

Universitat de Lleida

Escola Politècnica Superior

Grau en Enginyeria Industrial, especialitat en Mecànica

Treball de fi de grau

Estudi energètic d'un atri

Autor: Xavier Caveró Solans

Director: Jérôme Barrau

Juliol 2014



ÍNDIX

1. Full d'identificació	10
2. Introducció	11
3. Objectius.....	13
4. Procediment de càlcul	15
4.1. Geometria i definició dels seus elements.....	15
4.2. Sistemes constructius	16
4.3. El fitxer de clima.....	16
4.4. Calendaris.....	17
4.5. Càrregues internes.....	17
4.6. Zones tèrmiques	17
4.7. Simulació i resultats	18
5. Descripció dels tancaments que formen el model.....	19
5.1. Murs exteriors amb aïllament	19
5.2. Murs exteriors sense aïllament	19
5.3. Teulada.....	20
5.4. Atri.....	20
6. Descripció dels models	21
7. Metodologia de resolució.....	22
8. Efectes d'impedir l'intercanvi de calor en les parets exteriors de la casa	60
9. Resultats globals de demanda d'energia	24
9.1. Demanda de calor i fred en els 4 casos	24
10. Resultats detallats	26
10.1. Efecte de l'atri quan no tenim aïllament	26
10.2. Efecte de l'atri quan tenim aïllament	31



10.3.	Efecte d'augmentar el gruix de l'aïllament.....	37
10.4.	Paràmetres rellevants.....	39
10.4.1.	Localització de les superfícies vidriades	39
10.4.2.	Orientació	42
10.4.3.	Clima	46
10.5.	Estratègies per evitar el sobreescalfament a l'estiu.....	50
10.5.1.	Proteccions solars	50
10.5.2.	Ventilació	53
10.6.	Resultat de combinar proteccions solars amb ventilació.....	55
11.	Valoració econòmica	57
12.	Valoració ambiental	59
13.	Conclusions.....	60
14.	Bibliografia.....	63

ÍNDIX DE TAULES

Taula 5.1 – Taula amb les temperatures màximes i mínimes durant el dia de la figura 5.0	32
Taula 5.2 – Taula amb els desfasaments horaris entre temperatures durant el dia de la figura 5.0.....	32
Taula 9.1 – Nivells de demanda d'energia durant els 3 mesos d'hivern, en els casos 2,3 i 4, per els climes de les 4 ciutats.	48
Taula 10.0 – Comparació de la demanda de fred entre el cas 4 i la utilització de persianes en els mesos descrits.	50
Taula 11.2 – Demanda de fred en funció dels nivells de ventilació mensual i la reducció de cada configuració.....	54
Taula 12.1 – Reducció demanda de fred combinant persianes i ventilació respecte ventilació.	56
Taula 12.2 - Reducció demanda de fred combinant persianes i ventilació respecte el cas base (sense persianes i sense ventilació).....	56
Taula 13.2 – Períodes d'amortització econòmics per l'aïllament, l'atri i la combinació dels dos.....	58
Taula 14.0 – Cost energètic de l'atri i de l'aïllant.....	59
Taula 14.1 – Períodes d'amortització ambientals per l'aïllament, l'atri i la combinació dels dos.....	59
Taula 15.0 - Comparació dels valors de demanda anual simplificant els murs exteriors com adiabàtics.....	60



ÍNDIX DE FIGURES

Figura 0.0 – Representació dels guanys/pèrdues que eliminem del balanç tèrmic en el model d'estudi.....	15
Figura 1.0 – Geometria del model utilitzat en l'estudi	16
Figura 1.1 – Representació de les temperatures que requereixen demanda energètica.	18
Figura 1.2 – Composició del mur exterior amb aïllament.....	19
Figura 1.3 - Composició del mur exterior exterior sense aïllament.....	19
Figura 1.4 - Composició de la teulada	20
Figura 1.5 - Composició del l'atri.....	20
Figura 2.0 – Representació gràfica dels models.....	21
Figura 2.1 – Esquema de les principals funcions de cada software.....	22
Figura 2.2 - Comparació dels valors de demanda anual simplificant els murs exteriors com adiabàtics.....	60
Figura 3.0 - La demanda de calor segons cada cas per cada mes de l'any.	24
Figura 3.1 – Reducció de la demanda de calor en cada cas per cada configuració.	24
Figura 3.2 - La demanda de fred segons cada cas per cada mes de l'any.	25
Figura 4.0 – Representació dels casos 1 i 3.....	26
Figura 4.1 – Representacions de les temperatures superficials de les dues cares de la paret estudi en el cas 1 i 3	27
Figura 4.0a - Representació del desfasament i l'amortiment de temperatures entre l'exterior i l'interior d'un mur.....	28
Figura 4.2 – Representació de les temperatures de l'aire i la demanda energètica pels casos 1 i 3.....	29
Figura 4.3 – Representació dels casos 2 i 4.....	31

Figura 5.0 – Representacions de les temperatures superficials de les dues cares de la paret estudi durant un dia de gener. A la dreta es compara el cas 1 i 3 (figura 4.1) a l'esquerra el 2 i el 4	31
Figura 5.3 – Representacions gràfica per explicar les fluctuacions de les temperatures superficials amb la presència d'aïllament.	33
Figura 5.4 – Representació de les temperatures de l'aire i la demanda energètica pels casos 2 i 4.....	34
Figura 5.5 – Representació comparativa de les temperatures de l'aire i la demanda energètica pels casos 1 i 3 i 2 i 4.....	35
Figura 5.6 – Representació de les temperatures de l'aire a l'interior de l'atri en els casos 3 i 4	36
Figura 6.1 – Representació de la demanda d'energia en el mes de gener incrementant el gruix del material aïllant.....	37
Figura 6.2 – Representació de la reducció de la demanda d'energia en el mes de gener incrementant el gruix del material aïllant.	38
Figura 7.0 – Representació de les 3 configuracions utilitzades per estudiar la localització de superfícies vidriades.	39
Figura 7.1 – Demanda de calor en segons la localització de la superfície vidriada	39
Figura 7.2 – Radiació transmesa a través de les finestres segons la localització de la superfície vidriada.	40
Figura 7.3 – Captura extreta de www.sunearthtools.com on es veu la trajectòria del Sol respecte el model en el dia d'estudi.	41
Figura 8.0 - Representació de les 3 configuracions utilitzades per estudiar l'impacte de l'orientació en la demanda.....	42
Figura 8.1 - Nivells demanda de calor segons l'orientació de l'atri	42
Figura 8.1a - Demanda de calor anual al canviar l'orientació de la casa.	43
Figura 8.2 - Nivells de radiació segons l'orientació de l'atri.	43

Figura 8.3 - Temperatures a l'interior de la superfície de captació solar segons l'orientació de l'atri.	44
Figura 9.0 – Temperatures i nivells de radiació per les ciutats de St. Petersburg, Londres, Milà, Atenes i Lleida en els mesos de Desembre, Gener i Febrer.	47
Figura 9.1 – Nivells de demanda d'energia durant els 3 mesos d'hivern, en els casos 2,3 i 4, per els climes de les 4 ciutats.	48
Figura 9.2 – Reducció de la demanda de calor comparant el cas 2 amb el cas 4 segons el clima de cada ciutat.....	49
Figura 10.1 –Temperatures de l'aire a l'interior de l'atri amb i sense persianes, temperatura exterior i energia per radiació en dos dies d'agost.....	51
Figura 11.0 – Temperatures a l'interior de l'atri en funció dels nivells de ventilació en el mes d'agost.....	53
Figura 11.2 – Demanda de fred en funció dels nivells de ventilació mensual i la reducció de cada configuració.....	54
Figura 12.0 –Temperatures de l'aire a l'interior de l'atri amb i sense persianes temperatura exterior i energia per radiació en dos dies de maig combinant l'efecte de les proteccions solars i les ventilacions.	55
Figura 13.0 – Resultats de demanda de calor i fred anuals, actualitzades amb la reducció de demanda de fred amb l'ús de persianes i de ventilació.....	57
Figura 13.1 –Estalvis energètics i econòmics de calor i fred anuals per el fet d'afegir aïllament, atri o una combinació dels dos	57



1. Full d'identificació

Títol del projecte

Estudi energètic d'un atri

Dades del tutor

Nom i cognoms: Jérôme Barrau

Departament: Departament medi ambient i ciències del sòl (MACS)

Correu electrònic: jerome.barrau@udl.cat

Dades de l'autor

Nom i cognoms: Xavier Caveró Solans

DNI: 47981733-F

Adreça: C/Alcalde Pujol nº 13, 4t C, Lleida

Telèfon: 644262532

Correu electrònic: xcs1@alumnes.udl.cat

2. Introducció

El mes de juny de l'any 1992, a la Conferència de Nacions Unides sobre el Medi ambient i el Desenvolupament, celebrada a Rio de Janeiro, Brasil, es va parlar de sostenibilitat i es va plantejar un objectiu de futur per la humanitat: Treballar per a garantir que la satisfacció de les necessitats presents dels individus no comprometés les de les generacions futures.

Els experts i les institucions mediambientals ens alerten que el consum dels recursos naturals augmenta vertiginosament provocant la necessitat d'utilitzar un model sostenible en tots els àmbits de l'activitat humana, fins i tot en la construcció.

La despesa energètica dels edificis és el 40% de la energia total consumida, i l'intent de la reducció d'aquesta demanda, tindrà un impacte molt gran en l'entorn.

La sostenibilitat en el món de la construcció ha de respectar l'entorn, la salut i l'ecologia del lloc, construïent on menys perjudici es causi. Ha d'estalviar recursos i generar els menys residus possibles i també estalviar energia, ja que la despesa energètica dels edificis és el 40% de l'energia total mundial consumida, utilitzant sistemes alternatius com ara l'energia solar, l'eòlica, la biomassa...

La construcció sostenible té per objectiu la consecució d'un nivell de confort tèrmic mitjançant l'adequació del disseny, la geometria, l'orientació i la construcció de l'edifici a les condicions climàtiques del seu entorn. Aquesta adaptació al medi tot i el sobre cost constructiu que comporta, suposa un estalvi d'energia a llarg termini.

Per aconseguir que la construcció sostenible es converteixi en una realitat i sigui viable econòmicament cal investigar, analitzar i extreure conclusions que aportin dades fermes. Un projecte com és el treball final de grau "Estudi energètic d'un atri" pot estar la meua aportació personal com a estudiant a un camp que necessita de grans esforços i que al mateix temps es dibuixa apassionant i amb grans expectatives de futur. El plantejament general del treball ha estat investigar l'estalvi i eficiència energètica en un habitatge mitjançant l'aprofitament de l'energia solar, atenent a diferents variables que aniré detallant durant la seva exposició.

La construcció sostenible fa ús dels anomenats sistemes passius. Són mètodes que s'utilitzen per captar, acumular o reduir l'energia i que no fan ús d'altres dispositius electromecànics per l'obtenció d'aquesta. Dins d'aquest grup, tenim els sistemes passius solars, que s'encarreguen de captar i acumular calor provinent de l'energia solar. La captació d'energia es fa a través de les superfícies vidriades i també s'utilitzen sistemes per emmagatzemar-la, mitjançant la inèrcia tèrmica dels materials.

L'ús d'espais solars és un tema que fa anys que s'investiga i del que hi ha nombrosos articles científics que fan referència als avantatges energètics que proporcionen. A la Universitat de Concepción de Xile, Jean-Michel Mottard i Adelqui Fissore, l'any 2006 van fer un estudi on volien quantificar la demanda energètica que es podia reduir amb la utilització dels espais solars. L'atri va provocar un augment de la temperatura a les habitacions en contacte amb l'espai solar de fins a 2,4°C i reduccions energètiques lleugerament superiors al 10%.

A la Universitat d'Atenes, G. Mihalakakou, intenta quantificar l'impacte que tenen en els espais solars paràmetres com l'orientació, els diferents tipus de climes i els materials de les superfícies vidriades per tal de maximitzar el benefici d'aquests i sobretot es centra en combatre el problema dels espais vidriats a l'estiu, el sobreescalfament. Utilitza tècniques com la ventilació, les proteccions solars i l'ús de canonades enterrades sota terra que ajudaven a disminuir la temperatura dins de l'atri.

En línia amb aquestes investigacions, l'estudi es centrarà en determinar el valor que pot tenir l'ús de materials aïllants en les parets en contacte amb l'espai solar i l'espai habitable.

3. Objectius

L'atri és un recinte tancat que està cobert per una superfície vidriada, que normalment es construeix en la cara sud de l'edifici, per tenir un guany solar major. Serveix per establir la temperatura tant en el recinte com en l'habitatge i aprofitar la seva estètica per ser utilitzat com a un espai habitable més. El guany solar és una mesura de la calor obtinguda per un cos a l'estar exposat a la radiació solar, que dependrà de la latitud, l'època de l'any i la superfície. La funció de l'atri durant l'hivern és obtenir la màxima energia possible per radiació a través de la superfície vidriada i d'aquesta manera reduir la demanda d'energia de l'habitatge. No obstant, s'haurà de tenir en compte el sobreescalfament durant els mesos d'estiu.

L'ús dels atris, moltes vegades es fa sense aïllament entre l'habitatge i aquest espai, argumentant que si la paret en contacte amb l'atri s'aïlla, es dificulta l'entrada de calor a l'interior de la casa. L'objectiu principal d'aquest projecte serà analitzar si les pèrdues de la casa durant la nit pel fet de no tenir aïllament són majors o menors que les pèrdues que provoca el fet d'afegir material aïllant durant el dia. En els següents 8 punts quedem explicats de manera més detallada els objectius del treball.

- I. Analitzar si des d'un punt de vista energètic és beneficiós que el tancament que està en contacte amb l'atri tingui material aïllant, i validar aquesta nova solució constructiva.
- II. Quantificar la reducció d'energia provocada per l'ús de material aïllant i per l'ús d'un espai solar en un habitatge.
- III. Explicar i comparar el comportament de les temperatures de l'aire i de les temperatures superficials de les parets per l'efecte del material aïllant en presència de l'espai solar.
- IV. Quantificar l'impacte que té sobre la demanda la localització de les superfícies vidriades en un atri.
- V. Quantificar l'impacte que té sobre la demanda una desviació de l'orientació de l'atri de 10º i 20º respecte el sud.
- VI. Verificar si l'ús de l'atri és beneficiós en qualsevol clima.



- VII. Validar si l'ús de proteccions solars i de ventilació són una bona mesura per evitar el sobreescalfament durant l'estiu.
- VIII. Estudiar econòmica i ambientalment la viabilitat del projecte.

4. Procediment de càlcul

L'objectiu del treball no és determinar amb exactitud els nivells de demanda d'energia d'un edifici, sinó, analitzar la variació de la demanda energètica pel fet d'afegir aïllament en la paret en contacte amb l'atri i la casa. Per tant es fa una simplificació d'una possible casa o edifici creant el que anomenarem model, que contindrà els elements més bàsics que podria tenir una infraestructura habitable. Amb aquest model es tindrà la informació necessària per poder fer les comparacions que requerirà aquest estudi.

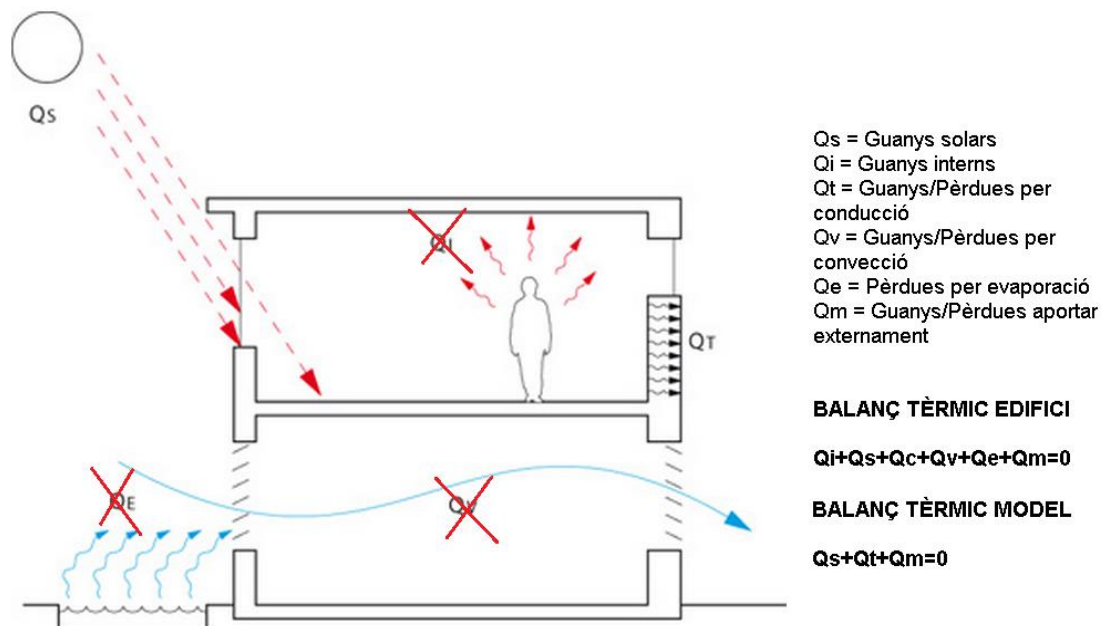


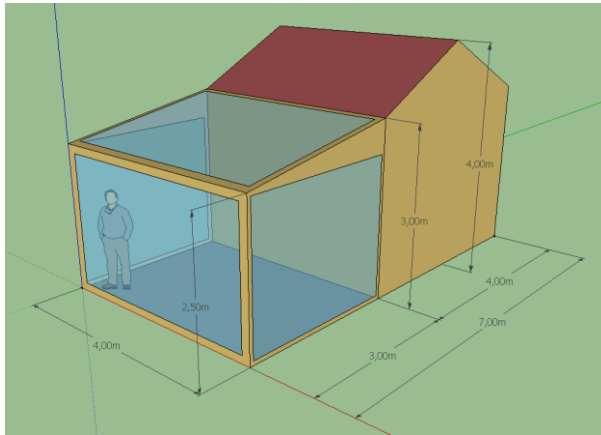
Figura 0.0 – Representació dels guanys/pèrdues que eliminem del balanç tèrmic en el model d'estudi.

Aquesta simplificació inclou l'eliminació dels termes de guanys per evaporació, per convecció i per càrregues internes del balanç tèrmic de la casa. El balanç tèrmic del model queda representat en la figura 0.0. Els altres passos per arribar a aquesta simplificació es descriuran a continuació.

4.1. Geometria i definició dels seus elements

El primer pas, és fer una simplificació de la geometria d'una casa. Es crea un model amb les dimensions mostrades en la figura, que podria simular perfectament una casa de camp.

Posteriorment es defineixen dos espais i dos zones tèrmiques diferenciades que estaran en contacte a través del mur d'estudi, i d'aquesta manera es poden extreure les dades



requerides tant de la casa com de l'atri.

Cal associar cada tancament a un sistema constructiu, a un tipus de superfície, a cada espai i zona tèrmica, i les zones amb les que aquest està en contacte.

Figura 1.0 – Geometria del model utilitzat en l'estudi

4.2. Sistemes constructius

Es defineixen dos sistemes constructius diferents, un per l'atri i un altre per la casa, que inclouen les parets, les teulades, les parets interiors, les portes o les finestres que contindran els tancaments que formaran cada espai.

En l'estudi es vol quantificar l'impacte del mur en contacte amb l'espai solar i l'habitatge en la demanda de la casa, per aquest motiu, tots els altres tancaments de la casa els definirem com adiabàtics, imposant que aquests no intercanviïn calor amb l'exterior i l'única superfície d'intercanvi d'energia sigui el mur de contacte. Aquesta simplificació provoca canvis sobre els nivells de demanda reals, però no afecten a l'hora de comparar les diferents solucions constructives. Lògicament, com l'estudi es centra amb el comportament de l'espai de captació solar, els tancaments d'aquests si que tindran transferència d'energia amb l'exterior.

4.3. El fitxer de clima

Són arxius que es poden descarregar de la pàgina www.energyplus.gov, on hi ha climes de totes les zones del món. Aquest contenen la informació necessària per simular les demandes d'energia segons les condicions climàtiques de cada localització: Com el nivell de radiació, les temperatures, les velocitats del vent, el percentatge de dies que no hi ha Sol, etc. Les simulacions del model s'han realitzat en diferents ciutats, però el cas

sobre el qual es realitzen la majoria de casuístiques és en la ciutat de Lleida, per tant, quan no s'especifica, tots els resultats estaran referenciats a aquest clima.

