

# L'ANÀLISI HIGROTÈRMIC EN IMATGES

---

**Exploració d'una eina gràfica, pràctica i precisa, per a la incorporació global de l'estudi energètic en el procés de disseny. Aplicació en edificis residencials de tipologia constructiva convencional en el clima mediterrani litoral.**

Autora: Anna Jané Font | Tutora: Anna Pagès Ramon

TREBALL FINAL DEL MÀSTER EN INTERVENCIÓ SOSTENIBLE EN EL MEDI CONSTRUÏT

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

FEBRER DE 2022



# ÍNDEX

|   |           |
|---|-----------|
| ÍNDEX .....   | 3         |
| <b>1. INTRODUCCIÓ .....</b>   | <b>5</b>  |
| 1.1. Motivació.....   | 5         |
| 1.2. Objectius.....   | 6         |
| <b>2. ESTAT DE L'ART .....</b>  | <b>7</b>  |
| 2.1. Antecedents d'arquitectura i clima .....   | 7         |
| 2.2. Intervencions de millora energètica en façana .....                                    | 9         |
| 2.3. Sistemes gràfics de representació .....  | 12        |
| 2.4. Eines d'avaluació del comportament energètic.....                                      | 13        |
| <b>3. METODOLOGIA .....</b>   | <b>14</b> |
| 3.1. Mètode d'anàlisi.....  | 14        |
| 3.2. Característiques del simulador utilitzat.....  | 16        |
| <b>4. DEFINICIÓ DEL CAS D'ESTUDI.....</b>   | <b>17</b> |
| 4.1. Àmbit d'aplicació.....   | 17        |
| 4.2. Paràmetres fixes i variables .....   | 18        |
| 4.4. Paràmetres introduïts al simulador .....   | 21        |
| <b>5. PRIMERA FASE: ANÀLISI DE LA INFLUÈNCIA DELS PARÀMETRES EN LA DEMANDA INICIAL.....</b> | <b>23</b> |
| 5.1. Anàlisi del cas central.....   | 24        |
| 5.2. Anàlisi individual dels paràmetres .....   | 26        |
| 5.3. Anàlisi creuat de diferents paràmetres .....   | 38        |
| <b>6. SEGONA FASE: ANÀLISI DE LES INTERVENCIIONS .....</b>                                  | <b>44</b> |
| 6.1. Aïllament .....  | 46        |
| 6.2. Aïllament i canvi de finestres.....  | 48        |
| 6.3. Galeria .....  | 50        |
| 6.4. Comparativa .....  | 52        |
| <b>7. TERCERA FASE: APROXIMACIÓ A UNA EINA GRÀFICA .....</b>                                | <b>54</b> |
| 7.1. Procés de generació d'una eina de predimensionat de la demanda.....                    | 55        |
| 7.2. Procés de generació d'una eina d'elecció de la millor intervenció.....                 | 76        |
| <b>8. CONCLUSIONS.....</b>  | <b>89</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>  | <b>91</b> |
| <b>ANNEXES .....</b>  | <b>92</b> |
| Annex 1: Hipòtesi de correlació entre radiació incident i demanda .....                     | 92        |
| Annex 2: Consideracions del cas d'estudi .....  | 93        |
| Annex 3: Primera hipòtesi d'eix y per al gràfic de pèrdues per transmissió .....            | 95        |
| Annex 4: Taules de resultats.....   | 97        |



# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1. Motivació

La situació actual d'emergència climàtica afecta a tot el planeta i és imperatiu fer canvis per tal de disminuir les nostres emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera i frenar l'augment de les temperatures. Bé és cert que s'estan limitant els consums en edificis de nova planta, que fàcilment es dissenyen més eficients, però la resolució es complica a l'hora d'intervenir en un parc edificat molt envellit. Aquest parc edificat, molt lluny de ser autosuficient, necessita una constant entrada de fluxos per a garantir el confort dels usuaris; uns fluxos que requereixen d'una energia poques vegades procedent de fonts renovables. Per això, cal rehabilitar. Enderrocar i començar de nou no és una opció. És per aquest motiu que aquesta tesina comença per l'anàlisi del parc edificat en el seu context urbà, climàtic i constructiu.

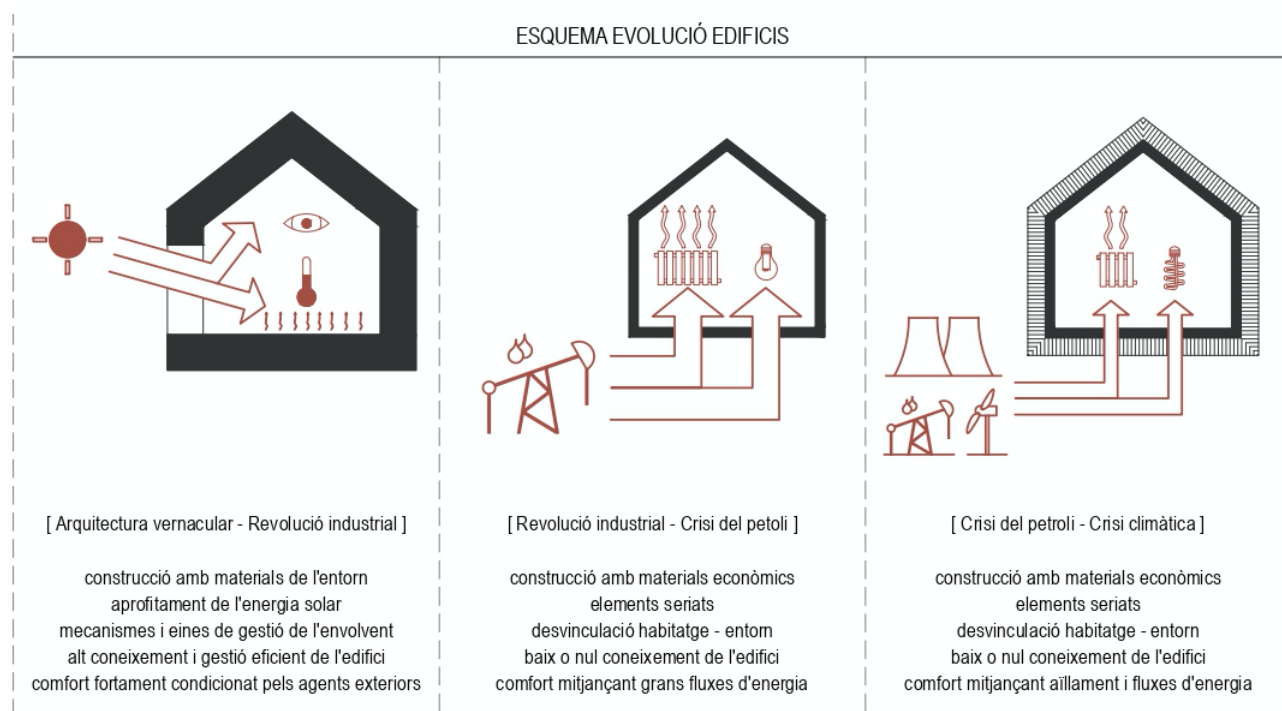


Figura 1-01: Esquema conceptual de l'evolució del funcionament tèrmic dels edificis. Font: elaboració pròpia.

Sembla una paradoxa que cinquanta anys de "progrés" hagin esborrat el "saber fer" i les tradicions de centenars d'anys de construcció. En la nostra història, tres punts d'inflexió en el temps han capgirat la visió de la construcció i la gestió de l'energia, desconnectant els edificis del seu entorn i fent-los dependents de recursos litosfèrics.

Davant d'aquesta realitat, ens hem de sentir interpel·lats i buscar eines per a poder decidir criteris d'actuació. No pot ser suficient l'etiquetatge dels edificis amb un certificat energètic que sovint ni contempla estratègies passives de reducció de consum i que principalment pondera l'eficiència dels generadors d'energia. És evident que si volem revertir la tendència d'escalfament global, l'estratègia ha de passar per cercar, primer de tot, la reducció del consum, aprofitant els recursos que el medi ens presenta.

Però, com fomentar aquesta tendència? Un estudi precís del comportament higròtermic requereix d'una inversió en coneixements i temps que no tothom pot permetre's. A més, en el clima mediterrani, on s'ha d'actuar davant del fred en unes èpoques i de la calor en altres, les estratègies d'actuació són contraposades, desembocant en un procés encara més complex.

És clar que, per a difondre aquest mètode fent-lo assequible per a la gran majoria, cal buscar maneres de condensar la complexitat de l'anàlisi en eines de fàcil utilització, que puguin guiar la presa de decisions. Unes eines que permetin entendre el funcionament de l'edifici, i definir i quantificar reduccions del seu consum. Eines similars ja són utilitzades per arquitectes en l'estudi del confort higròtermic. Ara convé expandir aquesta idea per a combatre el canvi climàtic.

## 1.2. Objectius

### Objectiu general

L'objectiu principal d'aquesta tesina és, en primer lloc, afavorir la comprensió del comportament higrotèrmic d'edificis d'habitatges del parc edificat del clima mediterrani i, en segon lloc, facilitar el procés de disseny d'intervencions de rehabilitació energètica en les seves façanes, a través de l'exploració d'una eina gràfica que encamini l'elecció. Aquesta eina a elaborar ha de permetre entendre quines característiques de l'espai tenen una major repercussió en la demanda energètica relacionada amb el condicionament tèrmic interior de l'habitatge, així com saber quina és la intervenció que, en cada cas d'estudi, produirà una major reducció d'aquesta demanda i, en conseqüència, la que reduirà més les seves emissions continuades de CO<sub>2</sub>.

L'exactitud d'aquesta eina pretén situar-se més a prop d'una simulació tèrmica anual mitjançant programari específic, que del càlcul estàtic d'un balanç tèrmic d'un moment concret amb fórmules i coeficients, que és un procés senzill però de resultat molt simplificat. És a dir, una eina d'ús senzill com a resultat d'estudis complexos, no simplificats. D'aquesta manera es permetrà una presa de decisions precisa durant les fases embrionàries del projecte sense dedicar grans esforços en procediments elaborats, ni requerir d'uns coneixements avançats.

Aquest procés es desenvoluparà a partir de l'anàlisi d'una estança situada en façana, ja que interessa l'estudi de la façana per ser comuna a totes les estances principals i pel seu important paper en les rehabilitacions energètiques.

### Objectius específics

- Identificar les característiques de l'estança i el seu entorn que poden influir en el seu comportament higrotèrmic, i determinar quines poden tenir grans variacions en el cas d'estudi que es defineix.
- Caracteritzar i quantificar l'efecte de cada característica de l'estança en la seva demanda de calefacció i refrigeració. La relació és en proporció directa, indirecta, de manera no proporcional, etc.?
- Establir un ordre d'importància relativa entre els diferents paràmetres.
- Determinar les intervencions de rehabilitació energètica que poden realitzar-se en façanes, definir de manera teòrica el seu funcionament higrotèrmic i determinar els avantatges i inconvenients a l'hora d'implantar-les.
- Caracteritzar i quantificar l'efecte de cada intervenció de rehabilitació energètica de façana sobre la demanda de climatització de l'estança.
- Establir un ordre de millora de la demanda entre les diferents intervencions, per a cada possible cas d'estudi.
- Explorar la condensació i organització de resultats per a l'obtenció d'una eina gràfica de predimensionat de la demanda energètica de l'estança i d'elecció d'intervenció de rehabilitació.

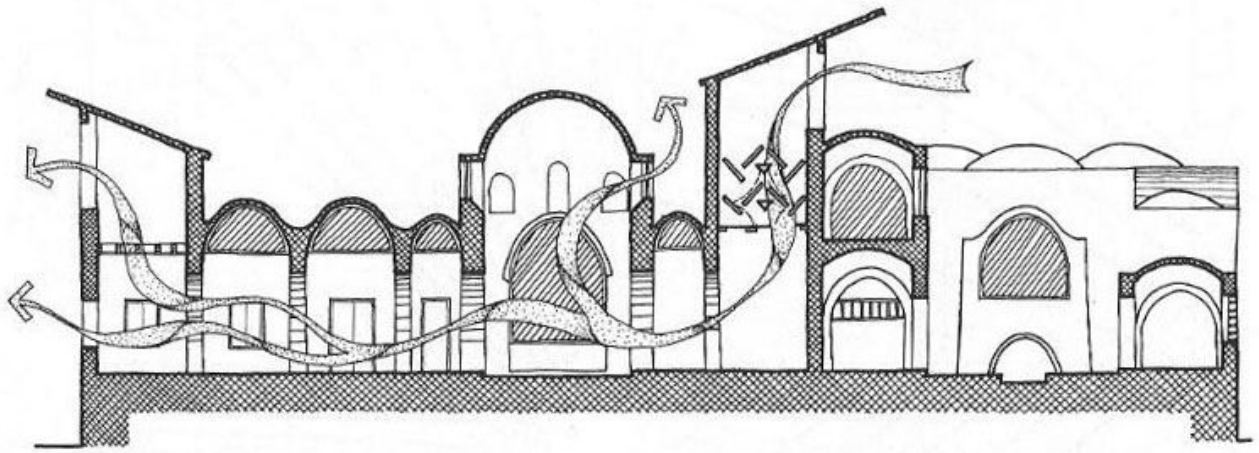
Aquests objectius es compliran amb la següent mirada sobre el procediment:

- Analitzar el comportament de l'edifici durant la totalitat de l'any, defugint així de la simplificació dels estudis que analitzen únicament les setmanes extremes d'estiu i d'hivern.
- Mostrar paral·lelament el consum d'energia per a calefacció i per a refrigeració, i comparar-los per a entendre si un espai o una intervenció funciona bé en una estació però pitjor en una altra.

## 2. ESTAT DE L'ART

### 2.1. Antecedents d'arquitectura i clima

Molt s'ha estudiat i escrit ja sobre diferents sistemes d'arquitectura bioclimàtica i sobre el control de l'envolupant en els edificis. És possible que aquests sistemes siguin menys visibles en el clima mediterrani, possiblement degut a que no es tracta d'un clima d'extremes. Si analitzem projectes construïts al llarg del temps en climes extremes, els que requereixen de més sistemes de control sovint se situen en climes càlids com els exemples de les ciutats de Hassan Fathy a Egipte durant els anys 40-50 o l'arquitectura àrab i de l'Alhambra en particular.



*Figura 2-01: Ciutats egípcies de Hassan Fathy.*

D'altra banda en climes freds, el confort s'aconsegueix reduint les pèrdues per transmitància i augmentant la captació solar. D'aquí que espais de galeria, siguin freqüents en aquests tipus d'arquitectura, com per exemple les grans obertures i els passadissos interiors en el sanatori de Paimio d'Alvar Aalto.



Figura 2-02: Sanatori de Paimio, d'Alvar Aalto.

A diferència dels exemples mencionats on s'estudiaven estratègies enfocades principalment o al fred o a la calor, els arquitectes mediterranis han de ser capaços de dissenyar estratègies i mecanismes que puguin captar a l'hivern però que pel contrari ens protegeixin a l'estiu.

En el següent comparatiu es pot veure la quantitat de dies de cada mes amb un rang determinat de temperatures per a les ubicacions dels dos exemples i el clima de Barcelona. D'esquerra a dreta; Luxor/Egipte, Paimio/Finlàndia i Barcelona.

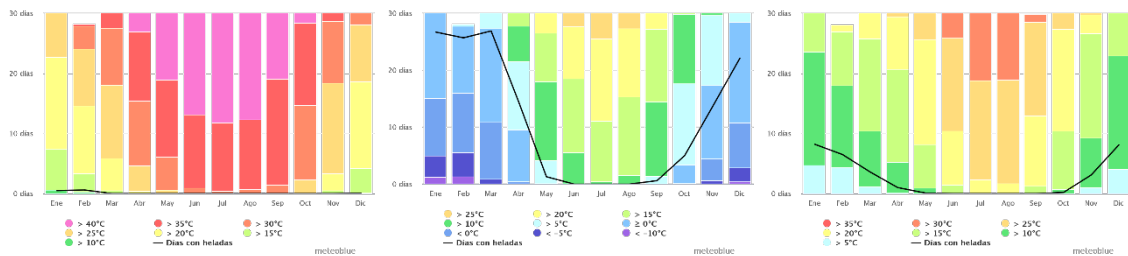


Figura 2-03: Temperatures màximes. Font: web meteoblue.

Tal i com s'observa en el comparatiu, en el gràfic de Luxor es pot veure que amb tota claredat la predominança de colors són càlids amb poca o gens rellevància de temperatures fredes. D'altra banda, en el segon gràfic passa el contrari, predominen els colors freds i neutres a l'estiu. Finalment, pel que fa el clima a Barcelona, es pot veure com apareixen els colors de la part central dels dos gràfics anteriors. El fet que el clima mediterrani ofereixi unes temperatures suaus la major part de l'any ha propiciat que l'estalvi energètic no fos una prioritat, sobretot en els moments en els que l'energia era barata, i no ha estat fins recentment que s'ha començat a treballar en limitar el consum energètic.



## 2.2. Intervencions de millora energètica en façana

A Espanya, el consum per a calefacció representa de mitjana un 42% del consum total d'energia del sector residencial, seguit del consum dels electrodomèstics amb un 27% i de la generació d'aigua calenta amb un 18%, segons l'informe ODYSEE-MURE del 2020 (07). És per aquesta raó, que aquests són sovint els aspectes atacats en primera instància en les rehabilitacions energètiques que es realitzen.

Així doncs, el concepte de rehabilitació energètica engloba en general 3 qüestions principals: la millora de l'envolvent, la millora de l'eficiència de les instal·lacions, i generació d'energies renovables. La primera de totes, que és la que es tracta en la present investigació, concretament en la façana de l'edifici, pot englobar múltiples intervencions ben diferents, però, sovint, queda reduïda a l'addició d'aïllament tèrmic i, en alguns casos, renovació dels tancaments vidriats. Aquest fet el podem observar, per exemple, en l'Informe GTR 2012 (08) o l'Informe ERESSEE 2020 (09), que descriuen diferents opcions d'intervenció amb aïllament tèrmic o de millora de les finestres, però sense incloure en la mateixa categoria altres intervencions possibles basades en l'aprofitament de les característiques climatològiques. També s'observa en el Treball Final de Màster de la Marta Belando Morant (10) que recull un conjunt d'experiències reals de rehabilitació d'edificis residencials del nostre país on, absolutament en tots els casos, l'actuació d'envolvent es resumeix en l'addició d'aïllament tèrmic per la cara exterior de la façana. Alguns exemples són la rehabilitació del Carrer Pirineus de Santa Coloma de Gramanet, mostrada a continuació, el *Grupo Andrea Casamayor* a Saragossa o la *Ciudad de los Ángeles* a Madrid.

Tot i el predomini clar d'aquests sistemes molt competitius a nivell econòmic, es poden trobar també exemples realitzats de rehabilitacions que incorporen estratègies passives, basades per exemple, en l'aprofitament de la radiació solar o la protecció enfront d'aquesta.

A continuació es descriu el comportament de l'aïllament exterior i també de dues intervencions bioclimàtiques de funcionament elaborat, la galeria i el mur d'inèrcia i mur trombe, a través d'exemples de casos reals.

### L'aïllament exterior

Aquesta solució millora directament el comportament de la façana reduint el seu valor U o transmitància tèrmica amb la simple adició d'aïllament. Una de les altres avantatges que aquest sistema té és que generalment s'usa en edificis on la façana inicial es troba en un estat de conservació força baix, afavorint d'aquesta manera la millora estètica de la ciutat. El fet de situar l'aïllament per l'exterior afavoreix també al control higrotèrmic interior ja que evita d'aquesta manera condensacions intersticials en l'interior de les fulles de façana, també es manté la seva inèrcia tèrmica inicial i s'eviten ponts tèrmics en la trobada dels forjats amb la façana.

Com a contrapunt, a diferència de les estratègies captadores, millorar el comportament tèrmic de la façana mitjançant aïllament no substitueix la necessitat d'entrada d'un flux d'energia. En funció del punt de partida, després de la rehabilitació energètica es reduirà en major o menor grau el consum d'energia, però l'habitatge continuarà necessitant de flux d'energia per al seu funcionament.

Quan pot ser útil aplicar aquest sistema?

Millorar el comportament de l'edifici mitjançant aïllament tèrmic és especialment útil en intervencions on la captació solar és baixa o nul·la, perquè no arriba radiació solar a la façana. Al mateix temps, donat el poc increment de gruix de la façana, fa que sigui un sistema molt fàcil d'implementar-se en edificis amb alineació a vial i carrers estrets, ja que la ocupació de via és mínima.



Figura 2-04: Abans i després de la rehabilitació energètica del Carrer Pirineus de Santa Coloma de Gramanet.

## La galeria

A l'hivern, aquest sistema genera un espai de coixí tèrmic entre l'interior i l'exterior, independentment de l'orientació, augmentant així la resistència tèrmica de l'envolupant i, per tant, reduint el flux d'energia entre els dos espais. Per aquest motiu, gran part dels interiors d'illa de l'eixample seguien aquest patró. Si a més es disposa de radiació solar directa a la façana de la galeria durant els mesos d'hivern, aquests guanys augmenten, ja que es genera una estança de volum mig que, al sobreescalfar-se, intercanvia fluxos de calor amb l'espai l'interior.

A l'estiu per contra, partint del mateix esquema que a l'hivern, el sobreescalfament aniria en detriment de l'estança interior i augmentaria la demanda de refrigeració. Per aquest motiu els elements de la galeria han de possibilitar obrir-se al màxim per afavorir al màxim la renovació d'aire. D'aquesta manera en els moments que incideix la radiació directa funciona com un espai exterior amb un ràfec que protegeix de la incidència solar a l'interior.

Quan pot ser útil aplicar aquest sistema?

Aquest sistema, a diferència de l'anterior, necessita d'un espai coixí de com a mínim uns 80cm aproximadament, fet que dificulta la seva viabilitat en intervencions amb alineació de la façana al vial. Pel contrari, pot ser un cas molt útil en blocs aïllats, ja que al mateix temps es guanyaria una nova superfície útil per a l'habitatge. En edificis amb balcons enretirats també es podria implementar el sistema de galeria ja que no variaria l'amplada del carrer.

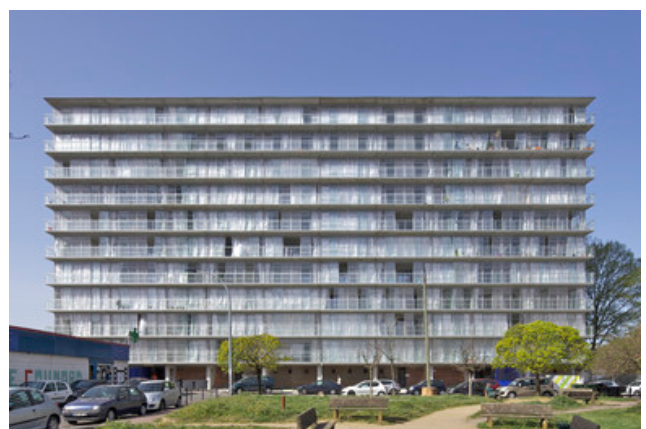


Figura 2-05: Abans i després de la rehabilitació energètica a Burdeos. Lacaton & Vassal + F. Durot + C. Hutin.

## El mur d'inèrcia i el mur trombe

Aquests sistemes consisteixen en afegir una pell vidriada -o un material de propietats a la radiació similars- davant de la façana, separada per una petita cambra d'aire. Aquesta solució facilita que el mur s'escalfi aprofitant l'efecte hivernacle generat pel vidre. Durant el dia el parament s'escalfa i acumula calor que anirà cedint a l'interior de l'habitatge durant la nit. Habitualment es pinta la façana d'un color fosc per tal d'augmentar l'absortivitat del parament i, per consegüent, augmentar també la seva captació energia.

El Mur d'Inèrcia manté aquesta cambra d'aire estanca, mantenint tota l'energia emmagatzemada al mur durant les hores de sol, quan ja es pot escalfar l'estança a través de la radiació que entra per les finestres. El Mur Trombe, a més, disposa d'unes obertures superiors i inferiors que comuniquen l'aire de la càmera amb l'aire de l'estança interior. Això permet un intercanvi més ràpid de la calor acumulada a través de convecció.

Un dels punts delicats en aquest tipus de sistema és que a l'estiu es pot sobreescalfar l'habitatge i augmentar la demanda per refrigeració. Per tal que això no passi, s'ha de protegir el vidre de la radiació solar i/o s'han de disposar unes obertures exteriors que permetin renovar l'aire de la cambra de forma continuada.

Quan pot ser útil aplicar aquest sistema?

Aquest sistema pot ser útil en façanes on la part opaca predomini versus la part buida de la façana i en façanes amb força captació solar, preferiblement sud. El fet que es requereixi de gruixos reduïts, a l'igual que amb l'aïllament fa que es pugui aplicar inclús en edificis amb alineació a vial, tot i que si s'incorporés un sistema de protecció solar per davant del mur possiblement d'inèrcia es creixeria cap enfora més que amb el sistema d'aïllament.



*Figura 2-06: Abans i després de la rehabilitació energètica Pessonada, Pobla de Segur. Josep Bunyesc.*

## 2.3. Sistemes gràfics de representació

En l'actualitat ja existeixen eines gràfiques utilitzades pels arquitectes per a la presa de decisions de projecte. És el cas, per exemple, dels gràfics utilitzats per l'estudi de l'estat energètic de l'aire i del confort tèrmic, que han acompanyat l'imaginari de l'eina gràfica que es vol explorar des dels inicis d'aquest treball. En concret, es tracta de l'àbac psicromètric i el gràfic de Givoni. El primer permet situar el cas estudiat a través d'unes dades senzilles i proporciona informació sobre el seu estat. El gràfic de Givoni, es basa en el seu predecessor i hi afegeix informació, proporcionant a la persona usuària coneixements sobre com millorar el seu cas d'estudi.

Aquesta és, exactament, la idea des d'on parteix l'exploració de l'eina gràfica desitjada.

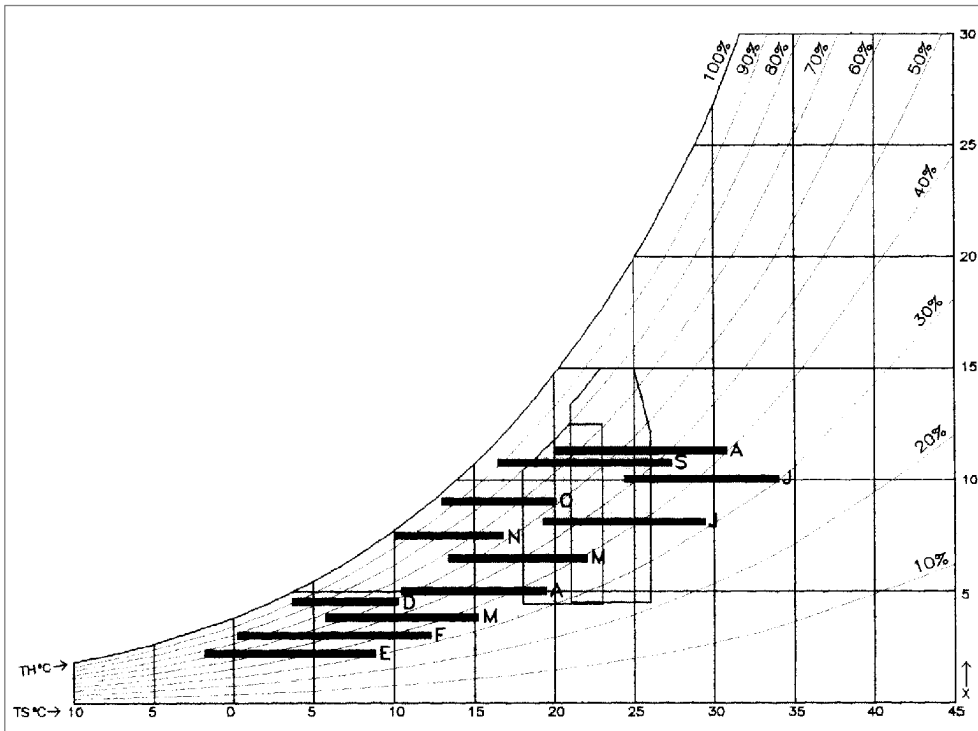


Figura 2-07: Àbac psicromètric amb l'oscil·lació de temperatura del dia típic de cada mes de l'any.  
Font: Llibre "Arquitectura y energía natural" (01)

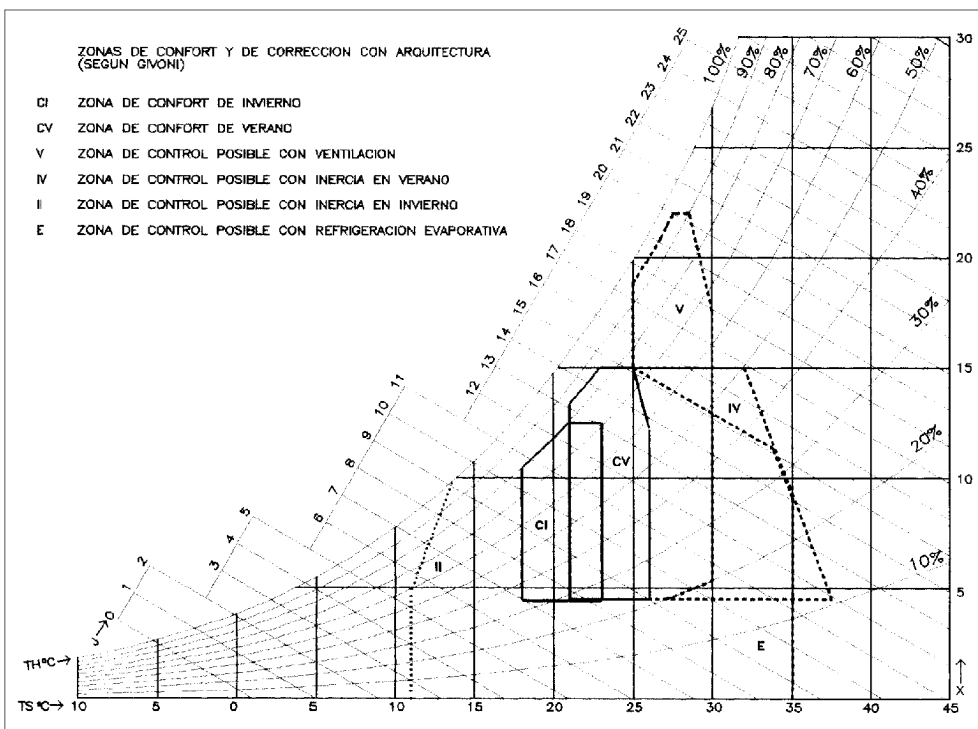


Figura 2-08: Gràfic de Givoni sobre l'àbac psicromètric. Mostra les zones de confort tèrmic i aquelles en les que es pot aconseguir el confort a través de mitjans naturals de control ambiental.  
Font: Llibre "Arquitectura y energía natural" (01)

## 2.4. Eines d'avaluació del comportament energètic

L'anàlisi del comportament energètic d'un edifici es centra en quantificar els seus guanys i les seves pèrdues de calor, deguts als fenòmens exteriors i interiors que hi succeeixen. Amb aquesta informació es pot saber, per exemple, a quina temperatura troba l'equilibri una estança que no estigui climatitzada, o bé, restant els guanys i les pèrdues, quina demanda d'energia requereix aquest espai per tal d'estar a la temperatura desitjada per la persona usuària. Aquesta demanda ha d'equilibrar la diferència entre guanys i pèrdues, és a dir, balancejar l'equació. És per aquesta raó, que a aquest estudi se l'anomena un **balanç tèrmic**.

Els principals elements que componen els guanys i les pèrdues són els següents:

- Càrregues internes: Són sempre guanys energètics, i responen a la calor que desprenen les persones, la il·luminació i els aparells que ocupen l'espai, durant el seu funcionament.
- Radiació solar: Igual que l'anterior, també suposa sempre un guany de calor.
- Transmissió: Correspon a la calor que es transmet per conducció a través dels paraments, resultat de la diferència de temperatura entre els dos costats d'aquest. Poden ser guanys o pèrdues segons si el costat exterior està a una temperatura major o menor que l'estança, respectivament.
- Ventilació: També és resultat d'un intercanvi de calor degut a una diferència de temperatura, però aquesta vegada a través de la convecció o moviment de l'aire. De la mateixa manera, poden ser tant guanys com pèrdues.

Existeixen diferents maneres de desenvolupar aquest balanç, i en aquest sentit, les múltiples eines que existeixen per a realitzar-lo es poden classificar principalment en dos grups: les eines estàtiques i les dinàmiques.

### Avaluació estàtica

Aquestes eines elaboren el balanç tèrmic de manera estàtica, és a dir, d'un moment concret d'un dia concret. És el cas de les fórmules i coeficients per al càlcul tèrmic d'una o varies estances, que es mostren a continuació, extretes de la classe "Cálculo térmico" impartida per l'Anna Pagès en el context del màster MISMeC. El seu càlcul resulta bastant àgil i no requereix d'uns coneixements molt avançats però, per contra, la seva precisió és baixa, ja que simplifica molts fenòmens que succeeixen.

$$\bar{T}_i = \bar{T}_e + \frac{I+D}{G}$$

Ti = temperatura interior mitja (°C)  
 Te = temperatura exterior mitja (°C)  
 I = guanys mitjos per radiació (W/m³)  
 D = càrregues internes  
 G = coeficient d'intercanvi tèrmic (W/m³·°C)

$$I = S_{vs} \cdot R_v$$

$$S_{vs} = \frac{\sum S_i Y_i CR_i CO_i}{V_h}$$

S<sub>vs</sub> = superfície equivalent de finestra a sud (m²/m³)  
 R<sub>v</sub> = radiació mitja en un pla vertical a sud (W/m²)  
 S<sub>i</sub> = superfícies captadores (m²)  
 Y<sub>i</sub> = coeficient de captació  
 CR<sub>i</sub> = coeficient orientació  
 CO<sub>i</sub> = coef. obstruccions  
 V<sub>h</sub> = volum habitable (m³)

$$D = \frac{\sum n_i \cdot e_i \cdot nh_i}{V_h \cdot 24}$$

n<sub>i</sub> = número d'elements que desprenen calor  
 e<sub>i</sub> = energia despresada per cada element (W)  
 nh<sub>i</sub> = número d'hores diàries en funcionament

$$G = G_t + G_v$$

$$G_t = \frac{\sum S_i U_i \alpha_i}{V_h}$$

$$G_v = 0,33 \cdot rh$$

G<sub>t</sub> = coef. d'intercanvi per transmissió (W/m³·°C)  
 G<sub>v</sub> = coef. d'intercanvi per ventilació (W/m³·°C)  
 S<sub>i</sub> = superfícies pell (m²)  
 U<sub>i</sub> = coeficient transmissió de calor (W/m²·°C)  
 α<sub>i</sub> = coeficient de situació de la superfície  
 rh = volum horari intercanvi d'aire (m³/m³h)

### Avaluació dinàmica

D'altra banda és possible dur a terme una avaluació dinàmica, que analitza el comportament durant tot l'any, gràcies a softwares de simulació energètica. Aquestes simulacions ofereixen resultats molt més acurats sobre el comportament real de l'edifici, però és necessari un treball més experimentat i prolongat per a dur-les a terme. Cal puntualitzar que en aquest cas, els balanços es fan sovint d'un període més llarg de temps, ja que per a un temps curt el balanç queda lleugerament desequilibrat degut a la concatenació de fenòmens i reaccions. Alguns exemples de programes són el *Design Builder* o el *pluggin Honeybee*, que utilitzen el motor de càlcul *Energy Plus*, però n'hi ha molts d'altres de disponibles.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Mètode d'anàlisi

El present treball d'investigació pretén, en una primera fase, desenvolupar una metodologia d'anàlisi de les necessitats energètiques per a climatització d'una estança d'estudi, posant en el centre l'intercanvi energètic de la seva façana, i, seguidament, proposar una metodologia d'anàlisi de la reducció d'aquestes necessitats gràcies a unes intervencions de rehabilitació energètica que s'hi poden dur a terme.

En un segon terme, es desenvolupa una metodologia d'estructuració dels resultats que permeti arribar a una eina gràfica de predimensionat de la demanda, a través de la normalització de les característiques de l'estança. Aquest apartat es desenvolupa tant per l'estat inicial de l'estança com per a les intervencions de rehabilitació energètica.

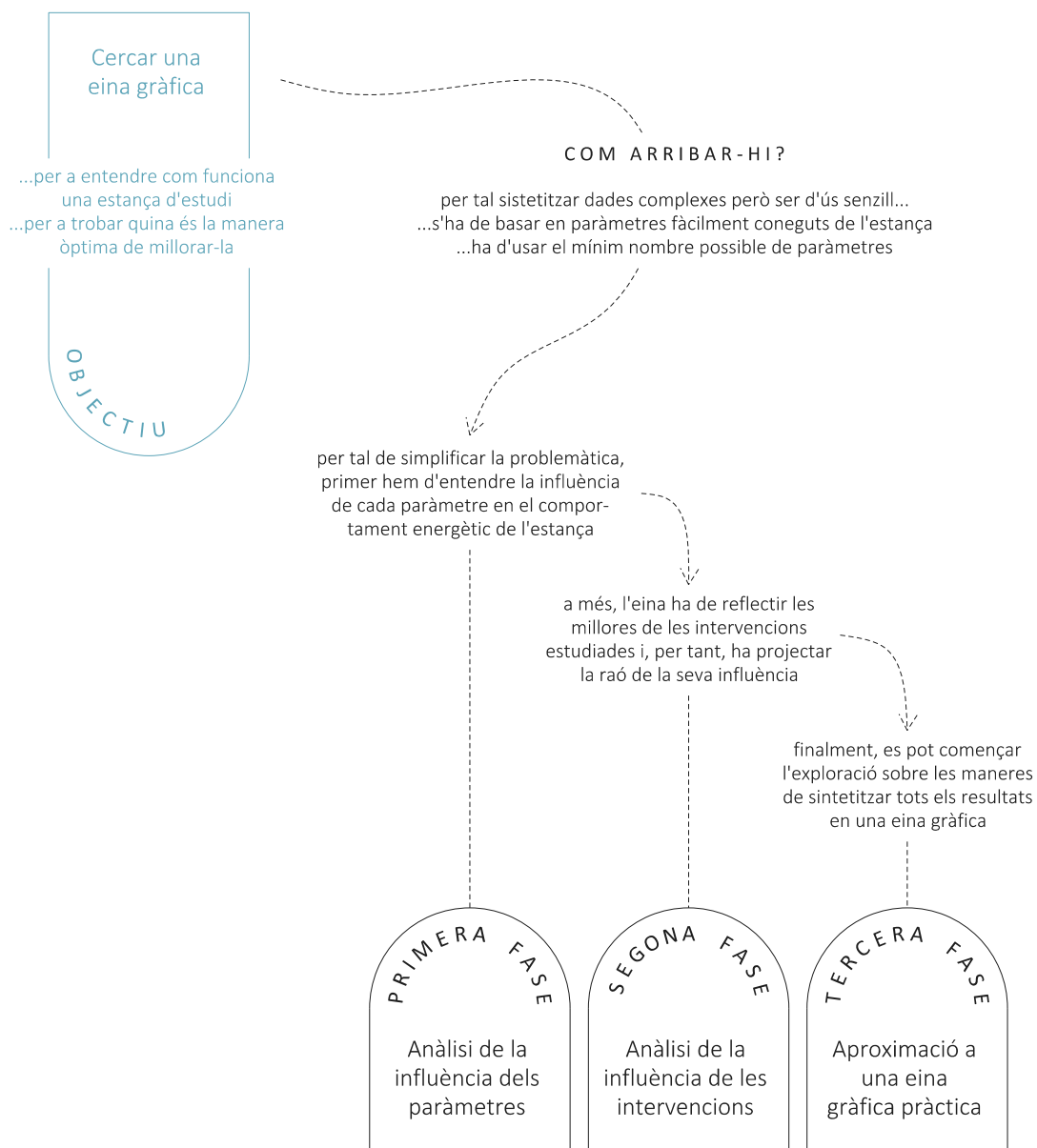


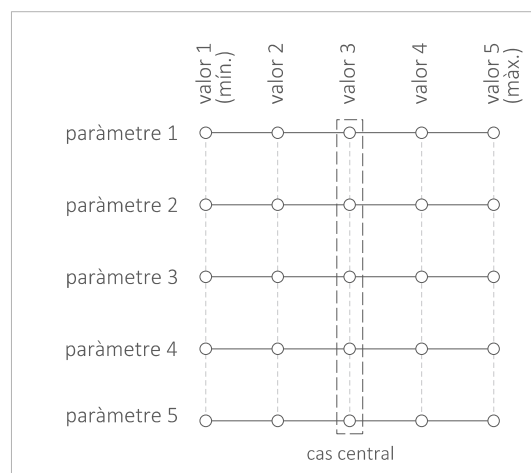
Figura 2.09: Esquema metodològic. Font: elaboració pròpia.

## Metodologia d'anàlisi de les necessitats energètiques

Partint d'una estança base d'estudi -en forma de paral·lelepípede i en contacte amb façana-, la metodologia utilitzada per a la present investigació consisteix en els següents passos:

- FASE 0: Definició del cas d'estudi.

En primer lloc, es defineixen les característiques del cas d'estudi a treballar. Això inclou, d'una banda, definir un àmbit d'aplicació del treball, referent a quins casos reals engloba i quins no, segons l'objectiu que tingui la investigació. A més, s'enumeren tots els paràmetres que afecten al comportament higròtermic de l'estança, i es determinen quins seran fixos i quins variables. Dels variables se'n farà un estudi en detall, i cal determinar un valor màxim i mínim que es puguin trobar dins del camp d'aplicació, i 3 valors entremetjats, que ofereixin suficients dades a l'estudi. Finalment, s'escullen unes intervencions de rehabilitació energètica a examinar.



- FASE 1: Anàlisi de la influència dels paràmetres en la demanda del cas base.

En aquest apartat es realitza un estudi detallat de cada un dels paràmetres variables escollits per tal de caracteritzar i quantificar la seva influència en la demanda de calefacció i refrigeració de la peça analitzada en el seu estat inicial. A més, es realitza un estudi creuat de diferents paràmetres quan es creu que poden tenir una forta influència els uns en els altres.

- FASE 2: Quantificació de la reducció de la demanda amb les intervencions de rehabilitació energètica.

Un cop establerta la variació de demanda en l'estat actual sobre el que es treballa, es continua quantificant la variació de la demanda en afegir les intervencions proposades. Seguidament es tindrà informació suficient per a ordenar sistemes de millora de l'envolupant segons en quina quantitat aconseguen minvar les necessitats energètiques.

## Metodologia d'estructuració de resultats per a la recerca d'una eina gràfica

- FASE 3: Aproximació a una eina gràfica.

En l'últim apartat d'aquesta investigació es desenvolupa un procés d'organització de resultats i de generació d'una eina gràfica de treball. En primer lloc, per al predimensionat de la demanda de climatització de l'estat inicial de l'estança, i més tard per a l'elecció de la millor intervenció de rehabilitació energètica.

## 3.2. Característiques del simulador utilitzat

### Descripció general

Per a la realització d'aquest estudi s'ha treballat amb el paquet d'eines *Ladybug tools*, incloent entre d'altres els *plugins Ladybug i Honeybee*, dissenyats per a l'anàlisi climàtic i lumínic i l'estudi del confort en espais exteriors i interiors. Aquests paquets formen part del software *Grasshopper* -incòs dins del programa *Rhinoceros*- que permet parametritzar tot el procés. Això ha permès, per exemple, poder generar l'estança a través de paràmetres numèrics com la superfície i la proporció d'amplada-profunditat, o també el percentatge de finestra en façana. Així, resulta més àgil quan es volen provar moltes opcions diferents, ja que no es parteix d'un volum modelat amb geometries que s'ha d'anar modificant manualment per a cada simulació, sinó que només cal canviar un valor numèric i l'estança s'adapta a les consideracions desitjades.

Aquests *plugins* utilitzen diferents motors de càlcul segons l'anàlisi que es realitza, per exemple si és lumínic o tèrmic. En el cas d'aquest treball d'investigació, s'han fet primordialment simulacions tèrmiques, i el motor de càlcul responsable és l'*Energy Plus*, que es troba també en altres programes de simulació coneguts com el *Design Builder*.

### Funcionament de Energy Plus

- Es basa en la descripció d'un edifici definit per l'usuari, a partir d'unes zones tèrmiques, i des de la perspectiva de la construcció física, els sistemes mecànics, etc.
- La tècnica de solució de base és el balanç tèrmic, amb la construcció de càrregues tèrmiques, que permet el càlcul simultani dels efectes de radiació i convecció, tant en la superfície interior com exterior.
- Realitza un càlcul integrat i simultani, integrant el màxim d'efectes possible i realitzant múltiples iteracions quan és necessari.
- Genera models de confort tèrmic basats en l'activitat, la humitat, etc. I en el confort adaptatiu.
- La conducció de calor a través dels elements de construcció com parets i sostres els calcula utilitzant funcions de conducció.
- Inclou càlculs avançats de vidrieres, amb sistemes de protecció solar, vidres amb càmera, etc.

### Consideracions particulars

- Les superfícies adiabàtiques sí que es contenen en els intercanvis de calor de l'estança. El programa genera un "mirall" a la seva cara exterior per tal que no tingui guanys ni pèrdues, però la cara interior sí que intercanvia calor amb l'aire de l'estança i pot emmagatzemar calor en la seva massa tèrmica.
- A l'estiu, quan s'està produint ventilació natural, aquesta reemplaça la infiltració i la ventilació mecànica per a renovacions higièniques, que són valors fixos. Així, si contínuament està oberta la ventilació natural, la infiltració i la ventilació higiènica desapareixen del balanç energètic de l'estança.

### Limitacions

- Per tal que el temps de simulació no sigui molt llarg -que en aquest estudi que pretén comparar moltes opcions diferents combinades no ho pot ser- el programa calcula on incideix un raig solar quan travessa una superfície vidriada, però no considera que pugui travessar-ne una altra.
- El programa no contempla parets fixes vidriades, s'han de generar amb finestres, que tenen també les seves pròpies limitacions. Aquesta limitació influeix per exemple en la configuració de murs cortina o de murs d'inèrcia.
- El component de generació automàtica de finestres en una superfície a través de paràmetres no contempla l'existència de buits o retalls al mig de la superfície. Això impedeix la parametrització àgil del mur d'inèrcia per a la present investigació, ja que aquest correspon a la superfície opaca de la façana, amb el buit de finestra que no queda cobert pel nou vidre.
- La ventilació natural només funciona amb finestres exteriors. Per tant, en l'anàlisi de la galeria a l'estiu, s'ha d'eliminar la zona tèrmica de galeria, convertint-la en espai exterior, per tal de poder ventilar l'habitació.
- Els resultats del balanç tèrmic no permeten obtenir per separat els guanys tèrmics de la part opaca de la façana gràcies a la radiació solar incident, sinó que es comptabilitzen conjuntament amb la transmissió.



## 4. DEFINICIÓ DEL CAS D'ESTUDI

### 4.1. Àmbit d'aplicació

#### Zona climàtica

Per tal de delimitar la investigació i poder aprofundir en l'anàlisi, es decideix aplicar-lo únicament al clima de Barcelona. El *Código Técnico de la Edificación* el classifica com a severitat C a l'hivern i severitat 2 a l'estiu. Per tant, altres zones que coincideixin en les dues determinacions, també podran fer aplicació directa dels resultats d'aquest estudi. De la mateixa manera, s'entén que seguint la metodologia explicada en l'apartat 3, es podria desenvolupar una investigació similar per a altres característiques climàtiques.

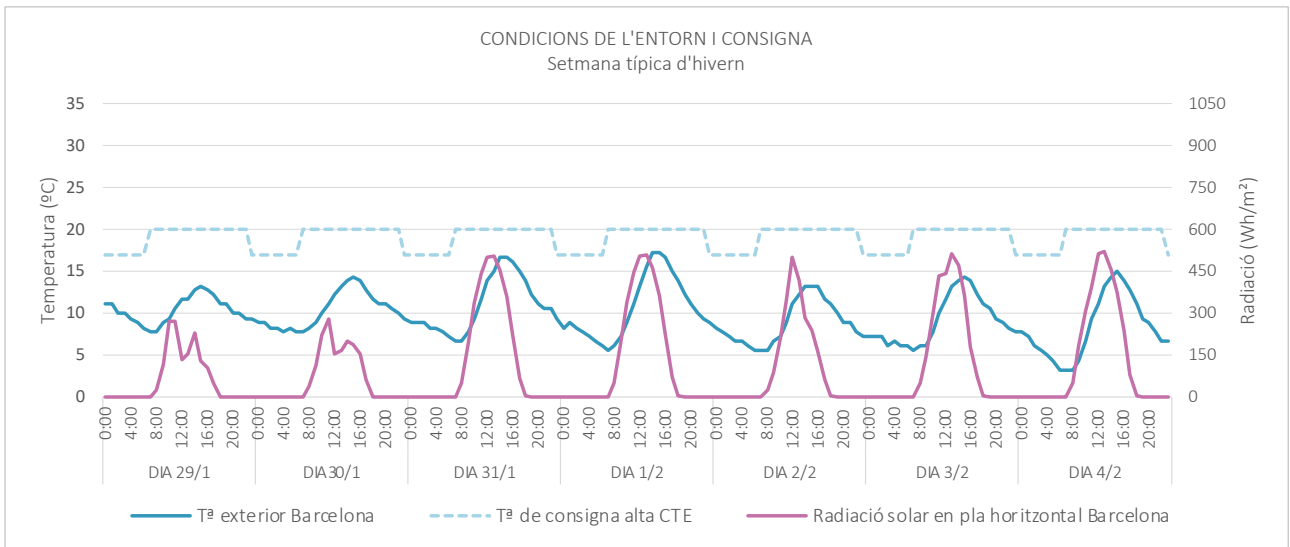


Figura 4-01: Condicions de l'entorn i tª de consigna, de la setmana típica d'hivern. Font: elaboració pròpia.

Tal i com s'ha avançat en la introducció, el clima de Barcelona és un clima temperat. Observant aquest gràfic, es pot veure com la temperatura de confort de l'hivern no queda excessivament lluny de la temperatura exterior, i que l'abundant radiació solar incident pot garantir fàcilment un estalvi energètic.

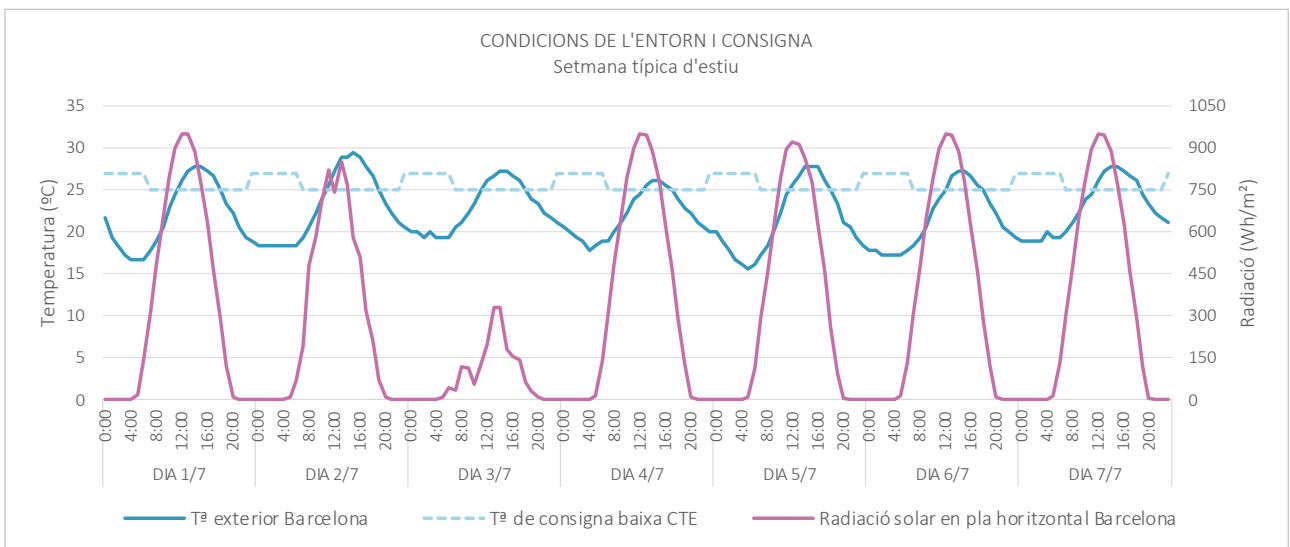


Figura 4-02: Condicions de l'entorn i tª de consigna, de la setmana típica d'estiu. Font: elaboració pròpia.

A l'estiu, la temperatura exterior no supera amb amplitud la temperatura de consigna estipulada pel CTE i, per tant, les estratègies passives de control de radiació i potenciació de la ventilació poden ser suficients per arribar al confort.

## Sistemes constructius

Per altra banda, s'estableix que només es treballarà amb edificis de construcció convencional de la zona, amb façanes de fàbrica de totxo, amb un o dos fulls, sent en l'últim cas el full portant sempre l'exterior. S'exclouen doncs, solucions constructives menys abundants i més recents, com les façanes ventilades, les façanes prefabricades de formigó i les façanes lleugeres d'acer, fusta o guix laminat.

A més, pel volum de variants a estudiar en la investigació, es treballarà sempre amb edificis sense balcons en el seu estat inicial, que projectin ombres sobre la façana. Tot i així, es considera una casuística d'interès per a treballs futurs.

## 4.2. Paràmetres fixes i variables

### 4.2.1. Paràmetres de l'estat inicial

S'elabora la següent taula on es destriuen totes les característiques de l'estança que poden influir en el seu comportament energètic, i es classifiquen segons tipologia. Algun dels paràmetres ja s'han fixat en l'explicació de l'àmbit d'aplicació del treball, i en els següents apartats s'especifica sobre la resta, quins seran fixes i quins variables.

| CONTEXT |                       |   |          |
|---------|-----------------------|---|----------|
| Te      | °C                    | Temperatura exterior (segons clima)                   | Fix      |
| R       | W/m <sup>2</sup> ·dia | Radiació solar incident (segons latitud i orientació) | Variable |
| Fo      | -                     | Factor d'ombra projectada                             | Variable |

| EDIFICI - GEOMETRIA |                                |                             |          |
|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|
| Ff                  | m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> | Factor de forma             | Variable |
| Pb                  | %                              | Proporció de buit de façana | Variable |
| h                   | m                              | Alçada de la planta         | Fix      |

| EDIFICI - MATERIALITAT |                      |                                     |          |
|------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------|
| U                      | W/m <sup>2</sup> ·°C | Transmitància de les finestres      | Variable |
| p                      | m <sup>3</sup> /h    | Permeabilitat a l'aire              | Variable |
| g                      | [-]                  | Factor solar vidre                  | Variable |
| U                      | W/m <sup>2</sup> ·°C | Transmitància de l'envolupant opaca | Variable |
| α                      | [-]                  | Absortivitat de l'envolupant opaca  | Variable |
| Ce                     | J/Kg·°C              | Calor específic                     | Variable |
| I                      | J/m <sup>3</sup> ·°C | Inèrcia tèrmica                     | Variable |

| EDIFICI - ÚS     |    |                                  |     |
|------------------|----|----------------------------------|-----|
| Ti               | °C | Temperatura interior de consigna | Fix |
| W/m <sup>2</sup> | Ci | Càrrega interna                  | Fix |

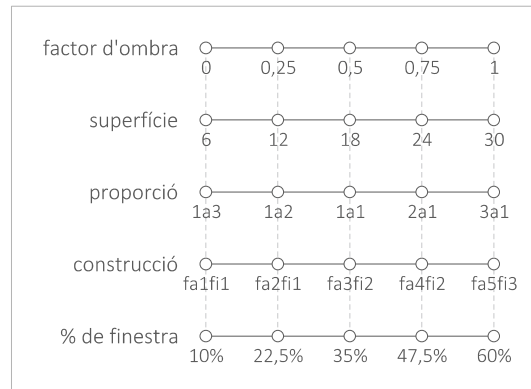
### Els fixes

En criteris de representació de la realitat habitual dels edificis d'habitatges de Barcelona, es fixa l'altura lliure interior a un valor de 2,80m. En quant a l'envolupant, una de les superfícies verticals actuarà de façana en contacte amb l'exterior, i les altres cinc cares es consideraran adiabàtiques, entenent que l'habitació es troba envoltada d'altres en les seves mateixes condicions. També es matenen fixes les temperatures de consigna i les càrregues internes, que per a ús habitatge queden especificades en l'*Anejo D del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE)* del CTE.

## Els variables i els seus valors

Posteriorment, es determinen 5 paràmetres que seran objecte d'estudi, a més de les diferents orientacions, amb la finalitat de qualificar i quantificar la seva influència en la demanda de calefacció i refrigeració de l'habitació. Per a fer-ho amb racionalitat, s'escullen un total de 5 valors dintre de cada paràmetre, suficients per a deduir amb precisió el tipus de curvatura de tendència. La forquilla que engloben aquests valors reflecteix els rangs màxim i mínim que serà d'aplicació el present estudi.

Dels 5 paràmetres escollits, 4 d'entre ells són simples, és a dir, que consideren una sola característica de l'estança que es pot expressar amb un valor numèric i unes unitats. Per contra, el paràmetre de construcció de la façana engloba múltiples paràmetres, per tal de facilitar el procés del treball i reduir els casos d'estudi a la realitat construïda de l'àmbit d'aplicació.



QUADRE RESUM DELS PARÀMETRES VARIABLES

| Proporció en planta | Percentatge finestra | Factor d'ombra | Superfície | Envolupant façana      |
|---------------------|----------------------|----------------|------------|------------------------|
| 1 a 3               | 10%                  | 0              | 6m         | Façana 1<br>Finestra 1 |
| 1 a 2               | 22,5%                | 0,25           | 12m        | Façana 2<br>Finestra 1 |
| 1 a 1               | 35%                  | 0,5            | 18m        | Façana 3<br>Finestra 2 |
| 2 a 1               | 47,5%                | 0,75           | 24m        | Façana 4<br>Finestra 2 |
| 3 a 1               | 60%                  | 1              | 30m        | Façana 5<br>Finestra 3 |

Figura 4-03: Quadre resum dels paràmetres variables. Font: elaboració pròpia.

La proporció en planta es refereix a la relació entre amplada i profunditat de l'estança, sense variar la superfície interior i, per tant, el volum d'aire de l'habitació.

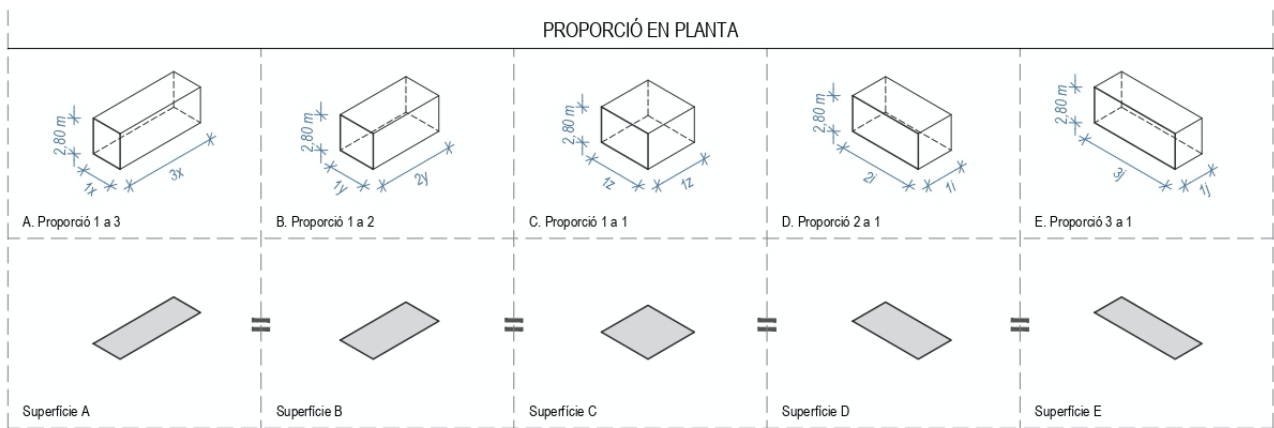


Figura 4-04: Descripció del paràmetre "proporció en planta". Font: elaboració pròpia.

