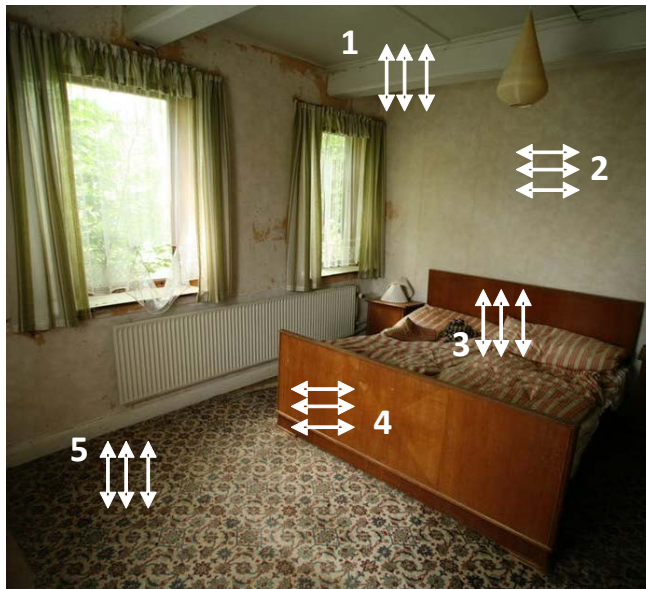


Eraikinen oreka higroskopikoa

- Airearen tenperatura bere saturazio-presioarekin batera igotzen hasten den heinean, aireko hezetasun erlatiboak balio baxuagoetara jotzen du. Ia berehala, kotoiak bere desortzio isotermaren arabera erreakzionatzen du eta ur-lurruna askatzen du.
- Material higroskopikoak aireak baino ur eduki bolumetriko askoz handiagoa gordetzen duenez, kotoiak galtzen duen urak ez du ia eragiten orekako hezetasun edukiari, airearen lurrun-presioari asko eragiten dion bitartean.
- Ondorioz, airearen tenperaturaren aldaketak eragindako hezetasun erlatiboaren jaitsiera materiala uzten duen ur-lurrunarekin konpentsatzen da. Laburbilduz, ontziaren hezetasun erlatiboaren aldakuntza bortitza eragozten duen materialaren erregulazio ahalmen bat dago, hura motelduz.

Eraikinen oreka higroskopikoa

- Benetako eraikin batean, barruko airearen hezetasun erlatiboaren aldaerak arintzeko gaitasuna altzarien materialek eta barruko elementuek edo ekipamenduek ematen dute, hala nola alfonbrak, ohe-oholak, edredoiak, burkoak, liburuak, etab. baita eraikinaren itxituren barruko gainazaleko geruzek ere



Barruko airearen hezetasun erlatiboaren gorabeherak moteltzeko ahalmena duten elementuak:

1-2: Itxituraren barruko gainazalak

3-4-5: Altzariak eta osagarriak.

Eraikinen oreka higroskopikoa

- Material porotsu baten hezetasun-truke ahalmena ura gordetzeko duen gaitasunaren araberakoa da, baita ur-lurrun hori bere barrutik/barrualderuntz garraiatzeko duen gaitasunaren araberakoa ere, hau da, materialaren ur-lurrunaren difusioaren erresistentziaren araberakoa. Hezetasuna metatzeko eta garraiatzeko mekanismoek parte hartzen dute fenomenoan.
- Hezetasuna metatzeko ahalmena eta ur-lurrunarekiko iragazkortasuna handiak badira, hezetasuren aldaketen moteltze-ahalmena modu eraginkorrean erabil daiteke barruko airearen baldintzak erregulatzeko, bitarteko pasibo gisa.

Eraikinen oreka higroskopikoa

- Hezetasun pasiboaren erregulazio modu hau bereziki egokia izan daiteke museoetarako, artxibo dokumentaletarako, arte galerietarako, liburutegietarako eta ondare arkitektonikorako ere (adibidez, bisitarienezako sarbidea ahalbidetzen duten eraikin historikoetarako), non bistaratzen edo gordetzen diren elementuak hezetasunarekiko sentikorrak diren, eta hezetasun-kargen aldizkako aldaketen menpe egon daiteke.



- Hezetasuna kontrolatzeko sistema pasibo fidagarri baten beharra ezinbestekoa da museoko objektuak edo euskarri sentikorrak kontserbatzeko, hala nola ehuna, mihisea eta papera.

Eraikinen oreka higroskopikoa

BARRUKO HEZETASUN ERLATIBOA ZEHAZTEN DUTEN FAKTOREAK

- Barruko hezetasun maila honako hauen arabera da:

1. kanpoko eguraldia
2. aireztapen-tasa
3. okupatzaileen hezetasun ekoizpena
4. eraikinaren kartazala eta altzariak osatzen dituzten materialen **inertzia higroskopikoa.**

→ Gelaren balantze higroskopikoa

Eraikinen oreka higroskopikoa

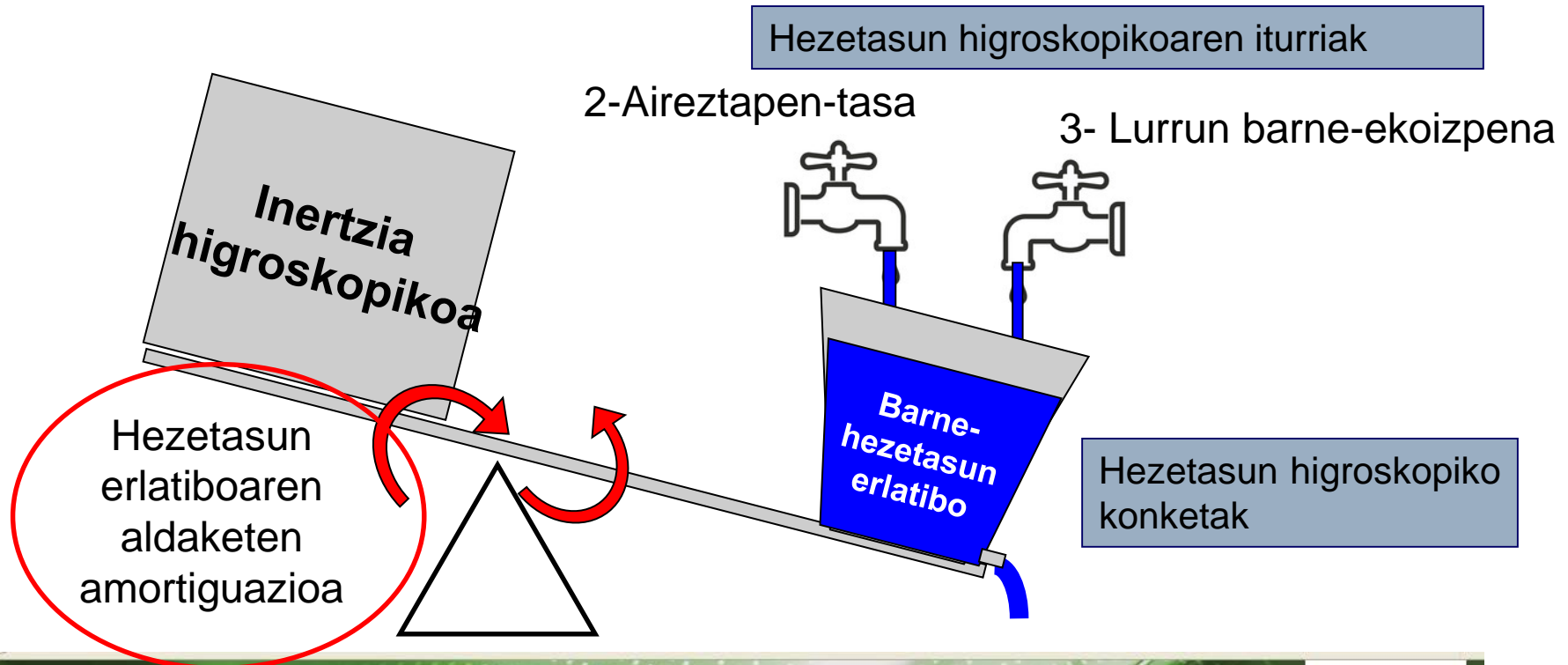
Inertzia higrotermikoa

Inertzia termikoa: inguruneko baldintza termikoen aldaketei erantzuteko energia termikoa xurgatzeko, metatzeko eta igortzeko efektu konbinatua.

Inertzia higroskopikoa: inguruneko baldintza higrotermikoen aldaketei erantzuteko hezetasuna xurgatzeko, metatzeko eta igortzeko efektu konbinatua.

Balantze higroskopikoa

Baldintza higrotermiko egokiak mantentzea sarrerako eta irteerako hezetasun-fluxuen arteko oreka lortzearen araberakoa da. Oreka hori, erregimen dinamikoan, barruko espazioen inertzia higroskopikoaren arabera zehaztuko da.



Inertzia higrotermikoa

- Erabilera-faktore egokia duten behar bezala diseinatutako eraikinetan bezala, masa termikoak energia-eskaera orokorra murriztu dezake eta erosotasun termikoa hobetu dezake.
- Modu berean, **MBV altua duten materialen erabilerak barneko hezetasun erlatiboaren gailurrak erregulatzeko aukera ematen du**, hezetasun-kargak eraikinaren itxiturak xurgatzen dituenean, **hezetasun baxuko garaietan etekin onuragarri gisa berreskuratzeko.**

Balantze higroskopikoa

Oreka higroskopikoaren baldintza aplikatuz, barruko espazioaren balantze higroskopikoa lortzen da, non faktore guzti hauek barne-espazioaren hezetasun-edukian egindako ekarpena jasotzen den:

$$\frac{V}{R_v T_i} \cdot \frac{\partial P_{vi}}{\partial t} = \frac{nV}{3600 R_v T_i} \cdot (P_{ve} - P_{vi}) + \dot{G}_v - \sum_{j=1}^k A_{sj} \cdot g_{mbj}$$

Aire-berriztapenak

Lurrun-ekoizpena

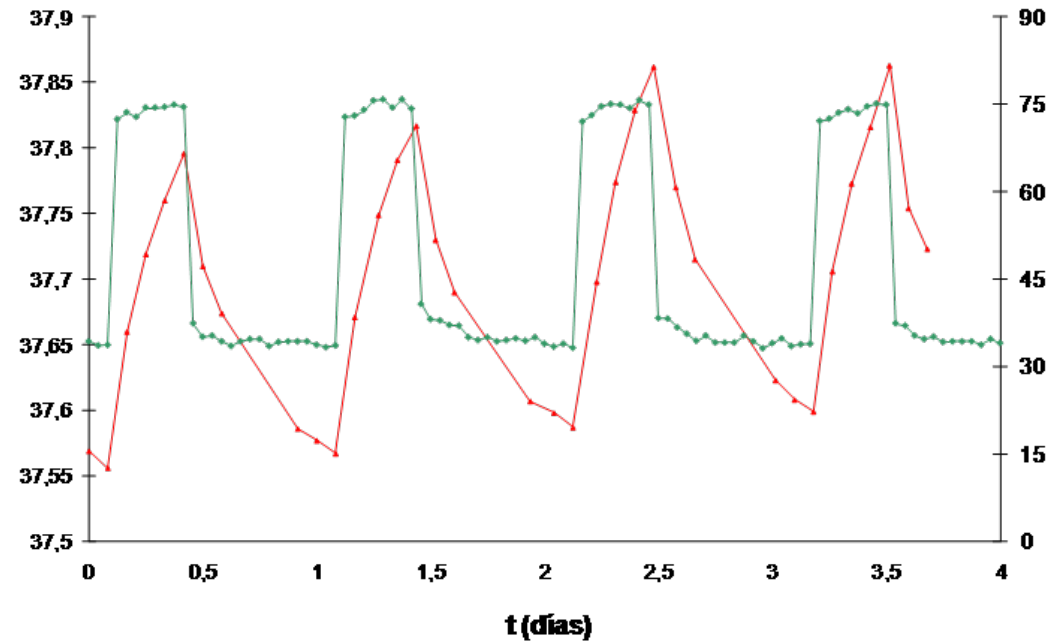
Hezetasun-aldaketan amortiguazio ahalmena

