

Transició Energètica

ESTUDI DE REHABILITACIÓ ENERGÈTICA AMB CRITERIS NZEB D'EDIFICIS D'EQUIPAMENTS PÚBLICS MUNICIPALS

AREA METROPOLITANA DE BARCELONA 2015

Treball encarregat per:

Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB

Assistència tècnica:

Berta Pujol Guerrero, Micheel Wassouf (Energiehaus)

Estudi rehabilitació amb criteris **NZEB** d'edificis d'equipaments públics municipals

Autors del treball
Berta Pujol Guerrero
Micheel Wassouf (Energiehaus)

Col·laborador:
Martín Amado

 **AMB** : Àrea Metropolitana
de Barcelona

INDEX

Antecedents

Resum executiu.....	5
---------------------	---

Introducció

I.Introducció: Objectius i marc jurídic de l'estudi.....	11
II.Breu presentació de l'estàndard Passivhaus	13
III.Estudis similars en el marc europeu.....	15
IV.La qualitat de l'aire a l'interior de les escoles	23
Contaminació de l'aire exterior.....	23
Activitat metabòlica dels ocupants	23
Emissions dels materials de construcció, mobiliari, equipament, etc.....	24
Gas Radó	25
Microorganismes (MVOC)	25
V. Programes vigents d'ajuts a la rehabilitació energètica.....	26
VI. Estudi per a la rehabilitació energètica amb criteris nZEB de tres edificis escolars: 3 casos d'estudi	29
Estudi de la millora energètica de l' Escola EL GARROFER a Viladecans.....	36
Estudi de la millora energètica de l' Escola CASCAVELL a Sant Adrià de Besos.....	81
Estudi de la millora energètica de l' Escola MARGALLÓ a Castelldefels.....	137

Annex I

Informació de projectes Passivhaus

Annex II

Documents de càlcul

Annex III

Resultat dels test Blower Door

Annex IV

Enquesta de confort per usuaris

Annex V

Carta del Departament d'Indústria en relació a les necessitats de ventilació dels edificis escolars

Antecedents

Aquest estudi ha estat encarregat per la Direcció de Serveis Ambientals de l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Inicialment es va plantejar com a estudi de rehabilitació d'equipaments municipals, després d'una fase de selecció d'edificis candidats, es va optar per seleccionar i estudiar tres escoles.

Autors del treball: Berta Pujol i Micheel Wassouf (Energiehaus).

Col·laborador: Martín Amado

Agraïments

Els autors d'aquest treball agraeixen la seva col·laboració a:

- Joan Dacosta i Maite Mínguez, arquitectes del Departament d'Ensenyament
- Laia Cases, tècnica de R+D de projectes d'eficiència energètica i medi ambient a la Unitat de Sostenibilitat de Eurecat
- Vicenç Fulcarà, enginyer responsable de servei, Progetic
- Oliver Style, enginyer, Progetic
- Sergi López, arquitecte, Greenstorm Sostenibilitat Energètica SL
- Ana Clapés, disseny gràfic

I. Resum executiu: Estudi per a la rehabilitació energètica amb criteris nZEB de tres edificis escolars: 3 casos d'estudi

L'objectiu d'aquest treball és l'estudi de la rehabilitació energètica de tres centres escolars amb criteris nZEB (nearly Zero Energy Building / edificis de consum gairebé nul).

A fi de promoure la competitivitat, la sostenibilitat i la seguretat en el subministrament energètic, la Comissió Europea ha elaborat una sèrie de polítiques i mesures.

En l'àmbit dels edificis, s'estableixen objectius especialment ambiciosos en la refosa de la Directiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive 2002/91/EC, refosa 2010/31/EU) [EPBD 2010]. El text, parla per primera vegada dels edificis de consum energètic quasi nul (nZEB, en anglès).

Els estats membres han de transposar fins el 31.12.2018 (per edificis públics) la directiva i determinar els paràmetres que definiran l'estàndard nZEB a cada estat. L'Estat espanyol no ha transposat encara aquesta directiva. En els estats que no han trasposat la Directiva, els Fons FEDER accepten com a edificis nZEB aquells edificis que compleixen l'estàndard Passivhaus.

Aquest estudi ha analitzat la rehabilitació de 3 CEIPS per aconseguir el compliment de l'estàndard Passivhaus.

Els centres estudiats són:

- CEIP El Garrofer a Viladecans
- CEIP Margalló a Castelldefels
- CEIP Cascavell a Sant Adrià del Besòs

Aquests edificis han estat seleccionats entre una llista de nou edificis d'equipaments municipals. Per realitzar la selecció es van considerar els següents paràmetres: visibilitat, compromís de l'usuari, existència de patologies en l'edifici, desconfort dels usuaris, usuari únic, replicabilitat i disponibilitat de plànols en suport informàtic.

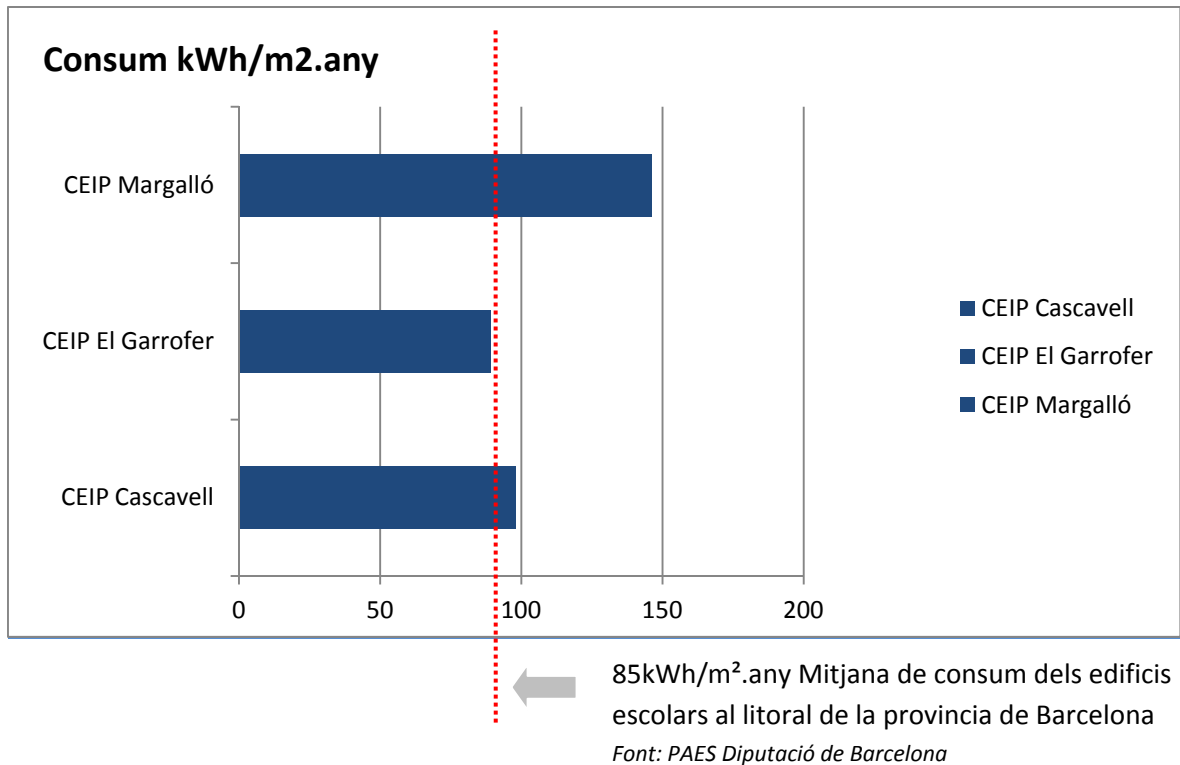
El consum energètic dels centres escolars en el litoral de la província de Barcelona va ser estudiat dins dels Plans d'Acció per l'Energia Sostenible promogut per la Diputació de Barcelona.

Consum energètic de les escoles del Litoral (província de Barcelona)

* Font: Diputació de Barcelona, auditories en el marc dels PAES fins el 2012

Nombre de centres estudiats	212
Graus dia de calefacció 15/15	1075
Consum d'energia final kWh/m ² /any)	85
Energia tèrmica	72%

Consum energètic dels centres estudiats



Aquest estudi proposa tres alternatives de rehabilitació energètica:

- Rehabilitació per complir l'estàndard Passivhaus adaptat al clima mediterrani
- Rehabilitació per complir l'estàndard Passivhaus certificable
- Rehabilitació per assolir la qualificació energètica B

En els tres casos, es compleixen les condicions per aconseguir l'ajuda màxima dins del Programa PAREER CRECE de l'IDAE.

L'estàndard Passivhaus és un estàndard de molt baix consum i alt confort que alhora té cura de la salubritat de l'ambient dels edificis. Aquest estàndard és molt exigent a l'estiu pel clima mediterrani. En els casos de les escoles Garrofer i Cascavell, no resulta possible aconseguir l'estàndard Passivhaus a l'estiu únicament amb sistemes passius. Per aquests edificis proposem l'adaptació de l'estàndard al clima mediterrani, amb un increment de 1°C de temperatura de l'aire interior respecte l'estàndard certificable (26°C enlloc de 25°C <10% del temps de ús). Tanmateix s'estudia també l'alternativa de complir l'estàndard de manera certificable amb la incorporació de sistemes actius de refrigeració d'alta eficiència.





En el cas de l'escola Margalló, s'aconsegueix arribar a complir l'estàndard Passivhaus certificable únicament amb sistemes passius. Aquest edifici és molt poc compacte, amb molta superfície de solera per dissipar la calor a l'estiu i es troba en un entorn poc pavimentat i ombrejat per arbres. En aquest cas, i donada la proximitat de l'escola al bosc, s'estudia la substitució de la caldera existent amb dues alternatives: caldera de gas de condensació i caldera de biomassa. Tanmateix, Castelldefels forma part de les Zones de protecció especial de l'ambient atmosfèric, i

conseqüentment, el municipi està afectat pel Pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire. Dins d'aquest Pla, i concretament a la mesura EL33, no es recomana la instal·lació de calderes de biomassa. Es desestima per tant l'opció de la caldera de biomassa

A continuació resumim els resultats de la rehabilitació que ens sembla més favorable per cada edifici.

REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT AL CLIMA MEDITERRANI DE L'ESCOLA GARROFER DE VILADECANS

Taula resum de millores de l'opció de rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani

Demanda calefacció	Consum gas	Consum electricitat	Emissions CO ₂
 89%	 80%	 10%	 55%





Cost rehabilitació (PEC)
274 €/m²

Amortització: 19 anys

Amortització en condicions de confort: 15,5 anys

REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE DE L'ESCOLA DE CASTELLDEFELS

Taula resum de millores de l'opció de rehabilitació Passivhaus certificable amb caldera de gas d'alt rendiment

Demanda calefacció	Consum gas	Consum electricitat	Emissions CO ₂
 86%	 72%	 4%	 75%





Cost rehabilitació (PEC)
334 €/m²

Amortització: 21,5 anys

Amortització en condicions de confort: 18,5 anys

REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT A CLIMA MEDITERRANI DE L'ESCOLA CASCAVELL A SANT ADRIÀ DEL BESÒS

Taula resum de millores de l'opció de rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani

Demanda calefacció	Consum gas	Consum electricitat	Emissions CO ₂
 88%	 80%	 4%	 56%

Cost rehabilitació (PEC)
273 €/m²

Amortització: 19 anys

Amortització en condicions de confort: 15 anys

El cost considerat és el PEC, pressupost de contracte, no inclou IVA ni altres despeses

Consideracions generals:

- Els resultats d'aquest estudi estan supeditats a la possible obtenció de l'ajuda del PROGRAMA DE AYUDAS PARA LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS EXISTENTES (PAREER-CRECE) de l'IDAE
- Les transmissió tèrmiques dissenyades en les versions Passivhaus (façana 0,24 W/m²K, coberta 0,17 W/m²K, finestres 1,3 W/m²K) son millors que els recomanats en el CTE-HE1-apèndix E (per zona climàtica C: façana 0,29 W/m²K, coberta 0,23 W/m²K, finestres 1,6-2,0 W/m²K).
- La execució d'una rehabilitació tipus Passivhaus requereix d'un esforç superior per part del projectista i de l'empresa constructora. El projecte bàsic i executiu ha de definir-se en profunditat, deixant molt poc marge per la improvisació a la fase d'execució. Els amidaments de l'obra han d'estar molt ben definits. L'empresa constructora ha d'executar l'obra de manera meticulosa. Es recomana que aquestes empreses tinguin experts Passivhaus a la seva plantilla (existeixen cursos específics a Espanya per instal·ladors i constructors en matèria Passivhaus). També es recomana que la direcció d'obra s'adjudiqui a arquitectes i arquitectes tècnics que acreditin experiència en obres Passivhaus de manera similar.
- L'èxit d'una rehabilitació d'aquestes característiques requereix de la implicació dels usuaris en la fase d'ús de l'edifici. Caldrà elaborar i consensuar amb el centre un protocol d'ús de l'edifici.

CONCLUSIONS

Aquest estudi permet identificar les deficiències energètiques i de confort dels edificis estudiats i així analitzar la seva capacitat de millora, basant-se en l'estàndard de baix consum Passivhaus.

El parc d'edificis escolars de Catalunya compta amb 2311 centres educatius d'Educació Primària, d'aquests centres només 180 compleixen el CTE. Això vol dir que tenim un parc escolar edificat amb un gran potencial de rehabilitació energètica.

Els beneficis d'una actuació d'aquest tipus son múltiples:

- Millora del confort dels usuaris
- Contribució a la millora del rendiment escolar dels alumnes i equip docent
- Prevenició de patologies que poden desencadenar-se en els edificis malalts
- Reducció de les emissions de CO₂
- Estalvi econòmic a llarg termini
- Reducció de la dependència energètica
- Pedagogia de l'estalvi energètic i el baix consum

Amb els ajuts estatals del programa PAREER-CRECE, actualment en vigor, les actuacions proposades de rehabilitació energètica donen una amortització de l' inversió inicial de menys de 20 anys. Tenint en compte una vida útil de 50 anys (després d'una rehabilitació energètica integral), és força recomanable aprofitar aquestes condicions econòmiques oportunes per aconseguir edificis conforme amb la futura normativa de la Unió Europea, del tipus nZEB (nearly Zero Energy Buildings).

Les escoles no són només centres de formació acadèmica, són comunitats vives on es transmeten també hàbits, valors, inquietuds i actituds. És un espai idoni per afrontar nous reptes i desenvolupar noves maneres de fer, per això cal aprofitar la capacitat de les escoles per transmetre la importància de l'estalvi energètic i el baix consum.

L'experiència d'un model d'escola nZEB amb un equip involucrat en transmetre valors de respecte al Medi Ambient és una oportunitat per tal de promoure que la resta de la comunitat educativa es sumi a aquesta iniciativa. D'altra banda, els alumnes i usuaris del centre poden estendre aquestes pràctiques als seus habitatges o a altres edificis.

La renovació de les escoles és també una preocupació arreu d'Europa amb molts exemples i molts estudis disponibles. Es tracta d'una aproximació més amplia dels requeriments dels centres educatius per fer-los modèlics en qüestió de confort, salubritat de l'aire i consum energètic, i donar eines als equips docents per transmetre aquests conceptes.

L'eficiència energètica i la reducció de les emissions de CO₂ és un objectiu estratègic dels països membres de la UE. A nivell de l'administració local els tres municipis on es troben les escoles estudiades han subscrit el Pacte d'Alcaldes (PAES) i estan compromesos amb una ambiciosa reducció de les emissions de CO₂. Aquesta iniciativa col·laboraria a complir aquest objectiu.

Introducció

I. Introducció: Objectius i marc jurídic de l'estudi

L'objectiu d'aquest treball és l'estudi de la rehabilitació energètica de tres centres escolars amb criteris nZEB (nearly Zero Energy Building / edificis de consum gairebé nul).

A fi de promoure la competitivitat, la sostenibilitat i la seguretat en el subministrament energètic, la Comissió Europea ha elaborat una sèrie de polítiques i mesures.

El sector de la construcció i l'edificació consumeix, aproximadament, entre un 30% i un 50% (segons l'experiència dels autors) de l'energia total utilitzada, i genera uns nivells similars en quant a emissions associades. Les dades al respecte varien segons diferents factors, sistemes de mesura i indicadors, però és comuna la preocupació sobre aquest fet arreu del món i, per aquest motiu, s'han desenvolupat en els darrers anys diferents estratègies amb la intenció de reduir aquests consums.

En l'àmbit dels edificis, s'estableixen objectius especialment ambiciosos en la refosa de la Directiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive 2002/91/EC, refosa 2010/31/EU) [EPBD 2010]. El text, parla per primera vegada dels edificis de consum energètic quasi nul (nZEB, en anglès).

Els estats membres han de transposar abans del 31.12.2018 (per edificis públics) la directiva i determinar els paràmetres que definiran l'estàndard nZEB a cada estat.

Els diferents estàndards existents d'edificis de baix consum responen a diferents metodologies de càlcul i diferents abasts, de manera que no es poden comparar directament entre si. Així com tampoc es poden comparar fàcilment les definicions nZEB que han elaborat alguns països/organismes fins a la data d'avui, donat que existeixen actualment diferents mètriques i metodologies per definir l'edifici nZEB.

Adjuntem a continuació les taules publicades per BPIE (Building Performance Institute Europe) dins el marc del projecte EPISCOPE on es descriu l'estat de tramitació de la transposició de la Directiva Europea EPBD, 2010/31/EC.

Llegenda del quadre:

LEGEND OF TABLE 1		
✓	definition included in an official document	✗ no definition available ND - no data
Other indicators: CO ₂ - Carbon emissions, EP - Envelope performance, OH - Overheating indicator, TS - Performance of technical systems		
[1]	For residential buildings, the EPBD takes into account the following energy services: heating, cooling, domestic hot water, air conditioning, and, for non-residential buildings, lighting is considered in addition	
[2]	Depending on the reference building	
[3]	Depending on the location	
[4]	Requirement depending on the RES measures adopted	
[5]	Maximum primary energy consumption defined as a percentage of the primary energy consumption (PE) of a reference building. In the Czech Republic, the non-renewable primary energy is considered instead of the primary energy	
[6]	No cooling for residential buildings	
[7]	Energy consumption of appliances is included in addition in the definition (both for residential and non-residential buildings)	
[8]	In the National nZEB Plan, BBC / "Bâtiments Basse Consommation" (buildings which comply with the Thermal Regulation 2012) are defined as buildings with an energy consumption close to zero, but it is foreseen that buildings will be positive energy buildings from 2020	
[9]	Apart from England, the targets for the other UK countries are different and expected to be reviewed. Northern Ireland is trying to promote the UK government's goal that all new homes should reach a zero carbon standard by 2016.	

L'estat espanyol no ha definit encara aquests paràmetres malgrat que a partir del 2018 tots els edificis públics de nova construcció hauran de complir aquest requeriment.

En aquest context normatiu, els Fons FEDER han acceptat considerar nZEB els edificis que compleixin l'estàndard PASSIVHAUS. Es el cas per exemple de la construcció de l'edifici públic "INNOVA" de l'ajuntament d'Oviedo, destinat a la investigació i e l'empreniment d'empreses tipus High Tech.

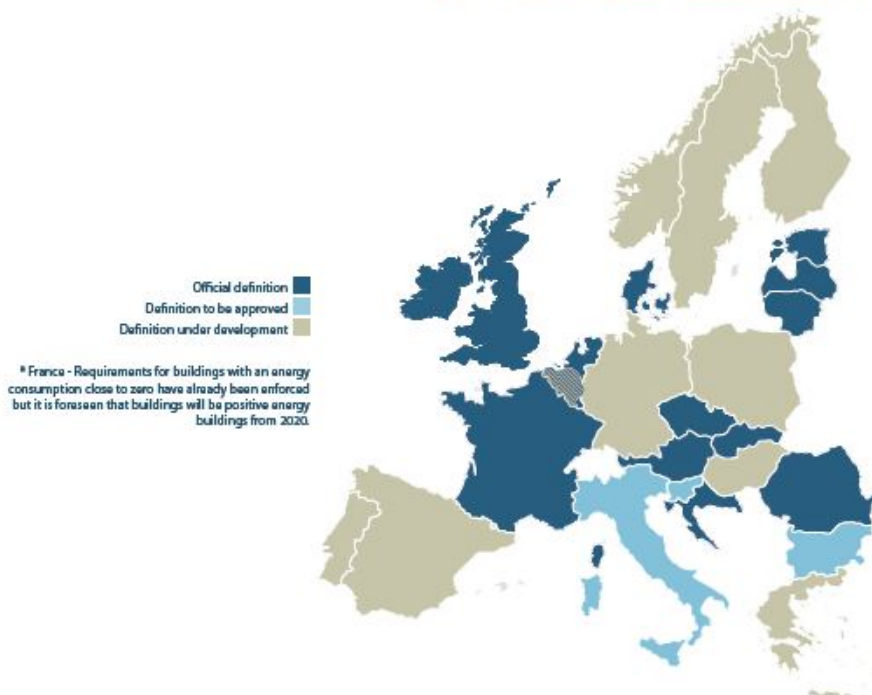
L'objectiu d'aquest treball és estudiar les possibilitats de rehabilitació de tres centres escolars per tal de que compleixin l'estàndard Passivhaus i esdevinguin edificis nZEB. Aquesta rehabilitació s'avança al context normatiu espanyol però correspon a la tendència europea on ja hi ha nombrosos exemples i iniciatives en aquest sentit.

La cura per l'estalvi energètic pren especial importància en els edificis escolars, els quals tenen un alt guany intern (degut a l'ocupació), absència d'equips de refrigeració, i alts requeriments sobre salut i confort per tractar-se d'infants.

Les escoles són comunitats vives, on es transmeten molts valors, coneixements i hàbits. Es tracta d'un espai ric on poder abordar noves necessitats i desenvolupar noves maneres de fer. Així doncs, la implementació de mesures d'estalvi energètic i fins i tot la creació d'un model d'escola NZEB pot generar beneficis fàcilment més enllà de la pròpia comunitat de l'escola, per la presència i la capacitat de difusió que l'escola té a través de tots els seus usuaris.

L'èxit d'implementar un projecte nZEB en una escola depèn de diversos factors, on la comunitat educativa de la mateixa té un paper clau. Cal la motivació i la col·laboració de tots els usuaris. És un gran repte i a la vegada una gran oportunitat per aprendre de manera conjunta.

Figure 5 - Status of nZEB definition for new buildings (Source: BPIE, 2015)



II. Breu presentació de l'estàndard Passivhaus

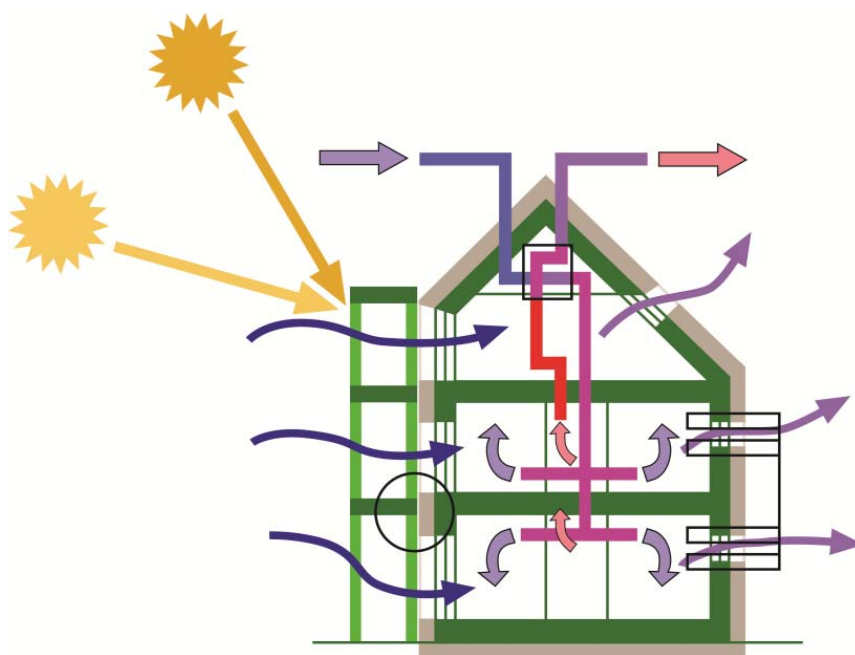
L'estàndard PASSIVHAUS, és un estàndard de construcció alemany desenvolupat a finals dels anys 80 a Alemanya. Es un estàndard de consum energètic molt baix i alt confort tèrmic i acústic, garantint també la qualitat de l'aire interior de l'edifici.

El primer edifici Passivhaus va ser construït a Darmstadt, a Alemanya l'any 1991. L'institut Passivhaus va ser fundat a Darmstadt l'any 1996 per promoure i controlar l'estàndard. Des de llavors, s'han construït uns 25.000 edificis amb l'estàndard Passivhaus, molts a Alemanya i Àustria però també a la resta d'Europa i Estats Units.

En els últims 10 anys s'ha comprovat l'eficàcia de les mesures establertes per l'estàndard Passivhaus en clima mediterrani en diferents edificis monitoritzats a Espanya amb excel·lents resultats (veure Annex I)

Les estratègies de disseny de l'estàndard Passivhaus es basen en els següents conceptes:

- Disseny: compacitat, orientació i protecció solar
- Aïllament tèrmic i absència de ponts tèrmics
- Alta qualitat de les finestres
- Ventilació controlada i alt nivell d'hermeticitat
- Ventilació creuada a l'estiu
- Ventilació addicional nocturna a l'estiu



Esquema de funcionament d'un edifici Passivhaus

Un edifici PASSIVHAUS ha de complir els següents requeriments:

Demanda màxima de calefacció	15 kWh/m2any
Demanda màxima de refrigeració	15 kWh/m2any
Estanqueïtat de l'envolupant de l'edifici (mesurat a 50Pa)	0,6 vol/h
Consum màxim d'energia primària per calefacció, refrigeració, ACS i electricitat	120 kWh/m2any

A l'annex I s'inclou:

- Exemples d'escoles Passivhaus d'obra nova
- Exemples de rehabilitació d'escoles per assolir l'estàndard Passivhaus
- Exemples d'edificis Passivhaus a Espanya

III. Estudis similars en el marc europeu

PROJECTE ZEMeds

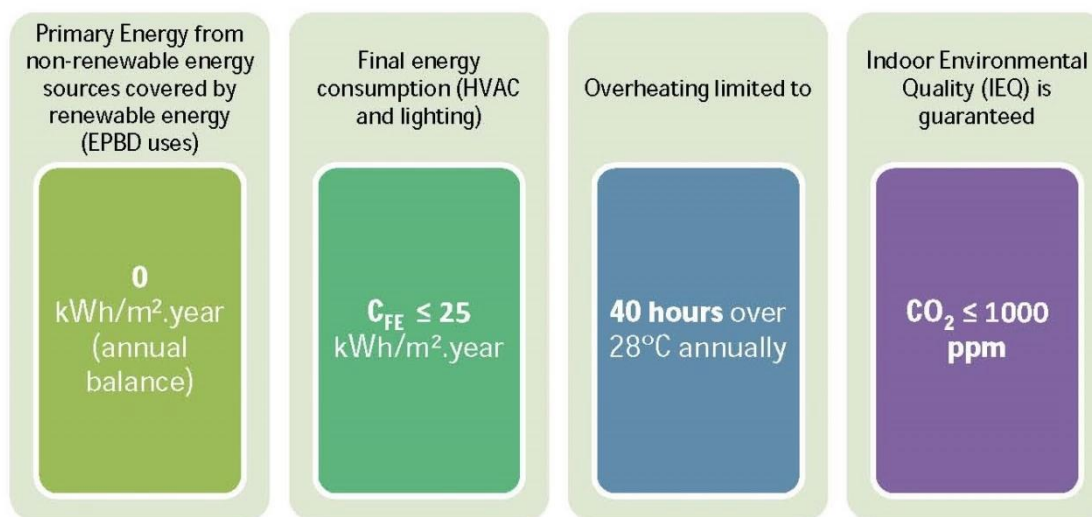
ZEMeds és l'acrònim de Zero Energy Mediterranean Schools i és el nom d'un projecte europeu, cofinançat per la Comissió Europea en el marc del Programa Energia Intel·ligent per a Europa. Té una durada de 3 anys (2013-2016) i està desenvolupat per un consorci mediterrani format per 9 socis de quatre estats (França, Itàlia, Grècia i Espanya).

El projecte ZEMeds (www.zemeds.eu) té per objectiu la promoció de la renovació dels edificis escolars (primària i secundària) a fi d'arribar a un consum energètic quasi nul, tal com es defineix en el marc legislatiu europeu [EPBD 2010], el qual exigeix la construcció de nous edificis de consum energètic quasi nul a partir de l'any 2019, així com incentivar la conversió dels edificis existents cap aquest objectiu energètic.

Objectius d'energia:

La manca de definició dels criteris que han de determinar que un edifici sigui nZEB, fan que els redactors del projecte ZEMeds hagin establert una hipòtesi de partida.

Aquests son els criteris establerts



També especifica els següents punts:

CRITERIS nZEB

Consum final d'energia
 $C_{FE} \leq 25$ kWh/m².any (exclosos ACS, aparells de cuina i equips informàtics)

Dels quals:
 Consum calefacció ≤ 20 kWh/m².any
 Consum enllumenat ≤ 5 kWh/m².any

ESTRATÈGIES

Valor de transmissió U dels tancaments
U Façana : 0.2-0.4 W/m ² .K
U Coberta : 0.15-0.3 W/m ² .K
U Finestres : 1.4-1.8 W/m ² .K
Protecció solar exterior
Control infiltracions d'aire
Ventilació: 5-13 l/s x persona (promig 8 l/s x persona)
Temperatura operativa a l'hivern: 19-21°C

CASOS D'ESTUDI SIMILARS

Hem seleccionat els casos d'estudi d'edificis en clima mediterrani de costa com a exercicis assimilables als nostres estudis (es tracta simplement d'estudis, la rehabilitació no s'ha dut a terme per ara):

Cas d'estudi: ESCOLA MIGUEL HERNANDEZ A BADALONA

DADES GENERALS DE L'EDIFICI

Tipologia edificatòria	Planta baixa i planta pis
Superfície	1147 m ²
Alumnes	170
Any construcció	1979
Característiques de l'envolupant existent:	
U Façana :	1.3 W/m ² .K
U Solera:	1.9 W/m ² .K
U Coberta :	2.5 W/m ² .K
U Finestres :	5.7 W/m ² .K

Cas d'estudi ITC BENINCASA, ANCONA, ITALIA

DADES GENERALS DE L'EDIFICI

Tipologia edificatòria	Planta baixa i planta pis
Superfície	4942
Alumnes	580
Any construcció	1977
Característiques de l'envolupant existent:	
U Façana :	1.17 W/m ² .K
U Solera:	0.90 W/m ² .K
U Coberta :	0.42 W/m ² .K
U Finestres :	5.7 W/m ² .K
Sistema de ventilació mecànica:	NO
Enllumenat:	Fluorescència convencional
Consum energia final:	127 kWh/ m ² ·any

Cas d'estudi GRUP ESCOLAR SALAMANQUE, MONTPELLIER, FRANÇA

DADES GENERALS DE L'EDIFICI

Tipologia edificatòria	Planta baixa i dos plantes pis
Superfície	2303 m ²
Alumnes	320
Any construcció	1965
Característiques de l'envolupant existent:	
U Façana :	2.7 W/m ² .K
U Solera:	2.2 W/m ² .K
U Coberta :	3.2 W/m ² .K
U Finestres :	1.9 a 3.3 W/m ² .K
Sistema de ventilació mecànica:	NO
Enllumenat:	Fluorescència convencional i halogenurs metàl·lics
Consum energia final:	99 kWh/m ² .any

RESULTATS PROPOSTA REHABILITACIÓ NZEB D'AQUESTES ESCOLES

Les propostes de rehabilitació es fan amb tres opcions i amb possibilitat de fer-ho de manera esglaonada. Detallem a continuació un quadre amb els resultats de l'anàlisi de l'escola Miguel Hernández de Badalona.

Aclariments:

El projecte ZEMEDS planteja uns objectius d'energia que no només comporten un consum molt baix sinó també un balanç nul entre l'energia primària no renovable i l'energia primària renovable consumida per l'edifici. D'altra banda, el termini d'amortització calculat no té en compte les possibles ajudes al finançament.

De la resta d'edificis i del projecte en general es pot trobar informació a: www.zemeds.eu

RESUM RESULTATS REHABILITACIÓ NZEB DE L'ESCOLA MIGUEL HERNANDEZ DE BADALONA DINS DEL PROJECTE ZEMEDS

	result 1	result 2																		
Renovation implemented with energy efficiency measures in	envelope + mechanical ventilation with heat recovery + lighting + PV system covering (heating by natural gas, ventilation, lighting, DHW by electricity (pre-school))	envelope + mechanical ventilation with heat recovery + lighting + heating & DHW system in pre-school (gas condensing boiler) + PV system covering (heating by natural gas, ventilation, lighting, DHW by electricity (primary school) and natural gas (pre-school))																		
Energy balance in PE (kWh/m² y) (heating, cooling, vent., DHW & lighting) and RES production (kWh and kWh/m² conditioned area)	<table border="1"> <tr> <td>Var A</td> <td>1</td> <td>36160/32</td> </tr> <tr> <td>Var B</td> <td>1</td> <td>35030/31</td> </tr> <tr> <td>Var C</td> <td>0</td> <td>33900/30</td> </tr> </table>	Var A	1	36160/32	Var B	1	35030/31	Var C	0	33900/30	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>2</td> <td>33900/30</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0</td> <td>33900/30</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>32770/29</td> </tr> </table>		2	33900/30		0	33900/30		1	32770/29
Var A	1	36160/32																		
Var B	1	35030/31																		
Var C	0	33900/30																		
	2	33900/30																		
	0	33900/30																		
	1	32770/29																		
(ZEMedS requirement 1) (simulations)																				
Energy result in FE (kWh/m² y) (heating, cooling, vent. & lighting) per conditioned area	23	20																		
(ZEMedS requirement 2) (simulations)	21	18																		
	20	17																		
Goal of (ZEMedS requirement 3)	<ul style="list-style-type: none"> - indoor quality guaranteed by mechanical ventilation - In general, in primary school it is expected no problems of overheating (T>28°C) in the most of classrooms. Some spaces like offices with high heat gains from appliances are recommended to be carefully ventilated. No problems of overheating expected in pre-school building. 	<ul style="list-style-type: none"> - indoor quality guaranteed by mechanical ventilation - In general, in primary school it is expected no problems of overheating (T>28°C) in the most of classrooms. Some spaces like offices with high heat gains from appliances are recommended to be carefully ventilated. No problems of overheating expected in pre-school building. 																		
Paybacks (years) step by step implementation	>50	>50																		
Paybacks (years) all at once implementation	26-27	27																		

Projecte SCHOOLVENT

El projecte "Schoolventcool" porta a terme rehabilitacions d'edificis escolars per aconseguir l'estàndard Passivhaus. Proposa nous sistemes de ventilació així com l'aplicació de mòduls de façana prefabricats sobre la façana existent.

Els projectes es duen a terme a Àustria i Alemanya amb uns requeriments d'energia per calefacció que no són comparables amb el context mediterrani, no obstant resulta interessant comprovar la dràstica reducció de la demanda de calefacció un cop rehabilitat l'edifici.

Exposem a continuació les dades més rellevants dels projectes:

Rehabilitació Passivhaus School Zirbitzkogel Grebenzen (Austria)

Superfície	3.526 m ²
Any construcció	1978
Any rehabilitació	2009-2011
Demanda de calefacció inicial	160 kWh/m ² .any
Demanda de calefacció després de la rehabilitació	14 kWh/m ² .any
Cost €/m ²	950€-1.250€-1.450€

Rehabilitació School Gundelfingen a.d. Donau (Alemanya)

Superfície	2.877 m ²
Any construcció	1975
Any rehabilitació	2010-2011
Demanda de calefacció inicial	220 kWh/m ² .any
Demanda de calefacció després de la rehabilitació	70 kWh/m ² .any
Cost €/m ²	240€

No disposem de dades del període d'amortització

Més info a: <http://schoolventcool.eu/>

Altres projectes relacionats amb l'estalvi energètic, la gestió i l'eficiència energètica als centres educatius:

RENEW SCHOOL

Projecte en curs. Socis participants a AT, BE, IT, SI, DK, NO, PL, SE, DE.

El projecte RENEW SCHOOLS pretén incentivar i difondre la rehabilitació d'edificis escolars amb estàndard nZEB. Vol proporcionar informació, donar eines als agents implicats i compartir experiències.

Proposa tres grans estratègies:

- Millora de l'envolupant de l'edifici mitjançant panells prefabricats de fusta incloent fusteries de fusta, proteccions solars i elements de ventilació
- Millora de la qualitat de l'aire interior a través de la ventilació, refrigeració passiva i millora de l'enllumenat amb llum natural
- Millora de la generació de l'energia in-situ mitjançant fonts d'energia renovable

Més info a: <http://www.renew-school.eu/en/home/>

Projecte SCHOOL OF THE FUTURE

Projecte en curs. Socis participants a DK, IT, NR GR

Estudis de millora de l'eficiència energètica des de la gran rehabilitació fins a la gestió/ús de l'edifici. Presenta quatre casos d'estudi (1 en clima mediterrani a Itàlia.)

Més info a: <http://www.school-of-the-future.eu/>

PROJECTE Teenenergy Schools

Projecte en curs. Socis participants a SP, IT, GR

L'objectiu general d'aquest projecte és promoure l'eficiència energètica dels centres d'Educació Secundària i Batxillerat basats en tres tipus de clima mediterrani: costa, muntanya i ciutat.

Més info a: <http://teenergy.commpla.com/content/teenergy-guidelines>

Advanced Energy Design Guide for K-12 School Buildings

Guia de rehabilitació d'edificis escolars redactada pel Departament d'Energia dels USA.

Presenta procés general de planificació i disseny així com eines de mesura de l'estalvi i el termini d'amortització. Vol oferir full de ruta per al disseny efectiu i la implementació de mesures de millora de l'eficiència energètica.

Basat en norma ASHRAE-2011

Més Info a: <https://buildingdata.energy.gov/cbrd/resource/17>

VerySCHOOLS

Projecte en curs. Socis participants a IT, HU, BG, IRL, PT, UK, RS, B, TR

Aproximació des de la implementació d'eines de *Energy management*.

Més Info a: <https://buildingdata.energy.gov/cbrd/resource/17>

Euronet 50/50

Projecte en curs. A Catalunya hi participen 49 centres.

Projecte d'estalvi energètic a través de l'ús i la gestió de l'edifici. Implica a tots els usuaris dels centres: alumnes, professorat, personal administratiu i AMPA. Hi participen en total 500 centres de primària i secundària. El resultat és un estalvi promig del 8%.