Per a la construcció de l'envolupant, s'escullen 5 façanes tipus, totes de construcció convencional amb totxo, i 3 finestres. De la seva combinació lògica per èpoques en resulten 5 combinacions finals, resumides en la figura 4.05.

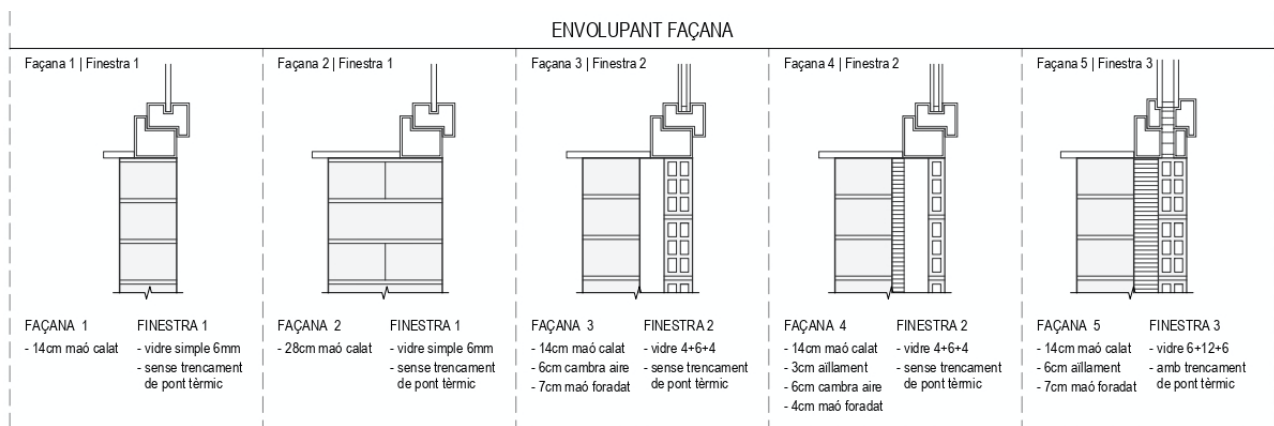


Figura 4-05: Descripció del paràmetre "construcció de façana". Font: elaboració pròpia.

### 4.3.2. Paràmetres de les intervencions de rehabilitació energètica

Finalment, es defineixen també els paràmetres fixes i variables de les dues intervencions en façana que s'estudiaran en detall, l'aïllament exterior i la galeria. En el cas de la galeria, es creu interessant contemplar diferents configuracions geomètriques que poden portar a una gran variació del balanç tèrmic.

| DEFINICIÓ PARÀMETRES  |  |
|---|--|
|   |  |
|   |  |
| Paràmetres fixes  | Paràmetres variables   |
| <p><b>Aïllament</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- % superfície opaca recoberta = 100%</li> <li>- transmissivitat material = 0,04</li> <li>- gruix aïllament = 10 cm</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- amb o sense canvi de finestres</li> </ul> |
| <p><b>Galeria</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- profunditat galeria = 80 cm</li> <li>- % superfície façana recoberta = 100%</li> <li>- % finestra en cares exteriors = 100%</li> <li>- pautes ventilació higiènica = 7h i 19h, 1r/15min</li> <li>- construcció vidriera, vidre simple</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> </ul>                                |

## 4.4. Paràmetres introduïts al simulador

En el present apartat es resumeixen els valors dels diferents paràmetres introduïts al programa de càlcul *Honeybee*.

La informació tècnica sobre els materials dels tancaments s'ha obtingut de la base de dades d'*Energy Plus* i del full de càlcul *balanç75.2.xlsx* desenvolupat per Arcadi de Bobes. Els valors dels quadres de càrregues internes, ventilació natural i climatització segueixen el Código Técnico de la Edificación en els elements normativitzats, i les recomanacions d'*Energy Plus* en la resta.

| TANCAMENTS BASE             |                 |               |              |                |
|-----------------------------|-----------------|---------------|--------------|----------------|
| Façanes                     | Composició      | Transmitància | Densitat     | Absortivitat   |
| Façana 1                    | MC14            | 2,48          | 196          | 0,7            |
| Façana 2                    | MC28            | 1,57          | 392          | 0,7            |
| Façana 3                    | MC14 CA6 MF7    | 1,44          | 280          | 0,7            |
| Façana 4                    | MC14 A3 CA6 MF4 | 0,72          | 244          | 0,7            |
| Façana 5                    | MC14 A6 MF7     | 0,49          | 281          | 0,7            |
| Finestres                   | Composició      | Transmitància | Factor solar | Factor visible |
| Finestra 1                  | 6mm sTPT        | 5,7           | 0,82         | 0,89           |
| Finestra 2                  | 4+6+4mm sTPT    | 3,8           | 0,75         | 0,81           |
| Finestra 3                  | 6+12+6mm aTPT   | 2,8           | 0,71         | 0,79           |
| Tancaments fixos adiabàtics | Composició      | Transmitància | Densitat     | -              |
| Envans                      | MF7             | 3,20          | -            | -              |
| Forjats                     | BR25 M2 R3      | 1,99          | -            | -              |

| TANCAMENTS INTERVENCIÓNS |                     |               |              |                |
|--------------------------|---------------------|---------------|--------------|----------------|
| Façanes                  | Composició          | Transmitància | Densitat     | Absortivitat   |
| Façana 1 + aïllament     | A10 MC14            | 0,34          | 211          | 0,7            |
| Façana 2 + aïllament     | A10 MC28            | 0,32          | 407          | 0,7            |
| Façana 3 + aïllament     | A10 MC14 CA6 MF7    | 0,31          | 295          | 0,7            |
| Façana 4 + aïllament     | A10 MC14 A3 CA6 MF4 | 0,26          | 259          | 0,7            |
| Façana 5 + aïllament     | A10 MC14 A6 MF7     | 0,21          | 296          | 0,7            |
| Finestres                | Composició          | Transmitància | Factor solar | Factor visible |
| Vidriera simple          | 6mm sTPT            | 5,7           | 0,82         | 0,89           |

Transmitància tèrmica en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ , densitat en  $kg/m^3$ . Absortivitat, factor solar i factor visible són adimensionals.

Nomenclatura dels codis de composició dels tancaments:

- el número del codi expressa el gruix de la capa en cm.

MC = maó calat

MF = maó foradat

CA = cambra d'aire

A = aïllament tèrmic

sTPT = marc de finestra sense trencament de pont tèrmic

aTPT = marc de finestra amb trencament de pont tèrmic

BR = forjat de biguetes i revoltons

M = morter

R = rajola

| CÀRREGUES INTERNES                    |   |                                   |                                  |
|---------------------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------------|
| Paràmetre                             | Unitats                                 | Habitació                         | Galeria                          |
| Número de persones per àrea           | pers./m <sup>2</sup>                    | 0,03 *                            | 0,01                             |
| Calendari d'activitat                 | W/pers                                  | L: 120 / F: 120 *                 | L: 80 / F: 80                    |
| Calendari d'ocupació                  | -                                       | L: 0,25 – 1 / F: 1 *              | L: 0,25 – 1 / F: 1               |
| Equipament                            | W/m <sup>2</sup>                        | 4,40 *                            | 2,00                             |
| Calendari equipament                  | -                                       | min. 0,1 (nit) / màx. 1 (vespre)* | min. 0,1 (nit) / màx. 1 (vespre) |
| Il·luminació                          | W/m <sup>2</sup>                        | 4,40 *                            | 2,00                             |
| Calendari il·luminació                | -                                       | min. 0,1 (nit) / màx. 1 (vespre)* | min. 0,1 (nit) / màx. 1 (vespre) |
| Taxa d'infiltració per àrea de façana | m <sup>3</sup> /s·m <sup>2</sup> façana | 0,0002                            | 0,0002                           |
| Calendari d'infiltració               | -                                       | sempre 1                          | sempre 1                         |
| Ventilació higiènica                  | renovacions/h                           | 0,6 *                             |                                  |
| Calendari ventilació higiènica        | -                                       | no                                | 7h i 19h: 0,25 / resta: 0        |

\* Valors extrets del CTE. Documents bàsics HS i HE.

| VENTILACIÓ NATURAL  |         |           |         |
|---|---------|-----------|---------|
| Paràmetre   | Unitats | Habitació | Galeria |
| T <sup>a</sup> interior mínima                              | °C      | 22        | 22      |
| T <sup>a</sup> interior màxima                              | °C      | 27        | 27      |
| T <sup>a</sup> exterior mínima                              | °C      | 15        | 15      |
| T <sup>a</sup> exterior màxima                              | °C      | 27        | 27      |
| Diferencial màxim T <sup>a</sup> ext. – T <sup>a</sup> int. | °C      | 0         | 0       |

| CLIMATITZACIÓ                 |         |                      |         |
|-------------------------------|---------|----------------------|---------|
| Paràmetre                     | Unitats | Habitació            | Galeria |
| Calefacció, consigna encès    | °C      | 20 (dia), 17 (nit) * | no      |
| Calefacció, consigna apagat   | °C      | 17                   | no      |
| Refrigeració, consigna encès  | °C      | 28 **                | no      |
| Refrigeració, consigna apagat | °C      | 28                   | no      |

\* Valors extrets del CTE. Documents bàsics HS i HE.

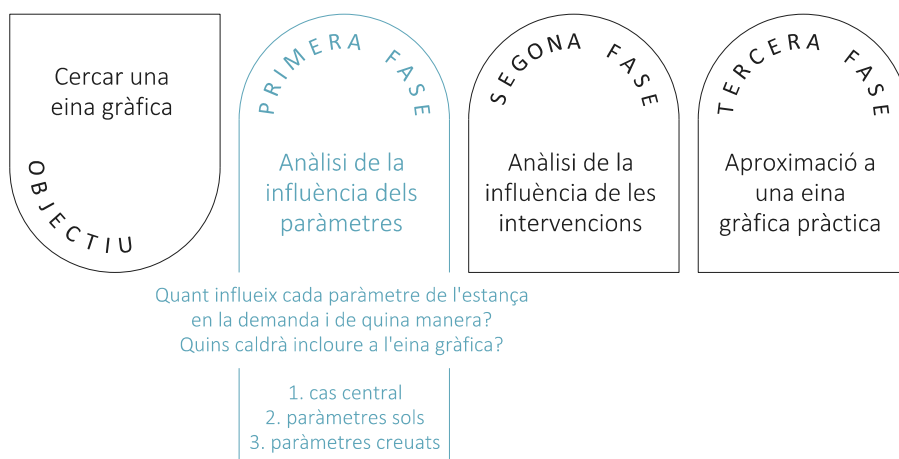
\*\* Tot i que el CTE estipula unes temperatures de consigna alta de 25°C durant el dia i 27°C durant la nit, no s'utilitzen per a l'encès de la refrigeració, ja que s'utilitza en primer lloc la ventilació natural com a refrigeració passiva, quan es compleixen totes les condicions estipulades.

## Consideracions

Per a enfocar el treball, s'han pres les següents decisions en relació a la precisió de l'aproximació. Es pot trobar una explicació més detallada en l'Annex 2, *Consideracions sobre el cas d'estudi*.

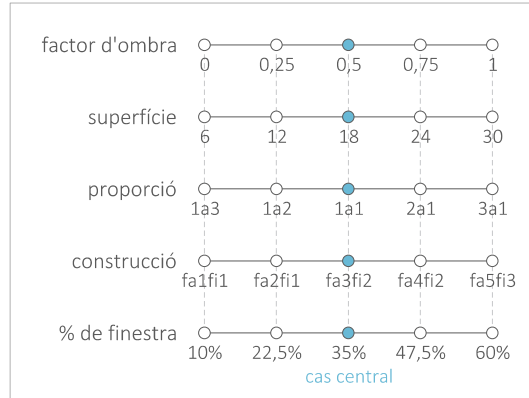
- En primer lloc, el present treball no inclou estances que tinguin un intercanvi tèrmic rellevant per als altres paraments diferents a la façana. És a dir, no és d'aplicació per a habitacions que estiguin per exemple a l'última planta d'un edifici, en contacte amb la coberta, o que tinguin dues façanes cap a l'espai exterior.
- Per altra banda, es menysprea també l'efecte que podria tenir el fet que una segona estança interior ventilés cap a l'exterior a través de l'estança d'estudi. En l'annex es plantegen diferents casuístiques, i es conclou que la influència que aquest fet podria tenir en la demanda de l'estança és mínim, ja que a mateixa superfície, entraria el doble d'aire però es barrejaria amb el doble d'aire.

## 5. PRIMERA FASE: ANÀLISI DE LA INFLUÈNCIA DELS PARÀMETRES EN LA DEMANDA INICIAL



## 5.1. Anàlisi del cas central

Tal i com s'explica en l'apartat de metodologia, aquest estudi s'ha realitzat partint d'un cas central, amb un valor mitjà en els cinc paràmetres escollits, amb la finalitat de després desplaçar-lo cap als extrems màxim i mínim de cadascun dels paràmetres de manera individual i conjunta, per tal de qualificar i quantificar la seva influència en la demanda de calefacció i refrigeració.



En una primera instància cal, doncs, simular aquest cas central en les quatre orientacions treballades i extreure'n conclusions. Es compara d'entrada el valor de demanda anual de calefacció i refrigeració, i posteriorment el balanç energètic dels mesos de gener i juliol, per tal d'entendre en detall el comportament.

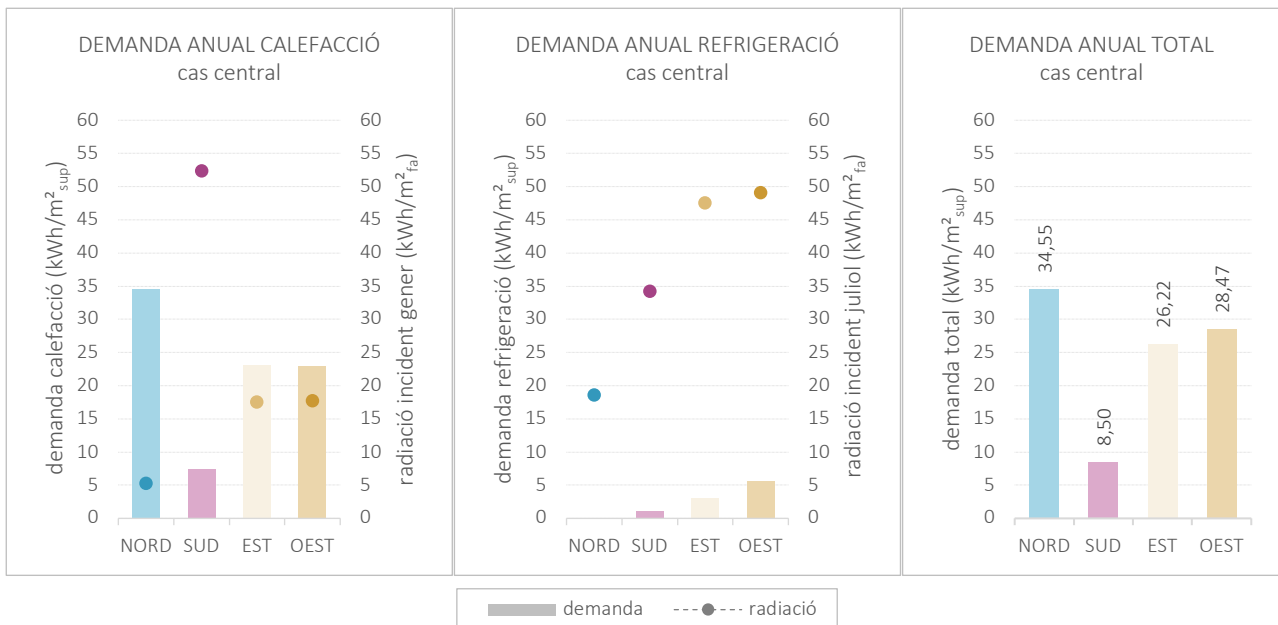


Figura 5-01: Demanda anual de calefacció, refrigeració i total del cas central. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-01 de l'Annex 4.

- Els resultats del cas central mostren sempre una major demanda de calefacció que de refrigeració i una gran diferència en tots dos casos entre les diferents orientacions. Aquesta diferència ha de ser conseqüència de la radiació incident a la façana, ja que és l'única variable diferent entre les orientacions. Es pot veure com a l'hivern la relació entre demanda i radiació és inversa, mentre que a l'estiu és directa.
- Cal remarcar que l'orientació est té una radiació quasi idèntica a oest a l'hivern, però lleugerament inferior a l'estiu, fet que probablement sigui parcialment responsable de la diferència de demanda de refrigeració a l'estiu entre aquestes dues orientacions. Tot i així, a part de la variació en radiació, s'ha de tenir en compte que els moments en que incideix la radiació en els dos casos és molt diferent. A l'est, aquesta situació es dona quan l'estança s'ha refrescat durant la nit, i l'aire exterior encara no és molt calent. A l'oest, en canvi, quan incideix el sol les temperatures interior i exterior són molt més elevades. Així, existeix una simetria de radiació però no de temperatura, fet responsable també de la diferència de demanda que mostra el gràfic.



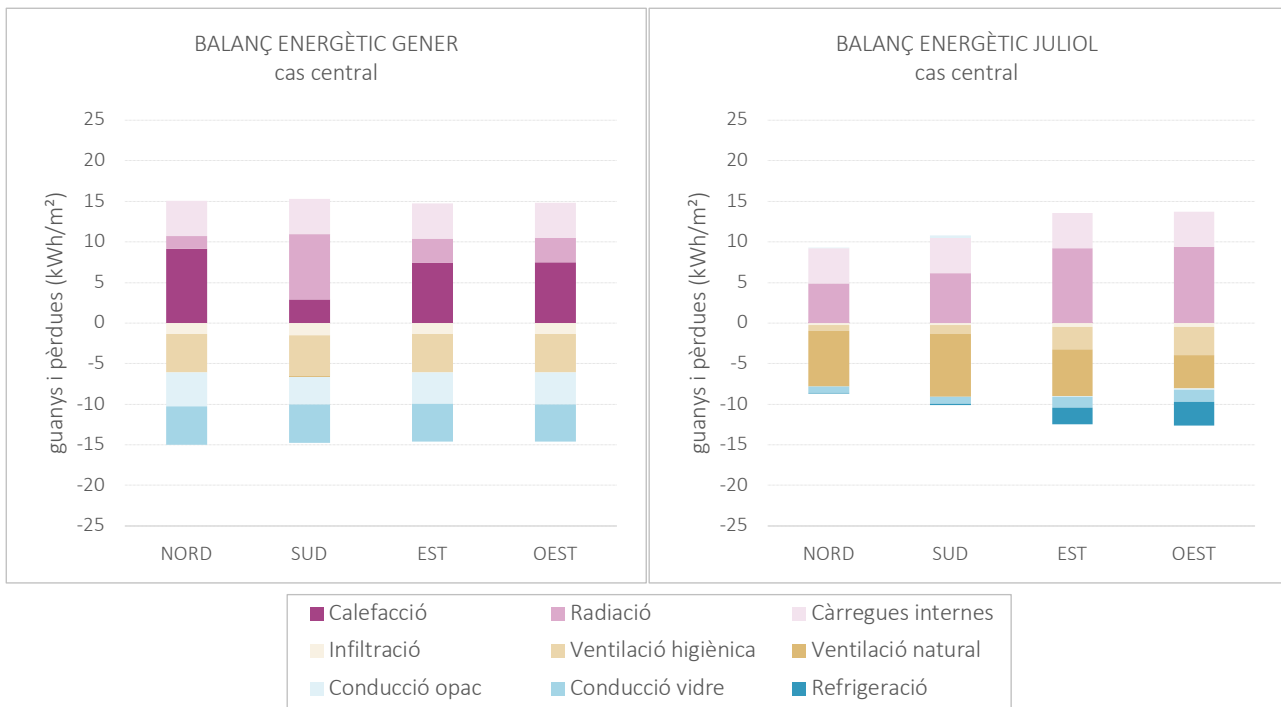


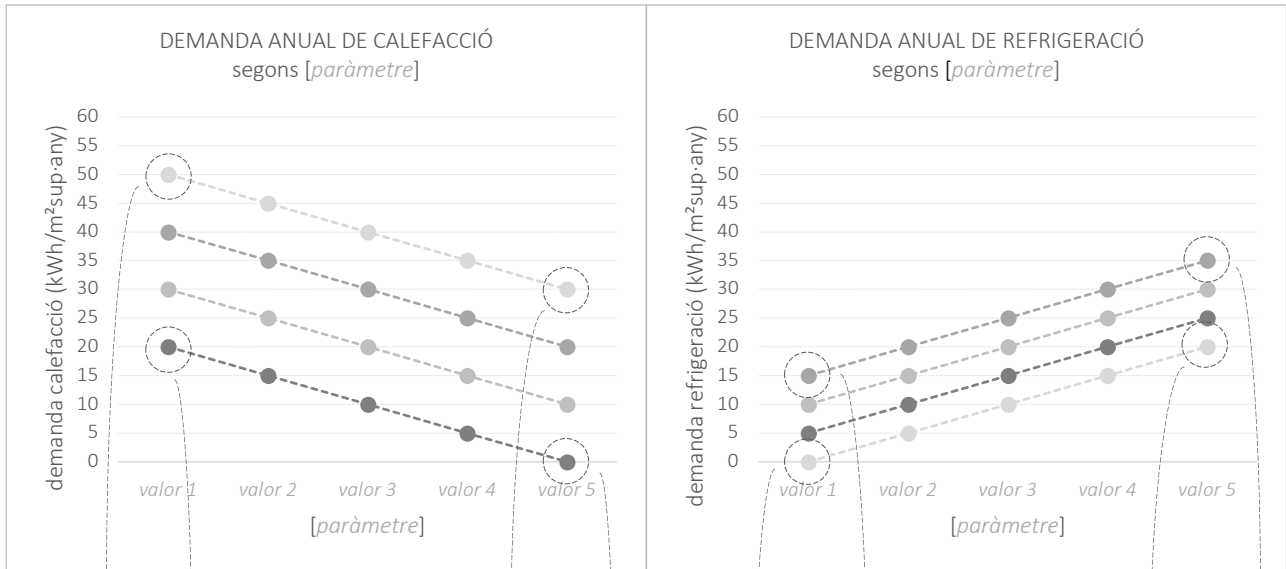
Figura 5-02: Balanç energètic de gener i juliol del cas central. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-02 de l'Annex 4.

- En el balanç d'hivern es pot veure que la majoria d'elements es mantenen aproximadament constants, com és el cas de les càrregues internes, la infiltració, la ventilació higiènica, la transmissió a través de la part opaca de la façana i la transmissió a través de la finestra.
- Així, a paràmetres constants i només variant la radiació incident a la façana, els únics elements que fan variar en gran mesura el balanç energètic de gener són els guanys per radiació i la calefacció. Els guanys per radiació, com es pot observar comparant amb els gràfics anteriors, són proporcionals a la radiació que incideix a la façana, i la calefacció ha de cobrir la part restant fins a compensar el balanç. Com s'ha vist als gràfics de demanda, l'orientació sud és la que menys calefacció necessita, gràcies a la gran quantitat de radiació que rep a l'hivern. Est i oest estan en segona posició, i nord és evidentment la pitjor, ja que a l'hivern només rep una mica de radiació difusa.
- A l'estiu, en canvi, s'observa variació en molts més elements del balanç, restant estables únicament les càrregues internes, que són una constant. La infiltració en principi també és un valor constant, però a l'estiu succeeix que quan s'activa la ventilació natural i s'obren les finestres produint una renovació d'aire constant i de gran cabal, aquesta "reemplaça" les altres renovacions de petit cabal, és a dir, la infiltració i la ventilació higiènica.
- Seguint amb la ventilació natural, també cal remarcar la seva relació amb la quantitat de radiació. Al passar de nord a sud, augmenta la radiació i més o menys en la mateixa mesura augmenta la ventilació natural, ja que vol compensar el balanç. Per contra, al passar de sud a est, tot i que segueix augmentant la radiació incident i els guanys per radiació, la ventilació natural fa el contrari i disminueix. Això succeeix perquè incideix tanta radiació de cop que la ventilació natural no és capaç de fer baixar la temperatura interior, aquesta va augmentant fins a arribar a la temperatura de consigna en la que s'apaga la ventilació natural i s'engega la refrigeració. El mateix succeeix a oest.
- Fixant-nos ara en les pèrdues per transmissió a través del vidre, podem observar un lleuger increment en les orientacions est i oest, respecte de la nord i sud. Una possible hipòtesi és que les dues primeres orientacions reben una major quantitat de radiació solar, que escalfa l'espai interior, augmentant el diferencial de temperatura ens els aires interior i exterior.
- Finalment, per tal d'entendre la diferència de demanda de refrigeració entre est i oest, observem el seu balanç en detall. Mentre que els guanys per radiació d'oest són majors que els d'est en una proporció quasi inapreciable, la seva ventilació natural és perceptiblement menor. Tal com havíem dit, a l'oest la radiació incideix a la façana quan les temperatures interior i exterior són molt altes, i per tant s'assoleix més ràpidament la temperatura de consigna alta que fa engegar la climatització.

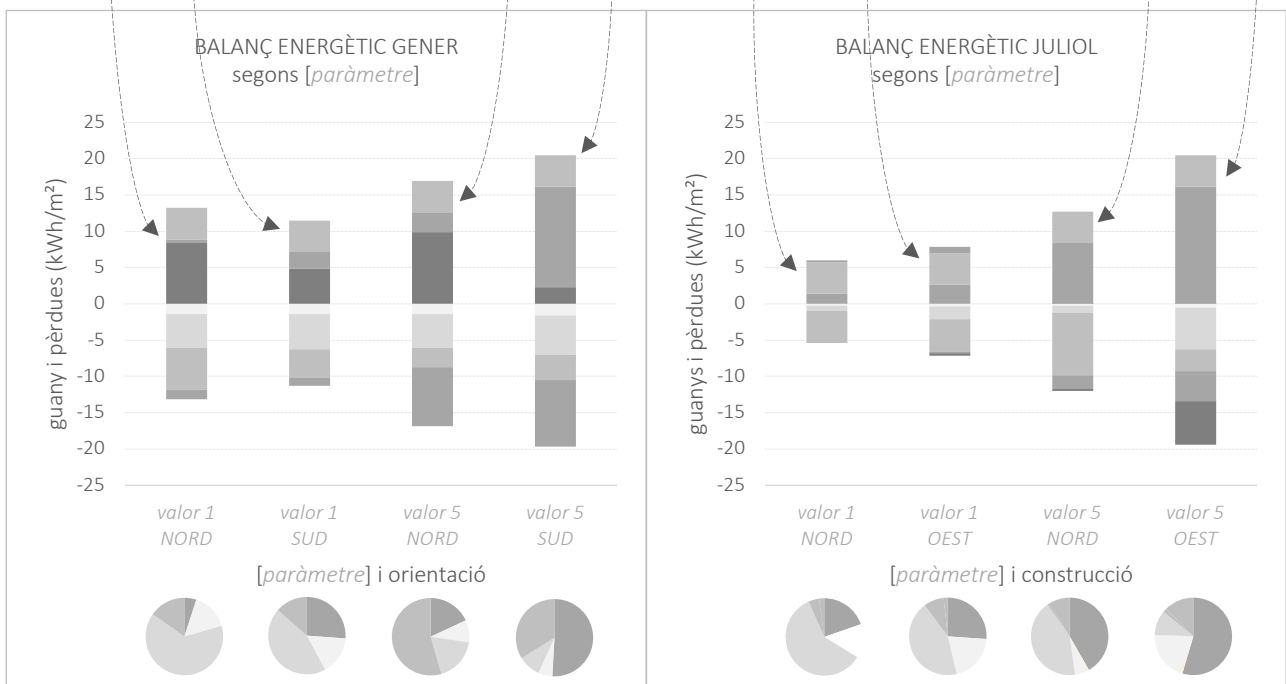
## 5.2. Anàlisi individual dels paràmetres

### Presentació dels resultats

Per a introduir aquest apartat, és necessari aclarir en primer lloc els diferents aspectes que s'analitzaran per a cada paràmetre, amb quina metodologia i com es mostren els resultats obtinguts, per tal de facilitar la comprensió del treball. En primer lloc, com que l'objecte d'estudi de la present tesina és la demanda de calefacció i refrigeració, es comença reflectint la seva evolució al llarg dels 5 valors escollits de cada paràmetre analitzat.



Seguidament, la voluntat és entendre més a fons la causa de les diferències entre orientacions i entre els valors del paràmetre. Per això, s'escullen els casos extrems: els casos corresponents als valors màxims i mínims del paràmetre, en les orientacions de mínima i màxima radiació incident, que són nord i sud respectivament a l'hivern, i nord i oest a l'estiu.



El balanç en valor absolut dona molta informació sobre els elements que més influeixen en la demanda de climatització, però per comparar al llarg dels valors del paràmetre, és també necessari poder observar el valor relatiu, que mostra si tots els elements han augmentat o disminuït en la mateixa mesura, o si han canviat de proporció. Per aquesta raó s'han agrupat en el gràfic circular només aquells elements del balanç que són variables, desestimant els de valor fix, com les càrregues internes, la ventilació mecànica a l'hivern, i les infiltracions en situacions concretes que s'explicaran cas a cas.

Tot i que ja s'han utilitzat elements d'obstrucció de la radiació per extreure conclusions sobre la relació entre radiació i demanda, ara es vol estudiar més a fons el paràmetre del factor d'ombra, i la variació de demanda de calefacció i refrigeració al llarg dels cinc valors escollits.

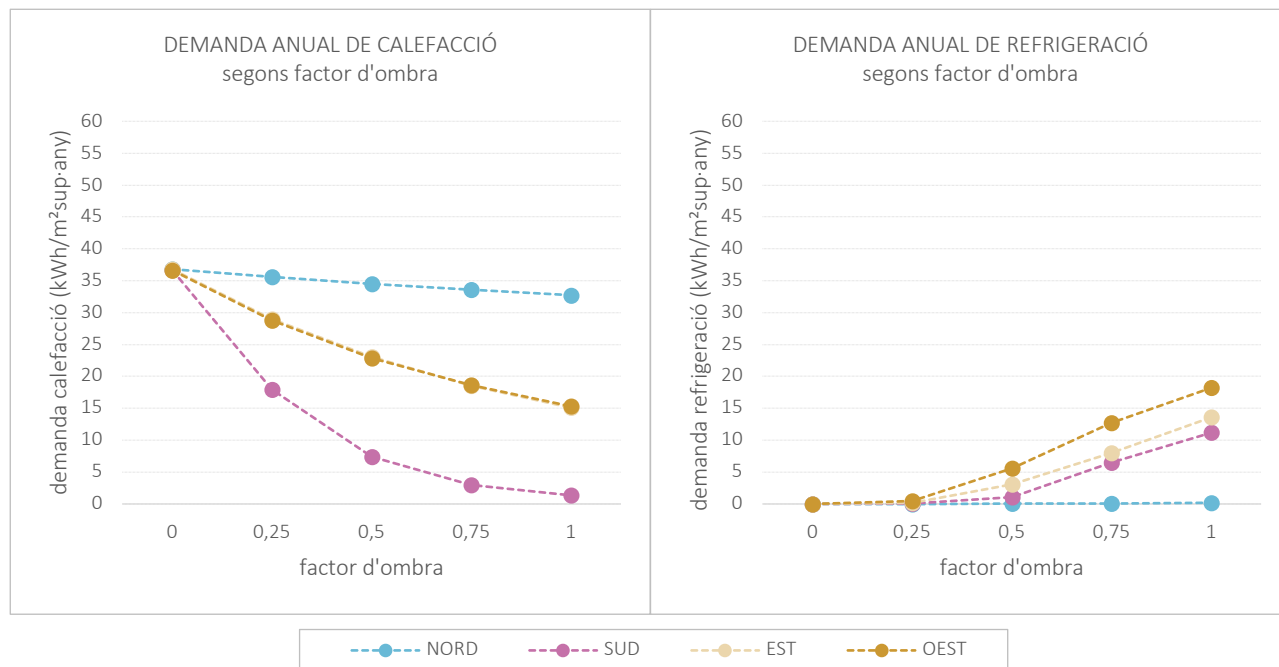


Figura 5-03: Demanda anual de calefacció i refrigeració segons factor d'ombra. Font: elaboració pròpia.  
Valors numèrics a les Taules 5-03 de l'Annex 4.

- El primer que s'observa és que a factor d'ombra 0, els consums de totes les orientacions s'igualen, ja que com havíem vist, la radiació incident en totes quatre és pràcticament nul·la, només amb un petit valor residual corresponent a la radiació difusa. En el cas de la calefacció, aquesta situació correspon al valor màxim de demanda, mentre que en la refrigeració correspon al valor mínim. Així doncs, les demandes d'hivern i estiu evolucionen de maneres inverses en front d'aquest paràmetre. Quant augmenta el factor d'ombra, la calefacció disminueix però la refrigeració augmenta.
- A més, el fet que en força casos arribem a no tenir cap demanda de refrigeració ens confirma que el de Barcelona és un clima suau i temperat, amb estius no molt calorosos, ja que en cas de tenir una temperatura molt alta, probablement tot i protegir-se del sol no s'arribaria a les temperatures desitjades.
- També s'observa que, tot i que de seguida que augmenta el factor d'ombra, la demanda de calefacció comença a baixar -a diferents velocitats en les diferents orientacions, altre cop a causa de la radiació incident-, en la refrigeració no succeeix el mateix. A l'estiu, doncs, fins a arribar a una quarta part de la radiació total que rebria el parament si no tingués obstruccions, la demanda de refrigeració no comença a créixer -a excepció de nord que continua pràcticament a zero-. Aquest fet indica que, tot i que a factor d'ombra 0,25 els guanys per radiació estan augmentant, hi ha algun altre element del balanç que aconsegueix compensar aquest increment.

Per tal de descobrir quin és aquest element de contrapès, cal entendre el seu comportament més a fons, destriant els elements que hi tenen influència. Per aquesta raó, a continuació s'analitza en detall el balanç energètic dels quatre casos extrems, tant en hivern com en estiu.

- Tal i com ja mostrava l'anàlisi de consums, el balanç confirma que el funcionament amb radiació nul·la és pràcticament idèntic entre orientacions diferents. Així, a nord i sud amb factor d'ombra 0, és a dir, amb total obstrucció de la radiació incident, obtenim un mateix resultat, tant en valors absoluts com en relatius.

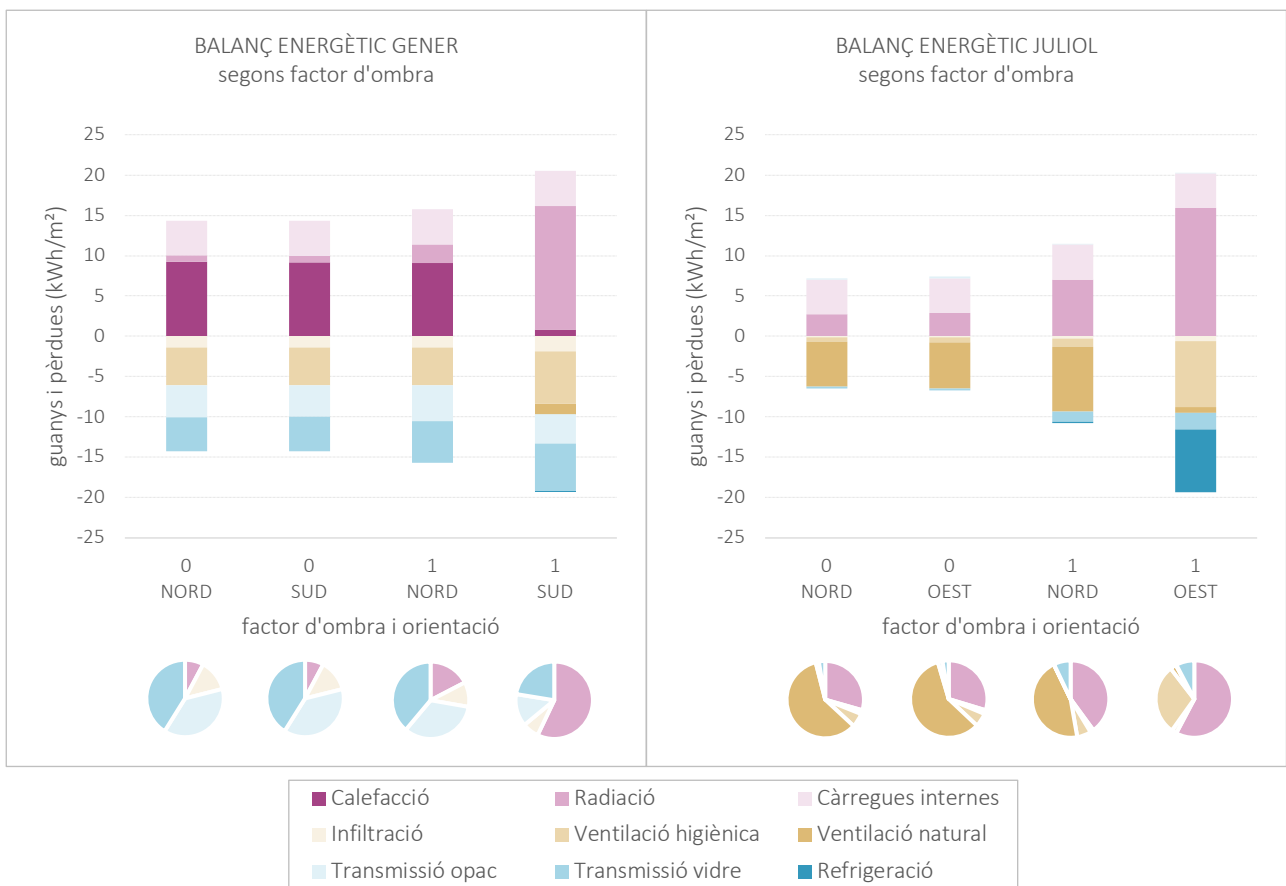


Figura 5-04: Balanç energètic de gener i juliol segons factor d'ombra i orientació. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5.04 de l'Annex 4.

- A l'hivern, quan nord passa de factor d'ombra 0 a 1, la radiació incident en el pla de façana augmenta lleugerament. Tot i que d'entrada semblaria que en valor absolut la demanda de calefacció hauria de reduir-se en la mateixa mesura que augmenten els guanys per radiació, la demanda només disminueix en un 5% d'aquesta diferència. L'explicació és que, tal i com ja s'ha explicat, quan hi ha una major radiació que incideix a la finestra i s'escalfa, la gran diferència de temperatura amb l'aire exterior fred produeix unes majors pèrdues per transmissió. Tot i així, els guanys per radiació augmenten més ràpidament que aquestes pèrdues per transmissió, que varien molt lleugerament. Per tant podem concloure que a més radiació menys demanda de calefacció, però aquesta relació no és directament proporcional.
- A sud amb  $F_o=1$ , la radiació incident al pla de façana és 10 vegades la del seu homòleg a nord, i els seus guanys per radiació unes 6 vegades. En aquest cas, fins i tot en certs moments l'habitació s'escalfa a una temperatura tant alta que s'ha de ventilar per a estar dins del rang de confort. Tot i així, s'observa com en les condicions del cas central, amb una elevada incidència solar, es pot arribar a disminuir dràsticament la demanda de calefacció.
- A l'estiu, en l'orientació nord, l'increment de guanys per radiació al passar a màxim factor d'ombra es compensen fàcilment amb ventilació natural. Aquest és doncs, l'element que compensa el balanç en els primers estadis d'augment de radiació incident. A oest, en canvi, aquest increment de radiació incident és tan elevat que la ventilació natural no és suficient per tal de mantenir l'estança a una temperatura de confort, així que la ventilació es redueix casi a zero i és substituïda per la refrigeració.

En conclusió, en aquest cas és clar que l'única variable responsable dels canvis al llarg del paràmetre és la quantitat de radiació incident a la façana. Tot i així, la relació entre aquesta variable i l'evolució de la demanda és molt directa a l'hivern, mentre que a l'estiu hi ha molts més fenòmens que entren en joc.

## paràmetres sobre la geometria de l'habitació

### SUPERFÍCIE EN PLANTA

El segon paràmetre a estudi fa referència a la superfície útil en m<sup>2</sup> de l'habitació. Cal remarcar que la proporció entre l'amplada i la profunditat es manté fixa en tots els casos, però com que l'alçada és sempre de 2,80m, el factor de forma de l'habitació va disminuint a mesura que augmenta la superfície. És a dir, hi ha menys superfície de pell per cada unitat de volum interior. Mirem, doncs, a continuació, si aquest fet afecta en la demanda de climatització de l'habitació.

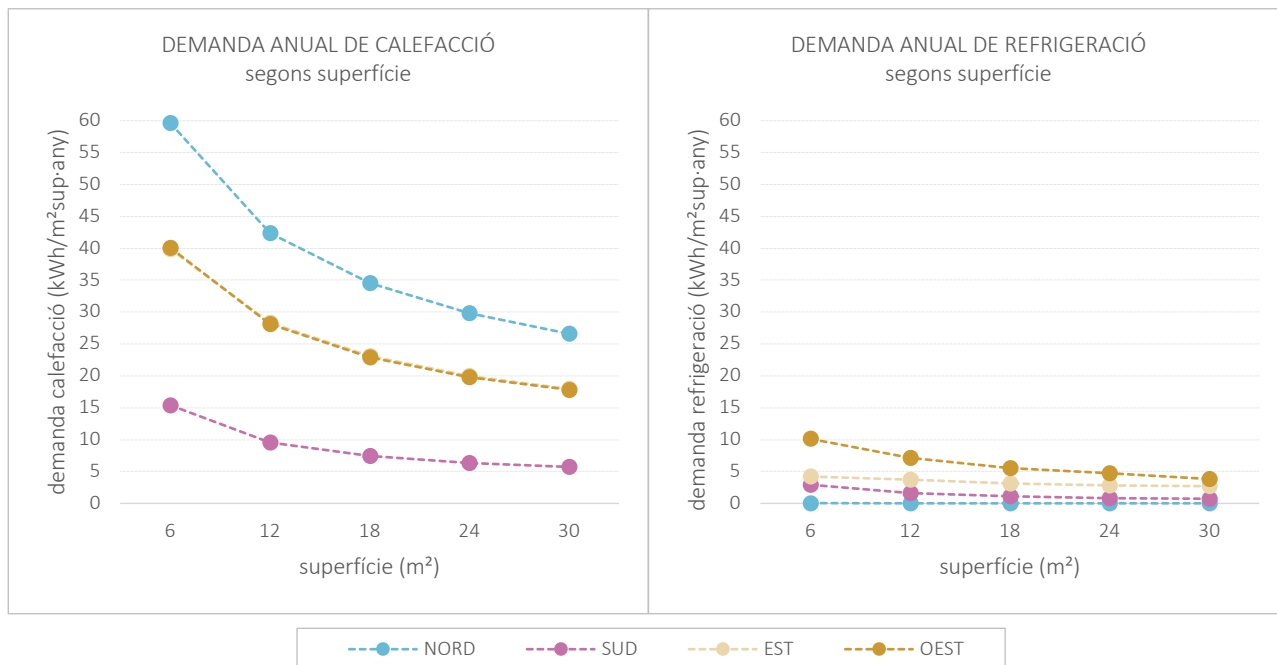


Figura 5-05: Demanda anual de calefacció i refrigeració segons superfície. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-05 de l'Annex 4.

- En aquesta ocasió, a diferència del paràmetre anterior, en ambdós casos, hivern i estiu, la demanda disminueix a mesura que augmenta el valor del paràmetre superfície. Així, en totes les orientacions i en totes les estacions, l'opció amb una demanda inferior és la de 30 m<sup>2</sup> de superfície. A més, totes les orientacions evolucionen de manera similar i aparentment proporcional. Això ens mostra que, a diferència del que s'ha observat amb el factor d'ombra, la radiació incident ja no és la variant responsable dels canvis en la demanda.

Amb la finalitat d'entendre millor l'evolució del comportament de l'estança, ens tornem a referir als balanços energètics dels quatre casos extrems seleccionats.

- En primer lloc, referent al balanç del mes de gener, es vol començar clarificant la diferència de la quantitat d'infiltració entre els dos casos de 6 m<sup>2</sup> i els dos de 30 m<sup>2</sup>. Com s'explica en l'apartat 4, la infiltració es considera com un paràmetre propi del parament i, per tant, les seves unitats són m<sup>3</sup>/s·m<sup>2</sup> de façana. Així, tot i ser un valor que s'ha considerat constant, quan varia la proporció de superfície de façana respecte de superfície útil, la infiltració canvia en la mateixa mesura. Això s'observa quan es comparen les opcions de 6 m<sup>2</sup> de superfície amb les de 30 m<sup>2</sup>. Per altra banda, altres característiques amb valors fixos que van en funció de la superfície en planta, com les càrregues internes i la ventilació mecànica, sí que s'han mantingut constants.
- Deixant de banda ara els valors fixos i fixant-nos només en els variables, si s'observa el balanç d'hivern comparant les dues superfícies d'una mateixa orientació, es veu com en valors absoluts canvia substancialment. Per contra, els gràfics circulars -on només s'hi ha representat els elements variables- mostren que en proporció són exactament iguals. És a dir, que tot i que el cas a nord de 6 m<sup>2</sup> té uns intercanvis energètics majors que nord de 30 m<sup>2</sup> quan es reflecteixen per m<sup>2</sup> de superfície en planta, si els reflectíem per m<sup>2</sup> de façana serien idèntics en valor, i l'únic que canvia d'un cas a l'altre és que el segon té menys superfície de façana per cada unitat de superfície en planta. Evidentment, però, si tornem a considerar les càrregues internes i la ventilació mecànica, el seu valor fix tindrà un pes major en proporció com més gran sigui la superfície, ja que el valor absolut és el mateix.

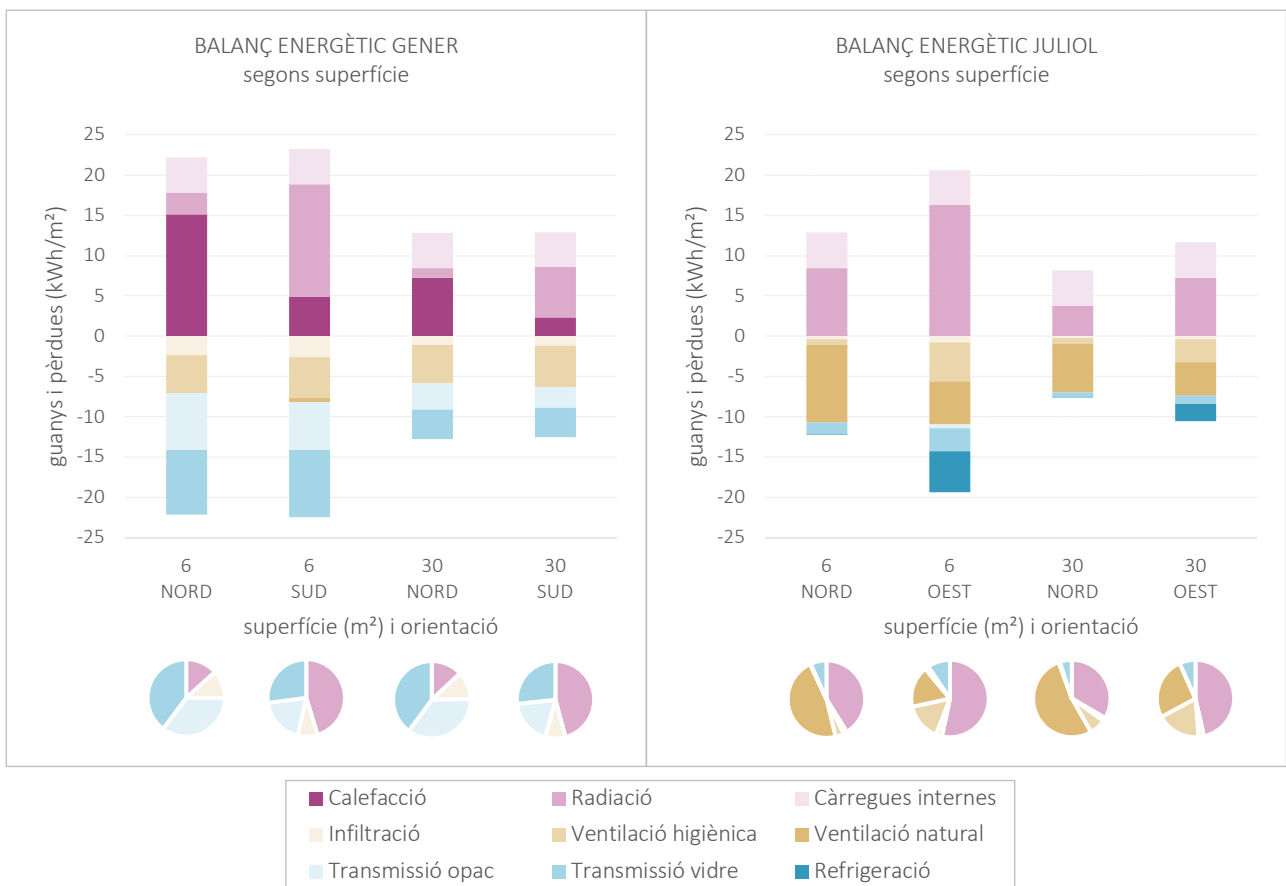


Figura 5-06: Balanç energètic de gener i juliol segons superfície i orientació. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-06 de l'Annex 4.

- A l'estiu succeeix un fet similar però, com ja s'ha vist anteriorment, la ventilació natural desfà la proporcionalitat. En tots dos casos de l'orientació oest, en força moments del mes de juliol la ventilació natural és incapaç d'actuar de manera eficient com a refrigeració passiva degut a l'excessiva incidència de radiació solar, així que s'engega la refrigeració. Tornem a veure, doncs, que a l'estiu no és del tot proporcional la demanda amb la radiació incident. A més, també depèn de la temperatura interior i exterior en el moment d'incidència solar.

Així doncs podem constatar que la variable responsable dels canvis al llarg del paràmetre és principalment la relació entre la superfície de façana i la superfície en planta de l'estança.

**paràmetres sobre la geometria de l'habitació**  
**PROPORCIÓ AMPLADA - PROFUNDITAT**

L'estudi continua amb el tercer paràmetre, que valora la relació entre l'amplada de l'habitació i la seva profunditat, mantenint la superfície útil fixe. Aquest paràmetre, igual que l'anterior, tindrà influència en la proporció de façana respecte de la superfície en planta de l'estança.

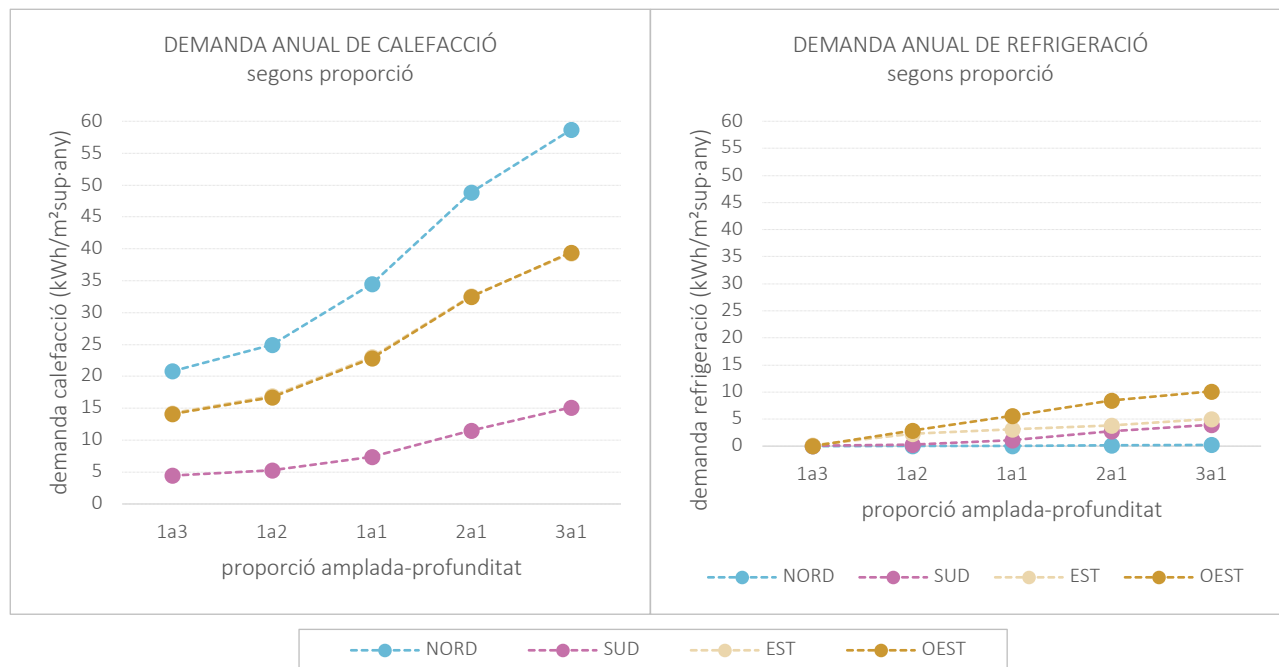


Figura 5-07: Demanda anual de calefacció i refrigeració segons proporció. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-07 de l'Annex 7.

- Igual que en el paràmetre de superfície, tant calefacció com refrigeració evolucionen en la mateixa direcció. Això ens torna a indicar que la radiació incident en façana no és responsable de la variació de demanda, sinó que aquesta s'escala degut a la proporció entre superfície de façana i superfície útil. La diferència respecte el paràmetre anterior és que aquest cop la demanda va augmentant cap a la dreta, és a dir, quan l'amplada és el triple que la profunditat. Intuïm doncs, que la diferència és que en l'anterior paràmetre aquesta proporció era més petita cap a la dreta del gràfic, i en aquest cas és a l'inrevés.
- En quant a l'ordre entre orientacions de més a menys demanda, es manté igual. Nord, qui menys radiació incident té a l'hivern, requereix una major quantitat de calefacció, mentre que sud, a l'altre extrem, aconsegueix reduir bastant aquesta necessitat. A l'estiu, l'excessiva radiació de l'oest combinada amb les altes temperatures durant les hores d'incidència la situen com a pitjor orientació, i nord com a millor, amb una demanda quasi nul·la.
- A més, est i oest continuen comportant-se de manera idèntica a l'hivern, però amb diferències no negligibles a l'estiu.
- Per la geometria que adopta la corba del gràfic -més fàcilment perceptible en la calefacció de nord- es pot reconèixer que el paràmetre escollit, la proporció d'amplada i profunditat, no representa en realitat una variable "numèrica", i que la proporció de façana entre superfície útil no evoluciona exactament de manera gradual al llarg del paràmetre.

El balanç energètic dels casos extrems segueix recordant al que s'acaba d'estudiar en el paràmetre de superfície, i queda clar que tots dos paràmetres influeixen en la demanda de l'estança de la mateixa manera i per les mateixes raons.

- Altre cop succeeix que a l'hivern, per a una mateixa orientació, la proporció de cada element variable és la mateixa tant en la proporció 1a3 com 3a1. És a dir, el balanç canvia en valors absoluts però els relatius es mantenen. També igual que en el paràmetre de superfície, a l'estiu aquesta proporció varia lleugerament, ja que la ventilació natural i la transmissió per vidre no evolucionen proporcionalment i desequilibren el conjunt.

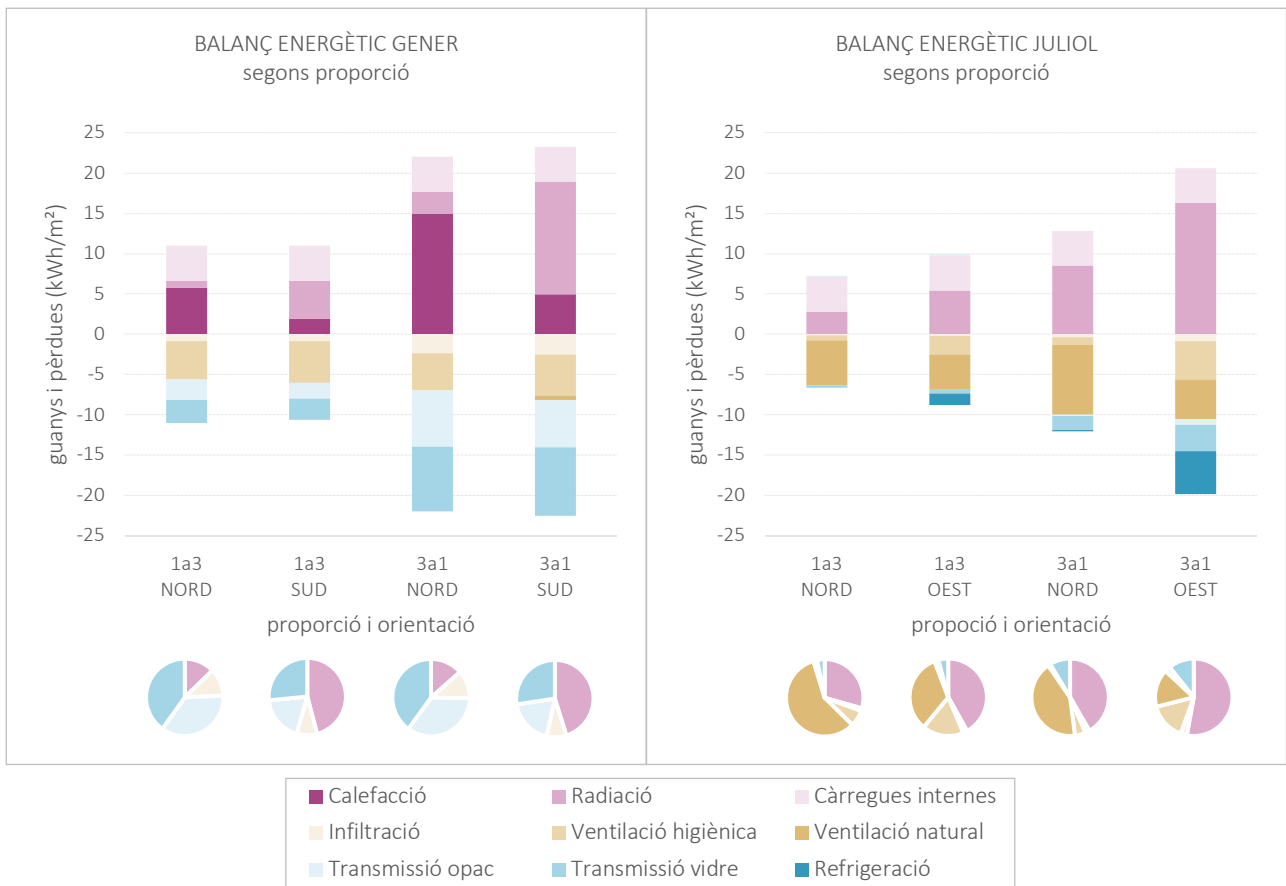


Figura 5-08: Balanç energètic de gener i juliol segons proporció i orientació. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-08 de l'Annex 4.