Batugai ez-egonkorra (erregimen dinamikoa)

Hezetasun-aldaketan amortiguazio ahalmena

Hezetasuna amortiguatzeko ahalmena (Moisture Buffer Value)

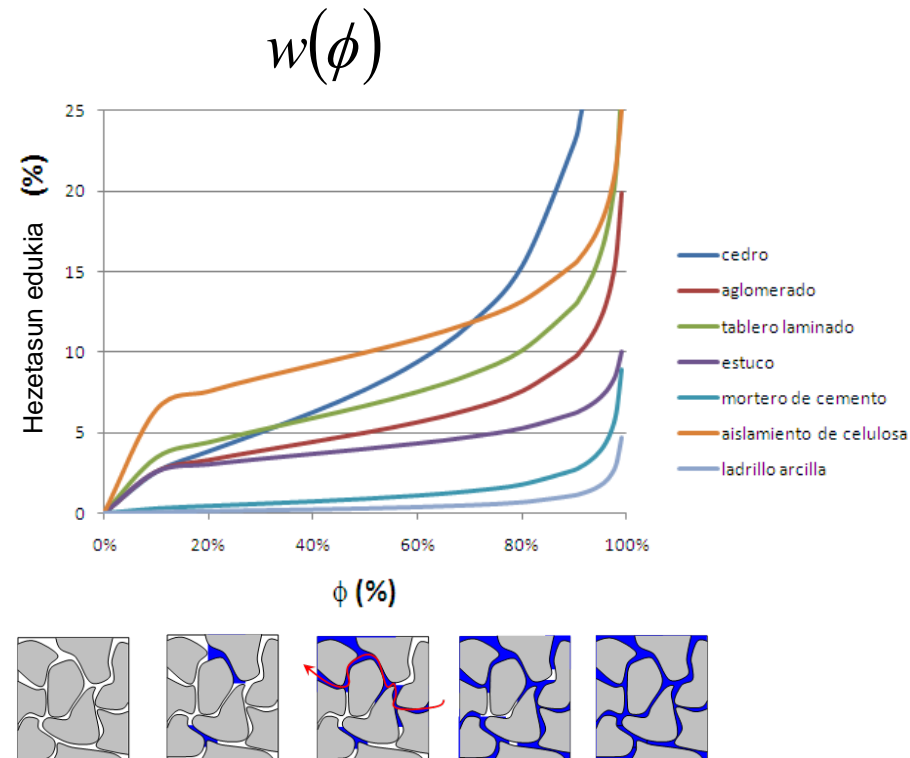
- SOLUZIO PASIBOA
 - Hezetasuna amortiguatzeko ahalmena (Moisture Buffering-a)



Hezetasuna amortiguatzeko ahalmena (Moisture Buffer Value)

Hezetasuna **metatzeko ahalmena**:

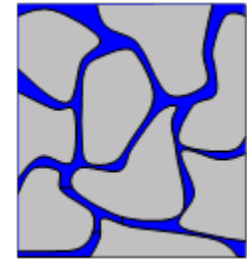
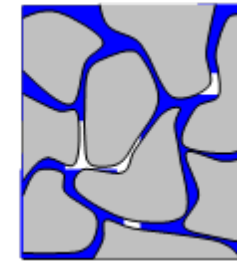
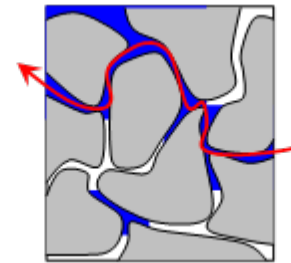
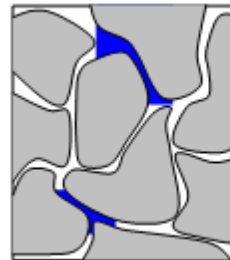
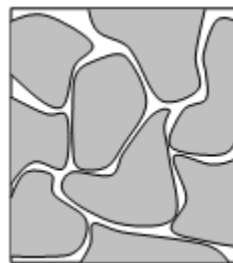
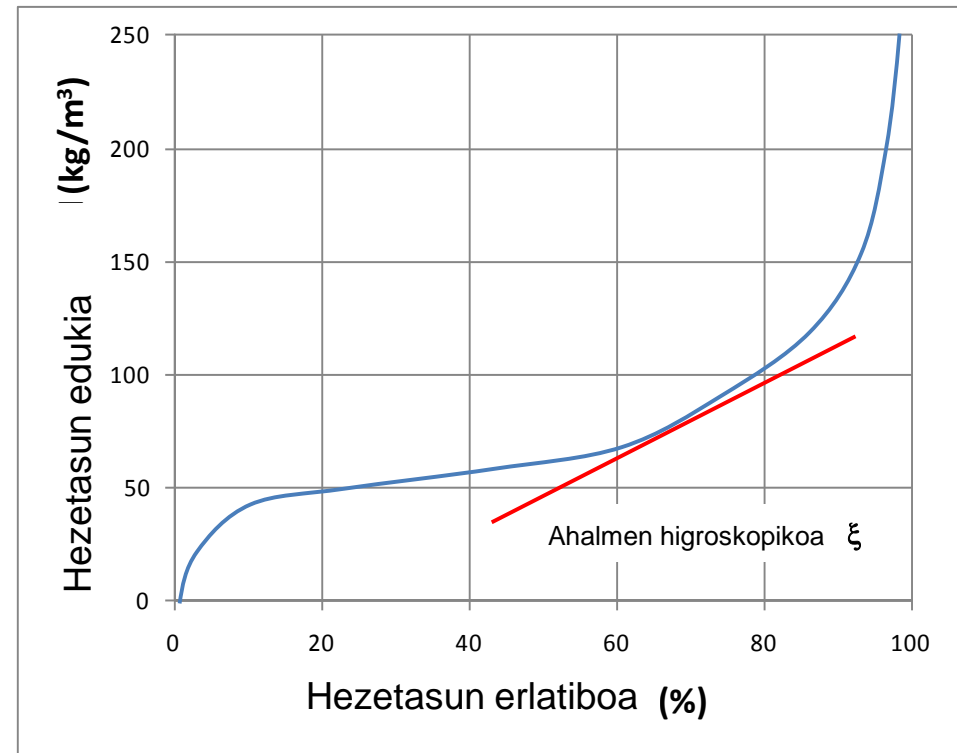
- **sortzio isoterma** eta ura-atxikimendu kurbaren bitartez isladatzen da
- **egitura porotsuaren** araberakoa da (poroen tamaina eta distribuzioa).



- Hezetasun ahalmena:

$$\xi = \frac{\partial w(\phi)}{\partial \phi}$$

Materialak, ingurunearen hezetasun erlatiboa aldatu ondoren, adsorbatzen/desorbatzen duen hezetasun kopurua adierazten du.



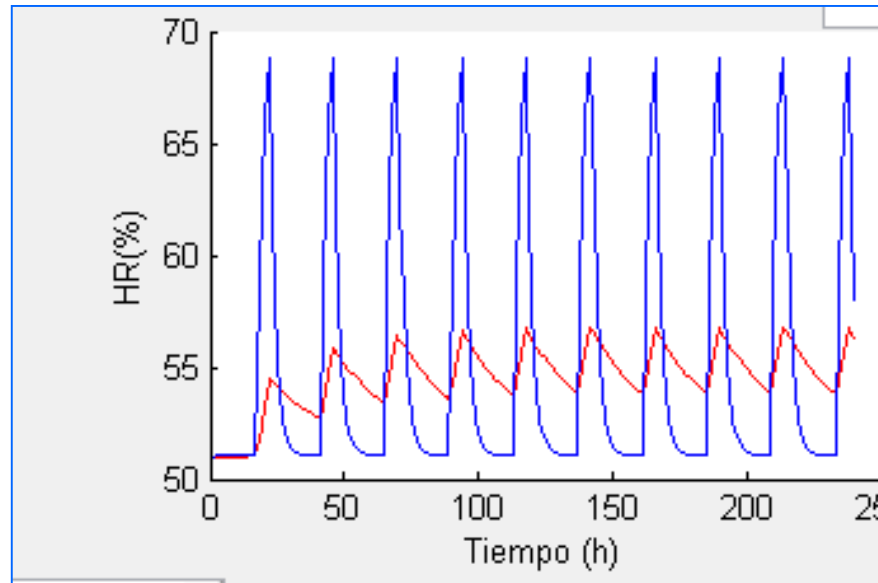
Hezetasuna amortiguatzeko ahalmena (Moisture Buffer Value)

- **Elkarreragina metatzea + garraioa erregimen dinamikoan**

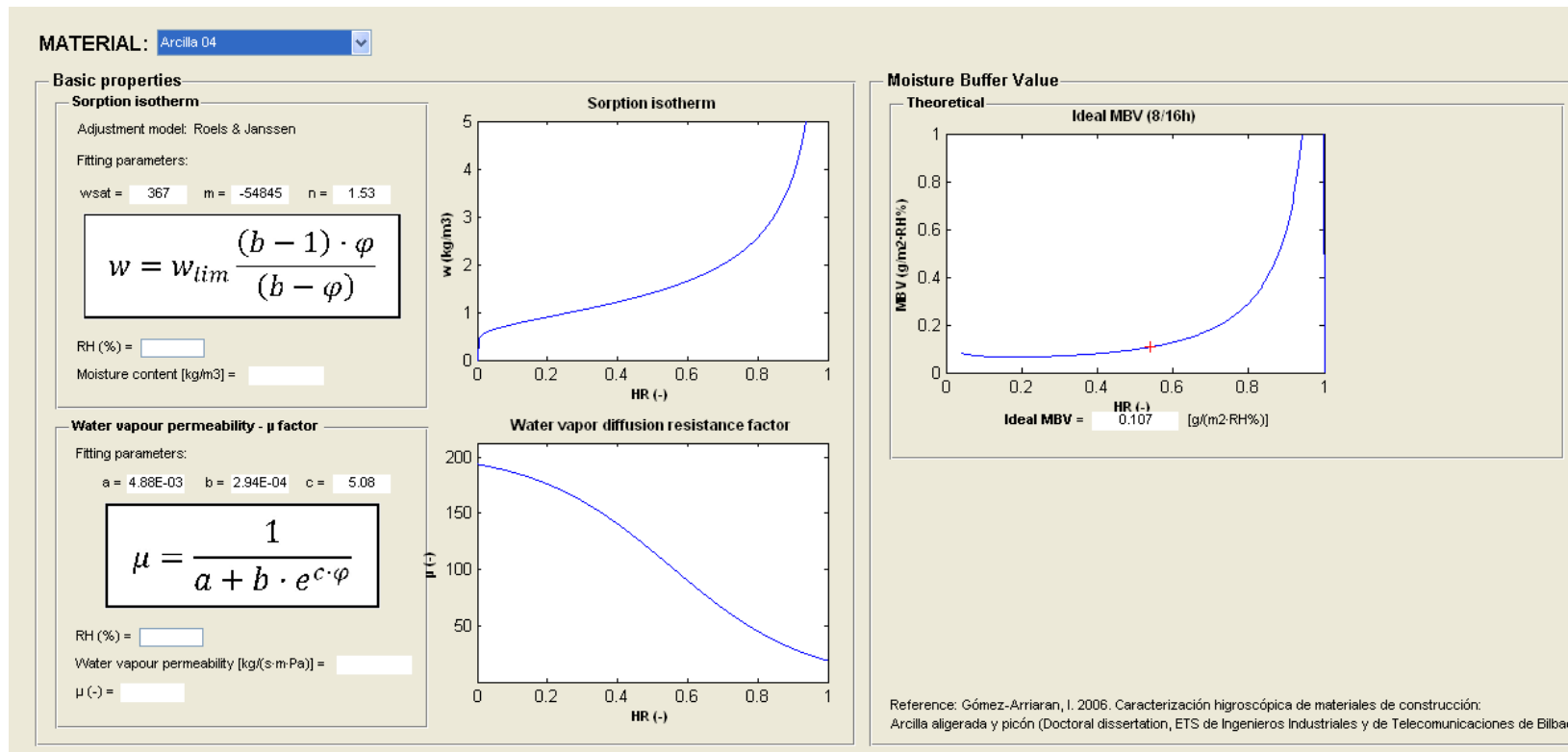
Hezetasuna sartzeko sakonera, d_p [m]

Barneko airearen hezetasun-edukiaren aldaketekin elkarreragina izango den material-geruzaren lodiera aktiboa adierazten du.