El centre rep el 50% de l'estalvi en forma de dotació econòmica.

Més info a: <http://euronet50-50.eu/>

Tesi doctoral d'anàlisi del consum energètic d'edificis docents i capacitat d'estalvi energètic a traves de la rehabilitació:

"Proposta metodològica per a la rehabilitació energètica d'edificis d'ús docent en la ciutat mediterrània. Cas d'estudi, ciutat de Barcelona".

Autora: Montserrat Bosch Gonzalez (Professora del Departament de Construccions Arquitectòniques de l'ESPEB, UPC)

Document disponible a la web <http://tdx.cat/>

Aquest treball estudia les dades de consum de 237 centres educatius entre CEIPS, IES i altres centres d'arreu de Catalunya a partir de dades facilitades per l'ICAEN.

Entre aquests centres s'estudien en detall 52 edificis (dels quals 26 CEIPS) dels quals es fa un estudi detallat que inclou els següents punts:

- Recollida de dades estàtiques
- Recollida de dades dinàmiques
- Monitorització de la temperatura i la humitat de l'aire interior
- Enquesta exhaustiva als usuaris
- Avaluació de l'eficiència dels sistemes
- Anàlisi de les dades de consum
- Diagnòstic

Es realitza finalment un anàlisi multivariable de 19 centres escolars a partir dels següents indicadors:

- Superfície específica coberta: Superfície coberta/volum·m²
- Indicador eficiència sistema calefacció
- Rendiment sistema climatització: rendiment caldera
- Percentatge superfície finestres en aula tipus
- Indicador eficiència sistema enllumenat
- Valor d'Eficiència Energètica de la instal·lació (VEEI)
- Indicador gestió
- Consum d'electricitat en kWh/m²·any
- Consum de gas en kWh/m²·any
- Transmissió U paraments opacs
- Transmissió U obertures U
- Transmissió U Coberta
- Factor de forma
- Superfície específica de les façanes: Superfície façanes/volum·m²
- Percentatge de superfície d'obertures en façana

Aquest estudi és especialment interessant perquè permet tenir un coneixement de l'estat actual del parc edificat escolar i el potencial de millora.

IV. La qualitat de l'aire a l'interior de les escoles

Les fonts de contaminació de l'aire interior són:

- Contaminació de l'aire exterior
- Activitat metabòlica dels ocupants (sobre tot CO₂)
- Emissions dels materials de construcció, mobiliari, equipament, etc. (Components Orgànics Volàtils: TVOC)
- Gas radó
- Microorganismes (MVOC)

El control de la ventilació és un element clau per controlar la qualitat de l'aire interior d'un edifici.

Contaminació de l'aire exterior:

La qualitat de l'aire exterior en un lloc sense contaminació mediambientals serà com la millor qualitat possible de l'aire interior. Les escoles en funcionament situades en àrees de forta pol·lució difícilment poden garantir una bona qualitat del aire amb una ventilació natural. Tanmateix, es recomana tenir cura en la situació dels punts de captació d'aire pel sistema de ventilació controlada per evitar possibles entrades d'aire provinents d'extraccions d'aparcaments o àrees d'altres carregues ambientals.

Activitat metabòlica dels ocupants

Hi ha una relació directa entre la concentració de contaminants en l'aire provinents de l'activitat metabòlica (CO₂, substàncies oloroses i humitat) i la sensibilitat a les olors i la manca de concentració. La presència d'humitat repercuteix en l'edifici i indirectament afavoreix la proliferació de fongs.

Els problemes de salut derivats d'una alta concentració de CO₂ apareixen quan la concentració de CO₂ sobrepassa els 15.000 ppm*. Tanmateix, la percepció dels usuaris detecta les altes concentracions de CO₂: el 30% de les persones consideren que la qualitat de l'aire no és satisfactòria quan es sobrepassen els 1000 ppm**. Amb concentracions superiors es detecten casos aïllats de manca de concentració, cansament, etc.

La renovació de l'aire a través de la ventilació ha de garantir nivells de CO₂ baixos, ja que el CO₂ és un indicador molt eficient d'altres possibles contaminacions més difícils de detectar.

Descrivim a continuació l'estat actual de les regulacions del contingut de CO₂ i de les normes de ventilació per garantir les concentracions de CO₂ requerides.

* *Indoor Air Quality Tools for Schools, Appendix E - Typical Indoor Air Pollutants / Indoor Air Pollutant - Carbon Dioxide (CO₂).* <http://www.epa.gov/iaq/schools/tfs/quidee.html>, 2002

** ECA (1992): *COST Project 613 – Report No.11 – Guidelines for ventilation requirements in buildings, 1992.*

Taula 1. Regulacions vigents de la concentració màxima de CO₂

Regulacions vigents de la concentració màxima de CO₂		
Agència pel Medi Ambient	Alemanya	1500 ppm
ASHRAE	USA	1000 ppm
Pr EN 13779 (CEN 2003)	CEE	Concentració de CO ₂ a l'interior per sobre de la concentració de CO ₂ de l'exterior IDA 1: 350ppm IDA 2: 500ppm (Escoles) IDA 3: 800ppm IDA4: 1.200ppm
British Code for Building regulations	UK	1500 ppm

Regulacions vigents de les renovacions de l'aire interior

		Volum d'aire a renovar	
		<i>l/s·persona</i>	<i>m³/h·persona</i>
Standard Passivhaus	Alemanya	4,15 a 5,5	15 a 20
RITE-CTE	Espanya	12	43,2
Departament industria Generalitat de Catalunya (per edificis escolars)	Catalunya	8,4	30,2

Emissions dels materials de construcció, mobiliari, equipament, etc.

Els següents grups de substàncies dels materials de construcció, elements del mobiliari i del material de treball de les escoles poden ser emesos a l'aire i contaminar l'ambient de l'escola:

- Gasos anorgànics: Ozó (O₃), CO₂
- Components orgànics volàtils (VOC)
- Formaldehids
- Components orgànics semi-volàtils (SVOC)

Evitar materials amb alt potencial d'emissions és la millor solució per garantir una bona qualitat de l'aire interior. Malgrat que la ventilació redueixi la presència d'algunes d'aquestes emissions, no poden ser eliminats completament.

Cal evitar la contaminació provinent dels tractaments agressius de la fusta, alguns productes de neteja i alguns paviments. Es recomana escollir curosament els materials emprats a l'edifici. Igualment, alguns elements del material emprat per fer manualitats (pintures, vernissos, coles, etc.) han de ser escollits considerant el seu potencial contingut tòxic.

Tenint en compte que els infants passen un terç del temps a les escoles, existeix la preocupació per la qualitat de l'aire dels centres.

En els últims anys s'han dut a terme els següents estudis:

- EnVIE, Co-ordination Action on Indoor Air Quality and Health Effects (projecte europeu en el que participen tècnics de 6 estats membres)
- Calidad del aire interior en los centros de educación infantil del País Vasco (Dr. Victor del Campo Díaz)
- Indoor Air Quality Tools for Schools (EPA)
- Do School Facilities affect academic outcomes? Mark Schneider, 2002, National Clearinghouse for Educational Facilities
- Projecte europeu BREATHE: BRain dEvelopment and Air polluTion ultrafine particles in scHool children (liderat per Institut CREAL, Dr. Jordi Sunyer)
- Green spaces and cognitive development in primary school children, (Payam Dadvand/Michael Jarret/Jordi Sunyer) , publicat a revista PNAS

Gas Radó

El gas Radó és un gas que prové de la desintegració del Radi, és un gas transparent, incolor e inodor. El gas Radó és carcinogen en situacions d'altres concentracions.

Les fonts de gas Radó als edificis provenen principalment del terreny sobre el qual s'assenta l'edifici i amb menor influència, d'alguns materials de construcció. La presencia de radionúclids naturals en els materials de construcció provoca fluxos de gas Radó. La major presencia de radionúclids es troba de major a menor a: les pedres naturals, els ciments, els maons ceràmics, el formigó i els guixos i escaioles. Els materials que menys Radó contenen són les fustes.

Es recomana la renovació de l'aire de l'edifici per evitar la possible concentració d'aquest gas. Els estudis citats en l'apartat anterior també analitzen aquesta qüestió.

Microorganismes (MVOC)

Les floridures (incorrectament anomenades "moho") són la major font de microorganismes i d'al·lèrgens de l'aire interior. Les floridures poden desencadenar l'asma i poden causar efectes sobre la salut de les persones com reaccions al·lèrgiques. Els possibles efectes de les floridures en la salut depenen del tipus de floridura, el temps d'exposició dels ocupants, i la sensibilitat dels mateixos.

Una actuació ràpida i eficaç davant de l'aparició de floridures és essencial per evitar-ne els efectes. La presencia d'humitat en l'ambient afavoreix l'aparició i proliferació de floridures. Un cop més, la ventilació és un element clau per la prevenció d'aquest problema.

V. Programes vigents d'ajuts a la rehabilitació energètica

E.1. Programa PAREER CRECE de l'IDAE

Programa	PAREER CRECE
Institució convocant	IDEA (Ministerio de industria, Energía y Turismo)
Data límit de presentació	31 desembre 2016
Dotació econòmica total	200.000.000 €
Actuacions	<p>Tipus 1: Millora de l'eficiència energètica de l'envolupant tèrmica</p> <p>Tipus 2: Millora de l'eficiència energètica de les instal·lacions tèrmiques i d'il·luminació</p> <p>Tipus 3: Substitució d'energia convencional per biomassa en les instal·lacions tèrmiques</p> <p>Tipus 4: Substitució d'energia convencional per energia geotèrmica en les instal·lacions tèrmiques</p>
Tipus d'ajuda	Ajuda base i/o ajuda addicional sense contraprestació Préstec reemborsable
Titulars dels edificis	Públic o privat
Tipus d'edificis	Residencial o altres usos
Costos subvencionats	<p>Honoraris projecte</p> <p>Costos emissió certificat energètic</p> <p>Honoraris Direcció d'Obra</p> <p>Cost execució obres</p> <p>Exclòs: llicències, taxes, impostos o tributs</p>

Import prestació en el cas de rehabilitació energètica d'un edifici d'ús escolar de titularitat municipal

Actuacions tipus 1: Millora eficiència energètica de l'envolupant

% Ajuda Base	% addicional: Eficiència energètica			% addicional: actuació integrada
	Qualificació final A	Qualificació final B	Increment de 2 o més lletres	
30%	15%	10%	5%	20%

Actuacions tipus 2: Millora de l'eficiència energètica de les instal·lacions tèrmiques i d'il·luminació

% Ajuda Base	% addicional: Eficiència energètica			% addicional: actuació integrada
	Qualificació final A	Qualificació final B	Increment de 2 o més lletres	
20%	10%	5%	0%	0%

Actuacions tipus 3: Substitució de l'energia convencional per biomassa en les instal·lacions tèrmiques

% Ajuda Base	% addicional: Eficiència energètica			% addicional: actuació integrada
	Qualificació final A	Qualificació final B	Increment de 2 o més lletres	
25%	10%	5%	0%	10%

Actuacions tipus 4: Substitució d'energia convencional per energia geotèrmica en les instal·lacions tèrmiques

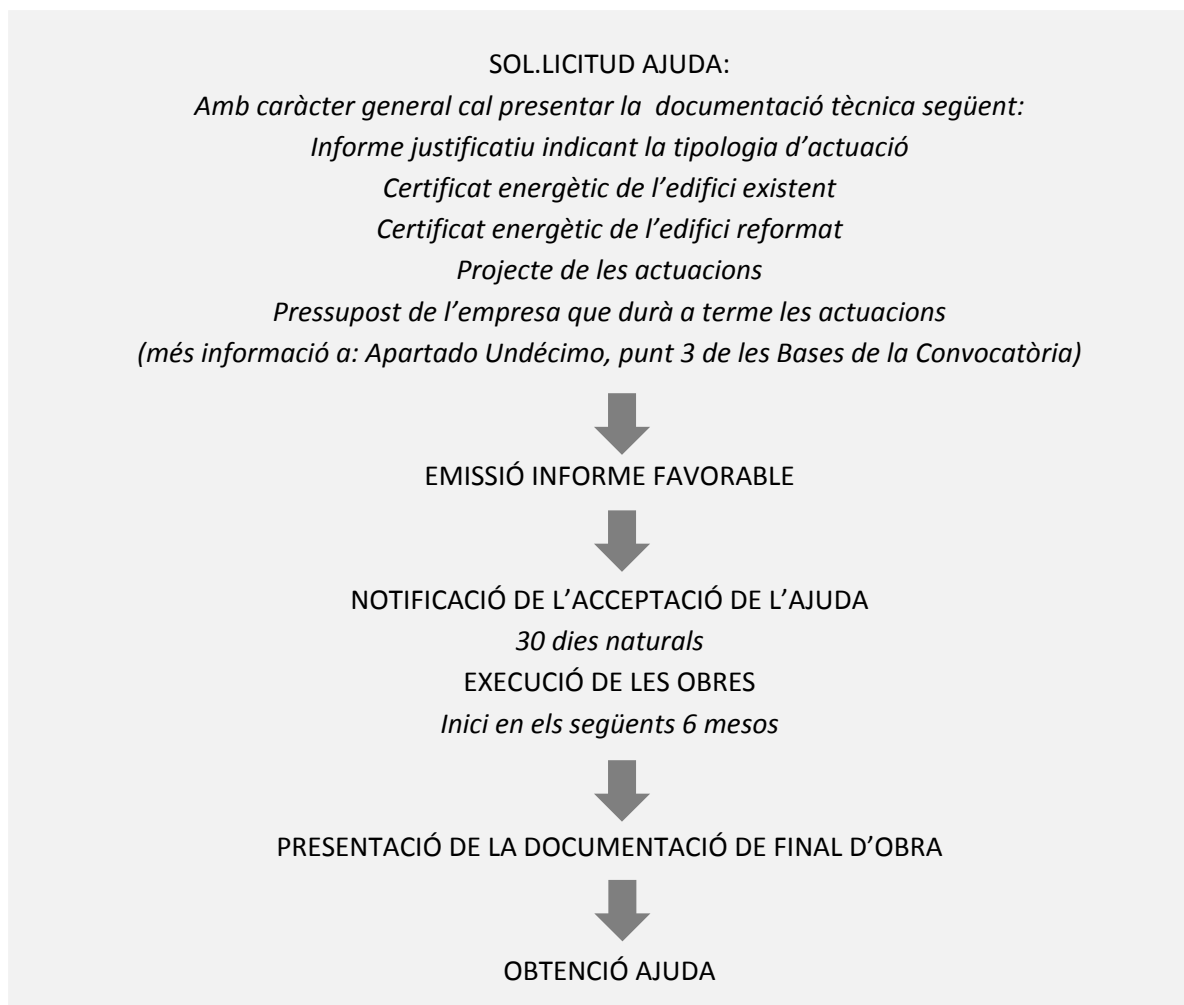
% Ajuda Base	% addicional: Eficiència energètica			% addicional: actuació integrada
	Qualificació final A	Qualificació final B	Increment de 2 o més lletres	
30%	10%	5%	0%	15%

Préstec reemborsable:

Condicions del préstec reemborsable per Administracions Locals

Tipus interès:	Euribor+0%
Termini amortització	12 anys

Esquema de tramitació



VI. Estudi per a la rehabilitació energètica amb criteris nZEB de tres edificis escolars: 3 casos d'estudi

Aquest estudi ha analitzat la rehabilitació de 3 CEIPS per aconseguir el compliment de l'estàndard Passivhaus.

Els centres estudiats son:

- CEIP El Garrofer a Viladecans
- CEIP Margalló a Castelldefels
- CEIP Cascavell a Sant Adrià del Besòs

El Departament d'Ensenyament gestiona 2.323 centres educatius, amb una superfície mitjana per centre de 3.128 m², que representen un total de més de 7 milions de m² de superfície interior aproximadament.

El consum energètic dels centres escolars de la província de Barcelona va ser estudiat dins dels Plans d'Acció per l'Energia Sostenible promogut per la Diputació de Barcelona. Dels resultats d'aquestes auditories (realitzades a partir de factures) se'n conclou el següent resultat:

Consum mitjà d'energia a les escoles de la província de Barcelona

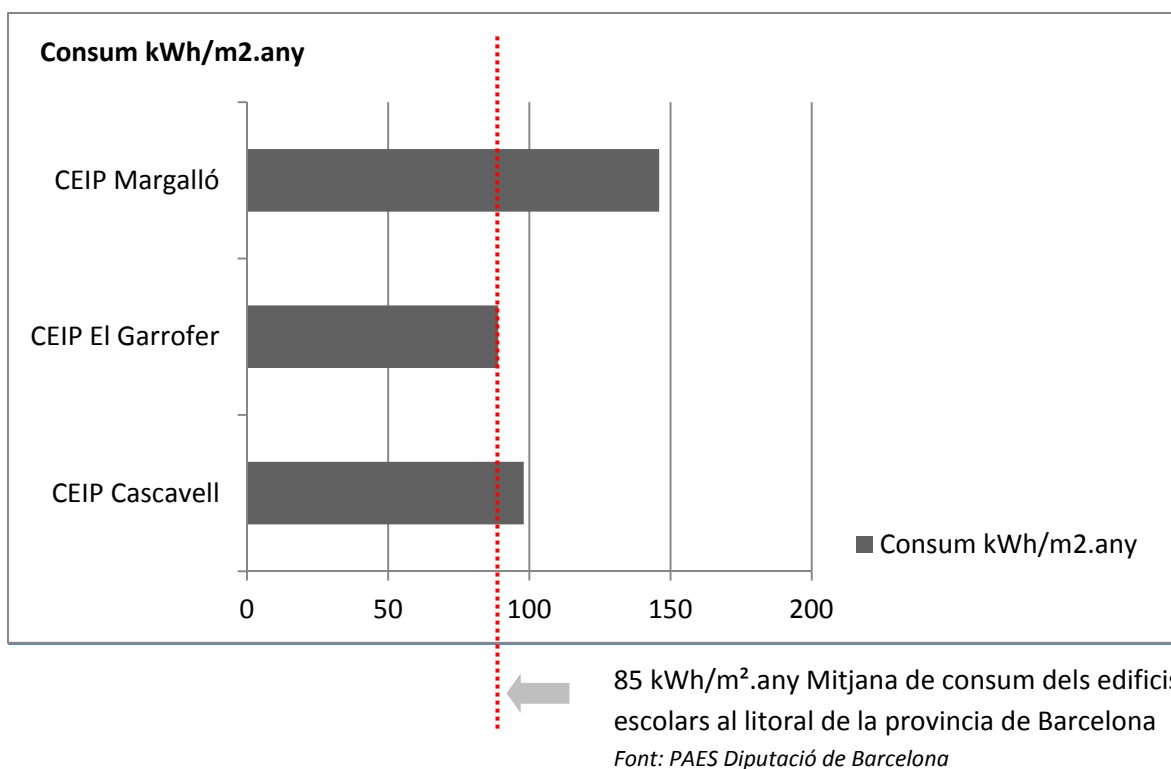
Zona climàtica	Graus dia de calefacció(*)	Nombre d'escoles	Consum d'energia final kWh/m ² ·any	Energia tèrmica	Font
Litoral (província de Barcelona)	1075	212	85	72%	Diputació de Barcelona
Central (província de Barcelona)	1645	86	99	74%	Diputació de Barcelona
Pirineu i Pre-Pirineu (província de Barcelona)	3070	25	122	87%	Diputació de Barcelona
Terrassa	818	31	68	63%	Departament d'Ensenyament (2011-2012)

Font: Camins per a transformar les escoles mediterrànies en NZEB (TFM, Clara Ferrer i Joan Bartomeu)

(*) Els "Graus dia de calefacció" és un indicador de la rigurositat de l'hivern en una localitat, relaciona la temperatura mitjana amb la temperatura de confort al llarg de l'hivern.

S'observa que les mitjanes tenen un rang força ampli (68-122 kWh/m²·any, per a 354 escoles) i que la contribució tèrmica està entre el 63 i el 87%.

Consum energètic dels centres estudiats



Aquest estudi proposa tres alternatives de rehabilitació energètica:

- Rehabilitació per complir l'estàndard Passivhaus adaptat al clima mediterrani
- Rehabilitació per complir l'estàndard Passivhaus certificable
- Rehabilitació per assolir la qualificació energètica B

En els tres casos, es compleixen les condicions per aconseguir l'ajuda màxima dins del Programa PAREER CRECE de l'IDAE.

Metodologia de càlcul

Els càlculs realitzats en aquest estudi s'han fet amb l'eina PHPP (PassivHaus ProjektierungsPaket). Aquesta eina està desenvolupada per l'Institut Passivhaus alemany, i proposa una metodologia comprovada d'anàlisi energètic per l'edificació. Es tracta d'una eina semi-dinàmica de simulació energètica. A partir de l'entrada de dades de l'edifici existent, el programa desenvolupa un edifici de les mateixes característiques i en simula el comportament energètic. Les dades s'entren a partir dels plànols de l'estat actual, les característiques constructives i materials de l'edifici. El programa té en compte l'orientació i ubicació de l'edifici i carrega un fitxer de dades climàtiques per cada zona. Igualment, també cal introduir el resultat del test d'hermeticitat (assaig Blower Door) per tal que el programa comptabilitzi la ventilació no controlada.

El coneixement precís de la secció constructiva és fonamental per obtenir un resultat acurat. Per dur a terme aquesta simulació s'han localitzat els projectes originals disponibles dels edificis als arxius del Departament d'Ensenyament i als arxius municipals corresponents.

El PHPP té una doble avantatge: per una banda, ser una eina de càlcul amb 20 anys d'ús i d'actualització continua, i per altre banda estar basat en la norma UNE-EN-ISO 13790, una norma que defineix la metodologia de càlcul dels consums energètics en els edificis. Darrerament, el PHPP ha estat actualitzat pels diferents climes de la zona geogràfica del Mediterrani, calibrant els algoritmes de càlcul amb monitoritzacions d'edificis reals. La metodologia de càlcul del PHPP interpreta la geometria de l'edifici mitjançant un full de càlcul. Per cada envolupant tèrmica, s'assigna la solució constructiva adequada.

Es calculen les pèrdues per transmissió i per ventilació, i es resten amb els guanys solars i interns. Es calculen els balanços energètics de manera mensual. Els resultats es donen en kilowatts hora per cada metre quadrat de superfície (en PHPP es denomina "Superfície de referència energètica", sent una metodologia definida pel propi Passivhaus Institut). Així no és possible comparar diferents anàlisis de manera lineal si s'han emprat eines que calculen a partir de la superfície útil.

**Estudi
de la millora
energètica
de l'escola
el Garrofer
a Viladecans**

INDEX

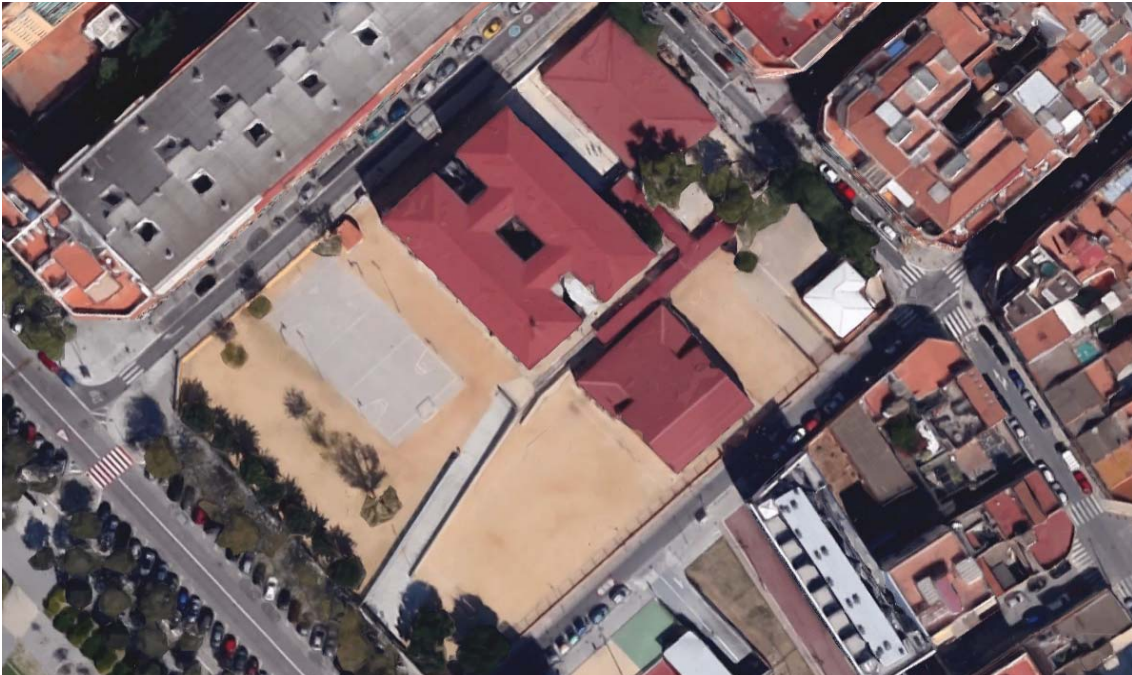
1.	ANÀLISI ENERGÈTIC	37
1.1.	DESCRIPCIÓ I CARACTERÍSTIQUES DE L'EDIFICI.....	37
1.2.	ANÀLISI ENERGÈTIC	41
1.3.	BALANÇ ENERGÈTIC: DEMANDA I CONSUM ENERGÈTIC DE L'EDIFICI EN L'ESTAT ACTUAL	48
2.	PROPOSTA DE REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER COMPLIR L'ESTANDARD PASSIVHAUS ADAPTAT AL CLIMA MEDITERRANI	50
2.1.	MESURES D'ACTUACIÓ PER LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTADA AL CLIMA MEDITERRANI.....	50
2.2.	RESULTATS DE L'ESTAT ACTUAL.....	54
2.3.	ANÀLISI DE LES PROPOSTES PER A LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT A CLIMA MEDITERRANI.....	55
2.4.	RESULTATS I CONCLUSIONS	63
2.5.	COST ECONÒMIC.....	64
2.6.	ANÀLISI FINANCER DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT A CLIMA MEDITERRANI.....	66
3.	PROPOSTA DE REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER COMPLIR L'ESTANDARD PASSIVHAUS CERTIFICABLE	69
3.1.	ANÀLISI DE LES PROPOSTES PER A LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE ...	69
3.2.	RESULTATS I CONCLUSIONS	70
3.3.	COST ECONÒMIC DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE	71
3.4.	ANÀLISI FINANCER DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE	71
4.	PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B	74
4.1.	MESURES D'ACTUACIÓ PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B.....	75
4.2.	COST ECONÒMIC.....	76
4.3.	ANÀLISI FINANCER DE LA REHABILITACIÓ PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B	78
5.	ANÀLISI COMPARATIU DELS RESULTATS OBTINGUTS I CONCLUSIONS	80

1. ANÀLISI ENERGÈTIC

1.1. DESCRIPCIÓ I CARACTERÍSTIQUES DE L'EDIFICI

L'edifici es troba situat al carrer Dos de maig núm.39 de Viladecans. L'escola consta de quatre edificis: l'edifici de primària, l'escola bressol, el gimnàs i l'edifici de l'AMPA.

Aquest treball estudia l'edifici principal de l'escola: l'edifici d'educació primària.



Vista aèria del CEIP El Garrofera a Viladecans

Característiques generals (edifici educació primària):

Any de construcció	1974
Normativa vigent d'estalvi energètic	-
Superfície construïda	3.370,4 m ²
Superfície útil	2.836 m ²
Alçades	PB+2
Orientació	Sud-oest/Nord-est

Dades de consum d'energia final:

Energia	Mitjana de consum kWh.m ² /any 2012 a 2014
Electricitat	17,7
Gas	62,5
Total	80,2

Consum respecte altres edificis escolars:

Segons l'estudi realitzat per Montserrat Bosch del departament de Construccions arquitectòniques de la EPSEB de la UPC en el marc del treball " Proposta metodològica per a la rehabilitació energètica d'edificis d'ús docent en la ciutat mediterrània. Cas a estudi, ciutat de Barcelona" i citant els resultats de les auditories realitzades per la Diputació de Barcelona dins dels PAES.

	Mitjana de consum kWh/m ² ·any
Mitjana de consum del CEIP Garrofer	80,2
Mitjana de consum de 212 CEIPs al litoral de la província de Barcelona	85



Façana sud-oest de l'edifici



Pati interior de l'edifici



Façana de l'accés



Vestíbul d'entrada en planta baixa



Aula en façana nord-oest



Espai de circulació en planta segona



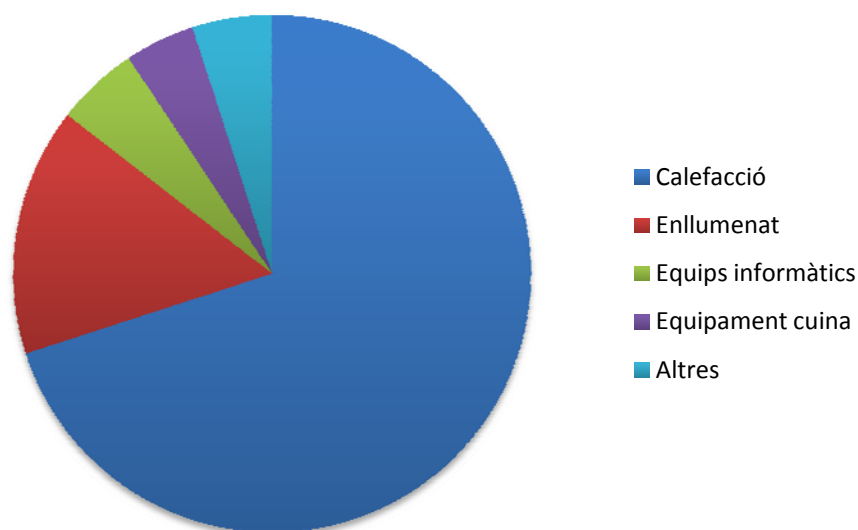
Aula en façana sud-oest

L'escola Garrofer forma part d'un programa d'estalvi energètic del tipus "50/50" amb l'ajuntament de Viladecans. En els últims anys s'aprecia una tendència a la baixa en el consum energètic amb una reducció del 15% del consum d'electricitat i d'un 8% del consum de gas. Igualment, també s'han implantat algunes mesures d'estalvi energètic com la instal·lació de termòstats a les aules orientades a Sud-oest i la instal·lació de balasts electrònics.

S'han realitzat dues auditories energètiques de l'edifici de l'escola:

- Data març 2011, autor NIP SA
- Data 2013, autor EGM

Aquest és el repartiment de la despesa energètica segons l'auditoria realitzada per EGM:



Percepció de confort per part dels usuaris

S'ha realitzat una enquesta de confort als professors del centre. L'enquesta s'inclou en l'Annex IV. S'han recollit cinc formularis amb les dades de percepció i hàbits d'ús de l'edifici.

Es resumeix el contingut en els següents resultats:

Confort a l'hivern	SI: 40%.....NO: 60%
Confort a l'estiu	SI: 20%.....NO: 80%

1.2. ANÀLISI ENERGÈTIC

1.2.a. Estat actual de l'envolupant

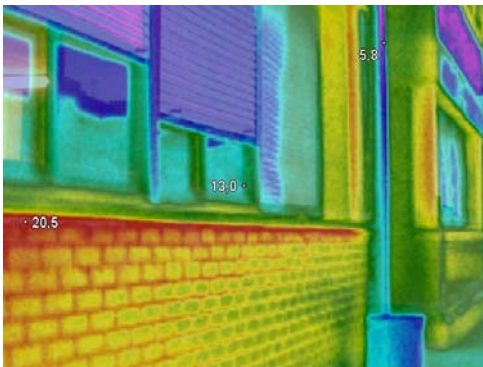
La façana de l'edifici és una façana de doble fulla amb fulla exterior de fàbrica d'obra vista. La fulla exterior és una fulla de maó tipus *gero* de 14 cm i la fulla interior és un envà prefabricat de 4 cm de gruix amb acabat interior de guix. Entre les dues fulles hi ha una cambra d'aire no ventilada amb un gruix de 10 cm.

L'estructura és de formigó i apareix en la composició de façana, les jàsseres, els pilars i el cantell del forjat formen part de la composició de la façana.

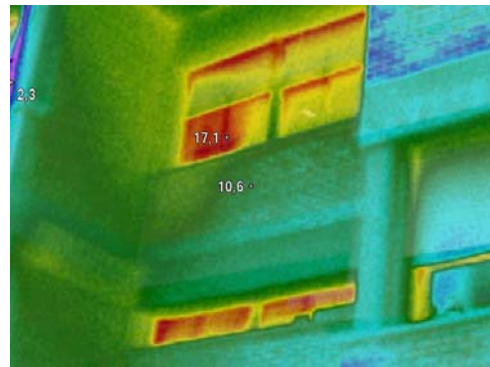
La fusteria de les finestres és de perfils d'acer amb vidre simple, i la coberta és de planxa metàl·lica grecada sobre el forjat de sostre de l'última planta.

Aquesta tipologia constructiva i compositiva pròpia dels anys 70 comporta problemes d'aïllament tèrmic ja que l'estructura actua com a pont tèrmic. Igualment la cambra d'aire no conté cap aïllament tèrmic. La fusteria d'acer pateix molts problemes de deformacions per dilatacions i causa problemes d'estanqueïtat a l'aire i a l'aigua.

Les imatges de termografia incloses en l'auditoria realitzada per l'empresa EGM són il·lustratives d'aquest problema:



Imatges preses el 19-01-2011 a les 18h30



- Assaig "Blower door":

Per tal de conèixer l'estanqueïtat de l'edifici, es realitza un assaig "Blower door". Aquest assaig sotmet l'espai analitzat a una pressió constant de 50Pa i en monitoritza les pèrdues d'aire. Es registren les infiltracions d'aire i se'n dedueix la taxa de renovació d'aire, és a dir, la ventilació no controlada de l'edifici.

Es va realitzar un primer assaig el 7 de setembre a la sala d'audiovisuals situada en planta baixa. Per verificar el resultat es va fer un segon assaig a la biblioteca el 9 de novembre.

Imatges de l'assaig:

Instal·lació de l'equip



Detecció amb gas tintat



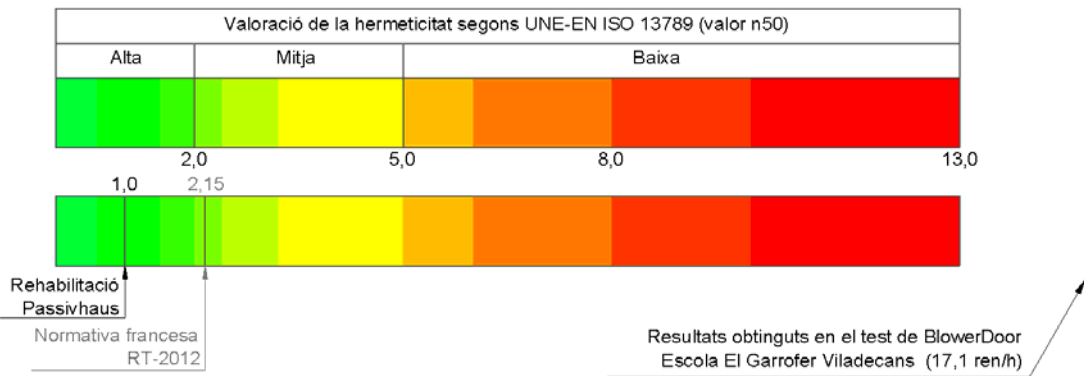
Detecció amb gas tintat



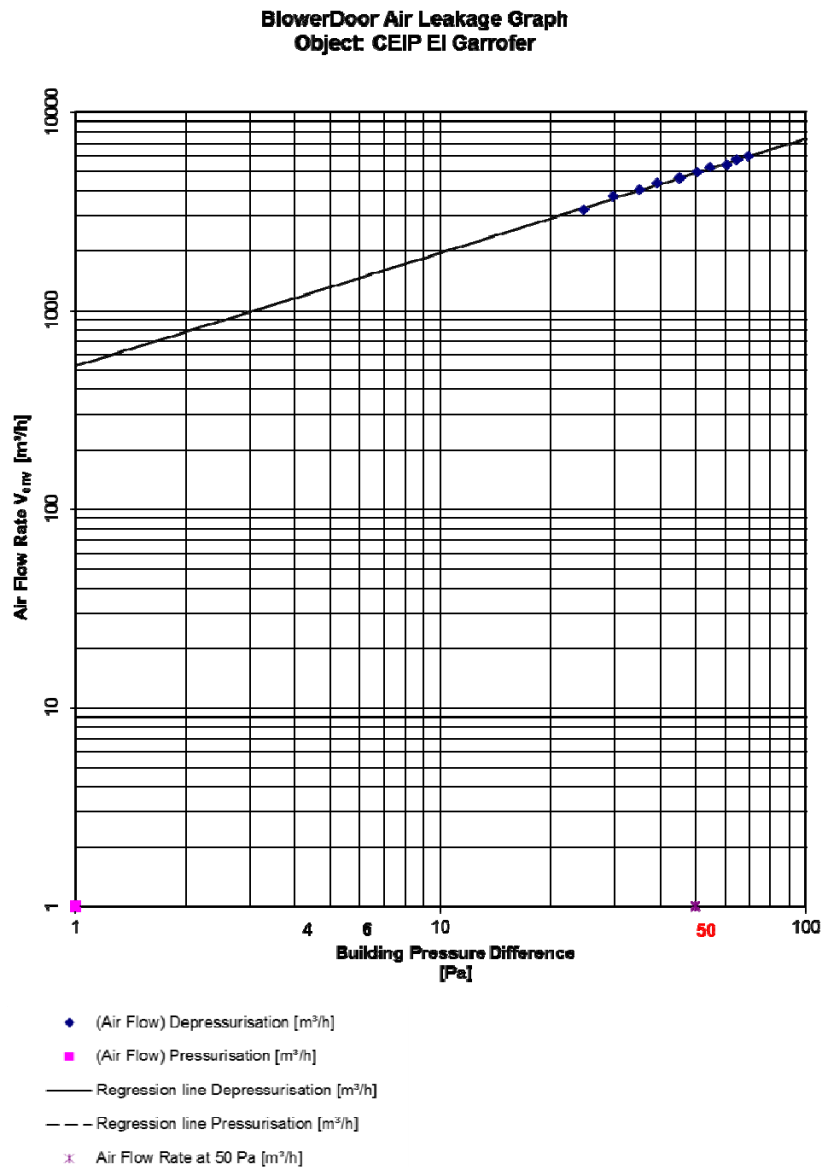
Anemòmetre per detectar infiltracions



El resultat del test Blower Door determina que $n_{50}=17$ renovacions/h



Aquest resultat posa de manifest que l'hermeticitat de l'edifici és molt baixa i que les infiltracions no controlades són molt altes.