- A l'estiu, també tornem a observar com per a radiacions massa elevades, la ventilació natural no és capaç de compensar els guanys per radiació solar. Es recupera la ventilació higiènica que compensa alguns guanys, però la resta ha de ser forçosament compensat a través de refrigeració.

Finalment podem dir que la variable responsable dels canvis al llarg del paràmetre torna a ser la relació entre superfície de façana i superfície en planta, com ja s'intuïa durant l'anàlisi d'aquest paràmetre.



**paràmetres sobre la materialitat de l'habitatge**  
**CONSTRUCCIÓ DE FAÇANA I FINESTRA**

Entrant ara en els aspectes materials que poden variar en l'habitatge d'estudi, s'analitza en primer lloc amb els materials emprats en la seva envoltant que la separa de l'exterior. Tal i com s'ha explicat en l'apartat de metodologia, s'han considerat 5 conjunts de construcció, començant per un amb una transmissió global molt elevada i un factor solar també alt, i anar baixant fins a sistemes més tecnològics, però encara dins d'una construcció convencional.

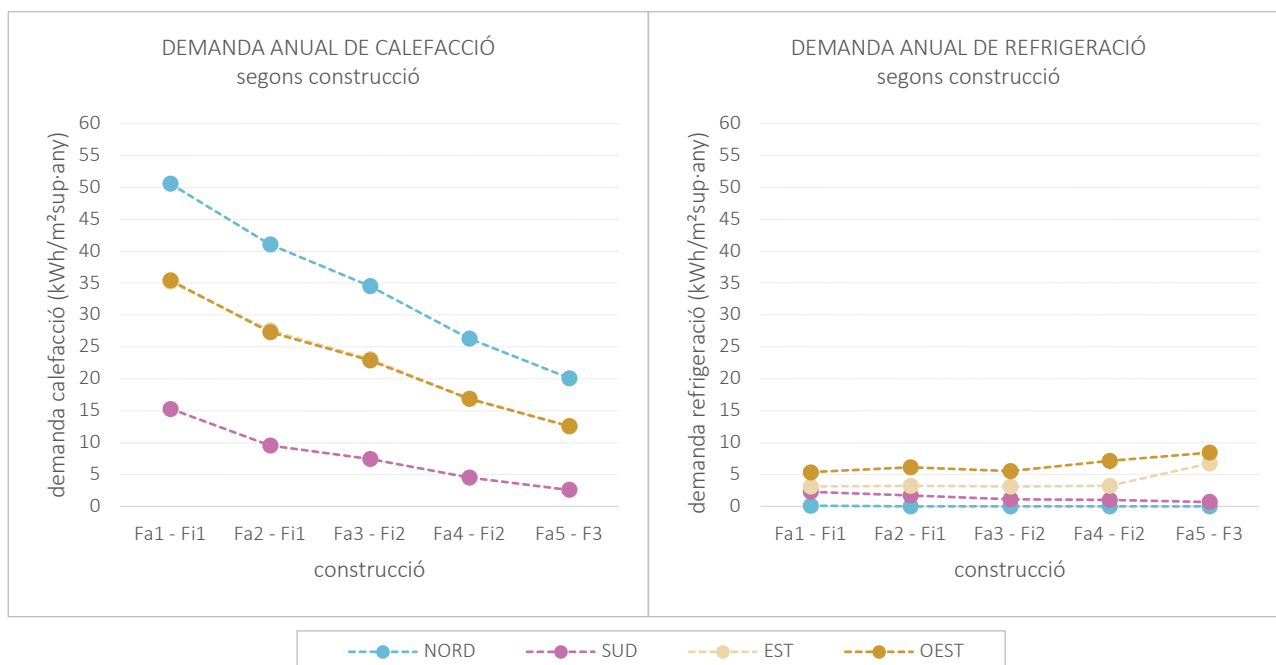


Figura 5-09: Demanda anual de calefacció i refrigeració segons construcció. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-09 de l'Annex 4.

Aquest paràmetre no correspon a un valor numèric sinó que engloba canvis de diferents característiques. Mentre que la transmissió s'ha intentat que anés disminuint de manera força gradual, al tenir només 3 opcions de finestra fa que les característiques del vidre no mantinguin un canvi continu al llarg de les 5 construccions escollides. Caldrà tenir aquest fet present en la interpretació dels resultats.

- Si s'observa l'evolució de la demanda d'esquerra a dreta del gràfic, tant a l'estiu com a l'hivern, es veu com tornen a evolucionar de manera diferent. Mentre que la calefacció va disminuir a mesura que millora la construcció de la façana opaca i de la finestra, la refrigeració tendeix a augmentar en algunes orientacions i a disminuir en altres. Nord podem dir que es manté constant a 0 kWh/m²·any. L'orientació que requereix de menor energia quan millor és la construcció és sud, és a dir, la segona orientació amb menor radiació solar a l'estiu. Això probablement succeeix perquè la menor transmissió ajuda a reduir els guanys per transmissió durant les hores de calor del dia, i el menor factor solar del vidre redueix lleugerament els guanys per radiació solar. A est i oest, per contra, a millor façana sembla que requereix una major quantitat de refrigeració. Haurem d'observar el balanç energètic per esbrinar la causa exacta.
- En una mirada en detall al gràfic de demanda de calefacció es pot intuir que proporcionalment, l'orientació sud varia més amb el canvi de factor solar que l'orientació nord, és a dir, la línia fa un salt més pronunciat. Això succeeix perquè a nord la radiació incident a l'hivern és quasi nul·la i, per tant, és més important la variació de transmissió que no els guanys per radiació solar. A sud, en canvi, és molt més essencial aprofitar la bona radiació solar que hi arriba, i per això un petit canvi en el factor solar del vidre pot fer variar bastant els seus requeriments de calefacció.

Per a continuar amb aquestes dues observacions i amb els dubtes que s'han plantejat, s'analitza a continuació, com de costum, els balanços energètics dels quatre casos extrems.

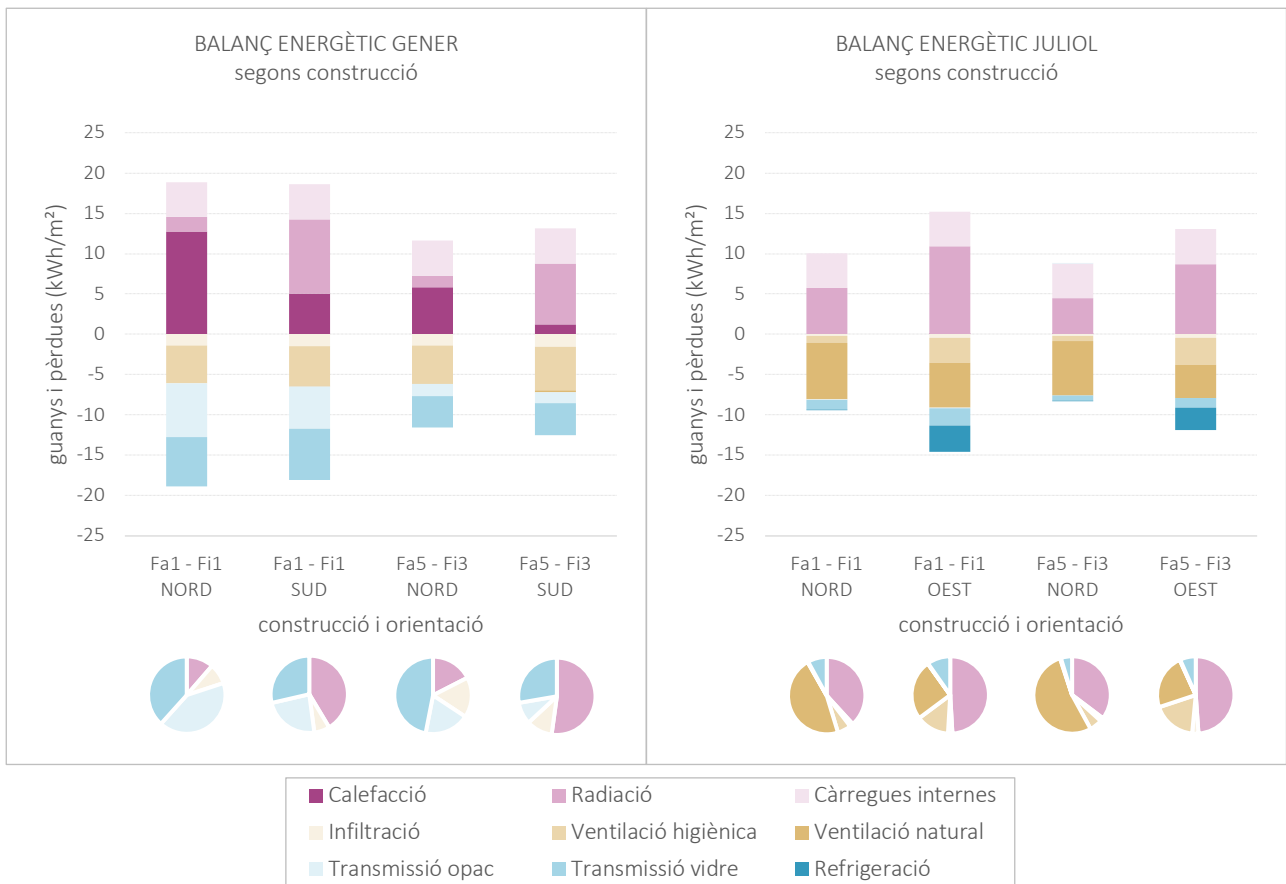


Figura 5-10: Balanç energètic de gener i juliol segons construcció i orientació. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-10 de l'Annex 4.

- A l'hivern, en una mateixa orientació, al passar de la façana de major transmissió a la de menor, tot i que la radiació disminueix lleugerament per la reducció del factor solar del vidre, les pèrdues per conducció disminueixen molt més, resultant en una demanda de calefacció de menys de la meitat. Dit d'una altra manera, a l'hivern la transmissió influeix molt més en la variació de la demanda al llarg del paràmetre de construcció, que no pas la radiació.
- A l'estiu l'efecte és molt menor. Tal com ja s'ha explicat, la transmissió juga un paper molt poc important, i la radiació disminueix molt lleugerament, causant el mateix canvi en la demanda de refrigeració.
- Cal destacar que el cas oest de millor façana (fa5 fi3) mostra en el balanç de juliol una demanda de refrigeració menor que la mateixa orientació amb la pitjor façana (fa1 fi1), just al contrari del que havíem observat en els gràfics de demanda anual de refrigeració. Així, sembla ser que la millor façana aconsegueix reduir el pic de demanda en els mesos més calorosos, però podria indicar que hi ha una necessitat de refrigeració durant més mesos.

En aquest s'observen dues variables responsables dels canvis al llarg del paràmetre, la transmissió tèrmica global de l'envolupant i factor solar del vidre, que fan variar la transmissió i la radiació respectivament.

## paràmetres sobre la materialitat de l'habitatció

### PERCENTATGE DE FINESTRA

L'últim paràmetre a estudiar de manera individual fa referència a la quantitat de finestra de la façana de l'estança, expressada en relació a la superfície total d'aquesta.

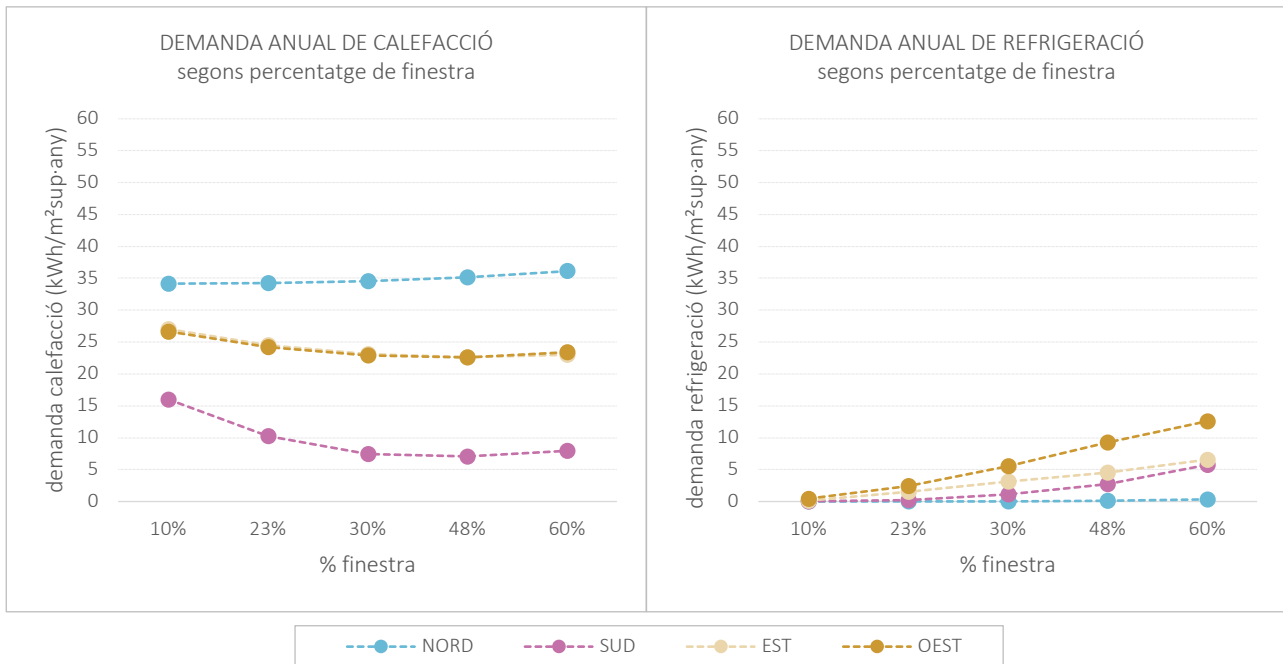


Figura 5-11: Demanda anual de calefacció i refrigeració segons % de finestra. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-11 de l'Annex 4.

- Començant amb l'hivern, resulta d'entrada curiós que l'evolució al llarg del paràmetre és diferent segons l'orientació. Procedim a intentar deduir l'explicació d'aquest fenomen. A mesura que augmentem el percentatge de finestra en una mateixa façana, succeeixen dues coses contràries. Per un costat, com que la transmissió del vidre sempre és major que la del mur opac, la transmissió global de la façana augmenta i, per tant, també ho fan les seves pèrdues per transmissió. Per altra banda, una major superfície de finestra també equival a uns majors guanys per radiació solar. Per tant, la qüestió està en esbrinar quin d'aquests dos fenòmens contraris canvia a més velocitat, per tal de determinar si l'augment de finestra serà o no beneficiós per a la demanda de calefacció.
- En aquest sentit, l'orientació nord, que rep molt poca radiació a l'hivern, només radiació difusa, es veurà molt més afectada per l'augment de pèrdues per transmissió i, en conseqüència, el valor òptim de percentatge de finestra serà el més petit possible.
- Sud, est i oest, en canvi, evolucionen diferent. En augmentar la finestra, l'augment de guanys per radiació té més pes que l'augment de pèrdues per transmissió, generant un estalvi energètic, sobretot en l'orientació sud, la de major radiació incident a l'hivern. Cal destacar, però, que arribat al valor de 45,7% de finestra, es genera un lleuger punt d'inflexió, les dues variables mencionades s'inverteixen i augmenta la demanda. Així, aquest serà el valor òptim d'aquest paràmetre per a aquestes tres orientacions.
- A l'estiu, com s'ha observat anteriorment, té major influència la radiació que la transmissió i, per tant, totes les orientacions requereixen de més refrigeració quanta més superfície de finestra inclou la façana de l'estança.

Per acabar, es fa un cop d'ull a l'últim balanç energètic per a treure les últimes conclusions sobre aquest funcionament individual dels cinc paràmetres escollits.

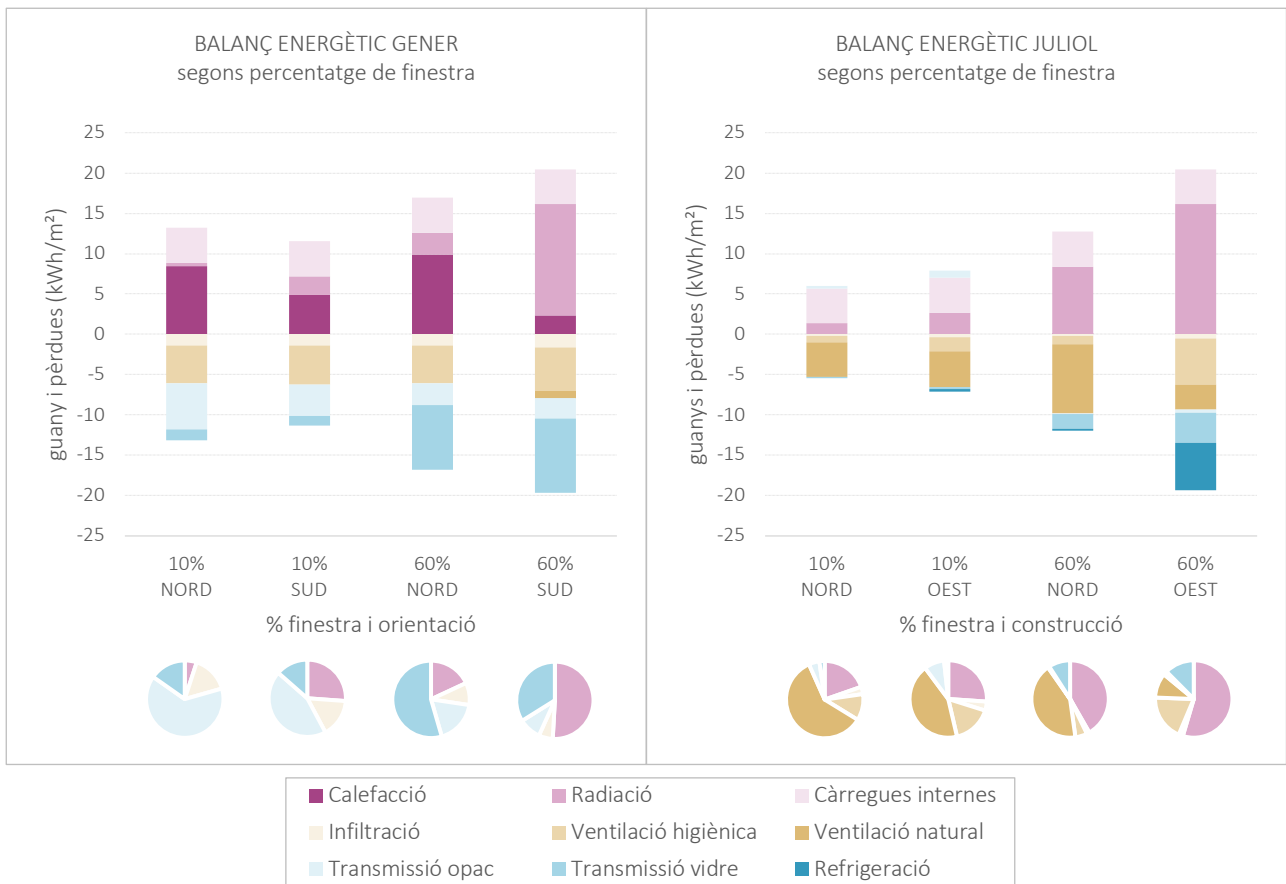


Figura 5-12: Balanç energètic de gener i juliol segons % de finestra i orientació. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-12 de l'Annex 4.

- Tal i com havíem suposat, a l'hivern a nord, tot i que amb 60% de finestra hi arriba una mica més de radiació, les pèrdues per transmissió augmenten de manera més pronunciada. A sud, en canvi, succeeix al revés, i l'augment de radiació és major que l'increment de pèrdues per transmissió.
- A l'estiu, l'increment de radiació incident a nord es pot compensar amb ventilació natural, però a sud l'estança augmenta tant de temperatura que s'ha d'engegar la refrigeració.

Finalment, la variable responsable dels canvis al llarg del paràmetre és la superfície de finestra, ja que no engloba cap més característica de l'estança.

## Resum dels resultats

En primer lloc, observant la variabilitat de la demanda al llarg de cada paràmetre, s'observa que en calefacció, el de major rang a sud és el factor d'obra, i en la resta, la proporció. A l'estiu, el paràmetre de major efecte és sempre el factor d'ombra, i finalment en total, es mostra altra vegada la mateixa repartició que a l'hivern.

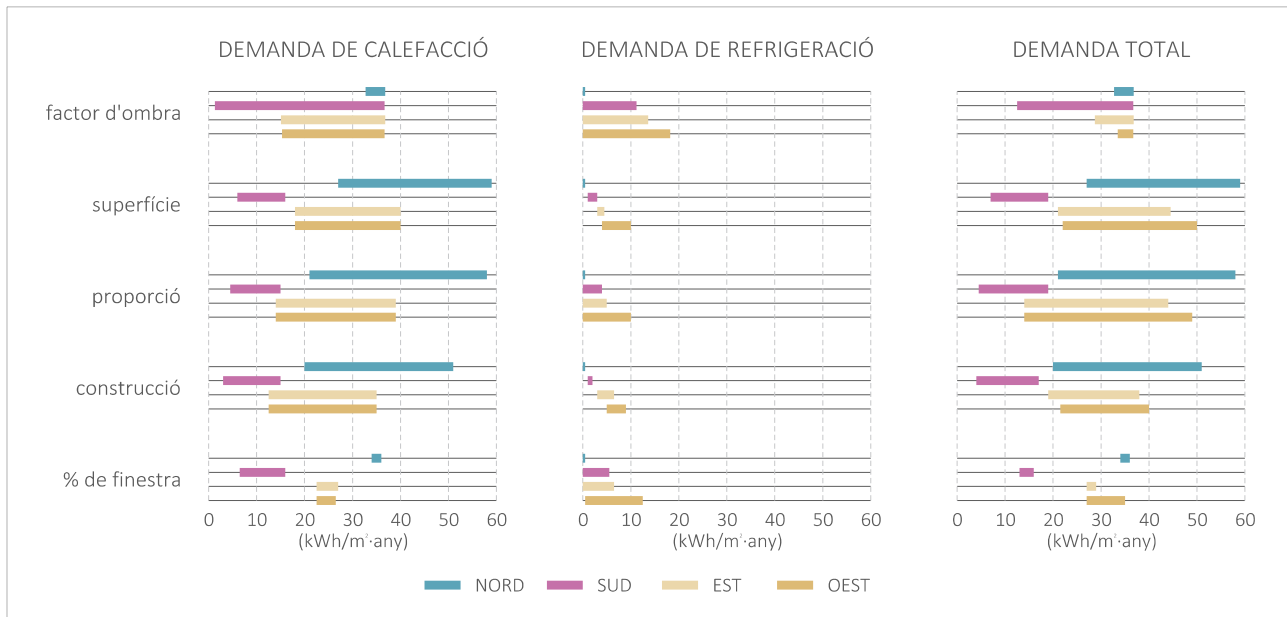


Figura 5-13: Comparació de la variació de demanda segons paràmetres i orientacions. Font: elaboració pròpia.

A més, es condensen conclusions rellevants que ajudaran al desenvolupament del següents capítols de la investigació.

| QUADRE DE RESULTATS  |  |  |  |   |   |
|--|--|--|--|---|---|
| Característiques   | Factor d'ombra                           | Superfície   | Proporció  | Construcció   | % finestra                                    |
| La calefacció augmenta si el paràmetre...  | ↓  | ↓  | ↑  | ↓   | S-E-O ↓ N ↑                                   |
| La refrigeració augmenta si el paràmetre...  | ↑  | ↓  | ↑  | ↑   | ↑   |
| La demanda evoluciona amb la mateixa tendència en totes les orientacions               | Sí                                       | Sí   | Sí   | No  | No  |
| Els elements del balanç que canvien de proporció en fer variar aquest paràmetre són... | Radiació                                 | Cap  | Cap  | Radiació<br>Transmissió opac<br>Conducció vidre             | Radiació<br>Conducció opac<br>Conducció vidre |
| La variable responsable de les diferències de demanda dins del mateix paràmetre és...  | La radiació incident en el pla de façana | La proporció entre superfície de façana i superfície en planta | La proporció entre superfície de façana i superfície en planta | La conductivitat tèrmica global i el factor solar del vidre | La superfície total de finestra               |

- En primer lloc es destaca que el factor d'ombra, la construcció i el percentatge de finestra es comporten de manera oposada en les dues estacions extremes. Això vol dir que el que va bé per a l'estiu, va malament per a l'hivern, característica raonable ja que en el primer cas es busca protegir-se de la radiació i en el segon exposar-s'hi al màxim.
- Per contra, els paràmetres de superfície i de proporció evolucionen en estiu i hivern en la mateixa direcció, i com s'ha vist, els elements variables del balanç energètic mantenen la proporció. Aquest fet mostra que realment la variació d'aquests paràmetres no modifica el comportament higròtermic, sinó que simplement estan "escalant" tots els elements del balanç per igual, ja que varien la proporció entre superfície de façana i superfície útil en planta.
- En l'estudi individual dels paràmetres partint del cas central, els tres primers han mostrat una evolució homogènia per a totes les orientacions, mentre que construcció i percentatge de finestra han obtingut diferències notables.

### 5.3. Anàlisi creuat de diferents paràmetres

#### Factor d'ombra, construcció i percentatge de finestra

A partir dels resultats de l'apartat anterior, es decideix mesclar aquests tres paràmetres, juntament amb la simulació paral·lela de les quatre orientacions, amb la finalitat d'apreciar si la combinació d'alguns d'ells genera fenòmens més pronunciats o diferents als observats fins ara. Es compara el comportament de tots els casos primer per a una situació de factor d'ombra nul, i després per a una situació de màxim assolellament.

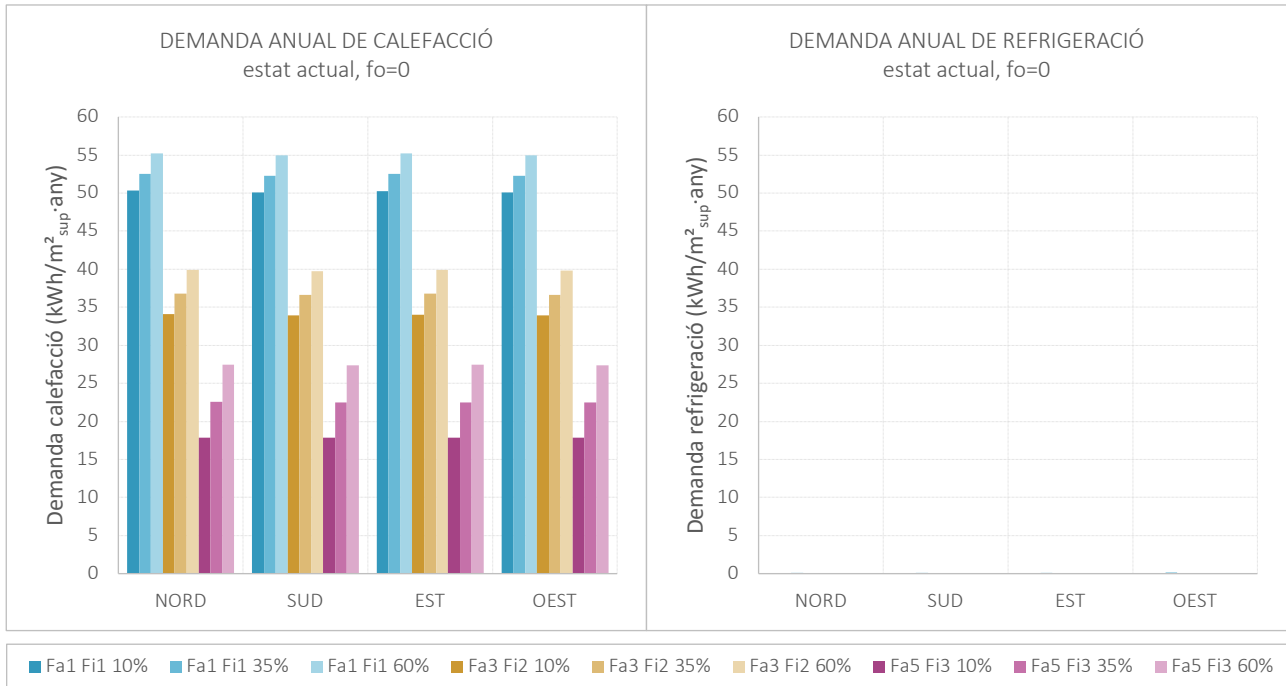


Figura 5-14: Demanda anual de calefacció i refrigeració per a factor d'ombra 0, segons construcció i percentatge de finestra. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-13 de l'Annex 4.

- En els primers dos gràfics i per a un factor d'ombra igual a zero, es pot apreciar com per a la demanda anual de calefacció les orientacions no tenen cap rellevància donat que no hi ha radiació directa. En aquest cas la demanda va directament lligada a la transmitància de l'envolupant de la façana. D'una banda al vidre i de l'altra a la part opaca. Per això la que menys demanda té és la Fa5 Fi3 amb un 10% d'obertures, això significa que la major part de la façana és opaca amb una transmitància  $U=0,49 \text{ kWh/m}^2$ . A mesura que anem augmentant la superfície vidriada ( $U=2,8 \text{ kWh/m}^2$ ) les prestacions de l'envolupant són pitjors i donat que no hi ha captació directa de radiació solar, la demanda augmenta.
- Aquesta mateixa deducció es repeteix per a les altres dues construccions i els seus respectius percentatges de finestra amb els mateixos valors en les quatre orientacions, a causa de la no incidència de radiació directa.
- Aquest gràfic en mostra que tot i que sovint projectem únicament tenint en compte la orientació de la façana, és igual d'important conèixer el factor d'ombra del nostre entorn per tal de poder anticipar el comportament de la façana.
- Respecte a l'estiu, tal i com es pot observar en el gràfic de la dreta, el fet que no hi hagi radiació incident en l'edifici i que el clima sigui el de Barcelona porta a un consum per refrigeració nul.

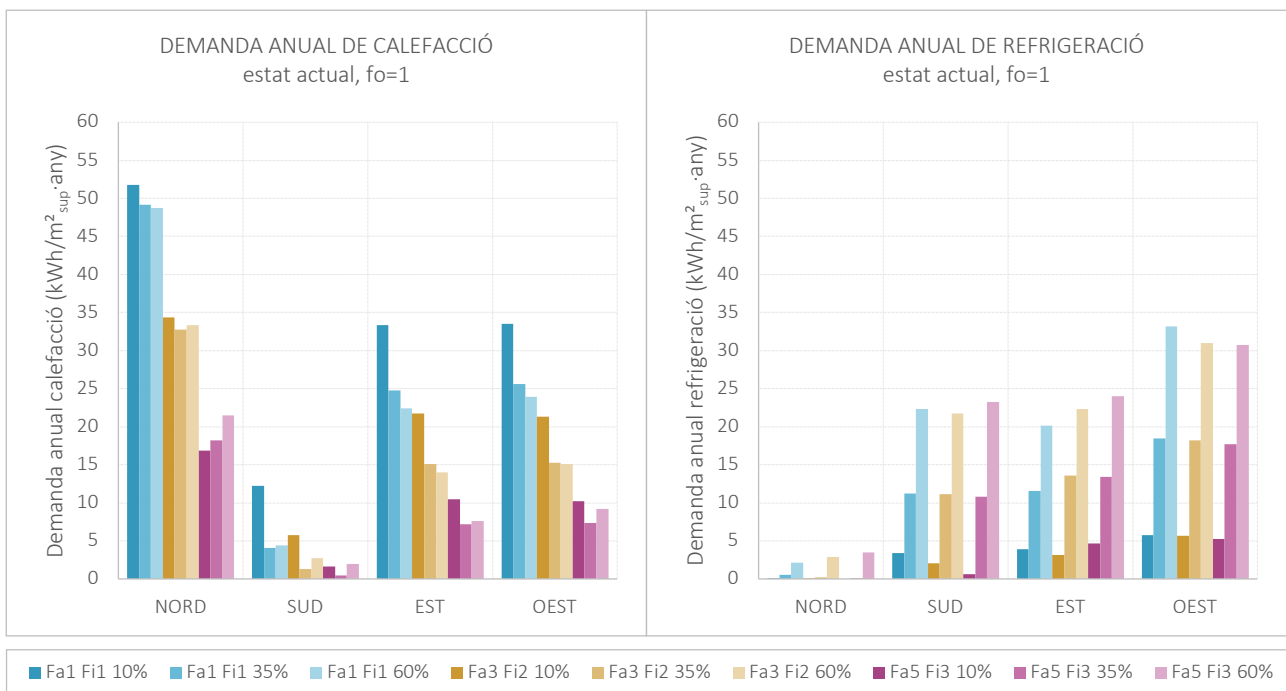


Figura 5-15: Demanda anual de calefacció i refrigeració per a factor d'ombra 1, segons construcció i percentatge de finestra. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-13 de l'Annex 4.

- En el segon cas, amb factor d'ombra 1 s'observa que els gràfics varien en funció de la seva orientació. A diferència del primer cas aquí l'espai té guanys per radiació. Aquests guanys, segons la orientació de la façana, redueixen en major o menor la demanda de calefacció.
- En el primer gràfic es podia observar com la demanda augmentava a mesura que la superfície de finestra augmentava, independentment de la seva orientació. Per contra, per a un factor d'ombra 1, es pot apreciar que varia segons la orientació i la construcció d'ela façana. Així doncs, l'augment de superfície vidriada ja no té un comportament ascendent en el consum com era el cas del primer gràfic.
- Ara s'observa un canvi de corba que indica un punt òptim sovint al voltant del 40% de radiació. En la calefacció, les tres barres d'una mateixa construcció de l'envolupant tenen una demanda similar, i que a mateix percentatge de finestra, aquest valor de demanda és molt més variable.
- En la refrigeració, per contra, succeeix el contrari: té molta més influència en la demanda el percentatge de finestra que no pas el tipus de construcció.

## Els quatre casos extrems

Si analitzem els gràfics de balanç energètic dels quatre casos amb demandes més extremes podem extreure'n comportaments que poden ajudar a entendre com funciona l'estança. Al mateix temps, ens pot ajudar a fer prediccions en altres models estudiats ja que com veurem en els quatre casos es veuen patrons comuns.

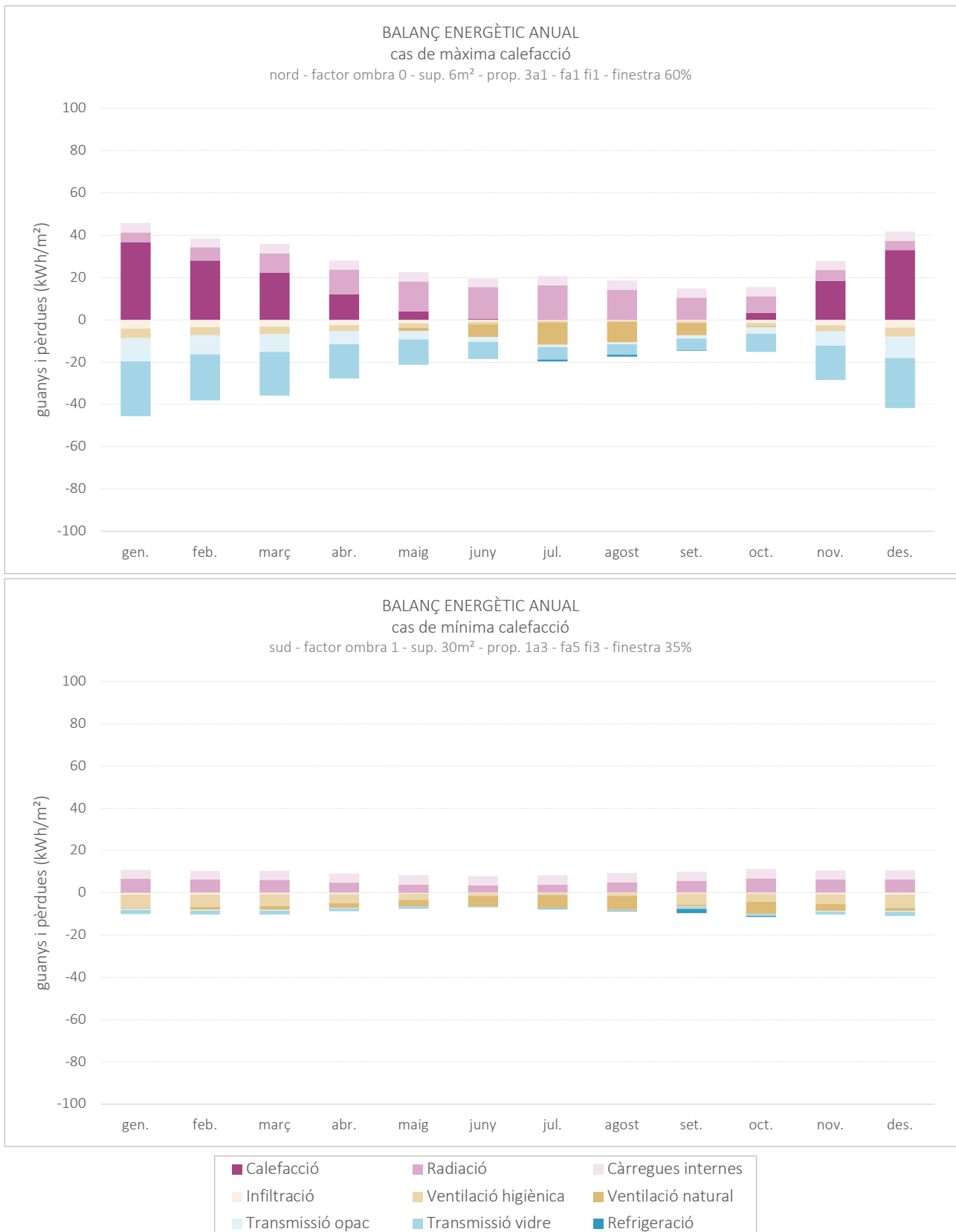


Figura 5-16: Balanç energètic anual dels casos extrems de calefacció. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-14 de l'Annex 4.



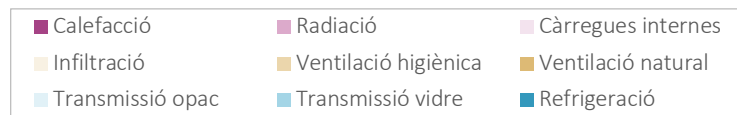
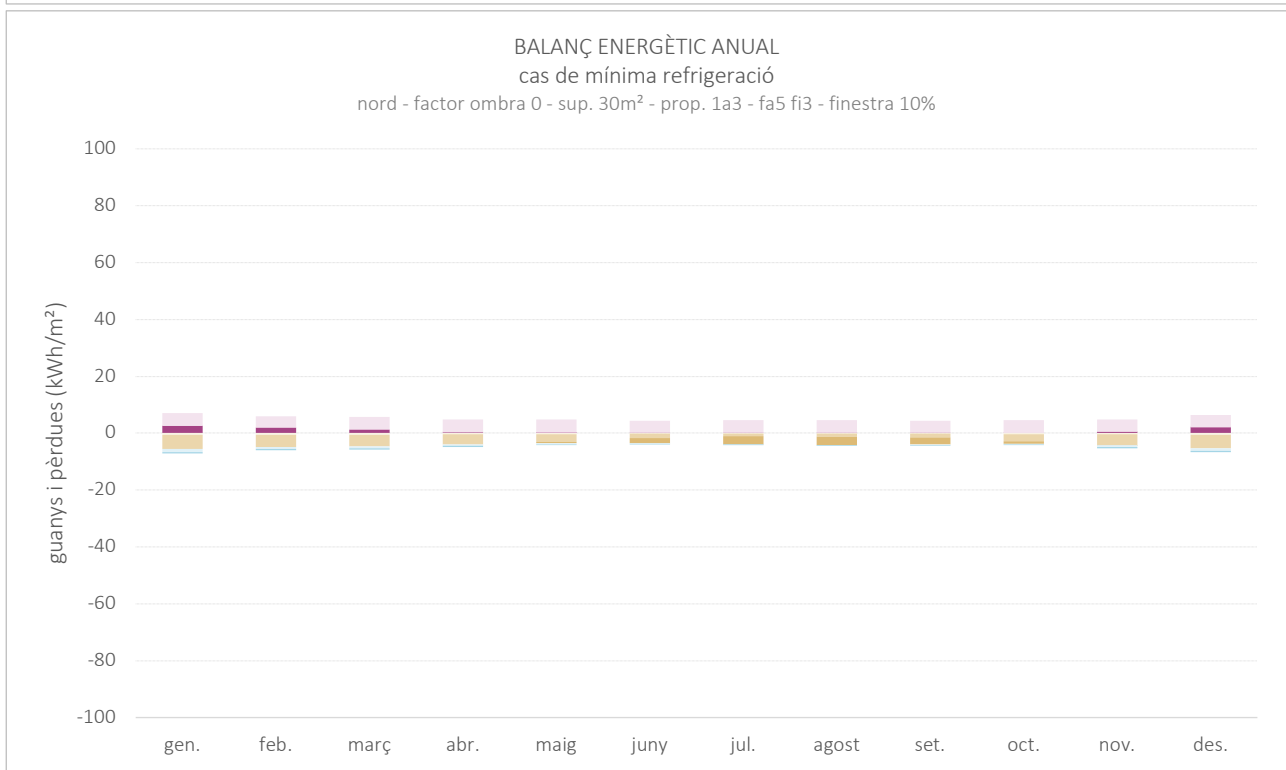
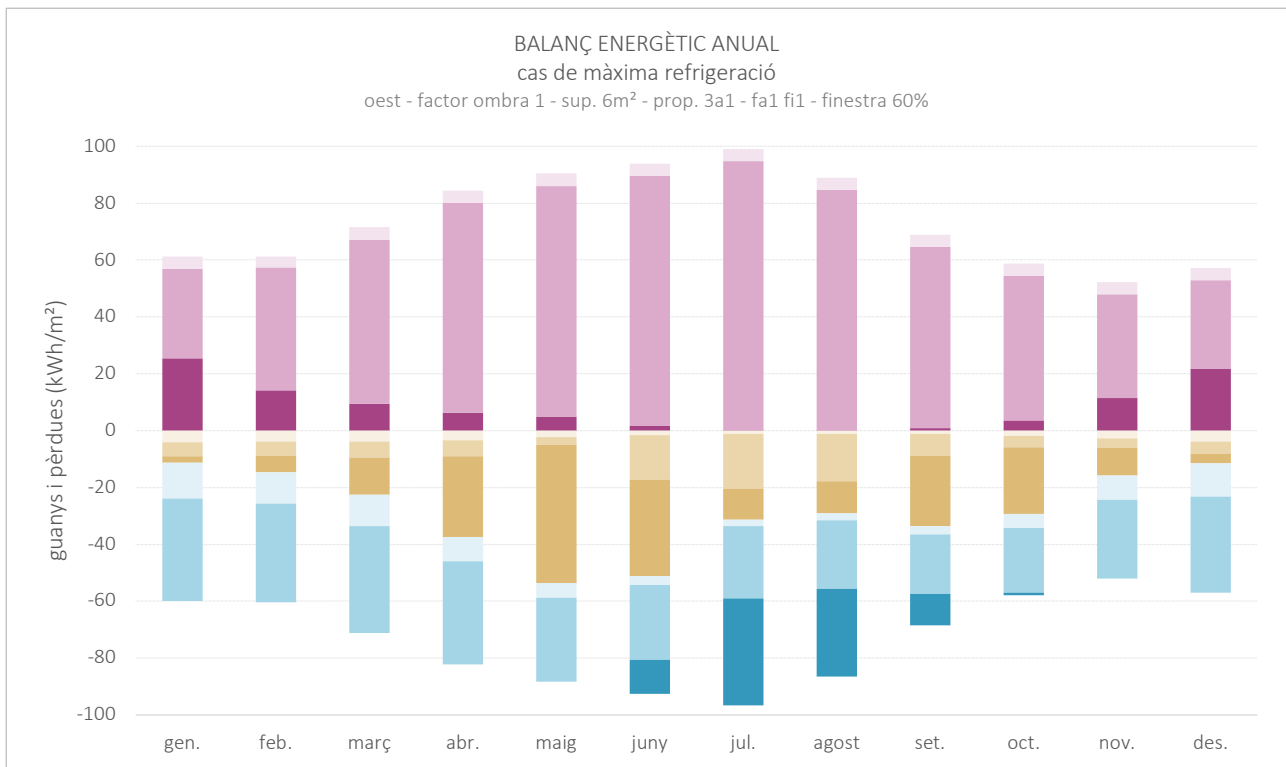


Figura 5-17: Balanç energètic anual dels casos extrems de refrigeració. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 5-14 de l'Annex 4.

- Per al primer cas, de màxima demanda de calefacció, es veu com les seves pèrdues per la transmissió del vidre són molt elevades a comparació del cas d'estudi 2 i 4. Això es deu a que té el 60% de la façana vidriada i la seva proporció de façana vs mitgera és de 3 a 1. Aquestes pèrdues són aproximadament de l'ordre del 60-70% en els mesos que es requereix calefacció.

Pel contrari, degut a la seva orientació i també al seu factor d'ombra, la demanda de refrigeració és nul·la, això es deu en part a que només hi ha guanys per radiació difusa.

- En el segon cas estudiat la demanda de calefacció és la menor dels quatre casos. D'entrada podem veure com la façana és la que menor coeficient de transmissió té. Pel que fa al vidre, passa exactament el mateix, és el que millors prestacions ofereix. Seguidament, un altre factor molt important és la proporció 1 a 3, en la que la relació de poca superfície de façana versus molta superfície adiabàtica fa que el seu comportament sigui més constant. Aquest model es comporta de forma molt constant al llarg dels mesos ja que en els mesos d'estiu la seva demanda de refrigeració també és molt baixa.

Al mateix temps, sembla ser que la ràtio de proporció de finestra del 35% resultaria la ideal entre beneficiar-se de la radiació solar i evitar pèrdues excessives per transmissió de la part opaca.

- Pel que fa al tercer cas, les pèrdues per transmissió del vidre tornen a ser altes donada altra vegada la gran superfície vidriada. A diferència del primer cas, aquí la radiació aporta guanys força considerables reduint quasi a la meitat, les demandes de calefacció. Es pot veure com canvia respecte el primer cas simplement amb la incidència de la radiació directa. D'altra banda però, el fet de captar la radiació a oest, quan la temperatura ambient és alta, fa augmentar sobremanera el consum d'energia per climatització.

Un altre punt a remarcar en aquesta hipòtesi, a causa de la gran proporció de superfície vidriada vs. superfície adiabàtica, és que requereix de ventilació natural en tots els mesos de l'any. Això es deu al sobreescalfament que es genera a l'interior de l'espai simulat.

Pel que fa a la ventilació natural de les estances, en aquest cas es veu com hi ha grans intercanvis de flux amb l'aire de l'exterior afavorint també a una millor qualitat ambiental.

- Finalment, en la quarta opció, s'aprecia que és la que menor consum per refrigeració té. Aquest fet es deu a dos factors, en primer lloc per la poca superfície vidriada 10% que té. En segon lloc per la baixa transmissió de la façana.

Segurament aquest espai presentaria problemes associats a la il·luminació natural de l'estança, però pel que fa a la demanda de refrigeració és se'ns dubte el millor.

## Resum dels resultats

Finalment, un cop analitzats els quatre casos extrems se'n poden extreure les següents conclusions.

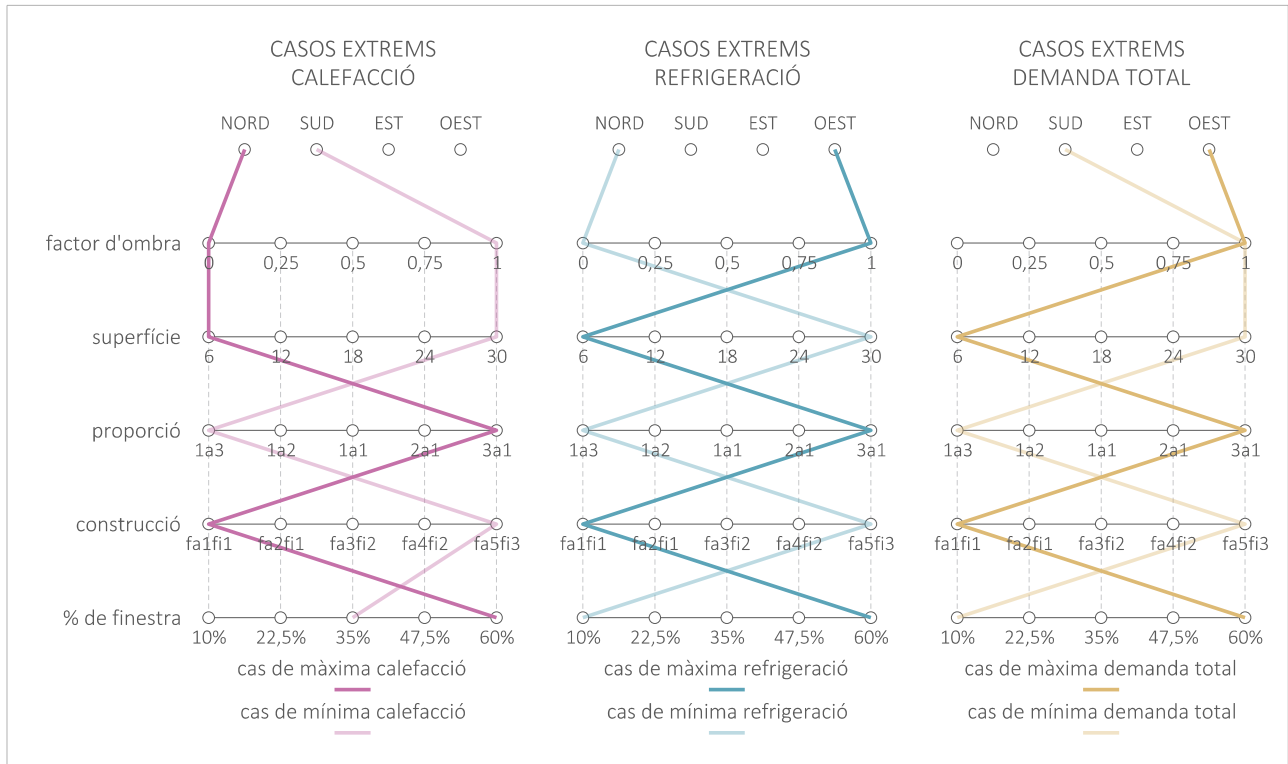
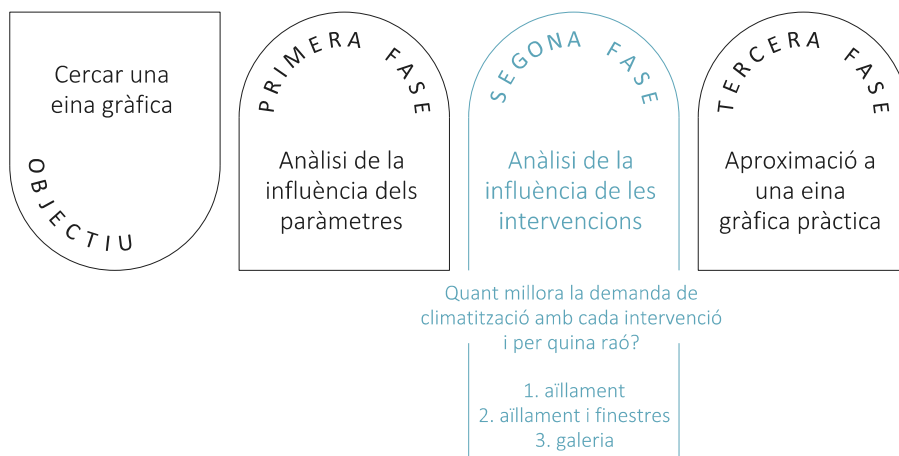


Figura 5-18: Comparació dels paràmetres dels casos extrems. Font: elaboració pròpia.

- En primer lloc s'observa com els dos casos amb un millor funcionament, tant el d'estiu com el d'hivern, segueixen un patró molt similar. Tenen una superfície gran i una proporció entre amplada i profunditat petita, fet que condueix a una relació entre superfície de façana i superfície útil interior molt minsa. El percentatge de superfície vidriada és baix, inferior al 40% en els dos casos, l'envolupant amb una molt baixa transmitància. El mateix s'observa en el gràfic de la demanda total. Així doncs, la demanda és reduïda quan l'estança té molt poc contacte amb l'exterior.
- En canvi els casos que requereixen d'una major aportació energètica, mostren tot el contrari, un contacte molt més pronunciat amb l'exterior, molt més intercanvi calorífic. Ho permeten una superfície petita, una proporció d'estança amb molta façana, una construcció poc resistent als intercanvis tèrmics, i una gran percentatge de finestra.
- Sempre, és clar, és favorable a l'hivern orientacions i factors d'ombra que proporcionin una alta incidència solar, i el contrari per a l'estiu.

En conclusió, una bona compactat i protecció de l'exterior són favorables per a aconseguir una baixa demanda energètica, així com sistemes que permetin regular la radiació segons l'estació.

## 6. SEGONA FASE: ANÀLISI DE LES INTERVENCIIONS



A partir de les conclusions extretes dels paràmetres en la fase 1, s'ha pogut estipular que la superfície de l'estança i la proporció entre amplada i profunditat, tot i que fan variar en molt gran mesura la demanda, és una demanda que sempre augmenta o disminueix en la mateixa proporció, fins i tot entre calefacció i refrigeració. Així, podem dir que només "escalen" el valor de demanda i sempre en uns coeficients concrets. És per això que es considera que quan es simulin les intervencions de rehabilitació energètica, aquests dos paràmetres faran variar la demanda de cada cas, però tots per igual, i no canviaran quina és la millor intervenció per a cada cas d'estudi. Per tot això, es decideix fixar aquests dos paràmetres de l'estança en el seu valor central, i treballar amb la variació dels altres tres, el factor d'ombra, la construcció i el percentatge de finestra, que poden fer variar amb gran variabilitat el comportament.

| DEFINICIÓ PARÀMETRES |   |  |
|----------------------|---|--|
|                      | Paràmetres fixes  | Paràmetres variables   |
| La base              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- superfície = 18 m<sup>2</sup></li> <li>- proporció = 1a1</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- factor d'ombra</li> <li>- construcció façana i finestra</li> <li>- percentatge de finestra</li> </ul> |
| Aïllament            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- % superfície opaca recoberta = 100%</li> <li>- transmissivitat material = 0,04</li> <li>- gruix aïllament = 10 cm</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- amb o sense canvi de finestres</li> </ul>   |
| Galeria              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- profunditat galeria = 80 cm</li> <li>- % superfície façana recoberta = 100%</li> <li>- % finestra en cares exteriors = 100%</li> <li>- pautes ventilació higiènica = 7h i 19h, 1r/15min</li> <li>- construcció vidriera, vidre simple</li> </ul> | -  |

Per a les intervencions, com s'ha explicat, es compara el comportament de l'estança en afegir-hi l'aïllament exterior o una galeria. En el primer cas, s'escull una disposició, un material i un gruix habituals, que es mantindran fixos. Per altra banda, com que l'aïllament només millora la part opaca de la façana, es simula també una variant on es renoven la finestra per una de major qualitat, l'anomenada "finestra 3". Així doncs, tal com s'observarà, el cas de millor construcció, que ja disposa del tipus 3 de finestra, no obtindrà cap canvi en aquesta última variant.

Pel que fa a la galeria, també es fixen unes característiques geomètriques, i en quant a materialitat només es considera l'opció de vidre simple, ja que és més econòmica i representa una menor sobrecàrrega per a l'edifici, un fet important en el disseny d'intervencions de rehabilitació.

En tots tres casos es mostraran els resultats dels 2 valors més extrems de factor d'ombra, construcció i percentatge de finestra, creuant-los entre ells, i en les quatre orientacions. Per a una millor comprensió, es mostren en dues fases, primer els resultats dels casos amb un factor d'ombra nul, i seguidament els resultats per als casos de màxim assolellament.

## 6.1. Aïllament

Començant per la primera intervenció, es mostra la reducció de la demanda de calefacció i de refrigeració en afegir una capa d'aïllament tèrmic per l'exterior de la part opaca de façana existent.

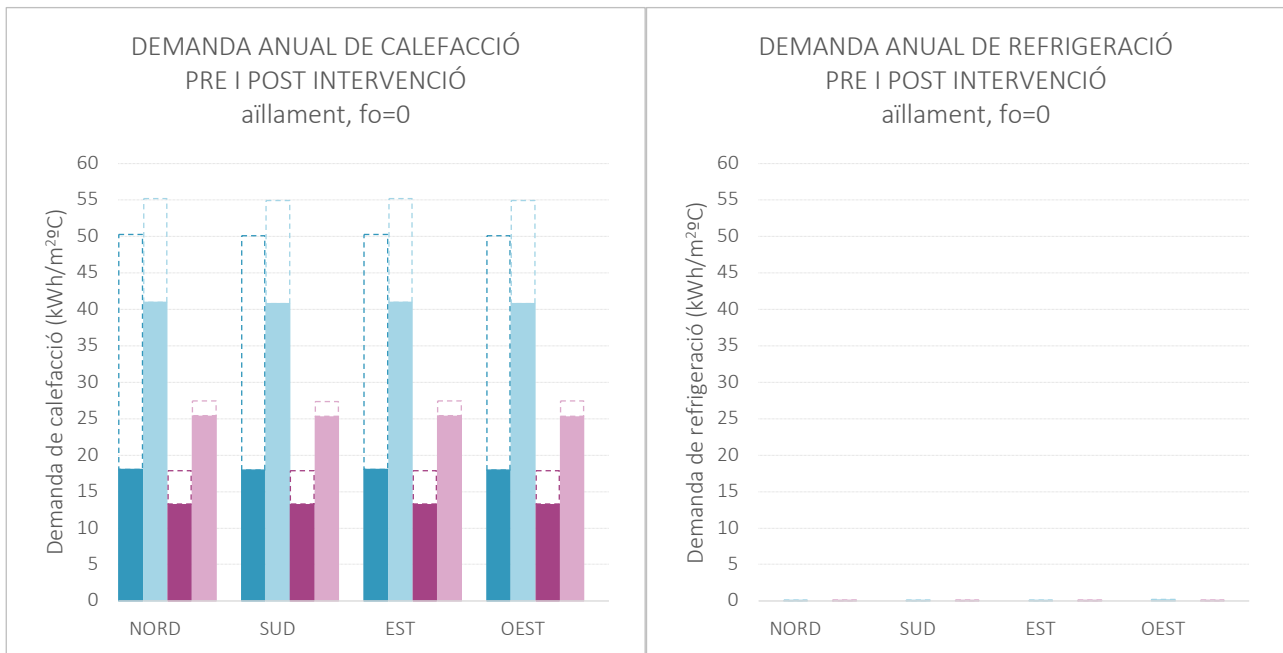


Figura 6-01: Demanda anual de calefacció i refrigeració amb l'addició d'aïllament exterior. Resultats per a factor d'ombra 0, segons construcció i percentatge de finestra. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 6-02 de l'Annex 4.

- Com ja s'havia vist, en la demanda de calefacció original d'aquestes estances quasi sense radiació solar, la variant de més percentatge de finestra sempre requereix de més energia que la seva homòloga amb predomini de l'opac.
- En la reducció de consum generada per l'addició d'aïllament, es pot observar com la reducció és molt més important en els casos de menor superfície de finestra, ja que s'està millorant únicament la transmitància del mur opac i aquest representa una menor proporció de la façana. Aquest fet fa augmentar molt la diferència de consums segons el percentatge de finestra.
- Comparant ara les diferències segons la qualitat de la construcció de la façana, es veu com la millora és molt més important, tant en valor absolut com en relatiu, en els casos que inicialment disposaven de pitjors condicions. Evidentment, aquest fet succeeix perquè tot i afegir el mateix gruix d'aïllament i, per tant, millorar la transmitància tèrmica del parament en el mateix valor absolut, la millora en percentatge d'aquesta transmitància és molt més pronunciada en els casos de pitjor façana inicial.