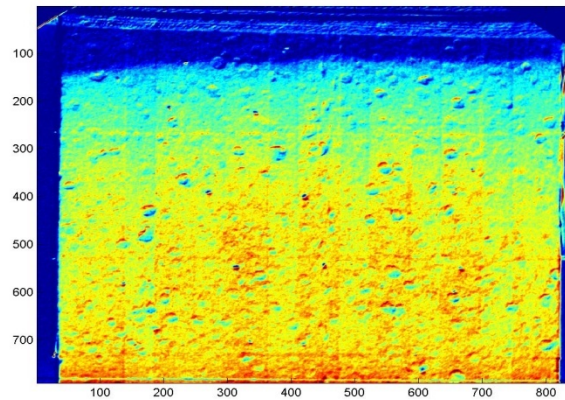
- Propietate hauek guztiek **inertzia higroskopiko** bat ematen diote barne-ingurunearekin kontaktuan dagoen materialari, eta horrek **hezetasun erlatiboaren oszilazio moteltzea ahalbidetzen du.**
- **MBV** material batek jasaten duen inguruneko hezetasun erlatiboan **bat-bateko aldakuntzak absorbatzeko duen potentziala** zehazten duen propietatea da.



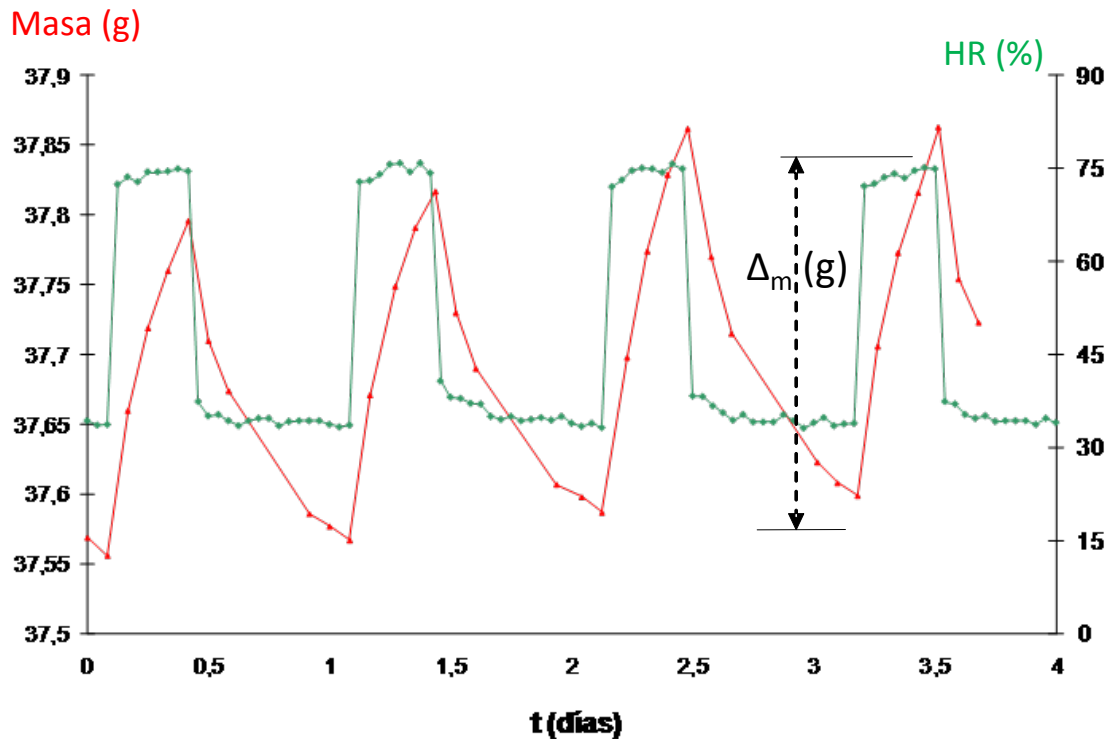
- MBV-ren kalkulu teorikoa, propietate higroskopikoetatik abiatuz



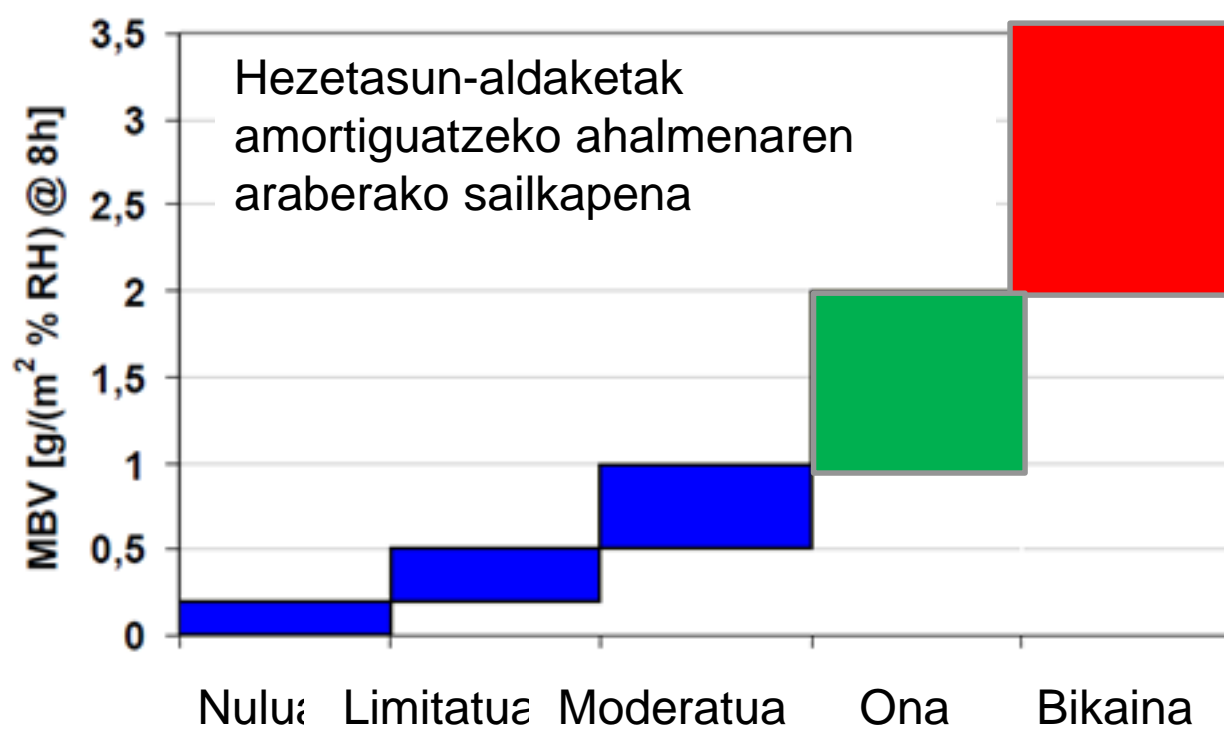
- **MBV** teorikoaren kalkulua, propietate higroskopikoetatik abiatuz
 - Karakterizazio higroskopikoa behar da



- **MBV errealaren neurketa** entsegu dinamikoeetatik abiatuz



Materialen sailkapena beren hezetasuna aldaketak amortiguatzeko ahalmenaren arabera.

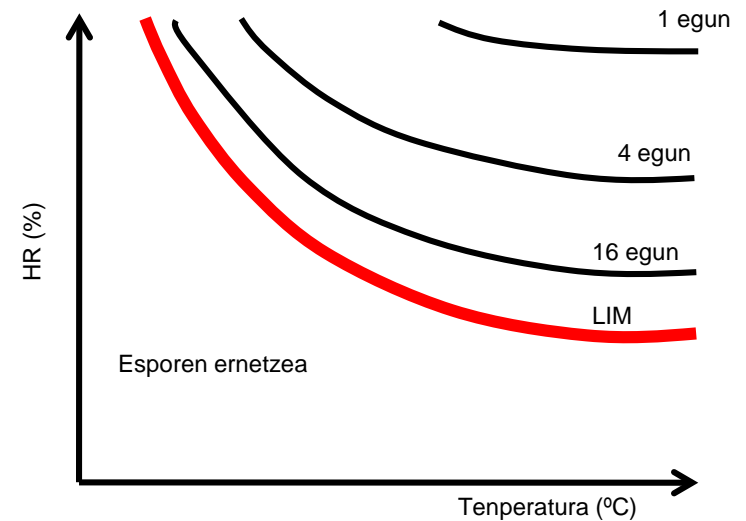


1. Taula: Hainbat materialen MBV baloreak

MATERIAL	ΔHR (%)	Ciclos	MBV [g/(m ² ·%RH)]
Poliacrilato de sodio	33-75	8-16h	8,97
Celulosa	33-75	8-16h	3,07
Enlucido de yeso (sin pintar)	65-75	12-12h	2,7
Enlucido de cemento (sin pintar)	65-75	12-12h	1,61
Cerámica puzolánica autoclavada	33-75	8-16h	1,34
Enlucido de yeso	65-75	12-12h	1,30
Placa de yeso laminado	65-85	12-12h	1,25
Tablero de abeto	33-75	8-16h	1,16
Enlucido de yeso	65-85	12-12h	1,13
Yeso	33-75	8-16h	1,06
Hormigón celular	33-75	8-16h	1,04
Madera de abedul	33-75	8-16h	0,85
Enlucido de cemento (pintura común 1)	65-85	12-12h	0,815
Enlucido de cemento (pintura común 2)	65-85	12-12h	0,765
Hormigón de áridos ligeros estucado	33-75	8-16h	0,75
Madera contrachapada	33-75	8-16h	0,73
Ladrillo	33-75	8-16h	0,48
Madera laminada barnizada	33-75	8-16h	0,46
Hormigón	33-75	8-16h	0,38
Perlita	33-75	8-16h	0,08