4.4. Calendaris

Els calendaris serveixen per aproximar amb més precisió les demandes i els consums de l'habitatge mitjançant la definició les temperatures de confort, els nivells de ventilació, la necessitat de llum interna, l'activitat a l'interior de l'habitatge, etc. segons l'hora del dia i mes de l'any. En el nostre estudi els utilitzarem per fixar les temperatures de confort a l'estiu de 23°C i a l'hivern de 21°C, per obtenir les demandes d'energia en aquestes condicions.

4.5. Càrregues internes

Les càrregues internes és la energia que aporten en forma de calor elements que tenim a l'interior de l'habitatge com les persones, la llum o els aparells elèctrics que consumeixen energia. Una persona pot aportar 180W i un televisor més 300W, que fan que el balanç tèrmic de la casa és vegi modificat. En el cas de l'estudi, no s'han utilitzat aquestes càrregues, ja que com s'ha comentat anteriorment, és més important la simplicitat i la comparació entre models que no la precisió que pot aportar aquest tipus d'informació en el càlcul de les demandes energètiques.

4.6. Zones tèrmiques

Una zona tèrmica és un espai amb unes condicions de temperatura, radiació transmesa o nivells d'infiltracions diferenciades dels espais que l'envolten. Cadascuna de les zones tèrmiques tindrà resultats independents encara que entre elles hi hagi una certa connexió. La idea de l'estudi és determinar les demandes de calor i de fred que requereix el model a estudiar fixant unes temperatures de confort per l'habitabilitat de l'ésser humà.

El rang de temperatures en el que la casa no requerirà una demanda d'energia queda reflectit en la figura 1.1, entre 21°C i 23 °C. Quan les condicions exteriors canvien la temperatura a l'interior de la casa fora d'aquest rang, es produeix una demanda energètica per mantenir la temperatura dintre del rang de confort.



Figura 1.1 – Representació de les temperatures que requereixen demanda energètica.

4.7. Simulació i resultats

Quan es tenen totes les dades es procedeix a la simulació del model i a l'obtenció de les dades requerides. El software permet extreure infinitat de resultats com les temperatures de l'aire o la radiació obtinguda en cada zona tèrmica, les temperatures exteriors, les temperatures de les superfícies, les pèrdues d'energia a través dels tancaments, etc. Tots aquests resultats són els que permeten extreure els gràfics d'aquest estudi.

5. Descripció dels tancaments que formen el model

Els tancaments són superfícies que envolten i protegeixen el volum interior d'un edifici. Les principals funcions que tenen són la impermeabilitzant, per protegir de l'aigua, i l'aïllant tèrmica i acústica. Els materials i la proporció d'aquests tancaments s'extreuen d'un projecte realitzat en una assignatura de construcció sostenible, que validaven el compliment del CTE per la ciutat de Lleida.

5.1. Murs exteriors amb aïllament

Nombre: Murs exteriors amb aïllament

Característiques del cerramiento

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior); Horizontales (Materiales ordenados de arriba a abajo)

Material	Grupo	R (m ² K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kgK)
1/2 pie LP métrico o c...	Fábricas de ladrillo	0.172	0.115	0.667	1140	1000
Cámara de aire ligera...	Cámaras de aire	0.085	-	-	-	-
MW Lana mineral [0.0...	Aislantes	1.235	0.05	0.0405	40	1000
Tabique de LH sencillo...	Fábricas de ladrillo	0.157	0.07	0.445	1000	1000

$R1 + \dots + Rn$
1.65 m²K/W

Layer: Outside

- LADRILLO EXTERIOR
- 000 F04 Wall air snare resistance
- LANA MINERAL
- LADRILLO INTERIOR

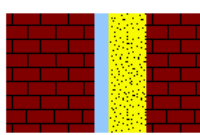


Figura 1.2 - El mur exterior està format per dos capes de maons, separats per una càmera d'aire i cinc centímetres de llana mineral com a aïllant.

5.2. Murs exteriors sense aïllament

Nombre: Murs exteriors sense aïllament

Característiques del cerramiento

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior); Horizontales (Materiales ordenados de arriba a abajo)

Material	Grupo	R (m ² K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kgK)
1/2 pie LP métrico o c...	Fábricas de ladrillo	0.172	0.115	0.667	1140	1000
Cámara de aire ligera...	Cámaras de aire	0.085	-	-	-	-
Tabique de LH sencillo...	Fábricas de ladrillo	0.157	0.07	0.445	1000	1000

$R1 + \dots + Rn$
0.41 m²K/W

Outside

- LADRILLO EXTERIOR
- 000 F04 Wall air snare resistance
- LADRILLO INTERIOR

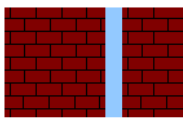
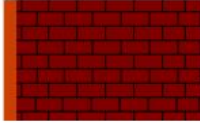


Figura 1.3 - El mur exterior està format per dos capes de maons, separats per una càmera d'aire. Com podem observar la suma de les resistències tèrmiques és quatre vegades menor, per tant el valor de la transmitància tèrmica serà molt més gran.

5.3. Teulada


-Roof


Material	Grupo	R (m2 K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m3)	C_p (J/kgK)
Teja de arcilla cocida	Cerámicos	0.02	0.02	1	2000	800
Tabique de LH sencillo...	Fábricas de ladrillo	0.09	0.04	0.445	1000	1000
FU Entrevigado de ho...	Forjados unidireccion...	0.189	0.25	1.323	1330	1000



$R_1 + \dots + R_n$
0.3 m2K/W

Outside

 TEJA DE ARCILLA ✕

 LADRILLO TEJADO ✕


 ENTREVIGADO ✕

Figura 1.4 - Donat que aquest tancament realment no serà utilitzat en l'estudi, ja que considerem que els tancaments de la casa que no estan en contacte amb l'atri seran adiabàtics, no té el detall que podria requerir, però una aproximació podria ser la descrita, un forjat, amb tàbic i l'acabat.

5.4. Atri

Hueco/Lucernario

Nombre:

Cerramiento asociado:

Orientación:

Permeabilidad del hueco: 100 m3/hm2

Absortividad del marco: 0.75

Dispositivo de protección solar

Patrón de sombras:

Doble ventana

Dimensiones

Longitud: m

Altura: m

Multiplicador:

Superficie: m2

Porcentaje de marco: %

Parámetros característicos del hueco

Propiedades térmicas:

Tipo de vidrio:

Tipo de marco:

U_{vidrio} : W/m2K

g_{vidrio} :

U_{marco} : W/m2K

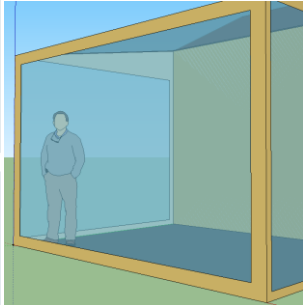


Figura 1.5 - La estructura de l'atri està feta d'alumini, i la superfície vidriada està formada per una capa de doble vidre amb càmera d'aire de 13mm. Per la simulació a l'OpenStudio es considera com una finestra en un tancament tot d'alumini.

6. Descripció dels models

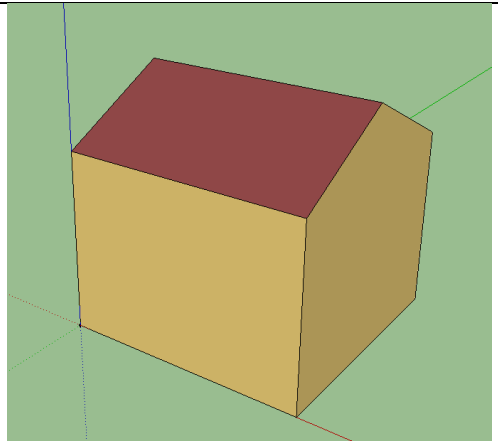
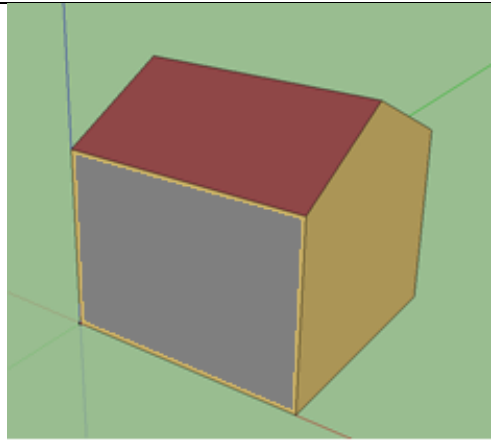
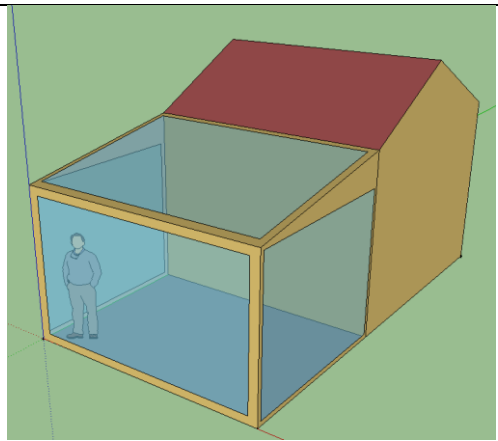
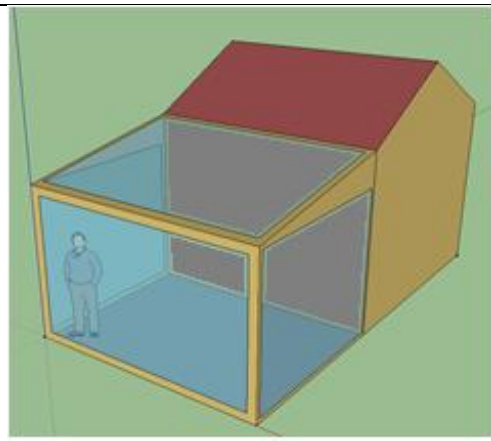
Cas(1) -Casa sense atri i sense aïllament	Cas(2) – Casa sense atri i amb aïllament
	
Cas(3) – Casa amb atri i sense aïllament	Cas(4) – Casa amb atri i amb aïllament
	

Figura 2.0 – Representació gràfica dels models en cada un dels casos que s'estudiaran.

Cas(1) -Casa sense atri i sense aïllament – Model més bàsic, on el mur d'estudi és el mur exterior sense aïllament descrit anteriorment.

Cas(2) – Casa sense atri i amb aïllament – Idèntic al model del cas (1), però el mur d'estudi acolorit de color gris, és el mur exterior amb aïllament descrit en l'apartat de tancaments.

Cas(3) – Casa amb atri i sense aïllament - Idèntic al model de cas(1), però amb l'estructura de vidre anomenada atri, on els components d'aquests tancaments estàn descrits en l'anterior apartat amb el nom d'atri.

Cas(4) – Casa amb atri i amb aïllament - Idèntic al model de cas(2), però amb l'estructura de vidre anomenada atri, on els components d'aquests tancaments estàn descrits en l'anterior apartat amb el nom d'atri.

7. Metodologia de resolució

Software utilitzat

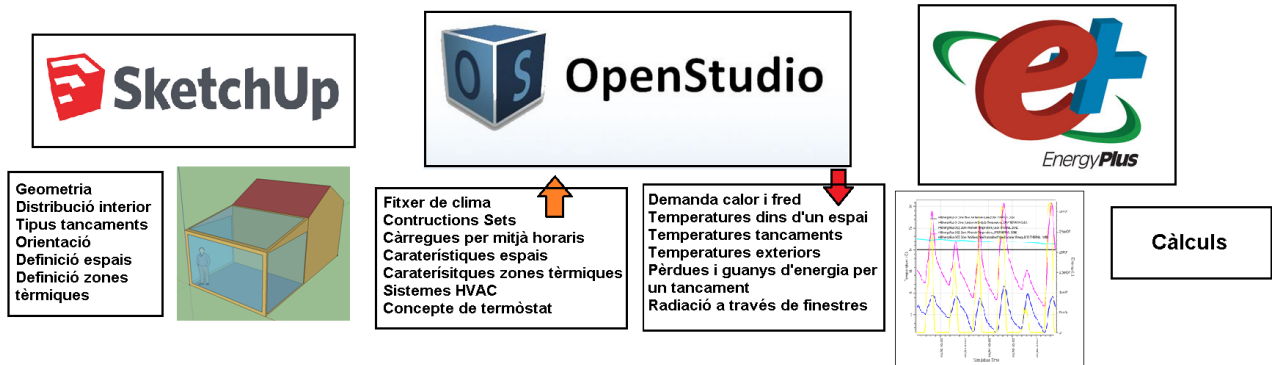


Figura 2.1 – Esquema de les principals funcions de cada software.

Sketch up

És un programa de disseny gràfic i modelat amb tres dimensions per a entorns d'arquitectura, enginyeria, disseny industrial, videojocs, etc. Es caracteritza per la simplicitat a l'hora d'utilitzar-lo i les amplies possibilitats que ofereix en quan a disseny. En el projecte s'ha utilitzat per determinar la geometria de model que s'ha estudiat, la composició interior i la definició dels espais, la seva orientació i el tipus de tancaments.

OpenStudio

És un programa amb un conjunt d'eines que serveixen per la modelització energètica dels edificis utilitzant l'Energy Plus. Una vegada s'ha definit la geometria del model amb l'SketchUp, el següent pas és introduir tota la informació que tinguem de l'edifici i les dades que en volem extreure. Es poden definir el tipus de tancaments i la seva composició, calendaris amb els equipaments de la casa o amb els horaris d'habitabilitat, els tipus d'espais i zones tèrmiques, els sistemes HVAC, un fitxer amb el clima on es troba el nostre model, etc. I a partir d'aquestes dades podem extreure infinitat de dades com les temperatures dels espais i dels tancaments, les pèrdues i els guanys d'energia a través dels tancaments, els nivells de radiació a través de les finestres, la demanda de calor o de fred fixant una temperatura de confort, etc.

Energy Plus

És el programa de simulació energètica d'edificis dels departament d'energia dels EEUU, pel modelat i el càlcul de la calefacció, la refrigeració, la il·luminació, la ventilació i altres fluxos energètics.

És el programa encarregat de fer els càlculs a partir de totes les dades del model que s'han introduït en softwares anteriors.

8. Resultats globals de demanda d'energia

Es calcula la demanda de fred i de calor que tenim a la ciutat de Lleida per cada mes de l'any i es representa gràficament en les figures següents.

8.1. Demanda de calor i fred en els 4 casos

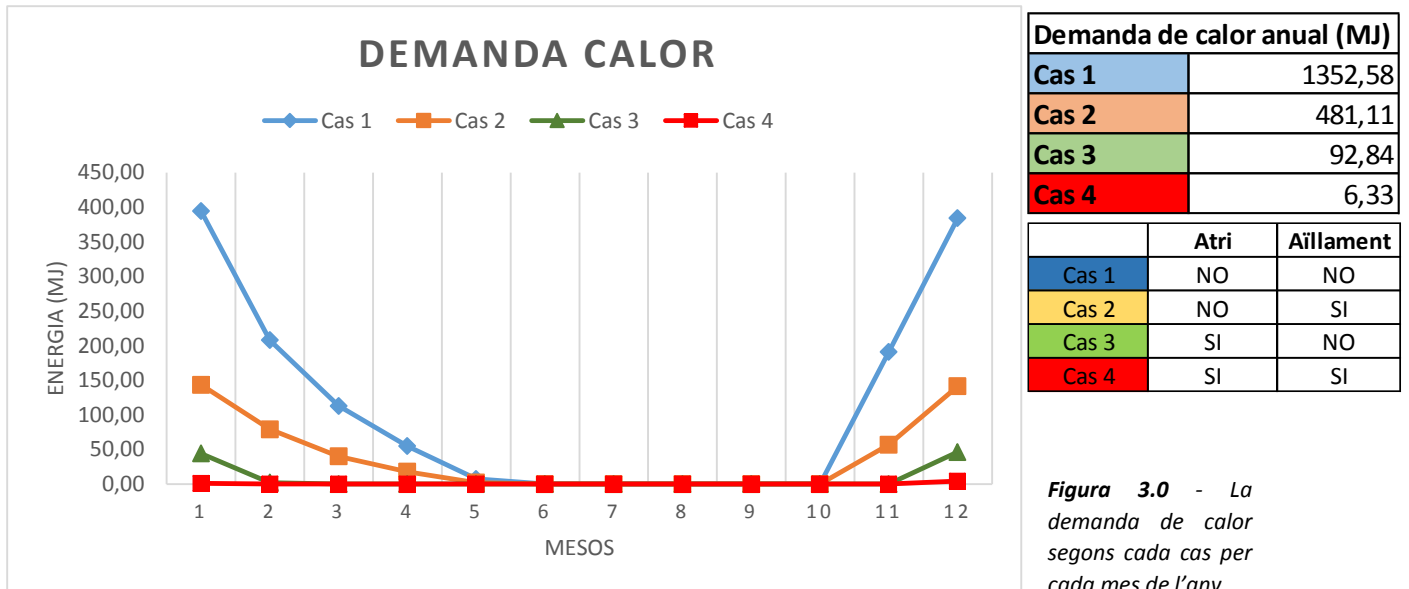


Figura 3.0 - La demanda de calor segons cada cas per cada mes de l'any.

S'aprecia el descens de la demanda per cada configuració. En el clima de Lleida és més beneficiós situar un atri que no el fet de situar aïllament en els tancaments.

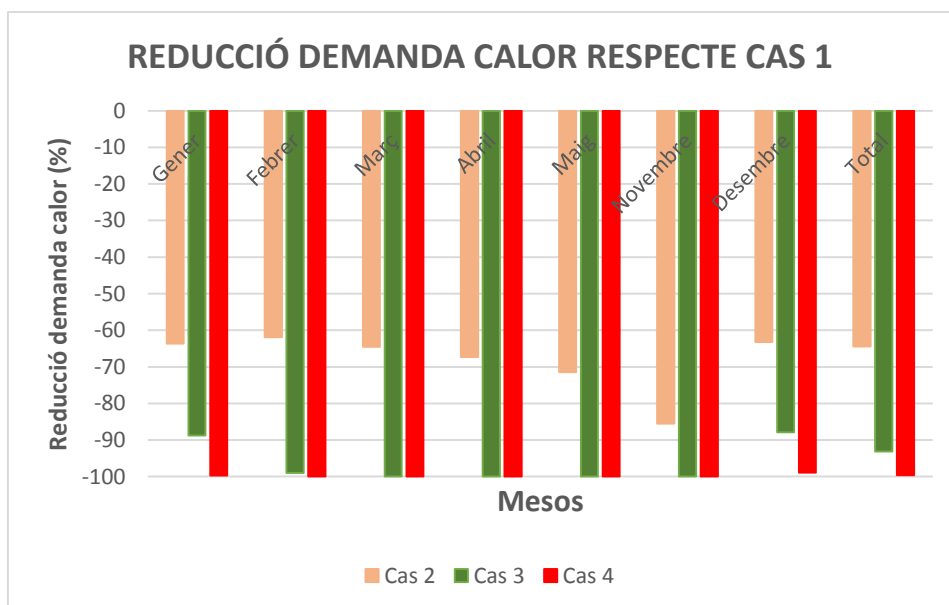
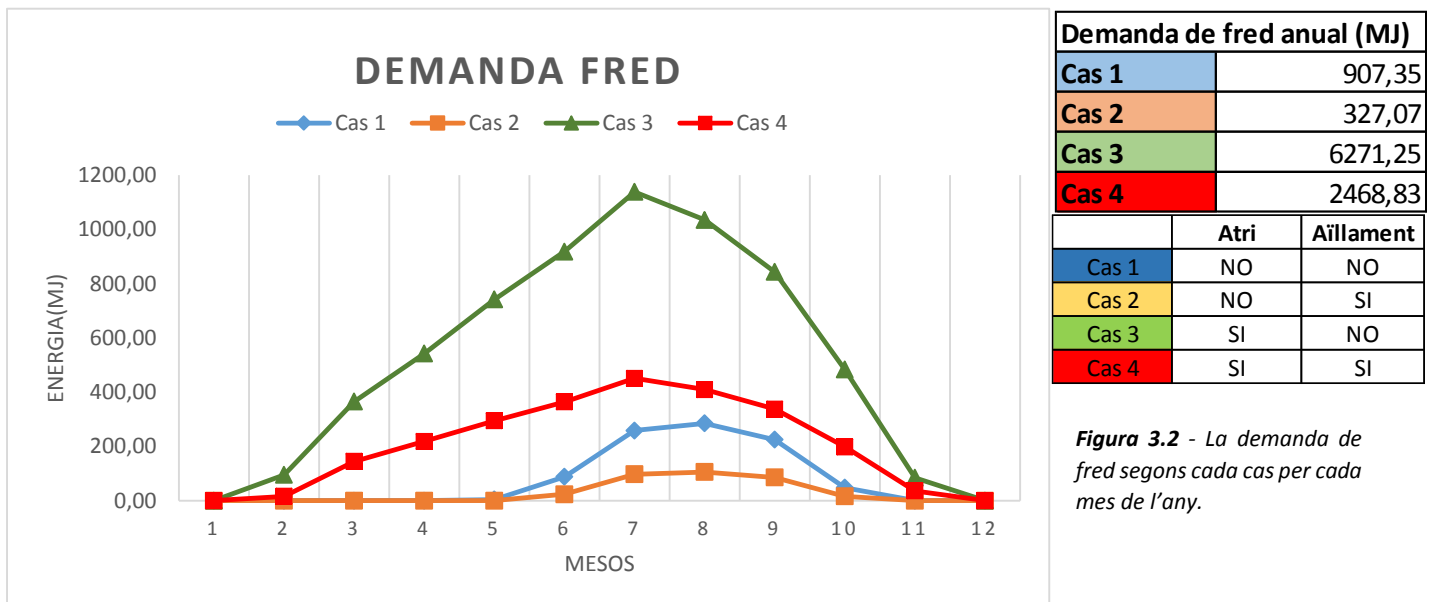


Figura 3.1 – Reducció de la demanda de calor en cada cas per cada configuració.