No es comenten els resultats de l'estiu ja que la demanda inicial ja era nul·la i, per tant, no existeix millora.

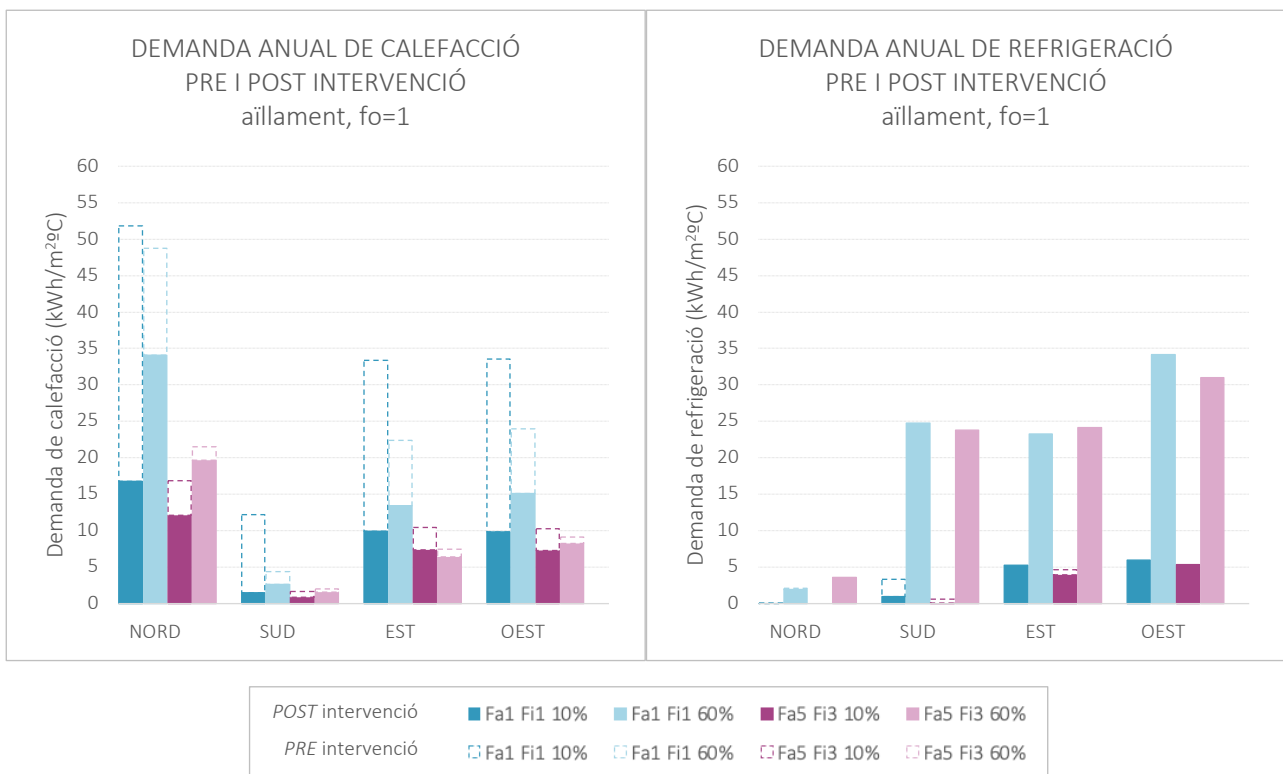


Figura 6-02: Demanda anual de calefacció i refrigeració amb l'addició d'aïllament exterior. Resultats per a factor d'ombra 1, segons construcció i percentatge de finestra. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 6-02 de l'Annex 4.

- A l'hivern del cas de major radiació s'observen resultats de disminució de la demanda gràcies a l'addició d'aïllament tèrmic similars al cas anterior amb obstrucció total. En aquest cas, per contra, els canvis són més variables ja que la demanda inicial rebia una repercussió important de l'orientació de l'estança.
- En les façanes de pitjor construcció, inicialment mostrava un millor comportament el cas de major proporció de finestra, però amb la intervenció aquesta tendència s'inverteix.
- Les orientacions est i oest mostraven una major demanda per a la façana bona amb poca proporció de finestra que per a la de 60% de buit, ja que reben una quantitat mitjana de radiació que els permet augmentar la temperatura de l'estança sense sobreescalfar-se i augmentar les pèrdues per transmissió. Després de la intervenció, per contra, aquest fet s'atenua a est i s'arriba a invertir en oest.
- A l'estiu, aquesta intervenció no aconsegueix reduir la demanda de refrigeració, ja que com s'ha vist en l'estudi individual dels paràmetres, en aquesta època al clima de Barcelona és molt més important la protecció enfront de la radiació solar, i la transmitància tèrmica té un efecte imperceptible.

## 6.2. Aïllament i canvi de finestres

Es mostra a continuació els resultats obtinguts per a la sub-variant d'addició d'aïllament tèrmic exterior més canvi de finestres. Cal mencionar que aquesta variant afecta únicament a la opció de pitjor construcció inicial, ja que la nova finestra posada correspon a la que ja disposava d'entrada la millor façana, la finestra 3, de vidre doble de 6+12+6 amb trencament de pot tèrmic. Dit d'una altra manera, els resultats del següent gràfic per a la construcció de façana tipus 5 i finestra tipus 3 són exactament els mateixos mostrats en l'apartat 6.1 aïllament.

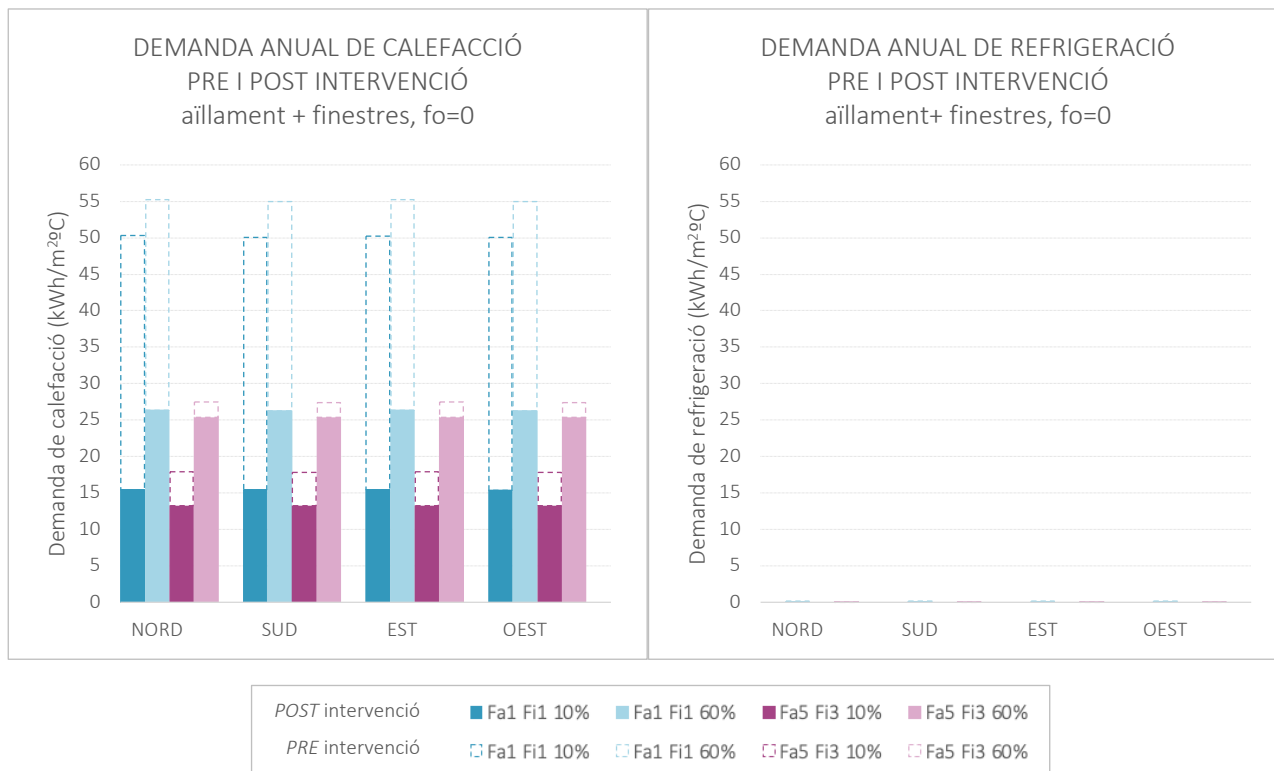


Figura 6-03: Demanda anual de calefacció i refrigeració amb l'addició d'aïllament exterior i canvi de finestres. Resultats per a factor d'ombra 0, segons construcció i percentatge de finestra. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 6-03 de l'Annex 4.

- A diferència de la intervenció anterior, en aquest cas les construccions de façana tipus 1 i finestra tipus 1 amb 60% d'obertura mostren també una gran reducció de la demanda de calefacció. Tot i així, no arriben a reduir-se tant com el mateix cas amb 10% de finestra, a conseqüència de que la transmitància de façana es millora en un 86%, mentre que la de finestra només ho fa en un 51%. Per tant, la transmitància global de la façana, que repercuteix les transmitàncies en funció de la superfície de cada una, obté una major millora en l'opció de mínima finestra.
- Si es compara ara la demanda aconseguida amb la intervenció en la millor façana i en la pitjor, s'observa que els resultats són quasi idèntics. Mentre en origen la transmitància de les seves façanes opaques distava de  $1,99 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , ara ho fan només en  $0,1^3 \text{ W/m}^2\text{°C}$ .



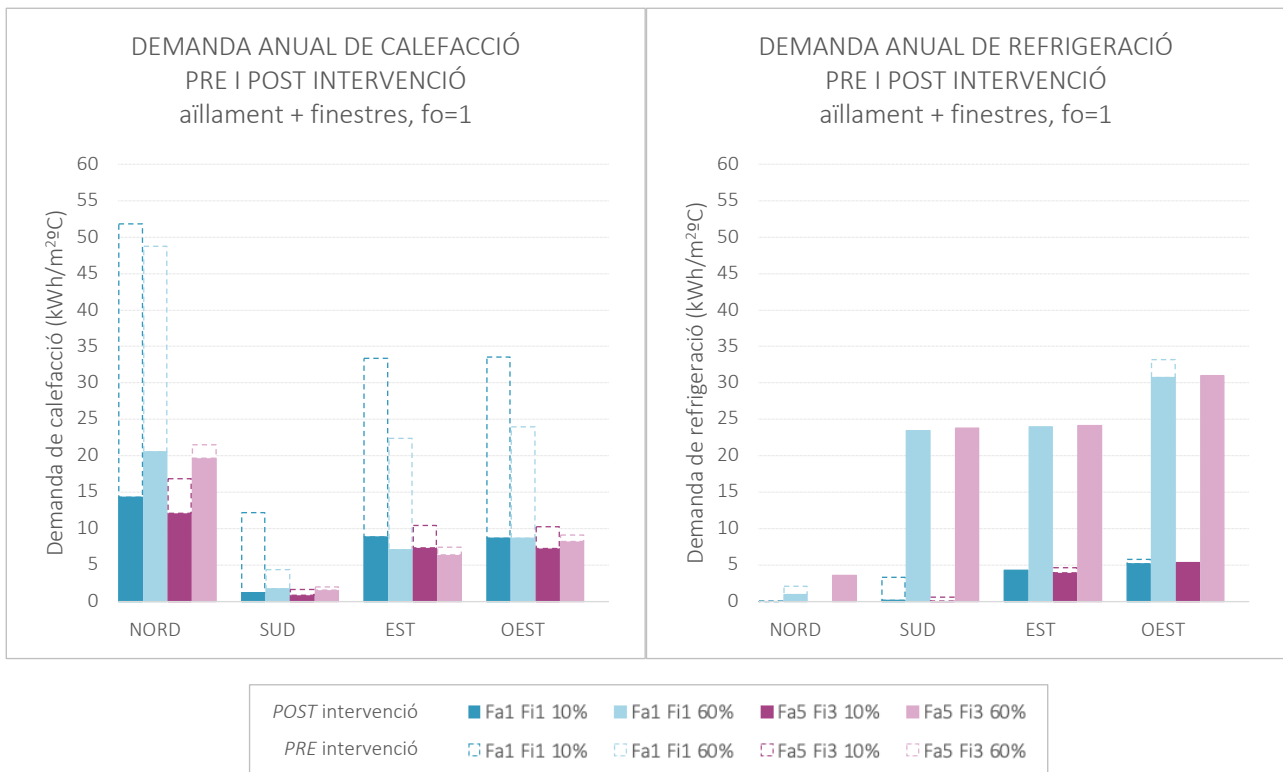


Figura 6-04: Demanda anual de calefacció i refrigeració amb l'addició d'aïllament exterior i canvi de finestres. Resultats per a factor d'ombra 1, segons construcció i percentatge de finestra. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 6-03 de l'Annex 4.

- A l'hivern, aquesta intervenció amb bona incidència solar iguala també en gran mesura les demandes de les 4 opcions de cada orientació. Es manté, evidentment, la diferència entre orientacions, i la orientació nord és la que es veu més perjudicada per un gran percentatge de finestra ja que, com s'ha dit, la transmitància del vidre no millora en la mateixa quantitat que la de la part opaca de façana.
- A l'estiu, igual que en la primera intervenció, no hi ha millora concreta.

### 6.3. Galeria

L'última de les intervencions estudiades consisteix en l'addició d'una galeria a tota la superfície de façana. Aquesta intervenció millora el comportament gràcies a la creació d'un coixí tèrmic davant de la façana, que s'escalfa amb una gran vidriera que maximitza la captació solar, i alhora disminueix la transmissió tèrmica de l'envolupant.

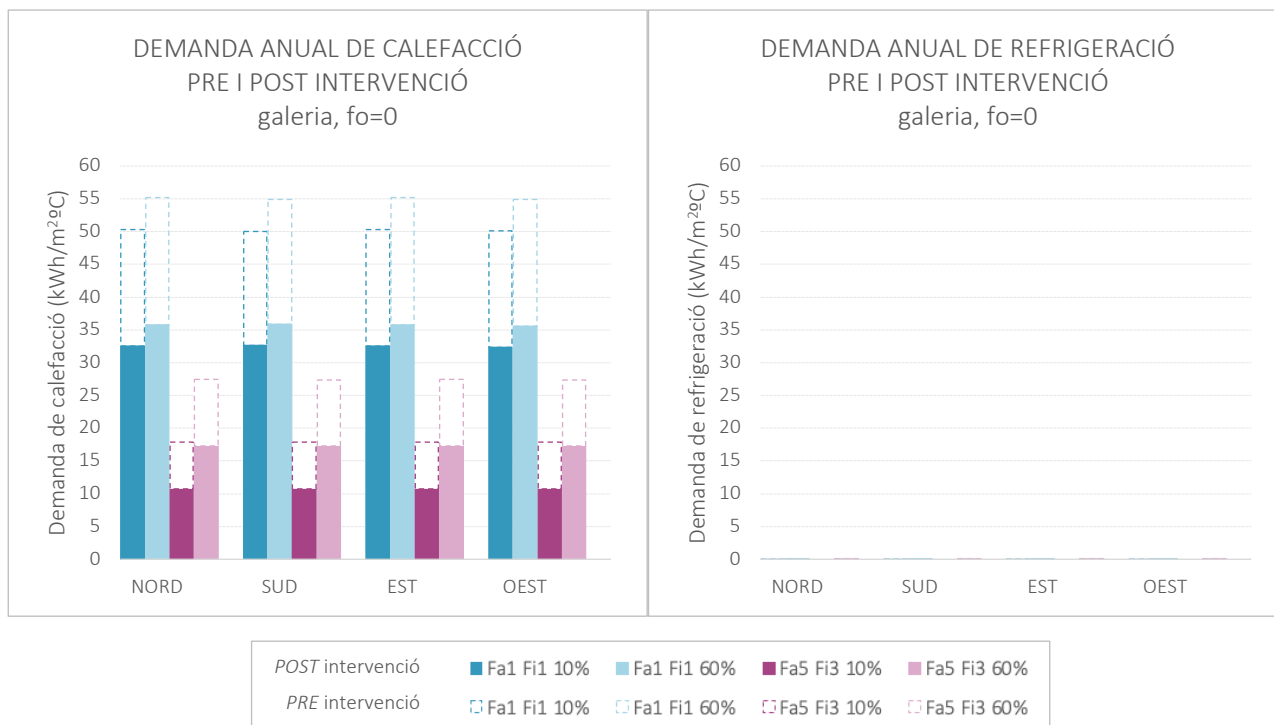


Figura 6-05: Demanda anual de calefacció i refrigeració amb l'addició de galeria. Resultats per a factor d'ombra 0, segons construcció i percentatge de finestra. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 6-04 de l'Annex 4.

- Aquesta intervenció és l'única que a l'hivern redueix la demanda de manera quasi proporcional en tots els casos, indiferentment del tipus de construcció o percentatge de finestra inicials. Això succeeix gràcies a l'efecte del coixí tèrmic, que crea una bossa d'aire entre l'interior i l'exterior, que actua com si les condicions de temperatura exteriors fossin menys agressives. Així doncs, redueix les pèrdues per transmissió de tota la façana. A més, com ja s'havia vist que per a factor d'ombra nul totes les orientacions es comporten de la mateixa manera, a l'hivern maximitzant la demanda de calefacció.
- Tot i que aquesta intervenció aconsegueix una major reducció de la demanda que les altres intervencions en els casos de millor construcció, succeeix el contrari en el cas de façanes inicials de propietats tèrmiques escasses, oferint unes millores menors.

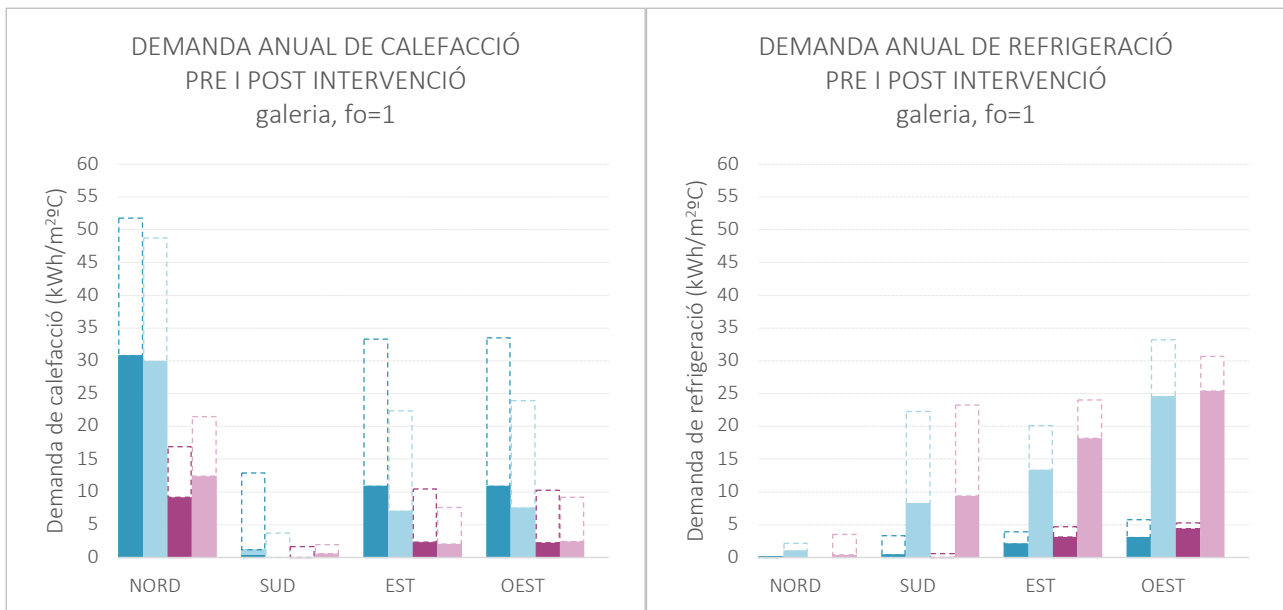


Figura 6-06: Demanda anual de calefacció i refrigeració amb l'addició de galeria. Resultats per a factor d'ombra 1, segons construcció i percentatge de finestra. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a les Taules 6-04 de l'Annex 4.

- A l'hivern amb elevada radiació solar es pot apreciar el mateix que en la figura anterior, però amb la variabilitat entre orientacions que suposa el canvi de quantitat total de radiació incident. Únicament en aquest cas, s'aconsegueix eliminar completament la necessitat de calefacció per a alguns dels casos d'orientació sud.
- A l'estiu, s'observa com la galeria, a diferència de dues intervencions predecessores, sí que genera una disminució rellevant de la demanda de refrigeració. La raó és que el forjat superior i els dos laterals de la galeria són opacs i generen una protecció solar sobre la façana. Aquest efecte és molt notori a sud, on el ràfec superior bloqueja el sol quan va alt, però menys a est i oest, on el recorregut del sol és molt més pla en la majoria d'hores d'incidència.

## 6.4. Comparativa

A continuació, es mostren tres taules -calefacció, refrigeració i total- que engloben totes les variants simulades en aquest apartat, exposant en cada quadrat la intervenció que ha obtingut una major reducció de la demanda de climatització respecte de l'estat inicial de l'estança. En els casos que no s'ha reduït perquè la demanda inicial ja era zero, o que totes les intervencions han obtingut el mateix valor de reducció, s'ha deixat el quadrat buit.

| MILLOR INTERVENCIÓ. DEMANDA DE CALEFACCIÓ |           |            |        |      |      |        | MILLOR INTERVENCIÓ. DEMANDA DE REFRIGERACIÓ |     |             |            |        |      |      |        |      |     |   |
|---|-----------|------------|--------|------|------|--------|---|-----|-------------|------------|--------|------|------|--------|------|-----|---|
|   |           | % FINESTRA |        |      |      |        |   |     |             | % FINESTRA |        |      |      |        |      |     |   |
|   |           | 10         |        |      | 60   |        |   |     |             | 10         |        |      | 60   |        |      |     |   |
|   |           | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1 | Fo=0 | Fo=0,5 | Fo=1  |     |             | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1 | Fo=0 | Fo=0,5 | Fo=1 |     |   |
| CONSTRUCCIÓ                               | Fa1 - Fi1 | N          | A+F    | A+F  | A+F  | A+F    | A+F   | A+F | CONSTRUCCIÓ | Fa1 - Fi1  | N      | -    | -    | A+F    | A+F  | A+F | G |
|   |           | S          | A+F    | G    | G    | A+F    | G   | G   |             |            | S      | -    | A+F  | A+F    | A+F  | A+F | G |
|   |           | E          | A+F    | A+F  | A+F  | A+F    | G   | G   |             |            | E      | -    | A+F  | G      | A+F  | G   | G |
|   | Fa5 - F3  | O          | A+F    | A+F  | A+F  | A+F    | G   | G   | O           | -          | A+F    | G    | A+F  | G      | G    |     |   |
|   |           | N          | G      | G    | G    | G      | G   | G   | N           | -          | -      | -    | -    | G      | G    |     |   |
|   |           | S          | G      | G    | G    | G      | G   | G   | S           | -          | -      | G    | -    | G      | G    |     |   |
|   |           | E          | G      | G    | G    | G      | G   | G   |             |            | E      | -    | A    | G      | -    | G   | G |
|   |           | O          | G      | G    | G    | G      | G   | G   |             |            | O      | -    | A    | G      | -    | G   | G |

| MILLOR INTERVENCIÓ. DEMANDA TOTAL |           |            |        |      |      |        |      |     |
|-----------------------------------|-----------|------------|--------|------|------|--------|------|-----|
|                                   |           | % FINESTRA |        |      |      |        |      |     |
|                                   |           | 10         |        |      | 60   |        |      |     |
|                                   |           | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1 | Fo=0 | Fo=0,5 | Fo=1 |     |
| CONSTRUCCIÓ                       | Fa1 - Fi1 | N          | A+F    | A+F  | A+F  | A+F    | A+F  | A+F |
|                                   |           | S          | A+F    | G    | G    | A+F    | G    | G   |
|                                   |           | E          | A+F    | A+F  | G    | A+F    | G    | G   |
|                                   | Fa5 - F3  | O          | A+F    | A+F  | G    | A+F    | G    | G   |
|                                   |           | N          | G      | G    | G    | G      | G    | G   |
|                                   |           | S          | G      | G    | G    | G      | G    | G   |
|                                   |           | E          | G      | G    | G    | G      | G    | G   |
|                                   |           | O          | G      | G    | G    | G      | G    | G   |

|  |                       |
|--|-----------------------|
|  | aïllament             |
|  | aïllament + finestres |
|  | galeria               |

Figura 6-07: Millor intervenció per a la reducció de la demanda anual de calefacció, refrigeració i total.

Font: elaboració pròpia.

Valors numèrics a les Taules 6-05, 6-06 i 6-07 de l'Annex 4.

- Començant per a la demanda de calefacció, s'observa en primer lloc la rellevància de les característiques constructives de la façana per a la determinació de la millor intervenció. En segon lloc, és important també la quantitat de radiació incident a façana, però també la quantitat de finestra que aquesta disposa, que deixarà, doncs, entrar més o menys radiació a l'interior. De tota manera, la primera d'aquestes dues condicions es mostra més definitiva, donat que casos com els de nord amb poca radiació, que segons el saber popular s'haurien desestimat com a opcions per a instal·lar galeria, quan aquests disposen d'una construcció prou bona, resulta millor que no pas la addició d'aïllament.
- A l'estiu, molts dels casos simulats ja no requerien d'entrada de refrigeració. Entre els altres casos, es torna a mostrar una diferència entre els casos de major radiació incident i els de menor. Aquí, la importància resideix en la capacitat de protecció solar que ofereix el contorn opac de la galeria.
- En el total anual, es segueixen les mateixes dinàmiques que en estiu i hivern, ja que els dos mostraven uns patrons molt similars, marcats per les característiques constructives i els guanys per radiació.

Per tal de donar a aquestes comparatives uns valors numèrics, es mostren a continuació els casos extrems analitzats en l'apartat 5.3, únicament amb els de major demanda. En cada un d'ells, es mostra la demanda per a l'estat inicial i per a cada una de les tres intervencions simulades.

El cas de major demanda inicial de calefacció correspon a: nord - fo=0 - sup. 6m<sup>2</sup> - prop. 3a1 - fa1 fi1 - finestra 60%.

Els casos de major demanda de refrigeració i total són: oest - fo=1 - sup. 6m<sup>2</sup> - prop. 3a1 - fa1 fi1 - finestra 60%.

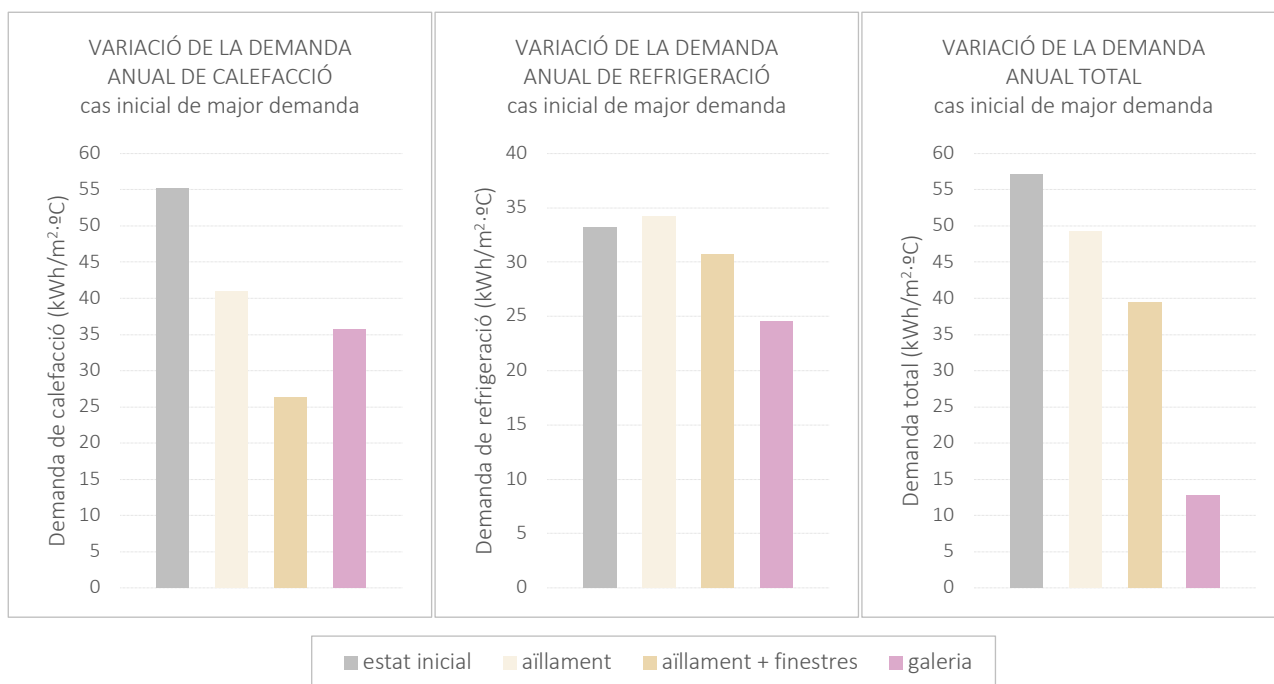


Figura 6-08: Demanda anual de cada intervenció per als casos inicials extrems de major demanda anual de calefacció, refrigeració i total. Font: elaboració pròpia.

- En el primer dels casos, pel fet de tractar-se d'una variant amb construcció inicial dolenta -façana de 15cm de maó calat i finestra de vidre simple sense trencament de pont tèrmic- i en orientació nord amb quasi gens de radiació solar, l'opció més efectiva és aïllar, ja que la galeria no podria escalfar-se prou per a compensar les grans pèrdues per transmissió. A més, com que és el cas de 60% de finestra, resulta molt important millorar també aquest element.
- En el cas extrem de refrigeració, per contra, la galeria resulta més òptima ja que, com s'ha dit, és l'única que ofereix una protecció enfront de la radiació solar.
- Finalment, el cas de major demanda total inicial, torna a vèncer la galeria. En aquest cas, es disposava d'una construcció inicial favorable, i de molta radiació, les condicions òptimes per a la instal·lació de galeria.

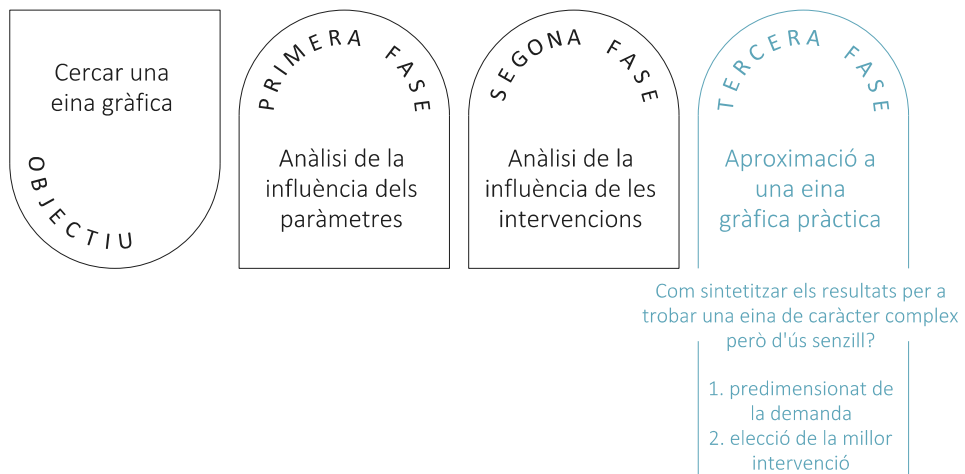
## Resum dels resultats

Per tal de resumir les conclusions parcials extretes en aquest apartat, s'elabora el següent quadre:

| QUADRE DE RESULTATS  |           |                       |         |
|--|-----------|-----------------------|---------|
| Aquesta intervenció...   | Aïllament | Aïllament + finestres | Galeria |
| ...és la més efectiva quan inicialment les propietats tèrmiques de la façana són...      | -         | ↓                     | ↑       |
| ...és la més efectiva quan la quantitat de radiació solar que entra dins l'estança és... | -         | ↓                     | ↑       |

En resum, en els casos que inicialment disposaven d'una construcció bona, ha resultat sempre més efectiva l'addició de la galeria que no d'aïllament. Per contra, en els casos de construcció inicial amb qualitats tèrmiques escasses, sobretot aquells amb una incidència de radiació no molt elevada, la intervenció guanyadora ha estat la combinació d'aïllament tèrmic exterior i canvi de finestres. Finalment, en els casos intermedis, on la construcció era millorable però la radiació incident era molt elevada, també s'ha mostrat més eficient la galeria.

## 7. TERCERA FASE: APROXIMACIÓ A UNA EINA GRÀFICA



## 7.1. Procés de generació d'una eina de predimensionat de la demanda

En les següents pàgines s'exposa l'exploració seguida per a assajar una eina gràfica que condensi els resultats obtinguts i faciliti la seva incorporació en el procés de disseny. Primer respecte a la demanda d'un cas inicial, procurant mostrar informació sobre la raó del bon o mal comportament, i més tard sobre opcions de millora.

En primer lloc, es reflexiona sobre el format que ha de tenir l'eina de predimensionat de la demanda. L'output o valor de sortida ha de ser el valor d'aquesta demanda per al cas que s'estigui estudiant, i l'input o els inputs, informació sobre l'estança. Tenint en compte la complexitat de l'estudi, difícilment es aconseguirà condensar tota la informació necessària en un sol valor d'entrada, i, per tant, s'opta per un gràfic que segueixi el format de l'opció B que es mostra a continuació, amb unes "corbes de nivell" que ressegueixin els resultats iguals.

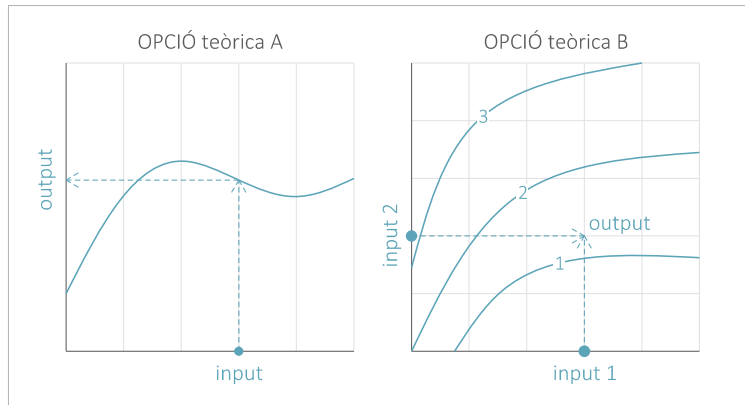


Figura 7-01: Reflexió sobre el format de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda. Fase 1. Font: elaboració pròpia.

Aquí comença la reflexió sobre quins han de ser els dos valors que s'entri en aquest gràfic. Durant el desenvolupament del treball s'ha vist que el balanç tèrmic d'una estança és el que mostra el desequilibri de guanys i pèrdues i, per tant la demanda de climatització d'aquest espai. Aquest balanç es basa en tres elements principals: les càrregues internes, la radiació i l'intercanvi tèrmic. El primer dels tres, però, es manté fix per a un mateix ús teòric de l'espai. Així doncs, s'opta per situar en els dos eixos els altres dos elements: la radiació, que sempre és un guany, i l'intercanvi tèrmic, que uneix la transmissió i la ventilació i pot ser tant positiu com negatiu.

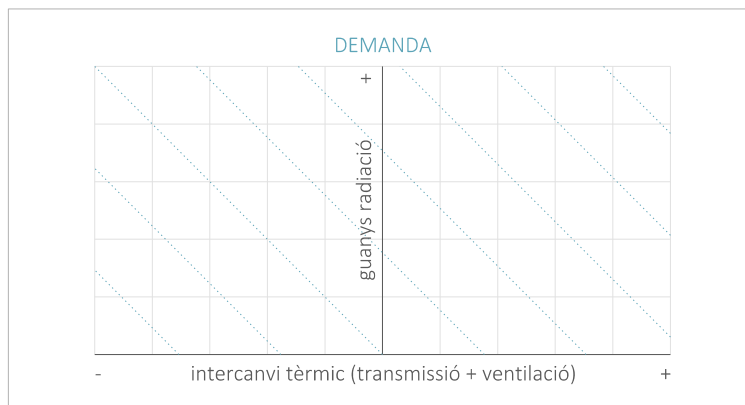


Figura 7-02: Reflexió sobre el format de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda. Fase 2. Font: elaboració pròpia.

Si es tornen a observar els gràfics del clima de Barcelona de l'apartat 4.1., es pot veure com el clima de Barcelona a l'estiu és molt temperat, amb poques hores en les que la temperatura exterior superi la temperatura de consigna interior. Per conseqüència, els balanços de l'apartat 5 del treball mostraven que per a aquest clima, l'intercanvi tèrmic obté un resultat negatiu durant tot l'any, fins i tot a l'estiu. Per tant, es simplifica el gràfic anterior, deixant únicament el sentit negatiu en l'eix de l'intercanvi tèrmic.

A més, també s'ha vist com a l'hivern la ventilació natural és quasi inexistent, mantenint doncs tot el paquet de ventilació amb un valor constant, format per la infiltració i la ventilació mecànica. Així doncs, a l'estiu s'ha de considerar tot el paquet d'intercanvi tèrmic, però a l'hivern es simplifica l'eix x en les pèrdues per transmissió.

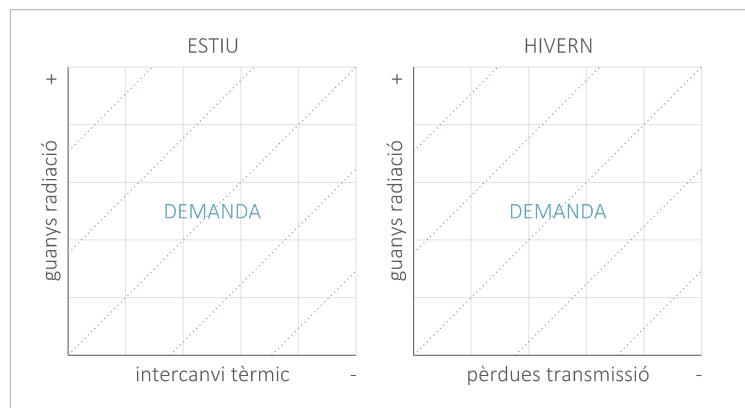


Figura 7-03: Reflexió sobre el format de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda. Fase 3. Font: elaboració pròpia.

Així, aquests dos gràfics s'uneixen en un de sol, formant una sola eina gràfica conjunta de les dues estacions d'estudi.

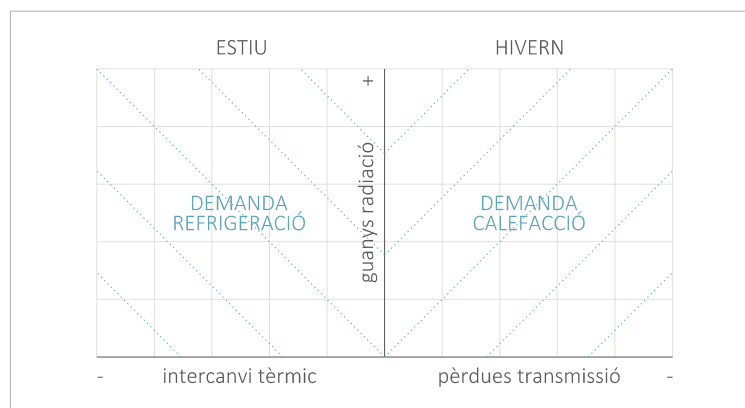


Figura 7-04: Reflexió sobre el format de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda. Fase 4. Font: elaboració pròpia.

Com a exemple, es mostra a continuació l'entrada de dades del cas central ja calculat, en l'orientació est.

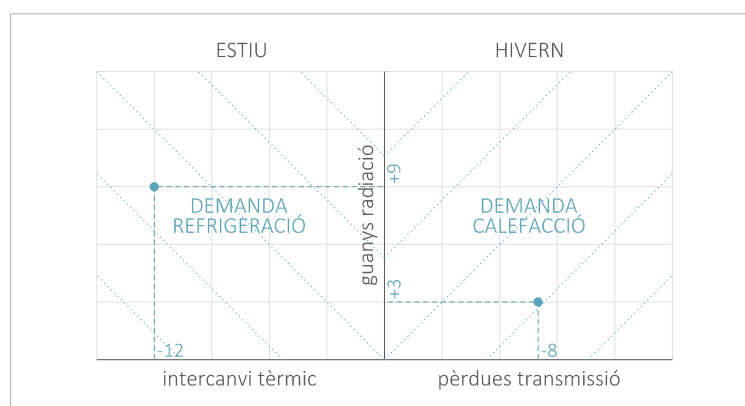


Figura 7-05: Reflexió sobre el format de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda. Fase 5. Font: elaboració pròpia.

Els següents passos s'han realitzat únicament per a la demanda de calefacció, ja que en l'anàlisi de l'apartat 5 s'ha vist com a l'estiu el balanç tèrmic és molt més irregular entre paràmetres, entren en joc més fenòmens que compliquen encara més l'equació, com la capacitat o no de combatre el sobreescalfament amb ventilació natural. Per això, s'ha començat per explorar l'eina d'hivern, deixant oberta la seva adaptació a la demanda de refrigeració per a futurs treballs.



**PREGUNTA 1:**

**Com obtenir el valor de la demanda de calefacció de l'estat inicial?**

Aquí comença la primera etapa d'organització de resultats per a l'obtenció de l'eina gràfica. Tot i que el procés d'ús de l'eina final que s'obtingui serà introduint característiques conegudes de l'estança i obtenint un valor de demanda, el procés per a desenvolupar l'eina es realitza en l'ordre contrari, partint dels resultats obtinguts en totes les simulacions realitzades, i a manera d'assaig i error, ordenant els resultats amb diferents criteris i extraient-ne conclusions.

Com ja s'ha explicat, es busca expressar demanda de calefacció a través dels guanys per radiació i les pèrdues per transmissió. Per això, s'han recopilat les dades de tota els casos extrems i centrals recopilats, creuant tots els paràmetres excepte els de superfície i proporció, que com s'ha dit anteriorment, només escalen el balanç, mantenint proporcions, i, per tant, poden expressar-se en mode d'un coeficient multiplicador dels resultats obtinguts pel cas central.

| BALANÇ ENERGÈTIC GENER |            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| kWh/m <sup>2</sup>     | % FINESTRA |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                        | 10         |        |        | 35     |        |        | 60     |        |        |        |        |
|                        | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1   | Fo=0   | Fo=0,5 | Fo=1   | Fo=0   | Fo=0,5 | Fo=1   |        |        |
| CONSTRUCCIÓ            | Fa1 - Fi1  | N      | 11,64  | 12,04  | 12,45  | 12,60  | 12,73  | 12,87  | 13,55  | 13,44  | 13,34  |
|                        |            |        | 0,27   | 0,52   | 0,77   | 0,94   | 1,81   | 2,68   | 1,62   | 3,10   | 4,59   |
|                        |            |        | -10,13 | -10,78 | -11,45 | -11,77 | -12,76 | -13,77 | -13,39 | -14,74 | -16,11 |
|                        |            | S      | 11,60  | 7,18   | 4,22   | 12,55  | 5,07   | 2,07   | 13,49  | 4,21   | 1,43   |
|                        |            | 0,27   | 2,63   | 4,99   | 0,94   | 9,20   | 17,45  | 1,62   | 15,76  | 29,91  |        |
|                        |            | -10,08 | -7,75  | -6,28  | -11,72 | -11,57 | -13,51 | -13,33 | -15,93 | -21,60 |        |
|                        |            | 11,64  | 10,73  | 9,87   | 12,60  | 10,51  | 8,57   | 13,55  | 10,40  | 7,68   |        |
|                        |            | 0,27   | 1,01   | 1,75   | 0,94   | 3,53   | 6,12   | 1,62   | 6,06   | 10,50  |        |
|                        |            | -10,13 | -9,91  | -9,75  | -11,77 | -12,17 | -12,69 | -13,39 | -14,51 | -15,91 |        |
|                        |            | 11,64  | 10,78  | 10,01  | 12,60  | 10,60  | 8,88   | 13,55  | 10,57  | 8,28   |        |
|                        |            | 0,27   | 1,01   | 1,75   | 0,94   | 3,53   | 6,12   | 1,62   | 6,06   | 10,50  |        |
|                        |            | -10,13 | -9,95  | -9,83  | -11,77 | -12,22 | -12,85 | -13,39 | -14,60 | -16,12 |        |
|                        | Fa3 - Fi2  | N      | 8,19   | 8,42   | 8,63   | 9,21   | 9,17   | 9,12   | 10,20  | 9,91   | 9,62   |
|                        |            | 0,23   | 0,45   | 0,66   | 0,81   | 1,56   | 2,30   | 1,39   | 2,67   | 3,95   |        |
|                        |            | -6,62  | -7,04  | -7,47  | -8,20  | -8,89  | -9,58  | -9,77  | -10,73 | -11,71 |        |
| S                      |            | 8,18   | 4,87   | 2,51   | 9,18   | 2,91   | 0,86   | 10,17  | 2,33   | 0,53   |        |
|                        | 0,23       | 2,30   | 4,37   | 0,81   | 8,05   | 15,29  | 1,39   | 13,80  | 26,21  |        |        |
|                        | -6,60      | -5,08  | -4,08  | -8,18  | -8,10  | -9,64  | -9,74  | -11,72 | -15,73 |        |        |
|                        | 8,19       | 7,50   | 6,83   | 9,21   | 7,39   | 5,69   | 10,20  | 7,36   | 4,93   |        |        |
|                        | 0,23       | 0,86   | 1,49   | 0,81   | 3,02   | 5,22   | 1,39   | 5,17   | 8,95   |        |        |
|                        | -6,62      | -6,50  | -6,40  | -8,20  | -8,49  | -8,85  | -9,77  | -10,54 | -11,55 |        |        |
|                        | 8,19       | 7,53   | 6,91   | 9,21   | 7,45   | 5,92   | 10,20  | 7,51   | 5,44   |        |        |
|                        | 0,23       | 0,86   | 1,49   | 0,81   | 3,02   | 5,22   | 1,39   | 5,17   | 8,95   |        |        |
|                        | -6,62      | -6,51  | -6,43  | -8,20  | -8,52  | -8,95  | -9,77  | -10,61 | -11,72 |        |        |
|                        | Fa5 - Fi3  | N      | 4,68   | 4,70   | 4,71   | 6,05   | 5,83   | 5,61   | 7,40   | 6,94   | 6,51   |
|                        |            | 0,21   | 0,41   | 0,61   | 0,75   | 1,44   | 2,13   | 1,29   | 2,47   | 3,65   |        |
|                        |            | -3,05  | -3,26  | -3,47  | -4,97  | -5,42  | -5,88  | -6,84  | -7,56  | -8,28  |        |
| S                      |            | 4,68   | 2,52   | 1,06   | 6,04   | 1,26   | 0,24   | 7,38   | 1,09   | 0,22   |        |
|                        | 0,21       | 2,15   | 4,08   | 0,75   | 7,52   | 14,28  | 1,29   | 12,88  | 24,48  |        |        |
|                        | -3,04      | -2,44  | -2,06  | -4,96  | -5,31  | -6,60  | -6,83  | -8,77  | -11,60 |        |        |
|                        | 4,68       | 4,15   | 3,65   | 6,05   | 4,44   | 3,04   | 7,40   | 4,81   | 2,78   |        |        |
|                        | 0,21       | 0,79   | 1,37   | 0,75   | 2,78   | 4,81   | 1,29   | 4,76   | 8,24   |        |        |
|                        | -3,05      | -3,04  | -3,04  | -4,97  | -5,27  | -5,64  | -6,84  | -7,53  | -8,45  |        |        |
|                        | 4,68       | 4,18   | 3,70   | 6,05   | 4,53   | 3,27   | 7,40   | 4,97   | 3,28   |        |        |
|                        | 0,21       | 0,79   | 1,37   | 0,75   | 2,78   | 4,80   | 1,29   | 4,76   | 8,24   |        |        |
|                        | -3,05      | -3,03  | -3,04  | -4,97  | -5,28  | -5,70  | -6,84  | -7,59  | -8,58  |        |        |

Taula 7-01: Recopilació de dades dels balanços energètics realitzats, segons paràmetres. Dels tres valors de cada cas, el superior correspon a la demanda de calefacció, el central als guanys per radiació i l'inferior a les pèrdues per transmissió, sempre del mes de gener. Font: elaboració pròpia.

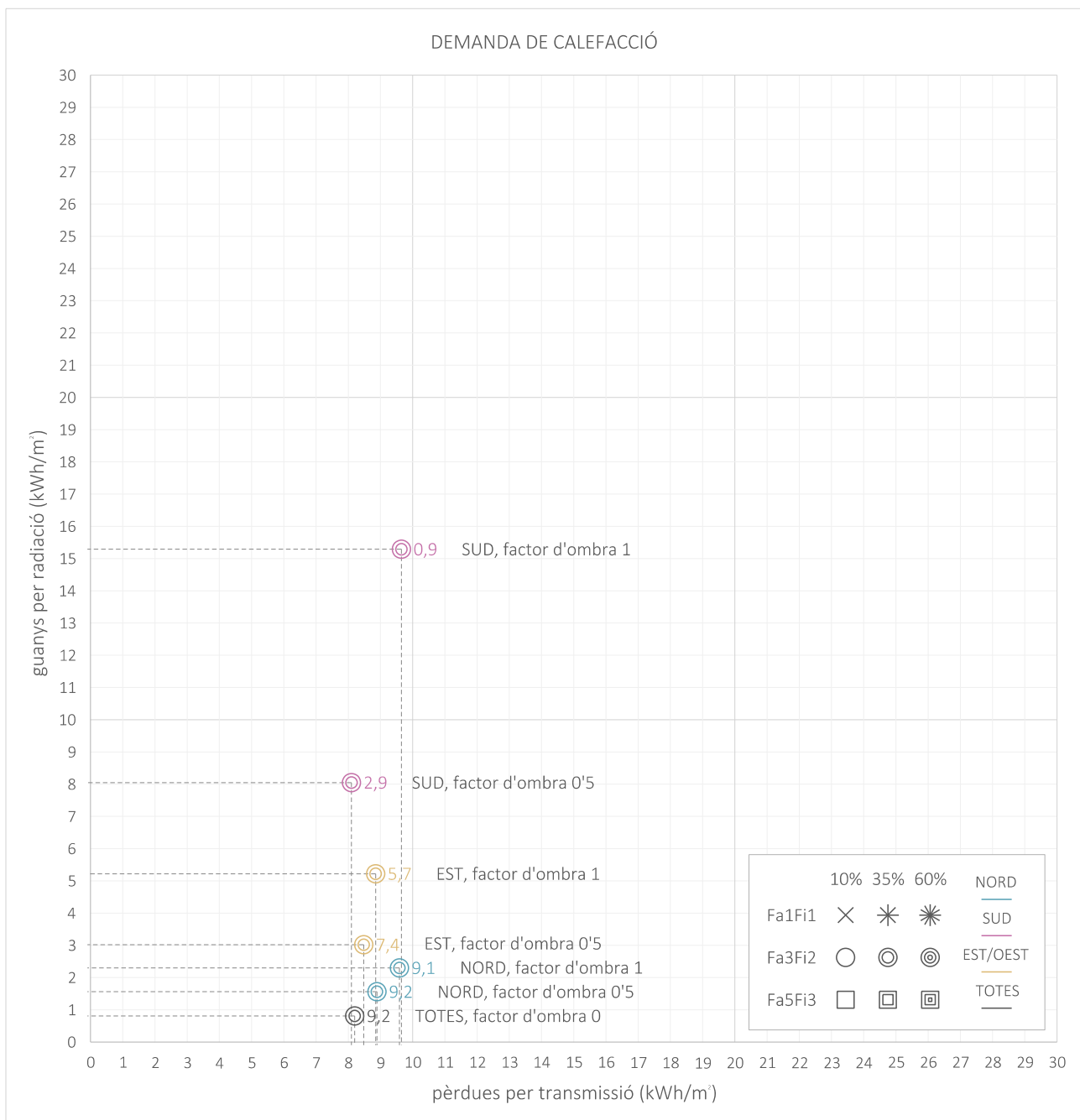


Figura 7-06: Verificació de la hipòtesi d'assimilació de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda de calefacció del mes de gener al balanç tèrmic de l'estança. Fase 1. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a la Taula 7-01.

En primer lloc, es situen els resultats del cas central amb construcció intermèdia i 35% de finestra, col·locant els valors de guanys per radiació i pèrdues per transmissió en els eixos corresponents. Un cop situats els punts, s'hi vincula el valor de demanda obtingut i es comprova que les demandes dels diferents casos estiguin repartits al llarg del gràfic amb una progressió contínua, amb resultat afirmatiu.

Tot i que s'han simulat les quatre orientacions en els tres factors d'ombra -0, 0'5 i 1-, s'ha observat que est i oest tenen un comportament quasi idèntic a l'hivern, i que a factor d'ombra 0, és a dir, sense radiació directa, totes les orientacions obtenen uns resultats molt similars. Per aquesta raó, tots els gràfics del present apartat s'han representat amb els 7 casos que s'observen al gràfic superior.

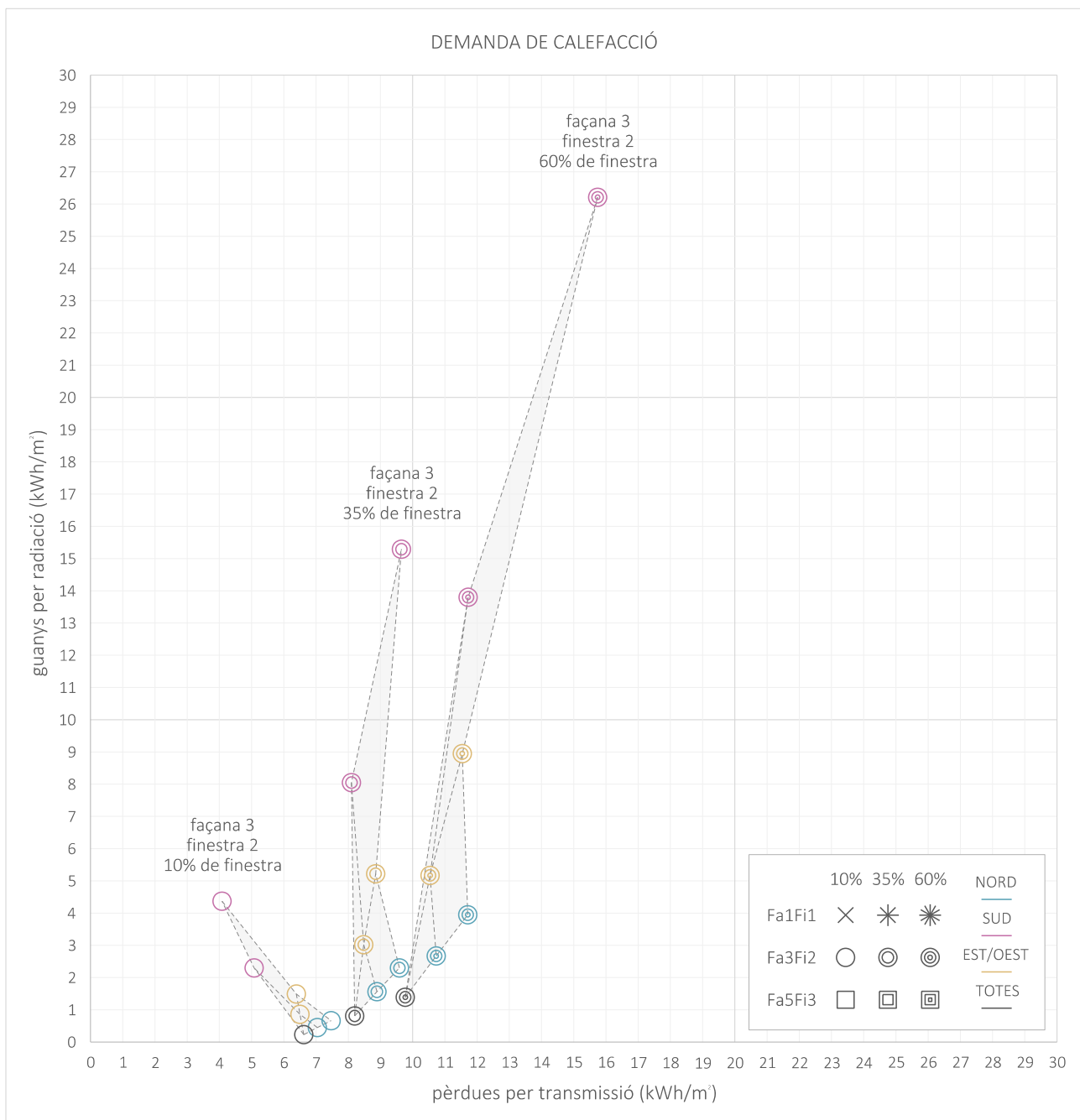


Figura 7-07: Verificació de la hipòtesi d'assimilació de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda de calefacció del mes de gener al balanç tèrmic de l'estança. Fase 2. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a la Taula 7-01.

A continuació es fa el mateix procés amb les opcions de construcció intermèdia i 10% o 60% de finestra, per tal de comparar els seus resultats amb el cas central. Amb 35% de finestra es veu com en canviar a orientacions amb més radiació incident, evidentment augmenten els guanys per radiació, i les pèrdues per transmissió es mantenen similars. Per altra banda, amb un baix percentatge de finestra, en augmentar la radiació, disminueixen les pèrdues per transmissió. Finalment, amb un alt percentatge de finestra succeeix al revés, i augmenten les pèrdues per transmissió.

Per a entendre aquestes diferències hem de recordar que el programa utilitzat, en donar els resultats del balanç, considera dins de "transmissió opaca" tant l'intercanvi degut al diferencial de temperatura entre interior i exterior, com els guanys pel mur opac degut a la radiació solar que hi incideix i l'escalfa. Aquest mur més calent retorna part de calor a l'exterior, però una altra part arriba a l'interior, quantitat que és considerada com a guanys per transmissió. Així doncs, quan l'habitació disposa de molta façana opaca, en augmentar la radiació incident, augmenten aquests guanys indirectes considerats en la transmissió. En el cas oposat amb 60% de finestra, l'excés de radiació acaba causant sobreescalfament, i la major diferència de temperatura genera major intercanvi tèrmic i, per tant, més pèrdues.