Gràfic de registre de les pèrdues de pressió al llarg de l'assaig

1.2.b. Estat actual de les instal·lacions

- **Calefacció:**

El centre disposa d'una instal·lació de calefacció centralitzada, però no disposa de sistema de climatització ni de renovació d'aire mitjançant ventilació forçada.

Les tres calderes a gas, amb una potencia total de 309 kW donen servei a tot el centre i disposen d'un sistema de regulació en funció de la temperatura exterior.

Els resultats dels anàlisis de combustió realitzats a les auditories energètiques mostren valors de rendiment correctes.

L'horari de funcionament de la calefacció és de dilluns a divendres de 4:00h a 19:00h de novembre a març. No distingeix festius ni caps de setmana. El control es realitza mitjançant rellotge horari i la regulació és manual en funció del confort de l'usuari. Només es disposa d'un sistema de regulació individualitzat de les aules orientades a sud-oest que permet tancar la calefacció un cop assolida la temperatura de confort. Tot i així, les condicions d'asseïllament

són tan diferents respecte a la façana nord-est que els usuaris segueixen obrint puntualment les finestres a l'hivern per excés de calor en aquestes aules.

- **Enllumenat:**

La tipologia que predomina a tot el centre és el tub fluorescent de 36W i 58W amb reactància electrònica. Fa aproximadament 3 anys es va substituir tota la instal·lació elèctrica del centre incorporant reactància electrònica a tots els punts de llum amb fluorescència.

Tanmateix es van sectoritzar les línies d'encesa tant a les aules com a les zones comunes. A les aules hi ha 3 línies, una pels dos fluorescents de 58W de la pissarra i dos pels fluorescents de 36W del sostre. A les zones comunes també hi ha 3 línies d'encesa i romanen tancades moltes hores al dia.

No hi ha cap sistema de control d'encesa i apagada de l'enllumenat, és manual a criteri de l'usuari. Tampoc es disposa de cap sistema automàtic d'aprofitament de la llum natural a les aules ni als passadissos, ja que hi ha un gran pati interior que aporta llum a l'interior de l'edifici.

Sí disposen de detectors de presència als lavabos, tant als d'alumnes com als de professors a excepció dels lavabos del gimnàs i vestuaris. L'enllumenat exterior roman encès durant tota la nit.

El programa d'estalvi energètic ha involucrat als alumnes del centre en el control de l'enllumenat de les aules. Als interruptors hi ha uns adhesius de colors que indiquen l'enllumenat gradual en funció de la llum natural i alguns alumnes són el responsable del control de l'encesa.

1.2.c. Qualitat de l'aire interior

Es realitza la medició de la qualitat de l'aire amb un equip Wöhler (Mod. CDL 210). Aquest equip registra la temperatura, la humitat i la concentració de CO₂. La lectura de la qualitat de l'aire interior s'ha realitzat simultàniament a les aules de 5è A (orientada a nord-est) i 4rt A orientada a sud-oest de la segona planta de l'edifici.

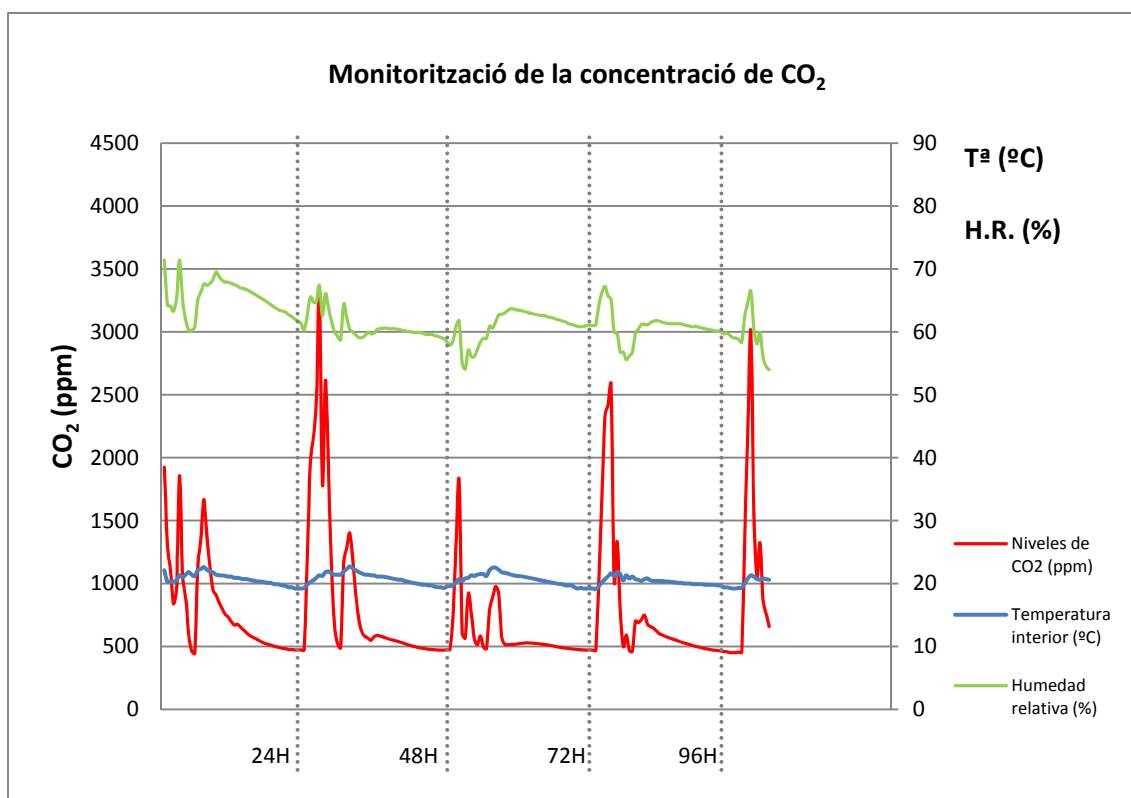
Es va registrar la qualitat de l'aire dels dies 10, 11 i 12 de novembre de 2015. Cal tenir en compte que aquests dies van ser particularment calorosos atesa l'època de l'any i que les aules van estar més ventilades que si la temperatura fos l'habitual per aquestes dades.



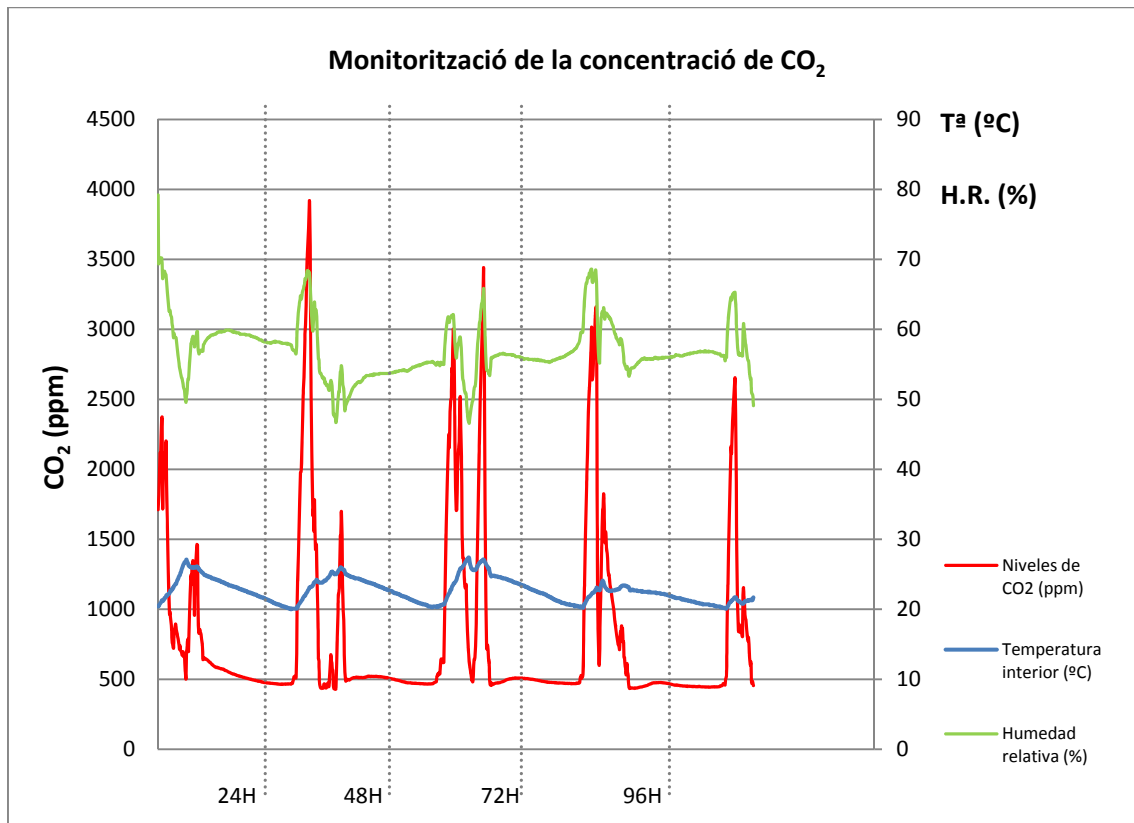
Equip instal·lat a aula sud-oest



Equip instal·lat a aula nord-est



Lectura aula nord-est



Lectura aula sud-oest

Les gràfiques mostren com els nivells de CO₂ arriben a pics que superen les 3000 ppm. L'alta concentració de CO₂ reflexa una mala qualitat de l'aire a las aules que pot perjudicar el rendiment escolar dels alumnes. La major part de normatives no permeten que la concentració de CO₂ superi les 1500 ppm (veure apartat IV). Cal tenir en compte que l'anàlisi s'ha fet en uns dies particularment càlids i que els espais han estat ventilats, per tant es pot deduir que en circumstàncies climàtiques normals, i especialment a l'hivern, la concentració de CO₂ seria superior.

S'observa que la concentració de CO₂ augmenta al llarg del matí, baixa al migdia gràcies a la ventilació de les aules i torna a repuntar a la tarda. En ple hivern, quan les finestres no s'obren, és previsible que la concentració sigui més elevada.

1.3. BALANÇ ENERGÈTIC: DEMANDA I CONSUM ENERGÈTIC DE L'EDIFICI EN L'ESTAT ACTUAL

Per analitzar les condicions de confort de l'edifici en l'estat actual s'ha realitzat una primera simulació amb l'eina PHPP 8.5 tenint en compte els guanys interns de calor actuals i les condicions de confort que estableix l'estàndard Passivhaus.

- Temperatura de confort a l'hivern: 20°C
- Temperatura màxima de confort a l'estiu: 25°C

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
	Superficie de referencia energética	2255,5 m ²	Requerimientos	¿Cumplido?*
Calefacción	Demanda de calefacción	117,8 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	no
	Carga de calefacción	100,8 W/m ²	10 W/m ²	no
Refrigeración	Demanda total refrigeración	kWh/(m ² a)	-	-
	Carga de refrigeración	W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	27,9 %	-	-
Energía primaria <i>sin ref. activa</i>	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	202,2 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	no
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	17,1 1/h	0,6 1/h	no

* Campo vacío: faltan datos; -: sin requerimiento

Resultats obtinguts de la simulació amb PHPP 8.5 de l'edifici en l'estat actual

Nota: Un valor clau en els càlculs és la superfície de referència energètica. L'eina PHPP discrimina les superfícies en funció de si són o no zones de pas. Aquest balanç comptabilitza la Superfície de Referència Energètica, SRE (aquí 2.255,5 m²). Aquesta superfície és diferent a la superfície útil

La taula següent mostra els resultats de la demanda de calefacció i el consum de gas de l'edifici simulat amb l'eina PHPP i el consum real de gas de l'edifici calculat amb la mitjana de consum dels últims 4 anys.

El consum real de gas de l'edifici inclou el consum per la calefacció i el consum de gas per cuinar. D'aquesta manera, en la simulació en PHPP, també s'ha tingut en compte el consum de gas de la cuina.

PHPP	Demanda calefacció en condicions de confort Passivhaus	117,8 kWh/m ² .a
	Consum de gas per satisfer la demanda calculada en condicions de confort Passivhaus (incloucuina)	123,8 kWh/m².a
Real	Consum de gas (inclou cuina)	102,4 kWh/m².a

Taula comparativa entre el consum real de l'edifici i el consum de l'edifici en condicions de confort

Amb la simulació energètica en el seu estat actual, la demanda teòrica de calefacció és de 117,8 kWh/m²any i el consum teòric de gas és de 123,8 kWh/m²any. El consum real de gas dels últims anys és de 102,4 kWh/m²any. La diferència entre el consum de gas real actual de l'edifici i el consum teòric necessari per satisfer la demanada de calefacció en condicions de confort és del 21%.

Aquesta diferència mostra el desconfort existent a l'edifici durant els mesos d'hivern en el període de calefacció.

2. PROPOSTA DE REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER COMPLIR L'ESTÀNDARD PASSIVHAUS ADAPTAT AL CLIMA MEDITERRANI

Els requeriments específics per al compliment amb l'estàndard Passivhaus certificable en un procés de rehabilitació són:

Criteri de certificació	Requeriment	
Calefacció	Demanda de calefacció <i>o alternativament</i>	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
	Carrega de calefacció	$\leq 10 \text{ W/m}^2$
Refrigeració	Freqüència de sobreescalfament (25°C)	$\leq 10 \%$
Energia primària	<i>(calefacció, refrigeració, ACS, ventilació, electricitat aux., il·luminació, aparells elèctrics)</i>	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Hermeticitat	Resultat de l'assaig a pressió n_{50}	1,0 renovacions/h

L'estàndard Passivhaus és molt exigent a l'estiu pel nostre clima. Per aquest motiu proposem un estàndard Passivhaus adaptat al clima mediterrani, amb una temperatura de confort de 26°C a l'estiu. Aquesta hipòtesi s'utilitza per exemple, pel certificador italià de Passivhaus: TBZ/PHI-ITA.

Aquest és l'objectiu proposat a l'estiu:

Refrigeració	Freqüència de sobreescalfament (26°C)	$\leq 10 \%$
---------------------	---------------------------------------	--------------

Aquesta premissa s'ha de complir durant el període de funcionament de l'escola (de l'1 de setembre al 15 de juny).

2.1. MESURES D'ACTUACIÓ PER LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTADA AL CLIMA MEDITERRANI

Per aconseguir complir amb l'estàndard Passivhaus adaptat proposem una rehabilitació mitjançant les següents actuacions:

a. Optimització del balanç energètic de les finestres

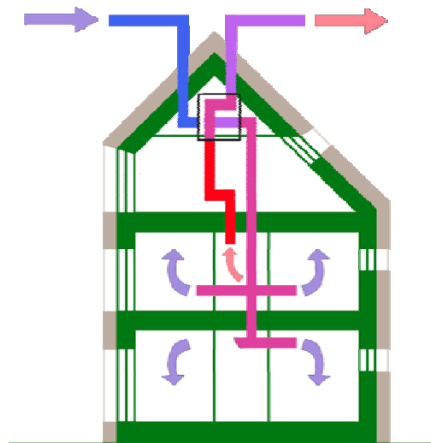
L'estàndard Passivhaus estableix uns criteris de transmissió tèrmica màxims de les finestres ($U_{W,inst}$) per garantir els criteris de confort i higiene segons la zona climàtica. Per tant, l'optimització de les finestres adaptant-se als criteris Passivhaus per a clima càlid mediterrani de Barcelona és la primera proposta de millora de l'edifici. A més, s'estudien diferents possibilitats de col·locació de la finestra per tal de reduir al màxim el pont tèrmic que es produeix en la trobada entre fusteria i façana.



Fusteria d' alumini tipus Passivhaus amb separadors de plàstic tipus TGI

b. Instal·lació de ventilació controlada de doble flux amb recuperador de calor i millora de l'hermeticitat al pas de l'aire

Per minimitzar les pèrdues energètiques a través de la ventilació i millorar la qualitat de l'aire interior es proposa un sistema de ventilació de doble flux amb recuperador de calor d'alta eficiència.



Esquema de funcionament del sistema de ventilació amb recuperador de calor

Els requeriments de ventilació d'aire de l'estàndard Passivhaus són d'entre 4,15 i 5,5 l/s per persona. La normativa vigent a l'estat espanyol obliga una ventilació de 12,5 l/s per persona (Reglament RITE).

Tanmateix, el Departament d'Indústria de la Generalitat accepta un cabal de ventilació per escoles de 8,4 l/s per persona (veure document de treball de la Secretaria d'Indústria sobre sistemes de ventilació en centres escolars a l'annex corresponent).

S'ha dimensionat la xarxa de ventilació per complir amb els cabals proposats per la Secretaria d'Indústria de la Generalitat (8,4l/s-persona) però per l'anàlisi energètic amb l'eina PHPP, s'ha establert que el sistema de ventilació funcionarà a un cabal mínim de ventilació de 4,15 l/s-persona aplicant el criteri Passivhaus per escoles.

En edificis passius es recomana un règim de funcionament amb cabals de ventilació més baixos que els definits per la norma espanyola per garantir la bona qualitat de l'aire i evitar pèrdues

energètiques. Cal recordar que un cabal de ventilació reduït no només minimitza les despeses energètiques sinó que també evita molèsties de corrents d'aire i de soroll. Per això, Passivhaus defineix la tipologia de l'aire interior dels edificis escolars amb a IDA 3 (RITE opta per IDA 2). D'altra banda, Passivhaus preveu el funcionament sostingut del sistema de ventilació durant les hores de funcionament del centre mentre que els centres a Catalunya amb instal·lacions de ventilació amb cabals superiors en fan un ús intermitent.

L'hermeticitat al pas de l'aire és un aspecte clau per el correcte funcionament de la ventilació controlada i per l'optimització del balanç energètic en un edifici tipus Passivhaus. Per la certificació en rehabilitació cal assolir un valor de $n_{50} = 1,0$ renovacions/h en l'assaig del test Blower Door. Es proposen una sèrie de mesures per minimitzar les infiltracions de l'edifici garantint la continuïtat de la línia d'hermeticitat en totes les trobades de l'envolupant tèrmica.

Es garantirà l'hermeticitat al pas de l'aire a les juntes de instal·lació de les finestres amb la façana mitjançant la col·locació de cintes especials de segellat.



Col·locació de bandes de segellat del perímetre de la fusteria

En les portes exteriors es prestarà especial atenció a col·locar a la part inferior un perfil metàl·lic fixe continu fixat al paviment que garanteix d'una banda l'hermeticitat a l'aire i d'altra banda assegura l'accessibilitat.



Perfil estanqueïtat a l'aire en paviment (font: Variotec)

Totes les perforacions de la línia d'hermeticitat de l'envolupant, en especial aquelles derivades de passos de conductes de instal·lacions, es segellaran amb productes específics seguint les instruccions del fabricant.



Collaret de ubbink/Siber



Collaret de Eisedicht



Exemple de mala col·locació de conductes



Exemple de mala col·locació de conductes



Exemple d'accessoris per conductes que travessen la línia d'hermeticitat

c. Millora de l'aïllament de l'envolupant tèrmica i optimització dels ponts tèrmics

Un cop reduïda la demanda energètica de l'edifici amb les mesures exposades anteriorment, s'optimitza l'aïllament de la part massissa de l'envolupant per arribar als valors establerts per l'estàndard Passivhaus de demanda de calefacció. Es planteja la col·locació d'un SATE (Sistema d'Aïllament Tèrmic per la cara Exterior) que garanteix l'eliminació dels ponts tèrmics constructius (per exemple, trobada entre façana i forjats).

d. Optimització dels elements d'ombra i ventilació addicional nocturna

Per minimitzar la freqüència de sobreescalfament de l'edifici per sobre dels 26°C es proposen les següents solucions passives de millora:

- Optimització dels elements d'ombrejament temporal
- Plantejament d'un escenari factible de ventilació addicional nocturna per refrigerar l'edifici de forma passiva durant la nit a través de les finestres

2.2. RESULTATS DE L'ESTAT ACTUAL

Per analitzar l'impacte de cadascuna de les propostes de millora de l'optimització Passivhaus en l'edifici, es simula l'edifici amb els criteris oficials establerts per l'estàndard Passivhaus en escoles:

- Guanys interns de calor a l'hivern: 2,8 W/m² (estàndard Passivhaus)
- Guanys interns de calor a l'estiu: 2,8 W/m² (estàndard Passivhaus)
- Temperatura de confort a l'hivern: 20°C (estàndard Passivhaus)
- Temperatura màxima de confort al llarg de l'estiu: 26°C (criteri modificat)

Pel càlcul del consum elèctric de l'edifici s'han considerats tots els equips electrònics (ordinadors, monitors, projectors, pantalles digitals, ascensors, etc.) en la simulació amb l'eina PHPP 8.5 descrits a l'Annex II.

Els resultats obtinguts en aquesta simulació difereixen dels resultats presentats a l'apartat 1.3 perquè els guanys interns de calor considerats són diferents. En aquest apartat es consideren els guanys de calor establerts com a estàndard en el procés de certificació Passivhaus.

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
	Superficie de referencia energética	2255,5 m ²	Requerimientos	¿Cumplido?*
Calefacción	Demanda de calefacción	125,5 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	no
	Carga de calefacción	100,8 W/m ²	10 W/m ²	no
Refrigeración	Demanda total refrigeración	kWh/(m ² a)	-	-
	Carga de refrigeración	W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 26 °C) para escuelas en ámbito Mediterráneo	11,2 %	-	-
Energía primaria	Calof., ref., doshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	213,0 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	no
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	17,1 1/h	0,6 1/h	no

* Campo vacío: faltan datos; "-": sin requerimiento

Resultats obtinguts de la simulació amb PHPP 8.5 de l'edifici en estat actual amb els criteris esmentats

2.3. ANÀLISI DE LES PROPOSTES PER A LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT AL CLIMA MEDITERRANI

S'analitzen en aquest apartat una sèrie de millores passives, ordenades per propostes vinculades a la reducció de la demanda de calefacció i d'altres de millora del confort a l'estiu. Es parteix de la simulació de l'edifici en l'estat actual amb l'eina PHPP (veure Annex II). Un cop simulat l'edifici en l'estat actual, es simula introduint cadascuna de les propostes de millora de manera correlativa. Els resultats obtinguts són acumulatius.

PROPOSTA DE MILLORES PER L'OPTIMIZACIÓ DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓ:

a. Optimització del balanç energètic de les finestres

Es proposa la substitució de la fusteria actual de l'edifici. La fusteria de portes i finestres serà substituïda per fusteria tipus Passivhaus per climes càlids. Aquesta perfilaria incorporarà separadors de plàstic del tipus TGI (veure imatge) per garantir l'estanqueïtat de l'entrega entre la façana i la fusteria.

SUBSTITUCIÓ FUSTERIA DE FAÇANA

MILLORES	ESTAT INICIAL
Finestres tipus Passivhaus Uf* = 1,3W/m ² K; Ug* = 1,0W/m ² K; g* = 0,38	Finestres d'acer existents Uf* = 5,7W/m ² K; Ug* = 5,8W/m ² K; g* = 0,60
Separadors de plàstic (tipus TGI)	Vidre simple
Millora del pont tèrmic de instal·lació de les finestres (sobre l'aïllament)	Instal·lació de les finestres sobre el tancament ceràmic

*Uf: Transmissió tèrmica del marc (W/m²K)

*Ug: Transmissió tèrmica del vidre (W/m²K)

*g: Factor solar del vidre (%)

La següent taula mostra el balanç energètic de les finestres (relació entre pèrdues i guanys per radiació solar) a l'estat actual i a l'estat rehabilitat segons les millores plantejades. Les quatre files corresponen a les obertures col·locades en diferents orientacions segons aquest ordre (de dalt a baix): Nord, Est, Oest, Sud i pla horitzontal. El resultat final de cada taula es refereix al total de cada paràmetre.

ESTAT ACTUAL		ESTAT REHABILITAT	
Pèrdues per transmissió	Guany de calor per radiació solar	Pèrdues per transmissió	Guany de calor per radiació solar
kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a
8022	277	1592	182
25587	2129	4869	1431
9271	967	1956	664
30442	8043	5837	5380
0	0	0	0
73322	11415	14254	7657

Millora del balanç energètic de les finestres durant l'hivern calculat amb l'eina PHPP 8.5

Per calcular la influència en la demanda de calefacció de l'optimització de les finestres s'ha simulat l'edifici amb l'eina PHPP modificant els paràmetres energètics de les finestres (Uf, Ug, g, pont tèrmic en el perímetre del vidre i pont tèrmic de la instal·lació de la fusteria) segons les millores proposades (veure Annex II, document: Escola El Garrofer Viladecans, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb l'eina PHPP).

El resultat de la demanda de calefacció a la simulació de l'edifici amb les noves finestres es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en el seu estat actual:

L'optimització del balanç energètic de les finestres suposa un estalvi en la demanda de calefacció de 41,9 kWh/m²a

b. Ventilació mecànica de flux doble i millora de l'hermeticitat al pas de l'aire

S'incorpora un sistema de ventilació controlada de doble flux amb recuperació de calor per tal de reduir les pèrdues energètiques a través de la ventilació, i per millorar el confort dels alumnes i la qualitat de l'aire a les aules. Es preveu que la xarxa de ventilació funcioni 8 hores diàries a l'hivern en mode de doble flux i 8 h diàries a l'estiu només en mode d'extracció. És molt important apagar el sistema de ventilació controlada durant els temps de desocupació de l'edifici per tal d'estalviar en els consums elèctrics dels ventiladors. El funcionament del sistema de ventilació serà regulat per un sistema de gestió automatitzat.

Aquest sistema es combina amb una reducció de les infiltracions millorant l'hermeticitat de l'edifici per aconseguir així el valor exigint per l'estàndard ($n_{50}=1,0$ renovacions/h). La reducció de les pèrdues energètiques s'aconsegueix mitjançant bandes especials per a l'hermeticitat en la instal·lació de les finestres i collarets de segellat per als conductes de instal·lacions que travessen l'envolupant tèrmica. A més, s'ha de definir la capa de guix interior, que ha de ser continua, com a línia d'hermeticitat a l'aire. També s'han de corregir possibles desperfectes en la capa de guix.

Per calcular la influència en la demanda de calefacció de l'edifici de la instal·lació del sistema de ventilació, s'ha simulat l'edifici introduint les dades del sistema de ventilació amb una

eficiència del recuperador de calor del 75% (eficiència mínima recomanada a l'estàndard Passivhaus) i modificant el valor de les infiltracions n_{50} des de 17,1 renovacions/h (obtingut en el test Blower Door en l'estat actual) fins a 1,0 renovacions/h (màxim establert en l'estàndard Passivhaus per rehabilitació d'edificis). Veure Annex II, document: Escola El Garrofer Viladecans, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb l'eina PHPP.

El resultat de la demanda de calefacció en la simulació de l'edifici amb el sistema de ventilació es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en l'estat anterior, és a dir, l'edifici un cop optimitzades les finestres:

La instal·lació d'un sistema de ventilació controlada amb recuperació de calor i la millora de l'hermeticitat suposen un estalvi en la demanda de calefacció de 41,4 kWh/m²any respecte a l'edifici actual combinat amb les mesures anteriors.

c. Optimització de l'aïllament de l'envolupant tèrmica

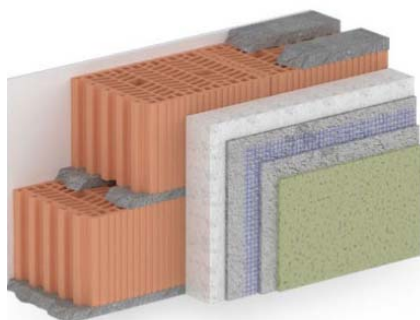
- Aïllament per l'exterior en façana i en coberta

Es proposa la instal·lació d'un sistema SATE. Es tracta d'un revestiment per l'exterior de l'edifici amb unes planxes d'aïllament tipus EPS de 8 cm de gruix, aconseguint una transmitància tèrmica de la façana de 0,344 W/m²K.

Aquest revestiment cobrirà les parts de l'estructura que en aquest moment apareixen en façana i n'eliminarà els ponts tèrmics. Igualment, quedaran protegits la resta de punts febles: brancals, dintells, ampits de les finestres i caixes de persianes.

L'acabat exterior de la planxa d'aïllament es fa amb diferents capes de morter que garanteixen l'adherència i flexibilitat del revestiment en la seva vida útil. L'aspecte és el d'un morter tipus monocapa. En aquest cas el morter d'acabat haurà de ser de color blanc o blanc trencat per tal d'evitar el sobreescalfament a l'estiu.

Per l'optimització de l'aïllament en coberta es proposa la instal·lació d'un aïllament tipus EPS de 12cm de gruix en una solució de coberta ventilada. Un major gruix de l'aïllament en coberta redueix les pèrdues energètiques per transmissió a l'hivern i els guanys solars per radiació a l'estiu. La transmitància tèrmica aconseguida a la coberta és de 0,264 W/m²K.

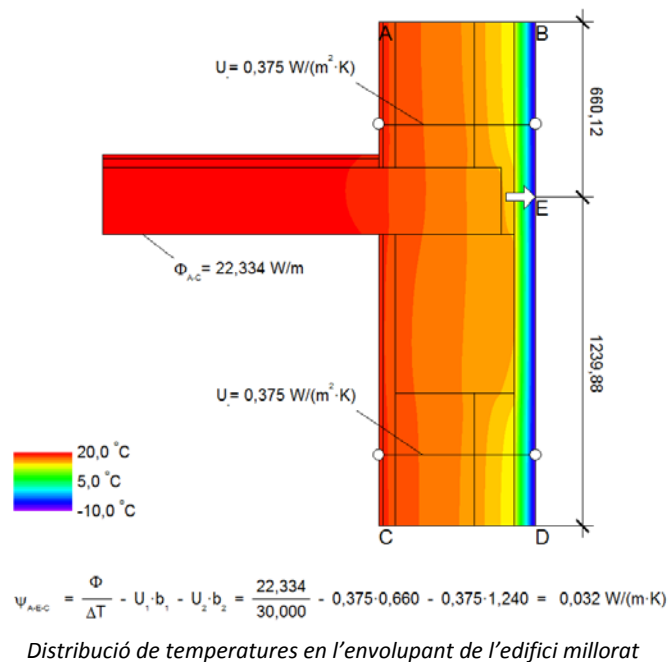
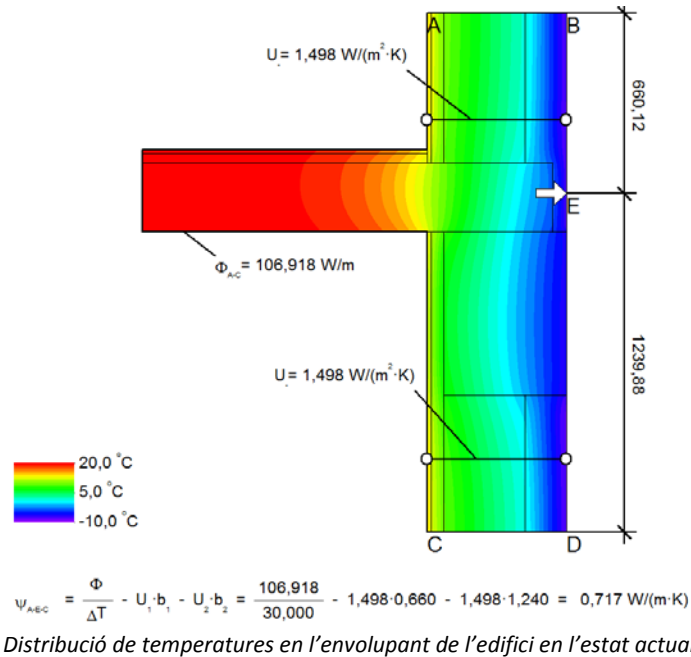


Imatge instal·lació sistema SATE

Analizant a nivell energètic el comportament de l'edifici a l'estiu, es proposa no actuar a nivell de l'aïllament de la solera per no perjudicar la dissipació de calor cap al terreny.

- Optimització dels ponts tèrmics constructius

Es realitza un càlcul amb l'eina Fliso energy v.7 per estudiar el pont tèrmic de la trobada del forjat amb la façana i la trobada entre fusteria i façana. En l'Annex II s'inclou el detall dels resultats.



La millora de l'aïllament amb la col·locació d'un sistema SATE per l'exterior redueix el pont tèrmic que es produeix en la trobada entre la façana i els forjats entremitjos de 0,717 W/mK fins a 0,032 W/mK.

Tenint en compte que la longitud d'aquest pont tèrmic és de 440m i la diferència entre la transmitància lineal en el seu estat actual i l'estat optimitzat és de 0,685 W/mK, la millora del pont tèrmic equival a un gruix d'aïllament suplementari de 80mm ($\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$).

La solució adoptada d'aïllar per l'exterior amb un sistema SATE comporta la reducció dels ponts tèrmics geomètrics de l'edifici. Si l'opció adoptada fos aïllar per l'interior seria necessari utilitzar 160mm d'aïllament en lloc dels 80 mm proposats per arribar a reduir al mateix nivell les pèrdues de calor per transmissió en façana.

Per calcular la influència en la demanda de calefacció de l'edifici deguda a l'optimització de l'aïllament tèrmic de l'envolupant, s'ha simulat l'edifici afegint a cadascun dels elements de l'envolupant la solució d'aïllament proposada (veure Annex II, document: Escola El Garrofer Viladecans, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb l'eina PHPP 8.5)

El resultat de la demanda de calefacció en la simulació de l'edifici amb l'optimització de l'aïllament tèrmic de l'envolupant proposada es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en l'estat anterior, és a dir, l'edifici un cop optimitzades les finestres, instal·lat el sistema de doble fluxe amb recuperador de calor, i millorada l'hermeticitat al pas de l'aire:

L'optimització de l'aïllament de l'envolvent tèrmica suposa un estalvi en la demanda de calefacció de 30,6 kWh/m²any respecte a l'edifici actual combinat amb les mesures anteriors.

RESUM DE LES MILLORES PER L'OPTIMIZACIÓ DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓ :

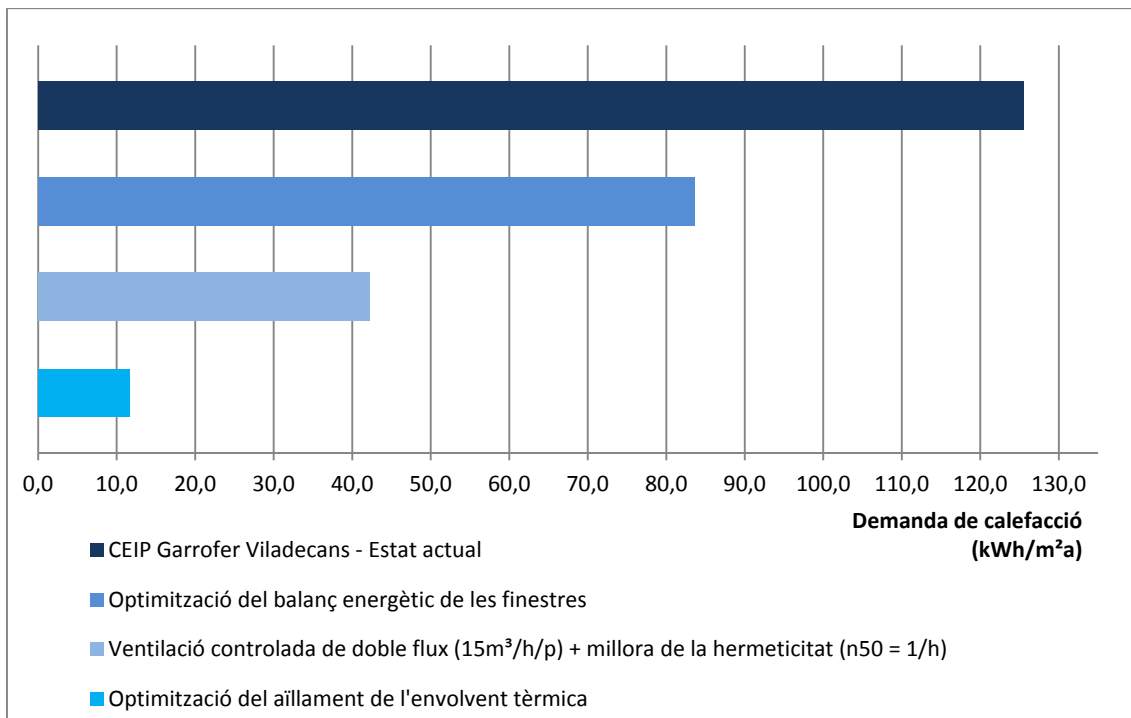
La taula i gràfica següents mostren la progressiva reducció de la demanda de calefacció de l'edifici que s'obté amb cadascuna de les propostes de millora descrites anteriorment.

CEIP Garrofer (Viladecans)	Demanda energètica de calefacció (kWh/m ² a)	Freqüència de sobreescalfament sobre 26°C (%)	PASSIVHAUS
ESTAT ACTUAL	125,5	11,2	NO
a. Optimització del balanç energètic de les finestres	83,6	13,8	NO
b. Instal·lació de la ventilació controlada de doble flux amb millora de la hermeticitat	42,2	18,2	NO
c. Optimització de l'aïllament de l'envolupant tèrmica i dels ponts tèrmics	11,6	19,7	NO

Taula resum de la disminució de la demanda de calefacció que suposa cadascuna de les millores proposades

Aquestes dades son acumulatives. Es calculen per aquest ordre perquè aquest ordre seria l'únic possible si la rehabilitació s'executés per fases. D'aquesta manera el punt a es podria fer a la primera fase de manera independent (tot i que no seria recomanable), el punt b en una segona fase i el punt c en una tercera.

Incidència de les mesures en la demanda de calefacció



Gràfic resum de la disminució de la demanda de calefacció que suposa cadascuna de les millores proposades

El total de les actuacions proposades per la rehabilitació Passivhaus de l'escola suposen un estalvi en la demanda de calefacció de 113,9 kWh/m²any, un 91% de la demanda de calefacció en l'estat actual.

PROPOSTA DE MILLORES PER L'OPTIMITZACIÓ DEL CONFORT A L'ESTIU:

Per arribar a complir amb la solució Passivhaus adaptat a clima mediterrani, cal reduir la freqüència de sobreescalfament per sobre de 26° fins el 10%.

a. Ventilació addicional nocturna per la refrigeració a l'estiu

Es proposa un escenari de ventilació addicional nocturna durant l'estiu. Es planteja que es realitzi una ventilació natural a través de les finestres al llarg de la nit de 1 renovació/h per refrigerar l'interior de forma passiva. Aquest escenari de ventilació nocturna es produiria amb l'obertura oscil·lant de les finestres de forma manual per part del conserge de l'escola. Aquesta estratègia està estretament lligada al compliment del protocol d'actuació definit en fase de projecte i aprovat pel mateix usuari (per exemple: el conserge obre les finestres per la nit i les torna a tancar pel matí de l'endemà).