En la figura 3.1, s'observa la reducció de demanda calorífica per cada una de les configuracions respecte al model més bàsic. Amb el material aïllant s'aconsegueixen reduccions al voltant de 60% en els mesos d'hivern, en canvi amb la disposició de l'espai solar, en els mesos més freds d'hivern la reducció de la demanda quasi arriba al 90%. En els mesos de març, abril i maig, les demandes es veuen reduïdes en un percentatge més gran que en els mesos d'hivern, i amb la configuració de l'atri, s'aconsegueix eliminar totalment la demanda de calor. En el cas 4 (aïllament i atri), quasi bé s'elimina la demanda de calor en la seva totalitat, aconseguint una reducció del 10% si en l'atri s'afegeix material aïllant. Es verifica la necessitat de l'aïllament en el mur en contacte amb la superfície vidriada per reduir la demanda de calor requerida per arribar a la temperatura de confort.



Demanda de fred anual (MJ)		
Cas 1	907,35	
Cas 2	327,07	
Cas 3	6271,25	
Cas 4	2468,83	
	Atri	Aïllament
Cas 1	NO	NO
Cas 2	NO	SI
Cas 3	SI	NO
Cas 4	SI	SI

Figura 3.2 - La demanda de fred segons cada cas per cada mes de l'any.

Es veu l'efecte que té l'aïllament en els mesos d'estiu, reduint notablement la demanda de fred requerida, ja que aquest impedeix el flux de calor des de l'exterior cap a l'interior de la casa. La presència de l'espai solar fa que aparegui demanda de fred en mesos com el març o l'abril perquè durant les hores on la radiació solar és més alta, fa augmentar la temperatura de l'espai vidriat. També es quantifica el major problema que tenen aquest tipus d'espais vidriats, que és el sobreescalfament durant els mesos d'estiu, si es compara amb la demanda de calor és molt més gran degut a aquest fenomen.

9. Resultats detallats

Amb els resultats obtinguts fins al moment es pot validar la nostra hipòtesi de que l'ús de material aïllant és beneficiós des d'un punt de vista energètic ja que redueix tant la demanda de calor com de fred (comparativa dels casos 3 i 4 en les figures 3.0 i 3.2). Ara, s'intentarà explicar el perquè d'aquestes reduccions comparant paràmetres com la temperatura i la radiació en els quatre casos anteriorment explicats.

9.1. Efecte de l'atri quan no tenim aïllament

Es compara el cas 1 amb el cas 3 per quantificar els efectes que té l'atri sobre la casa.

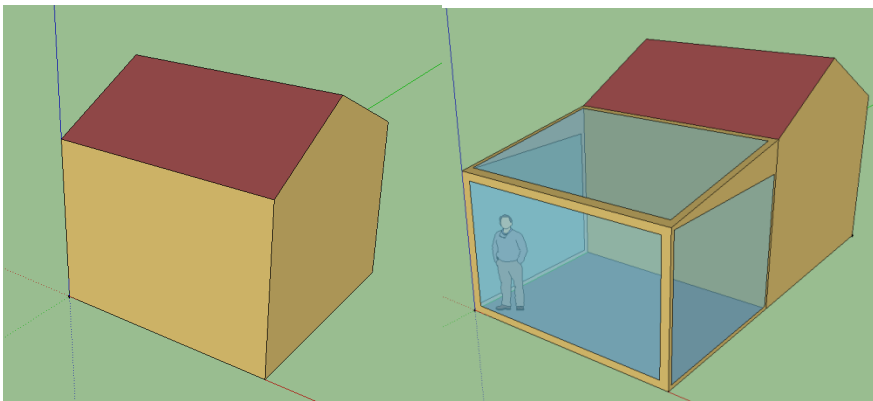


Figura 4.0 – Representació dels casos 1 i 3.

Temperatures en la superfície de les dos cares de la paret d'estudi

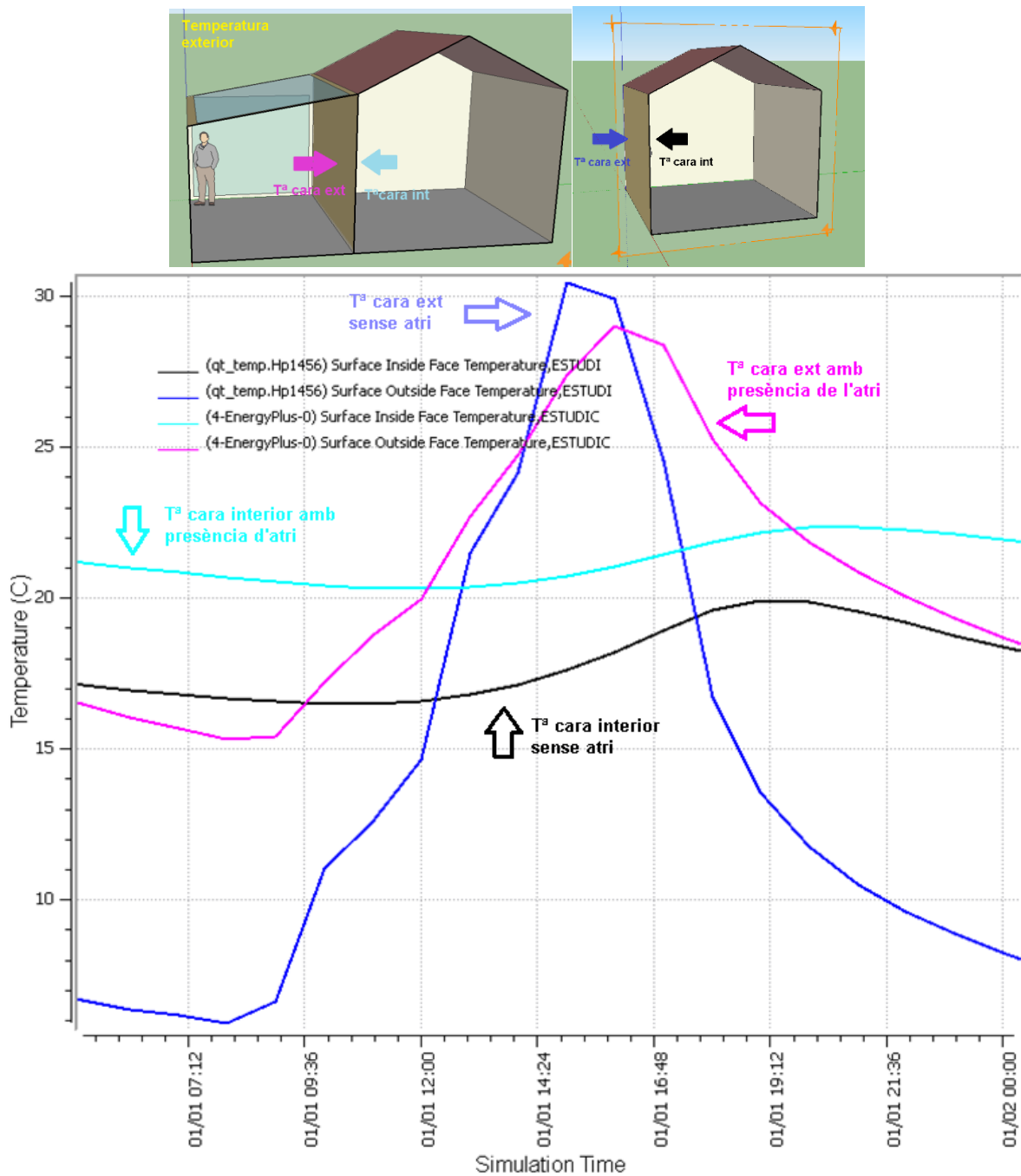


Figura 4.1 – Representacions de les temperatures superficials de les dues cares de la paret estudi durant el primer dia de gener. En negre la temperatura en la cara interior de la paret estudi, en blau fosc la temperatura en la cara exterior de la paret estudi en el cas 1. En blau flux la temperatura en la cara interior de la paret estudi, en rosa la temperatura en la cara exterior de la paret estudi en el cas 3.

Les gràfiques blau clara i negra són funcions de la temperatura a l'interior de la casa i de la temperatura exterior en el cas de no tenir atri i de la temperatura de l'atri en el cas de tenir-n'hi. La negra és veu que és molt més baixa que la blau clara (4°C) i la diferència es

manté quasi bé constant durant tot el dia, perquè la cara exterior amb la que està en contacte està més freda. En les hores en les que les temperatures de la cara exterior és similar (de 13:00h a les 16:30h), la diferència entre les temperatures interiors es redueix, amb un cert desfasament (5 hores), degut a la inèrcia tèrmica del mur.

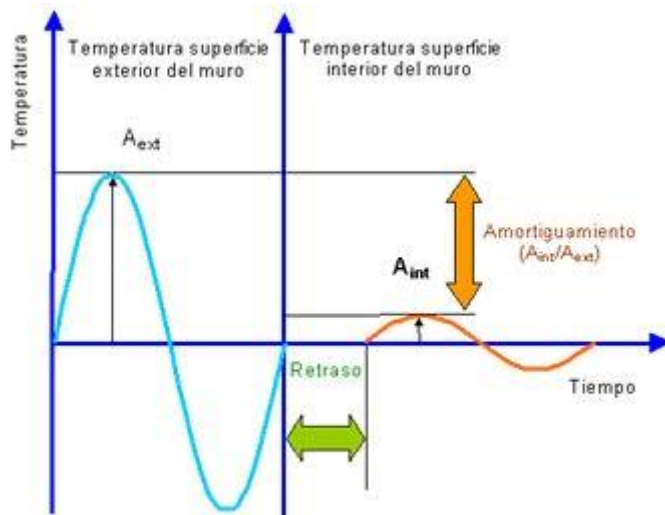


Figura 4.0a- Representació del desfasament i l'amortiment de temperatures entre l'exterior i l'interior d'un mur.

Per tal de poder explicar el desfasament i l'amortiment de les temperatures exteriors i interiors del mur, s'ha de definir el concepte d'inèrcia tèrmica. Aquesta és la capacitat d'acumulació tèrmica d'un mur, que depèn del seu gruix, de la seva massa i de la calor específica del material. La inèrcia tèrmica és un requisit fonamental per arribar a un nivell de confort adequat a l'interior dels habitatges, evitant les oscil·lacions de temperatura produïdes per les diferències tèrmiques entre la nit i el dia.

El desfàs és el temps transcorregut des de que la part de calor absorbida per la paret arriba a la cara interior. Aquest procés és un escalfament progressiu per conducció fins a la cara interior del mur. El desfàs depèn de la conductivitat tèrmica del material, de la seva densitat, de l'espessor i del seu calor específic.

L'amortiment és la diferència entre l'energia que rep la cara exterior i la que arriba a la cara interior. Com que les condicions de l'exterior són cícliques, produint-se canvis en la temperatura exterior i l'energia per radiació, això provoca que part de la calor acumulada en el mur sigui expulsada cap a l'exterior quan baixa la temperatura exterior. L'amortiment depèn dels mateixos paràmetres que el desfasament.

Temperatures de l'aire

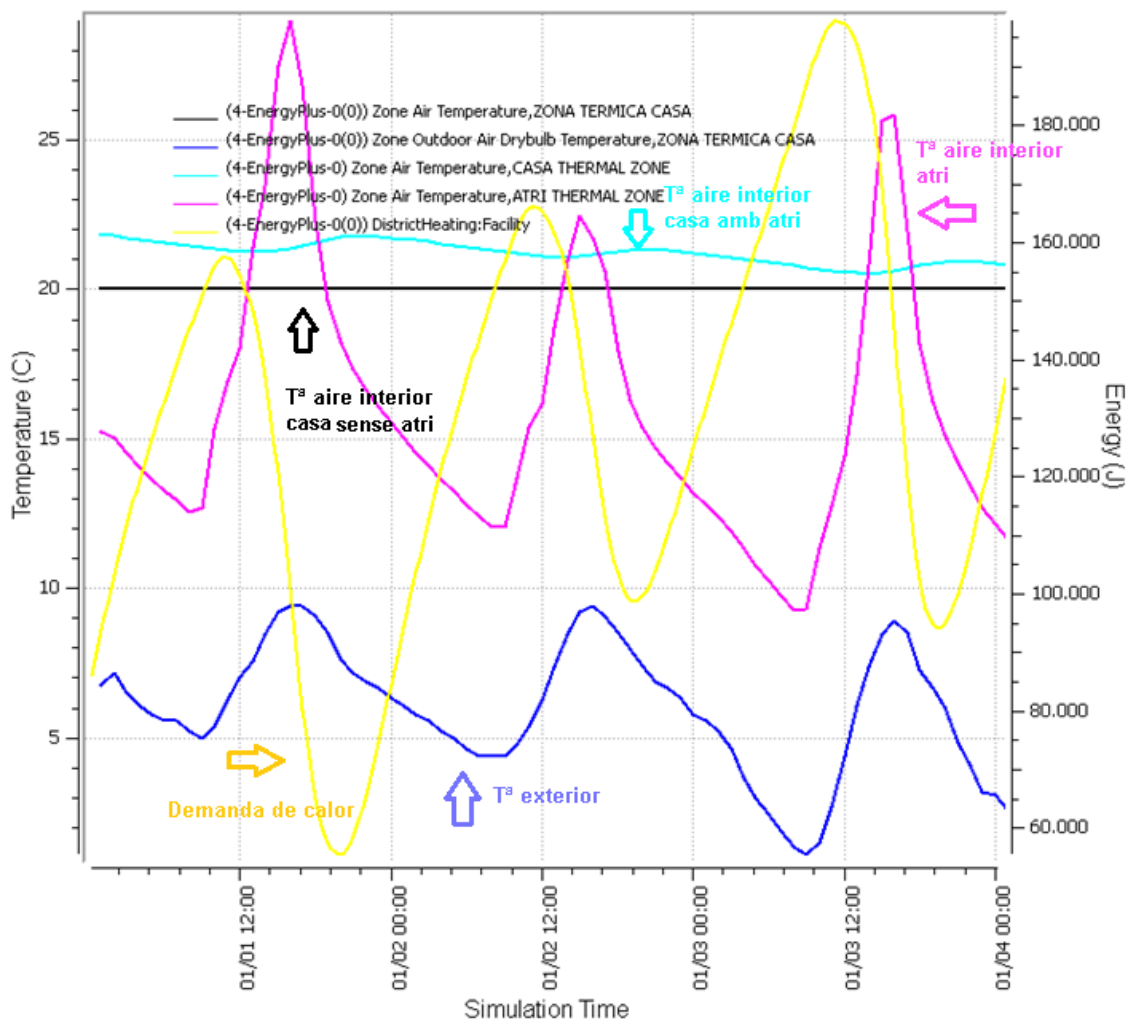
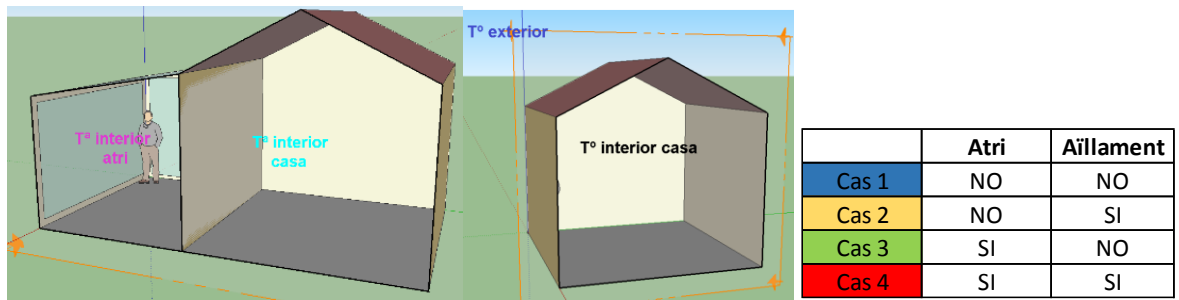


Figura 4.2 – Representació de les temperatures de l'aire i la demanda energètica pels casos 1 i 3 durant els 3 primers dies de gener. En blau clar i en negre les temperatures de l'aire en l'interior de la casa en els casos 1 i 3 respectivament. En rosa la temperatura que tenim en l'interior de l'atri i en blau la temperatura de l'exterior. En groc la demanda de calor en el cas 1.

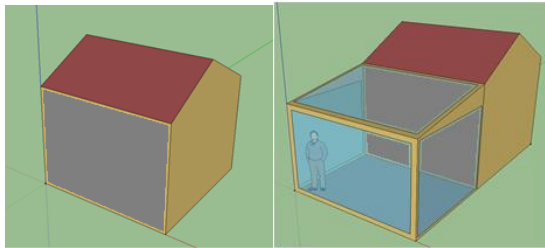
Amb l'efecte de l'atri s'aconsegueix que les temperatures amb les que estarà en contacte la casa es vegin augmentades notablement (en aquests quatre dies de 12-30 °C durant les hores de màxima radiació solar i entre 7-9°C durant les nits). Aquest



increment substancial de temperatures exteriors fa que es vegi reflectit en les temperatures interiors de la casa. El desfasament entre la temperatura a l'interior de l'atri (rosa) i la temperatura a l'interior de la casa (blau fluix) és de 5 hores, aprofitant l'augment de temperatura interior durant la tarda, que és quan la temperatura exterior comença a disminuir. Quan no tenim atri, es veu en el gràfic que la línia de temperatura interior de la casa és una recta, això vol dir que per mantenir aquesta temperatura constant, s'està fent ús d'una font d'energia externa (proporcional a la diferència entre la temperatura exterior (blau) i interior (negre)). En canvi, quan tenim atri, la temperatura fluctua entre els límits de la zona de confort, el que vol dir que en el mateix període de temps, el fet de tenir l'atri fa que no tinguem demanda energètica.

9.2. Efecte de l'atri quan tenim aïllament

Es compara el cas 2 (casa sense atri i amb aïllament) amb el cas 4 (casa amb atri amb aïllament), per tal de veure els efectes que té l'aïllament.



	Atri	Aïllament
Cas 1	NO	NO
Cas 2	NO	SI
Cas 3	SI	NO
Cas 4	SI	SI

Figura 4.3 – Representació dels casos 2 i 4.