ISOPLETAK

- Arriskuaren karakterizazioa

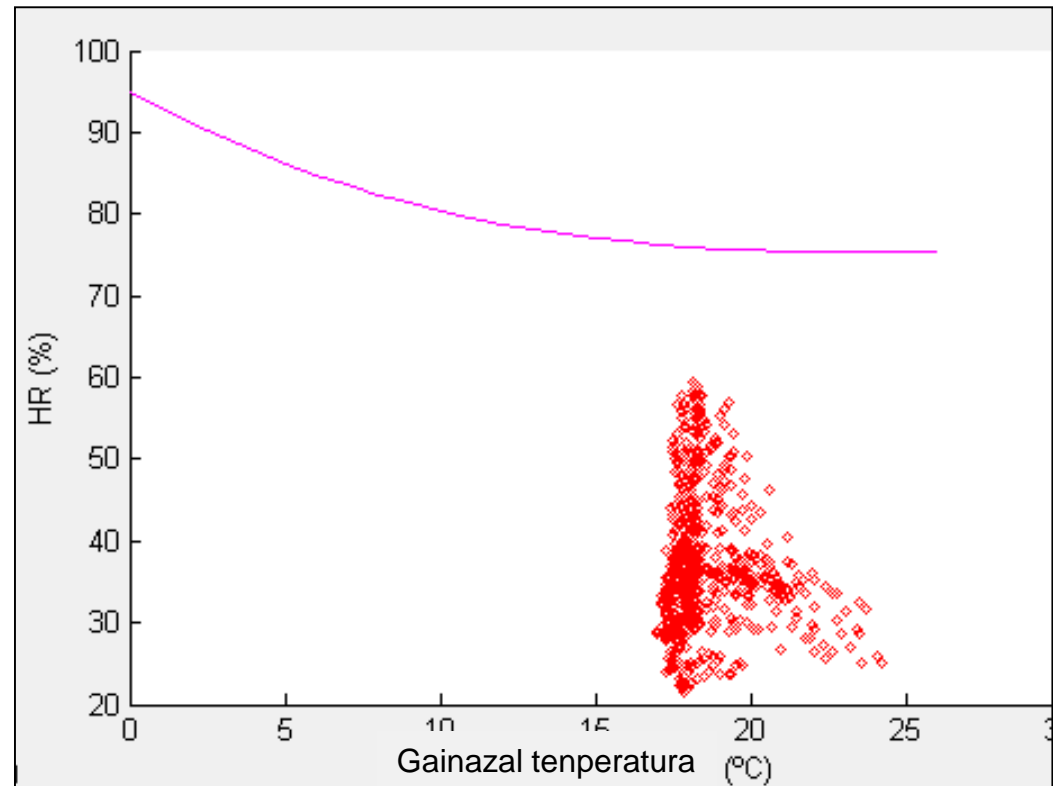


ISOPLETAK: esporak ernetzeko eta mizelioen hazkuntzarako hezetasun eta tenperatura baldintzen irudikapena

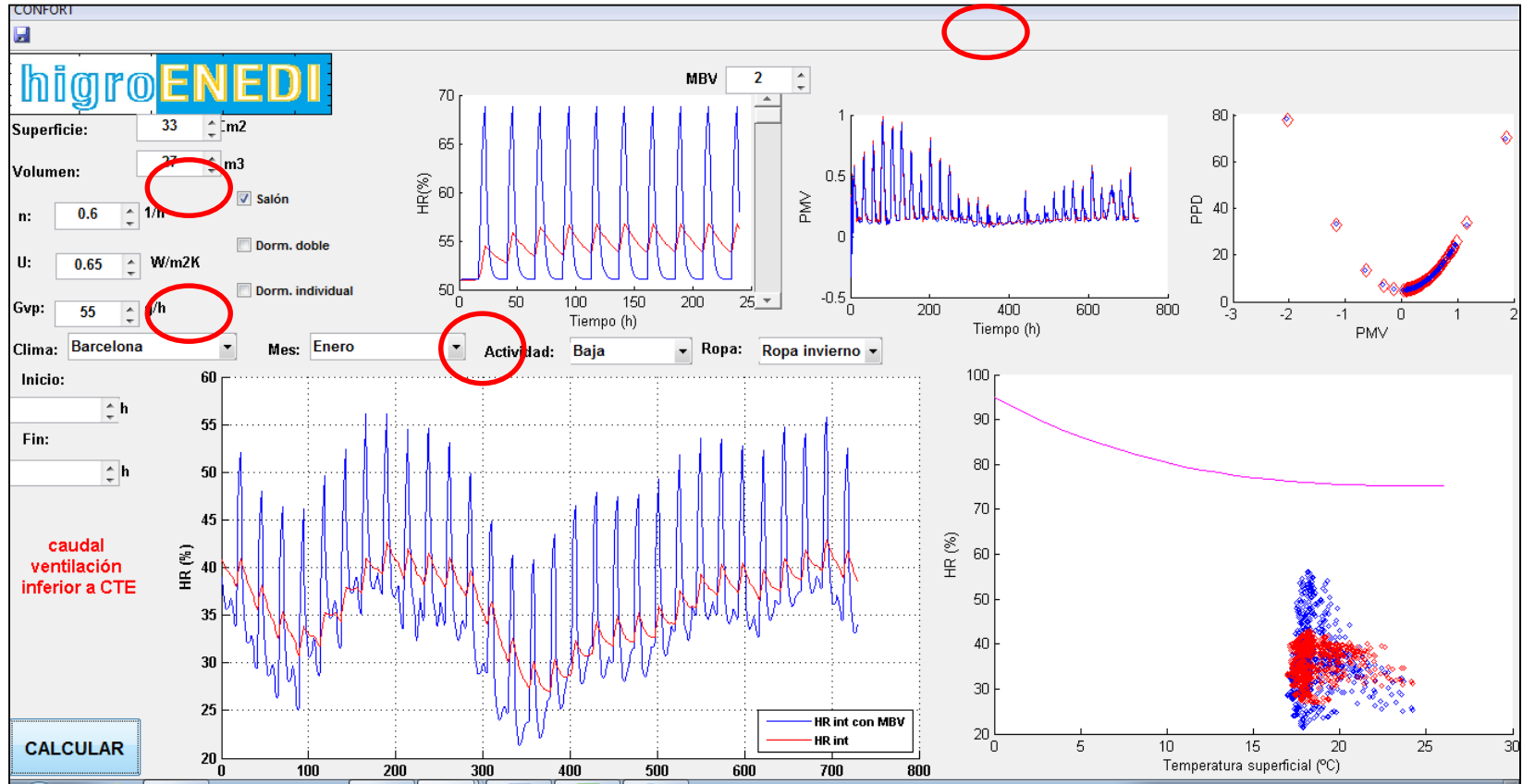
LIM: onddo espezie guztietako **isopleta guztien konbinazioaren beheko muga adierazten du**. Baldintza horien azpian, ez da onddo espezierik ernetzen/loratzen

- IRAGARPENA

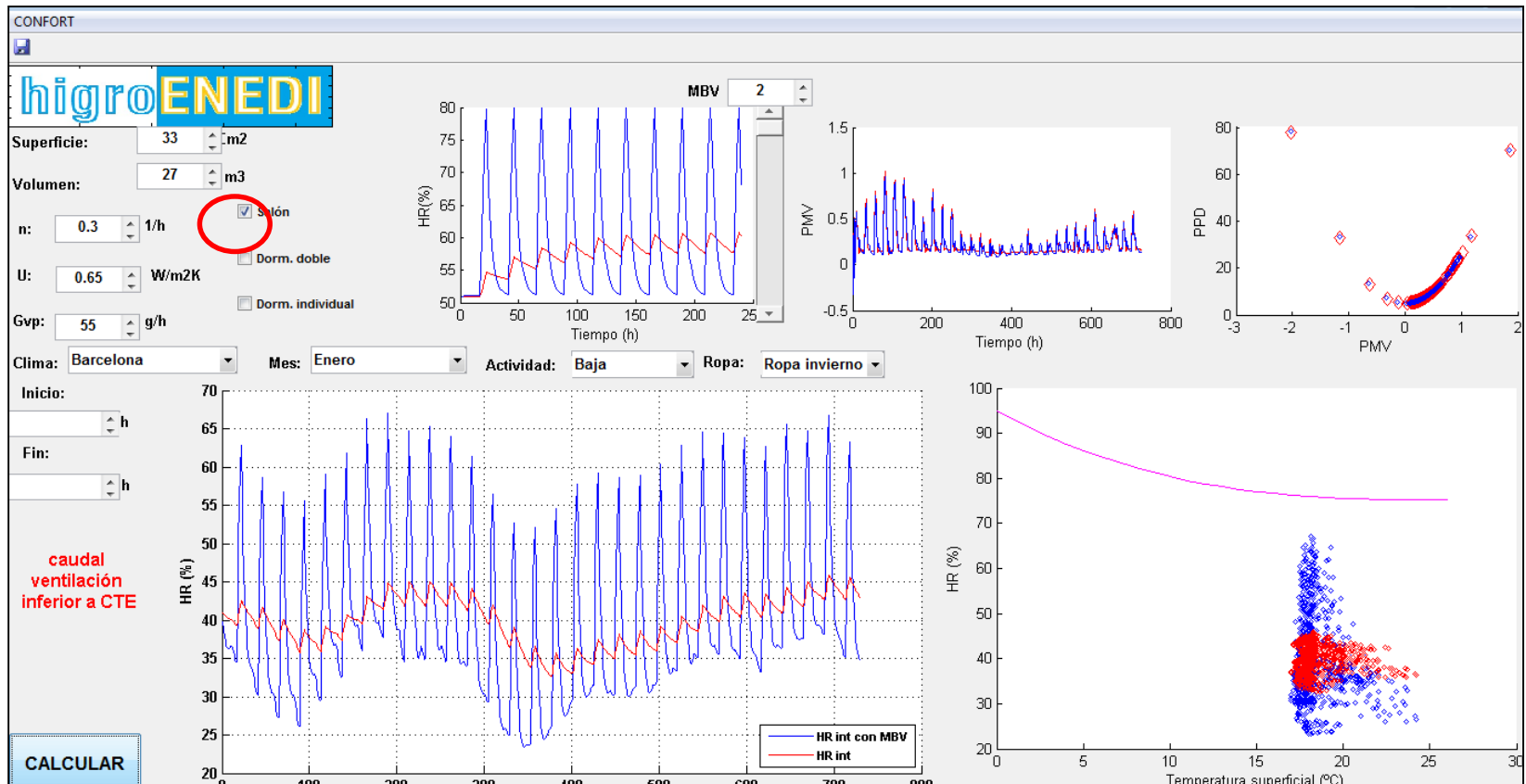
- Simulazioak erregimen dinamikoan



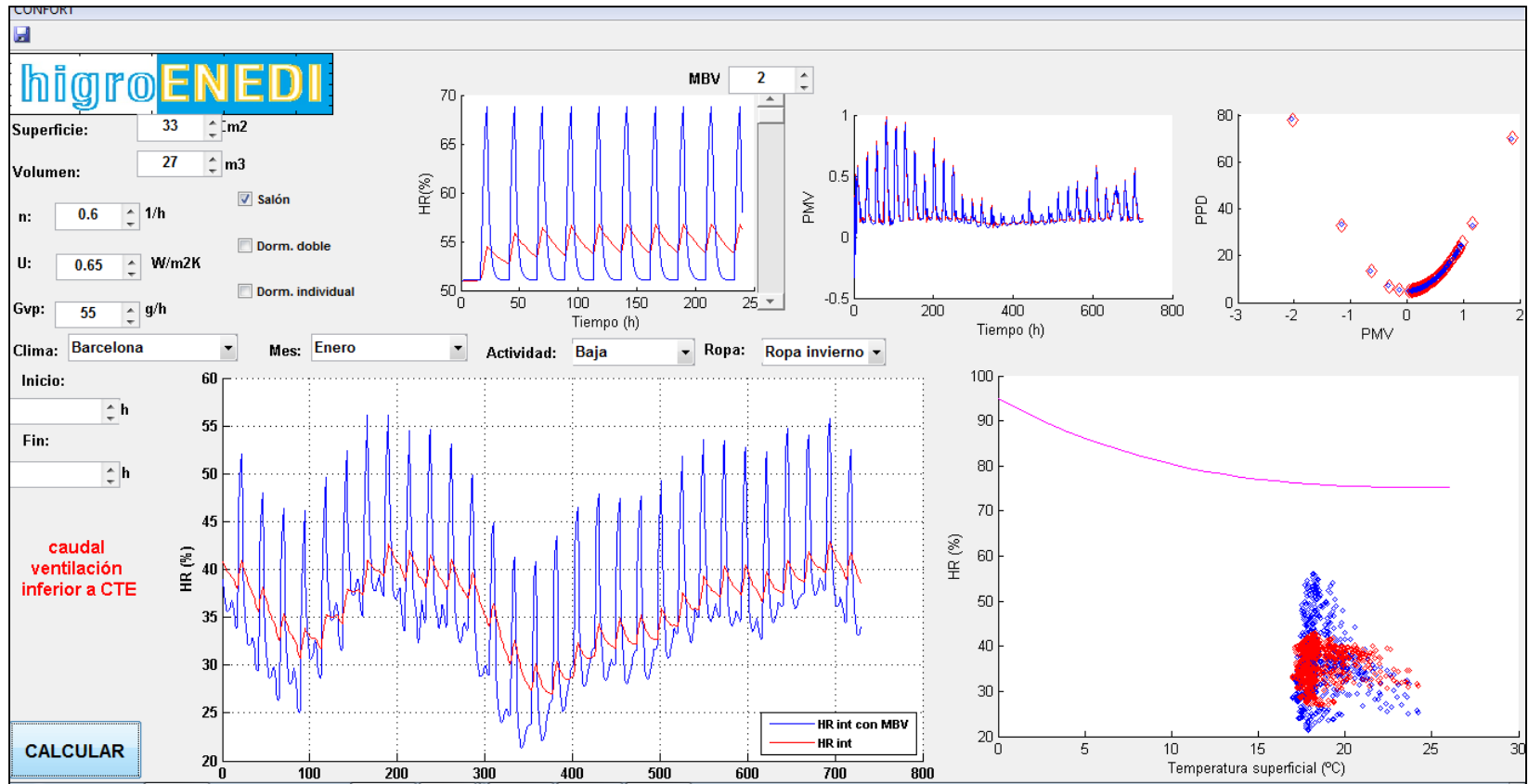
Barcelona, Urtarrila, 0.6 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