Per calcular la influència en la freqüència de sobreescalfament de l'edifici de la ventilació nocturna, s'ha simulat l'edifici incloent una ventilació nocturna durant l'estiu de 1 renovació/h (veure Annex II, : Escola El Garrofer Viladecans, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb l'eina PHPP 8.5).

El resultat de la freqüència de sobreescalefament de l'edifici amb l'estratègia de ventilació addicional nocturna a l'estiu es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en el seu estat anterior, és a dir, després de l'aplicació de les mesures per reduir la demanda de calefacció.

La ventilació addicional nocturna plantejada suposa una reducció de la freqüència de sobreescalefament per sobre de 26°C del 6,5%.

b. Millora de la protecció solar

Igualment, es preveu la instal·lació d'elements de protecció solar a les façanes Sud-Oest i Sud-Est. Es proposa un sistema de tendals per protegir la captació solar a través de les finestres. Al suprimir-se les caixes de persiana, caldrà incorporar cortines a l'interior que permetin enfosquir puntualment.

Per calcular la influència en la freqüència de sobreescalefament de l'edifici de la millora de la protecció solar, s'ha simulat l'edifici incloent elements d'ombra regulables amb un factor de reducció solar del 35% en les obertures orientades a Sud, Est i Oest (veure Annex II, document: Escola El Garrofer Viladecans, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb l'eina PHPP 8.5). El resultat de la freqüència de sobreescalefament de l'edifici amb la protecció solar a l'estiu es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en el seu estat anterior, és a dir, després de l'aplicació de les mesures per reduir la demanda de calefacció.

La protecció solar suposa una reducció de la freqüència de sobreescalefament per sobre de 26°C del 3,4%.

CEIP Garrofer (Viladecans)	Demanda energètica de calefacció (kWh/m ² a)	Freqüència de sobreescalefament sobre 26°C (%)	PASSIVHAUS
Edifici optimitzat per l'hivern (actuacions a+b+c)	11,6	19,7	NO
d. Ventilació addicional nocturna per la refrigeració a l'estiu	11,6	13,2	NO
e. Millora de la protecció solar en les aules	11,6	9,8	SI

Taula resum de la disminució de la freqüència de sobreescalefament que suposen les millores proposades

c. Millora de l'eficiència energètica dels equips d'il·luminació a les aules

La instal·lació d'un sistema de ventilació controlada de doble flux amb recuperador de calor comporta un augment del consum d'energia elèctrica de l'edifici degut al consum dels ventiladors.

Es proposa l'optimització del sistema d'enllumenat de les aules (33% de la superfície útil de l'edifici) per tal de complir els requeriments de VEEI (Valor d'Eficiència Energètica de la Instal·lació) establerts pel CTE en el DB-HE 3.

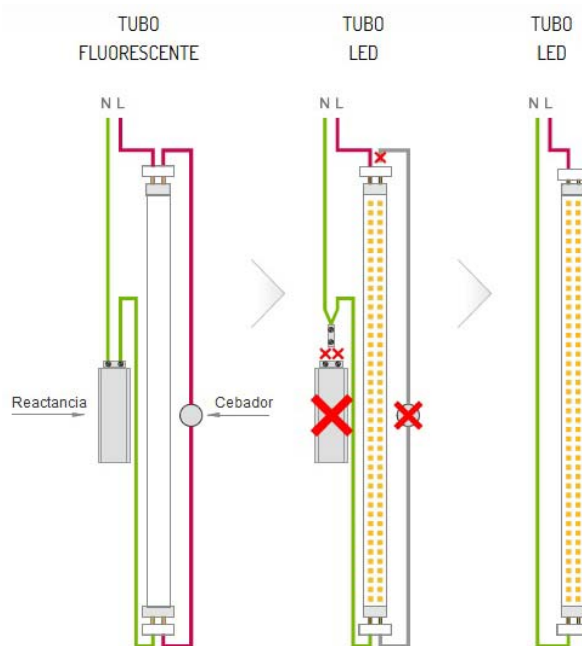
Es proposa la substitució de les 328 làmpades fluorescents actuals en les aules de 36 W de potència per tubs LED de 18 W de potència sense necessitat de substituir les lluminàries. Amb aquesta mesura es millora el VEEI de l'enllumenat de les aules de 4,6 a 2,6 (el límit màxim establert per aules i laboratoris és de 3,5) i es compensa l'augment del consum elèctric provocat per la instal·lació del sistema de ventilació mecànica.

CEIP Garrofer (Viladecans)	Consum de energia elèctrica (kWh/m ² a)	Estalvi energètic (kWh/m ² a)	PASSIVHAUS
ESTAT ACTUAL	26,3		SI
Consum elèctric dels ventiladors de la ventilació mecànica de doble flux	27,9	-1,6	
Millora de la eficiència de l'enllumenat a les aules	25,2	2,7	

Balanç del consum d'electricitat de la rehabilitació Passivhaus adaptat al clima mediterrani

Luminaria a substituir	Potencia		Luminaria equivalència LED	% de Ahorro energético
 Tubos fluorescentes T8 * Cocinas, garajes y oficinas	18W	➤	 9W	55%-60%
	36W		18W	55%-60%
	58W		23W	55%-60%
 Tubos fluorescentes T5 * Cocinas, garajes y oficinas	xxW	➤	 8W	55%-60%
	xxW		12W	55%-60%
	xxW		18W	55%-60%

Taula comparativa entre la potència dels tubs fluorescents convencionals i els tubs LED



Esquema de substitució de tubs convencionals per tubs LED

2.4. RESULTATS I CONCLUSIONS

En la simulació final de l'edifici un cop rehabilitat per complir l'estàndard Passivhaus adaptat al clima mediterrani amb l'eina PHPP 8.5 s'obtenen els següents resultats:

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
	Superficie de referencia energética	2255,5 m ²	Requerimientos	¿Cumplido?*
Calefacción	Demanda de calefacción	11,6 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	si
	Carga de calefacción	13,0 W/m ²	10 W/m ²	-
Refrigeración	Demanda total refrigeración	kWh/(m ² a)	-	-
	Carga de refrigeración	W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 26 °C) para escuelas en ámbito Mediterráneo	9,8 %	-	-
Energía primaria	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	82,6 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	si
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	22 kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	1,0 1/h	0,6 1/h	no

* Campo vacío: faltan datos; '-': sin requerimiento

Resultats obtinguts de la simulació amb PHPP 8.5 de l'edifici optimitzat per la rehabilitació Passivhaus adaptat al clima mediterrani

*Nota: Els criteris de l'estàndard Passivhaus per rehabilitació en hermeticitat modifiquen els requeriments del resultat de l'assaig de pressió n_{50} a 1,0 renovacions/h

- La demanda de calefacció es redueix des de 125,5 kWh/m²a fins a 11,6 kWh/m²a
- Es redueix la freqüència de sobreescalfament per sobre de 26°C fins al 9,8%
- La demanda d'energia primària es redueix de 213,0 kWh/m²a a 82,6 kWh/m²a , les emissions de CO₂ es redueixen de 43,5 kg/m²a a 20,2 kg/m²a

La reducció de la demanda de calefacció i l'optimització de la il·luminació de les aules suposa una reducció de la demanda d'energia primària i de les emissions de CO₂ de l'edifici.

L'energia primària és aquella que es troba disponible a la natura, podent distingir-se entre energia renovable o energia fòssil (no renovable). En el procés de transformació d'aquesta energia primària en energia final consumida pels edificis es produeixen despeses d'operació de plantes, transport, pèrdues, accidents, etc. Per tant, la quantitat d'energia primària que entra al sistema serà sempre superior a l'energia final consumida. A més, cal tenir en compte que durant el procés es produeixen impactes ambientals i contaminació que ha de ser tractada i eliminada amb mitjans humans i tècnics, el cost dels quals caldria comptabilitzar com una partida més imputable al cost de producció de l'energia.

Pel càlcul de l'energia primària d'un edifici a partir de la seva demanda d'energia final s'apliquen uns factors de conversió en funció de la font d'energia utilitzada.

TIPUS D'ENERGIA	FONT D'ENERGIA	FACTOR EP (fonts d'energia renovable)
Combustible	Gas natural	1,1
Combustible	GLP	1,1
Combustible	Fusta (Biomassa)	0,2

Electricitat	Xarxa	2,6
--------------	-------	-----

El factor de conversió d'energia final a emissions de CO₂(g CO₂/kWh) s'obté a partir del factor de conversió d'energia final a energia primària (kWh e. primària/ kWh e. final) i el factor d'emissions de CO₂ específic de cada combustible segons el seu factor d' oxidació (g CO₂/kWh). Pel càlcul de les emissions de CO₂ d'un edifici a partir de la seva demanda d'energia final, s'apliquen els següents factors de conversió:

TIPUS D'ENERGIA	FONT D'ENERGIA	FACTOR DE EMISSIÓ DE CO ₂ (g/kWh)
Combustible	Gas natural	250
Combustible	GLP	270
Combustible	Fusta (Biomassa)	55
Electricitat	Xarxa	680

2.5. COST ECONÒMIC

A continuació es descriu l'estimació pressupostària de la rehabilitació i la possible contribució del Programa PAREER CRECE de l'IDAE.

PRESSUPOST REHABILITACIÓ ENERGÈTICA DE L'ESCOLA EL GARROFER: ESTIMACIÓ DE COSTOS

Partida	Ctat	PEM	TOTAL PEM	TOTAL PEC	CONTRI- BUCIÓ PAREER- CRECE	IMPORT SUBVENCIO
EDIFICI PRINCIPAL (EDUCACIÓ PRIMÀRIA)						
SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA						
Retirada finestres, premarcs i ampits existents	676	m2	10	6.756	7.431	
Col·locació nous premarcs	1079	ml	10	10.793	11.872	
Enguixat brancals i pintat	432	m2	16	6.908	7.598	
Ampit interior de DM esmaltat	405	ml	30	12.155	13.371	
Fusteria d'alumini Standard PH	676	m2	270	182.399	182.399	
Vidre segons característiques	676	m2	70	47.289	52.017	
Tendals exteriors	676	m2	123	83.093	91.402	
Cortines tipus foscurit	676	m2	35	23.644	23.644	
TOTAL SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA				373.036	389.735	50% 194.867,47
INSTAL·LACIÓ VENTILACIÓ						
Xarxa de ventilació*				132.902	146.192	50% 73.096,11
MILLORA HERMETICITAT						
Encintat perímetre envolupant				8.634	10.275	50% 5.137,47
SATE						
	1918	m2	70	134.284	134.284	50% 67.142,20

CANVI LÀMPADES

					11.152	30%	3.345,60
--	--	--	--	--	---------------	-----	----------

ALTRES

Instal·lació sistema de control calefacció					10.000		
--	--	--	--	--	---------------	--	--

AÏLLAMENT COBERTA

	995	m2	60	59.706	65.677	50%	32.838,30
--	-----	----	----	--------	---------------	-----	-----------

IMPORT TOTAL DE L'OBRA					767.315,11		
------------------------	--	--	--	--	-------------------	--	--

IMPORT DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER							376.427,15
---------------------------------------	--	--	--	--	--	--	-------------------

COST FINAL EDIFICI PRIMÀRIA (DESCONTANT AJUDA)					390.888		
---	--	--	--	--	----------------	--	--

DESPESES PROJECTE I DIRECCIÓ D'OBRA

PROJECTE EXECUTIU PER SOL·LICITUD DE SUBVENCIÓ					17.900	50%	8.950,00
--	--	--	--	--	--------	-----	----------

CERTIFICACIÓ ENERGÈTICA EDIFICI EXISTENT					1.800	50%	900,00
--	--	--	--	--	-------	-----	--------

DIRECCIÓ D'OBRA					42.000	50%	21.000,00
-----------------	--	--	--	--	--------	-----	-----------

ESTUDI DE GESTIÓ DE RESIDUS					1.000	50%	500,00
-----------------------------	--	--	--	--	-------	-----	--------

PLA DE CONTROL DE QUALITAT					1.500	50%	750,00
----------------------------	--	--	--	--	-------	-----	--------

ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT					2.000	50%	1.000,00
-----------------------------	--	--	--	--	-------	-----	----------

COORDINACIÓ DE SEGURETAT I SALUT					6.000	50%	3.000,00
----------------------------------	--	--	--	--	-------	-----	----------

TOTAL DESPESES PROJECTE					72.200		
--------------------------------	--	--	--	--	---------------	--	--

IMPORT TOTAL DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER							36.100
---	--	--	--	--	--	--	---------------

TOTAL FINAL DESPESES PROJECTE (DESCONTANT AJUDA)					36.100		
---	--	--	--	--	---------------	--	--

DESPESES OPCIONALS

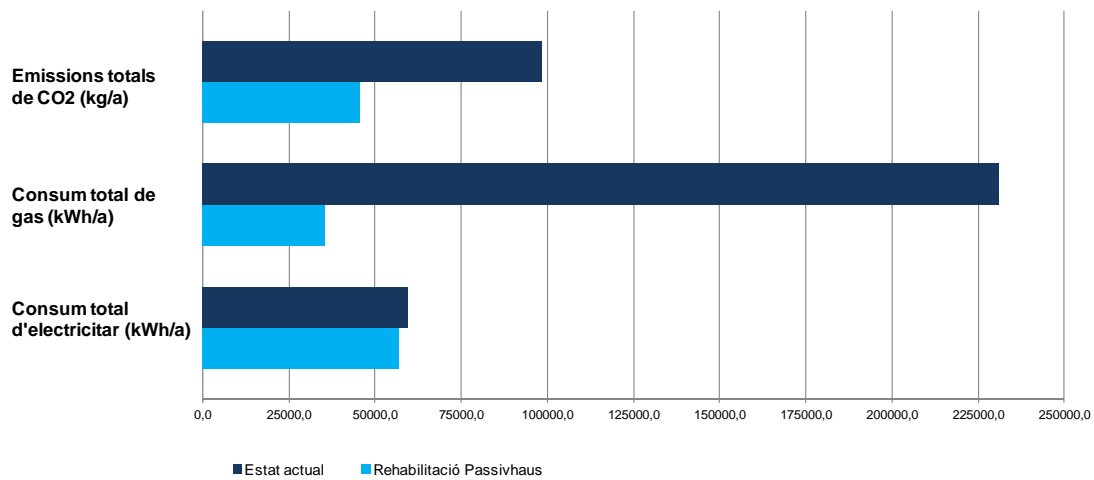
CERTIFICACIÓ PASSIVE HAUS					13.000		
---------------------------	--	--	--	--	--------	--	--

Aquest pressupost no inclou l'IVA. Les despeses generals i el benefici industrial ha estat adaptat en cada cas segons l'experiència dels autors. Es tracta d'un pressupost orientatiu realitzat a partir d'un estudi preliminar de la rehabilitació

* Pressupost aproximat de subministrament i instal·lació d'un sistema de ventilació de doble flux amb recuperació de calor zonificat per plantes amb una xarxa de ventilació separada pels banys .

2.6. ANÀLISI FINANCER DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT AL CLIMA MEDITERRANI

Anàlisi dels consums energètics amb la rehabilitació Passivhaus adaptat al clima mediterrani



Reducció dels consums energètics de la proposta de rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani

Estalvis energètics de la rehabilitació Passivhaus adaptat al clima mediterrani:

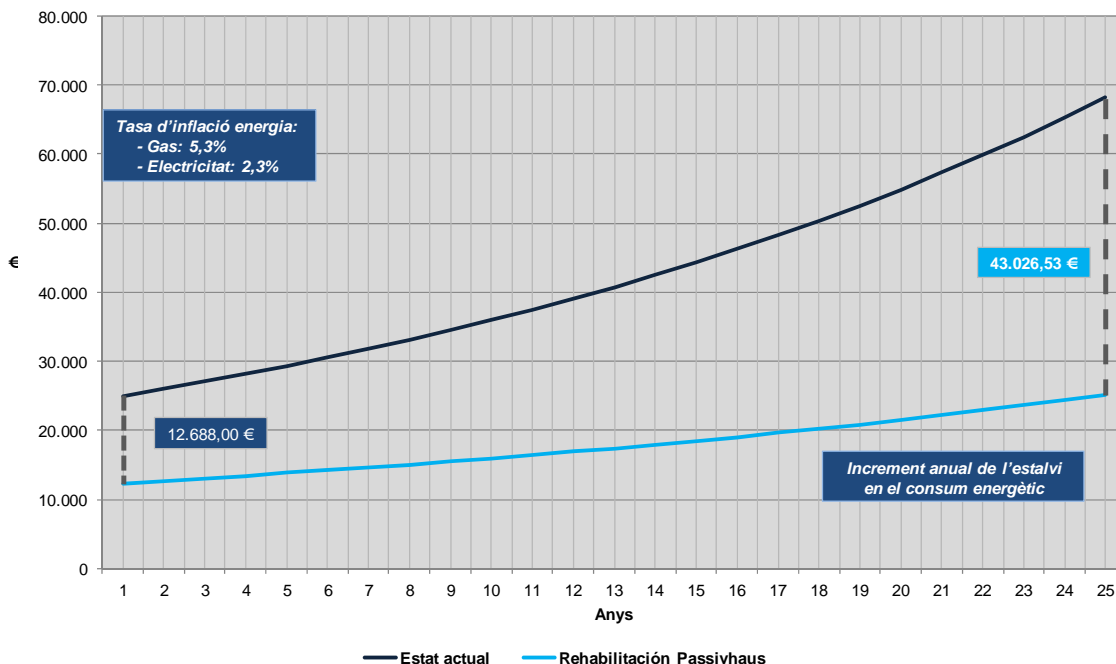
- Estalvi en el consum de gas anual: **195.740 kWh (-85%)**
- Estalvi en el consum d'electricitat anual: **2.592 kWh (-5%)**
- Reducció d'emissions de CO₂ anual: **52.498 kg (-54%)**

L'anàlisi de l'estalvi es fa preveient una taxa d'inflació del 5,3% en el cost del gas i d'un 2,3% en el cost de l'electricitat, basat en l'evolució d'aquets preus en els últims 4 anys.

S'ha calculat l'estalvi energètic de l'edifici després de la rehabilitació Passivhaus adaptat al clima mediterrani tenint en compte la reducció del consum de gas i electricitat de l'edifici simulat respecte al consum actual promig dels últims 4 anys.

Per calcular l'estalvi econòmic s'ha considerat el preu mig del gas i electricitat que ha estat pagant l'escola al llarg dels últims 4 anys (a partir de les dades de les factures) i una taxa d'inflació del preu de l'energia calculada amb l'evolució del preu bianual del gas i l'electricitat segons Eurostat.

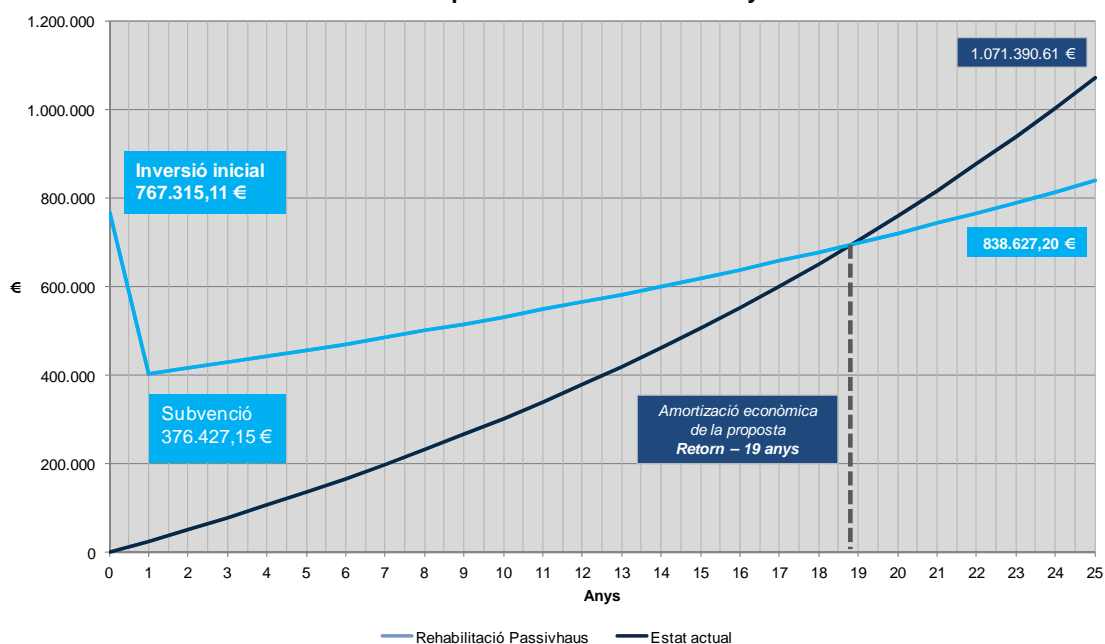
Despesa energètica anual en 25 anys



Amortització de la inversió de la rehabilitació Passivhaus adaptat al clima mediterrani

Aquesta gràfica mostra els consums anuals acumulats per l'edifici en el seu estat actual i per l'edifici millorat simulat amb l'eina PHPP 8.5 després del procés de rehabilitació Passivhaus adaptat al clima mediterrani. En els consums acumulats es consideren els costos energètics de l'edifici (gas i electricitat) tenint en compte la taxa d'inflació anual del preu de l'energia, no és té en compte el cost d'oportunitat (tipus d'interès). S'han realitzat els càlculs d'amortització de cadascuna de les opcions segons la norma ISO 15686-5.

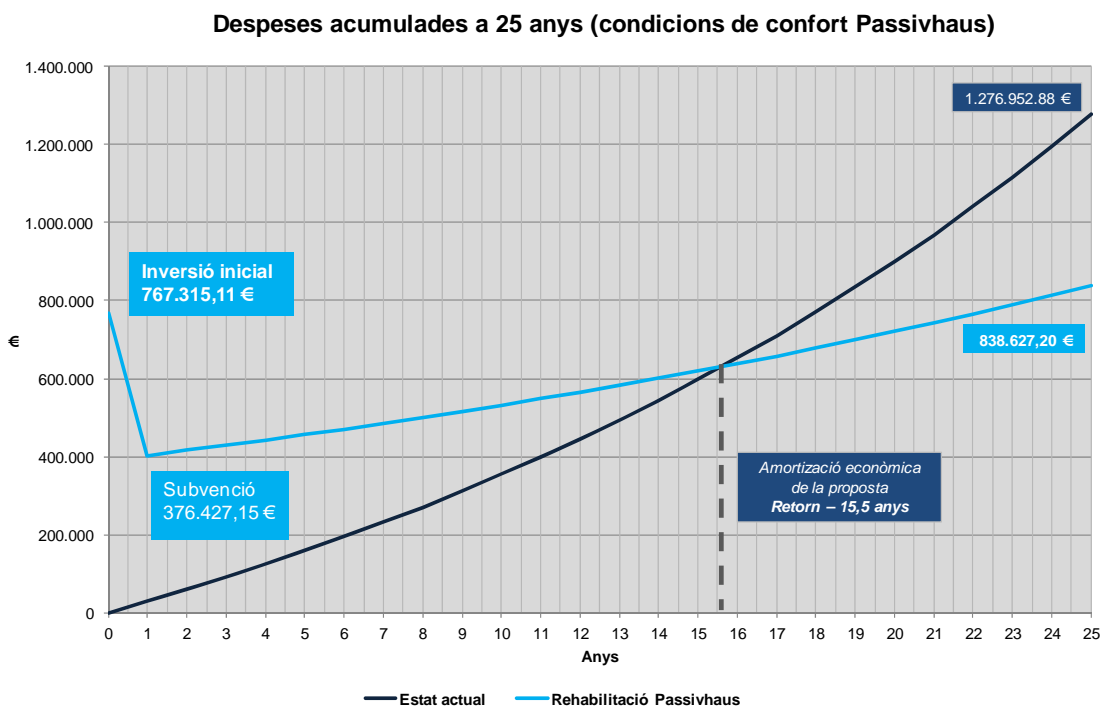
Despeses acumulades a 25 anys



Aquesta gràfica correspon a la hipòtesi de rebre l'ajuda corresponent al Pla PAREER CRECE al cap d'un any de la rehabilitació.

L'amortització s'ha calculat respecte al consum energètic de l'edifici en l'estat actual de desconfort en el qual el consum és inferior al necessari per obtenir les condicions de confort Passivhaus. En la següent gràfica es fa el càlcul de l'amortització considerant que l'edifici es troba en les condicions de confort Passivhaus.

Amortització de la inversió de la rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani si l'edifici estigués en condicions de confort



Nota: En ambdós gràfics d'amortització s'ha considerat el cost PEC de la rehabilitació (no inclou IVA ni despeses de projecte)

Es comprova que l'amortització de la inversió és més curta, prenent com a referència l'edifici actual però en condicions de confort Passivhaus: temperatura a l'hivern de 20°C i a l'estiu de 26°C.

3. PROPOSTA DE REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER COMPLIR L'ESTANDARD PASSIVHAUS CERTIFICABLE

Esgotant totes les estratègies passives, segons l'eina PHPP no és possible reduir la freqüència de sobreescalfament a l'estiu per sobre dels 25°C per sota del 10%. En aquest cas, per obtenir la certificació Passivhaus és obligatori instal·lar un sistema de refrigeració.

Per complir l'estàndard Passivhaus certificable cal dur a terme les mateixes actuacions que per complir l'estàndard adaptat al clima mediterrani afegint a més, una instal·lació de refrigeració activa per l'estiu.

3.1. ANÁLISI DE LES PROPOSTES PER A LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE

a. Sistema de refrigeració activa

Instal·lació d'un sistema de refrigeració activa: VRV (multi-Split) de cabal variable de refrigerant amb una unitat exterior i unitats interiors a les aules amb control independent en cada aula.



Bomba de calor VRV, $P_{ref} = 61,5 \text{ kW}$, $EER = 3,77$ y $SEER = 7,07$

El consum elèctric de l'edifici augmenta en 8,7 kWh/m² degut al consum elèctric del sistema de refrigeració activa considerant el consum de la producció en fred de la bomba de calor VRV i el consum de les unitats fan-coils individuals.

CEIP Garrofer (Viladecans)	Consum d'energia elèctrica (kWh/m ² a)	Estalvi energètic (kWh/m ² a)	PASSIVHAUS
ESTAT ACTUAL	26,3		SI
Consum elèctric dels ventiladors de la ventilació mecànica de doble flux	27,9	-1,6	
Instal·lació d'un sistema de refrigeració activa per la certificació Passivhaus	36,6	-8,7	
Millora de la eficiència de l'enllumenat a les aules	33,9	2,7	

*Balanç del consum d'electricitat de la rehabilitació Passivhaus certificable
(en vermell: concepte augment de consums)*

3.2. RESULTATS I CONCLUSIONS

En la simulació final de l'edifici un cop optimitzat per a la rehabilitació Passivhaus certificable amb l'eina PHPP 8.5 s'obtenen els següents resultats:

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
	Superficie de referencia energética	2255,5 m ²	Requerimientos	¿Cumplido?*
Calefacción	Demanda de calefacción	11,6 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	si
	Carga de calefacción	13,0 W/m ²	10 W/m ²	-
Refrigeración	Demanda total refrigeración	15,8 kWh/(m ² a)	18 kWh/(m ² a)	si
	Carga de refrigeración	9,1 W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C) para escuelas en ámbito Mediterráneo	%	-	-
Energía primaria	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	105,2 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	si
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	29 kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	1,0 1/h	0,6 1/h	no

* Campo vacío: fallan datos; '-': sin requerimiento

Resultats obtinguts de la simulació amb PHPP 8.5 de l'edifici optimitzat per a la rehabilitació Passivhaus certificable en les condicions de contorn de l'estàndard Passivhaus en escoles.

*Nota: Els criteris de l'estàndard Passivhaus per rehabilitació en hermeticitat modifiquen els requeriments del resultat de l'assaig de pressió n_{50} a 1,0 renovació/h

- Per complir amb la certificació Passivhaus s'ha de cobrir amb el sistema de refrigeració activa una demanda total de 15,8 kWh/m²any
- La demanda d'energia primària es redueix de 213,0 kWh/m²any (estat actual) fins a 105,2 kWh/m²any (inclosa la demanda de refrigeració activa)
- Les emissions de CO₂ es redueixen de 43,5 kg/m²any a 26,1 kg/m²any

3.3. COST ECONÒMIC DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE

Partida de la instal·lació d'aire condicionat

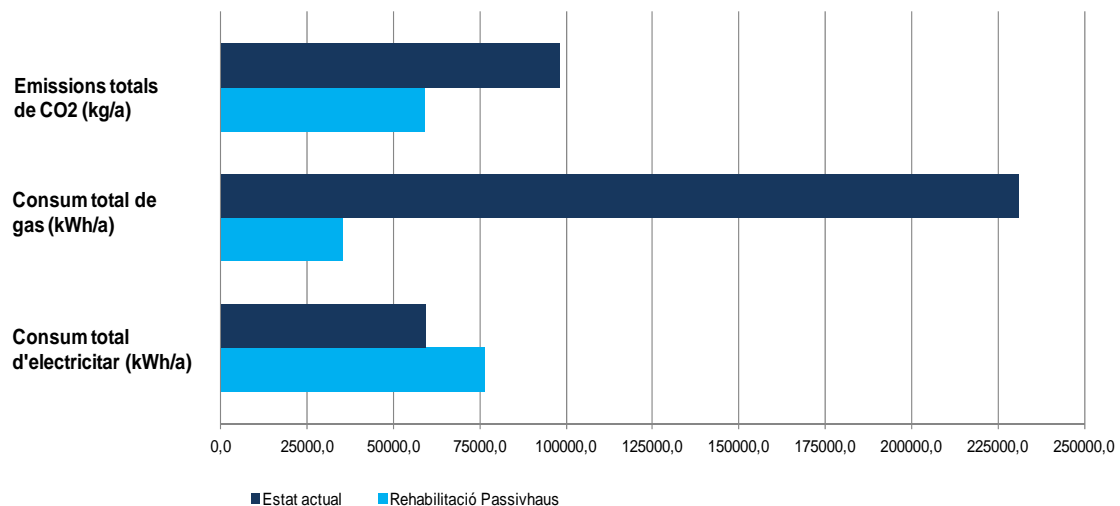
1,00	Subministre i instal·lació Ut. VRV IV Daikin RYYQ22T, Pref = 61,5 kW, EER = 3,77 y SEER = 7,07	27.676,00
20,00	Subministre i instal·lació Ut. Split conducte mitja pressió (1 per aula) Daikin FXDQ32A	25.780,00
6,00	Subministre i instal·lació Ut. Split casseta en menjador Daikin FXZQ50A	10.644,00
22,00	Subministre i instal·lació Ut. Control multi funció Daikin BRC1E52A	3.124,00
20,00	Subministre i instal·lació Ut. Conducte de fibra Climaver neto o similar	8.000,00
40,00	Subministre i instal·lació Ut. Reixeta regulable	4.000,00
27,00	Subministre i instal·lació Ut. Connexió tub refrigerant	12.150,00
26,00	Subministre i instal·lació Ut. Derivació Refnet KHRQ22M20T	3.744,00
	Total PEM	103.746,00
	BI+DG	19.711,74
	Total PEC	123.457,74 €

Cost total de les intervencions

Cost total intervencions per rehabilitació Passivhaus adaptat	767.315,11 €
Cost instal·lació aire condicionat	123.457,74 €
Cost total	890.772,85 €

3.4. ANÀLISI FINANCER DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE

Anàlisi dels consums en la rehabilitació Passivhaus certificable



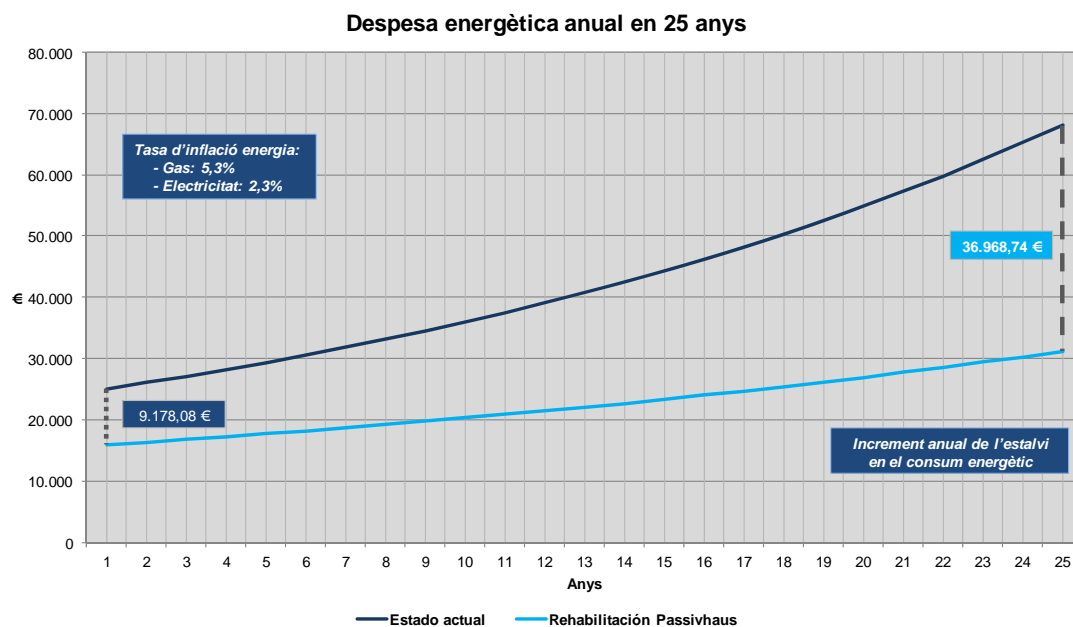
Reducció dels consums energètics de la proposta de rehabilitació Passivhaus certificable

Estalvis energètics de la rehabilitació Passivhaus certificable:

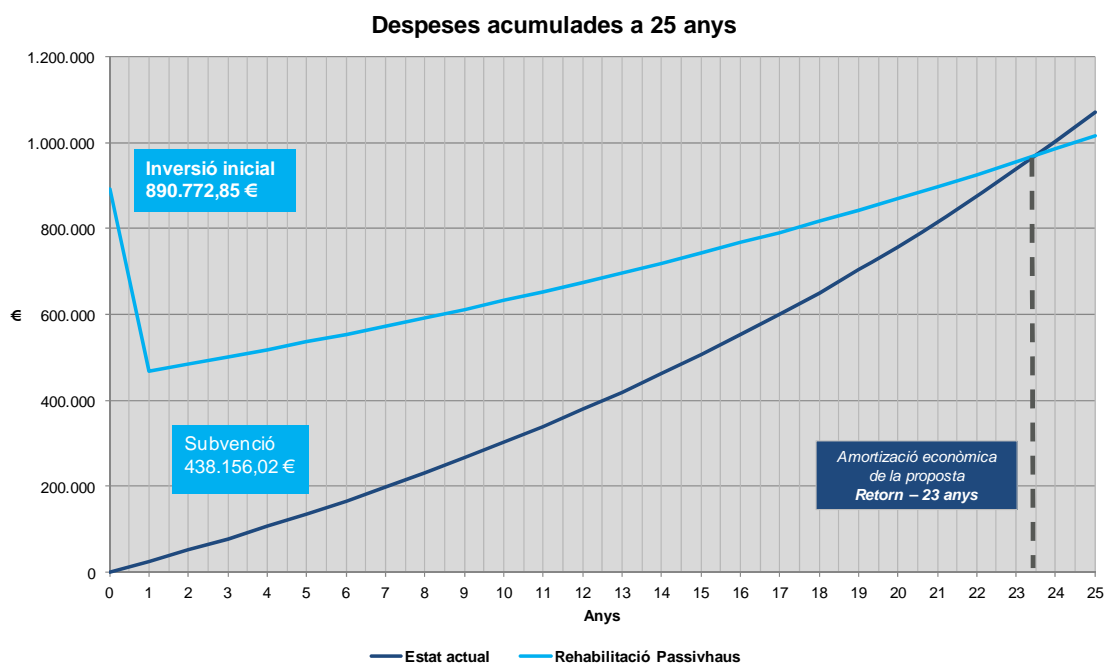
- Estalvi en el consum anual de gas: **195740 kWh (-85%)**

- Augment del consum anual d'electricitat: **1.7011 kWh (+29%)**
- Reducció d'emissions de CO₂ anual: **39.168 kg (-40%)**

Increment anual de l'estalvi en el consum energètic



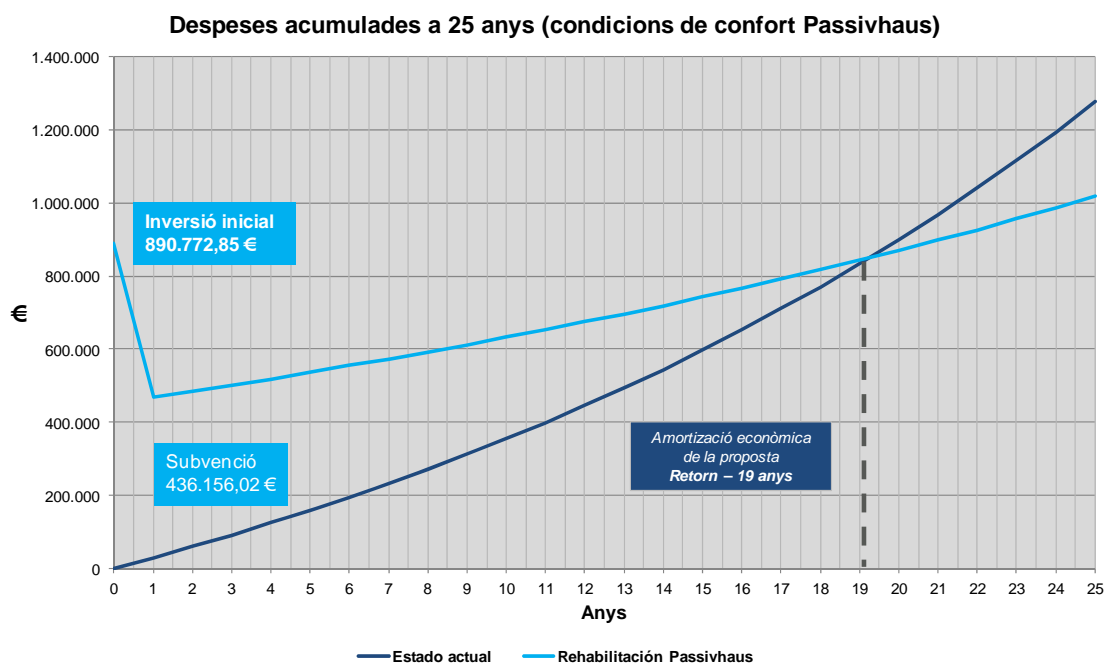
Amortització de la inversió de la rehabilitació Passivhaus certificable



Aquesta gràfica correspon a la hipòtesi de rebre l'ajuda corresponent al Pla PAREER CRECE al cap d'un any de la rehabilitació.