Temperatures en la superfície de les dos cares de la paret d'estudi

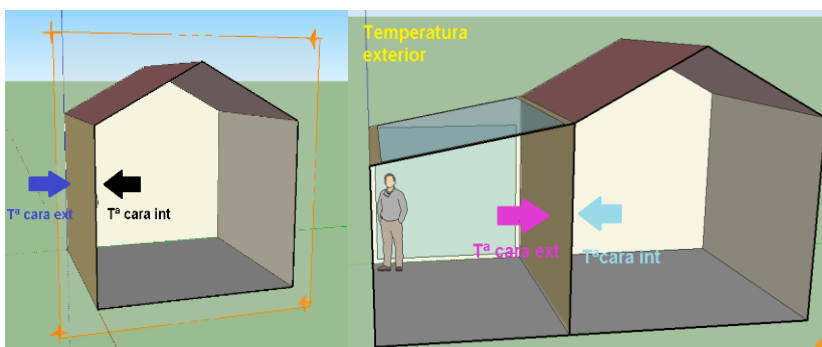
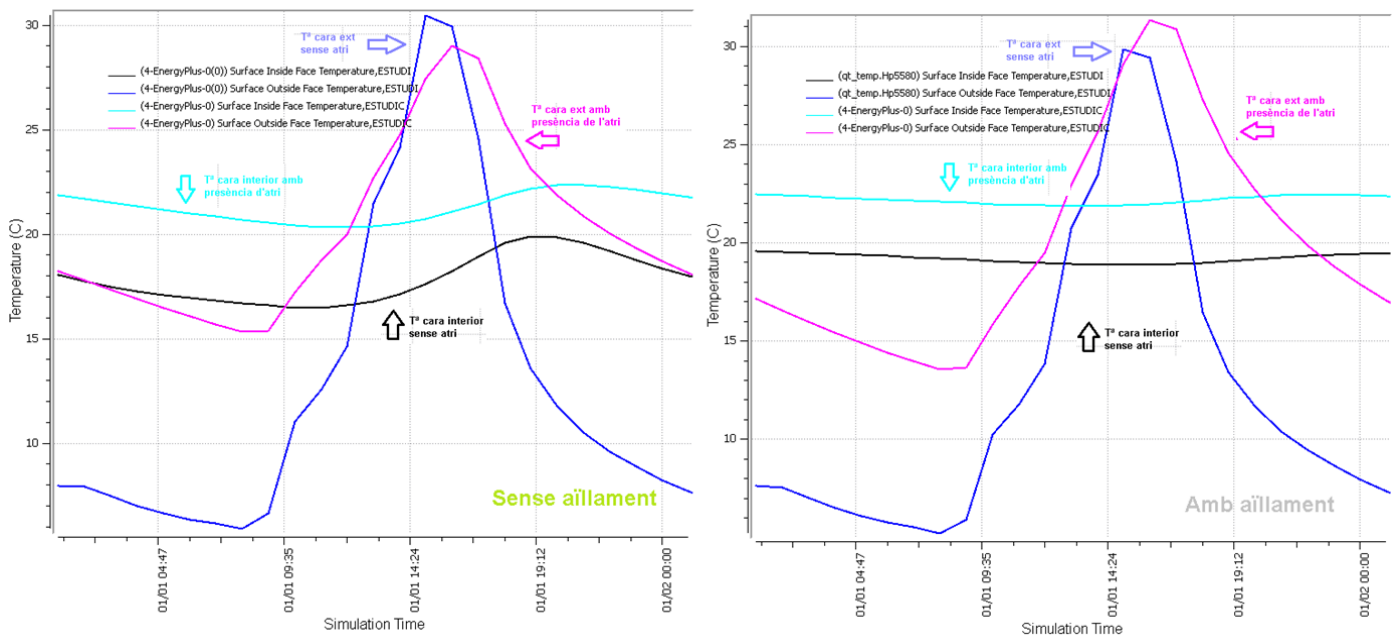


Figura 5.0 – Representacions de les temperatures superficials de les dues cares de la paret estudi durant un dia de gener. A la dreta es compara el cas 1 i 3 (figura 4.1) a l'esquerra el 2 i el 4. En negre la temperatura en la cara interior de la paret estudi, en blau fosc la temperatura en la cara exterior de la paret estudi en el cas 2. En blau fluix la temperatura en la cara interior de la paret estudi, en rosa la temperatura en la cara exterior de la paret estudi en el cas 4.

Comparant les dues gràfiques de la figura 5.0, s'observa l'efecte que té l'aïllament en la temperatura de la cara exterior en presència de l'atri. Fa que tingui unes fluctuacions més grans que quan no tenim material aïllant.

	Sense aïllament			Amb aïllament		
	Min	Max	Dif	Min	Max	Dif
T^a cara exterior NO atri (°C)	6,0	30,5	24,5	6,0	29,9	23,9
T^a cara exterior atri (°C)	15,3	28,7	13,4	13,5	31,3	17,8
T^a cara interior NO atri (°C)	16,8	19,9	3,1	18,7	19,5	0,8
T^a cara interior atri (°C)	20,5	22,4	1,9	22,0	22,5	0,5

Taula 5.1 – Taula amb les temperatures màximes i mínimes durant el dia de la figura 5.0.

En la taula 5.1 es veuen reflectides les amplituds de les gràfiques de la figura 5.0. S'observa que les fluctuacions de la temperatura de la cara exterior amb atri(rosa) són més grans amb aïllament que sense. En canvi les diferències entre les cares interiors (blau fluix i negre) són més petites en presència de material aïllant.

		Desfasament (hores)	
		Sense aïllament	Amb aïllament
T^a cara exterior atri	T^a cara interior atri	5	5
T^a cara exterior NO atri	T^a cara interior NO atri	5	7

Taula 5.2 – Taula amb els desfasaments horaris entre temperatures durant el dia de la figura 5.0.

En la taula 5.2 s'observen els desfasaments entre les gràfiques de la figura 5.0. L'aïllament provoca que el desfasament entre les temperatures sigui més gran en absència de l'atri, ja que aquest dificulta el flux de calor cap a l'interior de la casa. La presència de l'aïllament fa que la variació de les temperatures de la cara interior sigui molt petita (<1°C).

Durant el dia la temperatura de la cara exterior és més gran quan tenim aïllament (rosa dreta > rosa esquerra), ja que aquest redueix el flux de calor de l'exterior cap a l'interior de la casa i això provoca que s'acumuli la calor resultant de la radiació solar en la cara exterior i que, per tant, augmenti la temperatura superficial exterior del mur estudi. En canvi si no tenim material aïllant el flux de calor és més gran i per tant la temperatura superficial més petita. Durant la nit, l'explicació és la mateixa (rosa esquerra > rosa dreta), tenint en compte que la temperatura de l'atri és menor que la temperatura a l'interior de la casa i això fa, que el sentit del flux de calor canviï. I per tant amb material aïllant no arriba tanta energia a la cara exterior i fa que la temperatura d'aquesta sigui més baixa.

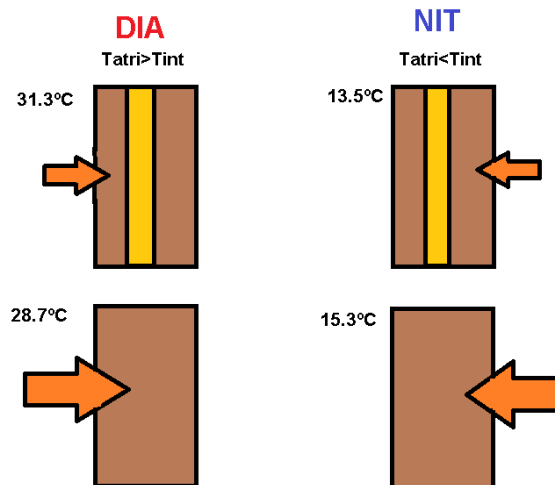


Figura 5.3 – Representacions gràfica per explicar les fluctuacions de les temperatures superficials amb la presència d'aïllament.

També resulta interessant el fet que amb la llana mineral s'aconsegueix que les fluctuacions de les temperatures de les cares interiors siguin molt menors en els dos casos, amb i sense atri, focalitzant l'atenció en l'augment de temperatura que tenim en la cara interior durant les hores amb menys radiació solar per el fet d'afegir aïllament (2°C). (Figura 5.0). També s'observa el desfasament en les gràfiques. Hi ha una diferència de 5 hores entre les temperatures màximes que tenim en la cara exterior i interior, i l'aïllament no té impacte en aquest desfasament. La temperatura màxima en la cara exterior del mur s'assoleix una hora més tard pel fet de tenir l'atri, que es degut a l'acumulació d'energia en l'interior de l'espai vidriat.

Temperatures de l'aire

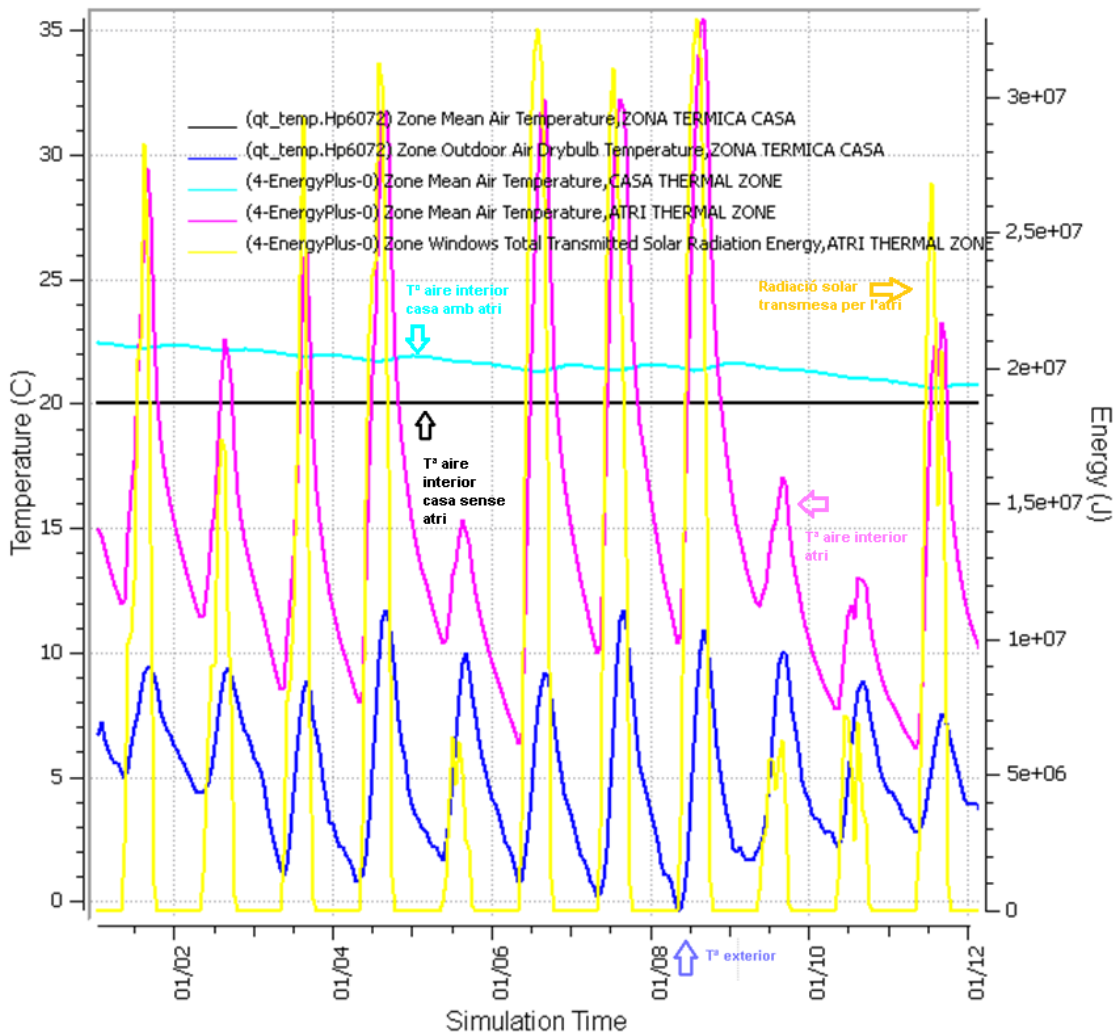
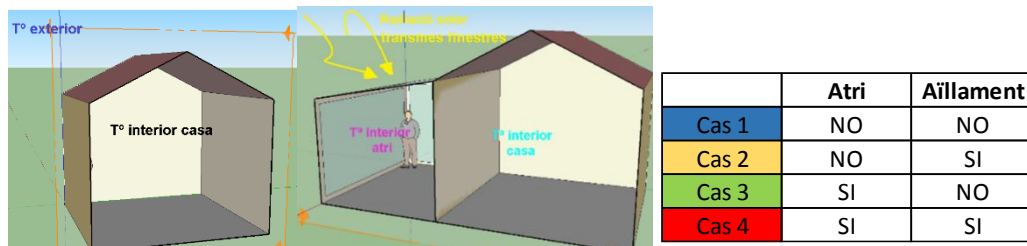


Figura 5.4 – Representació de les temperatures de l'aire i la demanda energètica pels casos 2 i 4 durant els primers 12 dies del mes de gener. En blau clar i en negre les temperatures en l'interior de la casa en els casos 2 i 4 respectivament. En rosa la temperatura que tenim en l'interior de l'atri i en blau la temperatura de l'exterior. En groc, la radiació solar transmesa.

En la figura 5.4 es pot veure la diferència de temperatures amb les que està en contacte el mur d'estudi (rosa i blava) produïda per l'efecte de l'atri (entre 25°C i 5°C, depenent dels nivells de radiació). Donat que els avantatges d'aquest muntatge depenen del Sol,

es pot observar que els dies on la radiació solar és menor, la diferència entre aquestes temperatures disminueix arribant fins a una reducció d'un 80%.

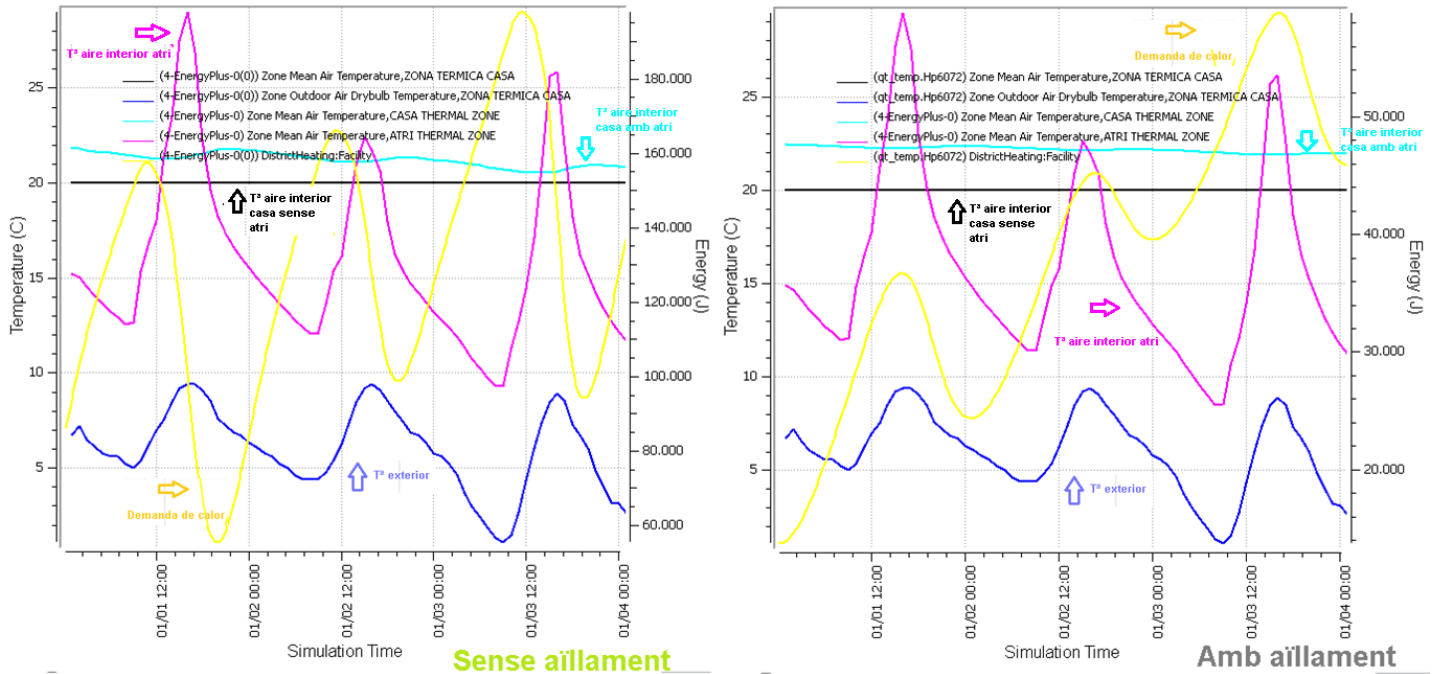


Figura 5.5 – Representació comparativa de les temperatures de l'aire i la demanda energètica pels casos 1 i 3 i 2 i 4 durant els primers 4 dies del mes de gener. En blau clar i en negre les temperatures en l'interior de la casa en els casos 2 i 4 respectivament. En rosa la temperatura que tenim en l'interior de l'atri i en blau la temperatura de l'exterior. En groc, la demanda de calor.

Comparant els resultats de la figura 5.5 esquerra amb els de la figura 5.5 dreta, com ja s'ha comentat anteriorment, l'efecte de l'atri provoca que no hi hagi demanda energètica durant aquest període. En canvi, quan posem aïllament, podem observar la millora. Ja que la temperatura interior de la casa és manté més alta i més estable (blau fluix dreta), encara que en aquest tram de temps no es tradueix en cap estalvi energètic. Quan les condicions externes provoquin un descens de la temperatura a l'interior de la casa, quan no tenim aïllament (blau fluix esquerra), s'arribarà abans a un nivell de demanda d'energia. On si es pot apreciar un estalvi energètic notable és a l'afegir aïllament sobre el cas base, reduint la demanda fins a 3 vegades menys (grogues) .

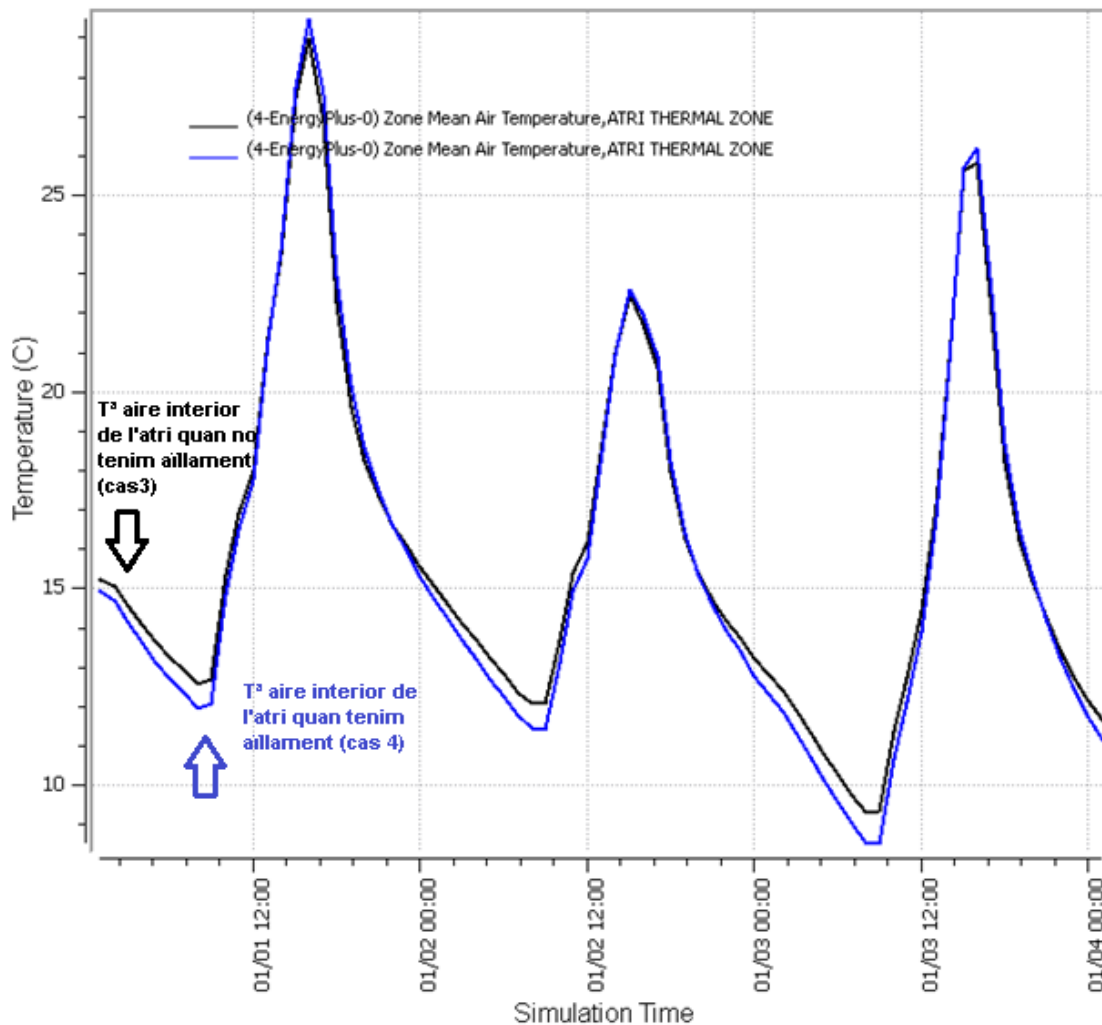


Figura 5.6 – Representació de les temperatures de l'aire a l'interior de l'atri en els casos 3 i 4 durant els primers 4 dies del mes de gener.