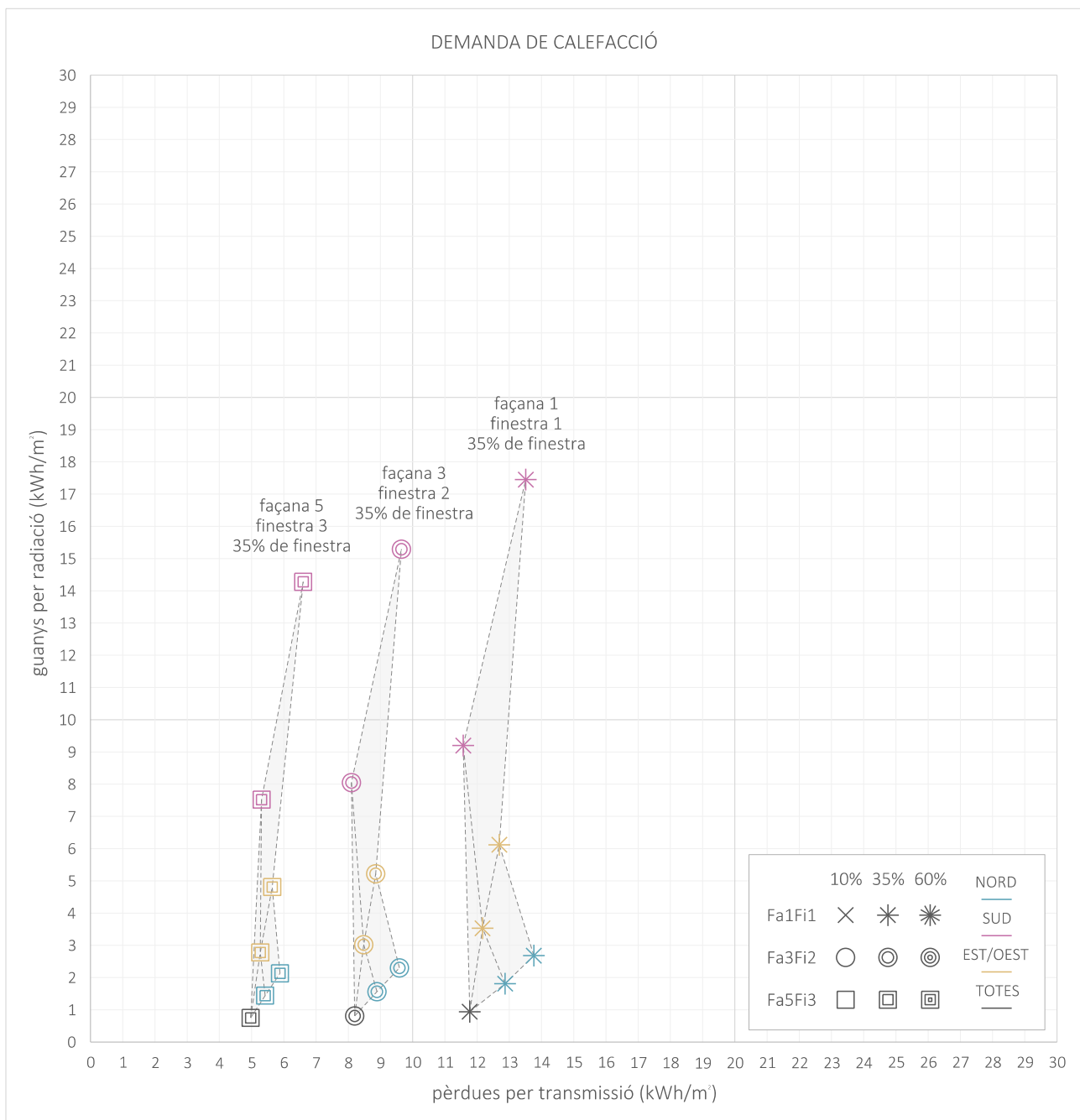


Figura 7-08: Verificació de la hipòtesi d'assimilació de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda de calefacció del mes de gener al balanç tèrmic de l'estança. Fase 3. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a la Taula 7-01.

Mantenint el percentatge de finestra a 35% i comparant entre les 3 construccions analitzades, s'observa un clar desplaçament del patró de dreta a esquerra, corresponent als canvis de transmissió tant del mur opac com de la finestra. A més, s'observa també que a pitjor façana, majors guanys per radiació. Aquesta variació no és molt elevada, però és conseqüència de la variació de factor solar del vidre, ja que els vidres més aïllants també obstaculitzen lleugerament més el pas de la radiació solar.

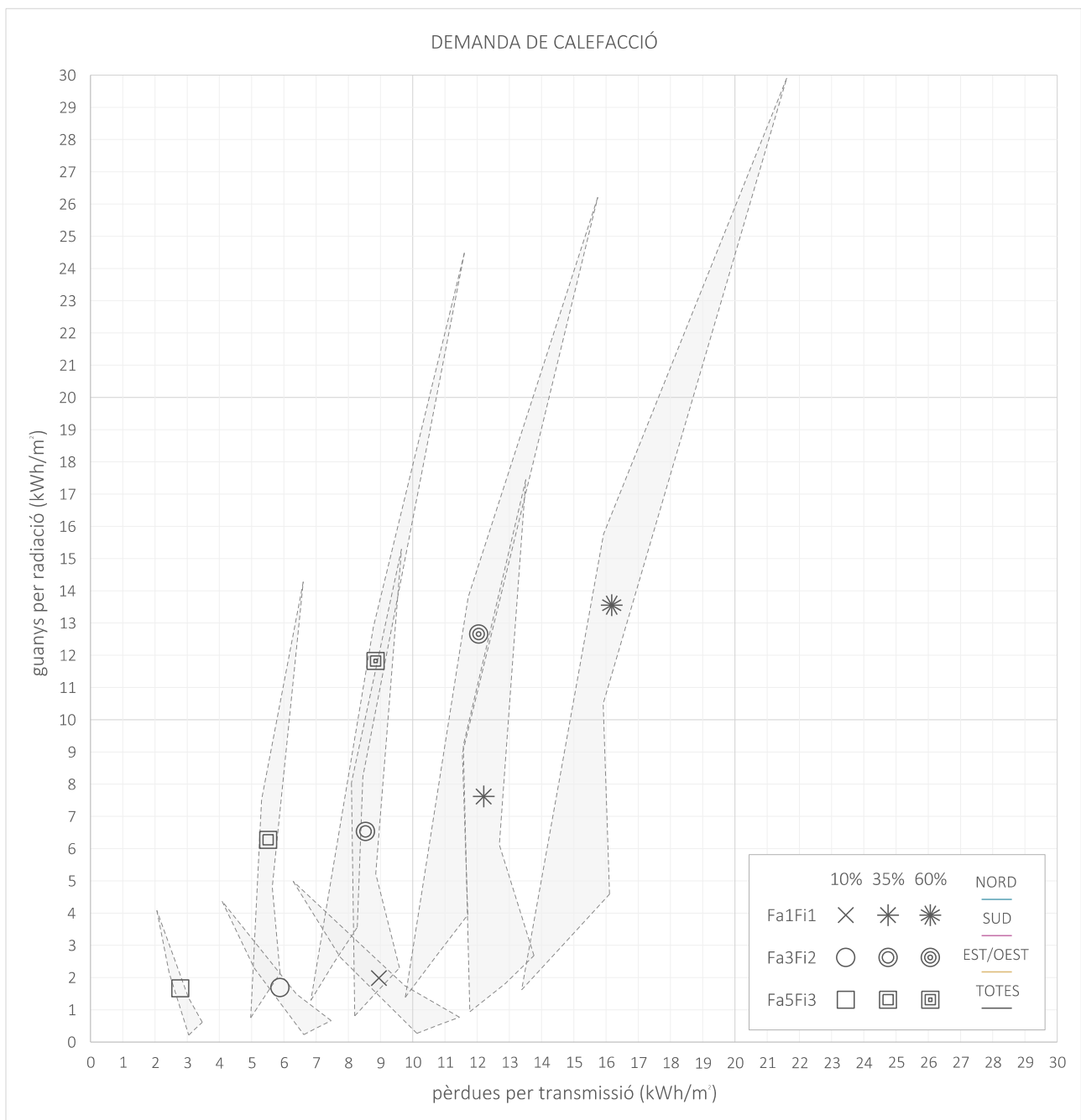


Figura 7-09: Verificació de la hipòtesi d'assimilació de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda de calefacció del mes de gener al balanç tèrmic de l'estança. Fase 4. Font: elaboració pròpia.  
Valors numèrics a la Taula 7-01.

Així doncs, si es col·loquen els contorns obtinguts de les 9 variants analitzades, creuant diferents paràmetres, s'arriba al gràfic superior. En ell es poden observar les conclusions anunciades al llarg d'aquest apartat, entenent així l'efecte que té en el comportament tèrmic de l'habitació cada un dels canvis que s'apliquen als paràmetres analitzats.

Es veu, doncs, com aquest comportament és en realitat molt més complex del que consideren les fórmules clàssiques per a calcular un balanç tèrmic a mà. En aquella simplificació no es considera, per exemple, com la radiació incident augmenta la temperatura interior i, per tant, les pèrdues per transmissió, ja que és un model estàtic, és a dir, que considera un moment concret. Els programes de simulació ens permeten, per contra, tenir una visió molt més realista i exacta dels fenòmens que succeeixen al llarg de tot l'any.

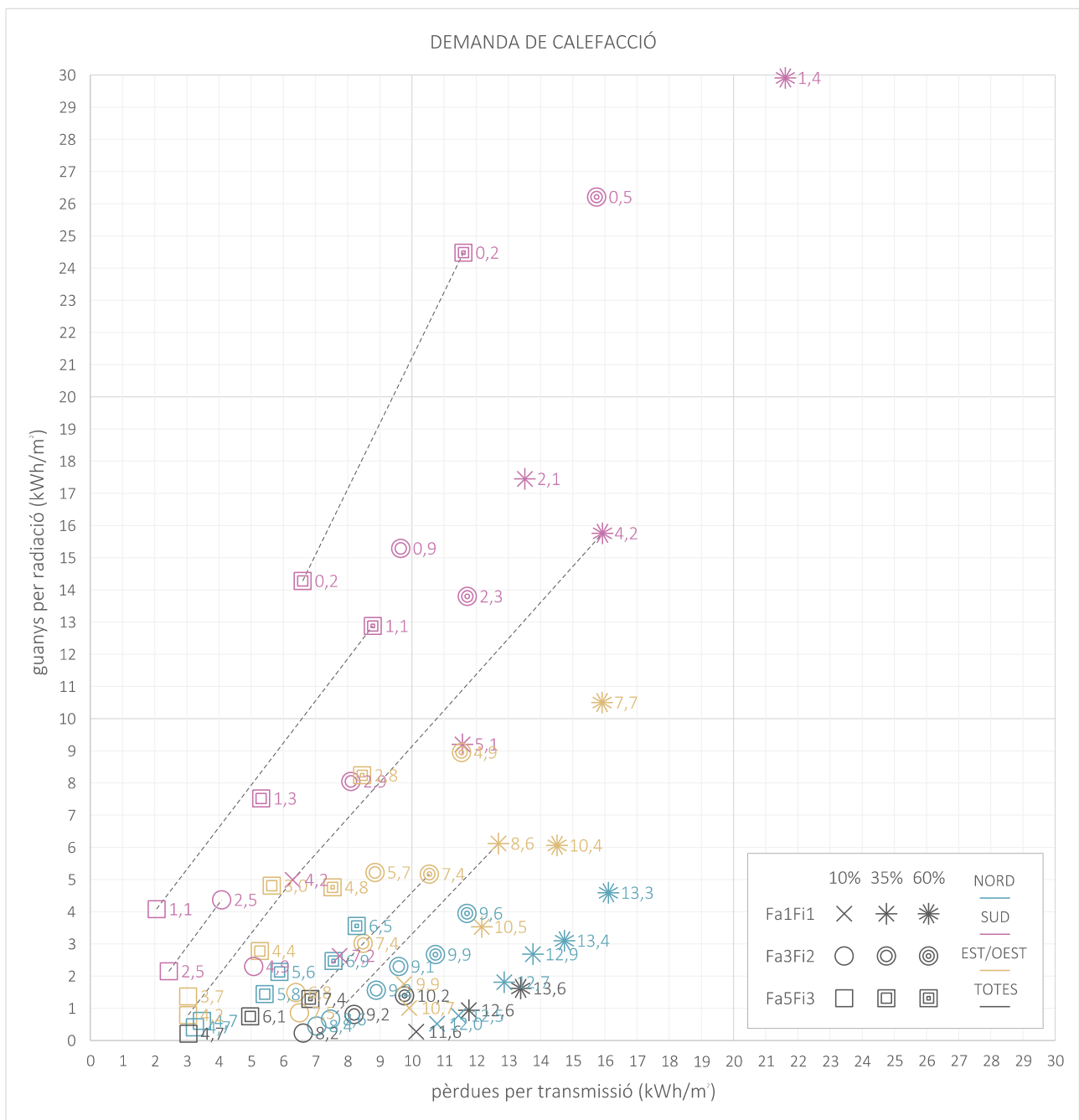


Figura 7-10: Verificació de la hipòtesi d'assimilació de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda de calefacció del mes de gener al balanç tèrmic de l'estança. Fase 5. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a la Taula 7-01.

Un cop col·locats tots els punts obtinguts amb el seu corresponent valor de demanda de calefacció, es procedeix a comprovar la hipòtesi que s'havia fet inicialment. Aquesta predeia que tot i els nombrosos canvis de paràmetres entre els diferents casos estudiats, en plasmar els resultats en aquest gràfic situant els punts a través dels seus guanys per radiació i les seves pèrdues per transmissió, els valors de demanda quedarien ordenats en el gràfic. Amb un resultat afirmatiu sobre aquesta hipòtesi, es procedeix a continuació a unir valors idèntics de demanda, amb la finalitat d'extreure una direcció de les corbes resultants i una distància concreta entre elles.

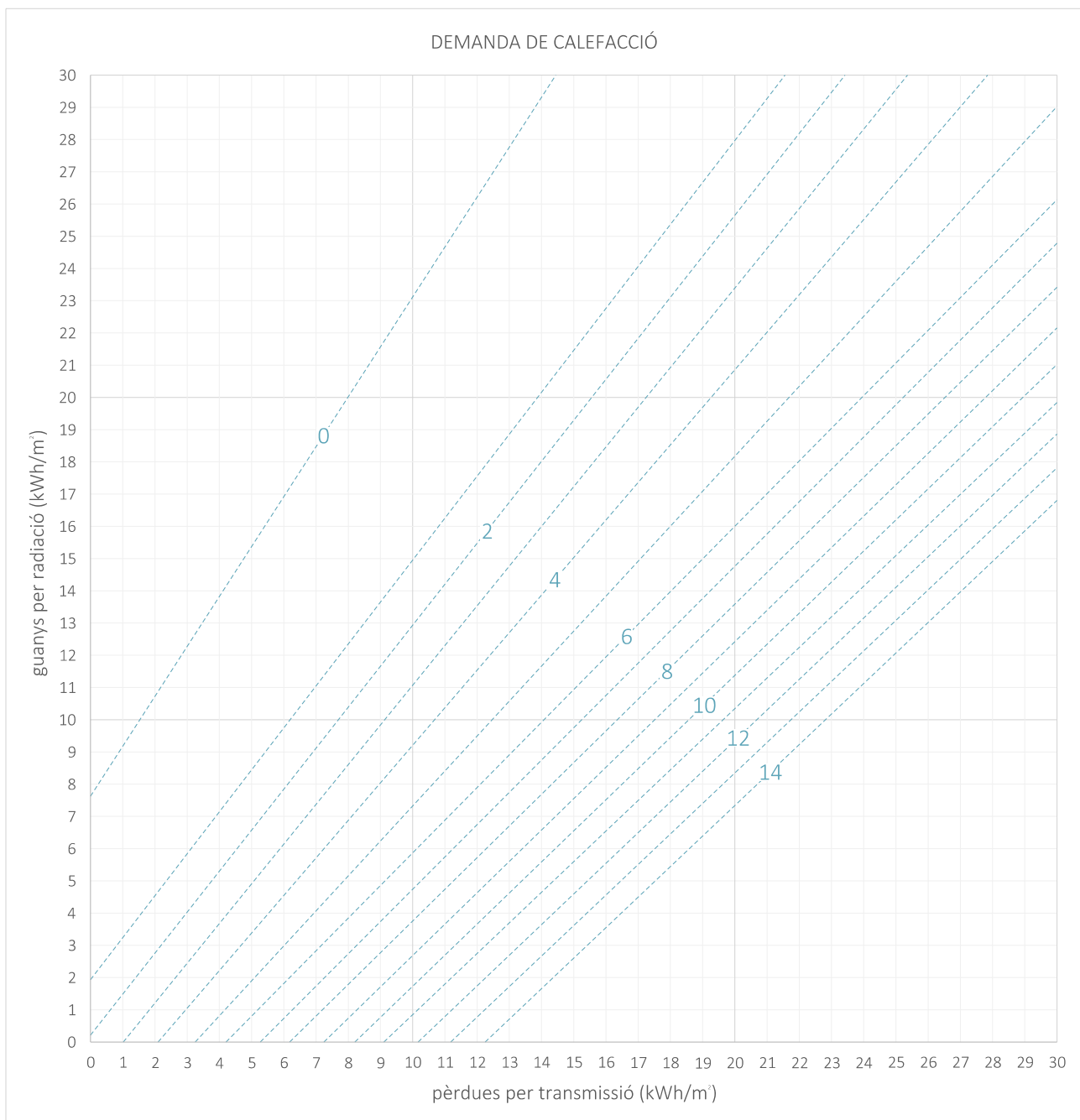


Figura 7-11: Verificació de la hipòtesi d'assimilació de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda de calefacció del mes de gener al balanç tèrmic de l'estança. Fase 6. Font: elaboració pròpia.

S'obté finalment el gràfic superior, a partir del qual es podrà trobar la demanda de calefacció de qualsevol habitació, només introduint els valors corresponents en els dos eixos del gràfic.

En aquest instant sorgeix però un altre dubte. Com podem trobar, a través de les característiques de l'habitació estudiades en els paràmetres, els valors a introduir en els eixos de guany per radiació i pèrdues per transmissió?

## PREGUNTA 2:

### Com obtenir el valor dels guanys per radiació de l'estat inicial?

En aquest segon estadi de la recerca d'una eina gràfica per al predimensionat de la demanda de calefacció es vol relacionar els paràmetres de l'estança simulada amb els diferents resultats obtinguts en els guanys per radiació del balanç tèrmic. Així, es segueix fent el procés a la inversa de com funcionaria l'eina final, treballant amb els resultats concrets obtinguts per tal de poder aconseguir aquesta eina.

| INFORMACIÓ SOBRE L'ESTANÇA |   |  |
|----------------------------|---|--|
| Radiació segons orientació | X | influeix en la quantitat de radiació que arriba a la façana  |
| Factor d'ombra projectada  | X | influeix en la quantitat de radiació que arriba a la façana  |
| Transmitància mur opac *   |   |  |
| Transmitància finestra *   |   |  |
| Factor solar vidre *       | X | influeix en la quantitat de radiació que arriba a l'interior |
| Percentatge de finestra    | X | influeix en la quantitat de radiació que arriba a l'interior |

Radiació incident ponderada

Percentatge de finestra ponderat

\* Característiques englobades durant l'estudi en el paràmetre de "construcció".

X: Característiques que tenen influència.

D'entre les característiques de l'estança que s'han estudiat, i que un usuari de l'eina gràfica coneixeria de la seva estança d'estudi, n'hi ha quatre que influeixen directament en els guanys per radiació solar. D'aquests quatre, la orientació i el factor d'ombra fan variar la quantitat de radiació solar que arriba al pla de façana, mentre que el factor solar del vidre i el percentatge de finestra afecten a la quantitat de radiació que acaba penetrant fins a l'interior de l'estança. Per aquesta raó, es decideix agrupar aquests paràmetres dos a dos, per a aconseguir la *radiació incident ponderada* i la *percentatge de finestra ponderat*, valors que seran entrats en els dos eixos del gràfic, ja que es planteja amb la mateixa lògica que l'anterior.

Per una banda, és clar que per a trobar la radiació incident ponderada cal simplement utilitzar els valors utilitzats al llarg del present treball, o bé per a altres orientacions intermèdies fer una multiplicació entre els dos factors considerats: la radiació incident segons la orientació, multiplicada pel factor d'ombra projectada sobre la façana pels obstacles del seu voltant.

| RADIACIÓ INCIDENT AL MES DE GENER (kWh/m <sup>2</sup> fa-mes) |                |      |      |      |       |
|---|----------------|------|------|------|-------|
| ORIENTACIÓ  | FACTOR D'OMBRA |      |      |      |       |
|   | 0              | 0,25 | 0,5  | 0,75 | 1     |
| NORD  | 0,2            | 2,8  | 5,3  | 8,0  | 10,4  |
| SUD   | 1,7            | 28,5 | 52,4 | 79,5 | 103,6 |
| EST   | 0,6            | 9,4  | 17,5 | 26,2 | 34,5  |
| OEST  | 0,6            | 9,5  | 17,7 | 26,5 | 34,9  |

ò

*Radiació incident ponderada* ≈ radiació incident en aquella orientació \* factor d'ombra projectada

Per contra, la manera d'obtenir el *Percentatge de finestra ponderat* no és tant directe. És possible multiplicar directament el percentatge de finestra de l'habitació pel factor solar del seu vidre? Es fa una primera hipòtesi de que aquesta afirmació és possible, i es situen els resultats en el gràfic per tal de validar-la o invalidar-la.

*HIPÒTESI: Percentatge de finestra ponderat = percentatge de finestra \* factor solar del vidre*



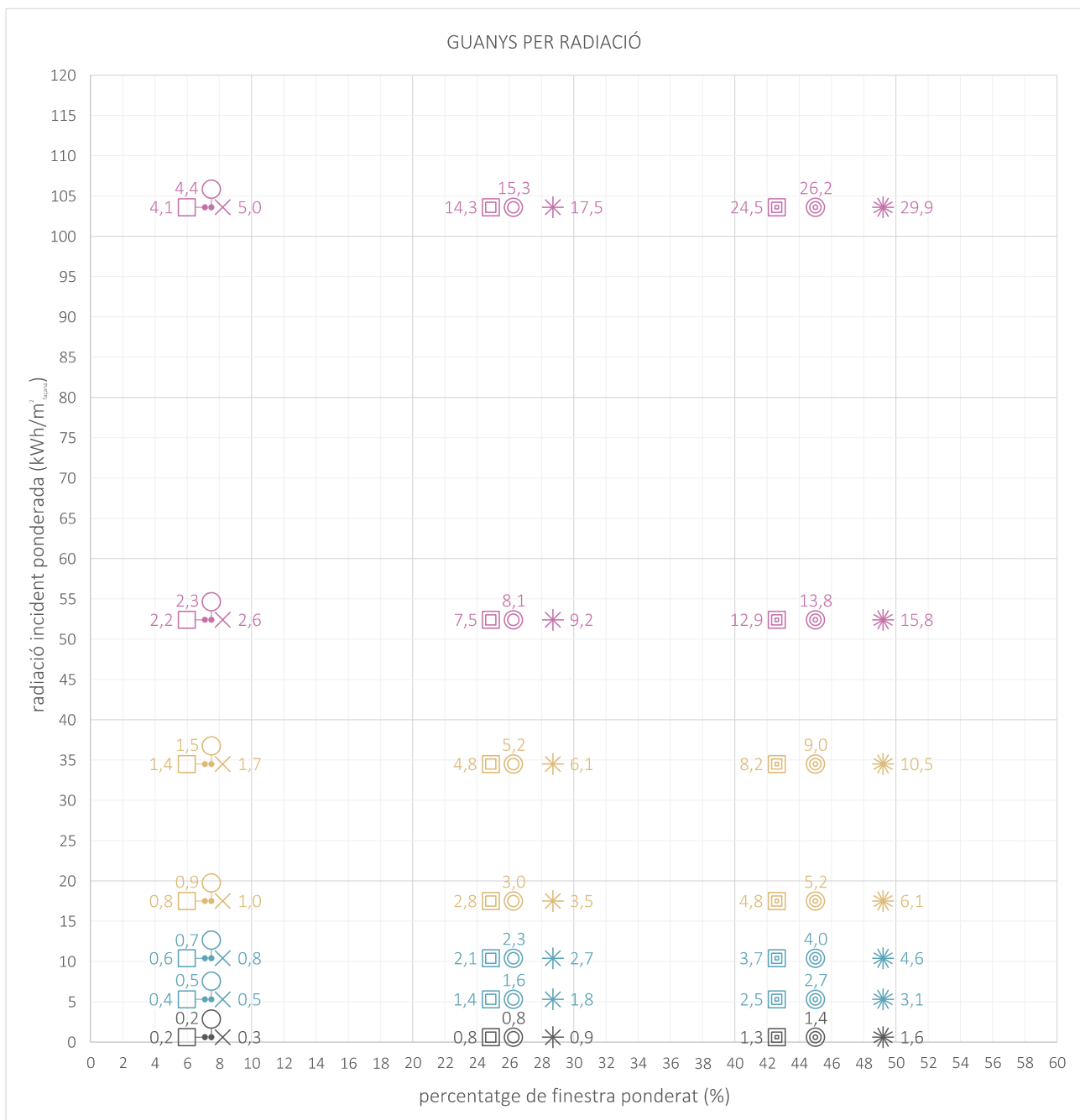


Figura 7-12: Verificació de la hipòtesi d'obtenció dels guanys per radiació a través de la radiació incident ponderada i el percentatge de finestra ponderat. Fase 1. Font: elaboració pròpia.

El gràfic que s'obté és molt diferent a l'anterior. En aquest cas, els punts trobats es distribueixen de manera regular i ortogonal al llarg de la superfície del gràfic, ja que els paràmetres dels diferents casos simulats s'han anat variant d'un en un. Així, doncs, s'observa com cada orientació amb mateix factor d'ombra forma una línia horitzontal, i cada tipus de construcció i percentatge de finestra forma una línia vertical. De fet, l'únic que diferencia les diferents construccions entre elles és el factor solar del vidre, ja que si fos el mateix en tots els casos, trobaríem únicament tres columnes corresponents als tres percentatges de finestra utilitzats en aquest apartat.

Tot i que d'entrada el gràfic sembla correcte, es procedeix a comprovar quin grau de precisió s'obté seguint les hipòtesis que s'han anunciat anteriorment, amb la finalitat d'assegurar que les corbes finals es puguin traçar amb coherència i que un cop traçades i s'utilitzi el gràfic en el seu format final, el resultat que s'obtingui sigui prou precís.



Figura 7-13: Verificació de la hipòtesi d'obtenció dels guanys per radiació a través de la radiació incident ponderada i el percentatge de finestra ponderat. Fase 2. Font: elaboració pròpia.

En primer lloc es comprova el marge d'error en l'eix vertical. Cal veure, doncs, si els valors segueixen una seqüència lògica i homogènia. Per fer-ho, s'escullen dues de les columnes, corresponents a construccions i percentatges de finestra diferents, per a tenir una doble comprovació que englobi tots els paràmetres.

A continuació, es dibuixa una escala de valors coincidint amb alguns dels punts trobats, i es comprova la posició de la resta de punts. Per a facilitar la lectura s'ha marcat la posició teòrica segons aquestes escales de valors del punt de la columna que presenta un marge d'error major. Com es pot observar, aquest decalatge és petit, del voltant d'un 6% en tots dos casos, i no tindria un gran efecte en el resultat obtingut.

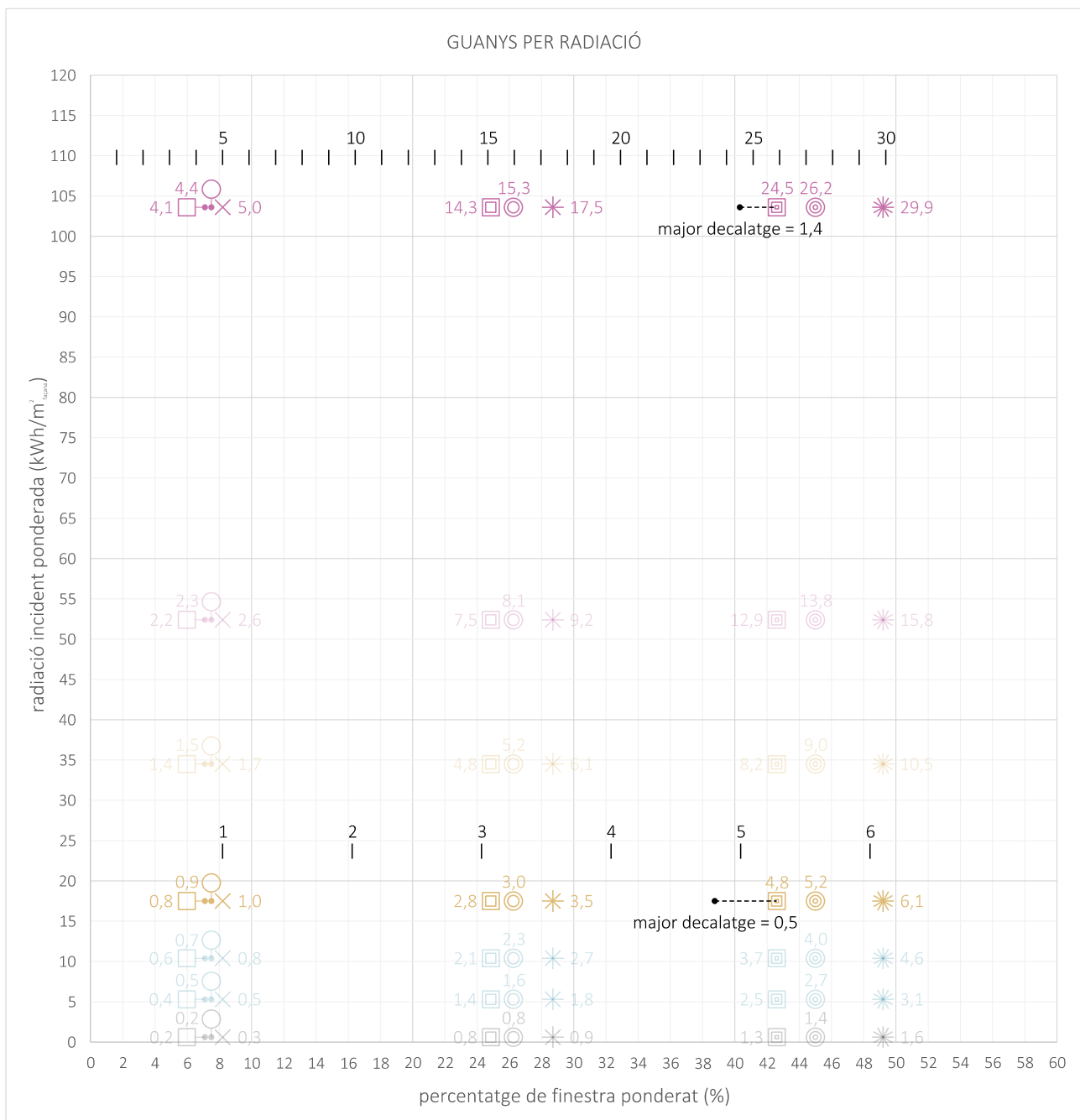
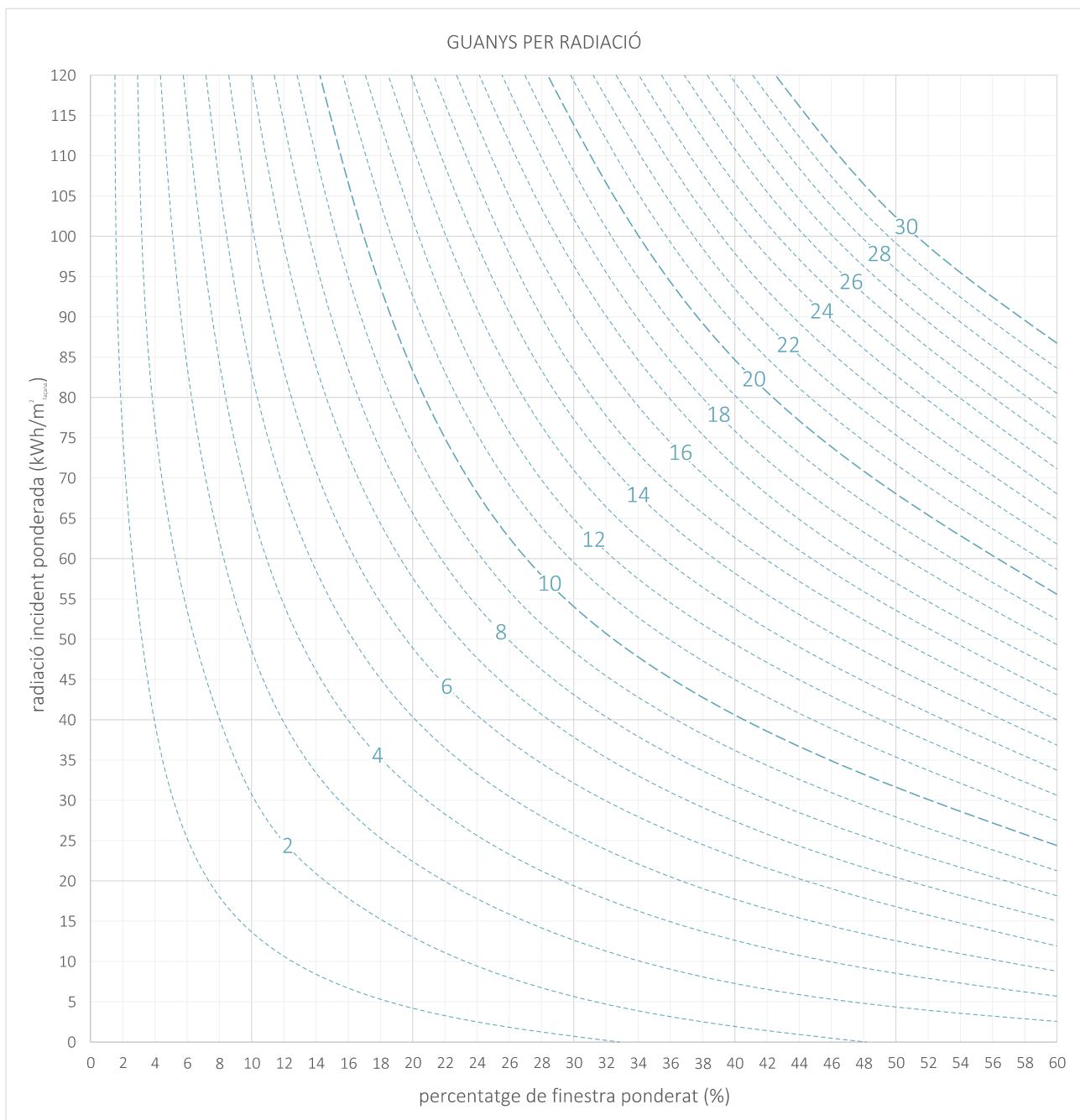


Figura 7-14: Verificació de la hipòtesi d'obtenció dels guanys per radiació a través de la radiació incident ponderada i el percentatge de finestra ponderat. Fase 3. Font: elaboració pròpia.

Es repeteix el procés en dos fileres horitzontals, amb la finalitat de verificar si la hipòtesi de multiplicar el percentatge de finestra pel factor solar del vidre és ajustada. S'escullen dues fileres allunyades per a tenir una percepció més encertada del grau de precisió que s'obté. Són la fila est amb  $Fo=0,5$ , i també la sud amb  $Fo=1$ . En aquest cas s'obtenen uns decalatges majors als de l'eix vertical, de fins al 10,5%.

Si ens fixem en detall en la fila d'est  $Fo=0,5$ , podem veure com la variant de construcció Fa5Fi3 i 60% de finestra ha obtingut en les simulacions un valor de guanys per radiació de 4,8. Aquest valor es troba a 1,3 de la variant de Fa1Fi1 i 35% -que té uns guanys de 3,5- i a la mateixa distància de 1,3 de la variant Fa1Fi1 i 60% -que té uns guanys de 6,1-. És a dir, hauria de situar-se de manera equidistant entre aquests altres dos casos, mentre que amb la fórmula utilitzada es troba molt més a prop del cas de major guany. Així doncs, es conclou que un factor solar baix hauria de "penalitzar" més en el posicionament del cas d'estudi en l'eix horitzontal. De tota manera, es donarà provisionalment per bo aquest mètode, i es deixarà la recerca d'uns factors correctors de major precisió per a futures investigacions.



*Figura 7-15: Verificació de la hipòtesi d'obtenció dels guanys per radiació a través de la radiació incident ponderada i el percentatge de finestra ponderat. Fase 4. Font: elaboració pròpia.*

Finalment, s'aconsegueix extreure un gràfic que permet a les persones usuàries de l'eina gràfica, trobar els guanys per radiació de la seva estança a través de les característiques simples d'aquesta.

### PREGUNTA 3:

#### **Com obtenir el valor de les pèrdues per transmissió de l'estat inicial?**

En la tercera i última fase de la recerca d'una eina gràfica per al predimensionat de la demanda de calefacció d'una habitació es repeteix el procediment de la segona pregunta, aquest cop buscant l'obtenció de les pèrdues per transmissió. Per tant, es retorna als paràmetres sobre l'estança que podem conèixer, per determinar quins hi tenen influència.

| INFORMACIÓ SOBRE L'ESTANÇA |   |  |
|----------------------------|---|--|
| Radiació segons orientació | X | influeix en el sobreescalfament de l'estança   |
| Factor d'ombra projectada  | X | influeix en el sobreescalfament de l'estança   |
| Transmitància mur opac *   | X | influeix en la transmitància tèrmica global del conjunt de la façana                                       |
| Transmitància finestra *   | X | influeix en la transmitància tèrmica global del conjunt de la façana                                       |
| Factor solar vidre *       |   |  |
| Percentatge de finestra    | X | influeix en la transmitància tèrmica global del conjunt de la façana + en el sobreescalfament de l'estança |

\* Característiques englobades durant l'estudi en el paràmetre de "construcció".

X: Característiques que tenen influència.

Tal i com s'ha explicat a l'inici del present apartat, les estances amb un excés de radiació solar s'escalfen molt, augmentant el diferencial entre la temperatura interior i la exterior i, per tant, augmentant les pèrdues per transmissió. Per aquesta raó, s'han agrupat per una banda els paràmetres que modifiquen directament la transmitància tèrmica global -que és l'únic que considera la fórmula clàssica per al càlcul estàtic del balanç tèrmic-, però també aquells paràmetres que s'ha considerat que influiran en el sobreescalfament de l'aire interior. Cada un dels dos conjunts, doncs, es situaran en un dels eixos del gràfic. Tot i que el factor solar del vidre també afecta al sobreescalfament, com que la seva influència se suposa mínima, s'opta per simplificar la tasca i obviar el seu efecte.

En aquest cas, és ben coneguda la manera de calcular la transmitància tèrmica global de la façana, seguint les fórmules habituals. A continuació s'escriu una fórmula simplificada ja que és suficient per a les façanes estudiades en aquest treball, però evidentment, per a casos més complexos es pot utilitzar la fórmula coneguda de sumatori de superfícies per transmissió.

$$\text{Transmitància tèrmica global}^2 = \frac{\text{Superfície opaca}^1 * \text{Transmitància opaca}^2 + \text{Superfície finestra}^1 * \text{Transmitància finestra}^2}{\text{Superfície total de façana}^1}$$

<sup>1</sup>: superfícies en m<sup>2</sup>

<sup>2</sup>: transmissió en W/m<sup>2</sup>°C

Per contra, no s'ha trobat cap referent sobre com considerar aquest factor de sobreescalfament. Per tant, es fa una primera hipòtesi multiplicant els tres factors d'influència, i es fa el gràfic com a mode de verificació de la hipòtesi, on queda invalidada. Es recull el procés en l'annex 3.

~~HIPÒTESI 1:~~ Factor de sobreescalfament<sup>1</sup> = radiació incident en aquella orientació<sup>1</sup> \* factor d'ombra projectada<sup>2</sup> \* percentatge de finestra<sup>3</sup>

<sup>1</sup>: W/m<sup>2</sup>

<sup>2</sup>: adimensional

<sup>3</sup>: %

Finalment, s'opta per la reorganització gràfica dels resultats per a buscar uns coeficients de sobreescalfament.

*HIPÒTESI 2: recerca d'un coeficient de sobreescalfament per a l'eix y de manera gràfica*

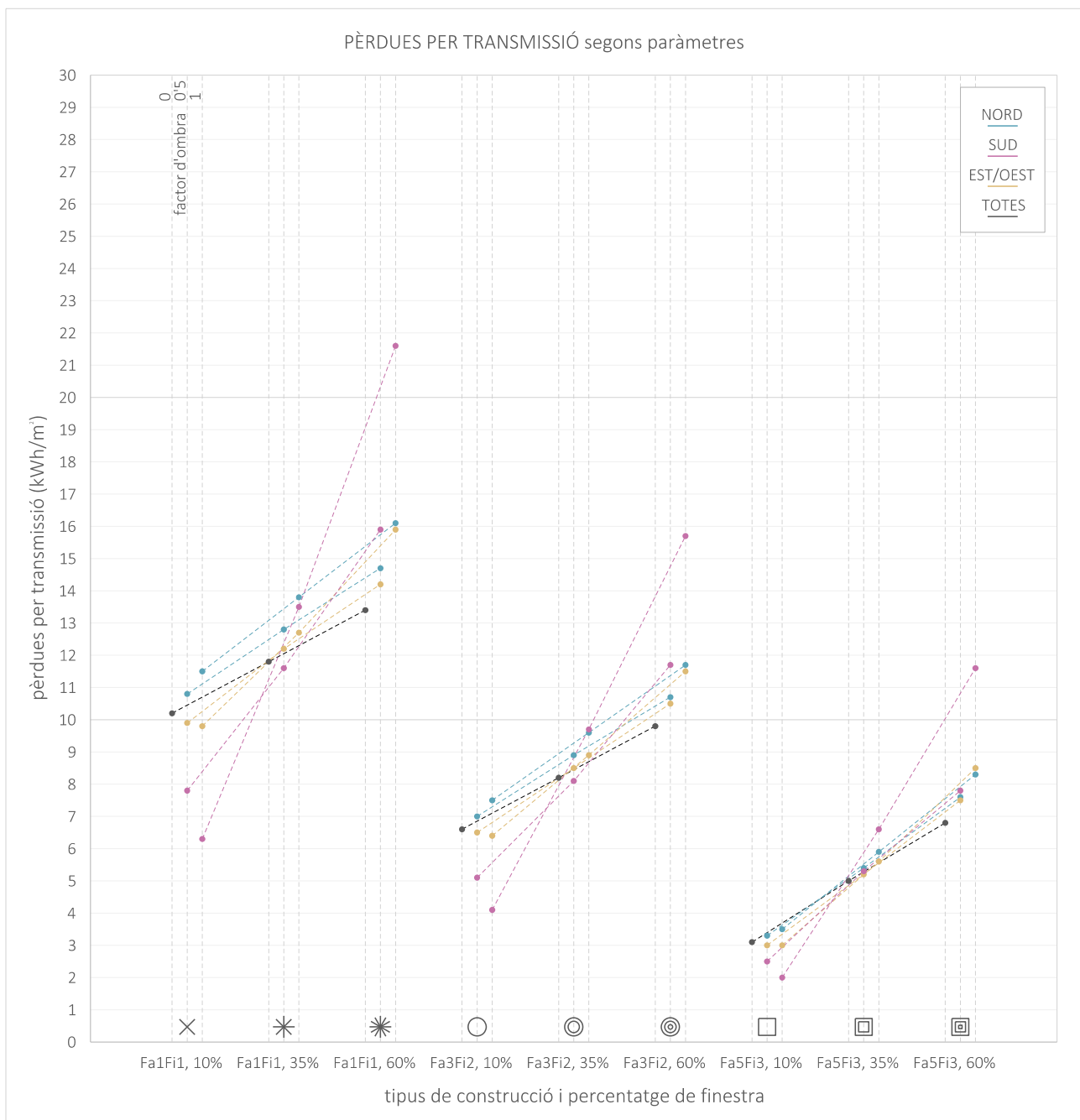


Figura 7-16: Verificació de la hipòtesi d'obtenció de les pèrdues per transmissió a través del factor de sobreescalfament i la transmitància tèrmica global. Fase 3. Font: elaboració pròpia.

En aquest gràfic s'han ordenat els resultats de pèrdues per transmissió segons els paràmetres estudiats, amb la finalitat d'entendre la influència de cada un en aquest valor.

S'observa com les tres construccions de façana tenen un comportament molt similar entre elles, amb uns valors més o menys elevats per la diferència de transmitància global. Dins de cada un, s'observa un comportament molt variat entre les diferents orientacions. Mentre que en l'orientació nord, sempre que augmenta el factor d'ombra, augmenten les pèrdues per transmissió, en les altres orientacions aquest fenomen depèn del percentatge de finestra.

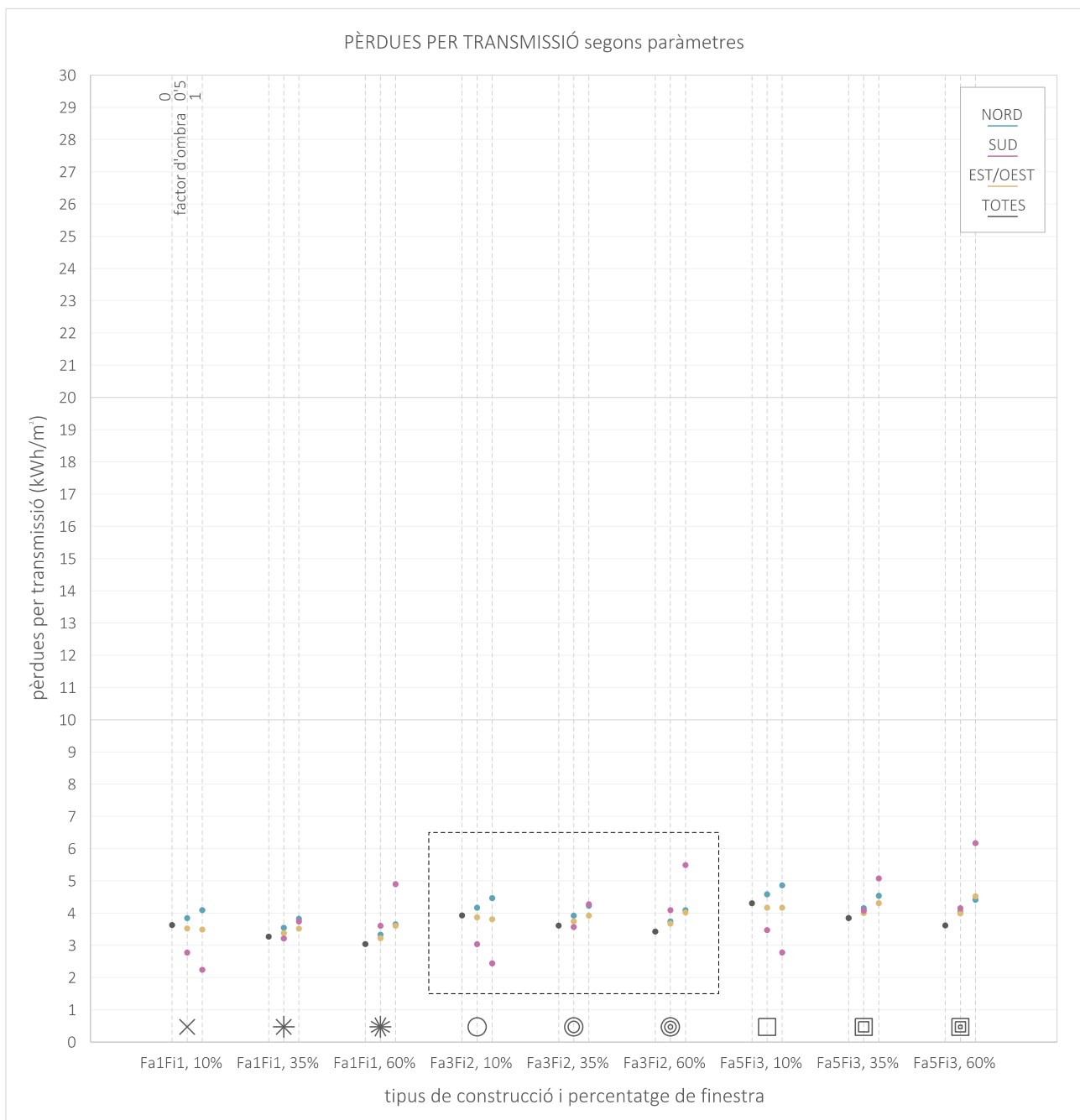


Figura 7-17: Verificació de la hipòtesi d'obtenció de les pèrdues per transmissió a través del factor de sobreescalfament i la transmissió tèrmica global. Fase 4. Font: elaboració pròpia.

Es procedeix a normalitzar tots els valors de pèrdues per transmissió segons la transmissió tèrmica global, ja que és una característica que ja es pren en consideració en l'eix x del gràfic que s'intenta elaborar. Així doncs, s'elimina aquesta diferència entre els diferents tipus de construcció, mostrant com les tres façanes obtenen uns resultats quasi idèntics. Les petites diferències observades, sobretot en les orientacions amb més radiació incident, són degudes a la variació del factor solar del vidre.

S'escull doncs el cas central, per estar entremig dels dos extrems, com a base per a l'elaboració d'uns coeficients de sobreescalfament que substitueixin la primera hipòtesi del factor de sobreescalfament. Aquests coeficients han de ser els que organitzin els diferents casos en l'eix y del gràfic de pèrdues per transmissió, obtenint així uns resultats ordenats de manera coherent.

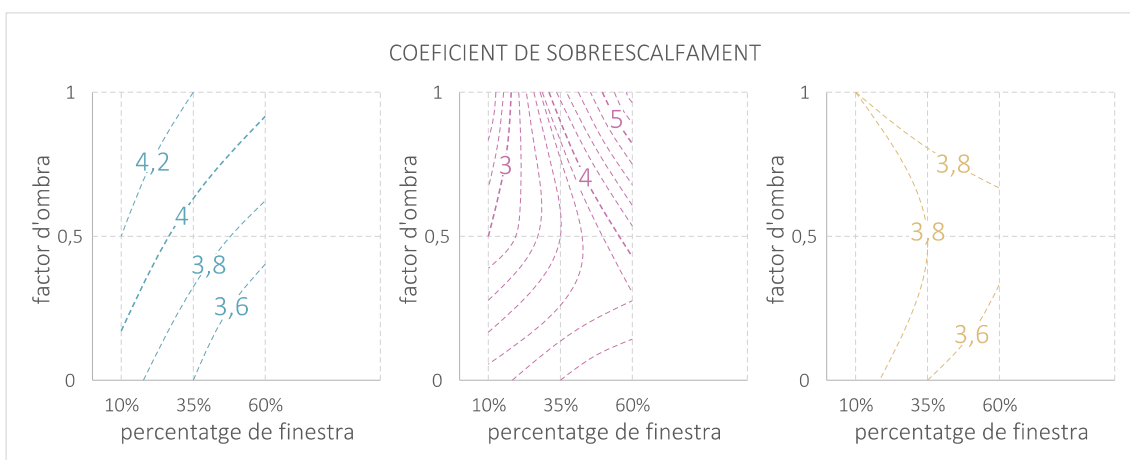
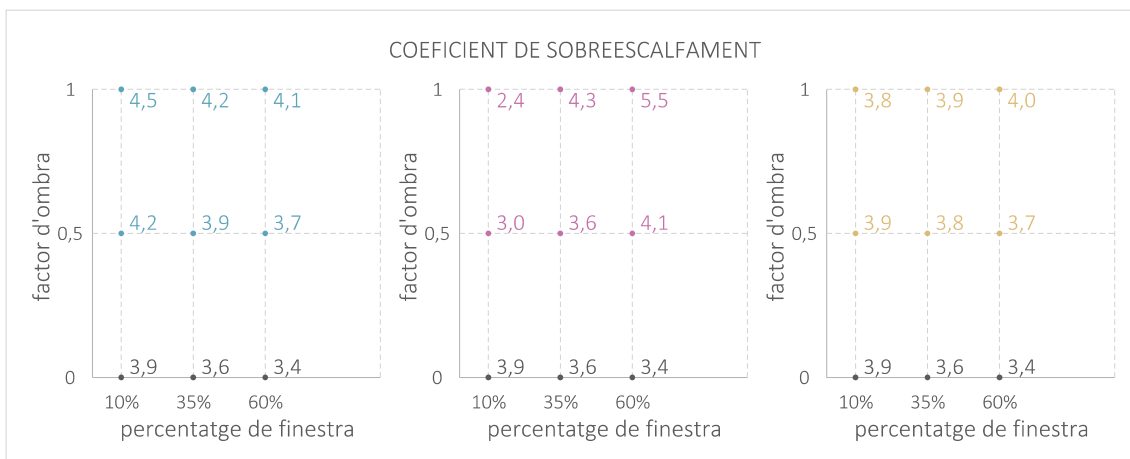


Figura 7-18: Verificació de la hipòtesi d'obtenció de les pèrdues per transmissió a través del factor de sobreescalfament i la transmissió tèrmica global. Fase 5. Font: elaboració pròpia.

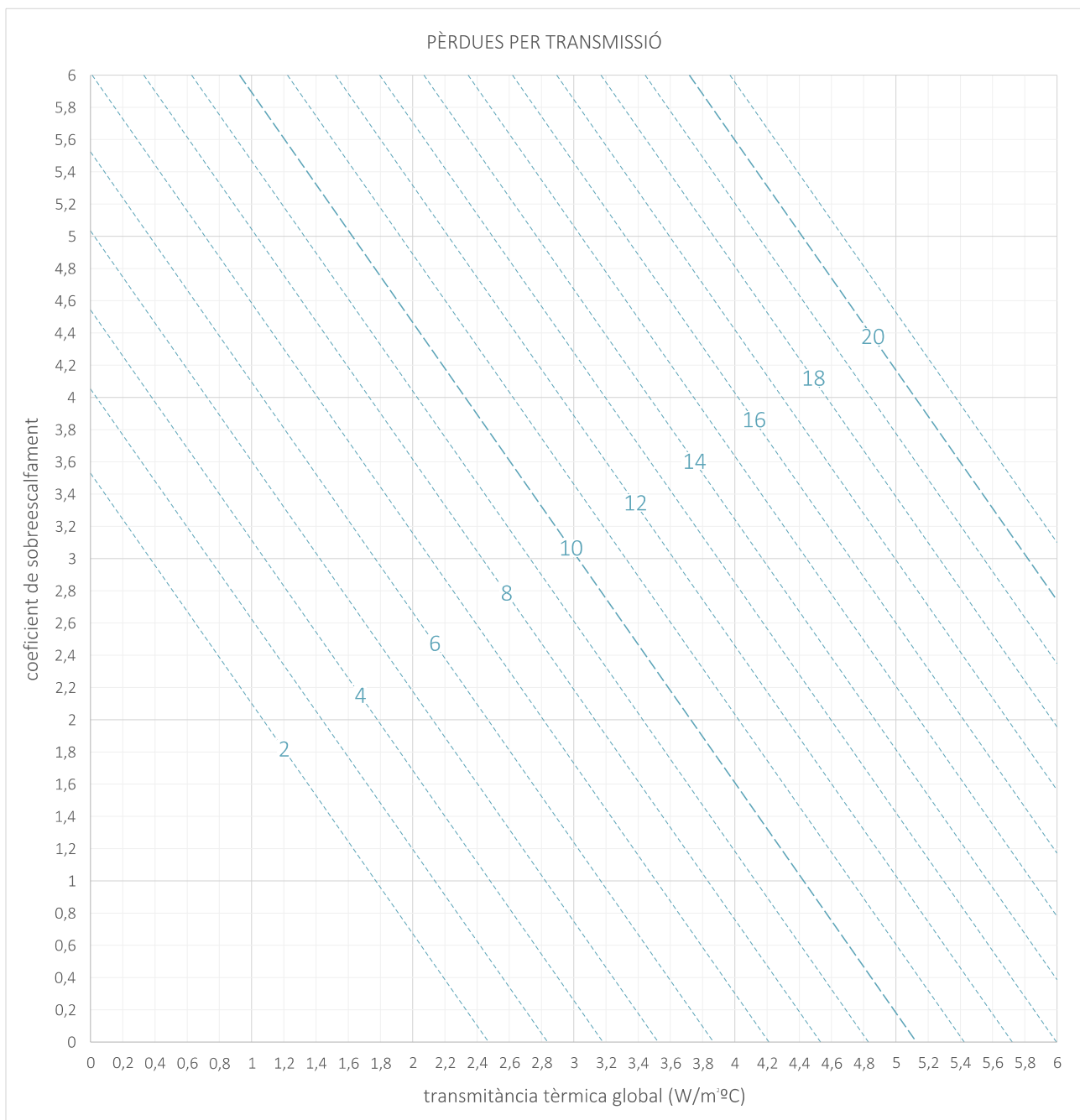
Amb els valors del gràfic anterior es generen 3 gràfics que serveixen de guia per a trobar el coeficient de sobreescalfament de cada cas d'estudi segons 3 paràmetres: la orientació, el factor d'ombra, i el percentatge de finestra. Es generen les corbes únicament per l'interior de l'àrea estudiada, ja que els resultats són molt heterogenis i no es pot saber la seva continuació en la resta d'àrea. De tota manera, com s'explica a l'inici del treball amb l'estipulació dels 5 paràmetres d'estudi, la forquilla del 10% al 60% de finestra engloba el 95% dels edificis construïts a Barcelona.

Els tres gràfics obtinguts mostren unes corbes molt irregulars, fruit d'un comportament tèrmic de l'estança molt complex, on intervenen múltiples factors. Evidentment, caldria un estudi més detallat d'aquest apartat, des de la perspectiva de la física i les matemàtiques, per tal d'entendre en profunditat les raons del comportament de cada casuística.

En aquest punt, es vol puntualitzar que s'entén aquesta recerca d'una eina gràfica, un treball que parteix de l'estudi concret d'unes simulacions energètiques que s'han dut a terme. Així doncs, en el present estadi de desenvolupament de l'eina gràfica, que es considera el més complex, la metodologia emprada correspon als resultats d'aquestes simulacions i, per tant, podria variar en altres estudis similars. De la mateixa manera, tampoc es presenta aquesta metodologia com l'única possible, sinó com una exploració per a la recerca de l'eina gràfica.







*Figura 7-20: Verificació de la hipòtesi d'obtenció de les pèrdues per transmissió a través del factor de sobreescalfament i la transmitància tèrmica global. Fase 7. Font: elaboració pròpia.*

Finalment, es tracen les línies guia per als diferents valors absoluts de la franja estudiada, obtenint així el gràfic superior, que permetrà trobar les pèrdues per transmissió del mes de gener a partir de les característiques simples de l'habitació.