L'amortització s'ha calculat respecte al consum energètic de l'edifici en l'estat actual de desconfort en el qual el consum és inferior al necessari per obtenir les condicions de confort Passivhaus. En la següent gràfica es fa el càlcul de l'amortització considerant que l'edifici es troba en les condicions de confort Passivhaus.

Amortització de la inversió de la rehabilitació Passivhaus certificable si l'edifici estigués en condicions de confort



Nota: En ambdós gràfics d'amortització s'ha considerat el cost PEC de la rehabilitació (no inclou IVA ni despeses de projecte)

Es comprova que l'amortització de la inversió és més curta, prenent com a referència l'edifici actual però en condicions de confort Passivhaus: temperatura a l'hivern 20°C i a l'estiu 26°C.

4. PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B

La qualificació energètica que s'assigna a un edifici és la corresponent als índexs de qualificació d'eficiència energètica obtinguts per l'edifici dins d'una escala de 7 lletres (de la lletra A, la més eficient, a la lletra G, la menys eficient).

Els càlculs per determinar la qualificació energètica d'un edifici depenen de l'ús del mateix i tenen en compte els serveis de calefacció, refrigeració, enllumenat i aigua calenta sanitària. La qualificació s'ha determinat mitjançant el procediment simplificat de certificació energètica CE3X. L'edifici de l'escola Garrofer té la següent qualificació energètica:

ANEXO II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	C2	Uso	Intensidad Media - 16h
----------------	----	-----	------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	78.76 D	CALEFACCIÓN		ACS	
		F		B	
		Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² año]	
		22.06		3.82	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² año]			
78.76		15.37		37.3	
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² año]					

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

2. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN					
	84.47 G		40.26 C				
				Demanda global de calefacción [kWh/m ² año]		Demanda global de refrigeración [kWh/m ² año]	
				84.47		40.26	

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA

Por energía primaria se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes renovables y no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	340.79 D	CALEFACCIÓN		ACS	
		G		C	
		Energía primaria calefacción [kWh/m ² año]		Energía primaria ACS [kWh/m ² año]	
		109.24		18.91	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Energía primaria refrigeración [kWh/m ² año]		Energía primaria iluminación [kWh/m ² año]			
61.81		149.81			
Consumo global de energía primaria [kWh/m ² año]					

La qualificació global és D, tot i que la qualificació de la demanda de calefacció és G.

S'estudia a continuació una alternativa de rehabilitació que permet passar de la qualificació global D a la B.

4.1. MESURES D'ACTUACIÓ PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B

S'actua en els mateixos elements que a la rehabilitació Passivhaus però amb un grau d'exigència menor.

- Reducció de la potència de l'enllumenat

Es proposa la substitució dels tubs fluorescents existents per tubs LED. Amb una reducció del consum del 50%.

- Substitució de les fusteries existents

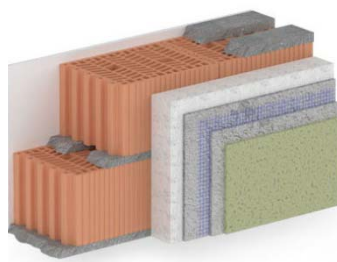
Retirada de fusteries existents i instal·lació de fusteries d'alumini amb els requeriments per complir el Codi Tècnic d'Edificació a la zona climàtica C2:

U marc	1,3
U vidre	2,7
G vidre	0,5

- Aïllament de la façana per la cara exterior

Es proposa la instal·lació d'un sistema SATE. Es tracta d'un revestiment per l'exterior de l'edifici amb unes planxes d'aïllament tipus EPS ($\lambda=0.037$) de 6cm de gruix. Aquest revestiment cobrirà les parts de l'estructura que en aquest moment apareixen en façana i n'eliminarà els ponts tèrmics. Igualment, quedaran protegits els brancals, dintells i ampits de les finestres.

L'acabat exterior de la planxa d'aïllament es fa amb diferents capes de morter que garanteixen l'adherència i flexibilitat del revestiment en la seva vida útil. L'aspecte és el d'un morter tipus monocapa, que en aquest cas l'acabat haurà de ser de color blanc o blanc trencat per tal d'evitar el sobre-escalfament a l'estiu.



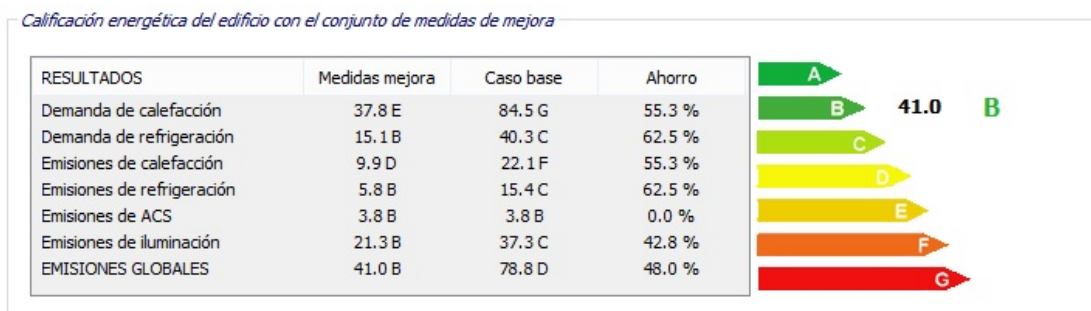
Imatge instal·lació SATE

La caixa de les persianes és un pont tèrmic important, proposem que les noves fusteries no tinguin persianes. Les dues façanes sud-est i sud-oest incorporarien tendals com a protecció solar a l'estiu. La resta de façanes no requereix d'elements de protecció solar.

Per tal de poder enfosquir puntualment les aules per permetre projeccions, es proposa la instal·lació de cortines tipus foscurit a l'interior de les aules.

- Sistema de ventilació mecànic

Donat que l'escola no disposa actualment de sistema de ventilació i estem realitzant una rehabilitació, legalment, no hi ha l'obligatorietat d'instal·lar un sistema de ventilació. Tanmateix, donat que la qualitat de l'aire de l'escola és deficient en l'estat actual, és previsible que si canviem les finestres i augmentem l'estanqueïtat de l'edifici, la qualitat de l'ambient empitjorarà, especialment a l'hivern, quan les finestres s'obrin poc. Per aquest motiu, tot hi que no sigui necessari per aconseguir la qualificació B, ni sigui legalment imperatiu, recomanem la instal·lació d'una xarxa de ventilació.



Resultat del programa CE3x un cop aplicades les mesures de millora

4.2. COST ECONÒMIC

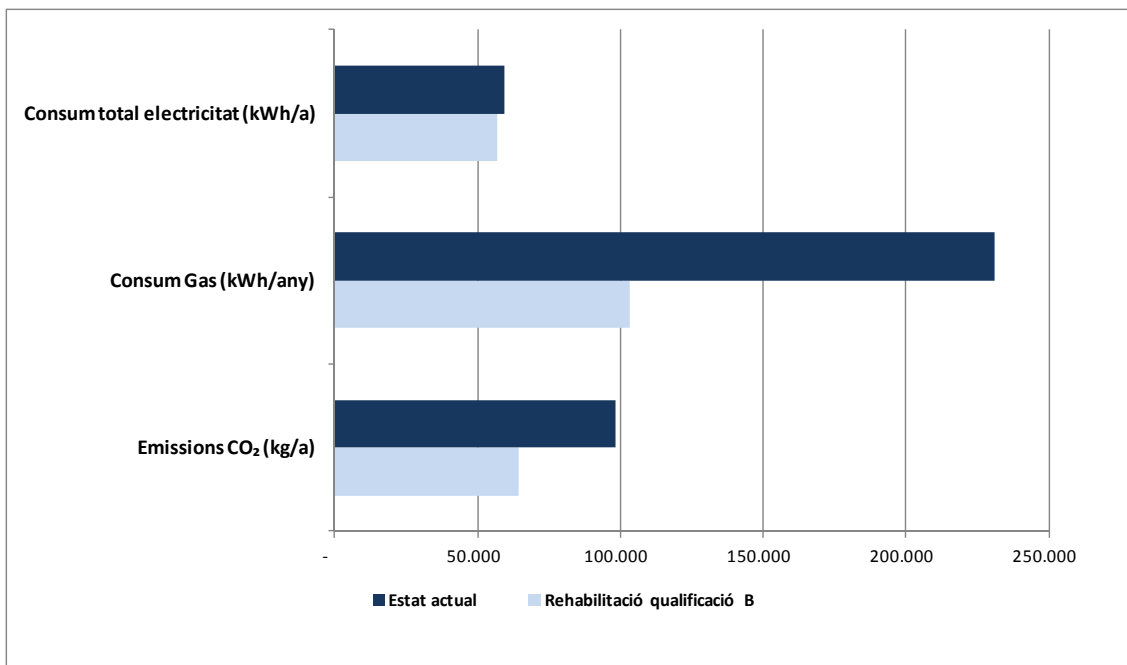
REHABILITACIÓ ENERGÈTICA DE L'ESCOLA EL GARROFER: ESTIMACIÓ DE COSTOS

Partida	Ctat		PEM €/ut	TOTAL PEM €/ut	TOTAL PEC €/ut	CONTRI BUCIÓ PAREER- CRECE	IMPORT SUBVENCIÓ
EDIFICI PRINCIPAL (EDUCACIÓ PRIMÀRIA)							
SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA							
Retirada finestres, premarcs i ampits existents	676	m ²	10	6.756	7.431		
Col·locació nous premarcs	1079	ml	0	-	-		
Enguixat brancals i pintat	432	m ²	0	-	-		
Ampit exterior, retirada i col·locació	405	ml	40	16.207	17.827		
Fusteria d'alumini estàndard PH	676	m ²	198	133.759	133.759		
Vidre segons característiques	676	m ²	35	23.644	26.009		
Tendals exteriors	375	m ²	123	46.125	50.738		
Cortines tipus foscurit	676	m ²	35	23.644	23.644		
TOTAL SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA				250.135	259.408	50%	129.704
SATE	1918	m ²	68	130.448	130.448	50%	65.224
CANVI LÀMPADES					11.152	30%	3.346
VENTILACIÓ	1	ut			132.900	50%	66.450

Instal·lació sistema de control calefacció					10.000		
AÏLLAMENT COBERTA	995	m2	60	59.706	65.677	50%	32.838
IMPORT TOTAL DE L'OBRA					609.585€		
IMPORT DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER							297.562€
COST FINAL EDIFICI PRIMÀRIA (DESCONTANT AJUDA)					312.023 €		
DESPESES PROJECTE I DIRECCIÓ D'OBRA							
PROJECTE EXECUTIU PER SOL·LICITUD DE SUBVENCIÓ				17.900		50%	8.950
CERTIFICACIÓ ENERGÈTICA EDIFICI EXISTENT				1.800		50%	900
DIRECCIÓ D'OBRA				42.000		50%	21.000
ESTUDI DE GESTIÓ DE RESIDUS				1.000		50%	500
PLA DE CONTROL DE QUALITAT				1.500		50%	750
ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT				2.000		50%	1.000
COORDINACIÓ DE SEGURETAT I SALUT				6.000		50%	3.000
TOTAL DESPESES PROJECTE					72.200€		
IMPORT TOTAL DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER							36.100€
TOTAL FINAL DESPESES PROJECTE (DESCONTANT AJUDA)					36.100€		

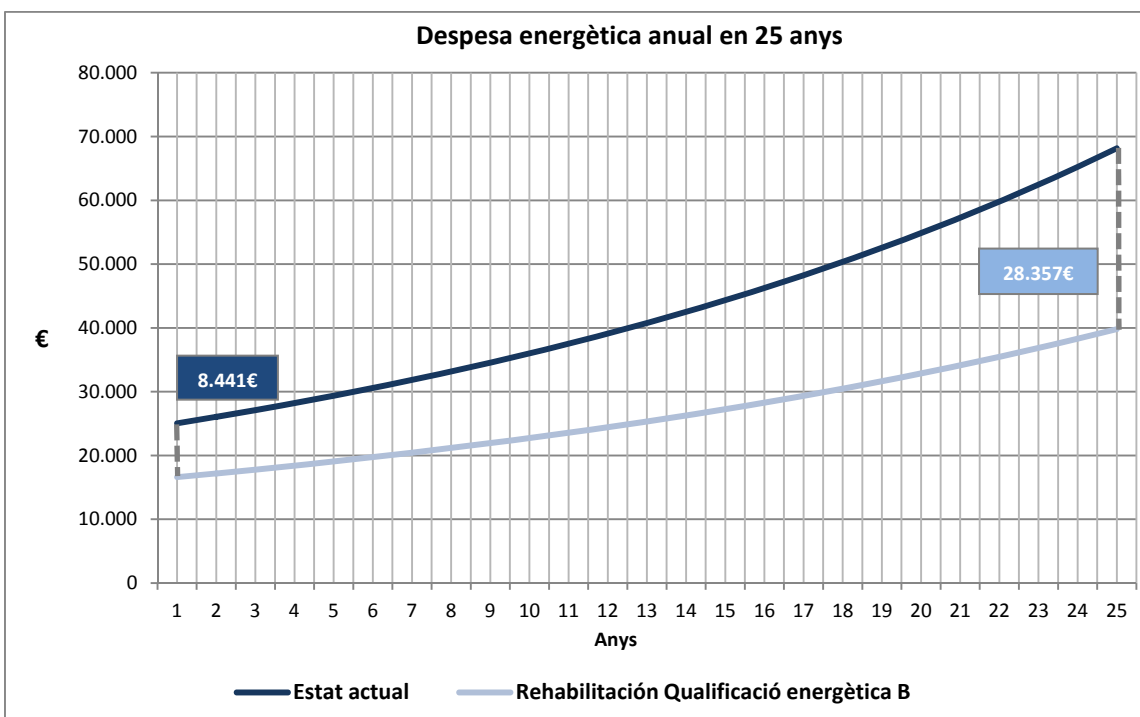
4.3. ANÀLISI FINANCER DE LA REHABILITACIÓ PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B

Anàlisi dels consums energètics amb la rehabilitació per qualificació energètica B (veure taula resultats CE3X, pàg. 66)

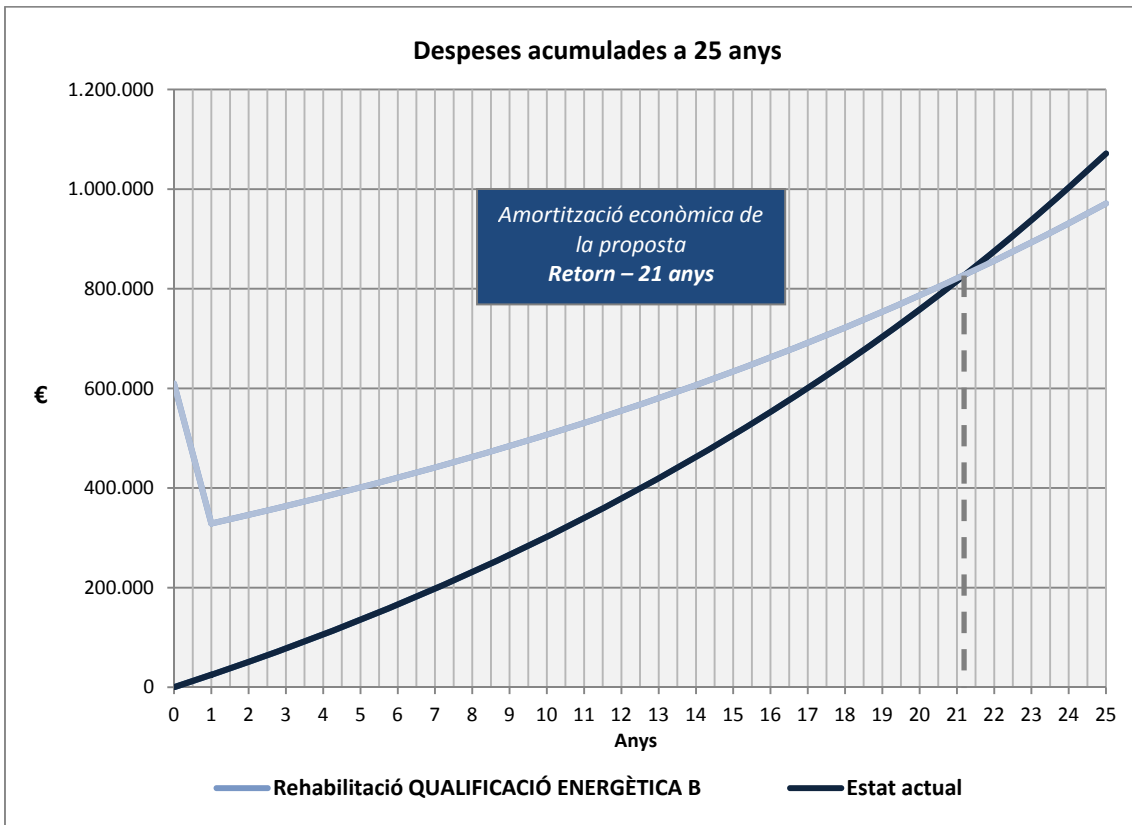


L'anàlisi de l'estalvi es fa preveient una taxa d'inflació del 5,3% en el cost del gas i d'un 2,3% en el cost de l'electricitat, basat en l'evolució del preu en els últims 4 anys.

Increment anual de l'estalvi en el consum energètic



Amortització de la rehabilitació per aconseguir qualificació energètica B



5. ANÀLISI COMPARATIU DELS RESULTATS OBTINGUTS I CONCLUSIONS

La següent taula mostra una comparativa dels resultats obtinguts amb la simulació energètica de l'edifici en els tres casos estudiats.

	PH adaptat a mediterrani	PH certificable	Qualificació energètica B	Estat actual
Demanda calefacció (kWh/m².a)	9,3 (11,6)*	9,3 (11,6)*	46,7	101,1 (125,5)*
Consum elèctric (kWh/m²a)	21,2 (26,3)*	27,3 (33,9)*	16	21,2 (26,2)*
Consum gas (kWh/m²a)	12,6 (15,6)*	12,6 (15,6)*	45,8	103,5 (128,5)*
Emissions CO₂ (T/a)	45,6	58,9	64	98,0
Demanda energia primària (kWh/m²a)	66,5 (82,6)*	84,7 (105,2)*	116	171,6 (213,0)*
Cost rehabilitació**	767.315 €	881.435 €	609.585 €	
Cost rehabilitació** (€/m²)	274,0	314,8	217,7	
Amortització (anys)	19	23,5	21,5	

Taula comparativa de les tres opcions d'intervenció a l'escola El Garrofer de Viladecans

*Les dades entre parèntesi corresponen a les dades de les simulacions realitzades amb l'eina PHPP 8.5. Els resultats obtinguts amb PHPP estan calculats en funció de la superfície de referència energètica que no correspon a la superfície útil de l'edifici.

- Superfície de referència energètica: 2255,52 m²
- Superfície útil: 2800 m²

Per fer una comparativa entre els resultats obtinguts amb el PHPP 8.5 (en funció de la superfície de referència energètica) i el CE3X (en funció de la superfície útil) s'ha aplicat el coeficient corresponent a les dades obtingudes amb PHPP 8.5.

**El cost considerat és el PEC, pressupost de contracte, no inclou IVA ni altres despeses

Un cop analitzat els resultats obtinguts d'estalvi energètic, cost de rehabilitació i amortització econòmica per les tres propostes de rehabilitació estudiades, s'arriba a les següents conclusions:

- L'opció Passivhaus adaptat pel Mediterrani és l'opció de rehabilitació amb el període d'amortització més curt, i la que té un potencial d'estalvi econòmic més alt, ja que no hi ha consum d'aire condicionat.
- Dur a terme l'opció de rehabilitació per obtenir la qualificació B comporta una despesa inicial més baixa però el potencial d'estalvi energètic és molt inferior a les dues versions Passivhaus.
- El millor confort per als usuaris s'obté realitzant la versió Passivhaus certificable.

- Els resultats d'aquest estudi estan subeditats a la possible obtenció de l'ajuda del PROGRAMA DE AYUDAS PARA LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS EXISTENTES (PAREER-CRECE) de l'IDAE
- Les transmissibilitats tèrmiques dissenyades en les versions Passivhaus (façana 0,34 W/m²K, coberta 0,26 W/m²K, finestres 1,3 W/m²K) estan molt a prop dels valors recomanats en el CTE-HE1-apèndix E (per zona climàtica C: façana 0,29 W/m²K, coberta 0,23 W/m²K, finestres 1,6-2,0 W/m²K).
- La execució d'una rehabilitació tipus Passivhaus requereix d'un esforç superior per part del projectista i de l'empresa constructora. El projecte bàsic i executiu ha de definir-se en profunditat, deixant molt poc marge per la improvisació a la fase d'execució. Els amidaments de l'obra han d'estar molt ben definits. L'empresa constructora ha d'executar l'obra de manera meticulosa. Es recomana que aquestes empreses tinguin experts Passivhaus a la seva plantilla (existeixen cursos específics a Espanya per instal·ladors i constructors en matèria Passivhaus). També es recomana que la direcció d'obra s'adjudiqui a arquitectes i arquitectes tècnics que acreditin experiència en obres Passivhaus de mida similar.

6. INCORPORACIÓ D'ENERGIA RENOVABLE

L'objecte d'aquest treball és la rehabilitació mitjançant elements passius. Tanmateix, resulta oportú plantejar la possibilitat de millorar la reducció d'emissions de CO₂ i millorar l'autonomia energètica de l'edifici incorporant sistemes actius de producció d'energia a partir de fonts renovables.

Proposem la incorporació de plaques per producció d'energia fotovoltaica.

L'actual marc jurídic a l'estat espanyol, a partir de l'entrada en vigor del RD 900/2015 de 9 d'octubre de 2015, penalitza l'abocament a la xarxa de l'excés d'energia produïda per sistemes de producció d'energia renovable. Això implica que econòmicament convé autoconsumir l'energia produïda adequant la producció a les necessitats de manera instantània per tal de dissipar la mínima energia possible. Es descarta la instal·lació de bateries per qüestions mediambientals i de rendiment. Seguint consideracions econòmiques, recomanem per tant dimensionar la instal·lació per cobrir la demanda mínima de l'edifici durant les hores de llum.

Per determinar l'energia mínima consumida pel centre durant les hores de producció d'energia solar caldria monitoritzar el consum elèctric com a mínim al llarg d'un dia d'estiu i un dia d'hivern. No es disposa d'aquesta possibilitat així que s'ha realitzat una estimació dels equips que estaran en funcionament constant en hores lectives:

	PC	Pantalla Digital	Càmera frigorífica
Planta baixa			
Cuina	1		1
Despatx	3	6	
Sala professors	1	1	
Sala audiovisuals	1	1	
Biblioteca	1	1	
Ludoteca	1	0	
Planta primera			
Aula	7	7	7
Laboratori	1	5	1
Planta segona			
Aula	9	9	9
Despatx	2	4	
Aula reforç	1	0	
Total unitats	34	18	1

Apliquem un coeficient de simultaneïtat del 75% d'aquests equips i n'estimem el consum:

	Quantitat	W	Consum (W)
Consum PC			
En mode ON	25	69,7	1742
En mode Stand by	9	2	18
Consum Pantalla digital			
En mode ON	13	310	4030

En mode Stand by	5	8	40
Càmera frigorífica	1	3000	3000
Consum d'equips perifèrics			1000
TOTAL			9830 W

Hem de subministrar a la instal·lació del centre una potència de 10kW per cobrir la despesa vall. Utilitzem el software PVGIS per calcular les característiques de la instal·lació.

Adjuntem resultats de càlcul.

Dades de la instal·lació:

- Potència pic: 10 kWp
- Potència nominal: 9 kW
- Superfície plaques: 70 m²
- Superfície coberta planta: 140 m²
- Inclinació òptima: 35º
- Producció anual (100% autoconsum): 15.000 kWh
- Previsió aprofitament per autoconsum: 60%, correspon al 13% del consum elèctric del centre l'any 2014

Incidència econòmica de la instal·lació:

- Estalvi en la factura elèctrica en kWh: 9.000 kWh
- Estalvi en la factura elèctrica preveient un preu de 0.18 €/kWh: 1.620 €
- Inversió aproximada: 18.000 €
- Amortització aproximada: 11 anys

Estudi
de la millora
energètica
de l'escola
Cascavell a
Sant Adrià
de Besòs

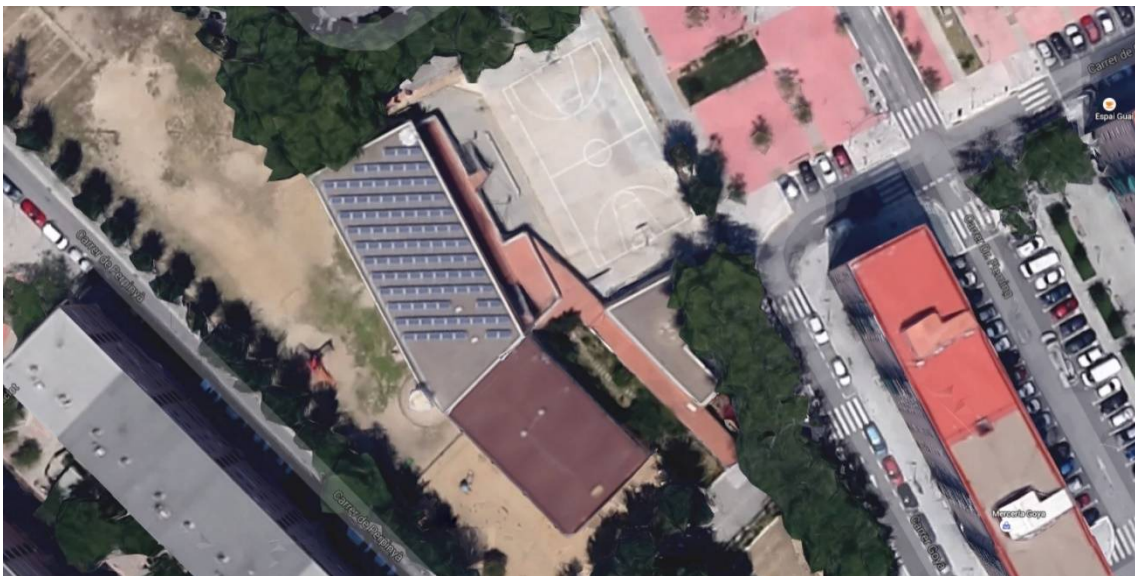
INDEX

1. ANÀLISI ENERGÈTIC	86
1.1 DESCRIPCIÓ I CARACTERÍSTIQUES DE L'EDIFICI	86
1.2 ANÀLISI ENERGÈTIC	91
1.3 BALANÇ ENERGÈTIC: DEMANDA I CONSUM ENERGÈTIC DE L'EDIFICI	99
2. PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER COMPLIR L'ESTANDARD PASSIVHAUS ADAPTAT AL CLIMA MEDITERRANI	101
2.1 MESURES D'ACTUACIÓ PER LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTADA AL CLIMA MEDITERRANI	101
2.2 RESULTATS DE L'ESTAT ACTUAL.....	105
2.3 ANÀLISI DE LES PROPOSTES PER A LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT A CLIMA MEDITERRANI	106
2.4 RESULTATS I CONCLUSIONS.....	114
2.5 COST ECONÒMIC.....	116
2.6 ANÀLISI FINANCER DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT A CLIMA MEDITERRANI	118
3. PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER COMPLIR L'ESTANDARD PASSIVHAUS CERTIFICABLE	121
3.1 ANÀLISI DE LES PROPOSTES PER A LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE	121
3.2 RESULTATS I CONCLUSIONS.....	122
3.3 COST ECONÒMIC DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE.....	123
3.4 ANÀLISI FINANCER DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE.....	123
4. PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B	126
4.1 MESURES D'ACTUACIÓ PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B:	127
4.2 COST ECONÒMIC.....	129
4.3 ANÀLISI FINANCER.....	131
5. ANÀLISI COMPARATIU DELS RESULTATS OBTINGUTS I CONCLUSIONS.....	133

ANÀLISI ENERGÈTIC

1.1 DESCRIPCIÓ I CARACTERÍSTIQUES DE L'EDIFICI

L'edifici es troba situat al carrer Argentina s/n. Es tracta d'un edifici organitzat en bloc lineal amb una inflexió central. La part esquerra de l'edifici (la més propera a Barcelona) va ser construïda en una primera fase l'any 1977 i consta de planta baixa i una planta pis, la resta de l'edifici consta de planta baixa i dues plantes pis i es va construir en una segona fase l'any 1983. Actualment la part antiga allotja l'escola d'educació infantil i la part nova allotja l'escola de primària.



Característiques generals (edifici educació primària):

Any de construcció primera fase	1977
Any de construcció segona fase	1983
Normativa vigent d'estalvi energètic segona fase	-
Normativa vigent d'estalvi energètic primera fase	NBE-CT-79
Superfície construïda	2900 m ²
Superfície útil	2465 m ²
Alçades	PB+2
Orientació	Sud-est/Nord-oest

Dades de consum d'energia final:

Energia	Mitjana de consum kWh.m ² /any 2013 a 2014
Electricitat	17,5
Gas	74,8
Total	92,3



Façana sud-est de l'edifici



Façana nord-oest de l'edifici

Consum respecte altres edificis escolars

Segons l'estudi realitzat per Montserrat Bosch del departament de Construccions arquitectòniques de la EPSEB de la UPC en el marc del treball " Proposta metodològica per a la rehabilitació energètica d'edificis d'ús docent en la ciutat mediterrània. Cas a estudi, ciutat de Barcelona" i citant els resultats de les auditories energètiques realitzades per la Diputació de Barcelona dins dels PAES:

	Mitjana de consum kWh.m ² /any
Mitjana de consum del CEIP Cascavell	92,3
Mitjana de consum de 212 CEIPs al litoral de la província de Barcelona	85

Tester de la part construïda en la 1a fase



Vestíbul d'accés



Interior d'una aula en façana sud-est de l'edifici construït en 2a fase



Interior d'una aula en façana nord-oest de l'edifici construït en 1a fase



Imatge del passadís

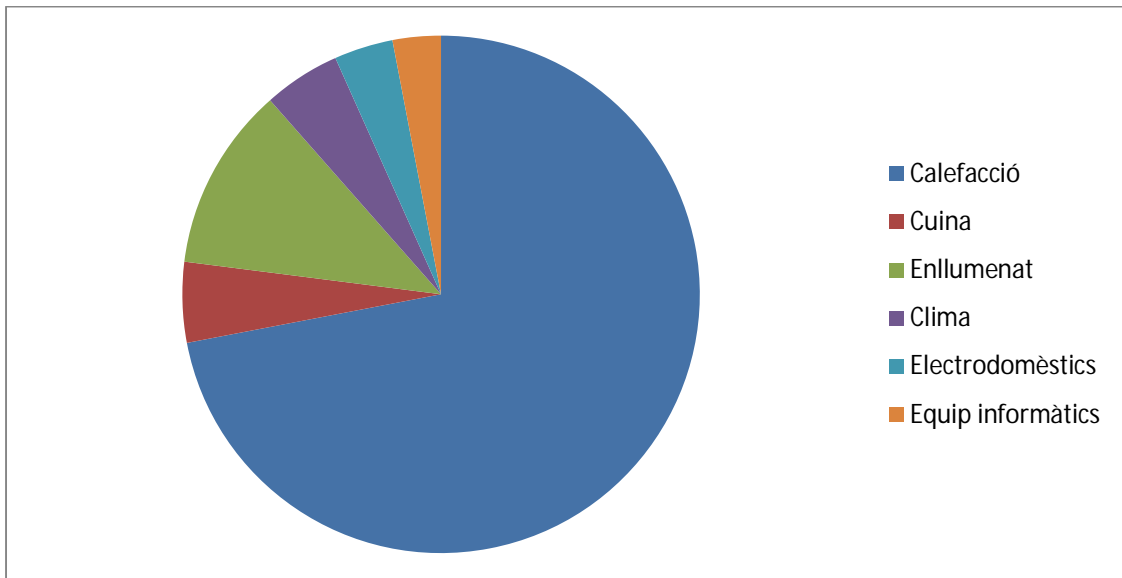


A la coberta de l'escola i ha una instal·lació de plaques fotovoltaïques que es troben connectades a la xarxa en aquests moments. Es suggereix la possibilitat de connectar part d'aquestes plaques a l'edifici de l'escola per a consum instantani per tal de que l'escola pugui aprofitar aquesta instal·lació.

L'escola Cascavell és una escola d'una sola línia amb 223 alumnes.

L'empresa Energea va realitzar una auditoria energètica al juliol de 2011.

Distribució del consum energètic



Percepció de confort per part dels usuaris

S'ha realitzat una enquesta de confort als professors del centre. L'enquesta s'inclou en l'Annex IV. S'han recollit sis formularis amb les dades de percepció i hàbits d'ús de l'edifici.

Es resumeix el contingut en els següents resultats:

Confort a l'hivern	SI: 60%	NO: 40%
Confort a l'estiu	SI: 20%	NO: 80%

1.2. ANÀLISI ENERGÈTIC

1.2.a. Estat actual de l'envolupant

Hem tingut accés al projecte bàsic i executiu de construcció de les dues fases de l'edifici facilitat pels arxius de l'Ajuntament de Sant Adrià del Besòs

El projecte va ser redactat l'any 1983 per l'arquitecte Garcia Ventosa des de el Departament d'Ensenyament.

Façanes:

Ala de l'edifici corresponent a la primera fase:

Panells prefabricats de formigó de 22 cm de gruix. El panell està enguixat per la cara interior i arrebossat per la cara exterior amb un morter amb àrid mitjà.

Ala de l'edifici corresponent a la segona fase:

Doble fulla ceràmica amb paret exterior de "gero" de 14 cm amb acabat arrebossat tipus "Cotegram", cambra d'aire amb 3 cm d'aïllament tipus EPS i fulla ceràmica interior de 4cm amb acabat enguixat. Gruix total del tancament: 30 cm

En el conjunt de l'edifici les fusteries son d'alumini sense ruptura de pont tèrmic i vidre simple de color alumini anoditzat a la part nova i de color verd fosc a la part antiga.

Coberta plana:

Ala de l'edifici corresponent a la primera fase:

Forjat de plaques alveolars sense aïllament amb acabat de làmina asfàltica.

Ala de l'edifici corresponent a la segona fase:

Forjat de plaques alveolars amb acabat de coberta invertida. Planxes d'aïllament de 3cm i acabat de graves.

Solera planta baixa:

Solera recolzada directament sobre el terreny compactat.

Originalment, la façana principal de l'edifici (la façana sud-est) tenia una marquesina a doble alçada que, per una banda protegia de la pluja l'entrada de l'edifici i, per altre, servia de protecció solar per les aules de la planta baixa i planta primera. Aquesta marquesina va ser enretirada i en aquests moments aquesta façana presenta problemes d'enlluernament i d'excés de captació a l'estiu. L'únic sistema de protecció solar d'aquesta façana son les persianes enrotllables, és un sistema que enfosqueix molt l'aula i permet molt poca flexibilitat a l'hora de regular l'excés de sol.

La façana nord-oest, en canvi, disposava originalment de lames verticals per la protecció solar però, per raons que desconeixem, les lames van ser retirades de la planta baixa i només queden en els forats de la planta primera. A la planta segona, les aules tenen persianes enrotllables.

- **Assaig "Blower door":**

Per tal de conèixer l'estanqueïtat de l'edifici, es realitza un assaig "Blower door". Aquest assaig sotmet l'espai analitzat a una pressió constant de 50Pa i en monitoritza les pèrdues d'aire. Es registren les infiltracions d'aire i se'n dedueix la taxa de renovació d'aire, és a dir, la ventilació no controlada de l'edifici. Aquest assaig es fa d'acord a la norma EN ISO 13289 amb un equip del tipus BlowerDoor Minneapolis.

Imatges de l'assaig:

Instal·lació de l'equip



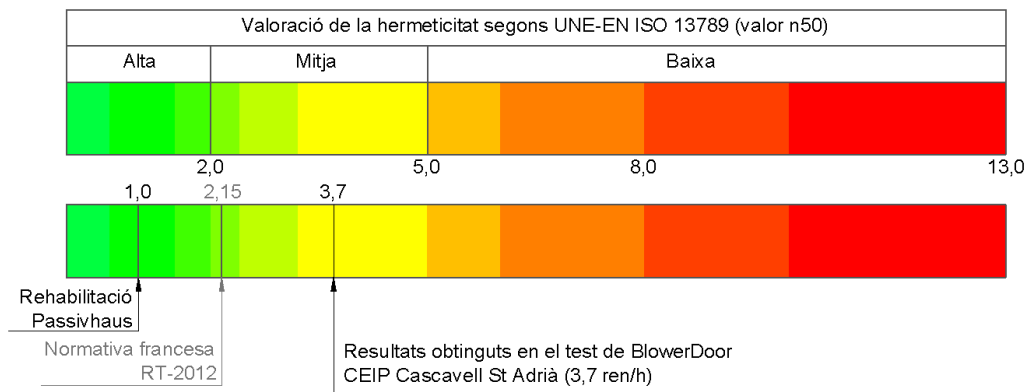
Anemòmetre per detectar infiltracions



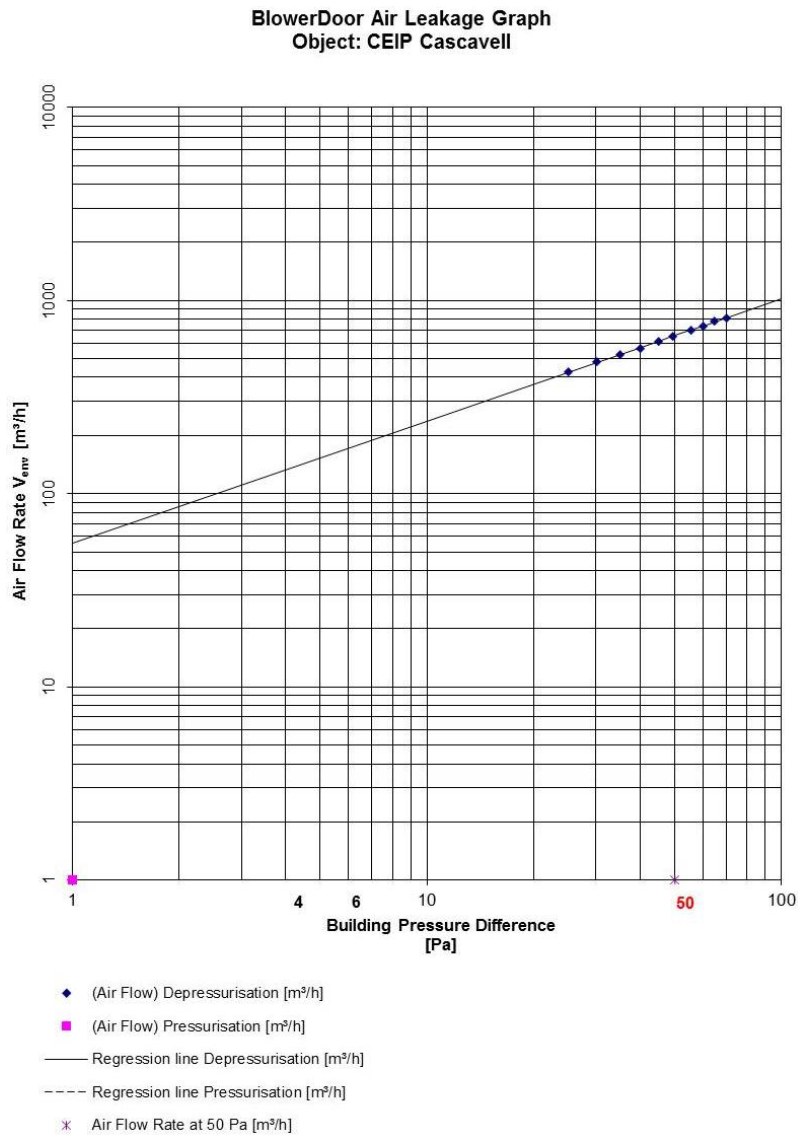
Detecció de punts febles amb gas "traçador"



El resultat de l'assaig determina que $n_{50} = 3,7$ renovacions/h



Aquest resultat posa de manifest que l'hermeticitat de l'edifici és mitja i que les infiltracions d'aire no controlades són de terme mig.