Per tal de poder comparar les temperatures de l'aire en el cas(3) i en el cas(4) (roses figura 5.5), s'extreu un altre gràfic (figura 5.6). Es pot observar que l'estalvi més gran d'energia pel fet d'afegir aïllament en el mur d'estudi és durant les nits, que és quan tenim la diferència de temperatures més gran (1°C). Es veu que la temperatura de l'atri és menor quan disposem de material aïllant, ja que aquest evita la transferència de calor del focus calent durant la nit (casa) cap al focus fred (atri), i fa que la demanda d'energia sigui menor.

9.3. Efecte d'augmentar el gruix de l'aïllament

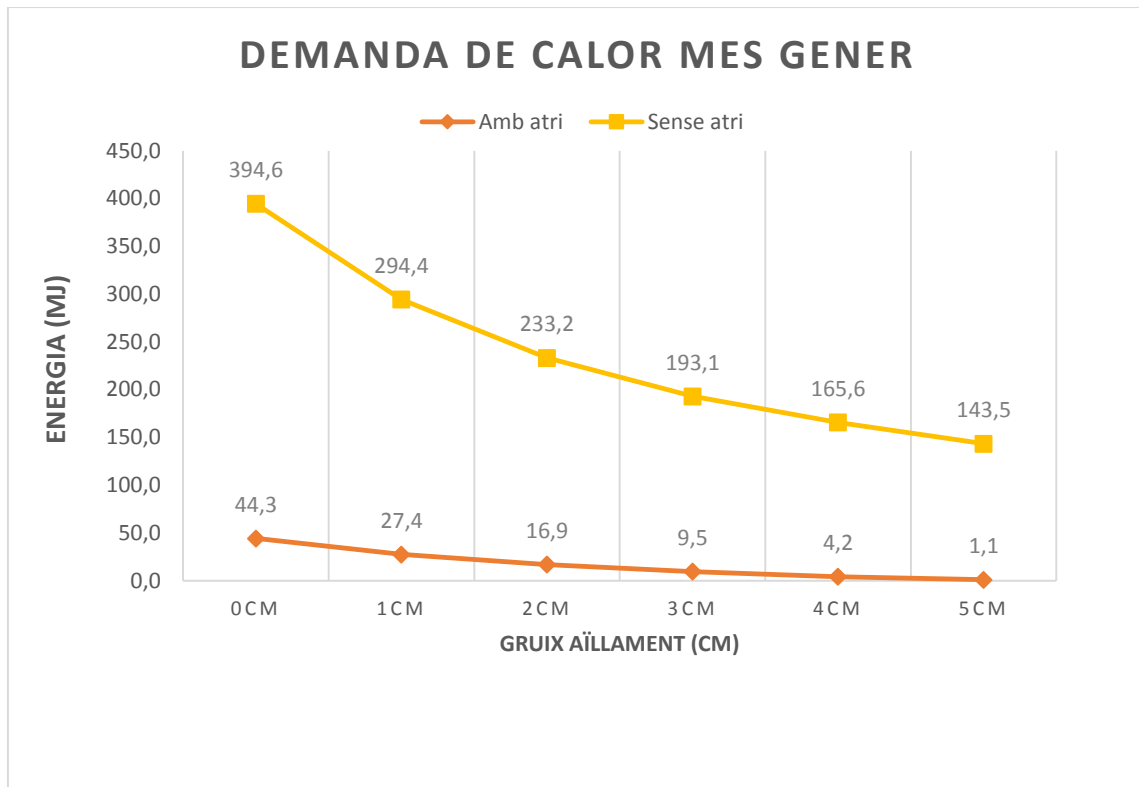


Figura 6.1 – Representació de la demanda d'energia en el mes de gener incrementant el gruix del material aïllant.

En la figura 6.1 queden reflectits tots els casos. Cas1 (grogas en 0cm), cas 3 (taronja a 0cm), el cas 2 i el cas 4 variant el gruix de l'aïllament són tots els altres punts. S'observa el descens de la demanda de calor en el cas 2 i en el cas 4 pel fet d'augmentar el gruix de l'aïllament. Es corroboren els resultats del capítol "Demanda d'energia en els 4 casos"; l'eficiència de l'atri com a sistema passiu per reduir la demanda energètica (diferència groga i taronja). També queda contrastat el benefici que aporta des d'un punt de vista energètic l'ús de l'aïllament en els murs en contacte amb l'espai vidriat.

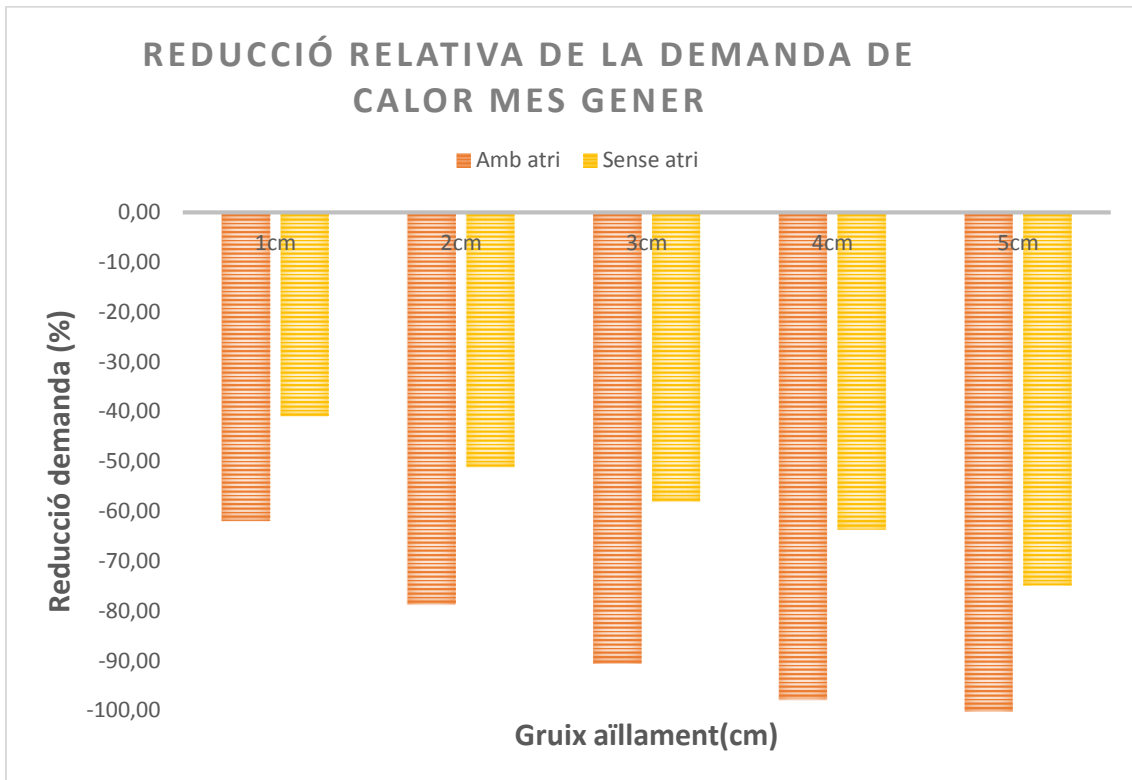


Figura 6.2 – Representació de la reducció de la demanda d'energia en el mes de gener incrementant el gruix del material aïllant.

S'observa la reducció percentual de la demanda de calor en el cas 2 (respecte el cas 1) i en el cas 4 (respecte el cas 3) pel fet d'augmentar el gruix de l'aïllament (Figura 6.1). Només amb l'ús de 5 cm d'aïllament en el mur de contacte s'aconsegueix reduir la demanda de calor un 75%. Si es disposa d'un atri, amb 5 centímetres de llana mineral en el mur que separa l'habitatge de l'espai solar, pràcticament aconseguim eliminar totalment la demanda de calor en un mes tant fred com el gener en el clima de Lleida.

9.4. Paràmetres rellevants

9.4.1. Localització de les superfícies vidriades

S'estudia l'efecte que té la localització de les superfícies vidriades en la demanda d'energia. En el primer cas s'elimina el vidre de les parets laterals, en el segon cas el vidre de la part superior i es compara amb l'atri amb les superfícies vidriades completes.

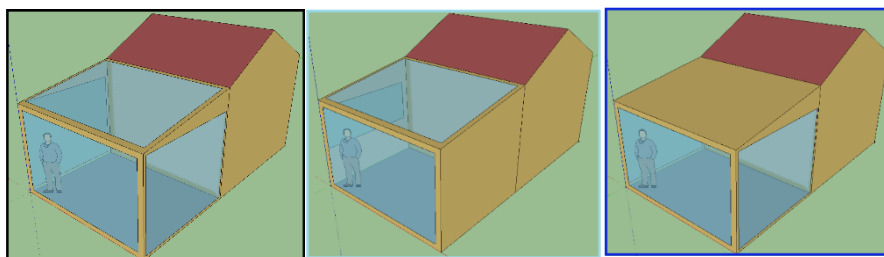


Figura 7.0 – Representació de les 3 configuracions utilitzades per estudiar la localització de superfícies vidriades.

	Demanda de calor (MJ)	Augment(%)
Cas base	36,9	
Sup laterals eliminades	71,7	94,3
Sup superior eliminada	163,5	342,9

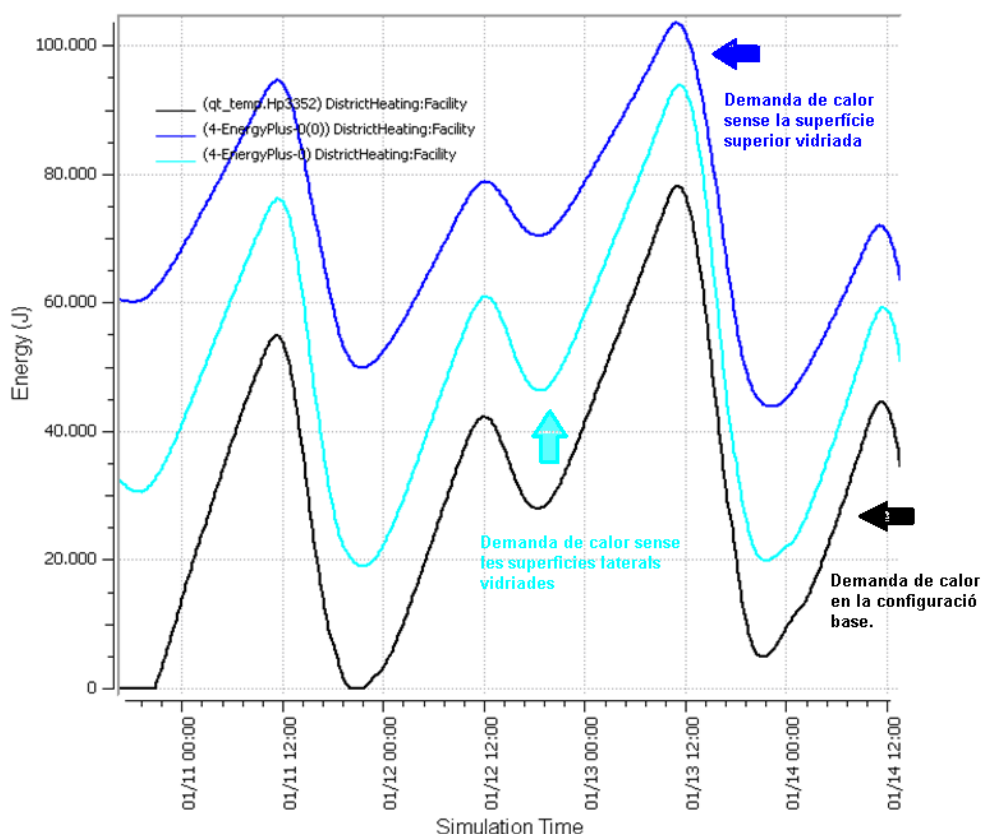


Figura 7.1 – Demanda de calor en les tres configuracions del 11 al 14 de gener. En blau fort, demanda de calor sense la superfície superior vidriada i blau fluix la demanda de calor sense les superfícies laterals vidriades (mateixa superfície vidriada eliminada), i en negre, la demanda de calor amb totes les superfícies vidriades.

En la figura 7.1, s'observa amb claredat que configuració que té menys demanda energètica, és el cas 3 (negra), ja que no té cap superfície vidriada eliminada. Eliminar la superfície superior vidriada (blava) requereix una demanda major que eliminar les superfícies laterals (blau flux).

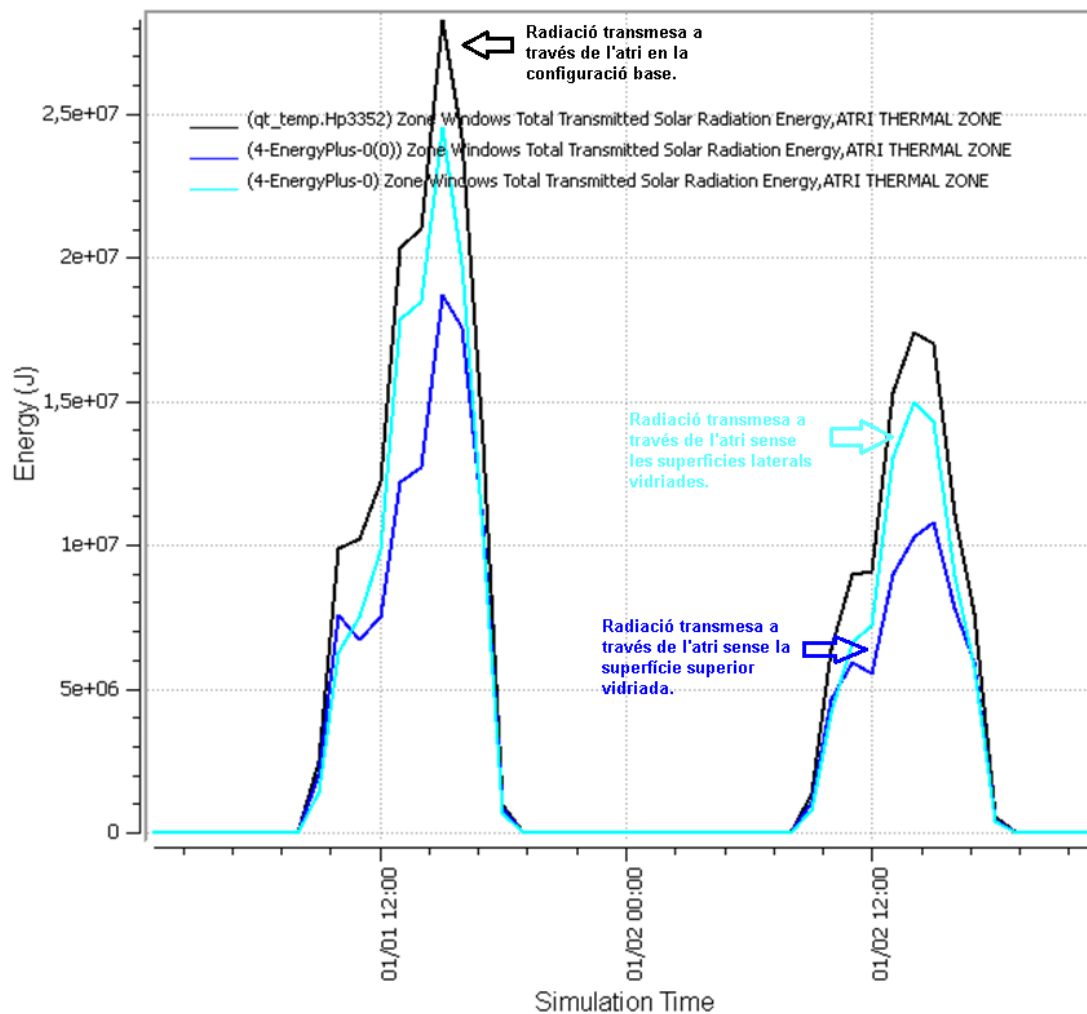


Figura 7.2 – Radiació transmesa a través de les finestres en les tres configuracions durant els dos primers dies de gener. En blau fort, l'energia per radiació transmesa sense la superfície superior vidriada i blau flux l'energia per radiació transmesa sense les superfícies laterals vidriades (mateixa superfície vidriada eliminada), i en negre, energia per radiació amb totes les superfícies vidriades.

A priori, s'havia pensat que eliminar la superfície superior vidriada no tindria un efecte molt gran, ja que en els mesos d'hivern el Sol està més baix, i per tant, la zona superior de captació no seria tant important i d'aquesta manera a l'estiu que el Sol està més alt durant més hores al dia es podria prevenir el sobreescalfament. En canvi, s'observa que la demanda de calor és més gran quan eliminem la superfície vidriada en la zona superior

ja que l'energia per radiació solar obtinguda per l'atri amb aquesta configuració és menor (blava). Per tal de poder comparar les situacions s'elimina la mateixa superfície de zona vidriada, per tant quan eliminem la superfície lateral, no ho podem fer amb la seva totalitat i s'ha de mantenir una zona en el lateral. Això queda reflectit en la figura 7.2. i s'explicarà amb l'ajuda de la figura 7.3.



Figura 7.3 – Captura extreta de www.sunearthtools.com on es veu la trajectòria del Sol respecte el model en el dia d'estudi.

En la figura 7.3 es veu posició de Sol en la ciutat de Lleida. Seguint amb la explicació de la figura 7.2, durant el matí, el Sol impacta en la cara est de l'edifici i fins al voltant de les 11h, s'obté més energia amb la configuració del lateral descobert (blava més gran que blau flux). Quan el Sol comença a elevar-se, s'observa una decaiguda del nivell de radiació transmesa (en la blava) de 11-12h ja que l'impacte més gran del Sol en aquest tram horari és sobre la zona superior, a partir d'aquesta hora és quan la configuració dels laterals tapats obté més energia. Durant la tarda, les hores en les que la configuració sense vidre superior té més guanys per radiació, però són menors que durant el matí, ja que com s'ha explicat anteriorment, hi ha una finestra situada en la cara oest de l'edifici que obté energia durant les últimes hores de Sol.

9.4.2. Orientació

S'estudia l'efecte de canviar l'orientació de la casa, i veure com canvien els nivells de demanda energètica, de radiació obtinguda i de la temperatura en cada configuració.

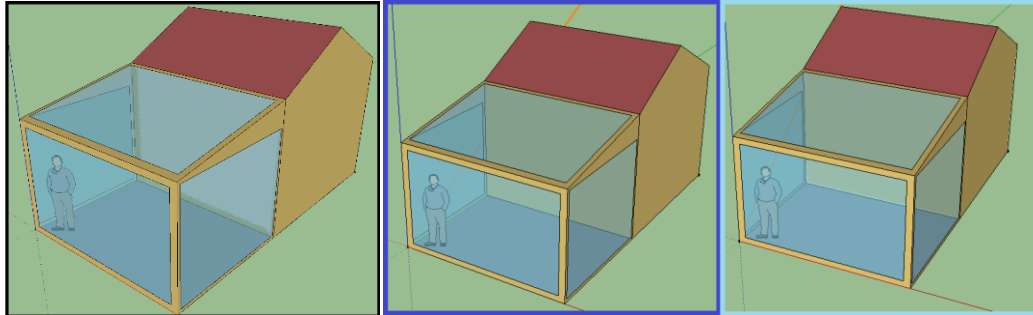


Figura 8.0 - Representació de les 3 configuracions utilitzades per estudiar l'impacte de l'orientació en la demanda.