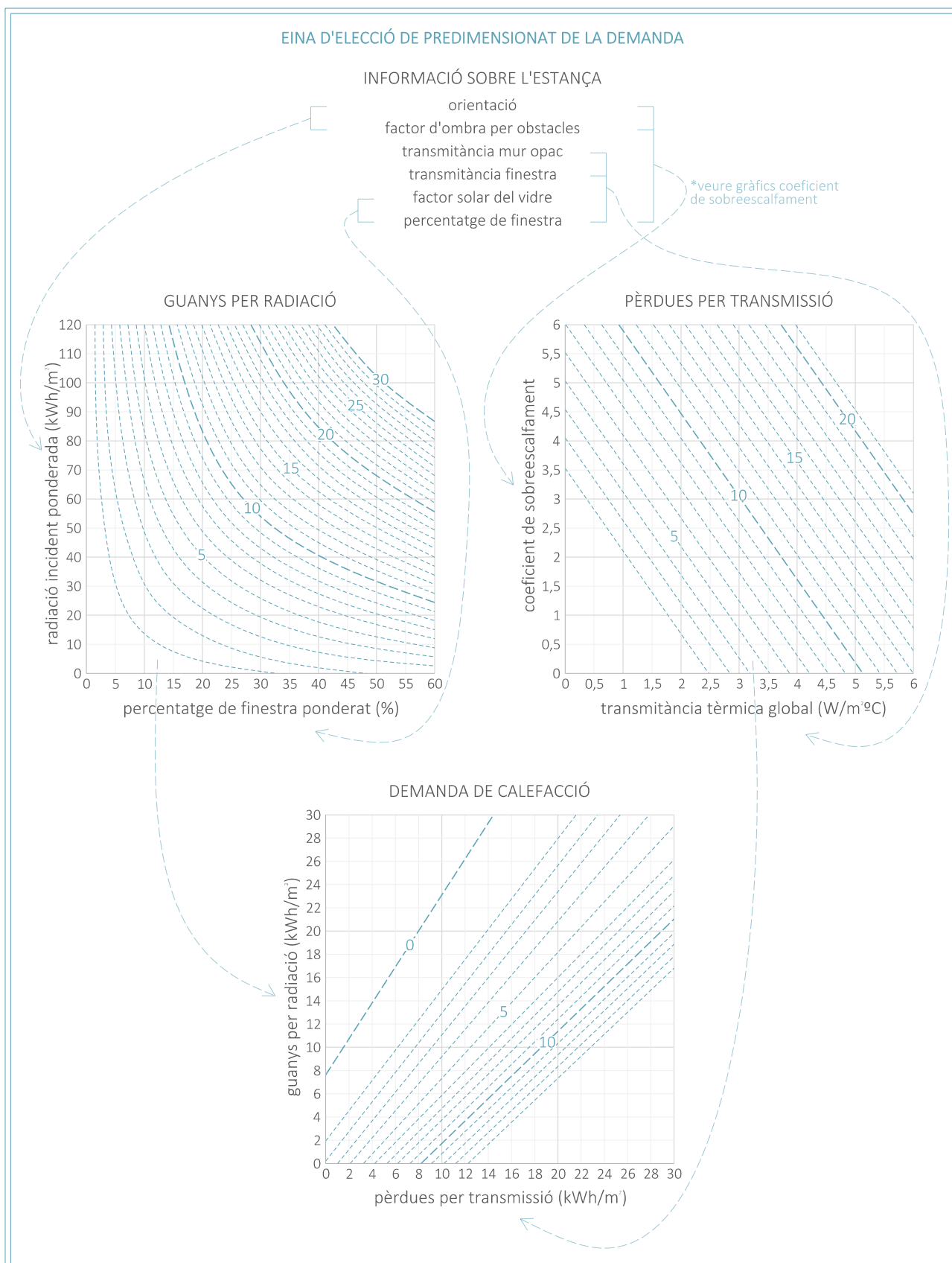
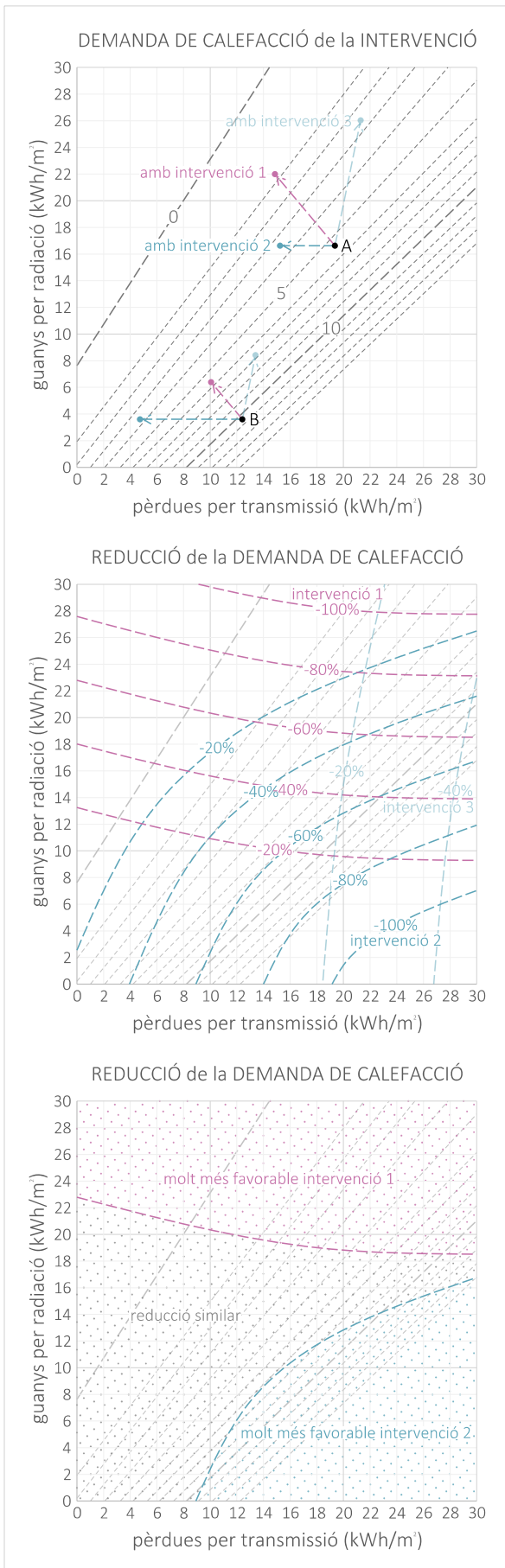


Figura 7-21: Esquema general del funcionament de l'eina gràfica de predimensionat de la demanda inicial de calefacció del mes de gener. Font: elaboració pròpia.

En conclusió, la figura superior explica el funcionament general de l'eina de predimensionat de la demanda de calefacció corresponent al mes de gener, de l'habitació d'estudi en el seu estat inicial. El procediment, com s'ha vist al llarg d'aquest apartat, funciona en dues etapes, partint de les característiques conegudes de l'habitació, fins a obtenir la seva demanda.

## 7.2. Procés de generació d'una eina d'elecció de la millor intervenció



Es torna a començar el procés, plantejant opcions de funcionament d'aquesta segona eina gràfica. La idea inicial era utilitzar el mateix gràfic de demanda inicial com a base, i a sobre d'aquest aconseguir reflectir la millora que suposen les intervencions.

A continuació es descriuen tres funcionaments que s'han imaginat d'entrada, el que no significa que realment sigui viable arribar-hi. Això s'haurà de descobrir durant l'exploració del llarg d'aquest apartat.

En primer lloc, es planteja l'opció de ressituar el cas d'estudi dins del gràfic, d'acord amb el nou balanç tèrmic post-intervenció. En aquest cas, caldria saber en quina direcció es desplaça el punt, amb un angle, i a quina distància. A l'esquema es mostra diferents hipòtesis d'intervencions, que es mourien pel gràfic segons el seu efecte, o no, en els guanys per radiació i les pèrdues per transmissió. Així, es continuaria utilitzant les línies guies trobades en la primer apart, llegint la nova demanda.

Una segona opció plantejada és no desplaçar el punt trobat, sinó tenir unes noves corbes que indiquin a cada lloc del gràfic, quant s'està reduint la demanda gràcies a cada intervenció. Les línies grafiades a l'esquerra són hipotètiques, a mode d'esquema del que podria ser el resultat.

Finalment, si no fos possible extreure uns percentatges de millora concrets, quedaria una tercera opció on simplement es dibuixaria les zones del gràfic on guanya cada intervenció, i zones en les que no hi ha gaire diferència entre elles.

Figura 7-22: Reflexió sobre el format de l'eina gràfica d'elecció de la intervenció idònia. Font: elaboració pròpia.

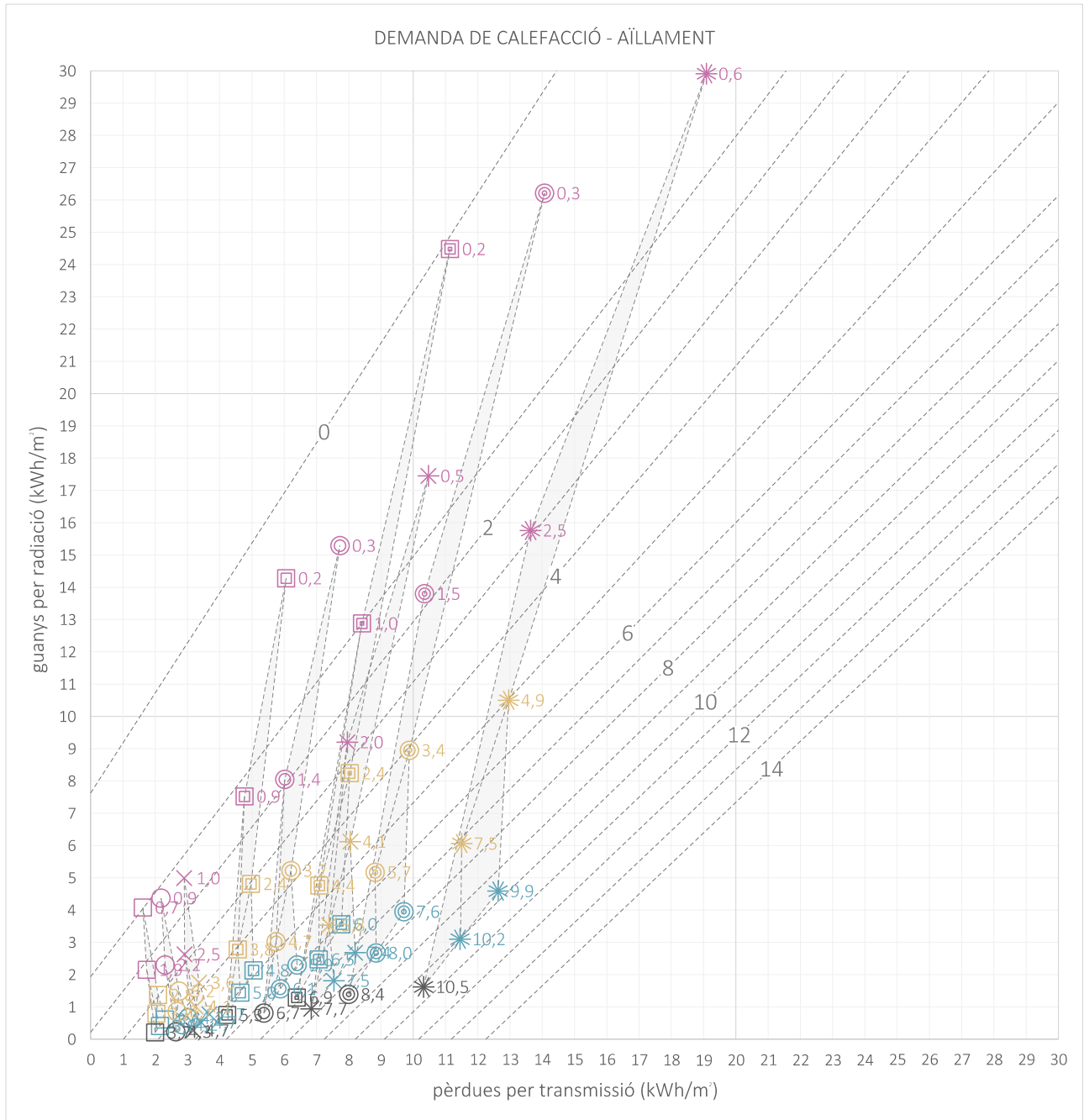


Figura 7-23: Verificació de la hipòtesi de desplaçament dels casos d'estudi dins del gràfic de demanda de calefacció, segons la intervenció escollida. Fase 1. Font: elaboració pròpia.

Es comença per la intervenció amb aïllament tèrmic per l'exterior de la façana existent. En primer lloc es comprova que col·locant el nou balanç tèrmic de l'estança, amb les seves pèrdues per transmissió i guany per radiació, el valor de la seva demanda segueix sent coherent amb les línies guia trobades en l'eina de predimensionat. El resultat és positiu, amb desajustos menors a 0,2 kWh/m<sup>2</sup>.

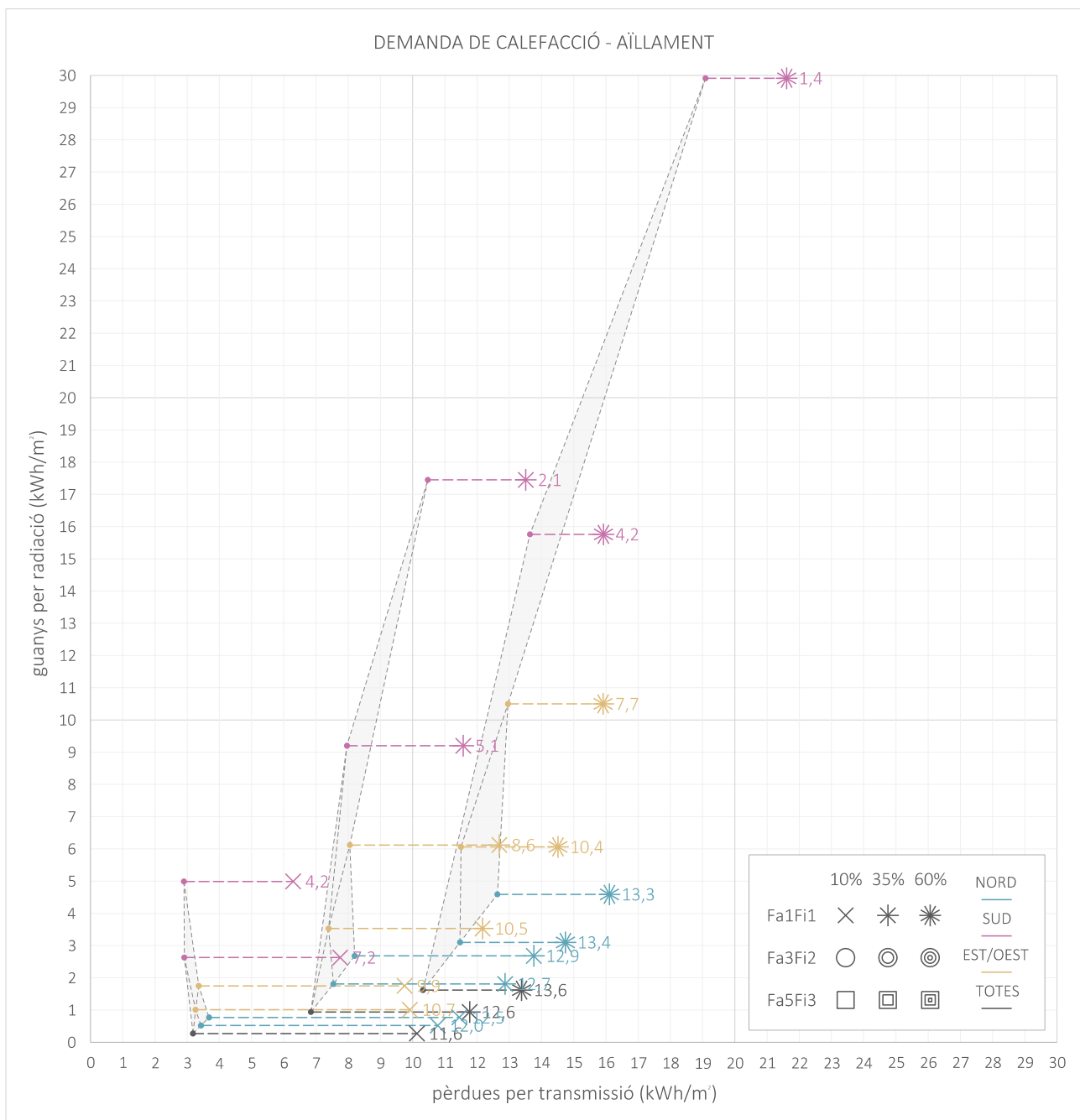


Figura 7-24: Verificació de la hipòtesi de desplaçament dels casos d'estudi dins del gràfic de demanda de calefacció, segons la intervenció escollida. Fase 2. Font: elaboració pròpia.

Seguidament, es tornen a col·locar els resultats de l'estat inicial amb els símbols originals, i en punts rodons la nova situació després d'afegir l'aïllament. Així, es pot estudiar el desplaçament que s'ha produït en el gràfic.

En primer lloc, s'observa com aquestes línies d'unió són perfectament horitzontals. Això indica que la intervenció d'aïllament tèrmic exterior no intervé gens en els guanys per radiació de l'estança, i que, per tant, l'únic eix que experimenta una variació de valor és l'eix x.

També es destaca que, dins de cada grup de construcció i percentatge de finestra, les orientacions amb menor radiació incident experimenten un desplaçament major que aquelles amb major incidència solar.

D'entre els tres grups, es pot apreciar com el de menor proporció de finestra en façana es desplaça lleugerament més cap a l'esquerra. És a dir, millora més perquè l'aïllament millora la transmitància tèrmica de la part opaca, que en el seu cas és gran part de la superfície total de façana.

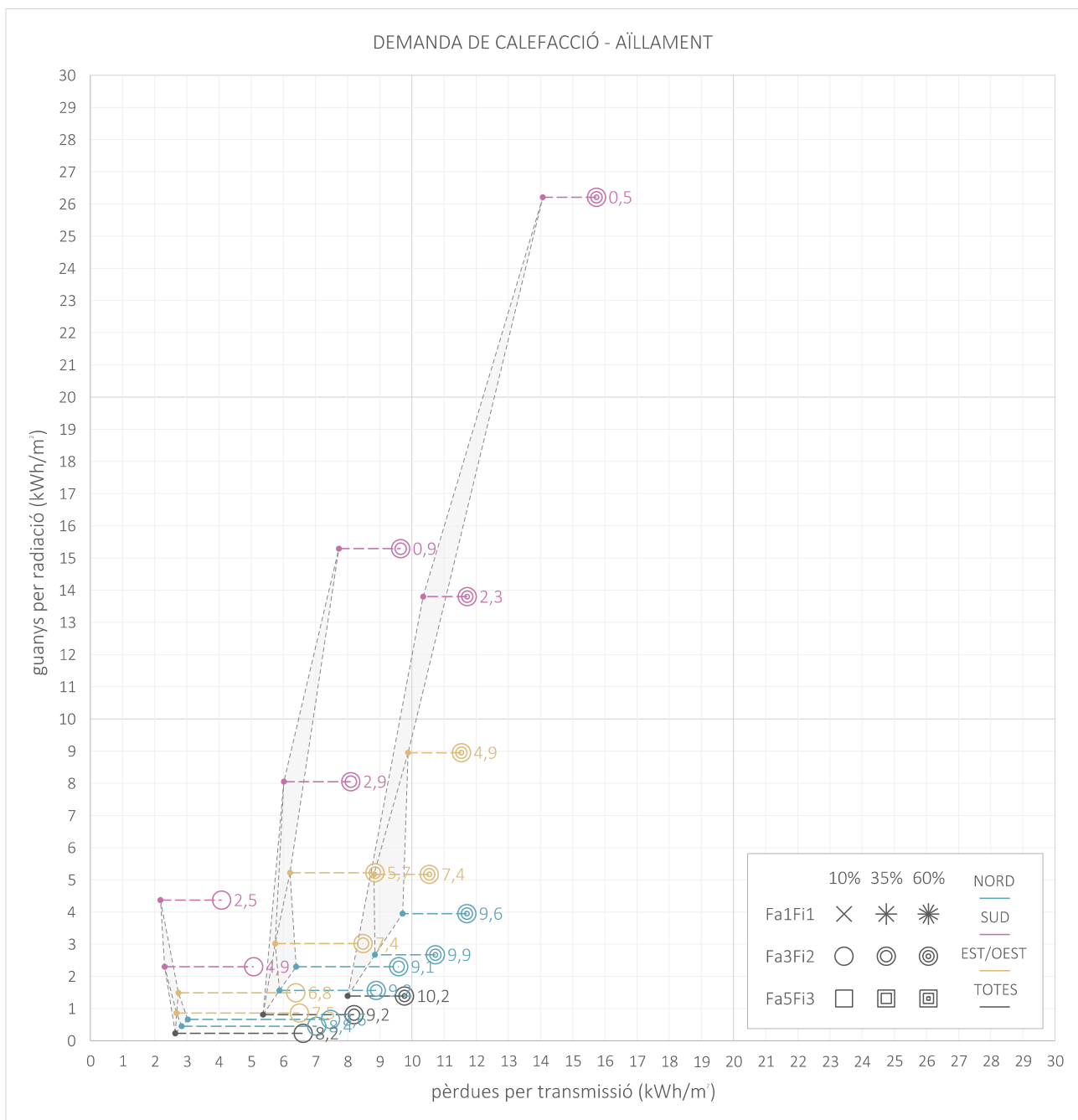


Figura 7-25: Verificació de la hipòtesi de desplaçament dels casos d'estudi dins del gràfic de demanda de calefacció, segons la intervenció escollida. Fase 3. Font: elaboració pròpia.

En comparació amb els casos anteriors de pitjor tipus constructiu, els de construcció mitja es desplacen lleugerament menys cap a l'esquerra. Aquest fet és degut a que la seva transmitància tèrmica mitjana de façana inicial era millor, i, per tant, la millora en percentatge en afegir l'aïllament és més reduïda.

Per altra banda, entre els tres grups de percentatge de finestra diferent, s'observa un comportament similar al gràfic anterior, obtenint el cas de més façana opaca com el major millora.

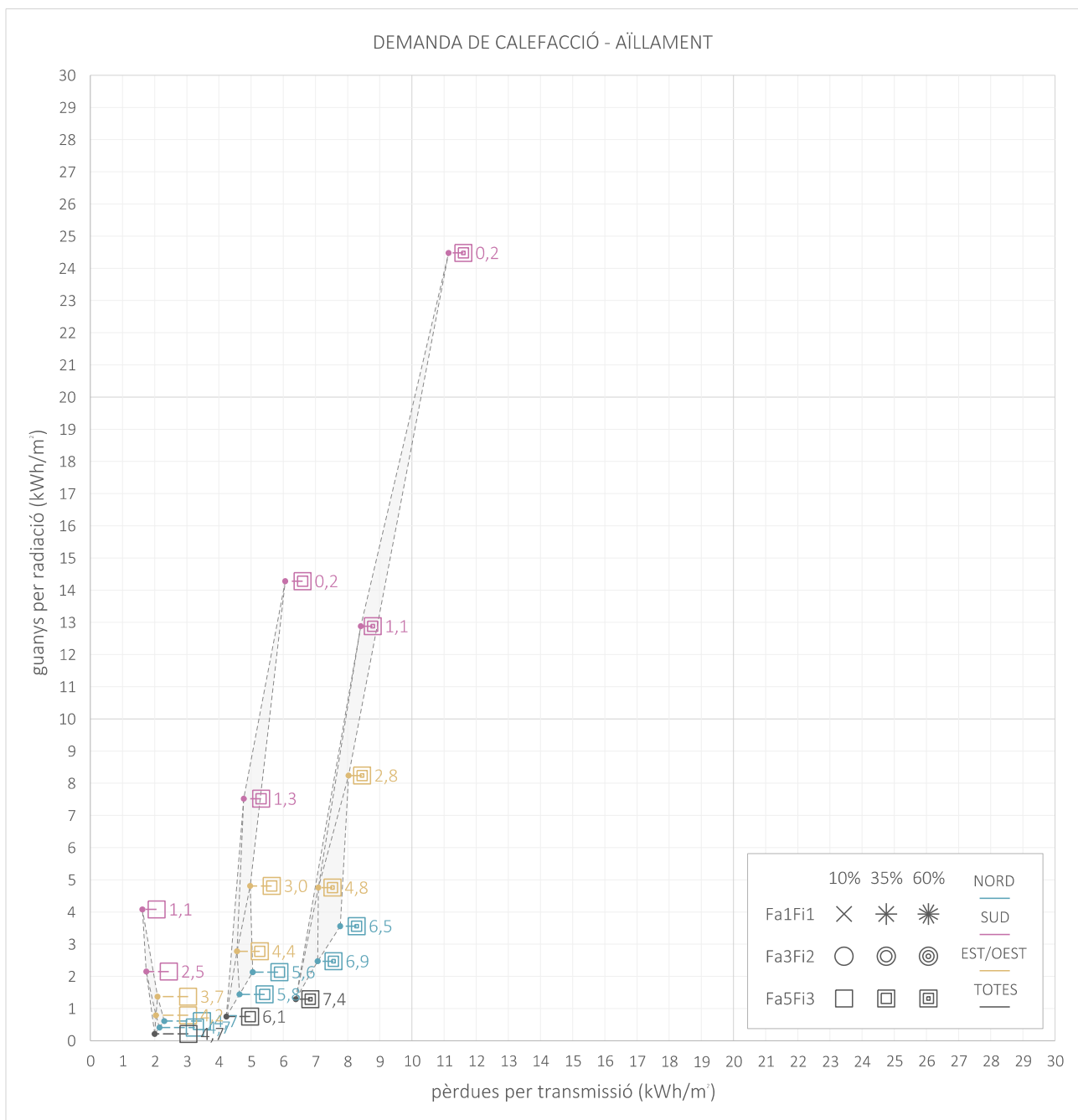


Figura 7-26: Verificació de la hipòtesi de desplaçament dels casos d'estudi dins del gràfic de demanda de calefacció, segons la intervenció escollida. Fase 4. Font: elaboració pròpia.

Finalment, es mostren els tres grups corresponents a la construcció inicial de major resistència tèrmica. En aquests casos, la disminució de demanda gràcies a l'addició d'aïllament tèrmic exterior és molt reduïda, quasi imperceptible en alguns casos.



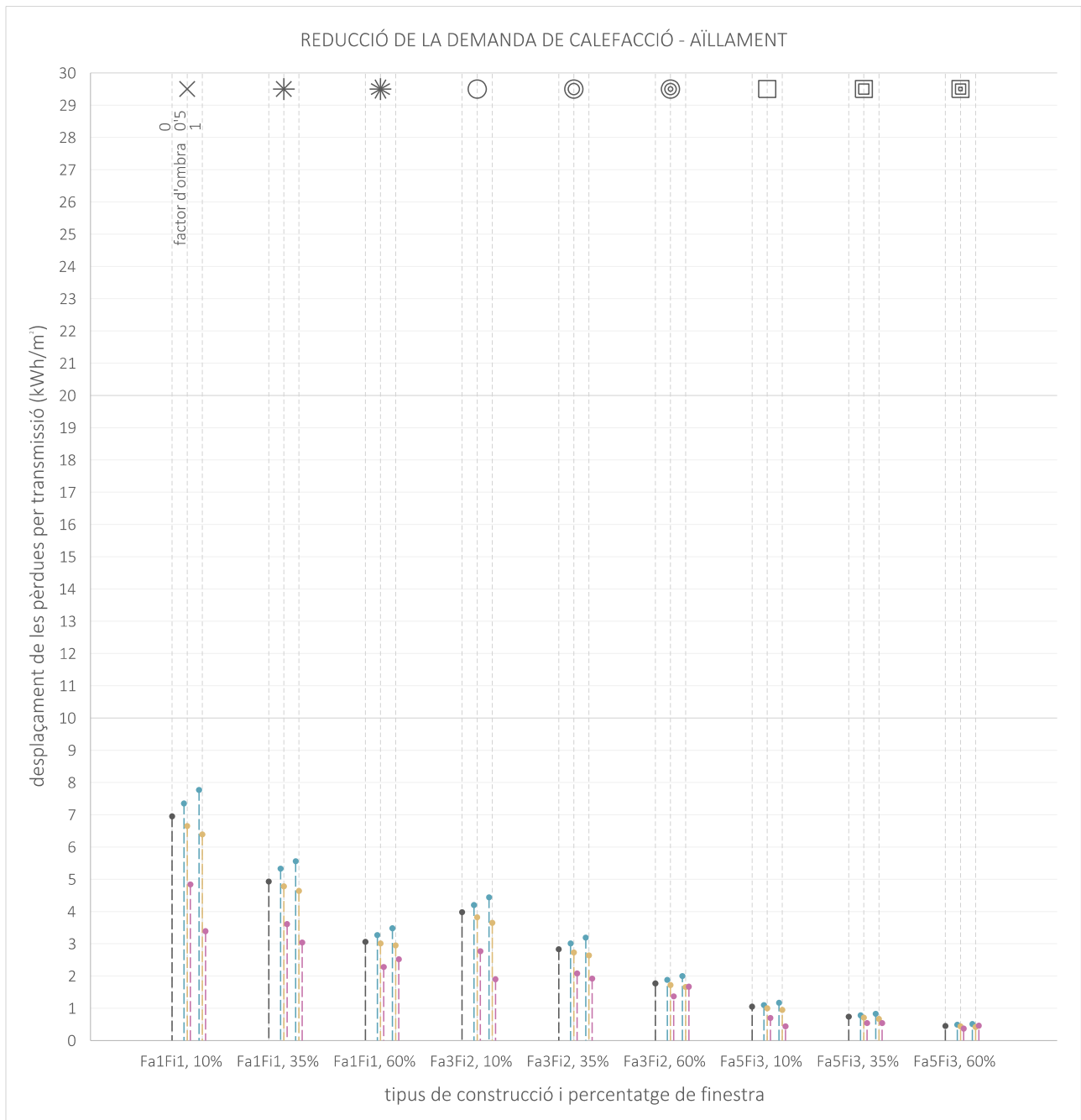


Figura 7-27: Verificació de la hipòtesi de desplaçament dels casos d'estudi dins del gràfic de demanda de calefacció, segons la intervenció escollida. Fase 5. Font: elaboració pròpia.

Així doncs, se sap la direcció en la que es mou el cas d'estudi en aplicar-li la intervenció d'aïllament, però cal saber quina distància es desplaça dins del gràfic. Per aquesta raó, s'ordenen les línies de desplaçament en funció dels paràmetres estudiats, per tal de buscar una lògica de desplaçament comuna.

En aquesta organització de dades es mostra tot el que s'ha anat veient en els gràfics anteriors. La millora és major per a construccions pitjors, per a percentatges de finestra menors, i per a orientacions amb menor radiació solar incident.

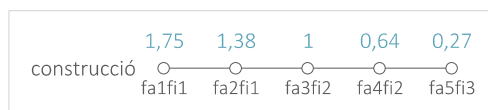
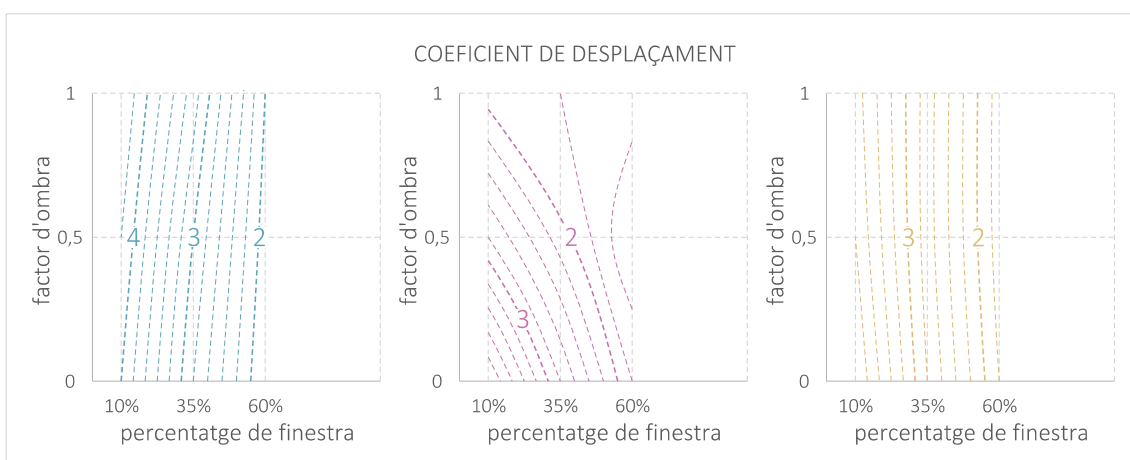
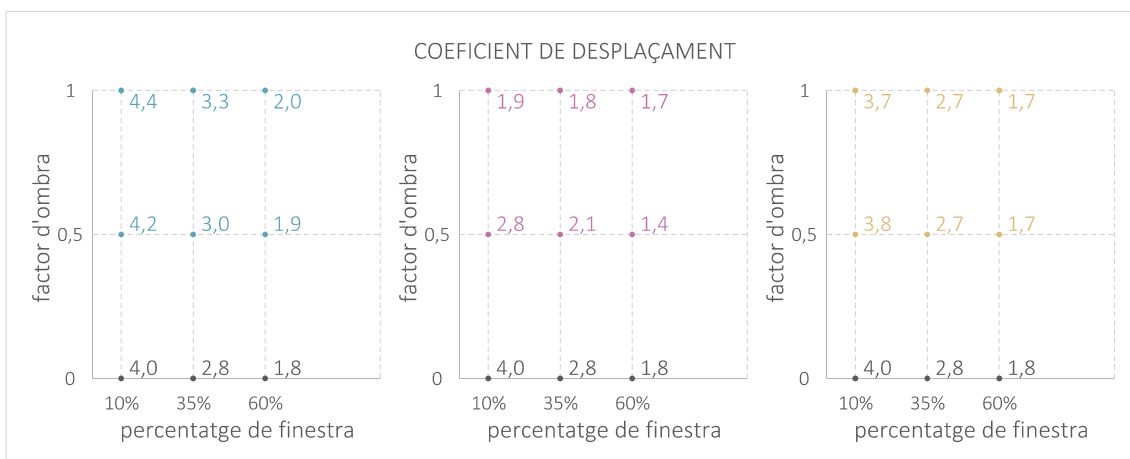


Figura 7-28: Verificació de la hipòtesi de desplaçament dels casos d'estudi dins del gràfic de demanda de calefacció, segons la intervenció escollida. Fase 6. Font: elaboració pròpia.

Finalment es normalitzen aquests desplaçaments segons les característiques de l'estança. A la part superior s'observen els valors extrems de la figura 7-27, al centre, els gràfics aconseguits en els que s'introdueixen les característiques i s'obté un primer coeficient, i a baix un segon coeficient a partir del tipus de construcció. Aquests dos coeficients es multipliquen i s'obté així el valor del desplaçament en l'eix de pèrdues per transmissió, en kWh/m<sup>2</sup>.

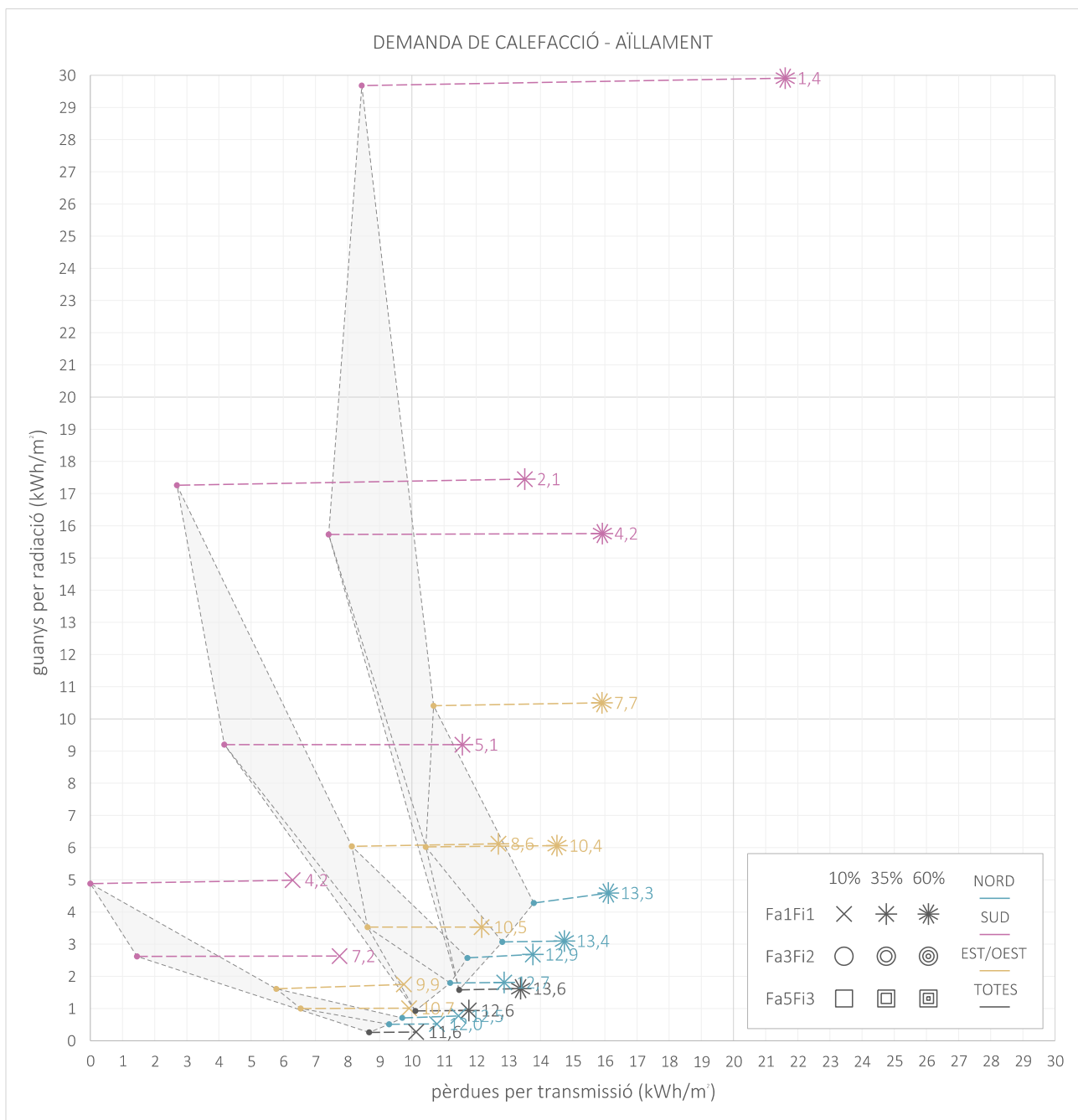


Figura 7-29: Verificació de la hipòtesi de desplaçament dels casos d'estudi dins del gràfic de demanda de calefacció, segons la intervenció escollida. Fase 7. Font: elaboració pròpia.

A continuació, es repeteix el procés per a la intervenció d'addició d'una galeria a tota la superfície de façana. En aquesta intervenció, tot i que el desplaçament també és primordialment horitzontal i en direcció a la reducció de les pèrdues per transmissió, en alguns casos es mostra també un lleuger desplaçament cap avall, resultat de l'obstrucció puntual de la radiació solar per part del contorn opac de la galeria, tot i que aquest efecte és quasi imperceptible.

A diferència del cas d'aïllament exterior, aquí es veu com els polígons de cada un dels 9 grups de construcció i percentatge de finestra roten en sentit antihorari després de la intervenció. És a dir, les línies de millora són més llargues per a les orientacions amb major radiació incident.

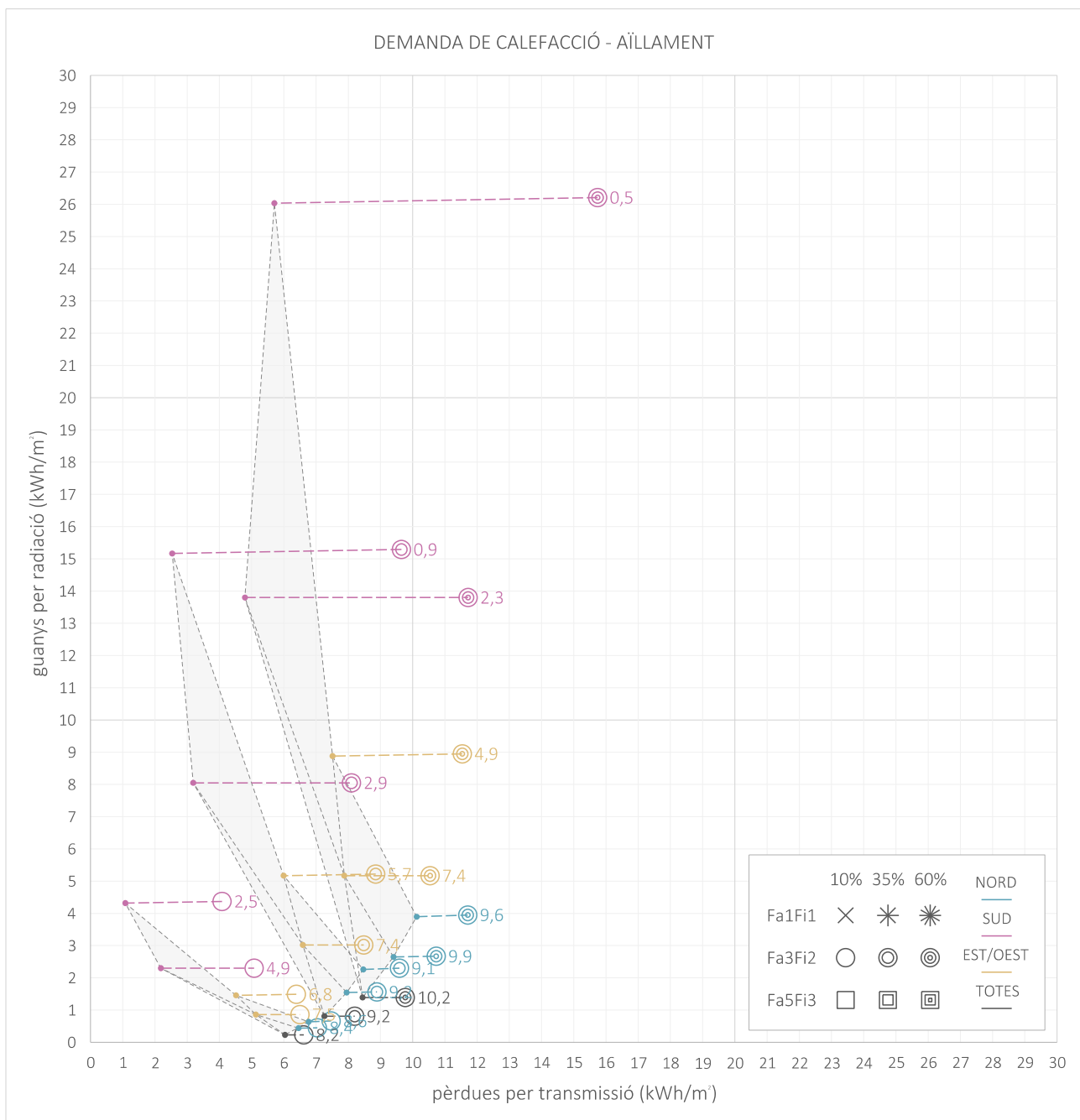


Figura 7-30: Verificació de la hipòtesi de desplaçament dels casos d'estudi dins del gràfic de demanda de calefacció, segons la intervenció escollida. Fase 8. Font: elaboració pròpia.

A més, en el cas de l'aïllament els casos de menor proporció de finestra eren els que obtenien un desplaçament major, mentre que en el cas de la galeria succeeix al revés, obtenint major reducció de demanda els casos amb 60% de finestra. Per contra, sí que es repeteix el patró entre els tipus de construcció, obtenint menys desplaçament com millor era aquesta inicialment.

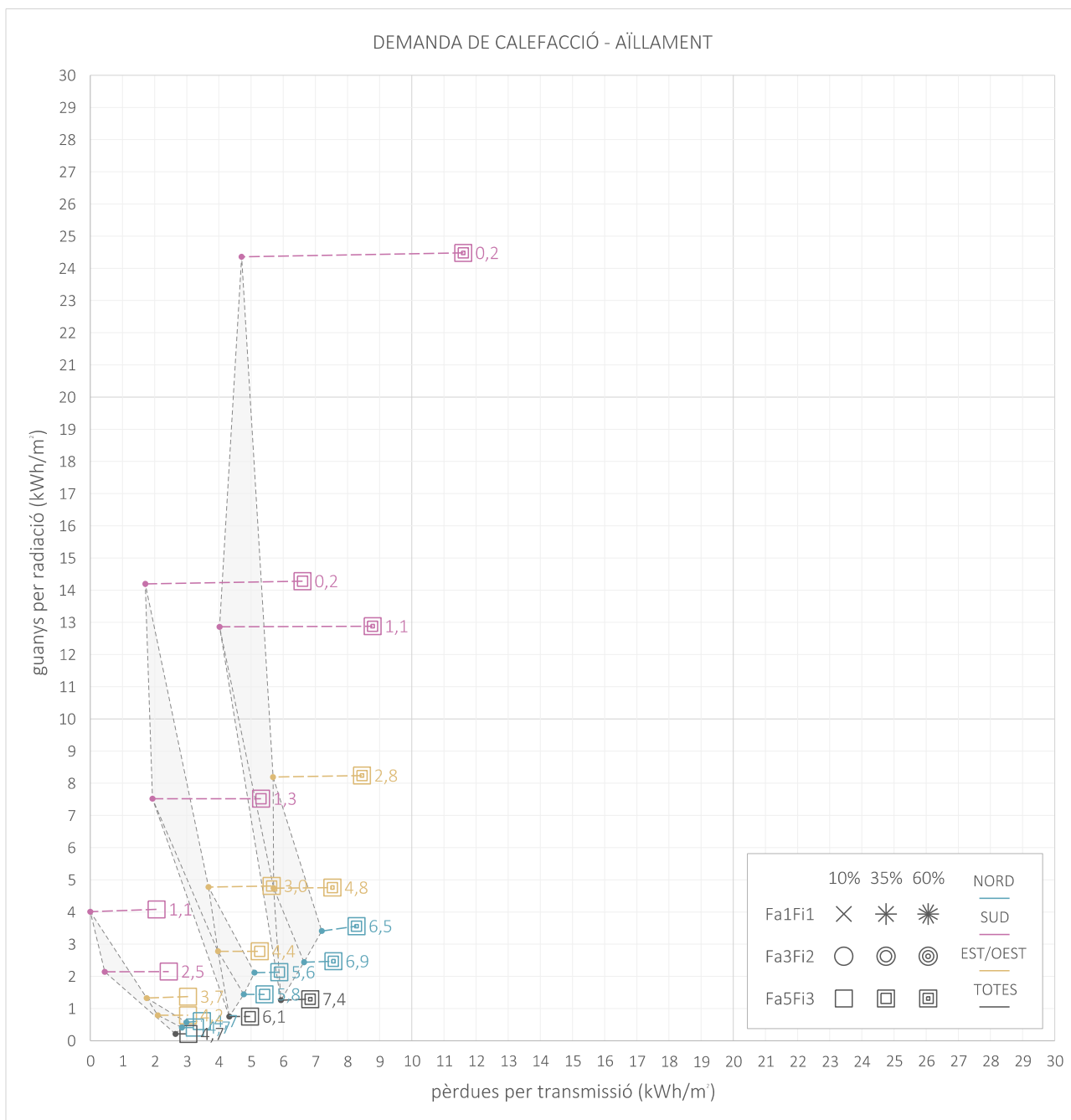


Figura 7-31: Verificació de la hipòtesi de desplaçament dels casos d'estudi dins del gràfic de demanda de calefacció, segons la intervenció escollida. Fase 9. Font: elaboració pròpia.

Per al millor tipus de construcció, tot i que, com s'ha dit, la millora és menor, en el cas de galeria encara s'observa un desplaçament notable, mentre que en el cas d'aïllament era un moviment mínim.

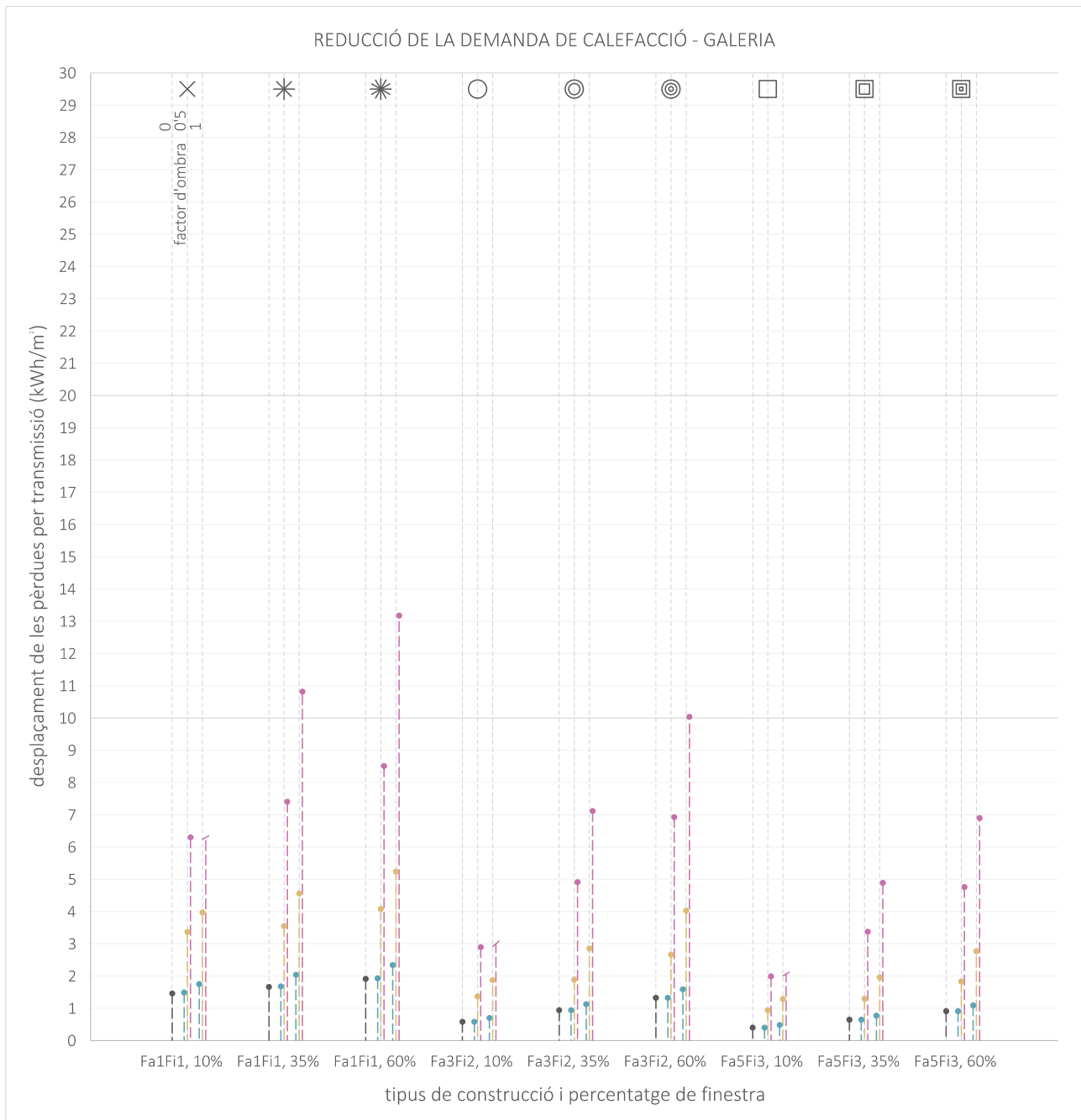


Figura 7-32: Verificació de la hipòtesi de desplaçament dels casos d'estudi dins del gràfic de demanda de calefacció, segons la intervenció escollida. Fase 10. Font: elaboració pròpia.

En la recopilació dels desplaçaments en l'eix x de la intervenció de galeria es mostren uns resultats molt diferents als del cas de l'aïllament. L'única propietat que comparteixen les dues intervencions és que la millora és major per a construccions pitjors, tot i que en proporció, aquesta diferència era molt més accentuada en l'aïllament. Per a la resta de propietats, en el cas de la galeria la millora és major per a percentatges de finestra més elevats i orientacions amb radiació solar incident major.

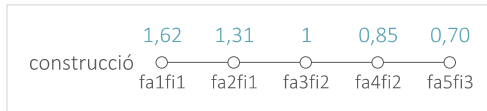
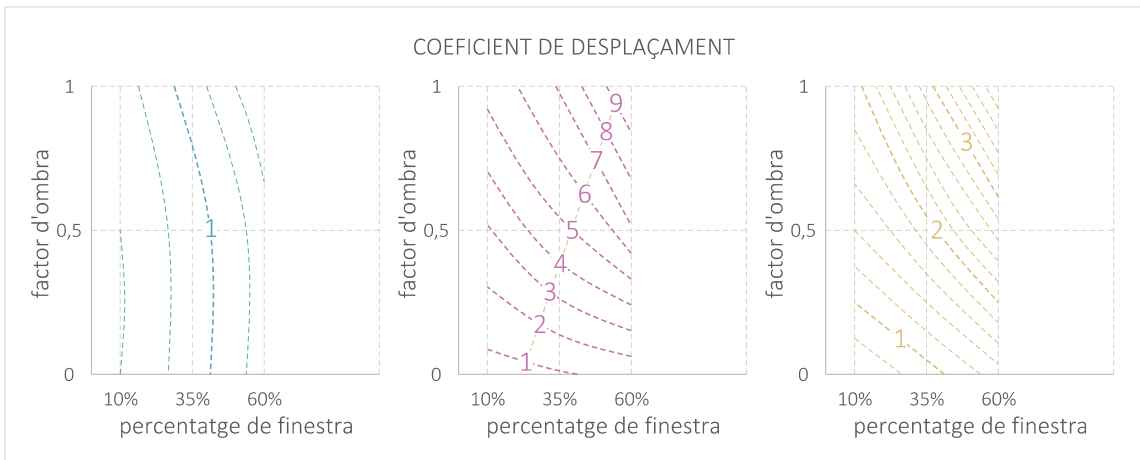
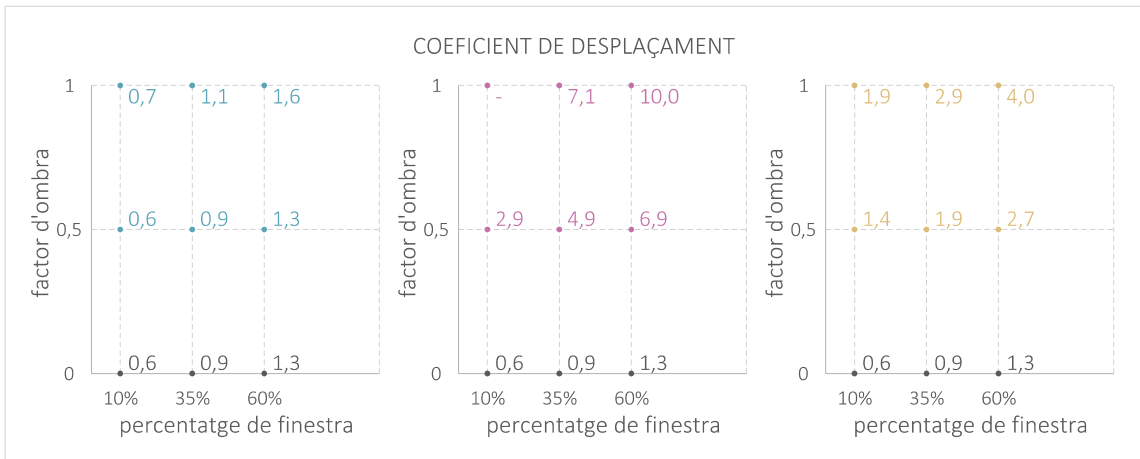


Figura 7-33: Verificació de la hipòtesi de desplaçament dels casos d'estudi dins del gràfic de demanda de calefacció, segons la intervenció escollida. Fase 11. Font: elaboració pròpia.

De la figura 7-32 s'obtenen els valors de desplaçament dels casos simulats, a partir dels quals s'elaboren els gràfics centrals per a les 3 orientacions, i finalment el coeficient segons el tipus de construcció de l'estança d'estudi.

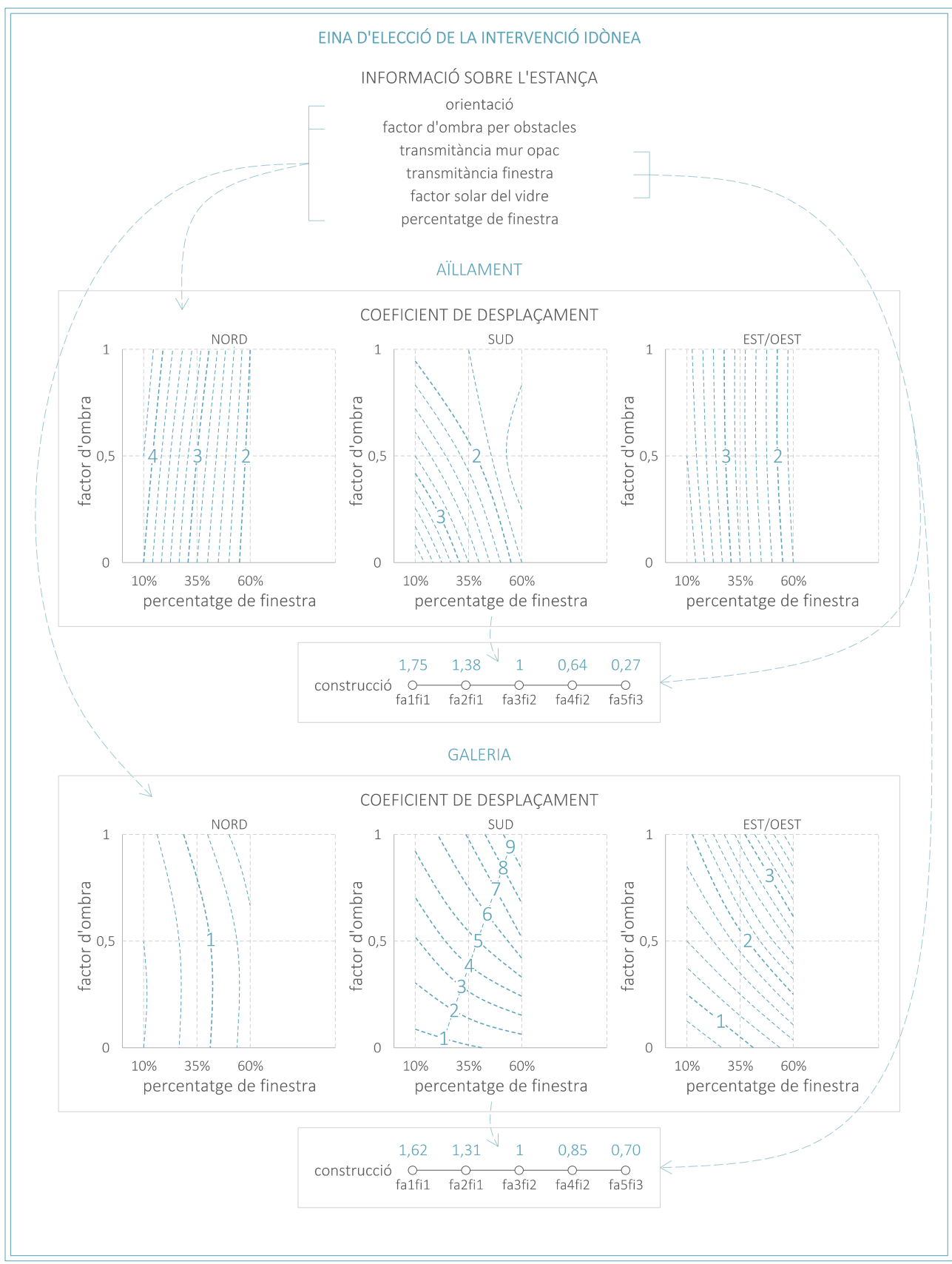


Figura 7-34: Esquema general del funcionament de l'eina gràfica d'elecció de la intervenció òptima per a la reducció de la demanda de calefacció del mes de gener. Font: elaboració pròpia.

Per acabar, la figura superior expressa el funcionament de l'eina d'elecció de la millor intervenció per a cada cas d'estudi, comparant la millora aportada per l'addició d'aïllament amb la d'una galeria. A cada un d'ells s'obtenen dos coeficients que, multiplicats, ofereixen el valor del desplaçament horitzontal en kWh/m<sup>2</sup> a introduir en el gràfic del predimensionat.