Gràfic de registre de les pèrdues de pressió al llarg de l'assaig

1.2.b. Estat actual de les instal·lacions

- **Calefacció i ACS**

La producció de calor es fa a través de dues calderes centralitzades d'aquestes característiques:

Marca: FERROLI, Model: FGN-133

Potència útil: 154,7 kW (equip molt antic, rendiment baix o molt baix)

Marca: LINEA , Model: 84

Potència útil: 97,7 kW (equip molt antic, rendiment baix o molt baix)

Per l'ACS es disposa d'aquests equips:

Caldera a gas marca Junkers

Potència útil: 24 kW

Escalfadors elèctrics (dues unitats) marca Edesa

Potència 1,8kW, acumulador 150l

Es disposen de dos circuits hidràulics per la distribució d'aigua calenta als radiadors, un d'ells cobreix la zona sud-est i l'altre la zona nord-est.

Aquestes son les característiques de les bombes instal·lades:

Marca: GRUNDFOS

Potència elèctrica unitària: 400 W (4 unitats)

Potència elèctrica unitària: 245 W (1 unitat)

Potència elèctrica total: 1,845 kW

- **Enllumenat:**

La tipologia que predomina a tot el centre és el tub fluorescent de 36W i 58W amb balast convencional. Per l'enllumenat exterior hi ha algunes làmpades d'halogenurs metàl·lics de 250W. La potència total instal·lada és de 39,22kW.

La regulació de l'enllumenat de l'interior de l'edifici es fa manualment adaptant-se a l'horari d'ús de cada sala o aula. L'enllumenat exterior està regulat mitjançant un programador horari diari, amb un horari establert de 19h fins a 8h.

Pels matins, en funcionament normal, l'enllumenat està encès i per la tarda, un cop finalitzat l'horari lectiu, hi ha algunes activitats extraescolars. Els llums romanen encesos durant aquestes activitats. Les operacions de neteja es fan a primera hora del matí abans de l'arribada dels alumnes i requereixen també l'encesa de l'enllumenat.

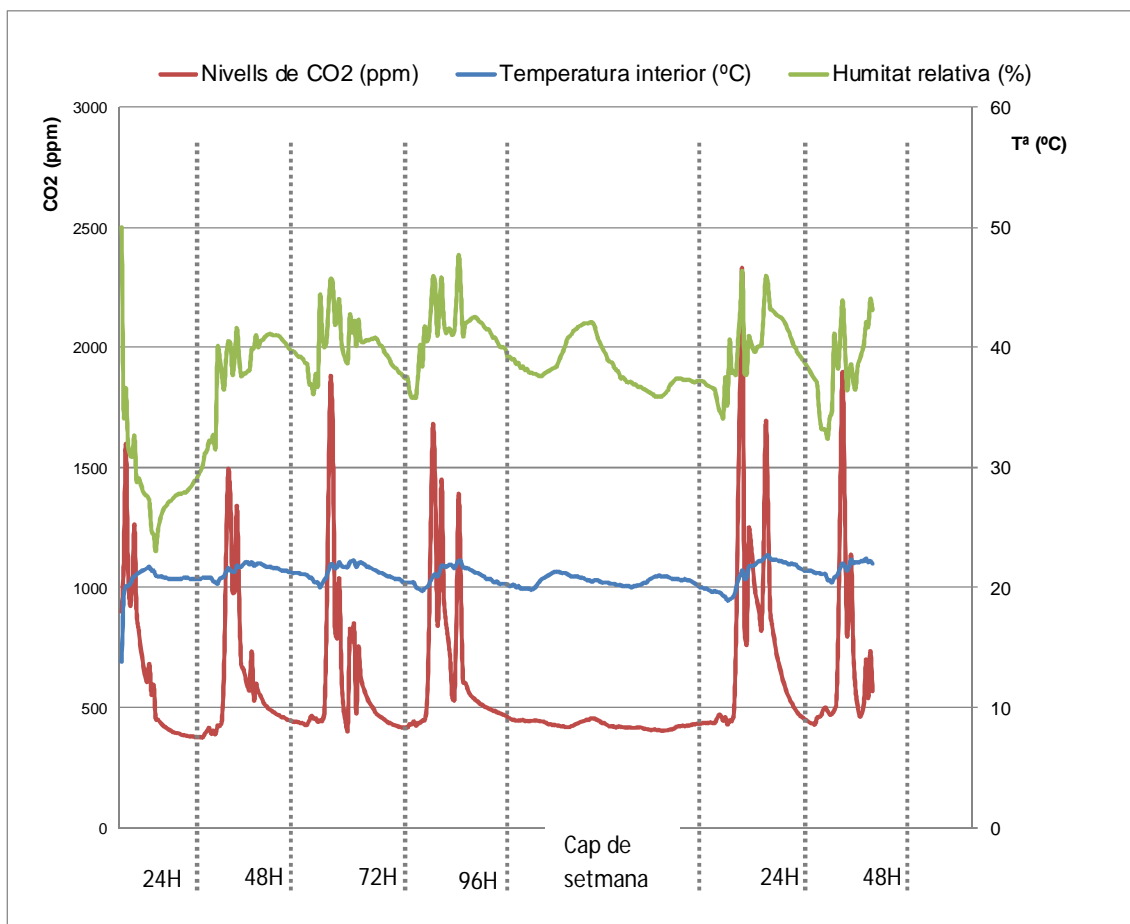
1.2.c. Qualitat de l'aire interior

Es realitza la medició de la qualitat de l'aire amb un equip Wöhler (Mod. CDL 210). Aquest equip registra la temperatura, la humitat i la concentració de CO₂

La lectura de la qualitat de l'aire interior s'ha realitzat simultàniament a l'aula de P3 , a la planta baixa de la part antiga (orientada a nord-oest) i a l'aula de Sisè, a la segona planta de la part nova, orientada també a nord-oest.

Es va registrar la qualitat de l'aire des de dimarts 24 fins al dimarts 1 de desembre de 2015.

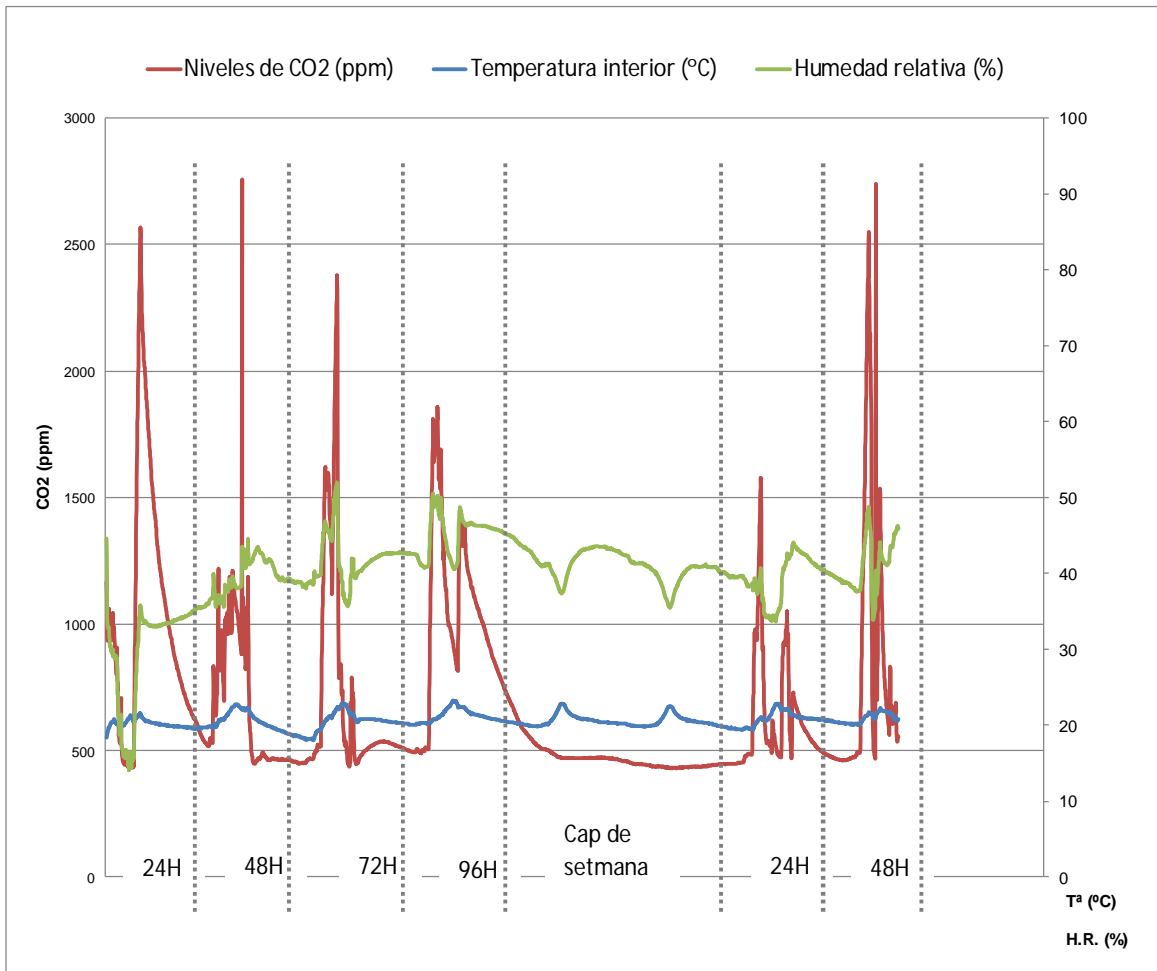
Resultat lectures a aula P3, planta baixa façana nord-oest





Imatges de l'equip mediador a l'aula de P3

Resultat lectures a l'aula de 6è curs (orientació nord-oest)



Imatge de l'aula de 6è a la segona planta de l'edifici nou (façana nord-oest)



La major part de normatives no permeten que la concentració de CO₂ superi els 1500ppm (veure apartat IV d'aquest document).

D'altra banda, cal tenir en compte que l'anàlisi s'ha fet a la tardor per tant es pot deduir que en circumstàncies climàtiques d'hivern, quan les aules no es ventilin, la concentració de CO₂ augmentarà.

S'observa que l'aula de 6è té pics molt alts de CO₂, els alumnes d'aquesta classe son els més grans de l'escola, tot i que el nombre d'alumnes sigui el mateix, al ser més grans produeixen més CO₂. D'altra banda la irregularitat de la lectura posa de manifest que la ventilació de les aules durant el descans de migdia es fa de manera irregular.

1.3.BALANÇ ENERGÈTIC: DEMANDA I CONSUM ENERGÈTIC DE L'EDIFICI

Per analitzar les condicions de confort de l'edifici en l'estat actual s'ha realitzat una primera simulació con l'eina PHPP 8.5 amb els guanyts interns de calor actuals i les condicions de confort que estableix l'estàndard Passivhaus.

- Temperatura de confort a l'hivern: 20°C
- Temperatura màxima de confort a l'estiu: 25°C

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
Superficie de referencia energética		2212,7 m ²	Requerimientos	¿Cumplido?*
Calefacción	Demanda de calefacción	90,9 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	no
	Carga de calefacción	59,0 W/m ²	10 W/m ²	no
Refrigeración	Demanda total refrigeración	kWh/(m ² a)	-	-
	Carga de refrigeración	W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	27,1 %	-	-
Energía primaria <i>sin ref. activa</i>	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	197,0 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	no
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	3,7 1/h	0,6 1/h	no

* Campo vacío: faltan datos; '-': sin requerimiento

Resultats obtinguts de la simulació amb PHPP 8.5 de l'edifici en l'estat actual

Nota: Un valor clau en els càlculs és la superfície de referència energètica. L'eina PHPP discrimina les superfícies en funció de si són o no zones de pas. Aquest balanç comptabilitza la Superfície de Referència Energètica, SRE (aquí 2255,5 m²). Aquesta superfície és diferent a la superfície útil!

La taula següent mostra els resultats de la demanda de calefacció i el consum de gas de l'edifici simulat amb l'eina PHPP i el consum real de gas de l'edifici calculat amb la mitjana de consum dels últims 2 anys.

El consum real de gas de l'edifici inclou el consum per la calefacció i el consum de gas per cuinar. D'aquesta manera, en la simulació en PHPP, també s'ha tingut en compte el consum de gas de la cuina.

PHPP	Demanda calefacció en condicions de confort Passivhaus	90,9 kWh/m ² .a
	Consum de gas per satisfer la demanda calculada en condicions de confort Passivhaus (inclou cuina)	113,6 kWh/m ² .a
Real	Consum de gas (inclou cuina)	88,6 kWh/m ² .a

Taula comparativa entre el consum real de l'edifici i el consum de l'edifici en condicions de confort

Amb la simulació energètica en el seu estat actual, la demanda teòrica de calefacció és de 90,9 kWh/m²a i el consum teòric de gas és de 113,6 kWh/m²a El consum real de gas dels últims anys és de 88,6 kWh/m²a. La diferencia entre el consum de gas real actual de l'edifici i el

consum teòric necessari per satisfer la demanada de calefacció en condicions de confort és del 28%.

Aquesta diferència mostra el desconfort existent a l'edifici durant els mesos d'hivern en el període de calefacció.

2. PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER COMPLIR L'ESTANDARD PASSIVHAUS ADAPTAT AL CLIMA MEDITERRANI

Els requeriments específics per al compliment amb l'estàndard Passivhaus certificable en un procés de rehabilitació són:

Criteri de certificació	Requeriment	
Calefacció	Demanda de calefacció <i>o alternativament</i>	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
	Carrega de calefacció	$\leq 10 \text{ W/m}^2$
Refrigeració	Freqüència de sobreescalfament (25°C)	$\leq 10 \%$
Energia primària	<i>(calefacció, refrigeració, ACS, ventilació, electricitat aux., il·luminació, aparells elèctrics)</i>	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Hermeticitat	Resultat de l'assaig a pressió n50	1,0 ren/h

L'estàndard Passivhaus és molt exigent a l'estiu pel nostre clima. Per aquest motiu proposem un estàndard Passivhaus adaptat al clima mediterrani una mica mes flexible a l'estiu.

Aquest és l'objectiu proposat a l'estiu:

Refrigeració	Freqüència de sobreescalfament (26°C)	$\leq 10 \%$
---------------------	---------------------------------------	--------------

Aquesta premissa s'ha de complir durant el període de funcionament de l'escola (de l'1 de setembre al 15 de juny)

2.1 MESURES D'ACTUACIÓ PER LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTADA AL CLIMA MEDITERRANI

Per aconseguir complir amb l'estàndard Passivhaus adaptat proposem una rehabilitació mitjançant les següents actuacions:

a. Optimització del balanç energètic de les finestres

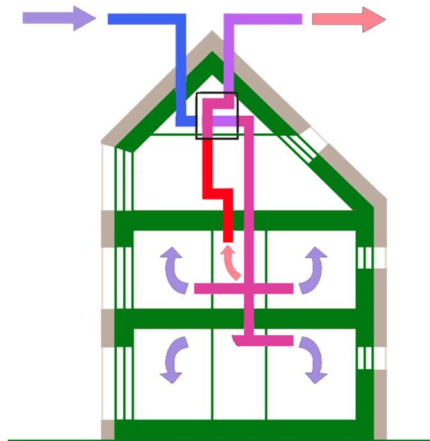
L'estàndard Passivhaus estableix uns criteris de transmissió tèrmica màxims de les finestres ($U_{W,inst}$) per garantir els criteris de confort e higiene segons la zona climàtica. Per tant, l'optimització de les finestres adaptant-se als criteris Passivhaus per a clima càlid mediterrani de Barcelona és la primera proposta de millora de l'edifici. A més, s'estudien diferents possibilitats de col·locació de la finestra per tal de reduir al màxim el pont tèrmic que es produeix en la trobada entre fusteria i façana.



Fusteria d'alumini tipus Passivhaus amb separadors de plàstic tipus TGI

b. Instal·lació de ventilació controlada de doble flux amb recuperador de calor i millora de l'hermeticitat al pas de l'aire

Per minimitzar les pèrdues energètiques a través de la ventilació i millorar la qualitat de l'aire interior es proposa un sistema de ventilació de doble flux amb recuperador de calor d'alta eficiència.



Esquema de funcionament del sistema de ventilació amb recuperador de calor

Els requeriments de ventilació d'aire de l'estàndard Passivhaus son de entre 4,15 i 5,5 l/s per persona. La normativa vigent a l'estat espanyol obliga a una ventilació de 12,5 l/s per persona (Reglament RITE).

Tanmateix, el Departament d'Indústria de la Generalitat accepta un cabal de ventilació per escoles de 8,4 l/s per persona (veure document de treball de la Secretaria d'Indústria sobre sistemes de ventilació en centres escolars).

S'ha dimensionat la xarxa de ventilació per complir amb els cabals proposats per la Secretaria d'Indústria de la Generalitat (8,4l/s-persona) però per l'anàlisi energètic amb l'eina PHPP, s'ha establert que el sistema de ventilació funcionarà a un cabal mínim de ventilació de 4,15 l/s-persona aplicant el criteri Passivhaus per escoles.

En edificis passius es recomana un règim de funcionament amb cabals de ventilació més baixos que els definits per la norma espanyola per garantir la bona qualitat de l'aire i evitar pèrdues energètiques.

Cal recordar que un cabal de ventilació reduït no només minimitza les despeses energètiques sinó que també evita molèsties de corrents d'aire i de soroll. Per això, Passivhaus defineix la tipologia de l'aire interior dels edificis escolars amb a IDA 3 (RITE opta per IDA 2).

D'altra banda, Passivhaus preveu el funcionament sostingut del sistema de ventilació durant les hores de funcionament del centre mentre que els centres a Catalunya amb instal·lacions de ventilació amb cabals superiors en fan un ús intermitent.

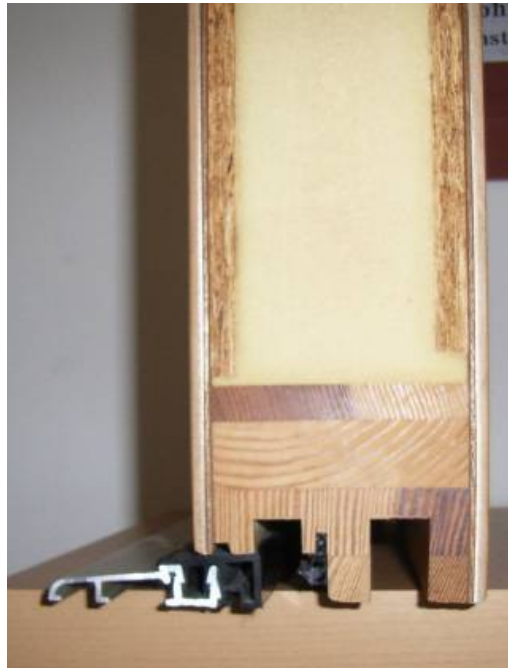
L'hermeticitat al pas de l'aire és un aspecte clau per el correcte funcionament de la ventilació controlada i per l'optimització del balanç energètic en un edifici tipus Passivhaus. Per la certificació en rehabilitació cal assolir un valor de $n_{50} = 1,0$ ren/h en l'assaig del test BLower Door. Es proposen una sèrie de mesures per minimitzar les infiltracions de l'edifici garantint la continuïtat de la línia d'hermeticitat en totes les trobades de l'envolupant tèrmica.

Es garantirà l'hermeticitat al pas de l'aire a les juntes de instal·lació de les finestres amb la façana mitjançant la col·locació de cintes especials de segellat.



Col·locació de bandes de segellat del perímetre de la fusteria

En les portes exteriors es prestarà especial atenció a col·locar a la part inferior de les portes un perfil metàl·lic fixe continu fixat al paviment que garanteix d'una banda l'hermeticitat a l'aire i d'altra banda assegura l'accessibilitat.



Perfil per garantir l'estanqueïtat a l'aire sota les portes

Totes les perforacions de la línia d'hermeticitat de l'envolupant, en especial aquelles derivades de passos de conductes de instal·lacions es segellaran amb productes específics seguint les instruccions del fabricant.



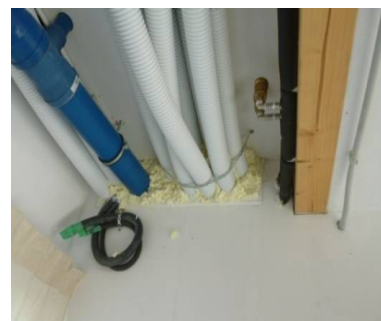
Collaret de ubbink/Siber



Collaret de Eisedicht



Exemple de mala col·locació de conductes



Exemple de mala col·locació de conductes



Exemple de collarets i de col·locació de conductes que travessen la línia d'hermeticitat

c. Millora de l'aïllament de l'envolupant tèrmica i optimització dels ponts tèrmics

Un cop reduïda la demanda energètica de l'edifici amb les mesures exposades anteriorment, s'optimitza l'aïllament de la part massissa de l'envolupant per arribar als valors establerts per l'estàndard Passivhaus de demanda de calefacció. Es planteja la col·locació de un SATE (Sistema d'Aïllament Tèrmic per la cara Exterior) que garanteix l'eliminació dels ponts tèrmics constructius (per exemple, trobada entre façana i forjats).

d. Optimització dels elements d'ombra i ventilació addicional nocturna

Per minimitzar la freqüència de sobreescalfament de l'edifici per sobre dels 26°C es proposen les següents solucions passives de millora:

- Optimització dels elements d'ombrejament temporal
- Plantejament d'un escenari factible de ventilació addicional nocturna per refrigerar l'edifici de forma passiva durant la nit a través de les finestres.

2.2 RESULTATS DE L'ESTAT ACTUAL

Per analitzar l'impacte de cadascuna de les propostes de millora de l'optimització Passivhaus en l'edifici, es simula l'edifici amb els criteris oficials establerts per l'estàndard Passivhaus en escoles:

- Guany interns de calor a l'hivern: 2,8 W/m² (estàndard Passivhaus)
- Guany interns de calor a l'estiu: 2,8 W/m² (estàndard Passivhaus)
- Temperatura de confort a l'hivern: 20°C (estàndard Passivhaus)
- Temperatura màxima de confort al llarg de l'estiu: 26°C (criteri modificat)

Pel càlcul del consum elèctric de l'edifici s'han considerats tots els equips electrònics (ordinadors, monitors, projectors, pantalles digitals, ascensors, etc...) en la simulació amb l'eina PHPP 8.5 descrits a l'Annex II.

Els resultats obtinguts en aquesta simulació difereixen dels resultats presentats a l'apartat 1.3 perquè els guanys interns de calor considerats són diferents. En aquest apartat es consideren els guanys de calor establerts com a estàndard en el procés de certificació Passivhaus.

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
	Superficie de referencia energética	2212,7 m ²	Requerimientos	¿Cumplido?*
Calefacción	Demanda de calefacción	92,8 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	no
	Carga de calefacción	59,0 W/m ²	10 W/m ²	no
Refrigeración	Demanda total refrigeración	kWh/(m ² a)	-	-
	Carga de refrigeración	W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 26 °C)	8,8 %	-	-
Energía primaria	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	199,6 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	no
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	157 kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	3,7 1/h	0,6 1/h	no

* Campo vacío: faltan datos; '-': sin requerimiento

Resultats obtinguts de la simulació amb PHPP 8.5 de l'edifici en estat actual amb els criteris esmentats

2.3 ANÀLISI DE LES PROPOSTES PER A LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT A CLIMA MEDITERRANI

S'analitzen en aquest apartat una sèrie de millores passives, ordenades per propostes vinculades a la reducció de la demanda de calefacció i d'altres de millora del confort a l'estiu. Es parteix de la simulació de l'edifici en l'estat actual amb l'eina PHPP (veure Annex II). Un cop simulat l'edifici en l'estat actual, es simula introduint cadascuna de les propostes de millora de manera correlativa. Els resultats obtinguts són acumulatius.

PROPOSTA DE MILLORES PER L'OPTIMIZACIÓ DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓ:

a. Optimització del balanç energètic de les finestres

Es proposa la substitució de la fusteria actual de l'edifici. La fusteria de portes i finestres serà substituïda per fusteria tipus Passivhaus per climes càlids. Aquesta perfilaria incorporarà separadors de plàstic del tipus TGI (veure imatge) per garantir l'estanqueïtat de l'entrega entre la façana i la fusteria.

MILLORES	ESTAT INICIAL
Finestres d'alumini tipus Passivhaus Uf=1,3W/m ² K; Ug=1,0W/m ² K; g=0,38	Finestres d'acer existents Uf=5,7W/m ² K; Ug=5,8W/m ² K; g=0,60
Separadors de plàstic (tipus TGI)	Vidre simple
Millora del pont tèrmic de instal·lació de les finestres (sobre l'aïllament)	Instal·lació de les finestres sobre el tancament ceràmic

*Uf: Transmissió tèrmica del marc (W/m²K)

*Ug: Transmissió tèrmica del vidre (W/m²K)

*g: Factor solar del vidre (%)

La següent taula mostra el balanç energètic d'elles finestres (relació entre pèrdues i guanys per radiació solar) a l'estat actual i a l'estat rehabilitat segons les millores plantejades. Les quatre files corresponen a les obertures col·locades en diferents orientacions segons aquest ordre (de dalt a baix): Nord, Est, Oest, Sud i pla horitzontal. El resultat final de cada taula es refereix al total de cada paràmetre.

Estat actual

Pèrdues per transmissió	Guanys de calor per radiació solar
kWh/a	kWh/a
10116	797
18110	3559
12502	2554
13396	3803
0	0
54124	10714

Estat rehabilitat

Pèrdues per transmissió	Guanys de calor per radiació solar
kWh/a	kWh/a
1872	571
3401	2604
2328	1880
2611	2739
0	0
10212	7794

Per calcular la influència en la demanda de calefacció de l'optimització de les finestres s'ha simulat l'edifici amb l'eina PHPP modificant els paràmetres energètics de les finestres (Uf, Ug, g , pont tèrmic en el perímetre del vidre i pont tèrmic de la instal·lació de la fusteria) segons les millores proposades. (veure Annex II, document "Escola Cascavell Sant Adrià, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb eina PHPP)

El resultat de la demanda de calefacció a la simulació de l'edifici amb les noves finestres es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en el seu estat actual:

L'optimització del balanç energètic de les finestres suposa un estalvi en la demanda de calefacció de 31,5 kWh/m²a

b. Ventilació mecànica de flux doble i millora de l'hermeticitat al pas de l'aire

S'incorpora un sistema de ventilació controlada de doble flux amb recuperació de calor per tal de reduir les pèrdues energètiques a través de la ventilació, i per millorar el confort dels alumnes i la qualitat de l'aire a les aules. Es preveu que la xarxa de ventilació funcioni 8 hores diàries a l'hivern en mode de doble flux i 8 h diàries a l'estiu només en mode d'extracció. És molt important apagar el sistema de ventilació controlada durant els temps de desocupació de l'edifici, per estalviar en els consums elèctrics dels ventiladors. El funcionament del sistema de ventilació serà regulat per un sistema de gestió automatitzat.

Aquest sistema es combina amb una reducció de les infiltracions millorant l'hermeticitat de l'edifici per aconseguir així el valor exigít per l'estàndard ($n_{50}=1,0/h$). La reducció de les pèrdues energètiques s'aconsegueix mitjançant bandes especials per a l'hermeticitat en la instal·lació de les finestres i collarets de segellat per als conductes de instal·lacions que travessen l'envolupant tèrmica. A més, s'ha de definir la capa de guix interior com a línia d'hermeticitat a l'aire. Aquesta capa ha de ser continua. S'han de corregir possibles desperfectes en la capa de guix.

Per calcular la influència en la demanda de calefacció de l'edifici de la instal·lació del sistema de ventilació, s'ha simulat l'edifici introduint les dades del sistema de ventilació amb una eficiència del recuperador de calor del 75% - eficiència mínima recomanada a l'estàndard Passivhaus i modificant el valor de les infiltracions n_{50} des de 3,7 ren/h (obtingut en el test Blower Door en l'estat actual) fins a 1,0 ren/h (màxim establert en l'estàndard Passivhaus per rehabilitació d'edificis) - (veure Annex II, document "Escola Cascavell St Adrià, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb eina PHPP").

El resultat de la demanda de calefacció en la simulació de l'edifici amb el sistema de ventilació es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en l'estat anterior, es a dir, l'edifici un cop optimitzades les finestres:

La instal·lació d'un sistema de ventilació controlada amb recuperació de calor i la millora de l'hermeticitat suposen un estalvi en la demanda de calefacció de 12,6 kWh/m²any (respecte a l'edifici actual combinat amb les mesures anteriors).

c. Optimització de l'aïllament de l'envolupant tèrmica

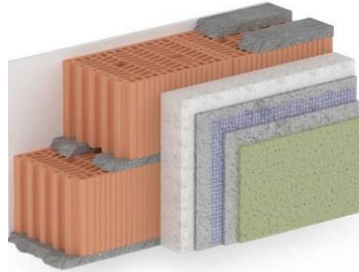
- Aïllament per l'exterior en façana i en coberta

Es proposa la instal·lació d'un sistema SATE. Es tracta d'un revestiment per l'exterior de l'edifici amb unes planxes d'aïllament tipus EPS de 5 cm de gruix, aconseguint una transmitància tèrmica de la façana de 0,041 W/ m²K (la part més moderna) i 0,584 W/ m²K (la part antiga). Aquest revestiment cobrirà les parts de l'estructura que en aquest moment apareixen en façana i n'anul·larà els ponts tèrmics. Igualment, quedaran protegits la resta de punts febles: brancals, dintells, ampits de les finestres i caixes de persianes.

L'acabat exterior de la planxa d'aïllament es fa amb diferents capes de morter que garanteixen l'adherència i flexibilitat del revestiment en la seva vida útil. L'aspecte és el d'un morter tipus

monocapa, en aquest cas el morter d'acabat haurà de ser de color blanc o blanc trencat per tal d'evitar el sobreescalfament a l'estiu.

Per l'optimització de l'aïllament en coberta es proposa la instal·lació d'un aïllament tipus EPS de 8 cm de gruix en una solució de coberta ventilada. Un major gruix de l'aïllament en coberta redueix les pèrdues energètiques per transmissió a l'hivern i els guanys solars per radiació a l'estiu. La transmissió tèrmica aconseguida a la coberta és de 0,170 W/m²K.

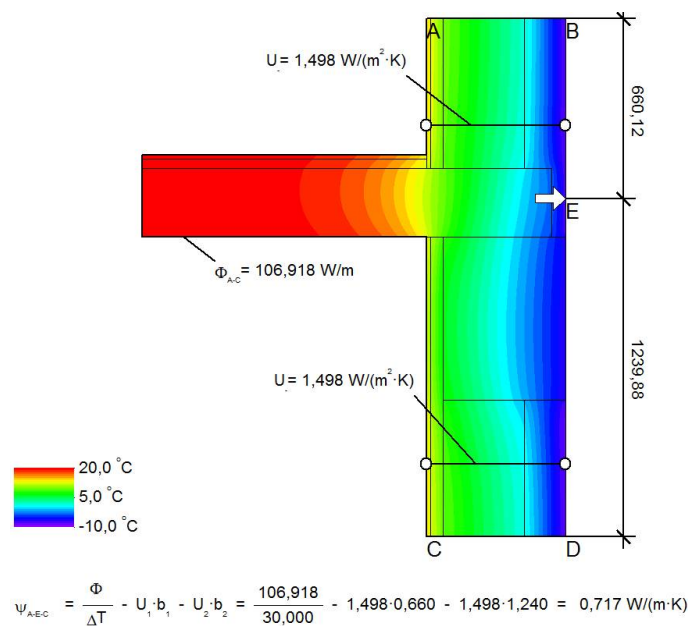


Imatge instal·lació sistema SATE

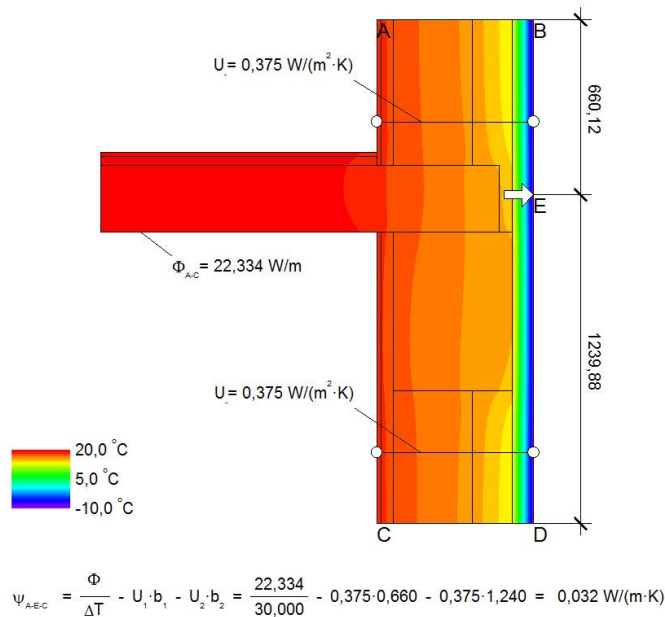
Analitzant a nivell energètic el comportament de l'edifici a l'estiu, es proposa no actuar a nivell de l'aïllament de la solera per no perjudicar la dissipació de calor cap al terreny.

- Optimització dels ponts tèrmics constructius

Es realitza un càlcul amb l'eina Fliso energy v.7 per estudiar el pont tèrmic de la trobada del forjat amb la façana i la trobada entre fusteria i façana. En l'annex II s'inclou el detall dels resultats.



Distribució de temperatures en l'envolupant de l'edifici en l'estat actual



Distribució de temperatures en l'envolupant de l'edifici millorat

La millora de l'aïllament amb la col·locació d'un sistema SATE per l'exterior redueix el pont tèrmic que es produeix en la trobada entre la façana i els forjats entremitjos de 0,599 W/mK fins a 0,033 W/mK.

Tenint en compte que la longitud d'aquest pont tèrmic és de **454 m** i la diferència entre la transmitància lineal en el seu estat actual i l'estat optimitzat és de 0,805 W/mK, la millora del pont tèrmic equival a un gruix d'aïllament suplementari de 120mm ($\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$).

La solució adoptada d'aïllar per l'exterior amb un sistema SATE comporta la reducció dels ponts tèrmics geomètrics de l'edifici. Si l'opció adoptada fos aïllar per l'interior seria necessari utilitzar 120mm d'aïllament en lloc dels 50 mm proposats per arribar a reduir al mateix nivell les pèrdues de calor per transmissió en façana.

La optimització de l'aïllament de l'envolvent tèrmica suposa un estalvi en la demanda de calefacció de 35,7 kWh/m²a (respecte a l'edifici actual combinat amb les mesures anteriors)

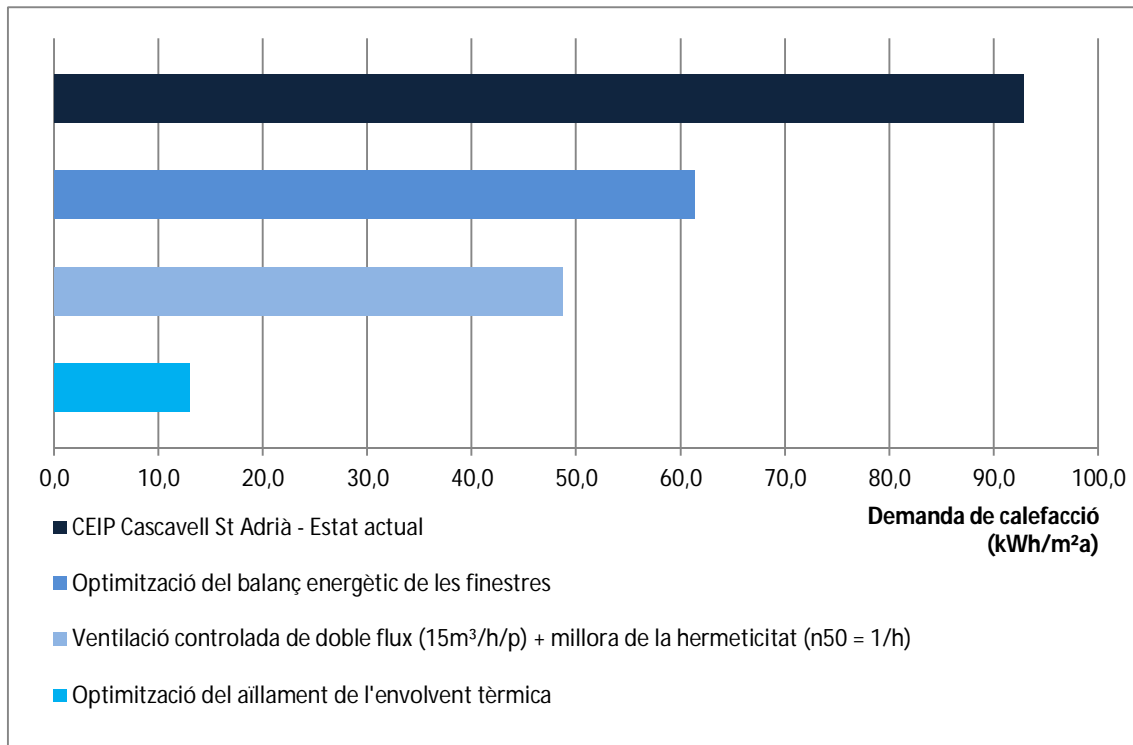
RESUM DE LES MILLORES PER LA OPTIMIZACIÓ DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓ :

La taula i gràfica següents mostren la progressiva reducció de la demanda de calefacció de l'edifici que s'obté amb cadascuna de les propostes de millora descrites anteriorment.