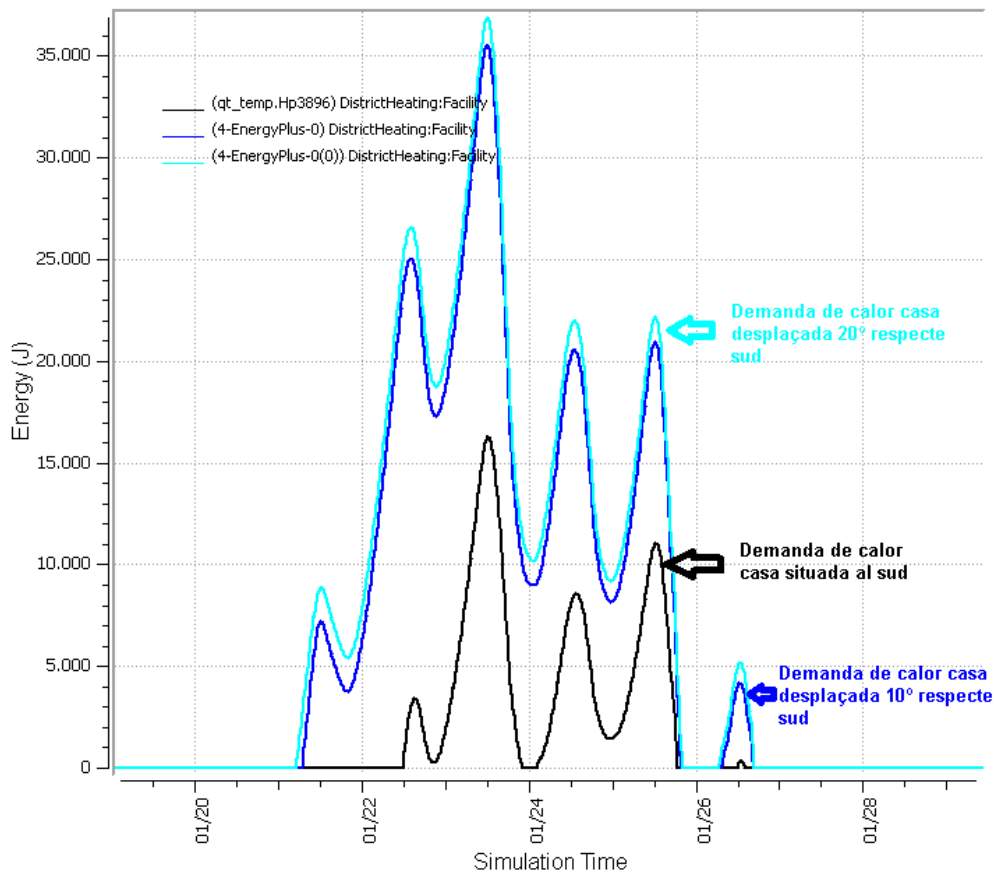


Figura 8.1 - Nivells demanda de calor segons l'orientació de l'atri durant la segona quinzena de gener. En negra, l'atri orientat cap al sud, en blau fort, l'atri desplaçat 10° respecte el sud, i en blau fluix, desplaçat 20° respecte el sud.

S'observa que un rang de canvi d'orientació de 10° a 20° suposa augmentar la demanda de calor al voltant de 3 vegades. L'impacte important en la demanda és de 0° a 10° (diferència entre la negra i la blava), i no té tanta importància en el tram de 10° a 20°.

Orientació	Demanda calor anual	Augment demanda (%)
Sud	6,33	
10º respecte Sud	25,32	300,00
20º respecte Sud	27,43	333,33

Taula 8.1a- Demanda de calor anual al canviar l'orientació de la casa.

En la taula 8.1a es pot quantificar l'augment de la demanda anual al modificar l'orientació de l'atri, extrapolant les gràfiques de la figura 8.1 a tot l'any. El fet de triplicar la demanda de calor per canviar 10º l'orientació, dona un valor molt gran a les idees de la construcció sostenible, d'adequar el disseny al medi intentant extreure el màxim rendiment dels recursos que aquest ofereix.

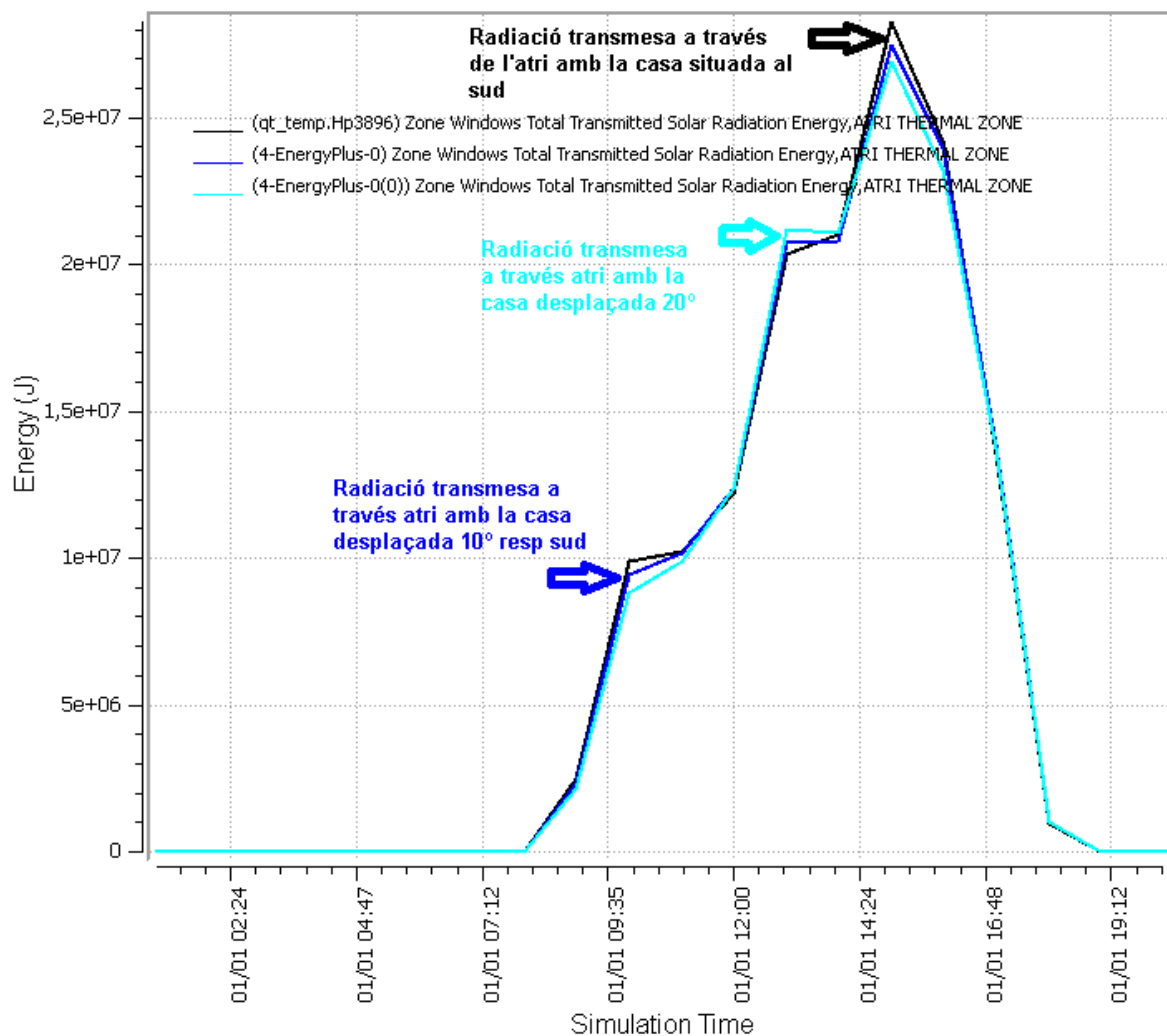


Figura 8.2 - Nivells de radiació segons l'orientació de l'atri. En negre, l'atri orientat cap al sud, en blau fort, l'atri desplaçat 10º respecte el sud, i en blau fluix, desplaçat 20º respecte el sud.

En la figura 8.2, s'observa la radiació transmesa per la superfície vidriada de l'atri segons cada orientació durant un dia de gener. Quan l'atri està orientat cap al sud, la radiació transmesa és més gran durant tot el dia menys dues hores (12-14h). En aquest període de temps, el fet que l'orientació de l'atri estigui desplaçat respecte el sud, fa que augmenti la superfície de contacte amb el Sol, i d'aquesta manera augmenta la radiació transmesa cap a l'interior. La demanda de calor és inversament proporcional a la radiació transmesa a través de l'atri.

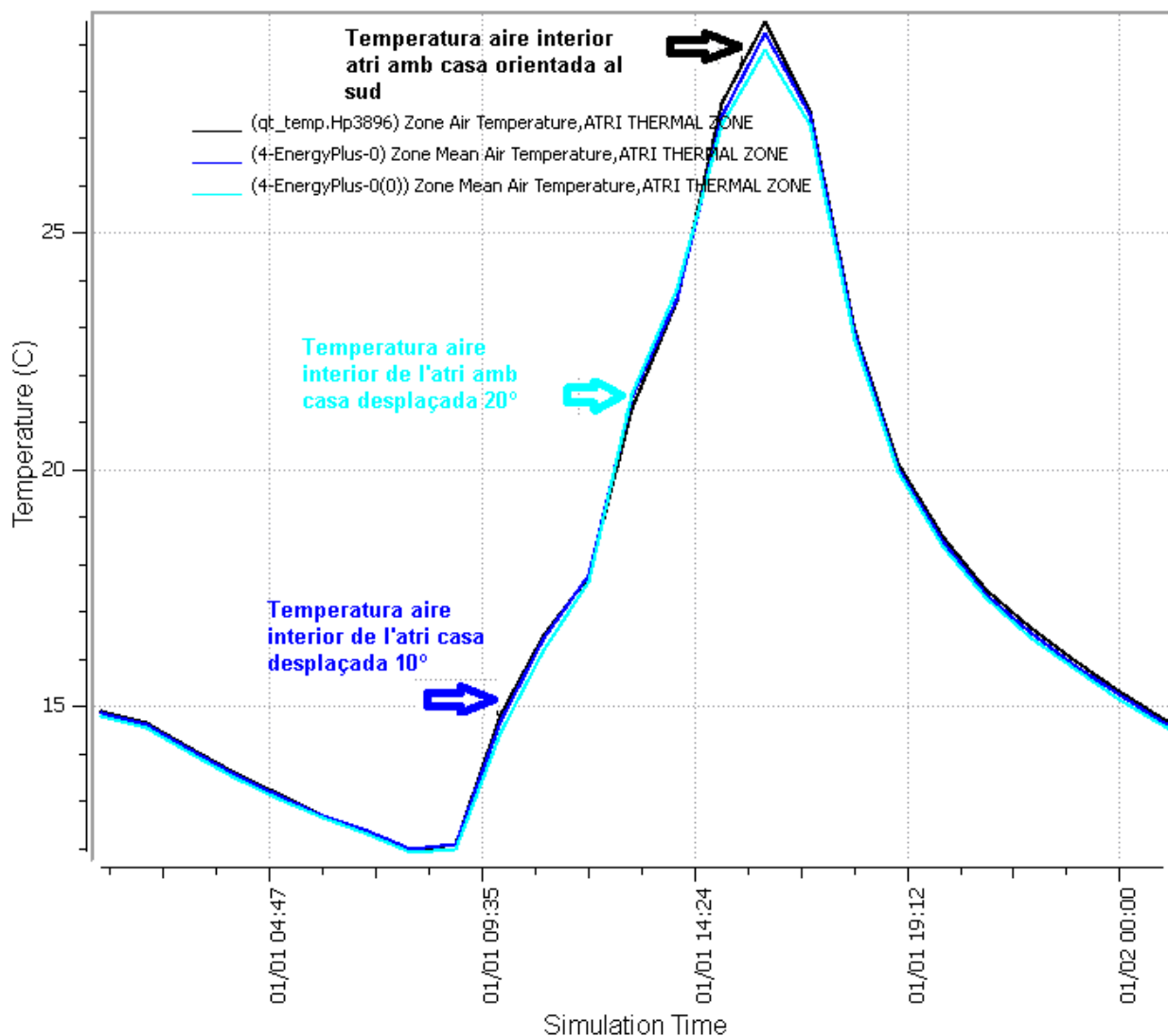


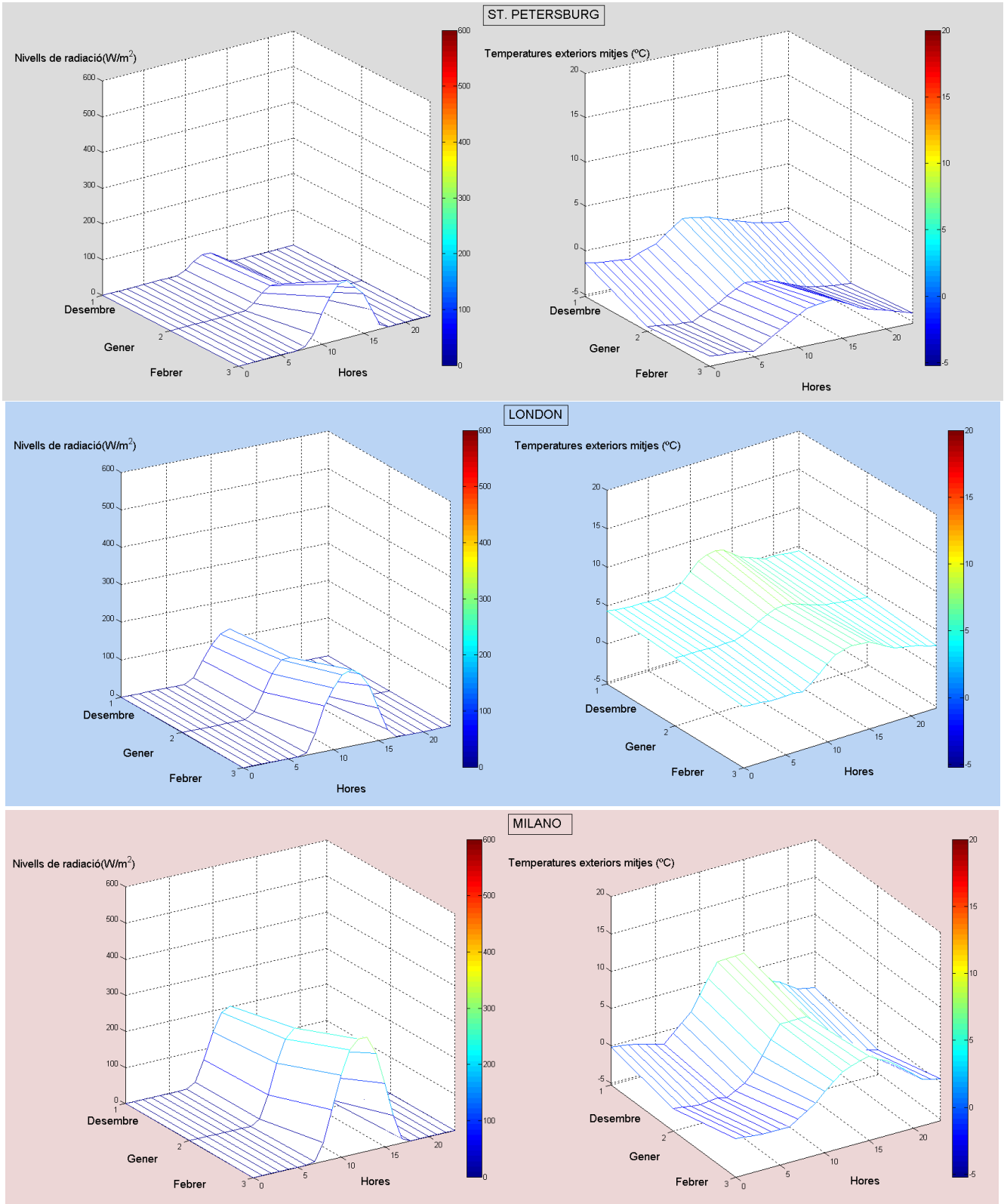
Figura 8.3 - Temperatures a l'interior de la superfície de captació solar segons l'orientació de l'atri. En negre, l'atri orientat cap al sud, en blau fort, l'atri desplaçat 10° respecte el sud, i en blau fluix, desplaçat 20° respecte el sud.

L'explicació de les temperatures està relacionada amb els nivells de radiació que obté l'atri segons el tipus d'orientació, quan la radiació obtinguda és més elevada en una

configuració que en una altra, les temperatures també són més elevades. Les diferències entre temperatures són com a màxim 1°C, tenint en compte que durant tot el dia menys dues hores (12-14h), la temperatura a l'interior de l'atri és més alta amb la casa orientada cap a sud. Aquest increment de temperatura al llarg del dia és el que provoca la menor demanda energètica de la configuració base.

9.4.3. Clima

S'extreuen les dades dels nivells de radiació i de les temperatures mitjanes en els tres mesos més freds de l'any, per quatre climes diferenciats per trobar alguna relació entre aquests paràmetres i la demanda energètica en cada cas plantejat anteriorment.



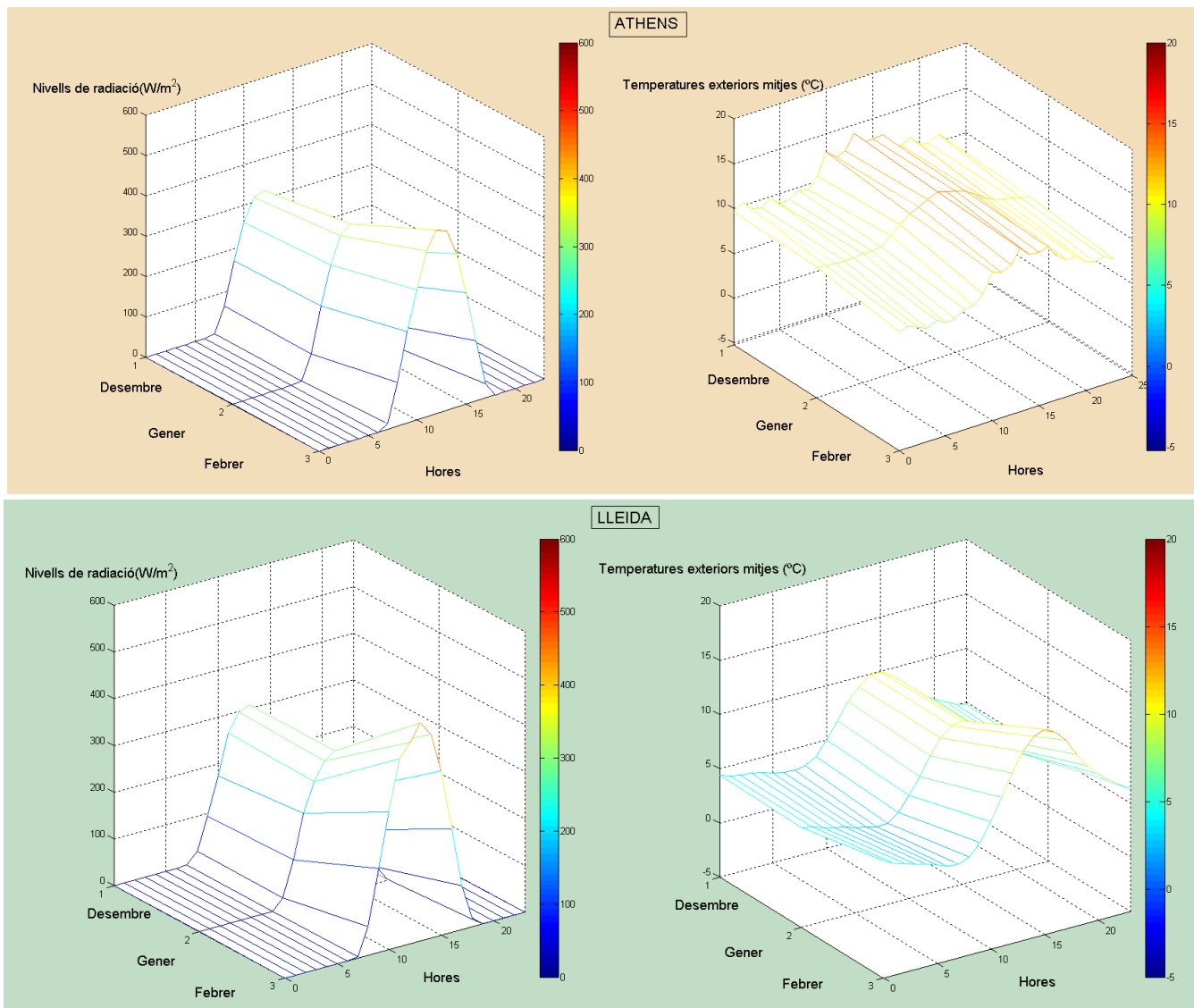


Figura 9.0 – Temperatures i nivells de radiació per les ciutats de St. Petersburg, Londres, Milà, Atenes i Lleida durant les 24 hores del dia en els mesos de Desembre, Gener i Febrer.

Amb els climes d'aquestes 5 ciutats tenim diferents combinacions de temperatures i nivells de radiació. El clima de St. Petersburg, té uns hiverns molt freds amb temperatures màximes durant el dia de 0°C i unes radiacions quasi nul·les. Els climes de Londres i Milà, és mouen en un rang de temperatures i uns nivells de radiació similars (5°C i 80 W/m² de diferència màxima), i estan oposats, (Londres, nivells de radiació més baixos i temperatures més altes, i Milà, al contrari) i poden donar valors interessants en quant a l'ús de l'atri. Els climes d'Atenes i Lleida tenen nivells de radiació similars, però les temperatures són més baixes i més diferenciades entre dia i nit en la ciutat de Lleida.