## 8. CONCLUSIONS

En la present investigació s'ha donat a conèixer el funcionament del comportament higròtermic d'una estança de façana amb paràmetres -geomètrics, materials i de l'entorn- canviants, situada en un edifici residencial de tipologia constructiva convencional en el clima mediterrani litoral, a través de la utilització d'un mètode de càlcul dinàmic. Sovint, la complexitat dels intercanvis d'energia a través de la façana dificulta als arquitectes entendre les conseqüències dels seus dissenys, siguin d'obra nova o en forma de rehabilitació. La novetat d'aquesta tesina, doncs, recau en la recerca d'un camí per a fer més accessibles aquests coneixements al gruix de la professió, a través d'una eina gràfica, pràctica i precisa, que permeti la incorporació de l'estudi energètic des de les primeres etapes de projecte, sense el requeriment d'un temps i uns coneixements elevats.

### **Conclusió general del treball**

Com a conclusió general, es pot afirmar que el mètode d'organització i gestió dels resultats ha permès obtenir una eina gràfica amb la doble funció que es desitjava inicialment. En primer lloc, permet fer un predimensionament de la demanda inicial de calefacció d'una estança d'estudi que estigui dins de l'àmbit d'aplicació, i després, encamina l'elecció de la intervenció més idònia, escollint entre l'addició d'aïllament tèrmic per l'exterior o d'una galeria. A més, la presentació en format gràfic ha mostrat una alta capacitat comunicativa, aconseguint un grau més elevat d'interpel·lació amb el lector que no pas quadres i fórmules numèriques. Aquest fet, a part de facilitar el seu ús, permet, a més, transmetre de manera àgil i visual molta més informació i de major complexitat, sense que això suposi un sobreesforç de comprensió.

En relació a l'anàlisi higròtermic, s'ha vist en aquest treball la gran divergència que hi ha entre l'estudi dinàmic emprat, i els models estàtics simplificats, que no prenen en consideració efectes com el del sobreescalfament progressiu durant el dia, un fenomen que ha resultat tenir un gran impacte en el balanç tèrmic de l'espai.

### **Conclusions específiques**

Començant pels cinc paràmetres variables estudiats, s'ha vist, en primer lloc, com la superfície i la proporció de l'estança tenen, en general, una gran influència en la demanda a nivell quantitatiu, però no fan variar en proporció els elements del balanç tèrmic. En l'altre extrem, el factor d'ombra, la construcció i el percentatge de finestra mostren un rang de variació de la demanda inferior, però generen una variabilitat en la importància relativa dels diferents fenòmens que influeixen en el seu comportament higròtermic.

En el clima estudiat, la calefacció pren un rol molt més rellevant que la refrigeració en les emissions de gasos d'efecte hivernacle referents a la climatització de l'espai. A més, els consums de les èpoques extremes mostren un comportament sovint oposat, és a dir, allò que és beneficiós per a l'hivern és sovint perjudicial o indiferent per a l'estiu.

En quant a les dues intervencions estudiades, l'aïllament influeix únicament en la transmitància del parament, reduint les pèrdues per transmissió de l'hivern. La galeria, al seu torn, també influeix principalment en la reducció de l'intercanvi tèrmic per transmissió, però enlloc de fer-ho reduint la transmitància, ho fa escurçant la diferència de temperatura a costat i costat de la façana, gràcies a la captació solar que genera un coixí tèrmic. A l'estiu, ofereix una protecció solar a la façana. Així, d'entre aquestes dues, l'única que presenta millores per a l'estiu és la galeria, mentre que a l'hivern totes dues són beneficioses, en major o menor grau segons la quantitat de radiació rebuda i les característiques constructives i geomètriques de l'estança.

### **Recorreguts descartats i futures línies d'investigació**

En els primers estadis d'evolució d'aquest treball es pretenia eliminar el paràmetre d'orientació dels resultats, tal com s'introdueix en annex 1. S'havia comprovat que per a l'estat inicial de l'estança, les demandes de calefacció i de refrigeració evolucionaven, en tots dos casos, seguint la quantitat de radiació incident. En el primer cas en proporció inversa, i en el segon, en proporció directa. Així, s'havia fet la hipòtesi que era equivalent el comportament d'una estança est al d'una estança sud que tingués la façana parcialment en ombra fins a igualar la radiació mitjana a la d'est. Aquesta hipòtesi semblava vàlida per a calefacció, i amb un petit marge d'error per a refrigeració, però va resultar inadequada durant l'estudi de les intervencions, per a casos en els que el fenomen de sobreescalfament prenia força. No és

equivalent, doncs, la capacitat de dissipar la calor excessiva de dins de l'estança a l'estiu d'un cas en el que la radiació incideix durant moltes hores però en petita quantitat, que en un altre cas en el que aquests guanys es donen ràpidament i en les hores de major temperatura exterior. Tot i així, encara hi ha un front obert en la interpretació d'aquest fenomen de sobreescalfament que, tot i ser més complex de l'esperat, ha de tenir forçosament una lògica que es pugui racionalitzar, i que serveixi per a la millora i simplificació de la consideració d'aquest fenomen dins de l'eina.

Per acabar, tal i com s'ha afirmat, es conclou que és possible l'obtenció d'una eina gràfica que condensi els fenòmens complexos del comportament energètic dinàmic. Aquest treball en mostra una primera versió per a l'hivern, que en futures investigacions podrà traslladar-se a l'estiu i podrà ser evolucionada per tal de millorar-ne la precisió, la capacitat d'abstracció i la facilitat d'ús per part de les persones usuàries. A més, es podrà anar expandint amb la finalitat d'englobar una quantitat major de casos d'estudi, incorporant nous gràfics o coeficients que permetin traslladar els resultats a casos d'altres climes, d'altres usos diferent al residencial o altres tipologies d'estança més complexes, com per exemple habitacions amb dues façanes, en contacte amb la coberta de l'edifici, amb lògiques de façana més complexes o amb elements de protecció solar preexistents. També es podrà expandir a través de la incorporació de més intervencions de reducció de la demanda, tant enfocades a la calor com al fred, sobretot apuntant a l'aprofitament de les bondats que ens brinda el clima.

En conclusió, aquesta és una eina amb un llarg recorregut per davant, però amb un gran potencial de cara a fomentar el retorn al disseny d'espais connectats amb el clima i amb el seu entorn.

## BIBLIOGRAFIA

### LLIBRES

01. Givoni, B. *Man, climate and architecture*. Elsevier Architectural Science Series. 1969.
02. Olgyay, V. *Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press, 1963.  
Traducción: *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Gustavo Gili, DL 1998.
03. Serra, R.; Coch, H. *Arquitectura y energía natural*. Politext, 1995. Arqutext, 2001.

### ARTICLES CIENTÍFICS

04. Garcia-Nevado, E.; Beckers, B.; Coch-Roura, H. *Characterization of façade fenestration for energy studies within the "Eixample" urban tissue of Barcelona*. Energy Procedia 122 (2017) 397-402.
05. Garcia-Nevado, E.; Beckers, B.; Coch-Roura, H.; Crespo, I. *Façade design and energy demand: fenestration indexes from an urban approach*. PLEA 2017. Proceedings, design to thrive. Vol. III, 5230-5237.
06. Garcia-Nevado, E.; Pagès-Ramon, A.; Coch, H. *Solar access assessment in dense urban environments: The effect of intersactions in an urban canyon*. Energies. 2016, 9, 796.

### INFORMES

07. De Arriba-Segura, P. *ODYSSÉE-MUR 2020. Rehabilitación energética de los edificios en España y en UE. Experiencia adquirida y principales recomendaciones*.
08. Cuchí, A., Sweatman, P. *INFORME GTR 2012. Una visión-país para el sector de la edificación en España*.
09. *ERESEE 2020. De la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética del sector de la edificación en España*. Secretaria General de Agenda Urbana y Vivienda, Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura.

### TREBALLS FINALS DE MÀSTER

10. Belando-Morant, M. *Rehabilitación energética a escala urbana ¿UrbanZEB? 2020*. TFM MISMeC, UPC.
11. Calle-Rebollo, J.A. *Una sinergia sin energía: estudio y caracterización de soluciones bioclimáticas: la galería solar*. 2020. TFM MISMeC, UPC.
12. Martínez-Lopezosa, A. *Rehabilitación energética de edificios de viviendas en el clima mediterráneo*. 2013. TFM MAEMA, UPC.
13. Soro-Espín, M. *La fachada sur en clima mediterráneo*. 2013. TFM MAEMA, UPC.

### WEBS

14. Atlas climàtic de Catalunya. Servei meteorològic de Catalunya.

## ANNEXES

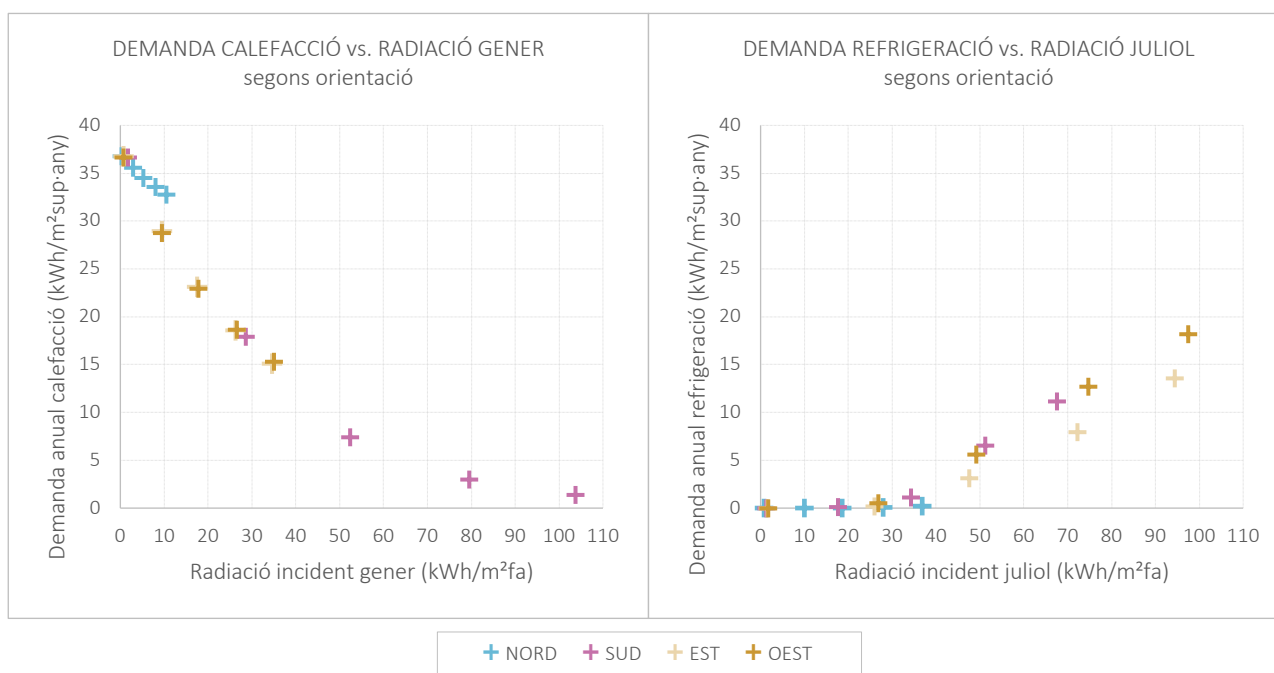
### Annex 1: Hipòtesi de correlació entre radiació incident i demanda

Es vol comprovar la hipòtesi de que la demanda de climatització augmenta i disminueix d'acord amb la radiació incident a la façana de l'habitació, amb independència de la orientació que tingui i del factor d'ombra. Això serviria per a eliminar el paràmetre d'orientació i també el de factor d'ombra projectada, resumint-los els dos en un únic, la radiació incident en el pla de façana. Per a fer-ho, es comença fent unes simulacions amb elements d'obstrucció de la radiació, per tal d'obtenir el valor final de radiació incident a la façana per a cada factor d'ombra. Com era d'esperar, a mesura que augmenten els obstacles, la radiació disminueix gairebé proporcionalment, només amb una petita diferència referent a la radiació difusa.

| RADIACIÓ INCIDENT AL MES DE GENER (kWh/m <sup>2</sup> fa-mes) |                |      |      |      |       |
|---|----------------|------|------|------|-------|
| ORIENTACIÓ  | FACTOR D'OMBRA |      |      |      |       |
|   | 0              | 0,25 | 0,5  | 0,75 | 1     |
| NORD  | 0,2            | 2,8  | 5,3  | 8,0  | 10,4  |
| SUD   | 1,7            | 28,5 | 52,4 | 79,5 | 103,6 |
| EST   | 0,6            | 9,4  | 17,5 | 26,2 | 34,5  |
| OEST  | 0,6            | 9,5  | 17,7 | 26,5 | 34,9  |

| RADIACIÓ INCIDENT AL MES DE JULIOL (kWh/m <sup>2</sup> fa-mes) |                |      |      |      |      |
|--|----------------|------|------|------|------|
| ORIENTACIÓ   | FACTOR D'OMBRA |      |      |      |      |
|  | 0              | 0,25 | 0,5  | 0,75 | 1    |
| NORD   | 0,8            | 9,9  | 18,6 | 28,0 | 36,8 |
| SUD  | 1,3            | 17,7 | 34,3 | 51,2 | 67,5 |
| EST  | 1,6            | 25,9 | 47,5 | 72,2 | 94,3 |
| OEST   | 1,7            | 26,8 | 49,1 | 74,6 | 97,5 |

A partir d'aquí, es simula el cas base amb tots els paràmetres centrals, en les quatre orientacions i amb els 5 factors d'ombra, i es normalitzen els resultats de demanda de climatització segons la radiació incident, per tal d'observar si existeix una correlació.



Així doncs, s'observa com en general es compleix aquesta correlació a l'hivern, amb una lleugera desviació a la façana nord. A l'estiu, les façanes est i oest arriben a tenir una diferència de 5 kWh/m<sup>2</sup>any tot i tenir pràcticament la mateixa radiació. Això succeeix perquè tot i ser quasi simètriques en quant a radiació, oest en rep lleugerament més, i sobretot, perquè no ho són en quant a temperatura, és a dir, en el moment d'incidència solar a oest, la temperatura exterior és més alta que quan incideix a l'orientació est.

## Annex 2: Consideracions del cas d'estudi

### Pèrdues per altres paraments

Queda palès que aquest treball d'investigació no engloba tots els casos que es poden presentar, ni ho pretén. És el cas, per exemple, de la simplificació que es fa en considerar totes les 5 cares diferents a la façana com a adiabàtiques. És possible que l'estança d'estudi estigui situada a l'última planta i que, per tant, tingui pèrdues tèrmiques importants a l'hivern i guanys per radiació a l'estiu, a través de la superfície de coberta. També pot ser que tingui dues superfícies verticals en contacte amb l'aire exterior, dues façanes, ja sigui adjacents a 90 graus o oposades.

Totes aquestes variacions modificarien es reserven com a punts clau d'interès per a futures investigacions.

### Ventilació entre estances i tipus de ventilació

En l'elaboració del balanç energètic d'una estança és essencial considerar l'efecte de la ventilació, ja que els guanys i pèrdues tèrmiques que aquesta produeix són rellevants, i més encara en considerar intervencions per a reduir l'intercanvi energètic per conducció a través dels paraments. Per aquesta raó, cal valorar atentament fins a quin grau es pot simplificar la dinàmica de fluids dins d'un habitatge, per tal de facilitar el desenvolupament d'un treball d'investigació com el present, però sense desembocar en un marge d'error massa elevat.

Per a aquest anàlisi compararem el funcionament teòric d'una estança independent "A", amb un segon cas on hi ha una segona estança adjacent "B", de mateix volum, que ha de ventilar a través de la primera. En l'estudi del comportament d'aquestes estances trobem 3 situacions diferents:

En primer lloc, analitzem el que succeeix en la hipòtesi de tenir l'espai climatitzat, i disposar d'una ventilació higiènica híbrida o mecànica, que fa 1 renovació/hora de manera constant però amb un baix cabal.

La ventilació amb sistemes híbrids o mecànics porta implícit que en el seu disseny s'han situat els elements d'admissió i extracció de tal manera que l'aire recorre tot l'espai. No es considera l'opció de que es disposi un recuperador de calor, que sempre seria més beneficiós.

En la hipòtesi d'una única estança "A", es comença amb una temperatura inicial  $T_{intA}$  que està dins del rang de confort tèrmic. Com que l'intercanvi d'aire és progressiu, podem considerar que cada minut es renova 1/60 part del volum de l'estança. Aquest procés lent permet que l'aire nou que entra de l'exterior sigui minoritari enfront del volum d'aire interior i que, per tant, pugui anar intercanviant calor amb la resta d'aire i els paraments. La nova temperatura interior al cap d'un minut  $T'_{intA}$  s'haurà apropat a l'exterior menys d'1/60 part de la diferència de temperatures. (Per exemple, si  $T_{intA}=20^{\circ}\text{C}$  i  $T_{ext}=14^{\circ}\text{C}$ , el diferencial de temperatura és  $6^{\circ}\text{C}$ , i 1/60 part d'això són  $0,1^{\circ}\text{C}$ , per tant, al cap d'un minut,  $T'_{intA}=19,9^{\circ}\text{C}$  si només es considera l'intercanvi de calor entre aires, però seria encara una mica major per l'intercanvi de calor amb els paraments.) Per tant, encara que la construcció no disposi d'inèrcia tèrmica, el sistema de climatització serà capaç de retornar l'estança a la seva temperatura inicial ràpidament, a través d'un consum CA.

Imaginem ara l'opció amb dues estances, els aires de les quals han d'estar forçosament en contacte. L'entrada d'aire nou haurà de ser el doble en valor absolut que en el cas anterior. Tot i així, en valor relatiu és el mateix, és a dir, el doble d'aire exterior es barreja amb el doble d'aire interior.

Analitzem ara el comportament si continuem amb la climatització encesa, però en aquest cas la ventilació higiènica es realitza de manera natural, en moments concrets del dia -quan els usuaris senten que l'aire està viciat- i amb un gran cabal instantani.

Tornem a imaginar una sola estança "A", però ara amb una forta renovació d'aire en un període curt de temps. En aquest cas, l'aire exterior reemplaça l'interior a una gran velocitat, reduint així l'intercanvi de calor entre ells. Per tant, després d'aquesta renovació, l'aire interior està aproximadament a la temperatura exterior  $T'_{intA} \approx T_{ext}$ . Tot i així, al tractar-se d'una acció ràpida, els paraments conserven la seva massa tèrmica quasi a la temperatura inicial i, per tant, en estar a una temperatura molt diferent a la de l'aire, tindran un fort intercanvi de calor amb aquest, tornant-lo a deixar a una temperatura força similar a la inicial, depenent de la quantitat d'inèrcia tèrmica dels paraments. Després, el sistema de climatització ha de tornar a condicionar l'aire fins a la temperatura de confort, a través d'un consum CA.

En afegir la segona estança "B" trobem dos casos amb resultats parcialment diferents.

Si l'obertura d'admissió d'aire es troba en "A" i la d'extracció en "B", és a dir, tenim ventilació creuada, l'aire recorre les dues estances per complet. Així, totes dues tindran un intercanvi ràpid, obtenint just després de la ventilació  $T'_{intA} = T'_{intB} \approx T_{ext}$ .

Per contra, si tant l'admissió com l'extracció es produeixen en l'estança "A", és possible que segons la geometria de les dues estances i de la seva superfície de contacte, l'aire no recorri per complet la segona, que tindrà un intercanvi de calor menor i que just després de la renovació pot acabar amb una temperatura intermitja entre l'original i l'exterior (Estiu:  $T_{ext} > T'_{intB} > T_{intB}$  / Hivern:  $T_{ext} < T'_{intB} < T_{intB}$ ). L'estança "A", per tant, renovarà encara més el seu aire. El resultat en quant a temperatura de l'aire interior no varia, obtenint  $T'_{intA} \approx T_{ext}$ , però aquest excés de renovació intercanviarà més calor amb la massa tèrmica. Tot i així, el diferencial de temperatura entre les dues estances fa que el parament que les separa deixi de ser adiabàtic, i que hi hagi un intercanvi de temperatura per conducció. El resultat, doncs, serà similar al primer cas, ja que la temperatura de les dues estances tendirà a igualar-se. En conseqüència, el més probable és que els consums de calefacció CA i CB siguin iguals cada un d'ells a CA del cas aïllat. I en qualsevol cas, si l'intercanvi per conducció és més lent que el que triga el sistema de climatització a retornar l'aire a la temperatura inicial, el consum de climatització CA augmentarà en la mateixa mesura que el consum CB disminuirà, i per tant, la mitjana de consum per m<sup>2</sup> serà la mateixa.

Finalment, analitzem el funcionament quan no tenim l'espai climatitzat, i tenim una ventilació constant de gran cabal com a mesura de refrigeració passiva. Aquesta hipòtesi, evidentment, només es donarà a l'estiu.

En aquest cas, no diferenciem una estança de dues, ja que el funcionament és clarament el mateix. Tot l'aire interior estarà a la mateixa temperatura que l'exterior.

En conclusió, podem dir que en cas d'obviar la ventilació d'altres estances a través de la nostra estança d'estudi, el marge d'error dels resultats del balanç energètic és molt petit. Per tant, per tal de facilitar el procés del present estudi, s'agafa aquesta premissa com a consideració inicial. De tota manera, en casos en que realment hi pugui haver una descompensació final, queda per a futures investigacions la definició d'un coeficient corrector de la demanda de climatització.



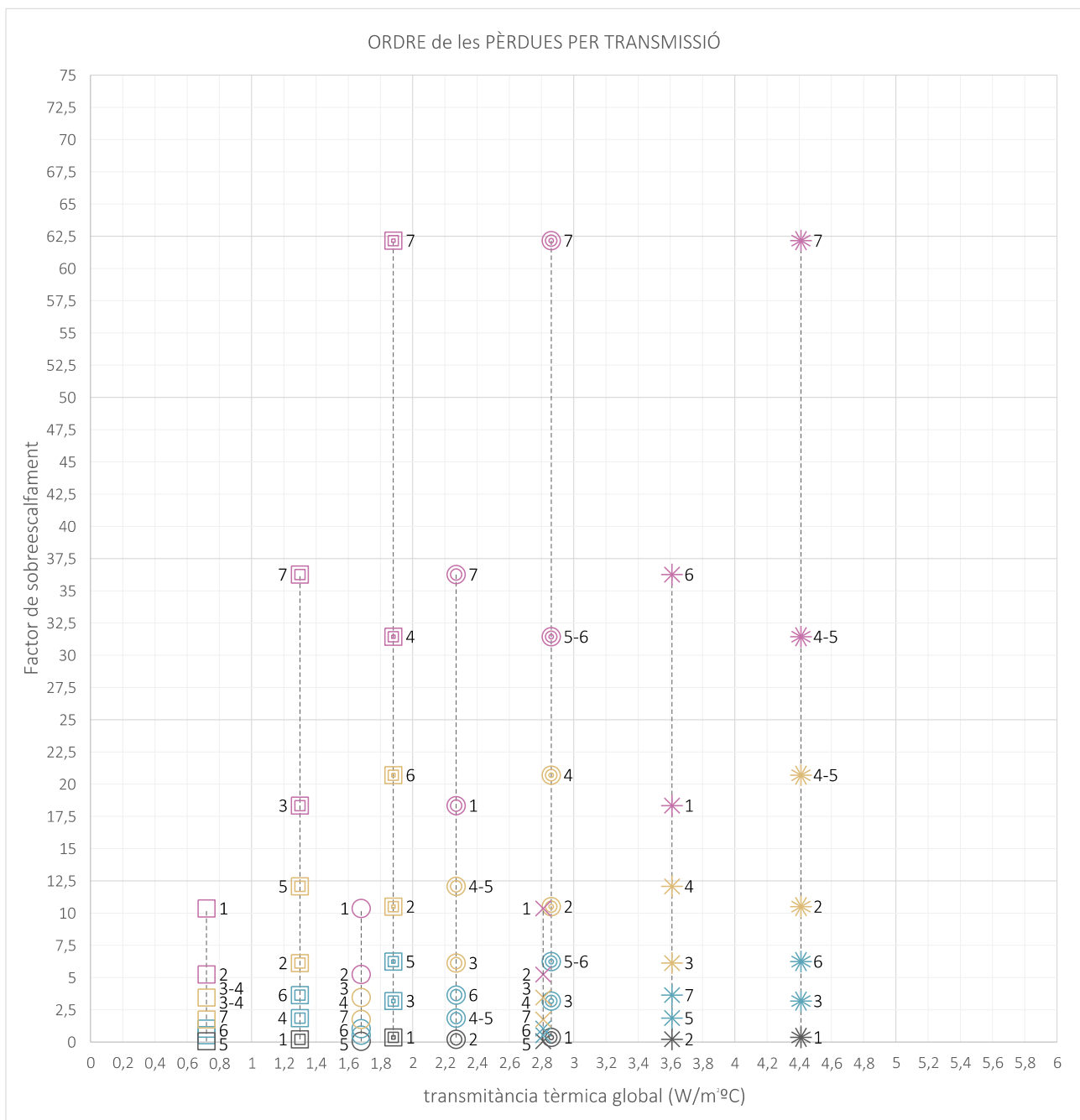


Figura 7.XX: Verificació de la hipòtesi d'obtenció de les pèrdues per transmissió a través del factor de sobreescalfament i la transmissància tèrmica global. Fase 2. Font: elaboració pròpia. Valors numèrics a la Taula 7.XX de l'Annex XX.

Per a cada columna s'adjudica a cada un dels set punts un ordre, de l'1 al 7, segons el valor de pèrdues per transmissió, anant de menor a major. Això permet observar com el percentatge de finestra té una gran influència en la repartició vertical d'aquests set punts. En concret, per a 60% de finestra, el valor més alt sempre correspon a la orientació sud amb factor d'ombra 1, mentre que per a 10% de finestra aquesta orientació passa a ser la de valor més baix, i el més alt correspon a est amb Fo=0,5.

Tot i les conclusions que es poden extreure, no és possible aconseguir una lògica per a la generació d'una nova fórmula de càlcul del factor de sobreescalfament tenint en compte les orientacions i els factors d'ombra. Es decideix, per tant, descartar la 1ª hipòtesi i reorganitzar les dades des d'una altra perspectiva, buscant un coeficient de sobreescalfament.



## Annex 4: Taules de resultats

### Dades apartat 5: Anàlisi de la influència dels paràmetres en la demanda inicial

#### Anàlisi del cas central

|      | RADIACIÓ INCIDENT<br>AL MÉS DE GENER<br>(kWh/m <sup>2</sup> façana·mes) | DEMANDA ANUAL<br>DE CALEFACCIÓ<br>(kWh/m <sup>2</sup> superfície·any) |      | RADIACIÓ INCIDENT<br>AL MÉS DE JULIOL<br>(kWh/m <sup>2</sup> façana·mes) | DEMANDA ANUAL<br>DE REFRIGERACIÓ<br>(kWh/m <sup>2</sup> superfície·any) |
|------|---|---|------|--|---|
| NORD | 5,3   | 34,52   | NORD | 18,6   | 0,02  |
| SUD  | 52,4  | 7,42  | SUD  | 34,3   | 1,08  |
| EST  | 17,5  | 23,10   | EST  | 47,5   | 3,12  |
| OEST | 17,7  | 22,90   | OEST | 49,1   | 5,57  |

Taules 5-01: Radiació incident i demanda de calefacció i refrigeració del cas central, mesos de gener i juliol.

| BALANÇ ENERGÈTIC GENER |             |       |       |       | BALANÇ ENERGÈTIC JULIOL |             |       |       |       |
|------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------------------------|-------------|-------|-------|-------|
| kWh/m <sup>2</sup>     | CAS CENTRAL |       |       |       | kWh/m <sup>2</sup>      | CAS CENTRAL |       |       |       |
|                        | NORD        | SUD   | EST   | OEST  |                         | NORD        | SUD   | EST   | OEST  |
| Calefacció             | 9,17        | 2,91  | 7,39  | 7,45  | Calefacció              | 0,00        | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| Radiació               | 1,56        | 8,05  | 3,02  | 3,02  | Radiació                | 4,90        | 6,16  | 9,23  | 9,42  |
| Càrregues internes     | 4,34        | 4,34  | 4,34  | 4,34  | Càrregues internes      | 4,31        | 4,31  | 4,31  | 4,31  |
| Infiltració            | -1,38       | -1,48 | -1,38 | -1,38 | Infiltració             | -0,20       | -0,24 | -0,44 | -0,47 |
| Ventilació higiènica   | -4,71       | -5,08 | -4,72 | -4,73 | Ventilació higiènica    | -0,77       | -1,08 | -2,81 | -3,43 |
| Ventilació natural     | 0,00        | -0,11 | 0,00  | 0,00  | Ventilació natural      | -6,87       | -7,79 | -5,77 | -4,11 |
| Transmissió opac       | -4,18       | -3,37 | -3,86 | -3,88 | Transmissió opac        | 0,07        | 0,32  | -0,03 | -0,16 |
| Transmissió vidre      | -4,71       | -4,73 | -4,62 | -4,64 | Transmissió vidre       | -0,76       | -0,81 | -1,37 | -1,53 |
| Refrigeració           | 0,00        | 0,00  | 0,00  | 0,00  | Refrigeració            | -0,02       | -0,15 | -2,03 | -2,93 |

Taules 5-02: Balanç energètic mensual del cas central, pels mesos de gener i juliol.

#### Anàlisi individual dels paràmetres

| DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ (kWh/m <sup>2</sup> sup·any) |                |       |       |       |       | DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ (kWh/m <sup>2</sup> sup·any) |                |      |      |       |       |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|--|----------------|------|------|-------|-------|
| ORIENTACIÓ   | FACTOR D'OMBRA |       |       |       |       | ORIENTACIÓ   | FACTOR D'OMBRA |      |      |       |       |
|  | 0              | 0,25  | 0,5   | 0,75  | 1     |  | 0              | 0,25 | 0,5  | 0,75  | 1     |
| NORD   | 36,81          | 35,60 | 34,52 | 33,58 | 32,74 | NORD   | 0,00           | 0,00 | 0,02 | 0,07  | 0,19  |
| SUD  | 36,67          | 17,89 | 7,42  | 3,01  | 1,35  | SUD  | 0,00           | 0,08 | 1,08 | 6,54  | 11,17 |
| EST  | 36,79          | 28,98 | 23,10 | 18,58 | 15,09 | EST  | 0,00           | 0,17 | 3,12 | 7,95  | 13,58 |
| OEST   | 36,65          | 28,74 | 22,90 | 18,65 | 15,31 | OEST   | 0,00           | 0,48 | 5,57 | 12,70 | 18,21 |

Taules 5-03: Demanda anual de calefacció i refrigeració segons factor d'ombra.

| BALANÇ ENERGÈTIC GENER |                |       |       |       | BALANÇ ENERGÈTIC JULIOL |                |       |       |       |
|------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------------------------|----------------|-------|-------|-------|
| kWh/m <sup>2</sup>     | FACTOR D'OMBRA |       |       |       | kWh/m <sup>2</sup>      | FACTOR D'OMBRA |       |       |       |
|                        | 0              |       | 1     |       |                         | 0              |       | 1     |       |
|                        | NORD           | SUD   | NORD  | SUD   |                         | NORD           | OEST  | NORD  | OEST  |
| Calefacció             | 9,21           | 9,18  | 9,12  | 0,86  | Calefacció              | 0,00           | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| Radiació               | 0,81           | 0,81  | 2,30  | 15,29 | Radiació                | 2,75           | 2,91  | 7,05  | 15,93 |
| Càrregues internes     | 4,34           | 4,34  | 4,34  | 4,34  | Càrregues internes      | 4,31           | 4,31  | 4,31  | 4,31  |
| Infiltració            | -1,38          | -1,38 | -1,38 | -1,85 | Infiltració             | -0,15          | -0,16 | -0,25 | -0,59 |
| Ventilació higiènica   | -4,71          | -4,71 | -4,70 | -6,54 | Ventilació higiènica    | -0,55          | -0,56 | -1,04 | -8,18 |
| Ventilació natural     | 0,00           | 0,00  | 0,00  | -1,26 | Ventilació natural      | -5,52          | -5,74 | -8,04 | -0,70 |
| Transmissió opac       | -3,93          | -3,92 | -4,43 | -3,64 | Transmissió opac        | 0,12           | 0,19  | 0,02  | 0,07  |
| Transmissió vidre      | -4,27          | -4,26 | -5,16 | -6,01 | Transmissió vidre       | -0,25          | -0,26 | -1,25 | -2,12 |
| Refrigeració           | 0,00           | 0,00  | 0,00  | 0,00  | Refrigeració            | 0,00           | 0,00  | -0,17 | -7,72 |

Taules 5-04: Balanç energètic mensual segons factor d'ombra, pels mesos de gener i juliol.

| DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ |    |                |       |       |       | DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |               |    |                |      |      |       |       |       |
|-----------------------------|----|----------------|-------|-------|-------|-------------------------------|---------------|----|----------------|------|------|-------|-------|-------|
| kWh/m²sup-any               |    | FACTOR D'OMBRA |       |       |       |                               | kWh/m²sup-any |    | FACTOR D'OMBRA |      |      |       |       |       |
|                             |    | 0              | 0,25  | 0,5   | 0,75  | 1                             |               |    | 0              | 0,25 | 0,5  | 0,75  | 1     |       |
| SUPERFÍCIE (m²)             | 6  | NORD           | 63,86 | -     | 59,66 | -                             | 56,49         | 6  | NORD           | 0,00 | -    | 0,05  | -     | 0,48  |
|                             |    | SUD            | 63,64 | -     | 15,40 | -                             | 4,58          |    | SUD            | 0,00 | -    | 2,92  | -     | 18,97 |
|                             |    | EST            | 63,86 | -     | 39,89 | -                             | 26,95         |    | EST            | 0,00 | -    | 4,21  | -     | 20,32 |
|                             |    | OEST           | 63,55 | -     | 40,10 | -                             | 27,75         |    | OEST           | 0,00 | -    | 10,11 | -     | 30,53 |
|                             | 12 | NORD           | 45,24 | -     | 42,33 | -                             | 40,08         | 12 | NORD           | 0,00 | -    | 0,03  | -     | 0,26  |
|                             |    | SUD            | 45,08 | -     | 9,53  | -                             | 2,20          |    | SUD            | 0,00 | -    | 1,65  | -     | 13,50 |
|                             |    | EST            | 45,24 | -     | 28,33 | -                             | 18,61         |    | EST            | 0,00 | -    | 3,70  | -     | 16,01 |
|                             |    | OEST           | 45,04 | -     | 28,13 | -                             | 18,97         |    | OEST           | 0,00 | -    | 7,17  | -     | 21,79 |
|                             | 18 | NORD           | 36,81 | 35,60 | 34,52 | 33,58                         | 32,74         | 18 | NORD           | 0,00 | 0,00 | 0,02  | 0,07  | 0,19  |
|                             |    | SUD            | 36,67 | 17,89 | 7,42  | 3,01                          | 1,35          |    | SUD            | 0,00 | 0,08 | 1,08  | 6,54  | 11,17 |
|                             |    | EST            | 36,79 | 28,98 | 23,10 | 18,58                         | 15,09         |    | EST            | 0,00 | 0,17 | 3,12  | 7,95  | 13,58 |
|                             |    | OEST           | 36,65 | 28,74 | 22,90 | 18,65                         | 15,31         |    | OEST           | 0,00 | 0,48 | 5,57  | 12,70 | 18,21 |
|                             | 24 | NORD           | 31,71 | -     | 29,79 | -                             | 28,26         | 24 | NORD           | 0,00 | -    | 0,02  | -     | 0,15  |
|                             |    | SUD            | 31,60 | -     | 6,35  | -                             | 0,98          |    | SUD            | 0,00 | -    | 0,86  | -     | 10,09 |
|                             |    | EST            | 31,70 | -     | 20,01 | -                             | 13,03         |    | EST            | 0,00 | -    | 2,83  | -     | 12,26 |
|                             |    | OEST           | 31,60 | -     | 19,83 | -                             | 13,18         |    | OEST           | 0,00 | -    | 4,72  | -     | 15,82 |
|                             | 30 | NORD           | 28,30 | -     | 26,60 | -                             | 25,27         | 30 | NORD           | 0,00 | -    | 0,02  | -     | 0,13  |
|                             |    | SUD            | 28,19 | -     | 5,72  | -                             | 0,81          |    | SUD            | 0,00 | -    | 0,74  | -     | 9,29  |
|                             |    | EST            | 28,27 | -     | 17,95 | -                             | 11,72         |    | EST            | 0,00 | -    | 2,70  | -     | 11,28 |
|                             |    | OEST           | 28,21 | -     | 17,82 | -                             | 11,86         |    | OEST           | 0,00 | -    | 3,82  | -     | 14,48 |

| DEMANDA ANUAL TOTAL |    |                |         |       |       |       |         |
|---------------------|----|----------------|---------|-------|-------|-------|---------|
| kWh/m²sup-any       |    | FACTOR D'OMBRA |         |       |       |       |         |
|                     |    | 0              | 0,25    | 0,5   | 0,75  | 1     |         |
| SUPERFÍCIE (m²)     | 6  | NORD           | ● 63,86 | -     | 59,71 | -     | ● 56,97 |
|                     |    | SUD            | ● 63,64 | -     | 18,33 | -     | ● 23,55 |
|                     |    | EST            | ● 63,86 | -     | 44,10 | -     | ● 47,27 |
|                     |    | OEST           | ● 63,55 | -     | 50,21 | -     | ● 58,27 |
|                     | 12 | NORD           | 45,24   | -     | 42,36 | -     | 40,34   |
|                     |    | SUD            | 45,08   | -     | 11,18 | -     | 15,70   |
|                     |    | EST            | 45,24   | -     | 32,03 | -     | 34,63   |
|                     |    | OEST           | 45,04   | -     | 35,30 | -     | 40,76   |
|                     | 18 | NORD           | 36,81   | 35,60 | 34,55 | 33,65 | 32,93   |
|                     |    | SUD            | 36,67   | 17,97 | 8,50  | 9,54  | 12,52   |
|                     |    | EST            | 36,79   | 29,15 | 26,22 | 26,53 | 28,67   |
|                     |    | OEST           | 36,65   | 29,22 | 28,47 | 31,35 | 33,52   |
|                     | 24 | NORD           | 31,71   | -     | 29,81 | -     | 28,40   |
|                     |    | SUD            | 31,60   | -     | 7,22  | -     | 11,07   |
|                     |    | EST            | 31,70   | -     | 22,85 | -     | 25,29   |
|                     |    | OEST           | 31,60   | -     | 24,55 | -     | 29,01   |
|                     | 30 | NORD           | ● 28,30 | -     | 26,61 | -     | ● 25,40 |
|                     |    | SUD            | ● 28,19 | -     | 6,46  | -     | ● 10,10 |
|                     |    | EST            | ● 28,27 | -     | 20,65 | -     | ● 23,00 |
|                     |    | OEST           | ● 28,21 | -     | 21,65 | -     | ● 26,35 |

Taules 5-05: Demanda anual de calefacció, refrigeració i total segons factor d'ombra i superfície.

| BALANÇ ENERGÈTIC GENER |                 |       |       |       | BALANÇ ENERGÈTIC JULIOL |                 |       |       |       |
|------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------------------------|-----------------|-------|-------|-------|
| kWh/m²                 | SUPERFÍCIE (m²) |       |       |       | kWh/m²                  | SUPERFÍCIE (m²) |       |       |       |
|                        | 6               |       | 30    |       |                         | 6               |       | 30    |       |
|                        | NORD            | SUD   | NORD  | SUD   |                         | NORD            | OEST  | NORD  | OEST  |
| Calefacció             | 15,16           | 4,90  | 7,23  | 2,36  | Calefacció              | 0,00            | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| Radiació               | 2,70            | 13,94 | 1,21  | 6,23  | Radiació                | 8,48            | 16,31 | 3,80  | 7,30  |
| Càrregues internes     | 4,34            | 4,34  | 4,34  | 4,34  | Càrregues internes      | 4,31            | 4,31  | 4,31  | 4,31  |
| Infiltració            | -2,35           | -2,56 | -1,07 | -1,15 | Infiltració             | -0,32           | -0,79 | -0,16 | -0,35 |
| Ventilació higiènica   | -4,64           | -5,06 | -4,73 | -5,09 | Ventilació higiènica    | -0,72           | -4,80 | -0,78 | -2,88 |
| Ventilació natural     | 0,00            | -0,55 | 0,00  | -0,07 | Ventilació natural      | -9,65           | -5,31 | -5,99 | -4,11 |
| Transmissió opac       | -7,12           | -5,96 | -3,26 | -2,59 | Transmissió opac        | 0,07            | -0,49 | 0,06  | 0,00  |
| Transmissió vidre      | -8,04           | -8,33 | -3,68 | -3,63 | Transmissió vidre       | -1,37           | -2,90 | -0,57 | -1,05 |
| Refrigeració           | 0,00            | 0,00  | 0,00  | 0,00  | Refrigeració            | -0,05           | -5,06 | -0,02 | -2,15 |

Taules 5-06: Balanç energètic mensual segons superfície, pels mesos de gener i juliol.

| DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ |     |                |       |       |       | DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |               |     |                |      |      |       |       |       |
|-----------------------------|-----|----------------|-------|-------|-------|-------------------------------|---------------|-----|----------------|------|------|-------|-------|-------|
| kWh/m²sup-any               |     | FACTOR D'OMBRA |       |       |       |                               | kWh/m²sup-any |     | FACTOR D'OMBRA |      |      |       |       |       |
|                             |     | 0              | 0,25  | 0,5   | 0,75  | 1                             |               |     | 0              | 0,25 | 0,5  | 0,75  | 1     |       |
| PROPORCIÓ                   | 1a3 | NORD           | 22,13 | -     | 20,80 | -                             | 19,75         | 1a3 | NORD           | 0,00 | -    | 0,00  | -     | 0,01  |
|                             |     | SUD            | 22,05 | -     | 4,45  | -                             | 0,58          |     | SUD            | 0,00 | -    | 0,08  | -     | 4,86  |
|                             |     | EST            | 22,13 | -     | 14,24 | -                             | 9,44          |     | EST            | 0,00 | -    | 0,17  | -     | 9,83  |
|                             |     | OEST           | 22,04 | -     | 14,10 | -                             | 9,45          |     | OEST           | 0,00 | -    | 1,02  | -     | 11,30 |
|                             | 1a2 | NORD           | 26,59 | -     | 24,96 | -                             | 23,66         | 1a2 | NORD           | 0,00 | -    | 0,00  | -     | 0,03  |
|                             |     | SUD            | 26,50 | -     | 5,24  | -                             | 0,70          |     | SUD            | 0,00 | -    | 0,26  | -     | 8,83  |
|                             |     | EST            | 26,59 | -     | 16,88 | -                             | 11,03         |     | EST            | 0,00 | -    | 2,25  | -     | 10,91 |
|                             |     | OEST           | 26,48 | -     | 16,72 | -                             | 11,12         |     | OEST           | 0,00 | -    | 2,92  | -     | 13,23 |
|                             | 1a1 | NORD           | 36,81 | 35,60 | 34,52 | 33,58                         | 32,74         | 1a1 | NORD           | 0,00 | 0,00 | 0,02  | 0,07  | 0,19  |
|                             |     | SUD            | 36,67 | 17,89 | 7,42  | 3,01                          | 1,35          |     | SUD            | 0,00 | 0,08 | 1,08  | 6,54  | 11,17 |
|                             |     | EST            | 36,79 | 28,98 | 23,10 | 18,58                         | 15,09         |     | EST            | 0,00 | 0,17 | 3,12  | 7,95  | 13,58 |
|                             |     | OEST           | 36,65 | 28,74 | 22,90 | 18,65                         | 15,31         |     | OEST           | 0,00 | 0,48 | 5,57  | 12,70 | 18,21 |
|                             | 2a1 | NORD           | 52,05 | -     | 48,81 | -                             | 46,30         | 2a1 | NORD           | 0,00 | -    | 0,11  | -     | 0,56  |
|                             |     | SUD            | 51,85 | -     | 11,53 | -                             | 2,61          |     | SUD            | 0,00 | -    | 2,71  | -     | 15,39 |
|                             |     | EST            | 52,02 | -     | 32,60 | -                             | 21,50         |     | EST            | 0,01 | -    | 3,81  | -     | 16,68 |
|                             |     | OEST           | 51,88 | -     | 32,53 | -                             | 22,05         |     | OEST           | 0,01 | -    | 8,48  | -     | 24,63 |
|                             | 3a1 | NORD           | 59,29 | -     | 58,66 | -                             | 55,70         | 3a1 | NORD           | 0,00 | -    | 0,23  | -     | 0,97  |
|                             |     | SUD            | 59,08 | -     | 15,14 | -                             | 4,07          |     | SUD            | 0,00 | -    | 3,95  | -     | 18,74 |
|                             |     | EST            | 59,19 | -     | 39,29 | -                             | 26,36         |     | EST            | 0,00 | -    | 5,04  | -     | 19,15 |
|                             |     | OEST           | 59,14 | -     | 39,44 | -                             | 27,24         |     | OEST           | 0,00 | -    | 10,13 | -     | 29,29 |

| DEMANDA ANUAL TOTAL |     |                |         |       |       |       |         |
|---------------------|-----|----------------|---------|-------|-------|-------|---------|
| kWh/m²sup-any       |     | FACTOR D'OMBRA |         |       |       |       |         |
|                     |     | 0              | 0,25    | 0,5   | 0,75  | 1     |         |
| PROPORCIÓ           | 1a3 | NORD           | ☀ 22,13 | -     | 20,80 | -     | ☀ 19,76 |
|                     |     | SUD            | ☀ 22,05 | -     | 4,53  | -     | ☀ 5,44  |
|                     |     | EST            | ☀ 22,13 | -     | 14,41 | -     | ☀ 19,27 |
|                     |     | OEST           | ☀ 22,04 | -     | 15,12 | -     | ☀ 20,75 |
|                     | 1a2 | NORD           | 26,59   | -     | 24,96 | -     | 23,69   |
|                     |     | SUD            | 26,50   | -     | 5,50  | -     | 9,53    |
|                     |     | EST            | 26,59   | -     | 19,13 | -     | 21,94   |
|                     |     | OEST           | 26,48   | -     | 19,64 | -     | 24,36   |
|                     | 1a1 | NORD           | 36,81   | 35,60 | 34,55 | 33,65 | 32,93   |
|                     |     | SUD            | 36,67   | 17,97 | 8,50  | 9,54  | 12,52   |
|                     |     | EST            | 36,79   | 29,15 | 26,22 | 26,53 | 28,67   |
|                     |     | OEST           | 36,65   | 29,22 | 28,47 | 31,35 | 33,52   |
|                     | 2a1 | NORD           | 52,05   | -     | 48,91 | -     | 46,87   |
|                     |     | SUD            | 51,85   | -     | 14,23 | -     | 18,01   |
|                     |     | EST            | 52,02   | -     | 36,41 | -     | 38,18   |
|                     |     | OEST           | 51,89   | -     | 41,01 | -     | 46,68   |
|                     | 3a1 | NORD           | ● 59,29 | -     | 58,89 | -     | ● 56,67 |
|                     |     | SUD            | ● 59,08 | -     | 19,09 | -     | ● 22,80 |
|                     |     | EST            | ● 59,19 | -     | 44,32 | -     | ● 45,52 |
|                     |     | OEST           | ● 59,14 | -     | 49,57 | -     | ● 56,53 |

Taules 5-07: Demanda anual de calefacció, refrigeració i total segons factor d'ombra i proporció.

| BALANÇ ENERGÈTIC GENER |           |       |       |       | BALANÇ ENERGÈTIC JULIOL |           |       |       |       |
|------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| kWh/m²                 | PROPORCIÓ |       |       |       | kWh/m²                  | PROPORCIÓ |       |       |       |
|                        | 1a3       |       | 3a1   |       |                         | 1a3       |       | 3a1   |       |
|                        | NORD      | SUD   | NORD  | SUD   |                         | NORD      | OEST  | NORD  | OEST  |
| Calefacció             | 5,76      | 1,97  | 14,96 | 4,97  | Calefacció              | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| Radiació               | 0,90      | 4,65  | 2,70  | 13,94 | Radiació                | 2,83      | 5,44  | 8,49  | 16,32 |
| Càrregues internes     | 4,34      | 4,34  | 4,34  | 4,34  | Càrregues internes      | 4,31      | 4,31  | 4,31  | 4,31  |
| Infiltració            | -0,81     | -0,87 | -2,35 | -2,54 | Infiltració             | -0,11     | -0,23 | -0,37 | -0,81 |
| Ventilació higiènica   | -4,81     | -5,15 | -4,63 | -5,02 | Ventilació higiènica    | -0,66     | -2,25 | -0,91 | -4,80 |
| Ventilació natural     | 0,00      | -0,01 | 0,00  | -0,56 | Ventilació natural      | -5,58     | -4,32 | -8,64 | -4,90 |
| Transmissió opac       | -2,51     | -1,91 | -6,94 | -5,91 | Transmissió opac        | 0,15      | 0,22  | -0,21 | -0,72 |
| Transmissió vidre      | -2,83     | -2,69 | -8,00 | -8,45 | Transmissió vidre       | -0,30     | -0,53 | -1,75 | -3,31 |
| Refrigeració           | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | Refrigeració            | 0,00      | -1,46 | -0,18 | -5,27 |

Taules 5-08: Balanç energètic mensual segons proporció, pels mesos de gener i juliol.

| DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ (kWh/m²sup-any) |           |                |       |       |       | DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |               |             |                |      |      |      |      |       |       |
|---|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------------------------------|---------------|-------------|----------------|------|------|------|------|-------|-------|
| kWh/m²sup-any                               |           | FACTOR D'OMBRA |       |       |       |                               | kWh/m²sup-any |             | FACTOR D'OMBRA |      |      |      |      |       |       |
|   |           | 0              | 0,25  | 0,5   | 0,75  | 1                             |               |             | 0              | 0,25 | 0,5  | 0,75 | 1    |       |       |
| CONSTRUCCIÓ                                 | Fa1 - Fi1 | NORD           | 52,58 | -     | 50,60 | -                             | 49,19         | CONSTRUCCIÓ | Fa1 - Fi1      | NORD | 0,00 | -    | 0,11 | -     | 0,51  |
|   |           | SUD            | 52,31 | -     | 15,32 | -                             | 4,09          |             |                | SUD  | 0,00 | -    | 2,29 | -     | 11,21 |
|   |           | EST            | 52,55 | -     | 35,22 | -                             | 24,78         |             |                | EST  | 0,01 | -    | 3,14 | -     | 11,52 |
|   |           | OEST           | 52,31 | -     | 35,46 | -                             | 25,63         |             |                | OEST | 0,01 | -    | 5,37 | -     | 18,47 |
|   | Fa2 - Fi1 | NORD           | 43,36 | -     | 41,05 | -                             | 39,21         |             | Fa2 - Fi1      | NORD | 0,00 | -    | 0,04 | -     | 0,30  |
|   |           | SUD            | 43,17 | -     | 9,52  | -                             | 1,87          |             |                | SUD  | 0,00 | -    | 1,71 | -     | 12,44 |
|   |           | EST            | 43,34 | -     | 27,63 | -                             | 18,28         |             |                | EST  | 0,00 | -    | 3,24 | -     | 14,13 |
|   |           | OEST           | 43,13 | -     | 27,35 | -                             | 18,49         |             |                | OEST | 0,00 | -    | 6,13 | -     | 19,47 |
|   | Fa3 - Fi2 | NORD           | 36,81 | 35,60 | 34,52 | 33,58                         | 32,74         |             | Fa3 - Fi2      | NORD | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,07  | 0,19  |
|   |           | SUD            | 36,67 | 17,89 | 7,42  | 3,01                          | 1,35          |             |                | SUD  | 0,00 | 0,08 | 1,08 | 6,54  | 11,17 |
|   |           | EST            | 36,79 | 28,98 | 23,10 | 18,58                         | 15,09         |             |                | EST  | 0,00 | 0,17 | 3,12 | 7,95  | 13,58 |
|   |           | OEST           | 36,65 | 28,74 | 22,90 | 18,65                         | 15,31         |             |                | OEST | 0,00 | 0,48 | 5,57 | 12,70 | 18,21 |
|   | Fa4 - Fi2 | NORD           | 28,74 | -     | 26,30 | -                             | 24,37         |             | Fa4 - Fi2      | NORD | 0,00 | -    | 0,02 | -     | 0,19  |
|   |           | SUD            | 28,64 | -     | 4,56  | -                             | 0,73          |             |                | SUD  | 0,00 | -    | 1,01 | -     | 11,65 |
|   |           | EST            | 28,73 | -     | 16,92 | -                             | 10,28         |             |                | EST  | 0,00 | -    | 3,22 | -     | 13,70 |
|   |           | OEST           | 28,62 | -     | 16,85 | -                             | 10,62         |             |                | OEST | 0,00 | -    | 7,11 | -     | 18,80 |
|   | Fa5 - F3  | NORD           | 22,54 | -     | 20,13 | -                             | 18,24         |             | Fa5 - F3       | NORD | 0,00 | -    | 0,00 | -     | 0,08  |
|   |           | SUD            | 22,48 | -     | 2,58  | -                             | 0,47          |             |                | SUD  | 0,00 | -    | 0,68 | -     | 10,84 |
|   |           | EST            | 22,54 | -     | 12,63 | -                             | 7,17          |             |                | EST  | 0,00 | -    | 6,74 | -     | 13,43 |
|   |           | OEST           | 22,46 | -     | 12,57 | -                             | 7,39          |             |                | OEST | 0,00 | -    | 8,42 | -     | 17,67 |

| DEMANDA ANUAL TOTAL |           |                |         |       |       |       |         |
|---------------------|-----------|----------------|---------|-------|-------|-------|---------|
| kWh/m²sup-any       |           | FACTOR D'OMBRA |         |       |       |       |         |
|                     |           | 0              | 0,25    | 0,5   | 0,75  | 1     |         |
| CONSTRUCCIÓ         | Fa1 - Fi1 | NORD           | ● 52,58 | -     | 50,72 | -     | ● 49,70 |
|                     |           | SUD            | ● 52,31 | -     | 17,61 | -     | ● 15,30 |
|                     |           | EST            | ● 52,56 | -     | 38,36 | -     | ● 36,30 |
|                     |           | OEST           | ● 52,32 | -     | 40,83 | -     | ● 44,10 |
|                     | Fa2 - Fi1 | NORD           | 43,36   | -     | 41,09 | -     | 39,51   |
|                     |           | SUD            | 43,17   | -     | 11,23 | -     | 14,32   |
|                     |           | EST            | 43,34   | -     | 30,87 | -     | 32,41   |
|                     |           | OEST           | 43,13   | -     | 33,48 | -     | 37,96   |
|                     | Fa3 - Fi2 | NORD           | 36,81   | 35,60 | 34,55 | 33,65 | 32,93   |
|                     |           | SUD            | 36,67   | 17,97 | 8,50  | 9,54  | 12,52   |
|                     |           | EST            | 36,79   | 29,15 | 26,22 | 26,53 | 28,67   |
|                     |           | OEST           | 36,65   | 29,22 | 28,47 | 31,35 | 33,52   |
|                     | Fa4 - Fi2 | NORD           | 28,74   | -     | 26,32 | -     | 24,56   |
|                     |           | SUD            | 28,64   | -     | 5,57  | -     | 12,38   |
|                     |           | EST            | 28,73   | -     | 20,14 | -     | 23,98   |
|                     |           | OEST           | 28,62   | -     | 23,96 | -     | 29,41   |
|                     | Fa5 - F3  | NORD           | ☉ 22,54 | -     | 20,14 | -     | ☉ 18,31 |
|                     |           | SUD            | ☉ 22,48 | -     | 3,27  | -     | ☉ 11,30 |
|                     |           | EST            | ☉ 22,54 | -     | 19,36 | -     | ☉ 20,61 |
|                     |           | OEST           | ☉ 22,46 | -     | 21,00 | -     | ☉ 25,06 |

Taules 5-09: Demanda anual de calefacció, refrigeració i total segons factor d'ombra i construcció.

| BALANÇ ENERGÈTIC GENER |             |       |          |       | BALANÇ ENERGÈTIC JULIOL |             |       |          |       |
|------------------------|-------------|-------|----------|-------|-------------------------|-------------|-------|----------|-------|
| kWh/m²                 | CONSTRUCCIÓ |       |          |       | kWh/m²                  | CONSTRUCCIÓ |       |          |       |
|                        | Fa1 - Fi1   |       | Fa5 - F3 |       |                         | Fa1 - Fi1   |       | Fa5 - F3 |       |
|                        | NORD        | SUD   | NORD     | SUD   |                         | NORD        | OEST  | NORD     | OEST  |
| Calefacció             | 12,73       | 5,07  | 5,83     | 1,26  | Calefacció              | 0,00        | 0,00  | 0,00     | 0,00  |
| Radiació               | 1,81        | 9,20  | 1,44     | 7,52  | Radiació                | 5,76        | 10,93 | 4,50     | 8,72  |
| Càrregues internes     | 4,34        | 4,34  | 4,34     | 4,34  | Càrregues internes      | 4,31        | 4,31  | 4,31     | 4,31  |
| Infiltració            | -1,37       | -1,44 | -1,39    | -1,57 | Infiltració             | -0,21       | -0,41 | -0,19    | -0,47 |
| Ventilació higiènica   | -4,69       | -4,94 | -4,75    | -5,37 | Ventilació higiènica    | -0,85       | -3,09 | -0,68    | -3,28 |
| Ventilació natural     | 0,00        | -0,13 | 0,00     | -0,26 | Ventilació natural      | -7,00       | -5,62 | -6,75    | -4,15 |
| Transmissió opac       | -6,65       | -5,22 | -1,55    | -1,32 | Transmissió opac        | -0,04       | -0,03 | 0,05     | -0,04 |
| Transmissió vidre      | -6,11       | -6,35 | -3,87    | -3,99 | Transmissió vidre       | -1,20       | -2,17 | -0,60    | -1,18 |
| Refrigeració           | 0,00        | 0,00  | 0,00     | 0,00  | Refrigeració            | -0,10       | -3,26 | 0,00     | -2,77 |

Taules 5-10: Balanç energètic mensual segons construcció, pels mesos de gener i juliol.

| DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ |       |                |       |       |       | DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |               |       |                |      |      |       |       |       |
|-----------------------------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------------------------------|---------------|-------|----------------|------|------|-------|-------|-------|
| kWh/m²sup-any               |       | FACTOR D'OMBRA |       |       |       |                               | kWh/m²sup-any |       | FACTOR D'OMBRA |      |      |       |       |       |
|                             |       | 0              | 0,25  | 0,5   | 0,75  | 1                             |               |       | 0              | 0,25 | 0,5  | 0,75  | 1     |       |
| % FINESTRA                  | 10%   | NORD           | 34,07 | -     | 34,16 | -                             | 34,32         | 10%   | NORD           | 0,00 | -    | 0,00  | -     | 0,00  |
|                             |       | SUD            | 33,95 | -     | 16,02 | -                             | 5,72          |       | SUD            | 0,00 | -    | 0,04  | -     | 2,07  |
|                             |       | EST            | 34,05 | -     | 27,03 | -                             | 21,77         |       | EST            | 0,00 | -    | 0,14  | -     | 3,12  |
|                             |       | OEST           | 33,95 | -     | 26,66 | -                             | 21,33         |       | OEST           | 0,00 | -    | 0,45  | -     | 5,69  |
|                             | 22,5% | NORD           | 35,39 | -     | 34,20 | -                             | 33,23         | 22,5% | NORD           | 0,00 | -    | 0,00  | -     | 0,03  |
|                             |       | SUD            | 35,26 | -     | 10,28 | -                             | 2,00          |       | SUD            | 0,00 | -    | 0,26  | -     | 7,65  |
|                             |       | EST            | 35,38 | -     | 24,56 | -                             | 17,57         |       | EST            | 0,00 | -    | 1,55  | -     | 10,04 |
|                             |       | OEST           | 35,25 | -     | 24,24 | -                             | 17,40         |       | OEST           | 0,00 | -    | 2,46  | -     | 11,67 |
|                             | 30%   | NORD           | 36,81 | 35,60 | 34,52 | 33,58                         | 32,74         | 30%   | NORD           | 0,00 | 0,00 | 0,02  | 0,07  | 0,19  |
|                             |       | SUD            | 36,67 | 17,89 | 7,42  | 3,01                          | 1,35          |       | SUD            | 0,00 | 0,08 | 1,08  | 6,54  | 11,17 |
|                             |       | EST            | 36,79 | 28,98 | 23,10 | 18,58                         | 15,09         |       | EST            | 0,00 | 0,17 | 3,12  | 7,95  | 13,58 |
|                             |       | OEST           | 36,65 | 28,74 | 22,90 | 18,65                         | 15,31         |       | OEST           | 0,00 | 0,48 | 5,57  | 12,70 | 18,21 |
|                             | 47,5% | NORD           | 38,31 | -     | 35,13 | -                             | 32,74         | 47,5% | NORD           | 0,00 | -    | 0,10  | -     | 0,57  |
|                             |       | SUD            | 38,17 | -     | 7,07  | -                             | 1,72          |       | SUD            | 0,00 | -    | 2,73  | -     | 15,81 |
|                             |       | EST            | 38,31 | -     | 22,64 | -                             | 14,05         |       | EST            | 0,00 | -    | 4,52  | -     | 18,27 |
|                             |       | OEST           | 38,17 | -     | 22,59 | -                             | 14,62         |       | OEST           | 0,00 | -    | 9,30  | -     | 24,66 |
|                             | 60%   | NORD           | 39,96 | -     | 36,11 | -                             | 33,36         | 60%   | NORD           | 0,02 | -    | 0,33  | -     | 2,92  |
|                             |       | SUD            | 39,78 | -     | 7,95  | -                             | 2,67          |       | SUD            | 0,02 | -    | 5,75  | -     | 21,70 |
|                             |       | EST            | 39,95 | -     | 23,00 | -                             | 13,97         |       | EST            | 0,03 | -    | 6,57  | -     | 22,28 |
|                             |       | OEST           | 39,80 | -     | 23,37 | -                             | 15,05         |       | OEST           | 0,03 | -    | 12,59 | -     | 30,97 |

| DEMANDA ANUAL TOTAL |       |                |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| kWh/m²sup-any       |       | FACTOR D'OMBRA |       |       |       |       |       |
|                     |       | 0              | 0,25  | 0,5   | 0,75  | 1     |       |
| % FINESTRA          | 10%   | NORD           | 34,07 | -     | 34,16 | -     | 34,32 |
|                     |       | SUD            | 33,95 | -     | 16,06 | -     | 7,79  |
|                     |       | EST            | 34,05 | -     | 27,17 | -     | 24,89 |
|                     |       | OEST           | 33,95 | -     | 27,11 | -     | 27,02 |
|                     | 22,5% | NORD           | 35,39 | -     | 34,20 | -     | 33,27 |
|                     |       | SUD            | 35,26 | -     | 10,54 | -     | 9,65  |
|                     |       | EST            | 35,38 | -     | 26,11 | -     | 27,61 |
|                     |       | OEST           | 35,25 | -     | 26,71 | -     | 29,07 |
|                     | 30%   | NORD           | 36,81 | 35,60 | 34,55 | 33,65 | 32,93 |
|                     |       | SUD            | 36,67 | 17,97 | 8,50  | 9,54  | 12,52 |
|                     |       | EST            | 36,79 | 29,15 | 26,22 | 26,53 | 28,67 |
|                     |       | OEST           | 36,65 | 29,22 | 28,47 | 31,35 | 33,52 |
|                     | 47,5% | NORD           | 38,31 | -     | 35,24 | -     | 33,31 |
|                     |       | SUD            | 38,17 | -     | 9,80  | -     | 17,53 |
|                     |       | EST            | 38,31 | -     | 27,16 | -     | 32,32 |
|                     |       | OEST           | 38,17 | -     | 31,89 | -     | 39,28 |
|                     | 60%   | NORD           | 39,98 | -     | 36,45 | -     | 36,27 |
|                     |       | SUD            | 39,80 | -     | 13,69 | -     | 24,37 |
|                     |       | EST            | 39,97 | -     | 29,57 | -     | 36,26 |
|                     |       | OEST           | 39,83 | -     | 35,96 | -     | 46,02 |

Taules 5-11: Demanda anual de calefacció, refrigeració i total segons factor d'ombra i % de finestra.

| BALANÇ ENERGÈTIC GENER |            |       |       |       | BALANÇ ENERGÈTIC JULIOL |            |       |       |       |
|------------------------|------------|-------|-------|-------|-------------------------|------------|-------|-------|-------|
| kWh/m²                 | % FINESTRA |       |       |       | kWh/m²                  | % FINESTRA |       |       |       |
|                        | 10%        |       | 60%   |       |                         | 10%        |       | 60%   |       |
|                        | NORD       | SUD   | NORD  | SUD   |                         | NORD       | OEST  | NORD  | OEST  |
| Calefacció             | 8,42       | 4,87  | 9,91  | 2,33  | Calefacció              | 0,00       | 0,00  | 0,01  | 0,00  |
| Radiació               | 0,45       | 2,30  | 2,67  | 13,80 | Radiació                | 1,40       | 2,69  | 8,40  | 16,15 |
| Càrregues internes     | 4,34       | 4,34  | 4,34  | 4,34  | Càrregues internes      | 4,31       | 4,31  | 4,31  | 4,31  |
| Infiltració            | -1,38      | -1,41 | -1,37 | -1,59 | Infiltració             | -0,22      | -0,39 | -0,23 | -0,53 |
| Ventilació higiènica   | -4,72      | -4,82 | -4,70 | -5,45 | Ventilació higiènica    | -0,79      | -1,70 | -1,00 | -5,69 |
| Ventilació natural     | 0,00       | 0,00  | 0,00  | -0,88 | Ventilació natural      | -4,24      | -4,48 | -8,56 | -3,08 |
| Transmissió opac       | -5,69      | -3,89 | -2,68 | -2,53 | Transmissió opac        | 0,32       | 0,87  | -0,13 | -0,46 |
| Transmissió vidre      | -1,35      | -1,19 | -8,05 | -9,19 | Transmissió vidre       | -0,16      | -0,18 | -1,83 | -3,69 |
| Refrigeració           | 0,00       | 0,00  | 0,00  | 0,00  | Refrigeració            | 0,00       | -0,38 | -0,25 | -5,93 |

Taules 5-12: Balanç energètic mensual segons percentatge de finestra, pels mesos de gener i juliol.