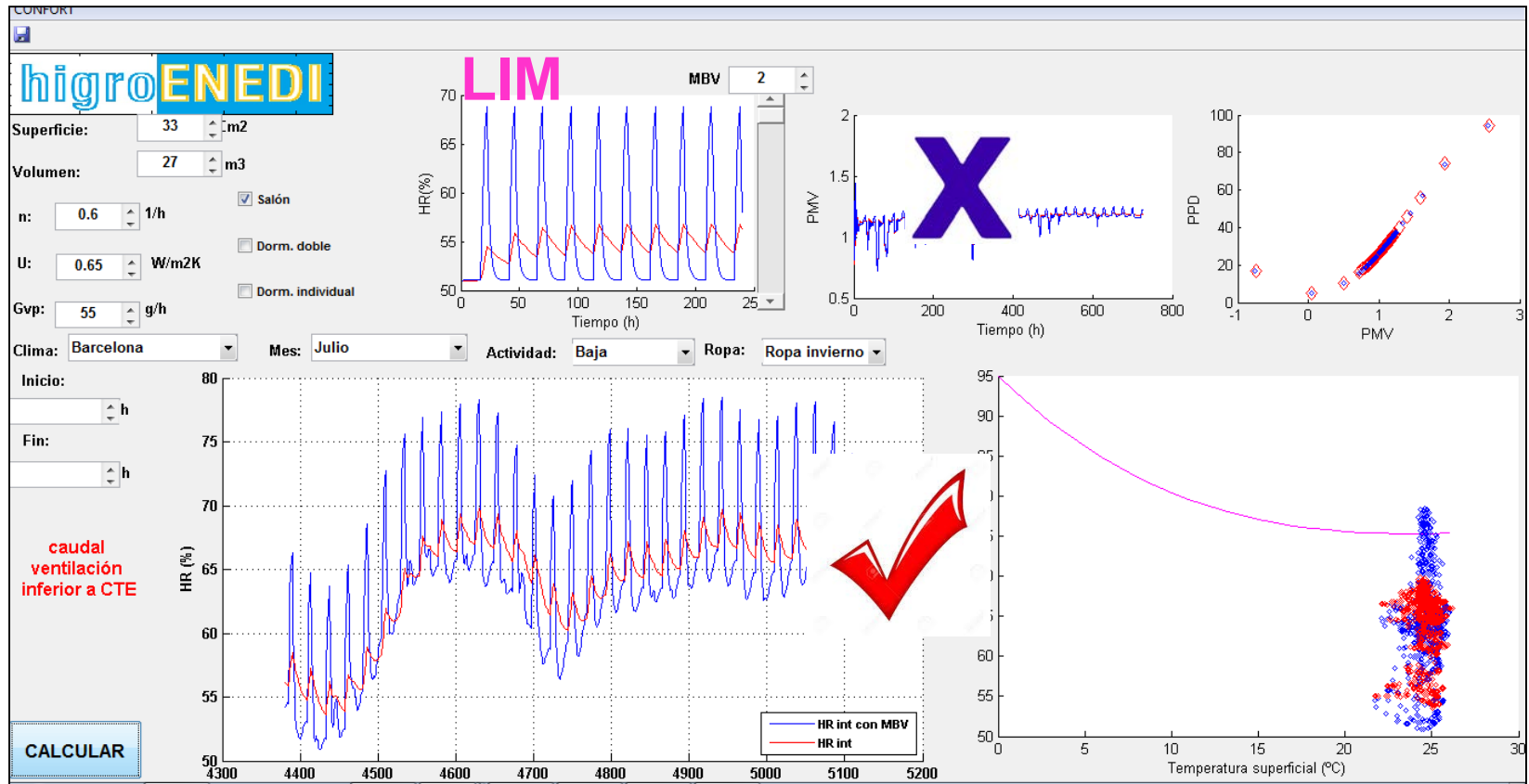
Barcelona, Urtarrila, 0.3 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



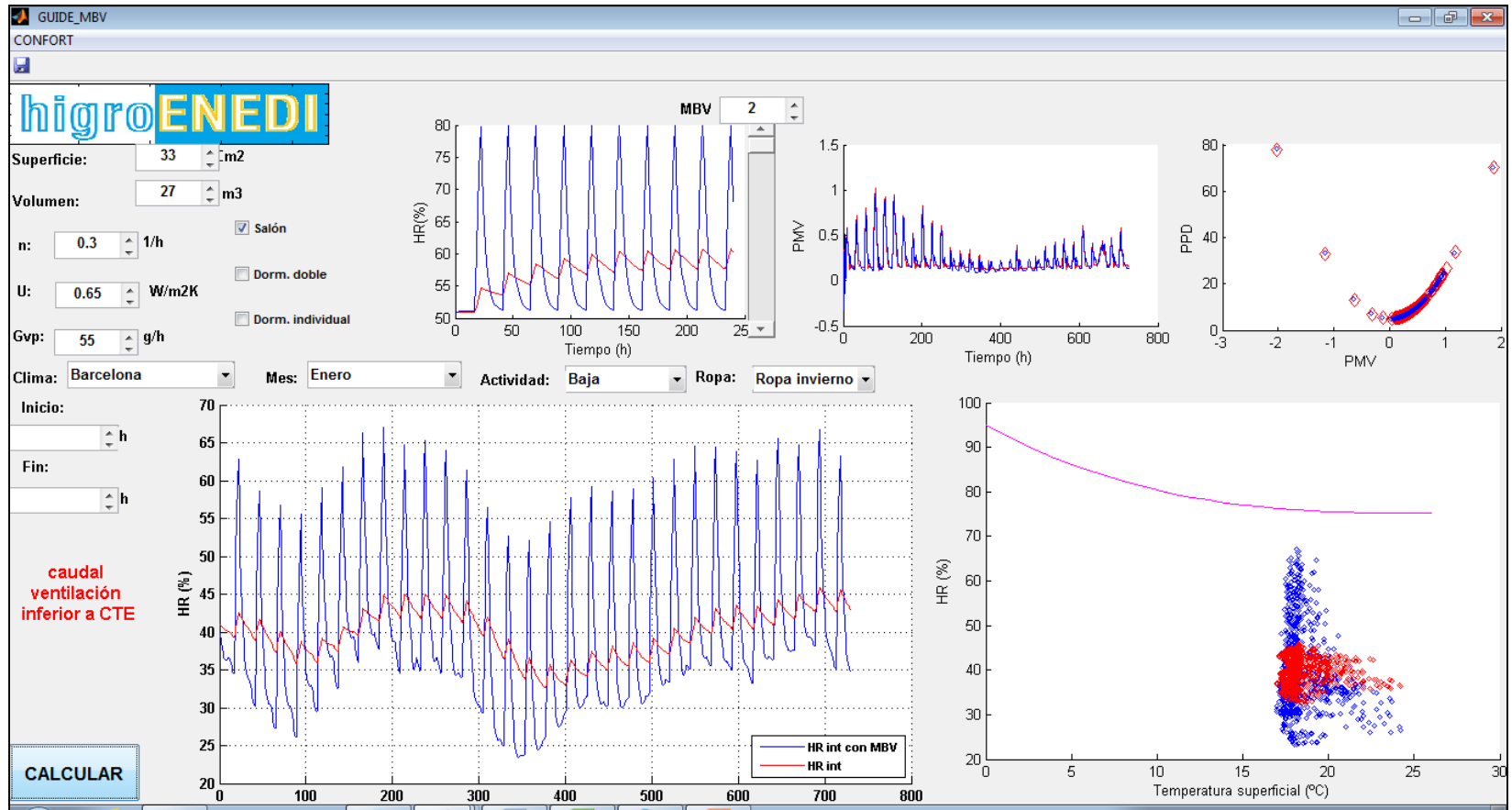
Barcelona, Urtarrila, 0.6 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



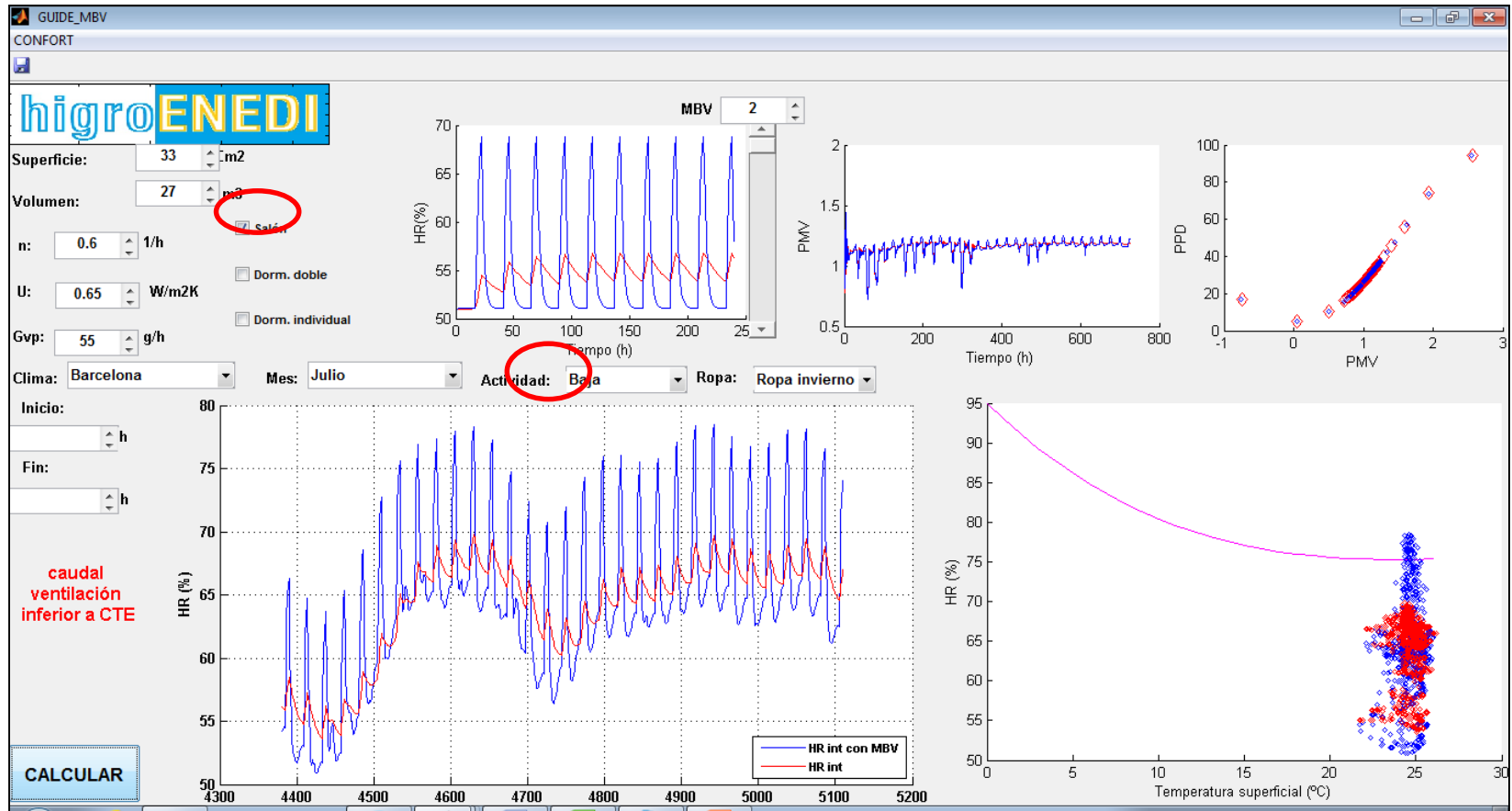
Barcelona, **Uztaila**, 0.6 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