DEMANDA CALOR (MJ)												
5cm Llana mineral				Atri sense aïllament				Atri amb aïllament				
	Desembre	Gener	Febrer	Total	Desemb	Gener	Febrer	Total	Desembr	Gener	Febrer	Total
ST PET	379,82	406,20	310,19	1096,20	777,58	824,00	539,13	2140,71	329,18	349,22	228,95	907,35
LONDON	214,18	208,90	123,44	546,52	390,37	337,62	254,27	982,26	164,59	135,05	109,73	409,36
MILANO	222,62	227,89	182,52	633,03	375,60	349,22	123,44	848,27	159,31	129,77	79,13	368,21
ATHENS	66,47	50,64	69,63	186,74	0,00	22,16	0,00	22,16	0,00	0,00	0,00	0,00
LLEIDA	141,38	143,49	79,13	363,99	46,42	44,31	2,11	92,84	4,22	2,11	0,00	6,33

Taula 9.1 – Nivells de demanda d'energia durant els 3 mesos d'hivern, en els casos 2,3 i 4, per els climes de les 4 ciutats.

En la taula 9.1, comparant les columnes de demanda total entre l'ús específic d'aïllament i l'atri, s'observa que en les ciutats de Lleida i d'Atenes és millor utilitzar l'atri en lloc dels 5 centímetres de llana mineral. Això és degut als alts nivells de radiació solar i que les temperatures exteriors siguin properes a les de la zona de confort. Lleida al tenir unes temperatures exteriors més baixes, té una demanda de calor més gran que Atenes. Comparant les ciutats de Londres i Milà també s'observa l'efecte que té la radiació i la temperatura. Quan només tenim aïllament, donat que el clima de Milà és més fred, la demanda de calor és més gran que en Londres. En canvi quan només tenim atri, donat que els nivells de radiació solar són més grans a Milà, la demanda ara és més petita que a Londres. Comparant les columnes de demanda de calor atri sense aïllament i atri amb aïllament, queda clar que el fet d'afegir aïllament en el mur en contacte amb l'atri, redueix, en tots els climes, la demanda de calor. En el següent gràfic mostrarem aquesta reducció per cada un dels climes.

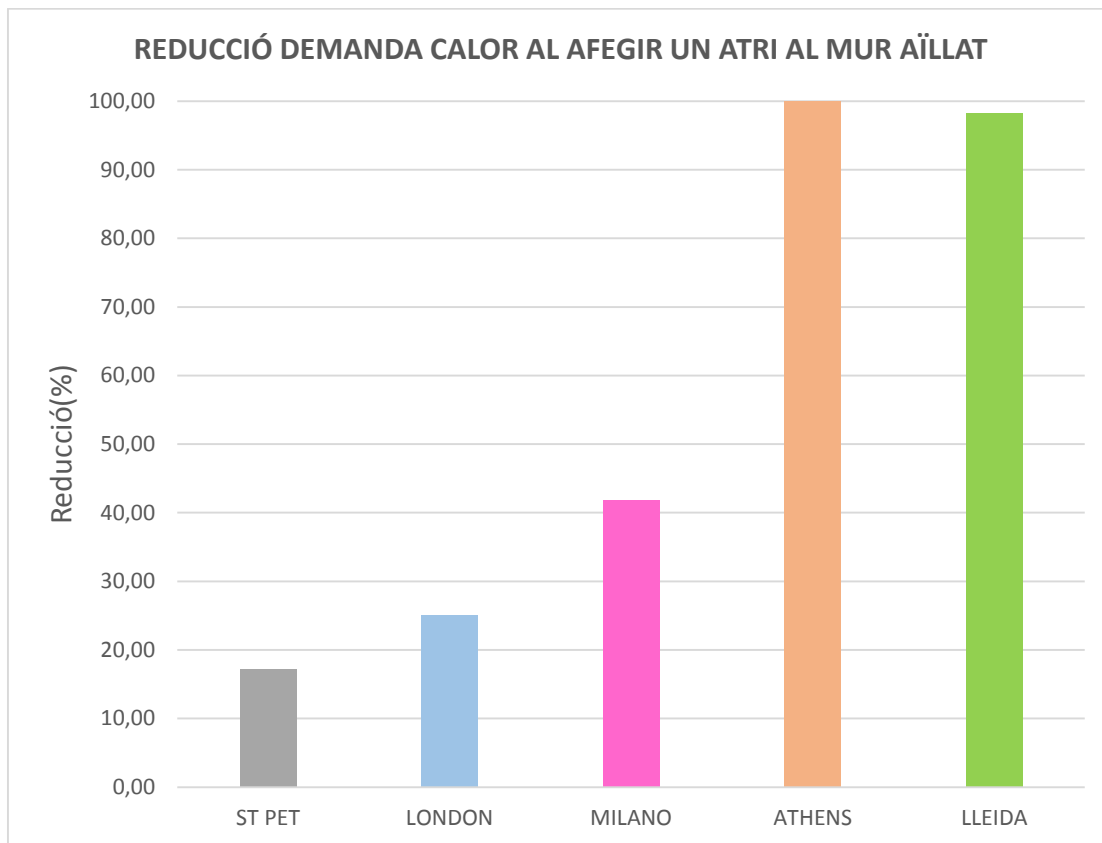


Figura 9.2 – Reducció de la demanda de calor comparant el cas 2 amb el cas 4 segons el clima de cada ciutat

Observant les reduccions a l'afegir l'atri en la figura 9.2 i comparant els nivells de radiació de cadascuna de les ciutats en la figura 9.0, evidencia que la reducció de la demanda de calor ve determinada pels nivells de radiació.

9.5. Estratègies per evitar el sobreescalfament a l'estiu

Fins ara, ha quedat demostrat l'estalvi energètic que proporciona l'atri. En el capítol "Demanda de calor i fred en els 4 casos", s'obtenien resultats d'una demanda de fred molt elevada en els mesos d'estiu, que contraresta l'efecte positiu de l'atri en els mesos d'hivern. Ara s'han de buscar solucions al problema de sobreescalfament de l'espai solar en l'estiu amb la utilització de persianes i de ventilació de l'espai solar. Tots els càlculs es realitzaran amb el model cas 4 (atri i aïllament).

9.5.1. Proteccions solars

La funció de les proteccions solars és que les superfícies vidriades quedin tapades i que no hi hagi transmissió d'energia per radiació dins de l'atri. Per veure l'impacte d'eliminar la radiació a l'interior de l'atri sobre la demanda de refrigeració, es crea un calendari que activa les persianes de les 8:30h a 20:30h entre els mesos de maig i de setembre. Aquest calendari es podria optimitzar en funció de trobar l'equilibri entre l'estalvi de calor i la demanda de fred, però l'objectiu es quantificar la reducció de la demanda de fred.

Demanda de refrigeració (MJ)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Sense persianes	0,00	17,94	145,60	219,45	295,42	365,05	451,56	411,47	338,67	199,41	35,87	0,00	2480,44
Persianes actives (març/novembre)	0,00	16,32	7,34	0,00	0,00	0,41	67,71	44,76	16,86	0,00	0,00	0,00	153,39
Persianes actives (maig/setembre)	0,00	16,32	144,52	218,34	11,36	5,76	69,15	44,76	154,60	198,29	3,54	0,00	898,47

Taula 10.0 – Comparació de la demanda de fred entre el cas 4 i la utilització de persianes en els mesos descrits.

En la taula 10.0 s'observa la reducció de la demanda de fred per dues configuracions de persianes diferents, els càlculs i els gràfics d'aquest capítol es faran amb les persianes actives de maig a setembre. Amb l'ús de les persianes la demanda de fred en el cas 4 (amb atri i amb aïllament) és 2.75 vegades menor que el nivell que teníem sense les proteccions solars. Si es decideix activar les persianes de març a novembre la reducció de la demanda de fred és del 95%.

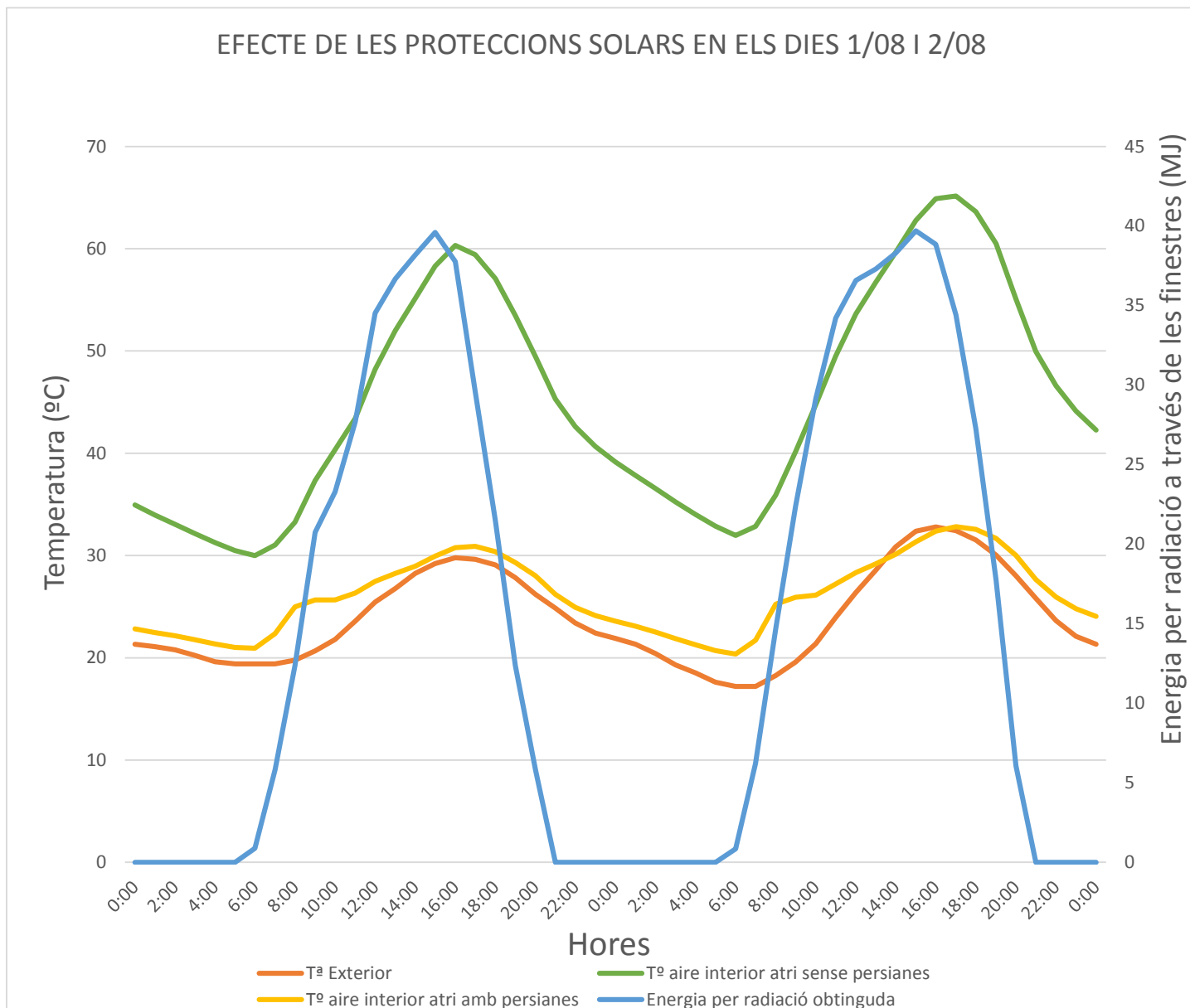


Figura 10.1 – Temperatures de l’aire a l’interior de l’atri amb i sense persianes, temperatura exterior i energia per radiació en dos dies d’agost.

Es veu en la figura 10.1, la diferència de temperatures de l’aire a l’interior de l’atri provocada per les proteccions solars (30°C durant el dia i 20°C durant la nit). Eliminant l’energia transmesa a través de les finestres (blava) amb les persianes, s’aconsegueix que la temperatura a l’interior de l’atri sigui molt propera a la temperatura de l’exterior.

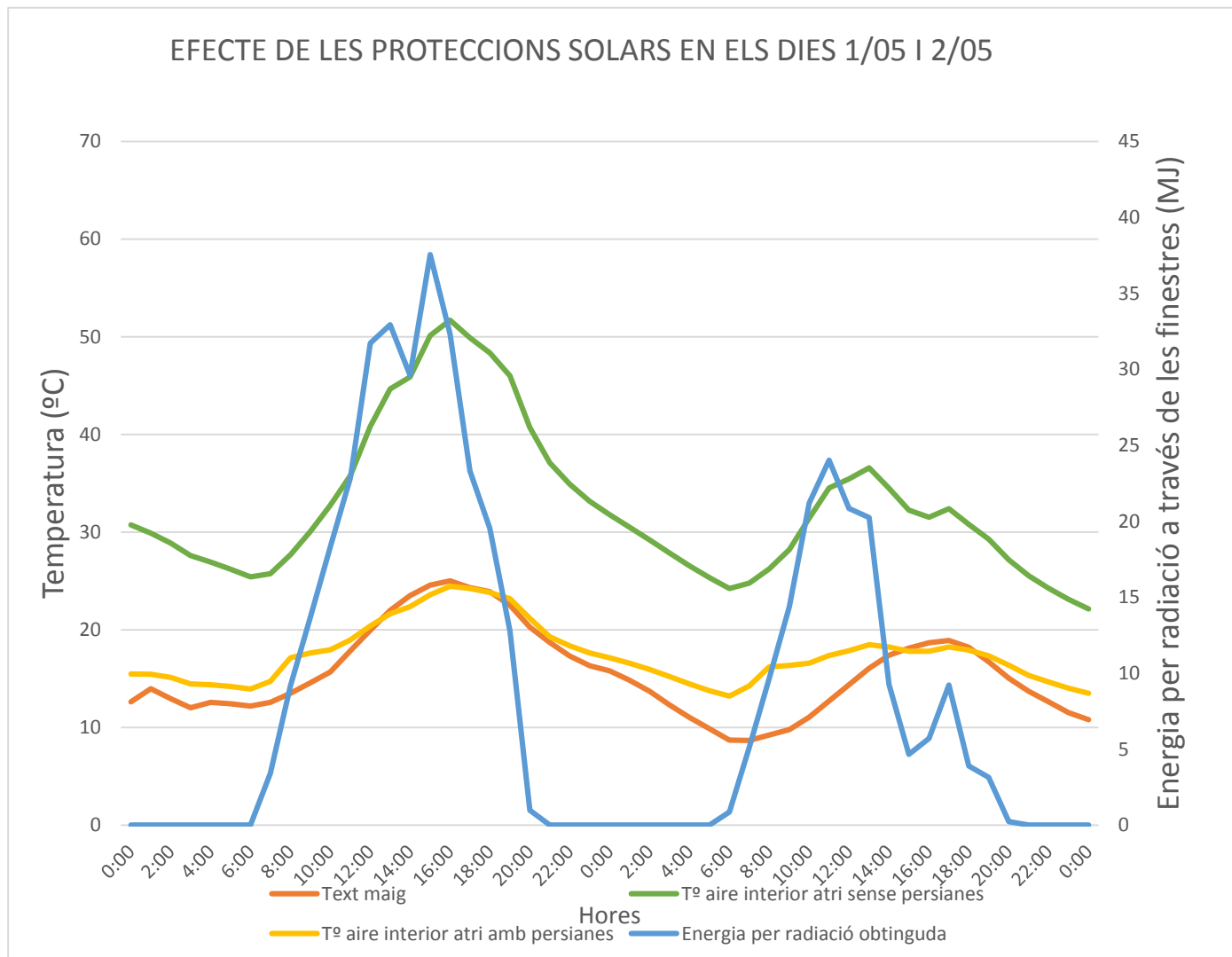


Figura 10.2 –Temperatures de l’aire a l’interior de l’atri amb i sense persianes temperatura exterior i energia per radiació en dos dies de maig.

En la figura 10.2, es veu la diferència de temperatures de l’aire a l’interior de l’atri provocada per les proteccions solars (20-25°C durant el dia i 20°C durant la nit). Aquestes temperatures (grogues) són més baixes que les de la figura 10.1 degut a que les temperatures exteriors són menors. Els nivells de radiació més baixos també afecten al descens de la temperatura de l’atri sense presència de persianes (verda). En aquesta configuració s’aprecia que no s’ha realitzat una bona distribució dels horaris de les persianes. Seria ideal que les persianes estiguessin obertes quan els nivells de radiació siguin més baixos (primeres hores del matí i últimes de la tarda), per aprofitar la calor i en canvi quan els nivells de radiació siguin més alts baixar-les per no sobreescalfar l’espai. D’aquesta manera en els mesos on no tinguem temperatures molt elevades es pot convertir l’atri en un espai habitable més de la casa.

9.5.2. Ventilació

Es vol determinar la reducció de la demanda de fred que pot proporcionar una ventilació forçada. Per dur-ho a terme es creen uns nivells de ventilació de 2.5 i 5 renovacions de l'aire a l'interior de l'atri cada hora.

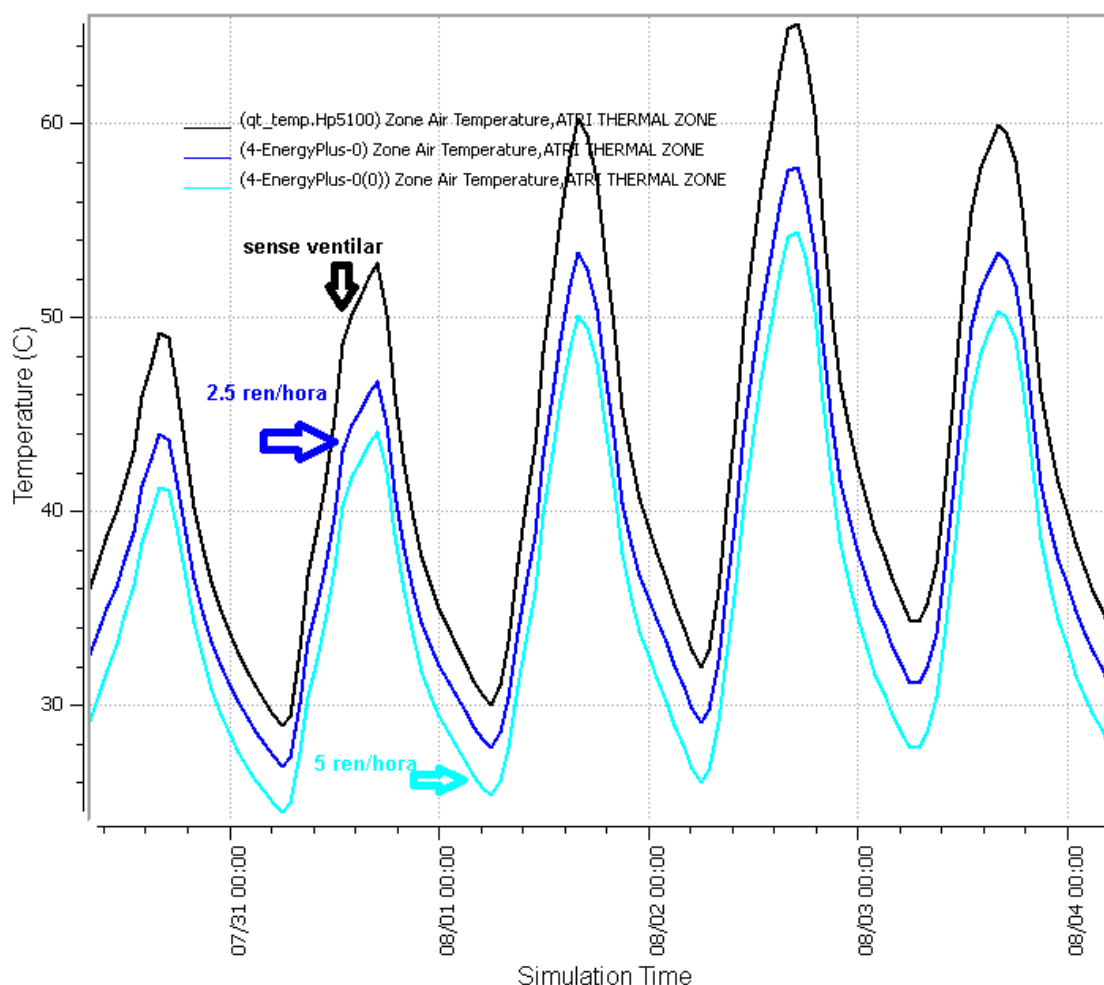


Figura 11.0 – Temperatures a l'interior de l'atri en funció dels nivells de ventilació en el mes d'agost.