CEIP Cascavell (Sant Adrià)	Demanda energètica de calefacció (kWh/m²a)	Freqüència de sobreescalfament sobre 26°C (%)	PASSIVHAUS
ESTAT INICIAL	92,8	8,8	NO
a. Optimització del balanç energètic de les finestres	61,3	8,6	NO
instal·lació de la ventilació controlada de doble flux amb millora de la hermeticitat	48,7	8,6	NO
optimització del aïllament de l'envolupant tèrmica i dels ponts tèrmics	13	12,7	NO

Taula resum de la disminució de la demanda de calefacció que suposa cadascuna de les millores proposades

Incidència de les mesures en la demanda de calefacció



Gràfic resum de la disminució de la demanda de calefacció que suposa cadascuna de les millores proposades

El total de les actuacions proposades per la rehabilitació Passivhaus de l'escola suposen un estalvi en la demanda de calefacció de 79.8 kWh/m²a (un 86% de la demanda de calefacció en l'estat actual).

PROPOSTA DE MILLORES PER LA OPTIMITZACIÓ DEL CONFORT A L'ESTIU:

Per arribar a complir amb la solució Passivhaus adaptat a clima mediterrani, cal reduir la freqüència de sobreescalfament per sobre de 26° fins el 10%.

a. Ventilació addicional nocturna per la refrigeració a l'estiu

Es proposa un escenari de ventilació addicional nocturna durant l'estiu. Es planteja que es realitzi una ventilació natural a través de les finestres al llarg de la nit de 1 ren/h per refrigerar l'interior de forma passiva. Aquest escenari de ventilació nocturna es produiria amb l'obertura oscil·lant de les finestres de forma manual per part del conserge de l'escola. Aquesta estratègia està estretament lligada al compliment del protocol d'actuació definit en fase de projecte i aprovat pel mateix usuari (per exemple: el conserge obre les finestres per la nit i es torna a tancar pel matí de l'endemà)

Per calcular la influència en la freqüència de sobreescalfament de l'edifici de la ventilació nocturna, s'ha simulat l'edifici incloent una ventilació nocturna durant l'estiu de 1 ren/h (veure Annex II, document "Escola Cascavell Sant Adrià, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb eina PHPP 8.5).

El resultat de la freqüència de sobreescaïfament de l'edifici amb l'estratègia de ventilació addicional nocturna a l'estiu es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en el seu estat anterior, és a dir, després de l'aplicació de les mesures per reduir la demanda de calefacció.

La ventilació addicional nocturna plantejada suposa una reducció de la freqüència de sobreescaïfament per sobre de 26°C del 2,2%.

b. Millora de la protecció solar

Igualment, es preveu la instal·lació d'elements de protecció solar a les façanes Sud-oest i Sud-est. Es proposa un sistema de tendals per protegir la captació solar a través de les finestres. Al suprimir-se les caixes de persiana, caldrà incorporar cortines a l'interior que permetin enfosquir puntualment.

Per calcular la influència en la freqüència de sobreescaïfament de l'edifici de la millora de la protecció solar, s'ha simulat l'edifici incloent elements d'ombra regulables amb un factor de reducció solar del 35% en les obertures orientades a Sud, Est i Oest (veure Annex II, document "Escola Cascavell a St Adrià, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb eina PHPP 8.5). El resultat de la freqüència de sobreescaïfament de l'edifici amb la protecció solar a l'estiu es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en el seu estat anterior, és a dir, després de l'aplicació de les mesures per reduir la demanda de calefacció.

La protecció solar suposa una reducció de la freqüència de sobreescaïfament per sobre de 26°C del 2,1%.

CEIP Cascavell (Sant Adrià)	Demanda energètica de calefacció (kWh/m ² a)	Freqüència de sobreescaïfament sobre 26°C (%)	PASSIVHAUS
OPTIMIZACIÓ PER A L'HIVERN	13	12,7	NO
Ventilació addicional nocturna per la refrigeració a l'estiu	13	10,5	NO
Millora de la protecció solar en les aules	13	8,4	SI

c. Millora de l'eficiència energètica dels equips d'il·luminació a les aules

La instal·lació d'un sistema de ventilació controlada de doble flux amb recuperador de calor comporta un augment del consum d'energia elèctrica de l'edifici degut al consum dels ventiladors.

Es proposa l'optimització del sistema d'enllumenat de les aules (33% de la superfície útil de l'edifici) per tal de complir els requeriments de VEEI (valor d'eficiència energètica de la instal·lació) establerts pel CTE en el DB-HE 3.

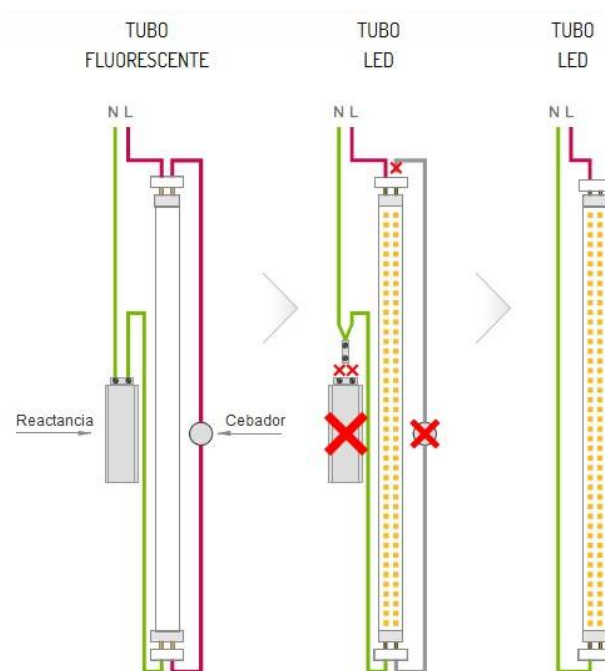
Es proposa la substitució de les làmpades fluorescents existents a les aules de 36 W de potència per tubs LED de 18 W de potència sense necessitat de substituir les lluminàries. Es substitueixen un total de 328 làmpades. La superfície de les aules correspon al 33% de la superfície de l'edifici. Amb aquesta mesura es millora el VEEI de l'enllumenat de les aules de 4,6 fins a 2,6 (el límit màxim establert per aules i laboratoris és de 3,5) i es compensa l'augment del consum elèctric provocat per la instal·lació del sistema de ventilació mecànica.

CEIP Cascavell (Sant Adrià)	Consum de energia elèctrica (kWh/m ² a)	Estalvi energètic (kWh/m ² a)	PASSIVHAUS
ESTAT ACTUAL	23,6		SI
Consum elèctric dels ventiladors de la ventilació mecànica de doble flux	25,5	-1,9	
Millora de la eficiència de l'enllumenat a les aules	22,5	3,0	

Balanç del consum d'electricitat de la rehabilitació Passivhaus adaptat al clima mediterrani

Luminaria a substituir	Potència	Luminaria equivalència LED	% de Ahorro energètic
 Tubos fluorescentes T8 * Cocinas, garajes y oficinas	18W	 9W 18W 23W	55%-60%
	36W		55%-60%
	58W		55%-60%
 Tubos fluorescentes T5 * Cocinas, garajes y oficinas	xxW	 8W 12W 18W	55%-60%
	xxW		55%-60%
	xxW		55%-60%

Taula comparativa entre la potència dels tubs fluorescents convencionals i els tubs LED



Esquema de substitució de tubs convencionals per tubs LED

2.4 RESULTATS I CONCLUSIONS

En la simulació final de l'edifici un cop rehabilitat per complir l'estàndard Passivhaus adaptat a clima mediterrani amb l'eina PHPP 8.5 s'obtenen els següents resultats:

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año			
	Superficie de referencia energética	2212,7 m ²	
Calefacción	Demanda de calefacción	13,0 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a) si
	Carga de calefacción	13,4 W/m ²	10 W/m ² -
Refrigeración	Demanda total refrigeración	kWh/(m ² a)	-
	Carga de refrigeración	W/m ²	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 26 °C)	8,4 %	-
Energía primaria	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	85,0 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a) si
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	51 kWh/(m ² a)	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	1,0 1/h	0,6 1/h no

* Campo vacío: faltan datos; '-': sin requerimiento

Resultats obtinguts de la simulació amb PHPP 8.5 de l'edifici optimitzat per la rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani

*Nota: Els criteris de l'estàndard Passivhaus per rehabilitació en hermeticitat modifiquen els requeriments del resultat de l'assaig de pressió n50 a 1,0 1/h

- La demanda de calefacció es redueix des de 92,8 kWh/m²a fins a 13 kWh/m²a
- Es redueix la freqüència de sobreescalfament per sobre de 26°C fins al 8,4%
- La demanda d'energia primària es redueix de 199,6 kWh/m²a 85,0 kWh/m²a
- Les emissions de CO₂ es redueixen de 39,8 kg/m²a a 20,5 kg/m²a

La reducció de la demanda de calefacció i l'optimització de la il·luminació de les aules suposa una reducció de la demanda d'energia primària i de les emissions de CO₂ de l'edifici.

L'energia primària és aquella que es troba disponible a la natura, podent distingir-se entre energia renovable o energia fòssil (no renovable). En el procés de transformació d'aquesta energia primària en energia final consumida pels edificis es produeixen despeses d'operació de plantes, transport, pèrdues, accidents, etc. Per tant, la quantitat d'energia primària que entra al sistema serà sempre superior a l'energia final consumida. A més, cal tenir en compte que durant el procés es produeixen impactes ambientals i contaminació que ha de ser tractada i eliminada amb mitjans humans i tècnics, el cost dels quals caldria comptabilitzar com una partida més imputable al cost de producció de l'energia.

Pel càlcul de l'energia primària d'un edifici a partir de la seva demanda d'energia final s'apliquen uns factors de conversió en funció de la font d'energia utilitzada.

TIPUS D'ENERGIA	FONT D'ENERGIA	FACTOR EP (fonts d'energia renovable)
Combustible	Gas natural	1,1
Combustible	GLP	1,1
Combustible	Fusta (Biomassa)	0,2
Electricitat	Xarxa	2,6

Segons normativa vigent al desembre 2015

El factor de conversió d'energia final a emissions de CO₂ (g CO₂/kWh) s'obté a partir del factor de conversió d'energia final a energia primària (kWh e.primària/ kWh e.final) i el factor d'emissions de CO₂ específic de cada combustible segons el seu factor d' oxidació (g CO₂/kWh). Pel càlcul de les emissions de CO₂ d'un edifici a partir de la seva demanda d'energia final, s'apliquen els següents factors de conversió:

TIPUS D'ENERGIA	FONT D'ENERGIA	Factor de emissió de CO₂ (g/kWh)
Combustible	Gas natural	250
Combustible	GLP	270
Combustible	Fusta (Biomassa)	55
Electricitat	Xarxa	680

Segons normativa vigent al desembre 2015

2.5 COST ECONÒMIC

A continuació es descriu l'estimació pressupostària de la rehabilitació i la possible contribució del Programa PAREER CRECE de l'IDAE.

REHABILITACIÓ ENERGÈTICA DE L'ESCOLA CASCVELL: ESTIMACIÓ DE COSTOS

Partida	Ctat		PEM	TOTAL PEM	TOTAL PEC	CONTRIBUCIÓ PAREER-CRECE	IMPORT SUBVENCIÓ
			€/ut	€/ut	€/ut		
EDIFICI PRINCIPAL (EDUCACIÓ PRIMÀRIA)							
SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA							
Retirada finestres, premarcs i ampits existents	525	m2	10	5.252	5.777		
Col·locació nous premarcs	1239	ml	10	12.390	13.629		
Enguixat brancals i pintat	496	m2	16	7.929	8.722		
Ampit exterior de pedra	280	ml	30	8.408	9.249		
Ampit interior de DM esmaltat	280	ml	30	8.408	9.249		
Fusteria d'alumini Standard PH	525	m2	270	141.795	141.795		
Vidre segons característiques	525	m2	70	36.762	40.438		
Tendals exteriors	525	m2	123	64.596	71.055		
Cortines tipus foscurit	525	m2	35	18.381	18.381		
TOTAL SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA				303.920	318.294	50%	159.147
INSTAL·LACIÓ VENTILACIÓ*							
Xarxa de ventilació				132.902	146.192	0,5	73.096
MILLORA HERMETICITAT							
Encintat perímetre envolupant				9.912	11.795	0,5	5.897
SATE							
	1408	m2	67	94.308	94.308	50%	47.154
CANVI LÀMPADES							
					12.308	30%	3.692
CANVI CALDERES							
	2	Ut	2622	5.244	5.244	50%	2.622
ALTRES							
Instal·lació sistema de control calefacció					10.000		
AÏLLAMENT COBERTA							
	1237	m2	56	69.248	76.173	50%	38.086
IMPORT TOTAL DE L'OBRA					674.314		
IMPORT DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER							329.695
COST FINAL EDIFICI PRIMÀRIA (DESCONTANT AJUDA)					344.619		

DESPESES PROJECTE I DIRECCIÓ D'OBRA

PROJECTE EXECUTIU PER SOL.LICITUD DE SUBVENCIO	17.900	0,5	8.950
CERTIFICACIÓ ENERGÈTICA EDIFICI EXISTENT	1.800	0,5	900
DIRECCIÓ D'OBRA	42.000	0,5	21.000
ESTUDI DE GESTIÓ DE RESIDUS	1.000	0,5	500
PLA DE CONTROL DE QUALITAT	1.500	0,5	750
ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT	2.000	0,5	1.000
COORDINACIÓ DE SEGURETAT I SALUT	6.000	0,5	3.000
TOTAL DESPESES PROJECTE	72.200		
IMPORT TOTAL DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER			36.100
TOTAL FINAL DESPESES PROJECTE (DESCONTANT AJUDA)	36.100		

DESPESES OPCIONALS

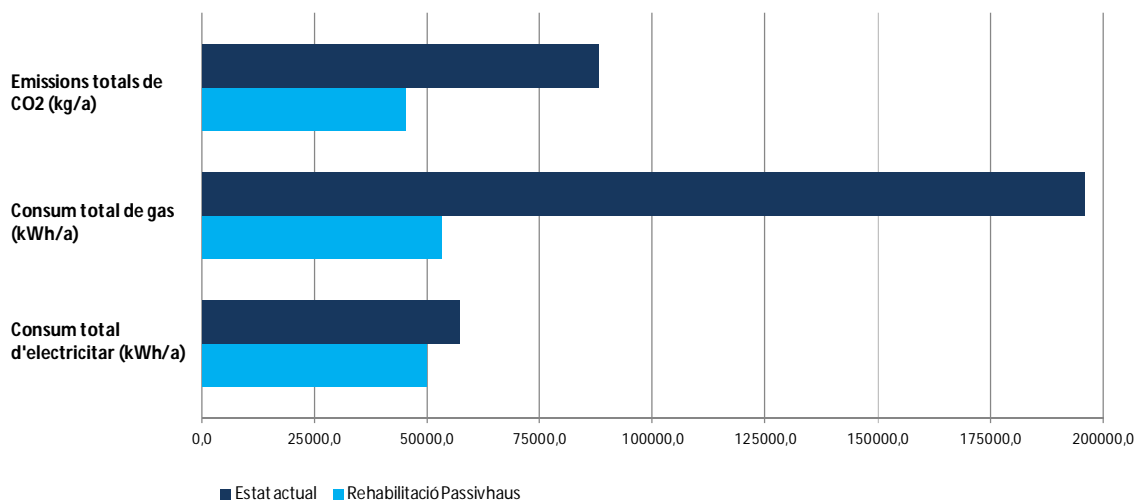
CERTIFICACIÓ PASSIVE HAUS	13.000		
---------------------------	--------	--	--

Aquest pressupost no inclou l'IVA. Les despeses generals i el benefici industrial ha estat adaptat en cada cas segons l'experiència dels autors. Es tracta d'un pressupost orientatiu realitzat a partir d'un estudi preliminar de la rehabilitació

** Pressupost aproximat de subministrament i instal·lació d'un sistema de ventilació de doble flux amb recuperació de calor zonificat per plantes amb una xarxa de ventilació separada pels banys.*

2.6 ANÀLISI FINANCER DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT A CLIMA MEDITERRANI

Anàlisi dels consums energètics amb la rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani



Reducció dels consums energètics de la proposta de rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani

Estalvis energètics de la rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani:

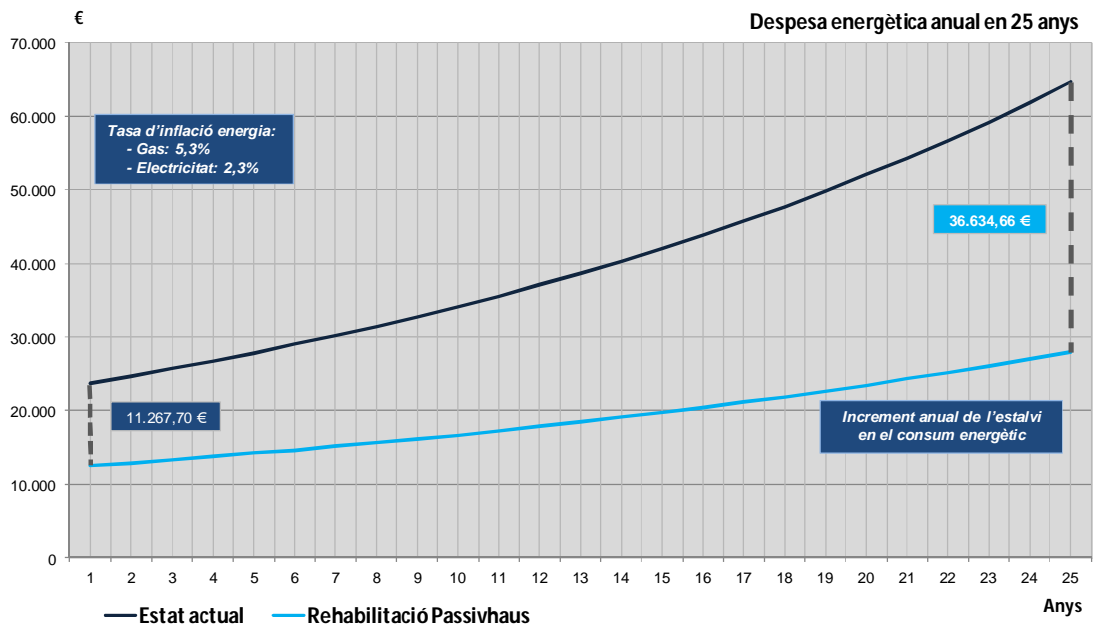
- Estalvi en el consum de gas anual: 142.732 kWh (-73%)
- Estalvi en el consum d'electricitat anual: 7517,3 kWh (-13%)
- Reducció d'emissions de CO₂ anual: 42.595 kg (-48%)

L'anàlisi de l'estalvi es fa preveient una taxa d'inflació del 5,3% en el cost del gas i d'un 2,3% en el cost de l'electricitat, basat en l'evolució d'aquets preus en els últims 4 anys.

S'ha calculat l'estalvi energètic de l'edifici després de la rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani tenint en compte la reducció del consum de gas i electricitat de l'edifici simulat respecte al consum actual promig dels últims 2 anys.

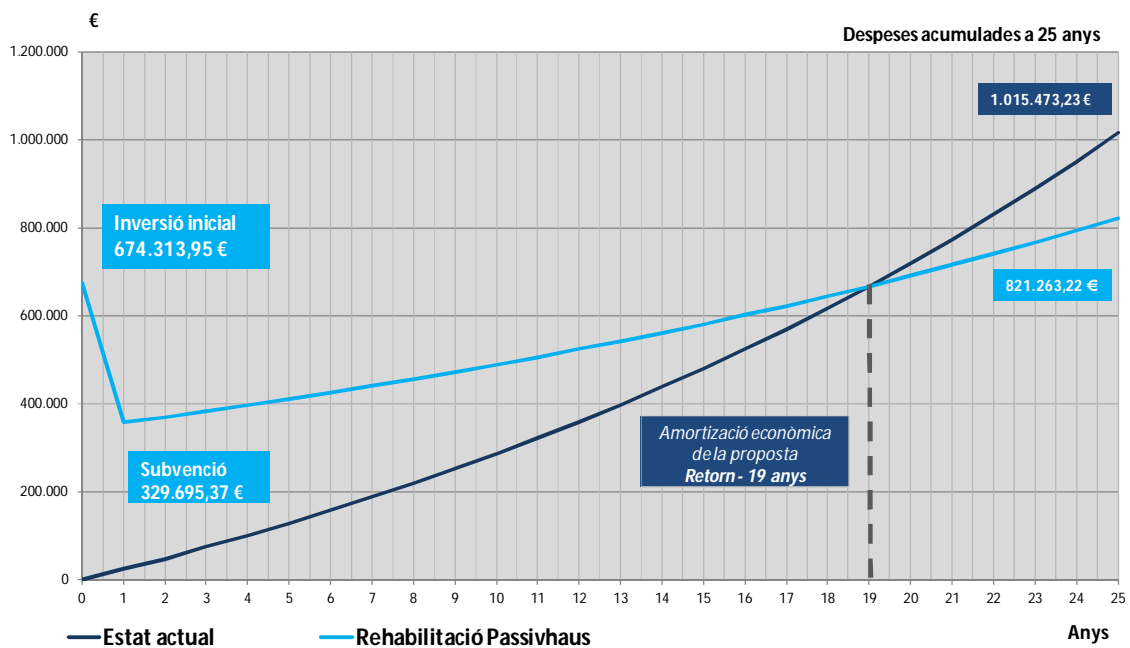
Per calcular l'estalvi econòmic s'ha considerat el preu mig del gas i electricitat que ha estat pagant l'escola al llarg dels últims 2 anys (a partir de les dades de les factures) i una taxa d'inflació del preu de l'energia calculada amb l'evolució del preu bianual del gas i l'electricitat segons Eurostat.

Increment anual de l'estalvi en el consum energètic



Amortització de la inversió de la rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani

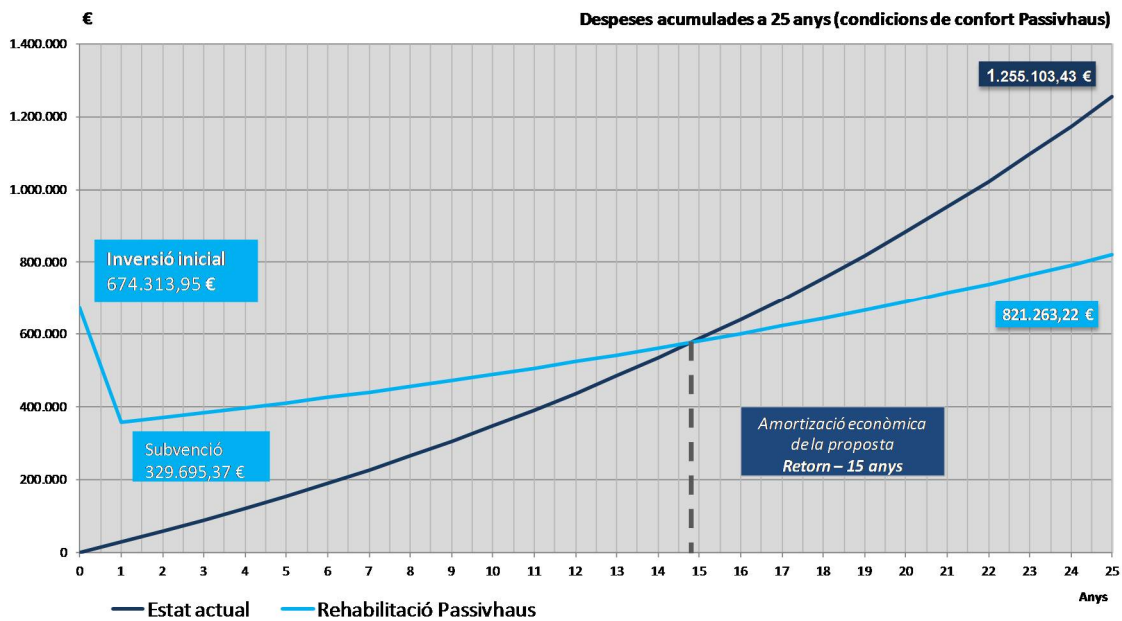
Aquesta gràfica mostra els consums anuals acumulats per l'edifici en el seu estat actual i per l'edifici millorat simulat amb l'eina PHPP 8.5 després del procés de rehabilitació Passivhaus adaptat al clima mediterrani. En els consums acumulats es consideren els costos energètics de l'edifici (gas i electricitat) tenint en compte la taxa d'inflació anual del preu de l'energia, no és té en compte el cost d'oportunitat (tipus d'interès). S'han realitzat els càlculs d'amortització de cadascuna de les opcions segons la norma ISO 15686-5.



Aquesta gràfica correspon a la hipòtesi de rebre l'ajuda corresponent al Pla PAREER CRECE al cap d'un any de la rehabilitació.

L'amortització s'ha calculat respecte al consum energètic de l'edifici en l'estat actual de desconfort en el qual el consum és inferior al necessari per obtenir les condicions de confort Passivhaus. En la següent gràfica es fa el càlcul de l'amortització considerant que l'edifici es troba en les condicions de confort Passivhaus.

Amortització de la inversió de la rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani si l'edifici estigués en condicions de confort



Nota: En ambdós gràfics d'amortització s'ha considerat el cost PEC de la rehabilitació (no inclou IVA ni despeses de projecte)

Es comprova que l'amortització de la inversió és més curta, prenent com a referència l'edifici actual però en condicions de confort Passivhaus: temperatura a l'hivern de 20°C i a l'estiu de 26°C.

3. PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER COMPLIR L'ESTANDARD PASSIVHAUS CERTIFICABLE

Esgotant totes les estratègies passives, segons l'eina PHPP no és possible reduir la freqüència de sobreescalfament a l'estiu per sobre dels 25°C per sota del 10%. En aquest cas, per obtenir la certificació Passivhaus és obligatori instal·lar un sistema de refrigeració.

Per complir l'estàndard Passivhaus certificable cal dur a terme les mateixes actuacions que per complir l'estàndard adaptat al clima mediterrani, afegint a més una instal·lació de refrigeració activa per l'estiu.

3.1 ANÀLISI DE LES PROPOSTES PER A LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE

a. Sistema de refrigeració activa

Instal·lació d'un sistema de refrigeració activa: VRV (multi-Split) de cabal variable de refrigerant amb una unitat exterior i unitats interiors a les aules amb control independent en cada aula.



Bomba de calor VRV, $P_{ref} = 61,5 \text{ kW}$, $EER = 3,77$ y $SEER = 7,07$

El consum elèctric de l'edifici augmenta en 8,0 kWh/m² degut al consum elèctric del sistema de refrigeració activa considerant el consum de la producció en fred de la bomba de calor VRV i el consum de les unitats fan-coils individuals.

CEIP Cascavell (Sant Adrià)	Consum de energia elèctrica (kWh/m ² a)	Estalvi energètic (kWh/m ² a)	PASSIVHAUS
ESTAT ACTUAL	23,6		SI
Consum elèctric dels ventiladors de la ventilació mecànica de doble flux	25,5	-1,9	
Instal·lació d'un sistema de refrigeració activa per la certificació Passivhaus	33,5	-8,0	
Millora de la eficiència de l'enllumenat a les aules	30,5	3,0	

*Balanç del consum d'electricitat de la rehabilitació Passivhaus certificable
(en vermell: concepte augment de consums)*

3.2 RESULTATS I CONCLUSIONS

En la simulació final de l'edifici un cop optimitzat per a la rehabilitació Passivhaus certificable amb l'eina PHPP 8.5 s'obtenen els següents resultats:

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
	Superficie de referencia energética	2212,7 m ²	Requerimientos	¿Cumplido?*
Calefacción	Demanda de calefacción	13,0 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	sí
	Carga de calefacción	13,4 W/m ²	10 W/m ²	-
Refrigeración	Demanda total refrigeración	16 kWh/(m ² a)	18 kWh/(m ² a)	sí
	Carga de refrigeración	9 W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	%	-	-
Energía primaria	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	105,9 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	sí
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	56 kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	1,0 1/h	0,6 1/h	no

* Campo vacío: faltan datos; '-': sin requerimiento

Resultats obtinguts de la simulació amb PHPP 8.5 de l'edifici optimitzat per la rehabilitació Passivhaus certificable en les condicions de contorn de l'estàndard Passivhaus en escoles.

*Nota: Els criteris de l'estàndard Passivhaus per rehabilitació en hermeticitat modifiquen els requeriments del resultat de l'assaig de pressió n₅₀ a 1,0 renovacions/h

- Per complir amb la certificació Passivhaus s'ha de cobrir amb el sistema de refrigeració activa una demanda total de 15,8 kWh/m²any
- La demanda d'energia primària es redueix de 199,6 kWh/m²any (estat actual) fins a 105,9 kWh/m²any (inclosa la demanda de refrigeració activa)
- Les emissions de CO₂ es redueixen de 39,8 kg/m²any a 26,0 kg/m²any

3.3 COST ECONÒMIC DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE

Capítol de la instal·lació d'aire condicionat

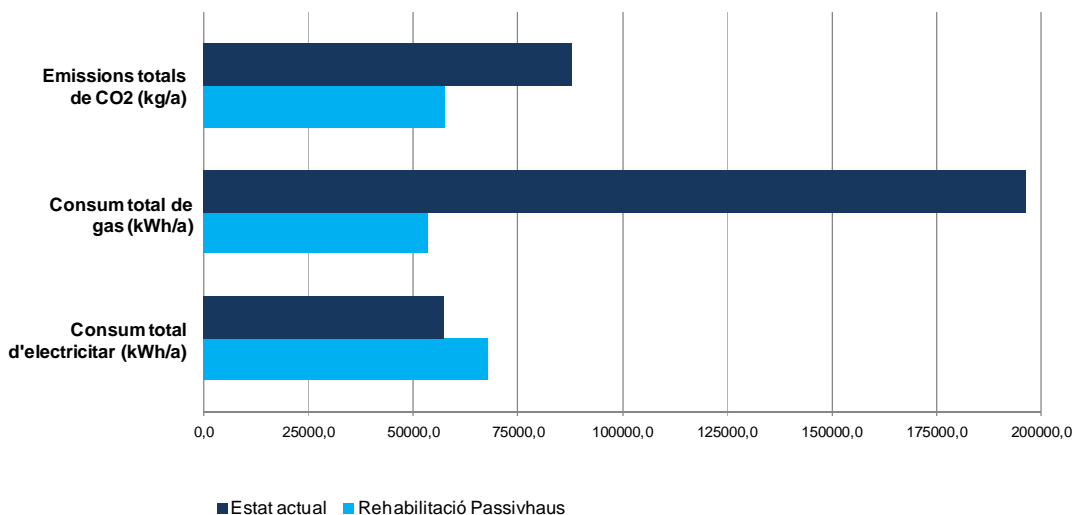
		€
1,00	Subministre e instal·lació Ut. VRV IV Daikin RYYQ22T, Pref = 61,5 kW, EER = 3,77 y SEER = 7,07	30.676,00
13,00	Subministre i instal·lació Ut. Split conducte mitja pressió (1 por aula) Daikin FXDQ32A	18.257,00
5,00	Subministre i instal·lació Ut. Split cassette en menjador Daikin FXZQ50A	9.620,00
15,00	Subministre i instal·lació Ut. Control multi funció Daikin BRC1E52A	2.756,00
20,00	Subministre i instal·lació Ut. Conducte de fibra Climaver net o similar	8.750,00
26,00	Subministre i instal·lació Ut. Reixa regulable	3.226,00
22,00	Subministre i instal·lació Ut. Connexió tubària refrigerant	10.650,00
20,00	Subministre i instal·lació Ut. Derivació Refnet KHRQ22M20T	3.506,00
	Total PEM	87.441,00
	BI+DG	16.613,79
	Total PEC	104.054,79 €

Cost total de la rehabilitació Passivhaus certificable

Cost total intervencions per rehabilitació Passivhaus adaptat	674.314,00 €
Cost instal·lació aire condicionat	104.054,79 €
Cost total	778.368,79 €

3.4 ANÀLISI FINANCER DE LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS CERTIFICABLE

Anàlisi dels consums en la rehabilitació Passivhaus certificable

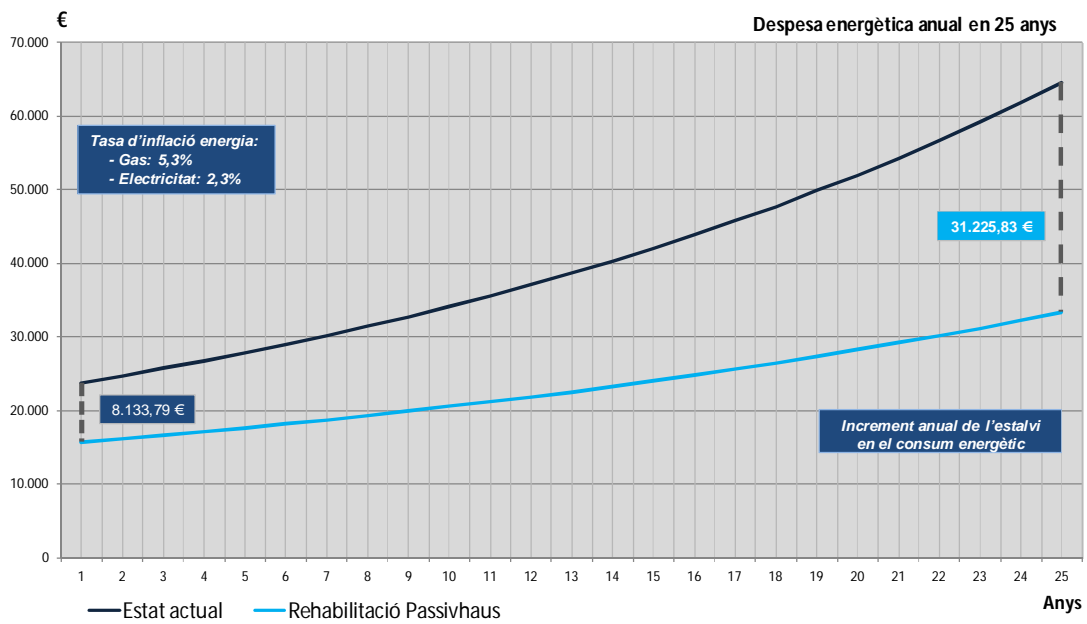


Reducció dels consums energètics de la proposta de rehabilitació Passivhaus certificable

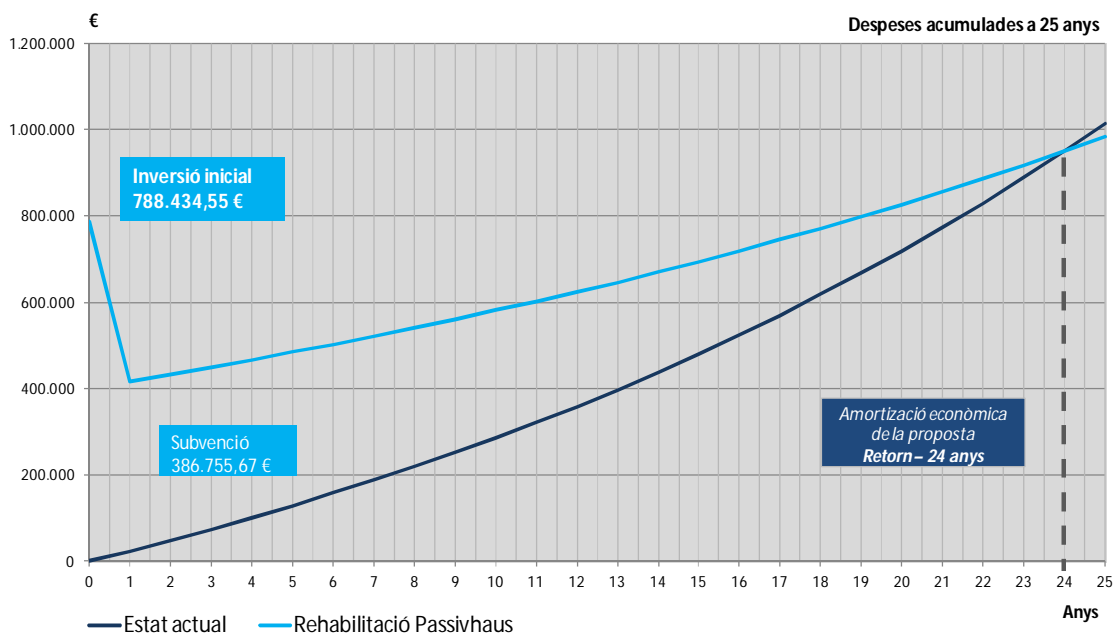
Estalvis energètics de la rehabilitació Passivhaus certificable:

- Estalvi en el consum anual de gas: 142.732 kWh (-73%)
- Augment del consum anual d'electricitat: 10.280 kWh (+18%)
- Reducció d'emissions de CO₂ anual: 30.492 kg (-35%)

Increment anual de l'estalvi en el consum energètic



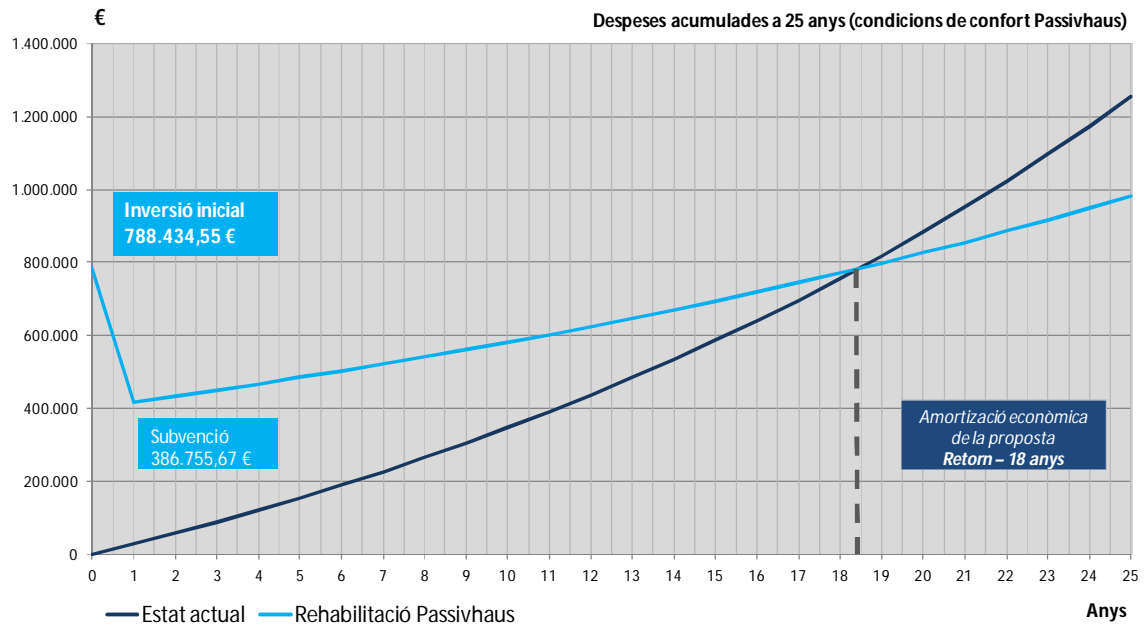
Amortització de la inversió de la rehabilitació Passivhaus certificable



Aquesta gràfica correspon a la hipòtesi de rebre l'ajuda corresponent al Pla PAREER CRECE al cap d'un any de la rehabilitació.