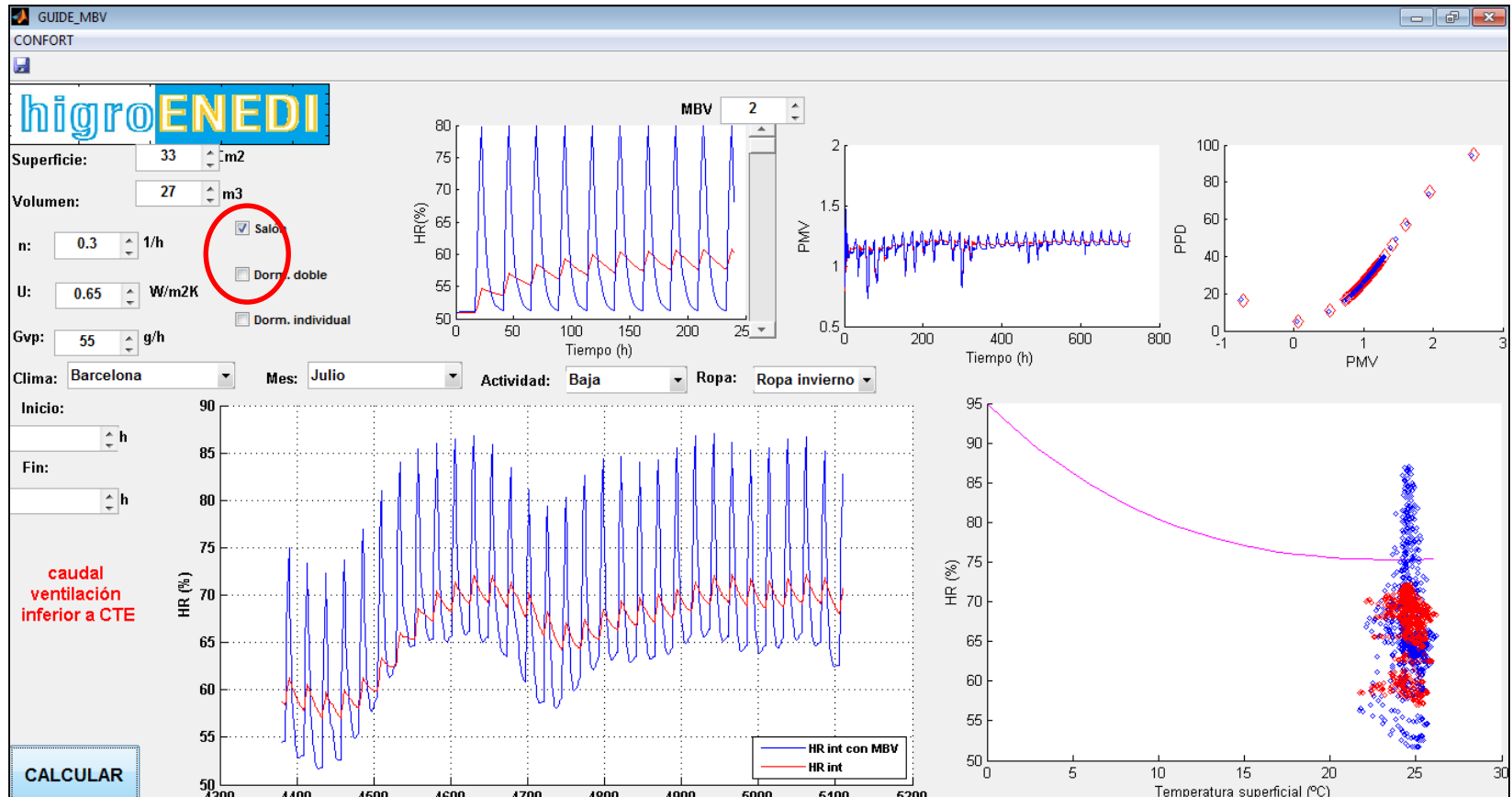
Barcelona, Urtarrila, 0.3 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



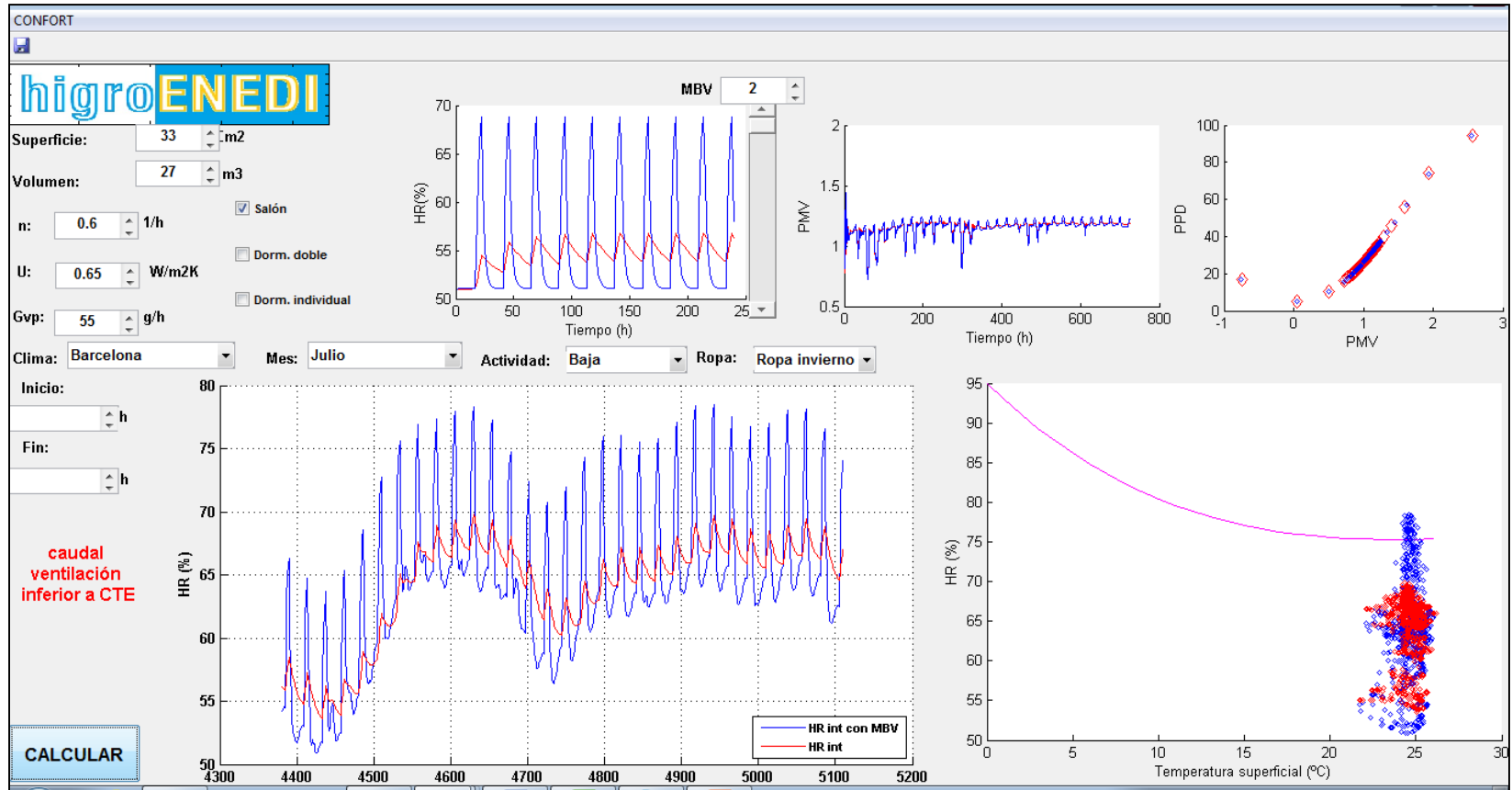
Barcelona, **Uztaila**, 0.6 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



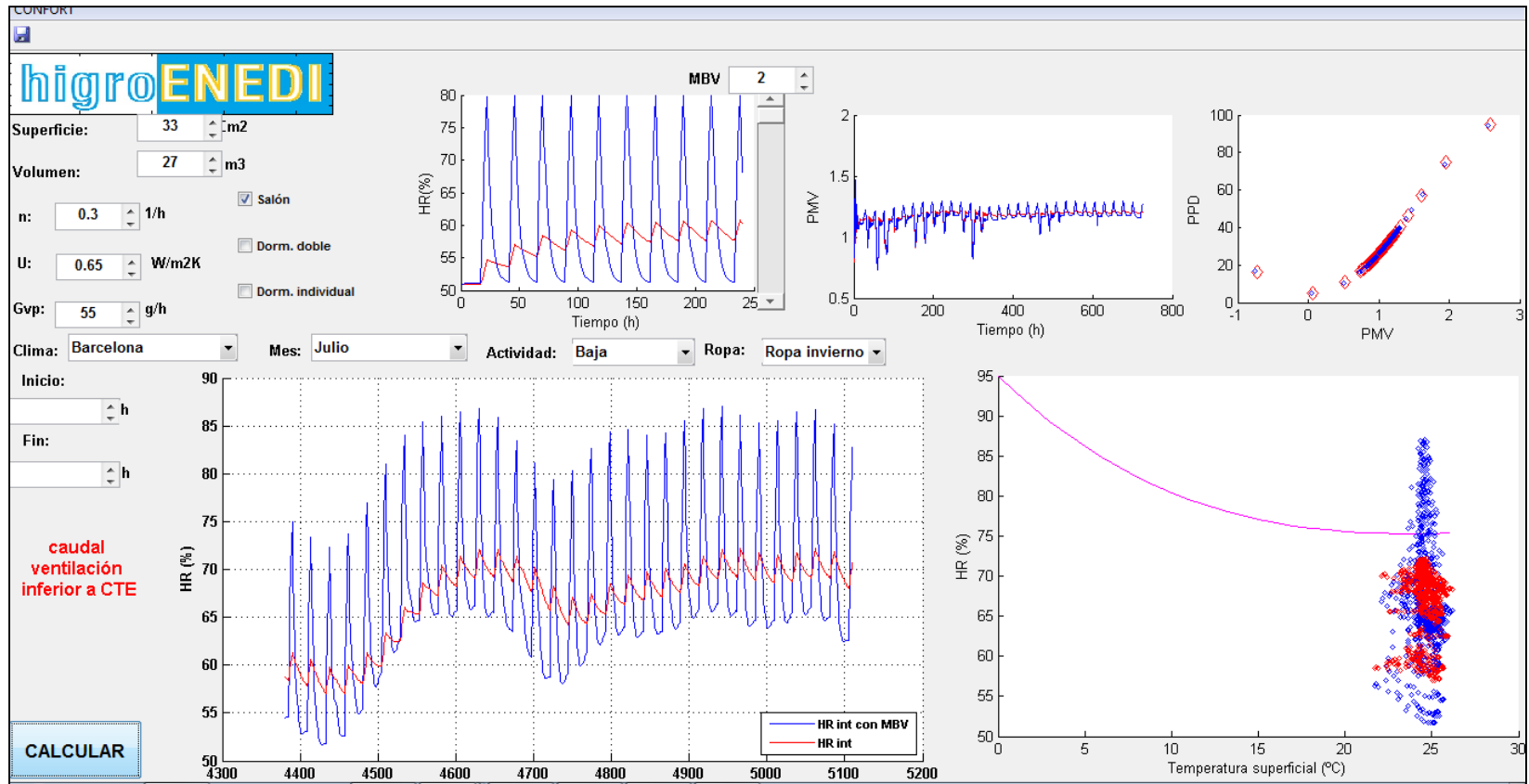
Barcelona, Uztaila, 0.3 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