S'observen les altes temperatures que tenim a l'interior de l'atri durant els mesos d'estiu. Ventilant l'espai, s'aconsegueix reduir les temperatures interiors (7.5°C per 2.5 ren/h i 10°C per 5 ren/h) i que la demanda de fred sigui menor. En el gràfic es pot observar la reducció de temperatura en funció de l'augment de la ventilació. Tot i així, es segueixen tenint unes temperatures molt elevades, que s'hauran de reduir amb la combinació d'altres mètodes.

DISTRICT COOLING (MJ)	GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL	AGOST	SETEMB	OCTUB	NOVEM	DESEM	TOTAL	Reducció
Sense ventilar	0,00	31,65	190,97	285,92	387,21	479,00	592,94	539,13	443,12	258,49	45,37	0,00	3253,79	0,00
2,5 ren/hora	0,00	1,06	98,12	173,03	248,99	319,68	403,03	366,10	296,47	161,42	21,10	0,00	2089,01	0,36
5 ren/hora	0,00	0,00	56,97	139,27	215,23	286,98	368,21	332,34	264,82	135,05	11,61	0,00	1810,48	0,44

Taula 11.2 – Demanda de fred en funció dels nivells de ventilació mensual i la reducció de cada configuració.

En la taula 11.2, s'observa la reducció de demanda de refrigeració que proporciona l'augment de la ventilació a l'interior de l'atri. El fet d'afegir 2.5 renovacions/hora dins de l'espai solar, redueix la demanda de fred un 36% i s'hi s'augmenta fins a 5 la demanda es redueix fins a un 44%. Aquests nivells de reducció si es complementen amb les persianes poden ser una bona solució al problema del sobreescalfament.

L'ús de la ventilació s'ha d'utilitzar només en els mesos de més calor per evitar que aquesta refredi la temperatura de l'atri en els mesos freds de l'any i la casa requereixi una demanda energètica major.

9.6. Resultat de combinar proteccions solars amb ventilació

Per trobar un resultat més precís dels nivells de reducció la demanda de refrigeració es combinen els dos mètodes (ventilació a 2.5 ren/h i la configuració de les persianes descrita en l'apartat proteccions solars).

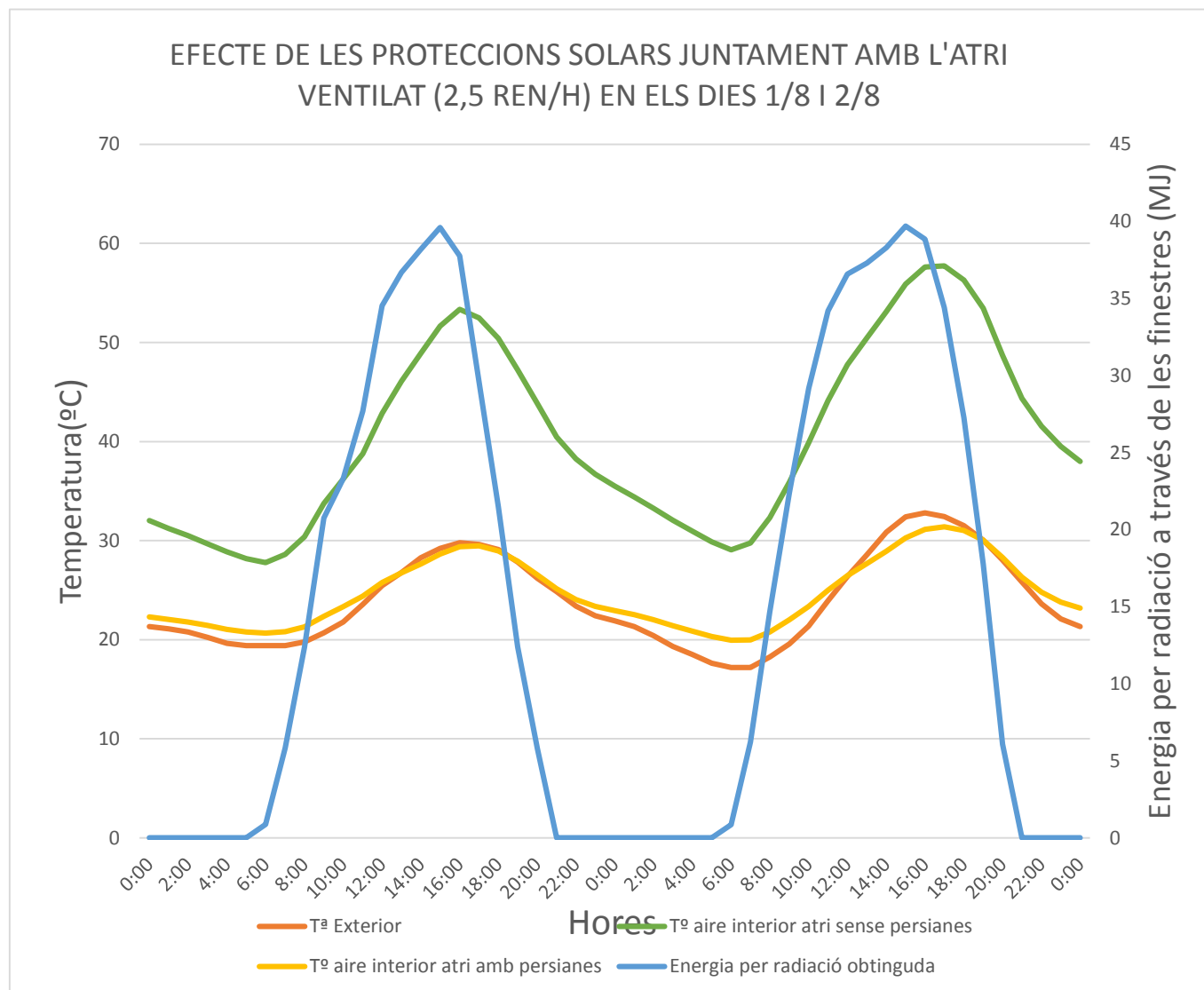


Figura 12.0 –Temperatures de l'aire a l'interior de l'atri amb i sense persianes temperatura exterior i energia per radiació en dos dies de maig combinant l'efecte de les proteccions solars i les ventilacions.

Comparant la figura 12.0 amb la figura 10.1, s'observa la reducció de la temperatura de l'aire a l'interior de l'atri quan no tenim persianes (8°C) i la reducció de la temperatura de l'aire a l'interior de l'atri quan tenim persianes (2-3°C durant el dia i 0.5°C durant la nit).

Dem.Fred (MJ)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total	Reducció
Pers act	0,00	16,32	144,52	218,34	11,36	5,76	69,15	44,76	154,60	198,29	3,54	0,00	898,47	
Pers act + vent	0,00	0,79	98,49	172,87	8,63	0,13	59,91	39,63	133,21	161,20	3,21	0,00	678,06	24,53

Taula 12.1 – Reducció demanda de fred combinant persianes i ventilació respecte ventilació.

En la taula 12.1, s'observa la reducció de la demanda de fred al combinar els mètodes per evitar el sobreescalfament, respecte a només tenir persianes (24.53%). Lleugerament menor que la reducció que s'obtenia al utilitzar la ventilació respecte al cas base (sense persianes), com es veu en la figura 11.2 (36%).

Dem.Fred (MJ)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total	Reducció
Sense persianes	0,00	17,94	145,60	219,45	295,42	365,05	451,56	411,47	338,67	199,41	35,87	0,00	2480,44	
Pers act + vent	0,00	0,79	98,49	172,87	8,63	0,13	59,91	39,63	133,21	161,20	3,21	0,00	678,06	72,66

Taula 12.2 - Reducció demanda de fred combinant persianes i ventilació respecte el cas base (sense persianes i sense ventilació).

En la taula 12.2, s'observa la reducció de la demanda de fred al combinar els mètodes per evitar el sobreescalfament, respecte al cas base (72.66 %). Com ja s'ha comentat en el capítol proteccions solars, perfeccionant els calendaris per reduir la demanda de fred durant l'any, aquest valor de demanda de fred encara té un marge de reducció molt gran. Per tenir una idea, si s'agafa el valor de la demanda total anual de fred amb el calendari de març a novembre de la figura 10.0 (153,3 MJ), si se l'hi aplica una reducció del 25% deguda a la ventilació es poden obtenir resultats al voltant dels 115 MJ.

10. Valoració econòmica

Per tal de donar una altra magnitud a l'estudi es fa una valoració econòmica aproximada del projecte per tenir una idea dels anys necessaris per amortitzar la inversió.

Demanda calor (MJ)			
Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
1352,58	481,11	92,84	6,33
Demanda fred (MJ)			
Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
907,35	327,07	6267,03	2480,44
907,35	327,07	290,16	114,84

Taula 13.0 – Resultats de demanda de calor i fred anuals, actualitzades amb la reducció de demanda de fred amb l'ús de persianes i de ventilació.

	Atri	Aïllament
Cas 1	NO	NO
Cas 2	NO	SI
Cas 3	SI	NO
Cas 4	SI	SI

Per fer els càlculs de la valoració econòmica i ambiental, s'ha utilitzat la configuració de les persianes de març a novembre, aconseguint una reducció de la demanda de fred en les configuracions amb atri d'un 95% (veure comparació dos primeres files de la demanda de fred de la taula 13.0). D'aquesta manera s'aconsegueixen uns nivells d'estalvi energètics més propers a la realitat.

Estalvi calor (MJ)			Estalvi calor (€)		
Aïllament	Atri	Total	Aïllament	Atri	Total
871,48	1259,74	1346,25	13,18	19,05	20,36
Estalvi fred (MJ)			Estalvi fred (€)		
Aïllament	Atri	Total	Aïllament	Atri	Total
580,28	617,18	792,50	21,12	22,47	28,85
Estalvi total (MJ)			Estalvi total (€)		
Aïllament	Atri	Total	Aïllament	Atri	Total
1451,76	1876,92	2138,76	34,30	41,51	49,20

Taula 13.1 – Estalvis energètics i econòmics de calor i fred anuals per el fet d'afegir aïllament, atri o una combinació dels dos.

En la taula 13.1, s'observen els estalvis energètics i monetaris que provoca cada configuració. L'estalvi energètic s'obté restant del cas 1 la reducció que aporta cada solució. L'estalvi econòmic s'obté amb les equacions 1 i 2.

$$EC(\text{€}) = EC(\text{MJ}) \cdot 0,28 \cdot pg \cdot \eta \quad (1)$$

$$EF(\text{€}) = EF(\text{MJ}) \cdot 0,28 \cdot pe \quad (2)$$

EC	Estalvi calor (MJ)	
EF	Estalvi fred (MJ)	
pg	Preu gas natural (€/kWh)	0,06
pe	Preu electricitat (€/kWh)	0,13
η	Rendiment caldera	0,9
0,28	Conversió MJ-kWh	

Una vegada es tenen els valors d'estalvi en unitat monetària, ja es pot calcular el període d'amortització amb la equació 3.

Cost atri (€)	8288
Cost 5 cm llana mineral (€)	102

$$Ae(\text{anys}) = \frac{Io (\text{€})}{EA \left(\frac{\text{€}}{\text{any}}\right)} \quad (3)$$

Ae	Amortització (anys)
Io	Inversió inicial (€)
EA	Estalvi anual (€/any)

La inversió inicial dependrà del cost de l'element del que en vulguem estudiar l'amortització. En el cas total, es sumen els costos tant de l'atri com de l'aïllament.

Període amortització econòmic (anys)		
Aïllament	Atri	Total
3,0	199,6	170,5

Taula 13.2 – Períodes d'amortització econòmics per l'aïllament, l'atri i la combinació dels dos.

S'observa en la taula 13.2 que els períodes d'afegir 5 centímetres de llana mineral, tenen una amortització molt ràpida. Fet que fa a pensar que augmentar el gruix de l'aïllament per tal d'obtenir més reducció d'energia, seguiria tenint un temps d'amortització molt baix respecte a la vida útil d'un edifici. Els resultats d'amortització de l'atri no són viables, és a dir, que no es podrà amortitzar econòmicament. Seria interessant, promoure l'ús d'aquests muntatges per tal de reduir el preu d'aquests espais solars, i que poguessin arribar a ser rendibles econòmicament. Per tant, és important tenir temperatures properes a la zona de confort durant el major temps possible durant l'any, per tal de que pugui ser un espai habitable més i que no només serveixi per reduir la demanda energètica de l'edifici.

11. Valoració ambiental

La valoració econòmica no és un bon argument per la utilització de l'atri, per tant busquem si des del punt de vista ambiental, tenim un benefici energètic. Els costos d'energia són el resultat de l'obtenció, la fabricació, el transport i el muntatge dels materials que formen l'atri o l'aïllament. El procediment de càlcul és molt semblant a la valoració econòmica, però ara s'utilitzen termes d'energia en lloc de termes monetaris. L'estalvi anual d'energia queda reflectit en la figura 13.1, la inversió d'energia en la taula 14.0 i el càlcul de l'amortització es fa amb l'equació 4.

$$Aa(\text{anys}) = \frac{Io \text{ (MJ)}}{EA \left(\frac{\text{MJ}}{\text{any}}\right)} \quad (4)$$

Aa	Amortització (anys)
Io	Inversió inicial (MJ)
EA	Estalvi anual (MJ/any)

Cost energètic atri (MJ)	53816
Cost energètic vidre (MJ/m ²)	445
Cost energètic persiana (MJ/m ²)	1010
Cost energètic llana mineral (MJ)	1612

Taula 14.0 – Cost energètic de l'atri i de l'aïllant.

Període amortització ambiental (anys)		
Aïllament	Atri	Total
1,1	28,7	25,9

Taula 14.1– Períodes d'amortització ambientals per l'aïllament, l'atri i la combinació dels dos.

Des d'un punt de vista ambiental s'observa la importància que suposa l'aïllament, ja que en un any queda amortitzat, i a partir d'aquest moment, fins el fi de la vida de l'edifici proporciona estalvis energètics. L'atri també s'amortitzarà a partir de la meitat de la vida útil de l'habitatge, proporcionant un estalvi energètic al medi durant més de 30 anys. Si els resultats d'amortització sobrepassessin els 60 anys, ja podríem afirmar que aquest sistema no seria beneficiós.

12. Efectes d'impedir l'intercanvi de calor en les parets exteriors de la casa

L'aproximació d'eliminar el flux de calor a través dels tancaments exteriors de la casa, allunya les demandes d'energia obtingudes de les reals. En aquest apartat final, es quantifica l'impacte que té aquesta simplificació en l'estudi.

Demanda de calor anual (MJ)	Murs adiabàtics	Murs intercanvi de calor		Atri	Aïllament
Cas 1	1352,58	8172,5	Cas 1	NO	NO
Cas 4	6,33	6827,3	Cas 2	NO	SI
Diferència	1346,25	1345,2	Cas 3	SI	NO
			Cas 4	SI	SI

Taula 15.0- Comparació dels valors de demanda anual simplificant els murs exteriors com adiabàtics.

Com s'observa en la taula 15.0, eliminar l'intercanvi d'energia dels tancaments exteriors redueix la demanda de calor anual. Es comprova que aquesta aproximació, comparant el cas 1 i el cas 4, manté la diferència de demanda de calor, i per tant els càlculs realitzats durant l'estudi es poden donar per bons.

13. Conclusions

S'ha realitzat un estudi energètic d'una casa amb un espai solar, amb l'objectiu de determinar l'impacte que suposa afegir aïllament en el mur en contacte amb la casa i l'atri sobre la demanda energètica de la casa. Per dur a terme aquest projecte s'han realitzat simulacions sobre un model afegint aïllament i un espai solar a una casa, amb el software Energy Plus. Amb les dades obtingudes s'ha estudiat la variació de les demandes energètiques i s'ha explicat aquests canvis amb paràmetres com les temperatures i els nivells de radiació. Tots els resultats fan referència al clima de la ciutat de Lleida a no ser que s'especifiqui el contrari.

- I. La demanda de calor de la casa amb l'espai solar es redueix un 93% amb presència de material aïllant i la demanda de refrigeració es redueix un 60% amb presència de material aïllant.
- II. La demanda de calor de la casa quan no tenim atri es redueix un 65% i la demanda de fred un 64% si s'utilitza material aïllant. La demanda de calor de la casa quan no tenim aïllament es redueix un 93% i la demanda de fred augmenta un 590% si se l'hi annexiona un atri.
- III. Durant el dia la temperatura de la cara exterior del mur en contacte amb l'atri és més alta en presència d'aïllament (31.3°C) que sense (28.7°C), i durant la nit és més baixa amb presència d'aïllament (13.5°C) que sense (15.3°C). La temperatura de l'aire a l'interior de l'atri quan tenim aïllament és major durant el dia i menor durant la nit que quan no tenim material aïllant. Això explica el benefici de l'aïllament en presència de l'atri, quan la temperatura és més alta a l'interior de la casa que a l'exterior el flux de calor cap a l'exterior és menor si tenim aïllades les parets, provocant una reducció de la demanda de calor.
- IV. Eliminar la superfície vidriada en els laterals suposa un augment de la demanda de calor d'un 94.3% i eliminar la superfície vidriada superior un augment de la demanda de calor d'un 343%. Per tant, queda demostrada la importància de que la zona superior de l'atri estigui vidriada.
- V. Desviar 10° respecte el sud l'orientació de l'atri provoca un augment de la demanda de calor d'un 300%, i desviar 20° provoca un augment de 333%. Es demostra la

importància de l'adaptació al medi a l'hora de fer el disseny, un dels principis bàsics de la construcció sostenible.

- VI. L'ús de l'atri amb material aïllant en el mur en contacte, provoca una reducció de la demanda de calor en tots els climes estudiats. La reducció de la demanda és proporcional als nivells de radiació. En climes amb una radiació alta com Lleida o Atenes la reducció és quasi del 100%, en canvi a Londres la reducció és del 25%.
- VII. L'ús de proteccions solars i de ventilació és una bona mesura per evitar el sobreescalfament durant l'estiu reduint les demandes de refrigeració entre un 73% i un 95%, segons l'ús que es doni a les proteccions solars, respecte l'atri sense proteccions ni ventilació.
- VIII. Econòmicament l'aïllament té un període d'amortització de 3 anys i l'atri no es pot amortitzar, ja que el seu període d'amortització supera la vida útil d'un edifici. Des d'un punt de vista d'estalvi energètic ambiental, l'aïllament s'amortitza en un any i l'atri en 28 anys.

14. Bibliografia

Articles científics

Jean-Michel Mottard, Adelqui Fissore (2006). *Thermal simulation of an attached sunspace and its experimental validation*. El Sevier.

Sodha M.S., Nayak J.K., Bansal N.K., Coyal I.C. (1982). *Thermal performance of a Solarium with removable insulation*. Building and environment.

Tiwari G.N., Yadav Y.P., Lawrence S.A. (1988). *Performance of a Solarium: An analytical study*. Building and environment.

G. Mihalakakou, A. Ferrante (1999). *Energy conservation and potential of a sunspace: sensitivity analysis*. El Sevier.

Mihalakakou, G. (2001). *On the use of sunspace for space heating/cooling in Europe*. El Sevier.

P. Raman, Sanjay Mande, V. N. Kishore (2000). *A passive solar system for thermal comfort conditioning of buildings in composite climates*. El Sevier.

Joanne M. Holford, Gary R. Hunt (2001). *Fundamental atrium design for natural ventilation*. El Sevier.

Webs

<http://www.climablock.com/Construccion%20Sostenible-02.06-Inercia-termica-Bloque-aislante.htm>

<http://www.itec.es/noubedec.e/bedec.aspx>

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm

<http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/learnet/learnet/espagnol/fiche.asp?butval=B.III J 133&recherche=calor++++&booleen>

<http://www.sol-arq.com/index.php/edificios/balance-termico>

http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-69962012000300017

http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_solar_building_design

<http://openstudio.nrel.gov/>

<http://www.designbuilder.es/productos/caracteristicas-de-designbuilder/energyplus>

<http://www.importancia.org/energia.php>

<http://www.convertworld.com/es/energia/kWh.html>

<http://www.sketchup.com/es>

<https://www.youtube.com/watch?v=r0EuevVoZEU>

Software utilitzat per l'elaboració del projecte

Microsoft Office Word 2013

Microsoft Office Excel 2013

Matlab