### Anàlisi creuat de diferents paràmetres

| DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ |            |        |       |       |        |       |       |             |              |       |       |
|-----------------------------|------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------------|--------------|-------|-------|
| kWh/m²                      | % FINESTRA |        |       |       |        |       |       |             |              |       |       |
|                             | 10         |        |       | 35    |        |       | 60    |             |              |       |       |
|                             | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5      | Fo=1         |       |       |
| CONSTRUCCIÓ                 | Fa1 - F11  | N      | 50,29 | 50,97 | 51,81  | 52,56 | 50,58 | 49,17       | <b>55,22</b> | 51,39 | 48,74 |
|                             |            | S      | 50,06 | 25,58 | 12,20  | 52,29 | 15,30 | 4,10        | 54,93        | 13,98 | 4,43  |
|                             |            | E      | 50,27 | 40,50 | 33,33  | 52,53 | 35,21 | 24,77       | 55,20        | 33,73 | 22,40 |
|                             |            | O      | 50,10 | 40,49 | 33,51  | 52,29 | 35,44 | 25,62       | 54,94        | 34,56 | 23,94 |
|                             | Fa3 - F12  | N      | 34,06 | 34,15 | 34,32  | 36,80 | 34,51 | 32,73       | 39,94        | 36,11 | 33,35 |
|                             |            | S      | 33,95 | 16,01 | 5,72   | 36,66 | 7,42  | 1,33        | 39,77        | 7,99  | 2,69  |
|                             |            | E      | 34,05 | 27,03 | 21,76  | 36,78 | 23,09 | 15,10       | 39,93        | 23,01 | 13,97 |
|                             |            | O      | 33,94 | 26,66 | 21,32  | 36,64 | 22,88 | 15,30       | 39,78        | 23,38 | 15,05 |
|                             | Fa5 - F3   | N      | 17,88 | 17,34 | 16,89  | 22,53 | 20,13 | 18,24       | 27,45        | 23,92 | 21,48 |
|                             |            | S      | 17,84 | 7,13  | 1,66   | 22,48 | 2,59  | <b>0,47</b> | 27,38        | 5,41  | 1,99  |
|                             |            | E      | 17,87 | 13,54 | 10,47  | 22,53 | 12,62 | 7,17        | 27,45        | 14,96 | 7,62  |
|                             |            | O      | 17,83 | 13,32 | 10,24  | 22,46 | 12,58 | 7,38        | 27,39        | 15,36 | 9,17  |

| DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |            |        |             |      |        |      |      |        |      |       |              |
|-------------------------------|------------|--------|-------------|------|--------|------|------|--------|------|-------|--------------|
| kWh/m²                        | % FINESTRA |        |             |      |        |      |      |        |      |       |              |
|                               | 10         |        |             | 35   |        |      | 60   |        |      |       |              |
|                               | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1        | Fo=0 | Fo=0,5 | Fo=1 | Fo=0 | Fo=0,5 | Fo=1 |       |              |
| CONSTRUCCIÓ                   | Fa1 - F11  | N      | 0,00        | 0,01 | 0,05   | 0,00 | 0,11 | 0,51   | 0,09 | 0,69  | 2,14         |
|                               |            | S      | 0,00        | 0,48 | 3,36   | 0,00 | 2,29 | 11,21  | 0,10 | 5,86  | 22,30        |
|                               |            | E      | 0,00        | 0,57 | 3,93   | 0,01 | 3,14 | 11,52  | 0,12 | 6,12  | 20,15        |
|                               |            | O      | 0,00        | 1,07 | 5,75   | 0,01 | 5,37 | 18,46  | 0,18 | 12,19 | <b>33,20</b> |
|                               | Fa3 - F12  | N      | 0,00        | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,02 | 0,19   | 0,02 | 0,33  | 2,92         |
|                               |            | S      | 0,00        | 0,04 | 2,07   | 0,00 | 1,08 | 11,18  | 0,02 | 5,75  | 21,70        |
|                               |            | E      | 0,00        | 0,14 | 3,12   | 0,00 | 3,12 | 13,58  | 0,03 | 6,57  | 22,29        |
|                               |            | O      | 0,00        | 0,44 | 5,69   | 0,00 | 5,57 | 18,21  | 0,03 | 12,59 | 30,97        |
|                               | Fa5 - F3   | N      | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,08   | 0,00 | 0,21  | 3,52         |
|                               |            | S      | 0,00        | 0,00 | 0,63   | 0,00 | 0,68 | 10,83  | 0,01 | 5,21  | 23,28        |
|                               |            | E      | 0,00        | 0,01 | 4,69   | 0,00 | 6,74 | 13,43  | 0,01 | 11,59 | 24,05        |
|                               |            | O      | 0,00        | 0,04 | 5,26   | 0,00 | 8,42 | 17,67  | 0,01 | 14,94 | 30,70        |

| DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |            |        |       |       |             |       |       |        |       |       |              |
|-------------------------------|------------|--------|-------|-------|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------------|
| kWh/m²                        | % FINESTRA |        |       |       |             |       |       |        |       |       |              |
|                               | 10         |        |       | 35    |             |       | 60    |        |       |       |              |
|                               | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5      | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |       |              |
| CONSTRUCCIÓ                   | Fa1 - F11  | N      | 50,29 | 50,98 | 51,86       | 52,56 | 50,70 | 49,68  | 55,31 | 52,08 | 50,88        |
|                               |            | S      | 50,06 | 26,05 | 15,57       | 52,30 | 17,59 | 15,32  | 55,03 | 19,83 | 26,73        |
|                               |            | E      | 50,27 | 41,07 | 37,26       | 52,54 | 38,35 | 36,29  | 55,32 | 39,85 | 42,55        |
|                               |            | O      | 50,10 | 41,56 | 39,26       | 52,30 | 40,81 | 44,08  | 55,11 | 46,75 | <b>57,13</b> |
|                               | Fa3 - F12  | N      | 34,06 | 34,15 | 34,32       | 36,80 | 34,54 | 32,92  | 39,96 | 36,44 | 36,27        |
|                               |            | S      | 33,95 | 16,06 | 7,79        | 36,66 | 8,50  | 12,51  | 39,79 | 13,74 | 24,39        |
|                               |            | E      | 34,05 | 27,17 | 24,88       | 36,78 | 26,21 | 28,69  | 39,96 | 29,58 | 36,26        |
|                               |            | O      | 33,94 | 27,10 | 27,02       | 36,64 | 28,45 | 33,51  | 39,81 | 35,97 | 46,02        |
|                               | Fa5 - F3   | N      | 17,88 | 17,34 | 16,89       | 22,53 | 20,13 | 18,32  | 27,46 | 24,13 | 24,99        |
|                               |            | S      | 17,84 | 7,13  | <b>2,30</b> | 22,48 | 3,28  | 11,31  | 27,38 | 10,62 | 25,27        |
|                               |            | E      | 17,87 | 13,55 | 15,16       | 22,53 | 19,36 | 20,61  | 27,46 | 26,55 | 31,66        |
|                               |            | O      | 17,83 | 13,36 | 15,50       | 22,46 | 21,00 | 25,06  | 27,40 | 30,30 | 39,86        |

Taules 5-13: Demanda anual de calefacció, refrigeració i total segons orientació, factor d'ombra, construcció i % de finestra.

## Els quatre casos extrems

| BALANÇ ENERGÈTIC ANUAL |   |        |        |        |        |       |        |       |       |       |        |        |
|------------------------|---|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| kWh/m <sup>2</sup>     | CAS DE MÀXIMA CALEFACCIÓ<br>nord - factor ombra 0 - sup. 6m <sup>2</sup> - prop. 3a1 - fa1 fi1 - finestra 60% |        |        |        |        |       |        |       |       |       |        |        |
|                        | gen.  | feb.   | març   | abr.   | maig   | juny  | jul.   | agost | set.  | oct.  | nov.   | des.   |
| Calefacció             | 36,63   | 28,14  | 22,26  | 12,12  | 3,94   | 0,30  | 0,03   | 0,03  | 0,19  | 3,36  | 18,32  | 32,96  |
| Radiació               | 4,85  | 6,32   | 9,30   | 11,68  | 14,32  | 15,13 | 16,43  | 14,17 | 10,39 | 7,78  | 5,24   | 4,47   |
| Càrregues internes     | 4,34  | 3,92   | 4,34   | 4,18   | 4,38   | 4,18  | 4,31   | 4,38  | 4,18  | 4,34  | 4,21   | 4,31   |
| Infiltració            | -4,00   | -3,36  | -3,15  | -2,43  | -1,70  | -0,97 | -0,49  | -0,41 | -0,68 | -1,34 | -2,54  | -3,68  |
| Ventilació higiènica   | -4,56   | -3,84  | -3,62  | -2,82  | -1,98  | -1,14 | -0,81  | -0,59 | -0,83 | -1,58 | -2,94  | -4,20  |
| Ventilació natural     | 0,00  | 0,00   | 0,00   | -0,03  | -1,61  | -6,12 | -10,42 | -9,73 | -5,77 | -0,57 | 0,00   | 0,00   |
| Transmissió opac       | -11,08  | -9,13  | -8,32  | -6,18  | -4,03  | -2,26 | -1,12  | -0,91 | -1,62 | -3,16 | -6,73  | -10,14 |
| Transmissió vidre      | -25,95  | -21,87 | -20,66 | -16,26 | -11,93 | -8,11 | -5,82  | -4,86 | -5,67 | -8,57 | -16,13 | -23,73 |
| Refrigeració           | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | -1,02  | -0,81 | -0,12 | 0,00  | 0,00   | 0,00   |

| BALANÇ ENERGÈTIC ANUAL |   |        |       |       |       |       |        |       |          |         |          |          |
|------------------------|---|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|---------|----------|----------|
| kWh/m <sup>2</sup>     | CAS DE MÍNIMA CALEFACCIÓ<br>sud - factor ombra 1 - sup. 30m <sup>2</sup> - prop. 1a3 - fa5 fi3 - finestra 35% |        |       |       |       |       |        |       |          |         |          |          |
|                        | gener   | febrer | març  | abril | maig  | juny  | juliol | agost | setembre | octubre | novembre | desembre |
| Calefacció             | 0,14  | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     |
| Radiació               | 6,39  | 6,41   | 6,15  | 4,84  | 3,95  | 3,48  | 3,86   | 4,89  | 5,69     | 6,86    | 6,32     | 6,42     |
| Càrregues internes     | 4,34  | 3,92   | 4,34  | 4,18  | 4,38  | 4,18  | 4,31   | 4,38  | 4,18     | 4,34    | 4,21     | 4,31     |
| Infiltració            | -0,82   | -0,77  | -0,71 | -0,56 | -0,37 | -0,18 | -0,12  | -0,14 | -0,41    | -0,41   | -0,62    | -0,82    |
| Ventilació higiènica   | -6,26   | -5,94  | -5,45 | -4,33 | -2,90 | -1,43 | -1,04  | -1,37 | -5,28    | -3,80   | -4,82    | -6,31    |
| Ventilació natural     | -0,51   | -1,44  | -2,01 | -2,20 | -3,20 | -4,77 | -6,02  | -6,62 | -0,85    | -5,94   | -3,10    | -1,32    |
| Transmissió opac       | -0,52   | -0,46  | -0,40 | -0,29 | -0,12 | 0,03  | 0,17   | 0,22  | -0,08    | -0,05   | -0,32    | -0,56    |
| Transmissió vidre      | -1,92   | -1,79  | -1,70 | -1,44 | -1,07 | -0,62 | -0,39  | -0,31 | -0,91    | -0,84   | -1,38    | -1,95    |
| Refrigeració           | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | -0,03  | -0,19 | -2,02    | -0,49   | 0,00     | 0,00     |

| BALANÇ ENERGÈTIC ANUAL |   |        |        |        |        |        |        |        |          |         |          |          |
|------------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|----------|----------|
| kWh/m <sup>2</sup>     | CAS DE MÀXIMA REFRIGERACIÓ<br>oest - factor ombra 1 - sup. 6m <sup>2</sup> - prop. 3a1 - fa1 fi1 - finestra 60% |        |        |        |        |        |        |        |          |         |          |          |
|                        | gener   | febrer | març   | abril  | maig   | juny   | juliol | agost  | setembre | octubre | novembre | desembre |
| Calefacció             | 25,39   | 14,23  | 9,51   | 6,23   | 4,83   | 1,83   | 0,07   | 0,08   | 0,85     | 3,51    | 11,38    | 21,87    |
| Radiació               | 31,49   | 43,19  | 57,68  | 73,92  | 81,21  | 87,78  | 94,79  | 84,57  | 63,75    | 50,98   | 36,53    | 30,96    |
| Càrregues internes     | 4,34  | 3,92   | 4,34   | 4,18   | 4,38   | 4,18   | 4,31   | 4,38   | 4,18     | 4,34    | 4,21     | 4,31     |
| Infiltració            | -4,16   | -3,78  | -3,83  | -3,39  | -2,29  | -1,63  | -1,23  | -1,16  | -1,08    | -1,75   | -2,81    | -3,82    |
| Ventilació higiènica   | -4,76   | -5,12  | -5,56  | -5,64  | -2,76  | -15,68 | -19,27 | -16,69 | -7,67    | -4,04   | -3,26    | -4,38    |
| Ventilació natural     | -2,36   | -5,67  | -13,18 | -28,26 | -48,62 | -33,81 | -10,87 | -11,26 | -24,81   | -23,40  | -9,78    | -3,19    |
| Transmissió opac       | -12,64  | -11,01 | -10,93 | -8,77  | -5,17  | -3,16  | -2,16  | -2,50  | -3,04    | -5,06   | -8,57    | -11,74   |
| Transmissió vidre      | -36,02  | -34,69 | -37,62 | -36,16 | -29,47 | -26,26 | -25,45 | -24,02 | -20,76   | -22,67  | -27,63   | -33,82   |
| Refrigeració           | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | -12,00 | -37,71 | -30,75 | -11,20   | -0,99   | 0,00     | 0,00     |

| BALANÇ ENERGÈTIC ANUAL |  |        |       |       |       |       |        |       |          |         |          |          |
|------------------------|--|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|---------|----------|----------|
| kWh/m <sup>2</sup>     | CAS DE MÍNIMA REFRIGERACIÓ<br>nord - factor ombra 0 - sup. 30m <sup>2</sup> - prop. 1a3 - fa5 fi3 - finestra 10% |        |       |       |       |       |        |       |          |         |          |          |
|                        | gener  | febrer | març  | abril | maig  | juny  | juliol | agost | setembre | octubre | novembre | desembre |
| Calefacció             | 2,53   | 1,91   | 1,25  | 0,37  | 0,07  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00     | 0,00    | 0,46     | 2,10     |
| Radiació               | 0,10   | 0,12   | 0,18  | 0,23  | 0,28  | 0,30  | 0,32   | 0,28  | 0,21     | 0,15    | 0,10     | 0,09     |
| Càrregues internes     | 4,34   | 3,92   | 4,34  | 4,18  | 4,38  | 4,18  | 4,31   | 4,38  | 4,18     | 4,34    | 4,21     | 4,31     |
| Infiltració            | -0,65  | -0,55  | -0,54 | -0,45 | -0,35 | -0,19 | -0,12  | -0,13 | -0,17    | -0,31   | -0,47    | -0,60    |
| Ventilació higiènica   | -4,97  | -4,23  | -4,14 | -3,47 | -2,71 | -1,51 | -1,00  | -1,04 | -1,34    | -2,46   | -3,69    | -4,64    |
| Ventilació natural     | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | -0,54 | -1,89 | -2,76  | -2,91 | -2,51    | -0,90   | -0,03    | 0,00     |
| Transmissió opac       | -0,94  | -0,78  | -0,72 | -0,56 | -0,33 | -0,13 | -0,01  | -0,03 | -0,17    | -0,38   | -0,69    | -0,89    |
| Transmissió vidre      | -0,48  | -0,40  | -0,38 | -0,30 | -0,21 | -0,10 | -0,04  | -0,05 | -0,10    | -0,20   | -0,34    | -0,44    |
| Refrigeració           | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     |

Taules 5-14: Balanç energètic anual dels 4 casos extrems.

## Dades apartat 6: Anàlisi de les intervencions

### Estat inicial

| DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ |            |        |       |       |        |              | DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |            |        |      |      |        |       |              |
|-----------------------------|------------|--------|-------|-------|--------|--------------|-------------------------------|------------|--------|------|------|--------|-------|--------------|
| kWh/m <sup>2</sup>          | % FINESTRA |        |       |       |        |              | kWh/m <sup>2</sup>            | % FINESTRA |        |      |      |        |       |              |
|                             | 10         |        |       | 60    |        |              |                               | 10         |        |      | 60   |        |       |              |
|                             | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1         |                               | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1 | Fo=0 | Fo=0,5 | Fo=1  |              |
| CONSTRUCCIÓ                 | Fa1 - F11  | N      | 50,29 | 50,97 | 51,81  | <b>55,22</b> | 51,39                         | 48,74      | 0,00   | 0,01 | 0,05 | 0,09   | 0,69  | 2,14         |
|                             |            | S      | 50,06 | 25,58 | 12,20  | 54,93        | 13,98                         | 4,43       | 0,00   | 0,48 | 3,36 | 0,10   | 5,86  | 22,30        |
|                             |            | E      | 50,27 | 40,50 | 33,33  | 55,20        | 33,73                         | 22,40      | 0,00   | 0,57 | 3,93 | 0,12   | 6,12  | 20,15        |
|                             |            | O      | 50,10 | 40,49 | 33,51  | 54,94        | 34,56                         | 23,94      | 0,00   | 1,07 | 5,75 | 0,18   | 12,19 | <b>33,20</b> |
| CONSTRUCCIÓ                 | Fa5 - F3   | N      | 17,88 | 17,34 | 16,89  | 27,45        | 23,92                         | 21,48      | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00   | 0,21  | 3,52         |
|                             |            | S      | 17,84 | 7,13  | 1,66   | 27,38        | 5,41                          | 1,99       | 0,00   | 0,00 | 0,63 | 0,01   | 5,21  | 23,28        |
|                             |            | E      | 17,87 | 13,54 | 10,47  | 27,45        | 14,96                         | 7,62       | 0,00   | 0,01 | 4,69 | 0,01   | 11,59 | 24,05        |
|                             |            | O      | 17,83 | 13,32 | 10,24  | 27,39        | 15,36                         | 9,17       | 0,00   | 0,04 | 5,26 | 0,01   | 14,94 | 30,70        |

| DEMANDA ANUAL TOTAL |            |        |       |       |        |       |       |              |
|---------------------|------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------------|
| kWh/m <sup>2</sup>  | % FINESTRA |        |       |       |        |       |       |              |
|                     | 10         |        |       | 60    |        |       |       |              |
|                     | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |       |              |
| CONSTRUCCIÓ         | Fa1 - F11  | N      | 50,29 | 50,98 | 51,86  | 55,31 | 52,08 | 50,88        |
|                     |            | S      | 50,06 | 26,05 | 15,57  | 55,03 | 19,83 | 26,73        |
|                     |            | E      | 50,27 | 41,07 | 37,26  | 55,32 | 39,85 | 42,55        |
|                     |            | O      | 50,10 | 41,56 | 39,26  | 55,11 | 46,75 | <b>57,13</b> |
| CONSTRUCCIÓ         | Fa5 - F3   | N      | 17,88 | 17,34 | 16,89  | 27,46 | 24,13 | 24,99        |
|                     |            | S      | 17,84 | 7,13  | 2,30   | 27,38 | 10,62 | 25,27        |
|                     |            | E      | 17,87 | 13,55 | 15,16  | 27,46 | 26,55 | 31,66        |
|                     |            | O      | 17,83 | 13,36 | 15,50  | 27,40 | 30,30 | 39,86        |

Taules 6-01: Demanda anual de calefacció, refrigeració i total segons orientació, factor d'ombra, construcció i % de finestra, per a l'estat inicial.

### Aïllament

| DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ |            |        |       |       |        |       | DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |            |        |      |      |        |       |       |
|-----------------------------|------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------------------------------|------------|--------|------|------|--------|-------|-------|
| kWh/m <sup>2</sup>          | % FINESTRA |        |       |       |        |       | kWh/m <sup>2</sup>            | % FINESTRA |        |      |      |        |       |       |
|                             | 10         |        |       | 60    |        |       |                               | 10         |        |      | 60   |        |       |       |
|                             | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |                               | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1 | Fo=0 | Fo=0,5 | Fo=1  |       |
| CONSTRUCCIÓ                 | Fa1 - F11  | N      | 18,00 | 17,35 | 16,79  | 40,98 | 36,96                         | 34,10      | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,04   | 0,56  | 1,95  |
|                             |            | S      | 17,95 | 6,73  | 1,48   | 40,79 | 8,45                          | 2,65       | 0,00   | 0,00 | 0,97 | 0,04   | 6,86  | 24,77 |
|                             |            | E      | 18,00 | 13,23 | 9,95   | 40,97 | 23,20                         | 13,47      | 0,00   | 0,03 | 5,29 | 0,06   | 7,03  | 23,28 |
|                             |            | O      | 17,94 | 13,08 | 9,83   | 40,77 | 23,78                         | 15,07      | 0,00   | 0,10 | 5,98 | 0,09   | 13,73 | 34,19 |
| CONSTRUCCIÓ                 | Fa5 - F3   | N      | 13,29 | 12,66 | 12,09  | 25,40 | 21,96                         | 19,67      | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00   | 0,21  | 3,59  |
|                             |            | S      | 13,27 | 4,79  | 0,86   | 25,34 | 5,07                          | 1,57       | 0,00   | 0,00 | 0,12 | 0,00   | 5,19  | 23,76 |
|                             |            | E      | 13,29 | 9,78  | 7,37   | 25,41 | 13,69                         | 6,58       | 0,00   | 0,00 | 3,98 | 0,01   | 11,82 | 24,15 |
|                             |            | O      | 13,27 | 9,68  | 7,28   | 25,35 | 14,12                         | 8,22       | 0,00   | 0,02 | 5,34 | 0,01   | 15,18 | 30,96 |

| DEMANDA ANUAL TOTAL |            |        |       |       |        |       |       |       |
|---------------------|------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| kWh/m <sup>2</sup>  | % FINESTRA |        |       |       |        |       |       |       |
|                     | 10         |        |       | 60    |        |       |       |       |
|                     | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |       |       |
| CONSTRUCCIÓ         | Fa1 - F11  | N      | 18,00 | 17,35 | 16,79  | 41,02 | 37,52 | 36,06 |
|                     |            | S      | 17,95 | 6,73  | 2,46   | 40,84 | 15,31 | 27,42 |
|                     |            | E      | 18,00 | 13,26 | 15,24  | 41,03 | 30,24 | 36,74 |
|                     |            | O      | 17,94 | 13,17 | 15,81  | 40,86 | 37,51 | 49,26 |
| CONSTRUCCIÓ         | Fa5 - F3   | N      | 13,29 | 12,66 | 12,09  | 25,40 | 22,17 | 23,25 |
|                     |            | S      | 13,27 | 4,79  | 0,97   | 25,34 | 10,26 | 25,33 |
|                     |            | E      | 13,29 | 9,78  | 11,35  | 25,41 | 25,51 | 30,73 |
|                     |            | O      | 13,27 | 9,69  | 12,61  | 25,35 | 29,30 | 39,18 |

Taules 6-02: Demanda anual de calefacció, refrigeració i total segons orientació, factor d'ombra, construcció i % de finestra, per a la intervenció d'addició d'aïllament tèrmic exterior.



### Aïllament amb canvi de finestres

| DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ |           |            |        |       |       |        | DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |                    |      |            |        |      |       |        |      |
|-----------------------------|-----------|------------|--------|-------|-------|--------|-------------------------------|--------------------|------|------------|--------|------|-------|--------|------|
| kWh/m <sup>2</sup>          |           | % FINESTRA |        |       |       |        |                               | kWh/m <sup>2</sup> |      | % FINESTRA |        |      |       |        |      |
|                             |           | 10         |        |       | 60    |        |                               |                    |      | 10         |        |      | 60    |        |      |
|                             |           | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1                          |                    |      | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1 | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1 |
| CONSTR.                     | Fa1 - F11 | N          | 15,43  | 14,84 | 14,33 | 26,34  | 22,86                         | 20,55              | 0,00 | 0,00       | 0,00   | 0,00 | 0,20  | 0,99   |      |
|                             |           | S          | 15,41  | 5,91  | 1,26  | 26,26  | 5,27                          | 1,74               | 0,00 | 0,00       | 0,17   | 0,00 | 4,69  | 23,45  |      |
|                             |           | E          | 15,43  | 11,54 | 8,83  | 26,33  | 14,27                         | 7,10               | 0,00 | 0,00       | 4,32   | 0,01 | 11,71 | 24,00  |      |
|                             |           | O          | 15,40  | 11,40 | 8,71  | 26,28  | 14,72                         | 8,66               | 0,00 | 0,02       | 5,22   | 0,01 | 14,89 | 30,76  |      |

| DEMANDA ANUAL TOTAL |           |            |        |       |       |        |       |       |
|---------------------|-----------|------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| kWh/m <sup>2</sup>  |           | % FINESTRA |        |       |       |        |       |       |
|                     |           | 10         |        |       | 60    |        |       |       |
|                     |           | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |       |
| CONSTR.             | Fa1 - F11 | N          | 15,43  | 14,84 | 14,33 | 26,34  | 23,06 | 21,54 |
|                     |           | S          | 15,41  | 5,91  | 1,44  | 26,27  | 9,96  | 25,20 |
|                     |           | E          | 15,43  | 11,54 | 13,15 | 26,33  | 25,98 | 31,10 |
|                     |           | O          | 15,40  | 11,42 | 13,93 | 26,29  | 29,61 | 39,42 |

Taules 6-03: Demanda anual de calefacció, refrigeració i total segons orientació, factor d'ombra, construcció i % de finestra, per a la intervenció d'addició d'aïllament tèrmic exterior i canvi de finestres.

### Galeria

| DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ |           |            |        |       |       |        | DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |                    |      |            |        |      |       |        |      |
|-----------------------------|-----------|------------|--------|-------|-------|--------|-------------------------------|--------------------|------|------------|--------|------|-------|--------|------|
| kWh/m <sup>2</sup>          |           | % FINESTRA |        |       |       |        |                               | kWh/m <sup>2</sup> |      | % FINESTRA |        |      |       |        |      |
|                             |           | 10         |        |       | 60    |        |                               |                    |      | 10         |        |      | 60    |        |      |
|                             |           | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1                          |                    |      | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1 | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1 |
| CONSTRUCCIÓ                 | Fa1 - F11 | N          | 32,50  | 31,43 | 30,80 | 35,73  | 32,26                         | 29,93              | 0,00 | 0,00       | 0,01   | 0,09 | 0,67  | 0,97   |      |
|                             |           | S          | 32,62  | 0,96  | 0,46  | 35,90  | 2,22                          | 0,70               | 0,00 | 0,35       | 0,36   | 0,09 | 5,44  | 8,16   |      |
|                             |           | E          | 32,48  | 13,16 | 10,83 | 35,72  | 10,57                         | 7,02               | 0,00 | 0,44       | 2,04   | 0,09 | 5,66  | 13,30  |      |
|                             |           | O          | 32,37  | 13,16 | 10,89 | 35,55  | 10,83                         | 7,50               | 0,00 | 0,81       | 3,02   | 0,09 | 11,26 | 24,54  |      |
| CONSTRUCCIÓ                 | Fa5 - F3  | N          | 10,72  | 9,86  | 9,19  | 17,33  | 14,37                         | 12,45              | 0,00 | 0,00       | 0,00   | 0,00 | 0,21  | 0,43   |      |
|                             |           | S          | 10,70  | 0,11  | 0,03  | 17,28  | 1,71                          | 0,63               | 0,00 | 0,00       | 0,00   | 0,00 | 5,09  | 9,37   |      |
|                             |           | E          | 10,72  | 3,02  | 2,34  | 17,32  | 4,03                          | 2,05               | 0,00 | 0,01       | 3,09   | 0,00 | 11,42 | 18,13  |      |
|                             |           | O          | 10,69  | 2,97  | 2,29  | 17,29  | 4,14                          | 2,47               | 0,00 | 0,03       | 4,43   | 0,00 | 14,50 | 25,41  |      |

| DEMANDA ANUAL TOTAL |           |            |        |       |       |        |       |       |
|---------------------|-----------|------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| kWh/m <sup>2</sup>  |           | % FINESTRA |        |       |       |        |       |       |
|                     |           | 10         |        |       | 60    |        |       |       |
|                     |           | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |       |
| CONSTRUCCIÓ         | Fa1 - F11 | N          | 32,50  | 31,43 | 30,81 | 35,82  | 32,93 | 30,90 |
|                     |           | S          | 32,62  | 1,32  | 0,82  | 35,99  | 7,65  | 8,86  |
|                     |           | E          | 32,48  | 13,61 | 12,87 | 35,81  | 16,23 | 20,32 |
|                     |           | O          | 32,37  | 13,96 | 13,91 | 35,64  | 22,09 | 32,04 |
| CONSTRUCCIÓ         | Fa5 - F3  | N          | 10,72  | 9,86  | 9,19  | 17,33  | 14,58 | 12,88 |
|                     |           | S          | 10,70  | 0,11  | 0,03  | 17,28  | 6,79  | 10,00 |
|                     |           | E          | 10,72  | 3,03  | 5,42  | 17,33  | 15,45 | 20,19 |
|                     |           | O          | 10,69  | 3,00  | 6,72  | 17,29  | 18,65 | 27,88 |

Taules 6-04: Demanda anual de calefacció, refrigeració i total segons orientació, factor d'ombra, construcció i % de finestra, per a la intervenció d'addició de galeria.

Els quadres següents mostren, marcat amb color -rosa en calefacció, blau en refrigeració i gris pel total- la intervenció que aconseguix una major reducció de la demanda.

### Aïllament

| DISMINUCIÓ DE LA DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ |            |        |       |       |        |       | DISMINUCIÓ DE LA DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |            |        |      |       |        |       |       |
|--|------------|--------|-------|-------|--------|-------|--|------------|--------|------|-------|--------|-------|-------|
| kWh/m <sup>2</sup>                           | % FINESTRA |        |       |       |        |       | kWh/m <sup>2</sup>                             | % FINESTRA |        |      |       |        |       |       |
|  | 10         |        |       | 60    |        |       |  | 10         |        |      | 60    |        |       |       |
|  | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |  | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1 | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |       |
| CONSTRUCCIÓ                                  | Fa1 - F11  | N      | 32,29 | 33,63 | 35,01  | 14,24 | 14,43  | 14,64      | 0,00   | 0,01 | 0,05  | 0,05   | 0,13  | 0,18  |
|  |            | S      | 32,11 | 18,85 | 10,72  | 14,14 | 5,52   | 1,78       | 0,00   | 0,47 | 2,39  | 0,05   | -1,00 | -2,48 |
|  |            | E      | 32,27 | 27,27 | 23,38  | 14,23 | 10,53  | 8,93       | 0,00   | 0,54 | -1,36 | 0,06   | -0,91 | -3,13 |
|  |            | O      | 32,16 | 27,41 | 23,68  | 14,17 | 10,78  | 8,87       | 0,00   | 0,97 | -0,23 | 0,09   | -1,54 | -0,99 |
|  | Fa5 - F3   | N      | 4,58  | 4,69  | 4,80   | 2,05  | 1,96   | 1,81       | 0,00   | 0,00 | 0,00  | 0,00   | 0,00  | -0,07 |
|  |            | S      | 4,57  | 2,34  | 0,81   | 2,04  | 0,33   | 0,41       | 0,00   | 0,00 | 0,51  | 0,00   | 0,03  | -0,47 |
|  |            | E      | 4,58  | 3,75  | 3,10   | 2,04  | 1,27   | 1,04       | 0,00   | 0,01 | 0,71  | 0,00   | -0,23 | -0,10 |
|  |            | O      | 4,56  | 3,64  | 2,97   | 2,05  | 1,24   | 0,95       | 0,00   | 0,02 | -0,08 | 0,00   | -0,24 | -0,26 |

| DISMINUCIÓ DE LA DEMANDA ANUAL TOTAL |            |        |       |       |        |       |       |       |
|--------------------------------------|------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| kWh/m <sup>2</sup>                   | % FINESTRA |        |       |       |        |       |       |       |
|                                      | 10         |        |       | 60    |        |       |       |       |
|                                      | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |       |       |
| CONSTRUCCIÓ                          | Fa1 - F11  | N      | 32,29 | 33,64 | 35,07  | 14,28 | 14,56 | 14,82 |
|                                      |            | S      | 32,11 | 19,32 | 13,11  | 14,19 | 4,53  | -0,69 |
|                                      |            | E      | 32,27 | 27,81 | 22,02  | 14,29 | 9,62  | 5,80  |
|                                      |            | O      | 32,16 | 28,39 | 23,45  | 14,25 | 9,24  | 7,88  |
|                                      | Fa5 - F3   | N      | 4,58  | 4,69  | 4,80   | 2,05  | 1,97  | 1,74  |
|                                      |            | S      | 4,57  | 2,34  | 1,32   | 2,04  | 0,36  | -0,06 |
|                                      |            | E      | 4,58  | 3,76  | 3,80   | 2,04  | 1,04  | 0,94  |
|                                      |            | O      | 4,56  | 3,67  | 2,89   | 2,05  | 1,00  | 0,68  |

Taules 6-05: Disminució de la demanda anual de calefacció i refrigeració segons orientació, factor d'ombra, construcció i % de finestra, per a la intervenció d'addició d'aïllament tèrmic exterior.

### Aïllament amb canvi de finestres

| DISMINUCIÓ DE LA DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ |            |        |       |       |              |       | DISMINUCIÓ DE LA DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |            |        |      |       |        |       |       |
|--|------------|--------|-------|-------|--------------|-------|--|------------|--------|------|-------|--------|-------|-------|
| kWh/m <sup>2</sup>                           | % FINESTRA |        |       |       |              |       | kWh/m <sup>2</sup>                             | % FINESTRA |        |      |       |        |       |       |
|  | 10         |        |       | 60    |              |       |  | 10         |        |      | 60    |        |       |       |
|  | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5       | Fo=1  |  | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1 | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |       |
| CONSTR.                                      | Fa1 - F11  | N      | 34,86 | 36,14 | <b>37,48</b> | 28,88 | 28,52  | 28,19      | 0,00   | 0,01 | 0,05  | 0,09   | 0,49  | 1,14  |
|  |            | S      | 34,65 | 19,66 | 10,94        | 28,67 | 8,71   | 2,69       | 0,00   | 0,48 | 3,19  | 0,09   | 1,17  | -1,16 |
|  |            | E      | 34,84 | 28,96 | 24,50        | 28,87 | 19,46  | 15,30      | 0,00   | 0,57 | -0,38 | 0,11   | -5,59 | -3,85 |
|  |            | O      | 34,70 | 29,09 | 24,80        | 28,66 | 19,84  | 15,28      | 0,00   | 1,05 | 0,53  | 0,17   | -2,71 | 2,43  |

| DISMINUCIÓ DE LA DEMANDA ANUAL TOTAL |            |        |       |       |        |       |       |       |
|--------------------------------------|------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| kWh/m <sup>2</sup>                   | % FINESTRA |        |       |       |        |       |       |       |
|                                      | 10         |        |       | 60    |        |       |       |       |
|                                      | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |       |       |
| CONSTR.                              | Fa1 - F11  | N      | 34,86 | 36,15 | 37,54  | 28,96 | 29,01 | 29,34 |
|                                      |            | S      | 34,65 | 20,14 | 14,13  | 28,76 | 9,88  | 1,53  |
|                                      |            | E      | 34,84 | 29,53 | 24,11  | 28,99 | 13,87 | 11,45 |
|                                      |            | O      | 34,70 | 30,14 | 25,33  | 28,83 | 17,13 | 17,71 |

Taules 6-06: Disminució de la demanda anual de calefacció i refrigeració segons orientació, factor d'ombra, construcció i % de finestra, per a la intervenció d'addició d'aïllament tèrmic exterior i canvi de finestres.

## Galeria

| DISMINUCIÓ DE LA DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓ |          |   |            |        |       |       | DISMINUCIÓ DE LA DEMANDA ANUAL DE REFRIGERACIÓ |       |                    |      |      |            |        |             |      |        |      |
|--|----------|---|------------|--------|-------|-------|--|-------|--------------------|------|------|------------|--------|-------------|------|--------|------|
| kWh/m <sup>2</sup>                           |          |   | % FINESTRA |        |       |       |  |       | kWh/m <sup>2</sup> |      |      | % FINESTRA |        |             |      |        |      |
|  |          |   | 10         |        |       | 60    |  |       |                    |      |      | 10         |        |             | 60   |        |      |
|  |          |   | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5   | Fo=1  |                    |      |      | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1        | Fo=0 | Fo=0,5 | Fo=1 |
| CONSTRUCCIÓ                                  | Fa1 - F1 | N | 17,79      | 19,54  | 21,01 | 19,49 | 19,12  | 18,81 | 0,00               | 0,00 | 0,05 | 0,00       | 0,02   | 1,17        |      |        |      |
|  |          | S | 17,44      | 24,61  | 11,74 | 19,03 | 11,76  | 3,73  | 0,00               | 0,12 | 3,00 | 0,01       | 0,42   | 14,14       |      |        |      |
|  |          | E | 17,78      | 27,34  | 22,50 | 19,48 | 23,16  | 15,38 | 0,00               | 0,12 | 1,89 | 0,03       | 0,46   | 6,85        |      |        |      |
|  |          | O | 17,72      | 27,33  | 22,62 | 19,39 | 23,72  | 16,43 | 0,00               | 0,26 | 2,73 | 0,09       | 0,93   | <b>8,65</b> |      |        |      |
|  | Fa5 - F3 | N | 7,15       | 7,48   | 7,69  | 10,13 | 9,55   | 9,03  | 0,00               | 0,00 | 0,00 | 0,00       | 0,01   | 3,09        |      |        |      |
|  |          | S | 7,14       | 7,02   | 1,64  | 10,10 | 3,70   | 1,36  | 0,00               | 0,00 | 0,63 | 0,00       | 0,12   | 13,91       |      |        |      |
|  |          | E | 7,15       | 10,51  | 8,13  | 10,13 | 10,92  | 5,56  | 0,00               | 0,00 | 1,60 | 0,00       | 0,17   | 5,91        |      |        |      |
|  |          | O | 7,14       | 10,35  | 7,96  | 10,10 | 11,22  | 6,69  | 0,00               | 0,01 | 0,83 | 0,00       | 0,44   | 5,29        |      |        |      |

| DISMINUCIÓ DE LA DEMANDA ANUAL TOTAL |          |   |            |        |       |       |        |       |
|--------------------------------------|----------|---|------------|--------|-------|-------|--------|-------|
| kWh/m <sup>2</sup>                   |          |   | % FINESTRA |        |       |       |        |       |
|                                      |          |   | 10         |        |       | 60    |        |       |
|                                      |          |   | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1  |
| CONSTRUCCIÓ                          | Fa1 - F1 | N | 17,79      | 19,55  | 21,05 | 19,49 | 19,14  | 19,98 |
|                                      |          | S | 17,44      | 24,73  | 14,75 | 19,04 | 12,18  | 17,87 |
|                                      |          | E | 17,78      | 27,47  | 24,39 | 19,51 | 23,62  | 22,23 |
|                                      |          | O | 17,72      | 27,59  | 25,35 | 19,47 | 24,66  | 25,09 |
|                                      | Fa5 - F3 | N | 7,15       | 7,48   | 7,69  | 10,13 | 9,55   | 12,11 |
|                                      |          | S | 7,14       | 7,02   | 2,27  | 10,10 | 3,82   | 15,27 |
|                                      |          | E | 7,15       | 10,52  | 9,73  | 10,13 | 11,09  | 11,48 |
|                                      |          | O | 7,14       | 10,36  | 8,79  | 10,11 | 11,65  | 11,98 |

*Taules 6-07: Disminució de la demanda anual de calefacció i refrigeració segons orientació, factor d'ombra, construcció i % de finestra, per a la intervenció d'addició de galeria.*

## Dades apartat 7: Aproximació a una eina gràfica

| BALANÇ ENERGÈTIC GNER |           |            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------|-----------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| kWh/m <sup>2</sup>    |           | % FINESTRA |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                       |           | 10         |        |        | 35     |        |        | 60     |        |        |        |
|                       |           | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1   | Fo=0   | Fo=0,5 | Fo=1   | Fo=0   | Fo=0,5 | Fo=1   |        |
| CONSTRUCCIÓ           | Fa1 - FI1 | N          | 11,64  | 12,04  | 12,45  | 12,60  | 12,73  | 12,87  | 13,55  | 13,44  | 13,34  |
|                       |           |            | 0,27   | 0,52   | 0,77   | 0,94   | 1,81   | 2,68   | 1,62   | 3,10   | 4,59   |
|                       |           |            | -10,13 | -10,78 | -11,45 | -11,77 | -12,76 | -13,77 | -13,39 | -14,74 | -16,11 |
|                       |           | S          | 11,60  | 7,18   | 4,22   | 12,55  | 5,07   | 2,07   | 13,49  | 4,21   | 1,43   |
|                       |           | 0,27       | 2,63   | 4,99   | 0,94   | 9,20   | 17,45  | 1,62   | 15,76  | 29,91  |        |
|                       |           | -10,08     | -7,75  | -6,28  | -11,72 | -11,57 | -13,51 | -13,33 | -15,93 | -21,60 |        |
|                       | E         | 11,64      | 10,73  | 9,87   | 12,60  | 10,51  | 8,57   | 13,55  | 10,40  | 7,68   |        |
|                       |           | 0,27       | 1,01   | 1,75   | 0,94   | 3,53   | 6,12   | 1,62   | 6,06   | 10,50  |        |
|                       |           | -10,13     | -9,91  | -9,75  | -11,77 | -12,17 | -12,69 | -13,39 | -14,51 | -15,91 |        |
|                       | O         | 11,64      | 10,78  | 10,01  | 12,60  | 10,60  | 8,88   | 13,55  | 10,57  | 8,28   |        |
|                       |           | 0,27       | 1,01   | 1,75   | 0,94   | 3,53   | 6,12   | 1,62   | 6,06   | 10,50  |        |
|                       |           | -10,13     | -9,95  | -9,83  | -11,77 | -12,22 | -12,85 | -13,39 | -14,60 | -16,12 |        |
| Fa3 - FI2             | N         | 8,19       | 8,42   | 8,63   | 9,21   | 9,17   | 9,12   | 10,20  | 9,91   | 9,62   |        |
|                       |           | 0,23       | 0,45   | 0,66   | 0,81   | 1,56   | 2,30   | 1,39   | 2,67   | 3,95   |        |
|                       |           | -6,62      | -7,04  | -7,47  | -8,20  | -8,89  | -9,58  | -9,77  | -10,73 | -11,71 |        |
|                       | S         | 8,18       | 4,87   | 2,51   | 9,18   | 2,91   | 0,86   | 10,17  | 2,33   | 0,53   |        |
|                       | 0,23      | 2,30       | 4,37   | 0,81   | 8,05   | 15,29  | 1,39   | 13,80  | 26,21  |        |        |
|                       | -6,60     | -5,08      | -4,08  | -8,18  | -8,10  | -9,64  | -9,74  | -11,72 | -15,73 |        |        |
| E                     | 8,19      | 7,50       | 6,83   | 9,21   | 7,39   | 5,69   | 10,20  | 7,36   | 4,93   |        |        |
|                       | 0,23      | 0,86       | 1,49   | 0,81   | 3,02   | 5,22   | 1,39   | 5,17   | 8,95   |        |        |
|                       | -6,62     | -6,50      | -6,40  | -8,20  | -8,49  | -8,85  | -9,77  | -10,54 | -11,55 |        |        |
| O                     | 8,19      | 7,53       | 6,91   | 9,21   | 7,45   | 5,92   | 10,20  | 7,51   | 5,44   |        |        |
|                       | 0,23      | 0,86       | 1,49   | 0,81   | 3,02   | 5,22   | 1,39   | 5,17   | 8,95   |        |        |
|                       | -6,62     | -6,51      | -6,43  | -8,20  | -8,52  | -8,95  | -9,77  | -10,61 | -11,72 |        |        |
| Fa5 - F3              | N         | 4,68       | 4,70   | 4,71   | 6,05   | 5,83   | 5,61   | 7,40   | 6,94   | 6,51   |        |
|                       |           | 0,21       | 0,41   | 0,61   | 0,75   | 1,44   | 2,13   | 1,29   | 2,47   | 3,65   |        |
|                       |           | -3,05      | -3,26  | -3,47  | -4,97  | -5,42  | -5,88  | -6,84  | -7,56  | -8,28  |        |
|                       | S         | 4,68       | 2,52   | 1,06   | 6,04   | 1,26   | 0,24   | 7,38   | 1,09   | 0,22   |        |
|                       | 0,21      | 2,15       | 4,08   | 0,75   | 7,52   | 14,28  | 1,29   | 12,88  | 24,48  |        |        |
|                       | -3,04     | -2,44      | -2,06  | -4,96  | -5,31  | -6,60  | -6,83  | -8,77  | -11,60 |        |        |
| E                     | 4,68      | 4,15       | 3,65   | 6,05   | 4,44   | 3,04   | 7,40   | 4,81   | 2,78   |        |        |
|                       | 0,21      | 0,79       | 1,37   | 0,75   | 2,78   | 4,81   | 1,29   | 4,76   | 8,24   |        |        |
|                       | -3,05     | -3,04      | -3,04  | -4,97  | -5,27  | -5,64  | -6,84  | -7,53  | -8,45  |        |        |
| O                     | 4,68      | 4,18       | 3,70   | 6,05   | 4,53   | 3,27   | 7,40   | 4,97   | 3,28   |        |        |
|                       | 0,21      | 0,79       | 1,37   | 0,75   | 2,78   | 4,80   | 1,29   | 4,76   | 8,24   |        |        |
|                       | -3,05     | -3,03      | -3,04  | -4,97  | -5,28  | -5,70  | -6,84  | -7,59  | -8,58  |        |        |

Taules 7-01: Balanç energètic del mes de gener segons orientació, factor d'ombra, construcció i % de finestra, per a l'estat inicial. Els tres valors de cada requadre corresponen, de dalt a baix, a la demanda de calefacció, els guanys per radiació i les pèrdues per transmissió, tots ells del mes de gener.

| BALANÇ ENERGÈTIC GNER |           |            |        |       |       |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------|-----------|------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| kWh/m <sup>2</sup>    |           | % FINESTRA |        |       |       |        |        |        |        |        |        |
|                       |           | 10         |        |       | 35    |        |        | 60     |        |        |        |
|                       |           | Fo=0       | Fo=0,5 | Fo=1  | Fo=0  | Fo=0,5 | Fo=1   | Fo=0   | Fo=0,5 | Fo=1   |        |
| CONSTRUCCIÓ           | Fa1 - F11 | N          | 4,74   | 4,74  | 4,74  | 7,70   | 7,53   | 7,36   | 10,52  | 10,20  | 9,89   |
|                       |           |            | 0,27   | 0,52  | 0,77  | 0,94   | 1,81   | 2,68   | 1,62   | 3,10   | 4,59   |
|                       |           |            | -3,18  | -3,43 | -3,68 | -6,84  | -7,52  | -8,20  | -10,32 | -11,47 | -12,63 |
|                       |           | S          | 4,73   | 2,47  | 1,00  | 7,67   | 1,98   | 0,45   | 10,48  | 2,45   | 0,58   |
|                       | 0,27      |            | 2,63   | 4,99  | 0,94  | 9,20   | 17,45  | 1,62   | 15,76  | 29,91  |        |
|                       | -3,17     |            | -2,91  | -2,90 | -6,81 | -7,96  | -10,47 | -10,28 | -13,64 | -19,09 |        |
|                       | E         | 4,74       | 4,13   | 3,56  | 7,70  | 5,79   | 4,08   | 10,52  | 7,45   | 4,90   |        |
|                       |           | 0,27       | 1,01   | 1,75  | 0,94  | 3,53   | 6,12   | 1,62   | 6,06   | 10,50  |        |
|                       |           | -3,18      | -3,26  | -3,36 | -6,84 | -7,39  | -8,05  | -10,32 | -11,50 | -12,96 |        |
|                       | O         | 4,74       | 4,16   | 3,62  | 7,70  | 5,87   | 4,34   | 10,52  | 7,61   | 5,45   |        |
|                       |           | 0,27       | 1,01   | 1,75  | 0,94  | 3,53   | 6,12   | 1,62   | 6,06   | 10,50  |        |
|                       |           | -3,18      | -3,27  | -3,38 | -6,84 | -7,43  | -8,16  | -10,32 | -11,57 | -13,14 |        |
| Fa3 - F12             | N         | 4,26       | 4,24   | 4,22  | 6,37  | 6,14   | 5,93   | 8,43   | 8,02   | 7,64   |        |
|                       |           | 0,23       | 0,45   | 0,66  | 0,81  | 1,56   | 2,30   | 1,39   | 2,67   | 3,95   |        |
|                       |           | -2,64      | -2,84  | -3,03 | -5,37 | -5,88  | -6,40  | -8,00  | -8,85  | -9,71  |        |
|                       | S         | 4,25       | 2,22   | 0,87  | 6,35  | 1,38   | 0,25   | 8,41   | 1,49   | 0,30   |        |
| 0,23                  |           | 2,30       | 4,37   | 0,81  | 8,05  | 15,29  | 1,39   | 13,80  | 26,21  |        |        |
| -2,63                 |           | -2,31      | -2,18  | -5,36 | -6,02 | -7,73  | -7,97  | -10,35 | -14,07 |        |        |
| E                     | 4,26      | 3,72       | 3,22   | 6,37  | 4,66  | 3,17   | 8,43   | 5,66   | 3,42   |        |        |
|                       | 0,23      | 0,86       | 1,49   | 0,81  | 3,02  | 5,22   | 1,39   | 5,17   | 8,95   |        |        |
|                       | -2,64     | -2,68      | -2,74  | -5,37 | -5,75 | -6,21  | -8,00  | -8,82  | -9,88  |        |        |
| O                     | 4,26      | 3,75       | 3,28   | 6,37  | 4,74  | 3,42   | 8,43   | 5,81   | 3,95   |        |        |
|                       | 0,23      | 0,86       | 1,49   | 0,81  | 3,02  | 5,22   | 1,39   | 5,17   | 8,95   |        |        |
|                       | -2,64     | -2,69      | -2,76  | -5,37 | -5,78 | -6,30  | -8,00  | -8,88  | -10,04 |        |        |
| Fa5 - F13             | N         | 3,67       | 3,63   | 3,59  | 5,31  | 5,04   | 4,78   | 6,93   | 6,45   | 6,00   |        |
|                       |           | 0,21       | 0,41   | 0,61  | 0,75  | 1,44   | 2,13   | 1,29   | 2,47   | 3,65   |        |
|                       |           | -2,00      | -2,15  | -2,30 | -4,23 | -4,64  | -5,05  | -6,39  | -7,07  | -7,77  |        |
|                       | S         | 3,67       | 1,87   | 0,68  | 5,30  | 0,92   | 0,17   | 6,91   | 0,95   | 0,18   |        |
| 0,21                  |           | 2,15       | 4,08   | 0,75  | 7,52  | 14,28  | 1,29   | 12,88  | 24,48  |        |        |
| -1,99                 |           | -1,74      | -1,62  | -4,22 | -4,77 | -6,06  | -6,37  | -8,41  | -11,14 |        |        |
| E                     | 3,67      | 3,20       | 2,75   | 5,31  | 3,76  | 2,43   | 6,93   | 4,38   | 2,43   |        |        |
|                       | 0,21      | 0,79       | 1,37   | 0,75  | 2,78  | 4,81   | 1,29   | 4,76   | 8,24   |        |        |
|                       | -2,00     | -2,04      | -2,09  | -4,23 | -4,56 | -4,97  | -6,39  | -7,09  | -8,03  |        |        |
| O                     | 3,67      | 3,22       | 2,80   | 5,31  | 3,84  | 2,67   | 6,93   | 4,54   | 2,93   |        |        |
|                       | 0,21      | 0,79       | 1,37   | 0,75  | 2,78  | 4,80   | 1,29   | 4,76   | 8,24   |        |        |
|                       | -2,00     | -2,05      | -2,11  | -4,23 | -4,59 | -5,04  | -6,39  | -7,15  | -8,16  |        |        |

Taules 7-02: Balanç energètic del mes de gener segons orientació, factor d'ombra, construcció i % de finestra, per a la intervenció d'addició d'aïllament exterior. Els tres valors de cada requadre corresponen, de dalt a baix, a la demanda de calefacció, els guanys per radiació i les pèrdues per transmissió, tots ells del mes de gener.