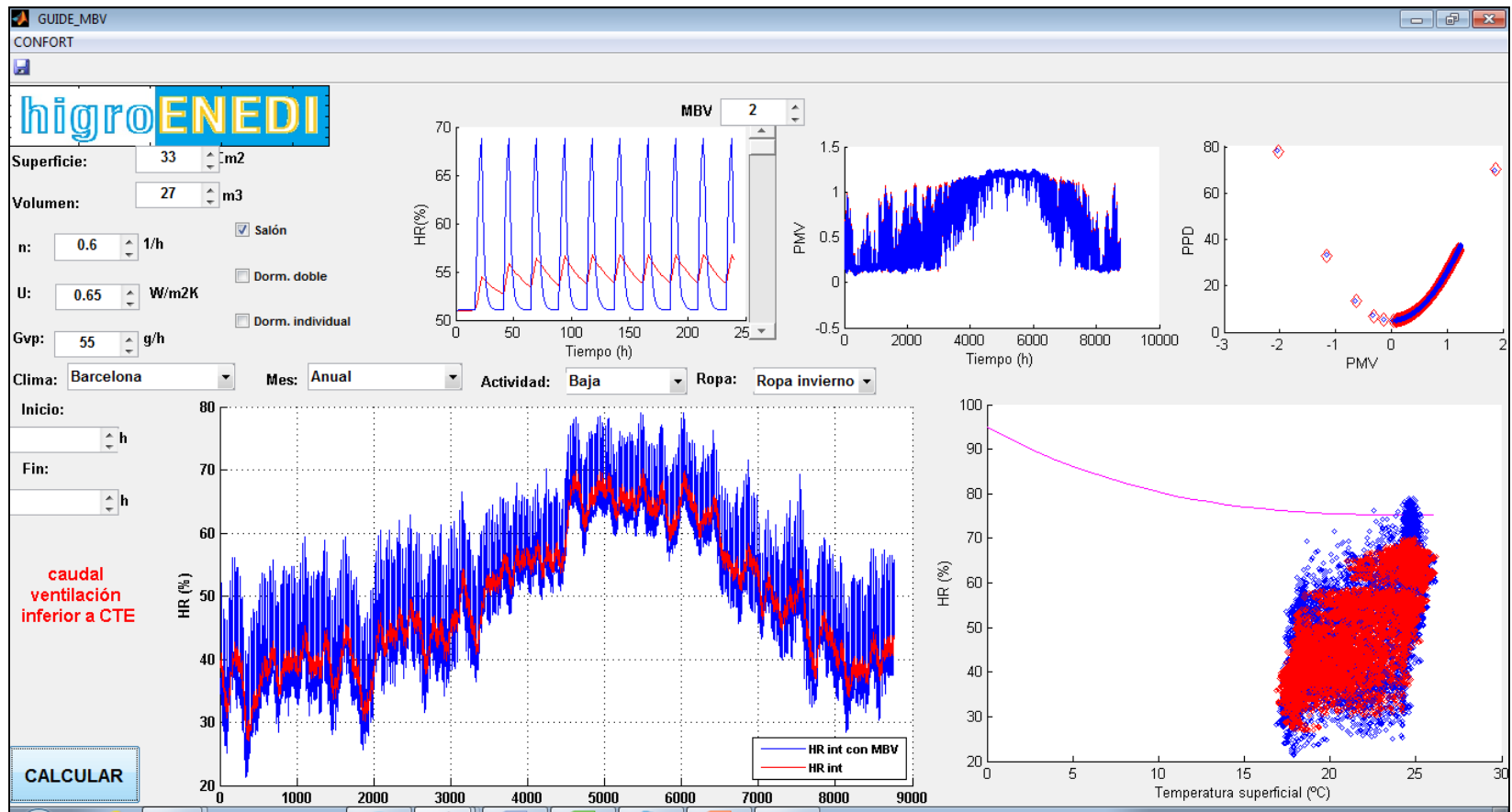
Barcelona, **Uztaila**, 0.6 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



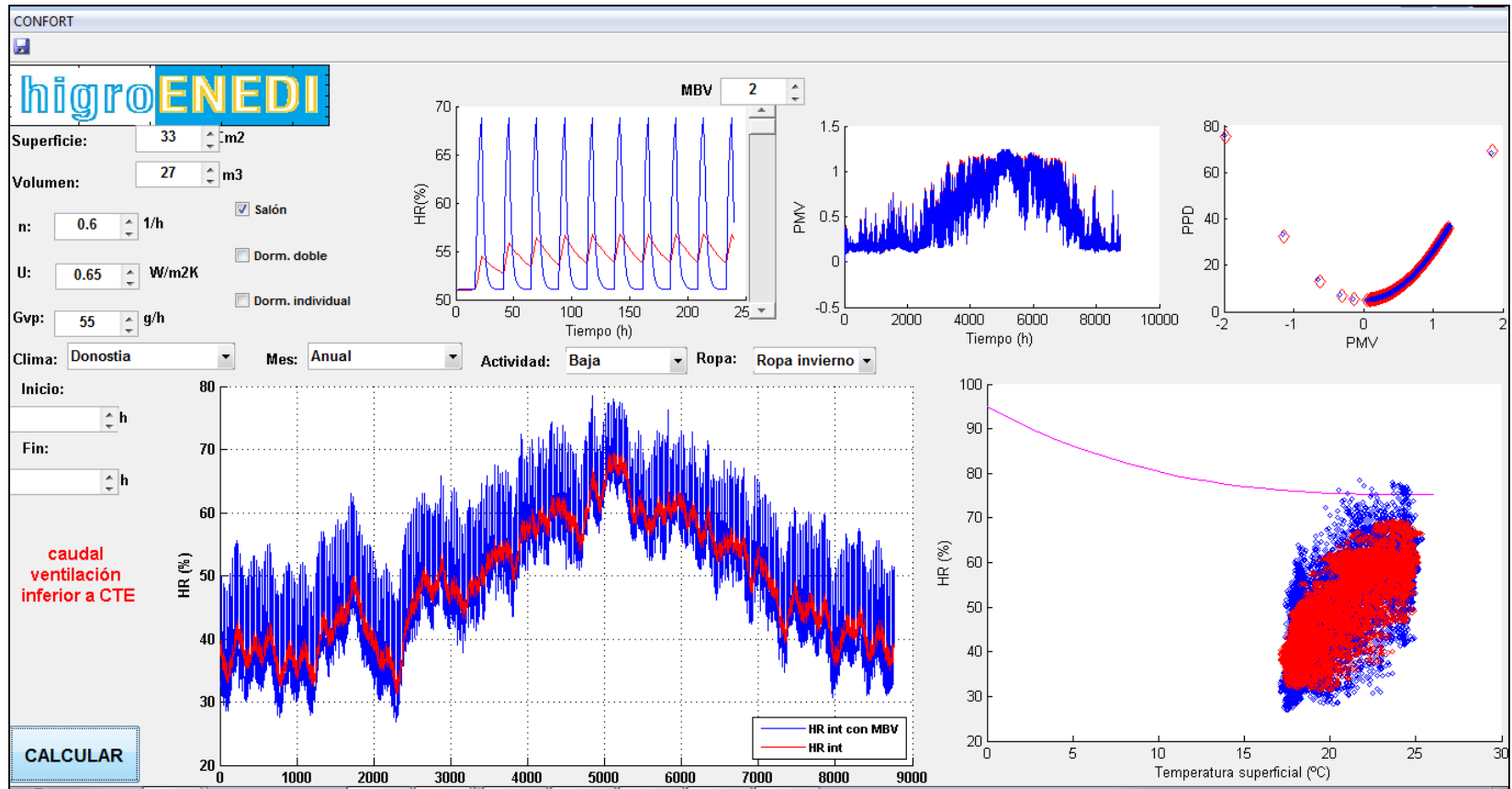
Barcelona, **Uztaila**, 0.3 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



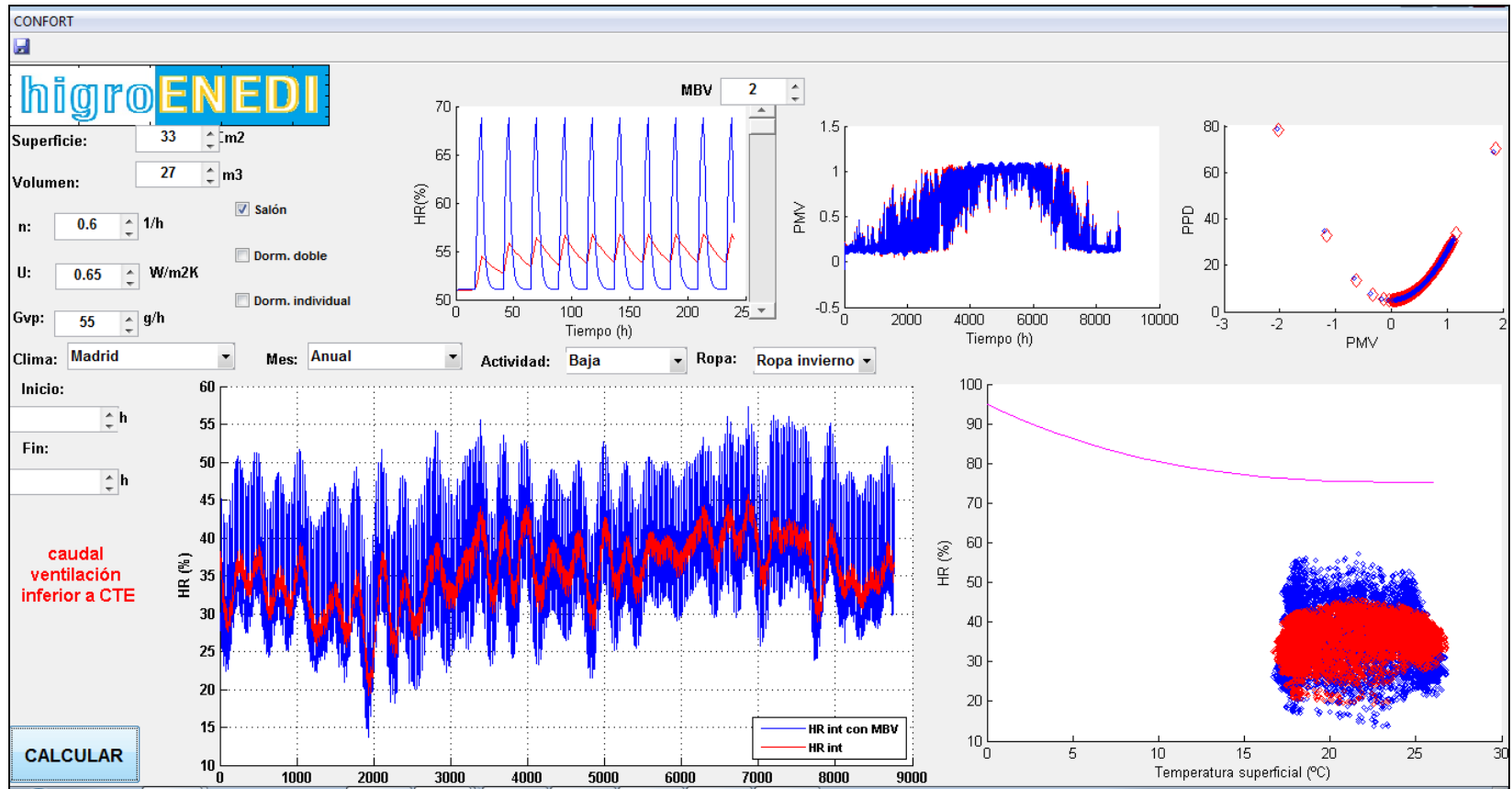
Barcelona, **URTEKOA**, 0.6 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



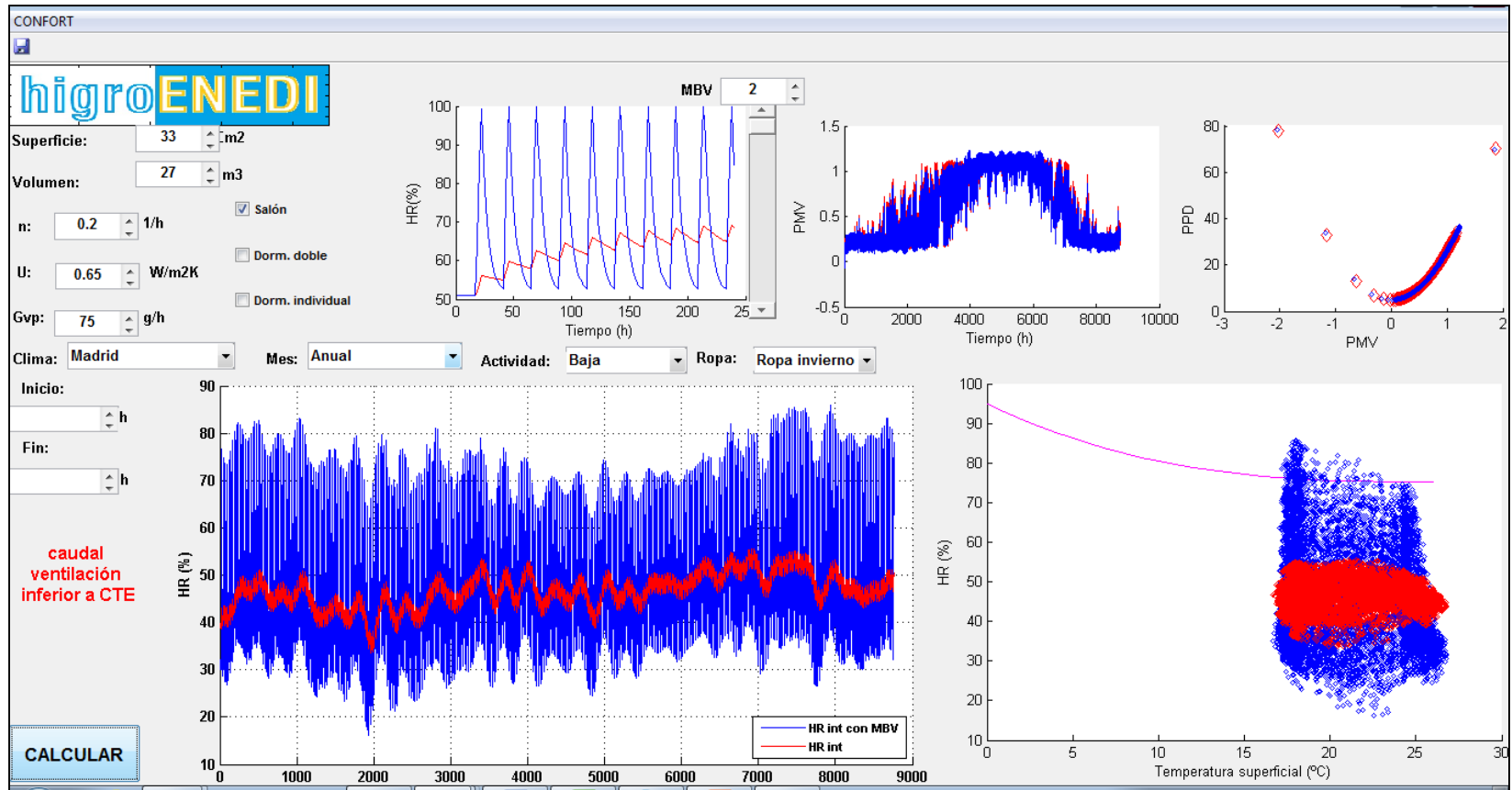
Donostia, URTEKOA, 0.6 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



Madrid, URTEKOA, 0.6 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



Madrid, URTEKOA, 0.2 h^{-1} , 75 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



- Energia-kontsumoa murriztea

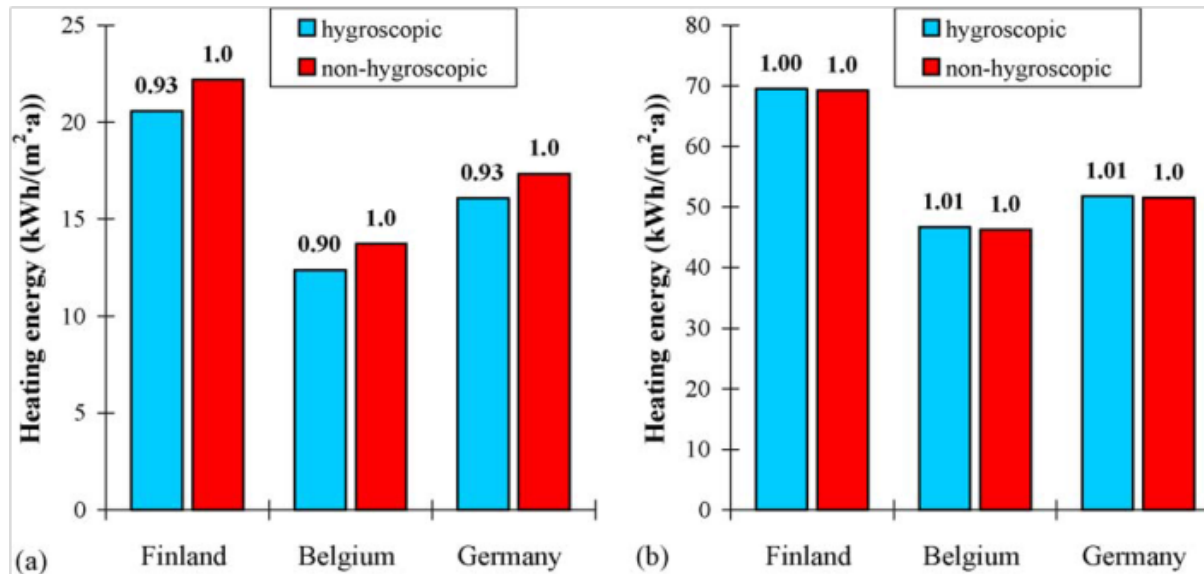
Energia aurrezte ez-zuzena **berokuntza/hozket**a

Hezetasun-baldintzak eta, beraz, arnas-erosotasun baldintzak eta barruko airearen kalitatea hobetuz, material higroskopikoak erabiltzen dituzten eraikinen tenperatura eta aireztapen-tasa alda daitezke:

- Aireztapen-tasa murriztu (% 15)
- Murriztu neguko konsigna-tenperatura ($\downarrow 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Udako konsigna-tenperatura handitu ($\uparrow 2 \text{ }^\circ\text{C}$)

Energia aurreztea **berokuntzan**:

Eraikuntzako material higroskopikoetan **hezetasuna xurgatzean sortzen den beroak** berokuntza-energia kontsumoa murrizten du okupazioan.

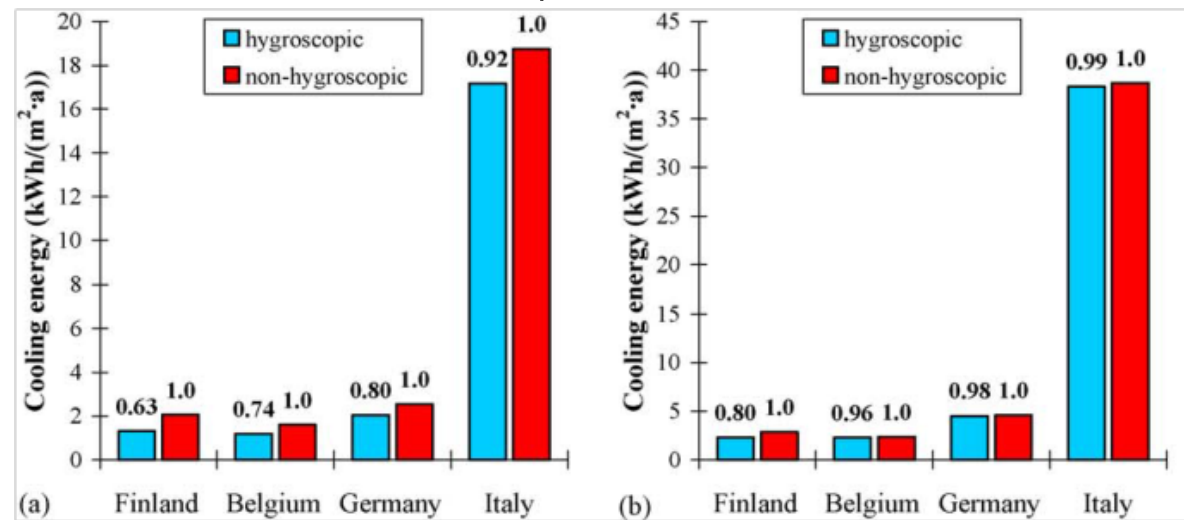


Jatorria: Olalekan F. et al. Energy and Buildings 38 (2006) 1270–1282

Energia aurreztea **hozte-sistemetan**:

Airearen entalpia gutxitzeak eraikina hozteko behar den energia murrizten du.

(Okupazio momentutan barneko airearen batez besteko entalpia **2 kJ/kg txikiagoa** da material higroskopikoak erabiltzen direnean ez-higroskopikoak erabiltzen direnean baino).



Jatorria: Olalekan F. et al. Energy and Buildings 38 (2006) 1270–1282

Ondorioak:

- Barneko hezetasun erlatiboa erregulatzeko material higrotermikoak garatu beharra
 - Egunean zehar hezetasun-karga nahiko altua duten bulego-eraikinetan aplikatzea
 - Museoetan, dokumentazio artxiboetan, arte galerietan, liburutegietan eta ondare arkitektonikoan ere (adibidez, bisitariei sarbidea ahalbidetzen dieten eraikin historikoetan), ikusgai dauden edo gordetzen diren elementuak hezetasunarekiko sentikorak diren eta aldizkako aldakuntzak jasan ditzaketenean hezetasun-kargak.
 - Etxebizitza-eraikinetan aireztapen-baldintza txarretan kondentsazio arriskua saihesteko

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

Eskerrik asko!