L'amortització s'ha calculat respecte al consum energètic de l'edifici en l'estat actual de desconfort en el qual el consum és inferior al necessari per obtenir les condicions de confort Passivhaus. En la següent gràfica es fa el càlcul de l'amortització considerant que l'edifici es troba en les condicions de confort Passivhaus.

Amortització de la inversió de la rehabilitació Passivhaus certificable si l'edifici estigues en condicions de confort



Nota: En ambdós gràfics d'amortització s'ha considerat el cost PEC de la rehabilitació (no inclou IVA ni despeses de projecte)

Es comprova que l'amortització de la inversió és més curta, prenent com a referència l'edifici actual però en condicions de confort Passivhaus: temperatura a l'hivern 20°C i a l'estiu 26°C.

PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B

La qualificació energètica que s'assigna a un edifici és la corresponent als índexs de qualificació d'eficiència energètica obtinguts per l'edifici dins d'una escala de 7 lletres (de la lletra A, la més eficient, a la lletra G, la menys eficient)

Els càlculs per determinar la qualificació energètica d'un edifici depenen de l'ús del mateix i tenen en compte els serveis de calefacció, refrigeració, enllumenat i aigua calenta sanitària.

La qualificació s'ha determinat mitjançant el procediment simplificat de certificació energètica CE3X. L'edifici de l'escola Cascavell té la següent qualificació energètica:

ANEXO II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climàtica	C2	Uso	Intensidad Alta - 8h
----------------	----	-----	----------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	F		E	
	Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² año]	
	18.63		1.42	
	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
	C		C	
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² año]	Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² año]	
47.97	9.01		18.9	

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

2. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda global de calefacción [kWh/m ² año]	Demanda global de refrigeración [kWh/m ² año]
64.47	23.31

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA

Por energía primaria se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes renovables y no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	F		F	
	Energía primaria calefacción [kWh/m ² año]		Energía primaria ACS [kWh/m ² año]	
	91.02		7.11	
	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
	C		C	
Consumo global de energía primaria [kWh/m ² año]	Energía primaria refrigeración [kWh/m ² año]		Energía primaria iluminación [kWh/m ² año]	
210.40	36.25		76.0	

La qualificació global és D, tot i que la qualificació de la demanda de calefacció és G. Aquesta alternativa de rehabilitació proposa passar de la qualificació global D a la qualificació B.

4.1 MESURES D'ACTUACIÓ PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B:

S'actua en els mateixos elements que a la rehabilitació Passivhaus però amb un grau d'exigència menor.

- Reducció de la potència de l'enllumenat

Es proposa la substitució dels tubs fluorescents existents per tubs LED. Amb una reducció del consum del 32%.

- Substitució de les fusteries existents

Retirada de fusteries existents e instal·lació de fusteries d'alumini amb els requeriments per complir el Codi Tècnic d'Edificació a la zona climàtica C2:

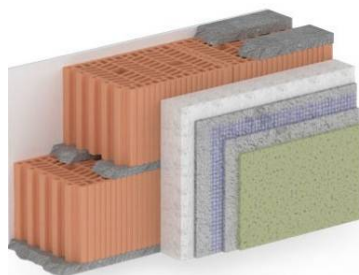
U marc	1,3
U vidre	2,7
G vidre	0,5

- Aïllament de la façana per la cara exterior

Es proposa la instal·lació d'un sistema SATE. Es tracta d'un revestiment per l'exterior de l'edifici amb unes planxes d'aïllament tipus EPS ($\lambda=0.037$) de 5 cm de gruix.

Aquest revestiment cobrirà les parts de l'estructura que en aquest moment apareixen en façana i n'anul·larà els ponts tèrmics. Igualment, quedaran protegits els brancals, dintells i ampits de les finestres.

L'acabat exterior de la planxa d'aïllament es fa amb diferents capes de morter que garanteixen l'adherència flexibilitat del revestiment en la seva vida útil. L'aspecte és el d'un morter tipus monocapa, que en aquest l'acabat haurà de ser de color blanc o blanc trencat per tal d'evitar el sobre-escalfament a l'estiu.



Imatge instal·lació SATE

La caixa de les persianes és un pont tèrmic important, proposem que les noves fusteries no tinguin persianes. Les dues façanes sud-est i nord-oest incorporarien persianes replegables com a protecció solar a l'estiu.

Per tal de poder enfosquir puntualment les aules per permetre projeccions, es proposa la instal·lació de cortines tipus foscurit a l'interior de les aules.

- Sistema de ventilació mecànic

Donat que l'escola no disposa actualment de sistema de ventilació i estem realitzant una rehabilitació, legalment, no hi ha l'obligatorietat d'instal·lar un sistema de ventilació.

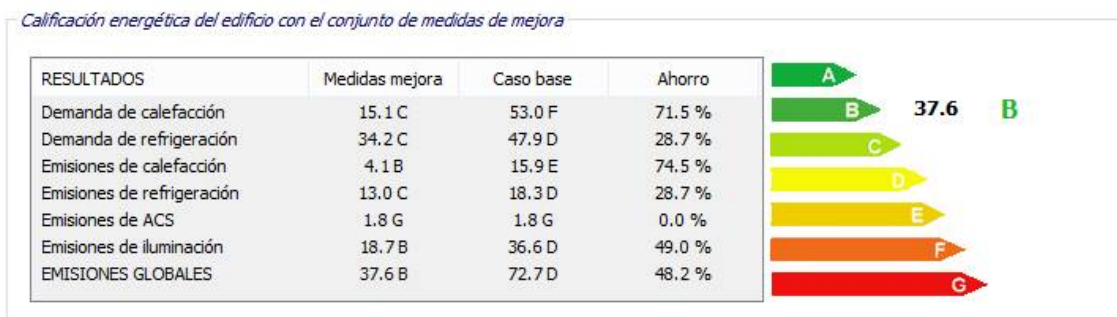
Tanmateix, donat que la qualitat de l'aire de l'escola no és gaire bona en l'estat actual, és previsible que si canviem les finestres i augmentem l'estanqueïtat de l'edifici, la qualitat de l'ambient empitjorarà, especialment a l'hivern, quan les finestres s'obrin poc.

Per aquest motiu, tot hi que no sigui necessari per aconseguir la qualificació B, ni sigui legalment imperatiu, recomanem la instal·lació d'una xarxa de ventilació.

En compliment del R.I.T.E, aquesta xarxa de ventilació ha de ser de doble flux amb uns cabals de 12l/s per persona, tot i així, existeix un document del Departament d'Indústria reconeixent que la ventilació en edificis escolars pot reduir-se a 8,4l/s.

- Substitució de la caldera existent per una caldera de condensació de menor potència

Un cop reduïda la demanda de calefacció, es pot substituir la caldera existent per dues calderes de condensació d'alta eficiència amb una entrada en funcionament esglaonada.



Resultat del programa CE3x un cop aplicades les mesures de millora

4.2 COST ECONÒMIC

A continuació es descriu l'estimació pressupostària de la rehabilitació i la possible contribució del Programa PAREER CRECE de l'IDAE.

REHABILITACIÓ ENERGÈTICA DE L'ESCOLA CAS: ESTIMACIÓ DE COSTOS

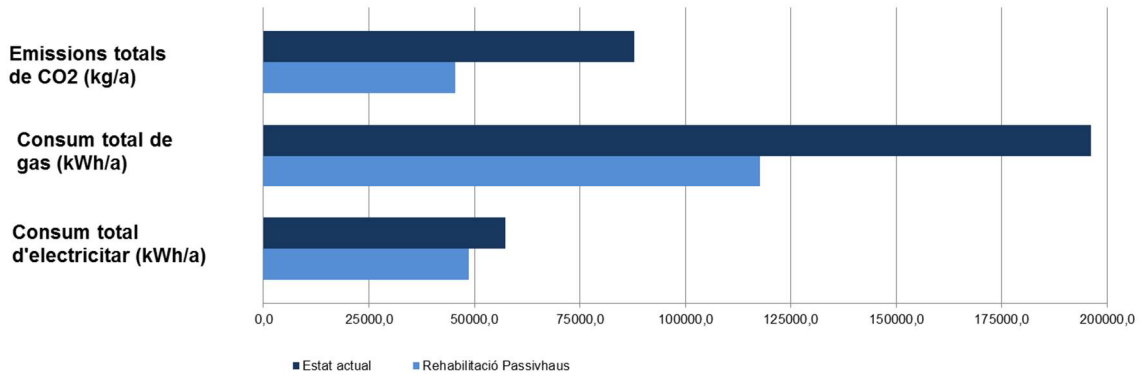
Partida	Ctat		PEM €/ut	TOTAL PEM €/ut	TOTAL PEC €/ut	CONTRI BUCIÓ PAREER- CRECE	IMPORT AJUDA
EDIFICI PRINCIPAL (EDUCACIÓ PRIMÀRIA)							
SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA							
Retirada finestres, premarcs i ampits existents	525	m2	10	5.252	5.777		
Col·locació nous premarcs	1239	ml	10	12.390	13.629		
Enguixat brancals i pintat	496	m2	16	7.929	8.722		
Ampit exterior de pedra	280	ml	30	8.408	9.249		
Ampit interior de DM esmaltat	280	ml	30	8.408	9.249		
Fusteria d'alumini estàndard PH	525	m2	198	103.983	103.983		
Vidre segons característiques	525	m2	35	18.381	20.219		
Tendals exteriors	525	m2	123	64.596	71.055		
Cortines tipus foscurit	525	m2	35	18.381	18.381		
TOTAL SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA				247.727	260.263	50%	130.132
INSTAL·LACIÓ VENTILACIÓ							
Xarxa de ventilació				132.902	146.192	0,5	73.096
SATE							
	1408	m2	67	94.308	94.308	50%	47.154
CANVI LÀMPADES							
					12.308	30%	3.692
CANVI CALDERES							
	5	Ut	2622	13.110	13.110	50%	6.555
ALTRES							
Instal·lació sistema de control calefacció					10.000		
AÏLLAMENT COBERTA							
	1237	m2	56	69.248	76.173	50%	38.086
IMPORT TOTAL DE L'OBRA					612.354		
IMPORT DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER							298.715
COST FINAL EDIFICI PRIMÀRIA (DESCONTANT AJUDA)					313.639€		

DESPESES PROJECTE I DIRECCIÓ D'OBRA

PROJECTE EXECUTIU PER SOL.LICITUD DE SUBVENCIÓ	17.900	0,5	8.950
CERTIFICACIÓ ENERGÈTICA EDIFICI EXISTENT	1.800	0,5	900
DIRECCIÓ D'OBRA	42.000	0,5	21.000
ESTUDI DE GESTIÓ DE RESIDUS	1.000	0,5	500
PLA DE CONTROL DE QUALITAT	1.500	0,5	750
ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT	2.000	0,5	1.000
COORDINACIÓ DE SEGURETAT I SALUT	6.000	0,5	3.000
TOTAL DESPESES PROJECTE	72.200		
IMPORT TOTAL DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER			36.100
TOTAL FINAL DESPESES PROJECTE (DESCONTANT AJUDA)	36.100		

4.3 ANÀLISI FINANCER DE LA REHABILITACIÓ PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B

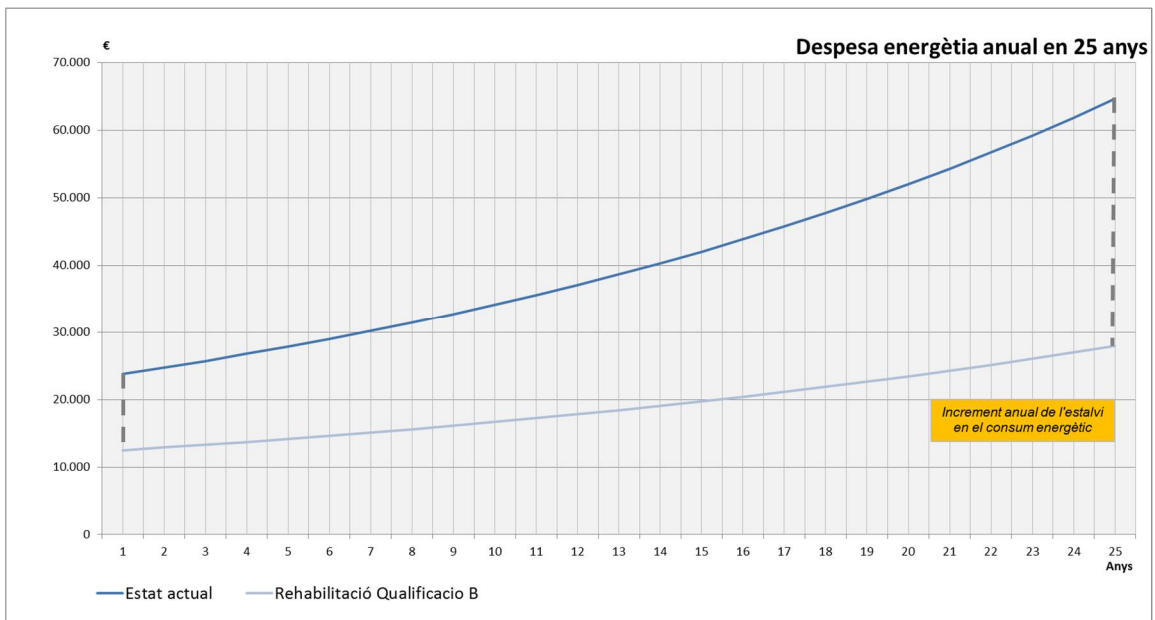
Anàlisi dels consums energètics amb la rehabilitació per qualificació energètica B



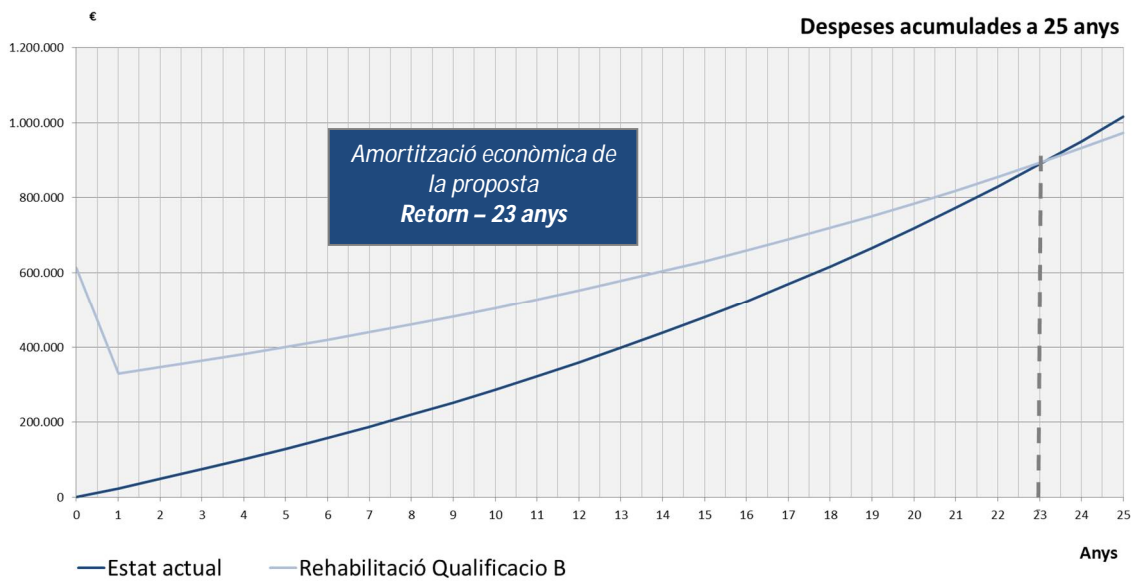
Aquest gràfic compara el consum actual amb el consum hipotètic de l'edifici rehabilitat segons l'eina CE3x.

L'anàlisi de l'estalvi es fa preveient una taxa d'inflació del 5,3% en el cost del gas i d'un 2,3% en el cost de l'electricitat, basat en l'evolució del preu en els últims 4 anys.

Increment anual de l'estalvi en el consum energètic



Amortització de la inversió per aconseguir la qualificació energètica B



Aquesta gràfica correspon a la hipòtesi de cobrar l'ajuda corresponent al Pla PAREER CRECE al cap d'un any de la rehabilitació.

5. ANÀLISI COMPARATIU DELS RESULTATS OBTINGUTS I CONCLUSIONS

La següent taula mostra una comparativa dels resultats obtinguts amb la simulació energètica de l'edifici en els tres casos estudiats.

	PH adaptat a mediterrani	PH certificable	Qualificació energètica B	Estat actual
Demanda calefacció (kWh/m².a)	11,7 (13,0)*	11,7 (13,0)*	38,9	83,3 (92,8)*
Consum elèctric (kWh/m².a)	20,2 (22,5)*	27,4 (30,5)*	25,5	21,2 (23,6)*
Consum gas (kWh/m².a)	21,6 (24,1)*	21,6 (24,1)*	83,3	106,8 (119,0)*
Emissions CO₂ (T/a)	45,4	57,5	46	88,0
Demanda energia primària (kWh/m².a)	76,3 (85,0)*	95,1 (105,9)*	102,4	179,2 (199,6)*
Cost rehabilitació	674.314 €	778.368 €	612.354 €	
Cost rehabilitació (€/m²)	273,0	315	248	
Amortització (anys)	15	24	23	

Taula comparativa de les tres opcions d'intervenció a l'escola Cascavell de Sant Adrià

*Les dades entre parèntesi corresponen a les dades de les simulacions realitzades amb l'eina PHPP 8.5. Els resultats obtinguts amb PHPP estan calculats en funció de la superfície de referència energètica que no correspon a la superfície útil de l'edifici.

- Superfície de referència energètica: 2212,71 m²
- Superfície útil: 2465 m²

Per fer una comparativa entre els resultats obtinguts amb el PHPP 8.5 (en funció de la superfície de referència energètica) i el CE3X (en funció de la superfície útil) s'ha aplicat el coeficient corresponent a les dades obtingudes amb PHPP 8.5

**El cost considerat és el PEC, pressupost de contracte, no inclou IVA ni altres despeses

Un cop analitzat els resultats obtinguts d'estalvi energètic, cost de rehabilitació i amortització econòmica per les tres propostes de rehabilitació estudiades, s'arriba a les següents conclusions:

- L'opció Passivhaus adaptat pel Mediterrani és l'opció de rehabilitació amb el període d'amortització més curt, i la que té un potencial d'estalvi econòmic més alt, ja que no hi ha consum d'aire condicionat.
- Dur a terme l'opció de rehabilitació per obtenir la qualificació B comporta una despesa inicial més baixa però el potencial d'estalvi energètic és molt inferior a les dues versions Passivhaus.
- El millor confort per als usuaris s'obté realitzant la versió Passivhaus certificable.

- Els resultats d'aquest estudi estan supeditats a la possible obtenció de l'ajuda del PROGRAMA DE AYUDAS PARA LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS EXISTENTES (PAREER-CRECE) de l'IDAE
- Les transmissibilitats tèrmiques dissenyades en les versions Passivhaus (façana 0,34 W/m²K, coberta 0,26 W/m²K, finestres 1,3 W/m²K) estan molt a prop dels valors recomanats en el CTE-HE1-apèndix E (per zona climàtica C: façana 0,29 W/m²K, coberta 0,23 W/m²K, finestres 1,6-2,0 W/m²K).
- L'execució d'una rehabilitació tipus Passivhaus requereix d'un esforç superior per part del projectista i de l'empresa constructora. El projecte bàsic i executiu ha de definir-se en profunditat, deixant molt poc marge per la improvisació a la fase d'execució. Els amidaments de l'obra han d'estar molt ben definits. L'empresa constructora ha d'executar l'obra de manera meticulosa. Es recomana que aquestes empreses tinguin experts Passivhaus a la seva plantilla (existeixen cursos específics a Espanya per instal·ladors i constructors en matèria Passivhaus). També es recomana que la direcció d'obra s'adjudiqui a arquitectes i arquitectes tècnics que acreditin experiència en obres Passivhaus de mida similar.

**Estudi
de la millora
energètica
de l'escola
Margalló a
Castelldefels**

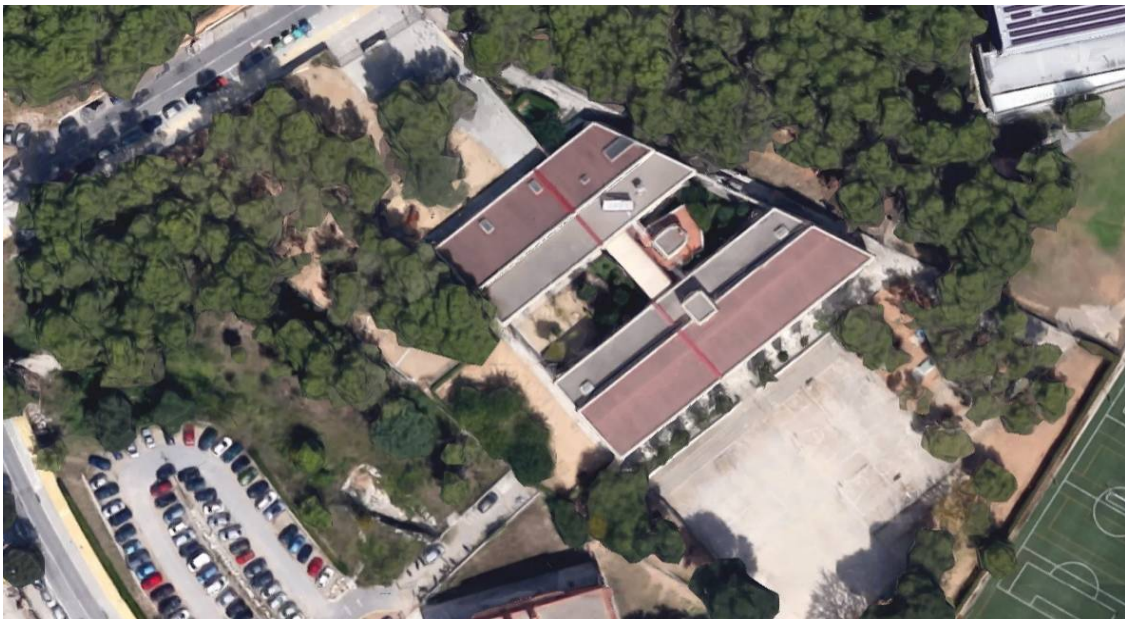
INDEX

1.	ANÀLISI ENERGÈTIC	138
1.1.	DESCRIPCIÓ I CARACTERÍSTIQUES DE L'EDIFICI.....	138
1.2.	ANÀLISI ENERGÈTIC	143
1.3.	BALANÇ ENERGÈTIC: DEMANDA I CONSUM ENERGÈTIC DE L'EDIFICI	151
2.	PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER COMPLIR L'ESTANDARD PASSIVHAUS	153
2.1.	MESURES D'ACTUACIÓ PER LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS.....	153
2.2.	RESULTATS DE L'ESTAT ACTUAL	157
2.3.	ANÀLISI DE LES PROPOSTES PER A LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT A CLIMA MEDITERRANI	158
2.4.	RESULTATS I CONCLUSIONS	165
2.5.	COST ECONÒMIC	167
2.6.	ANÀLISI FINANCER.....	169
3.	PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B	172
3.1.	MESURES D'ACTUACIÓ PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B:.....	173
3.2.	COST ECONÒMIC	174
3.3.	ANÀLISI FINANCER.....	176
4.	ANÀLISI COMPARATIU DELS RESULTATS OBTINGUTS I CONCLUSIONS	178

1. ANÀLISI ENERGÈTIC

1.1. DESCRIPCIÓ I CARACTERÍSTIQUES DE L'EDIFICI

L'edifici es troba situat al carrer Lola Anglada 4 al barri de Can Vinader a Castelldefels. L'escola consta d'un sol edifici en forma de H orientat sud-est/nord-oest. L'edifici està organitzat en dues barres paral·leles on es disposen les aules i aquestes barres estan connectades pel vestíbul, un porxo de comunicació i un volum on es troba la sala d'actes. L'escola es troba en el límit de la zona urbanitzada envoltat d'espai verd.



Vista aèria de l'edifici

Característiques generals (edifici educació primària):

Any de construcció	1983
Normativa vigent d'estalvi energètic	NBE-CT-79
Superfície construïda	2998 m ²
Superfície útil	2660 m ²
Alçades	PB+1
Orientació	Sud-est/Nord-oest

Dades de consum:

Energia	Mitjana de consum kWh.m ² /any 2012 a 2014
Electricitat	25,6
Gas	99,7
Total	125,3

Consum respecte altres edificis escolars:

Segons l'estudi realitzat per Montserrat Bosch del departament de Construccions arquitectòniques de la EPSEB de la UPC en el marc del treball " Proposta metodològica per a la rehabilitació energètica d'edificis d'ús docent en la ciutat mediterrània. Cas a estudi, ciutat de Barcelona" " i citant els resultats de les auditories realitzades per la Diputació de Barcelona dins dels PAES:

	Mitjana de consum kWh.m ² /any
Mitjana de consum de l'Escola Margalló	127
Mitjana de consum de 212 CEIPs del litoral de la província de Barcelona	85



Façana sud-est de l'edifici



Pati interior de l'edifici



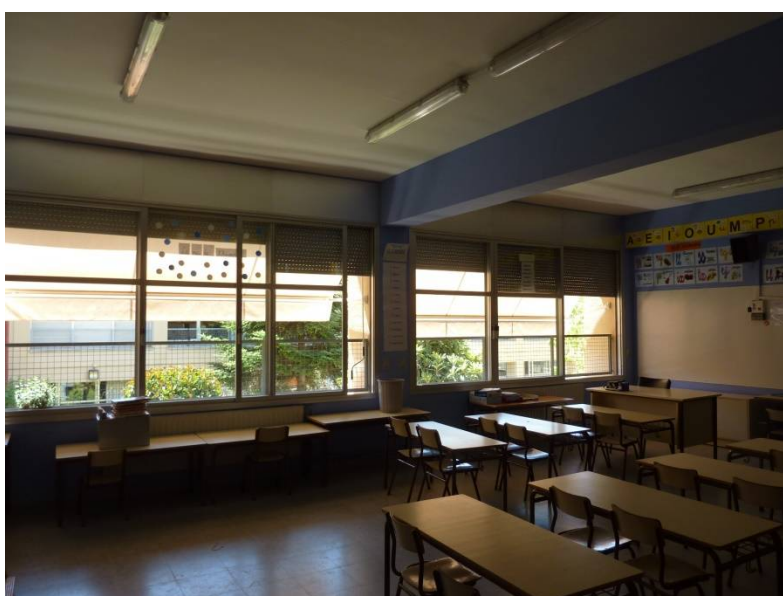
Vestíbul d'entrada en planta baixa



Imatges interiors



Aula en planta baixa



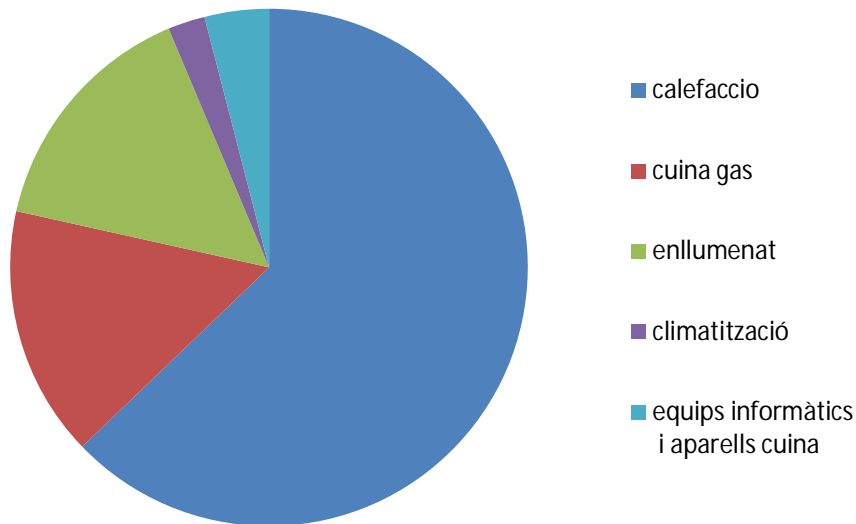
Aula en planta primera



Pati interior de l'edifici

L'escola Margalló forma part de la xarxa d'Escoles Verdes del Departament d'Ensenyament i té programes de promoció de la sostenibilitat entre els alumnes. L'any 2010 es va encarregar una auditoria energètica a l'empresa Bureau Veritas.

Aquest és el repartiment de la despesa energètica segons l'auditoria realitzada per Bureau Veritas:



Percepció de confort per part dels usuaris

S'ha realitzat una enquesta de confort a professors del centre. S'han recollit sis formularis amb les dades de percepció i hàbits d'ús de l'edifici.

Es resumeix el contingut en els següents resultats:

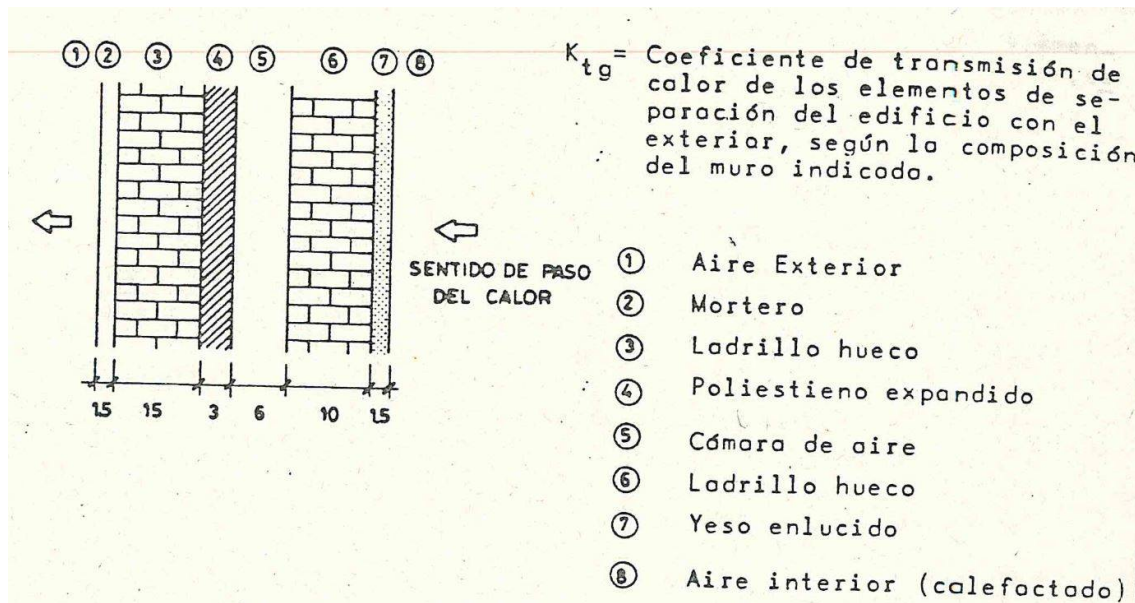
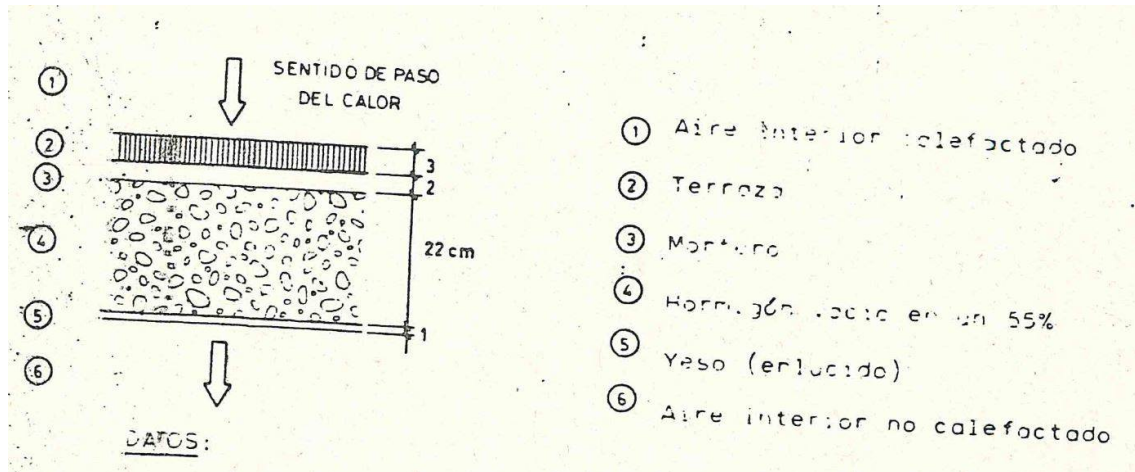
Confort a l'hivern	SI: 20%	NO: 80%
Confort a l'estiu	SI: 0%	NO: 100%

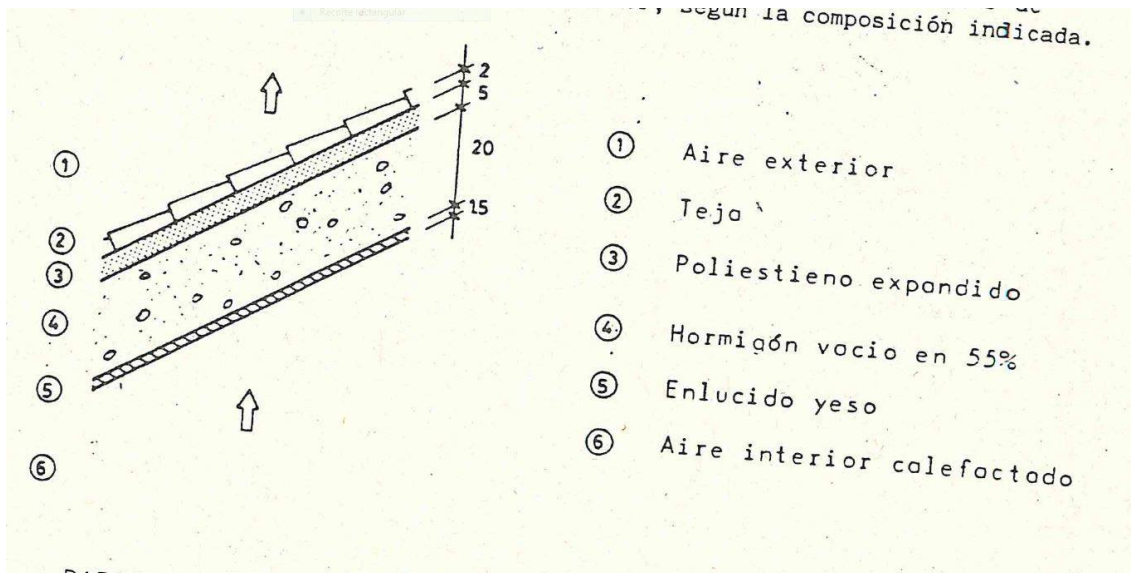
1.2. ANÀLISI ENERGÈTIC

1.2.a. Estat actual de l'envolupant

Hem tingut accés al projecte executiu de l'edifici facilitat pel Departament d'Ensenyament. El projecte va ser redactat l'any 1983 per l'arquitecte Josep Llobet.

El projecte conté la descripció precisa dels tancaments que conformen l'envolupant:



**Façanes:**

Doble fulla ceràmica amb paret exterior de "gero" de 14 cm amb acabat arrebossat, cambra d'aire amb 3 cm d'aïllament tipus EPS i fulla ceràmica interior de 10 cm amb acabat enguixat.

Coberta plana:

Forjat de formigó sense aïllament tèrmic.

Coberta inclinada:

Forjat inclinat revestit per la cara interior amb planxes de 3 cm d'aïllament tipus EPS.

Forjat planta baixa:

Forjat sanitari sense aïllament amb càmera d'aire poc ventilada.

Aquest edifici pateix especialment la manca de protecció solar a les façanes sud-est. La composició de la façana és la mateixa en orientacions oposades. Les aules orientades a sud-oest tenen grans finestrals sense element de protecció solar. Les aules de la primera planta del cos proper a la pista esportiva tenen tendals però en planta baixa no hi ha cap element de protecció. Aquesta situació es repeteix en les aules que donen al pati interior.

Per pal·liar l'enlluernament i la captació solar a l'estiu, aquestes aules han col·locat vinils de colors en els vidres. Aquests vinils enfosqueixen l'aula provocant un ús innecessari de l'enllumenat i tenyeixen l'ambient interior.

- Assaig "Blower door":

Per tal de conèixer l'estanqueïtat de l'edifici, es realitza un assaig "Blower door". Aquest assaig sotmet l'espai analitzat a una pressió constant de 50Pa i en monitoritza les pèrdues d'aire. Es registren les infiltracions d'aire i se'n dedueix la taxa de renovació d'aire, és a dir, la ventilació no controlada de l'edifici. Aquest assaig es fa d'acord a la norma EN ISO 13289 amb un equip del tipus BlowerDoor Minneapolis.

Data de l'assaig: 8 de setembre de 2015

Espai: Planta baixa, aula de P3

Imatges de l'assaig:

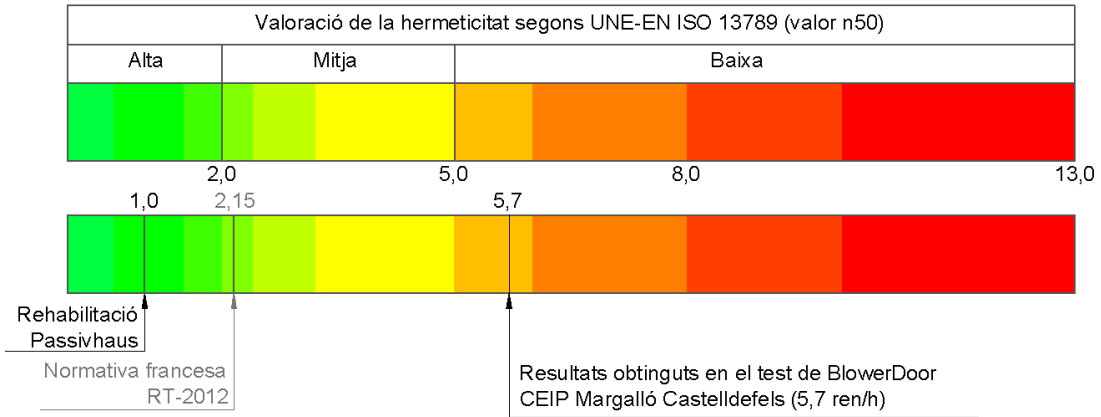
Instal·lació de l'equip



Anemòmetre per detectar infiltracions

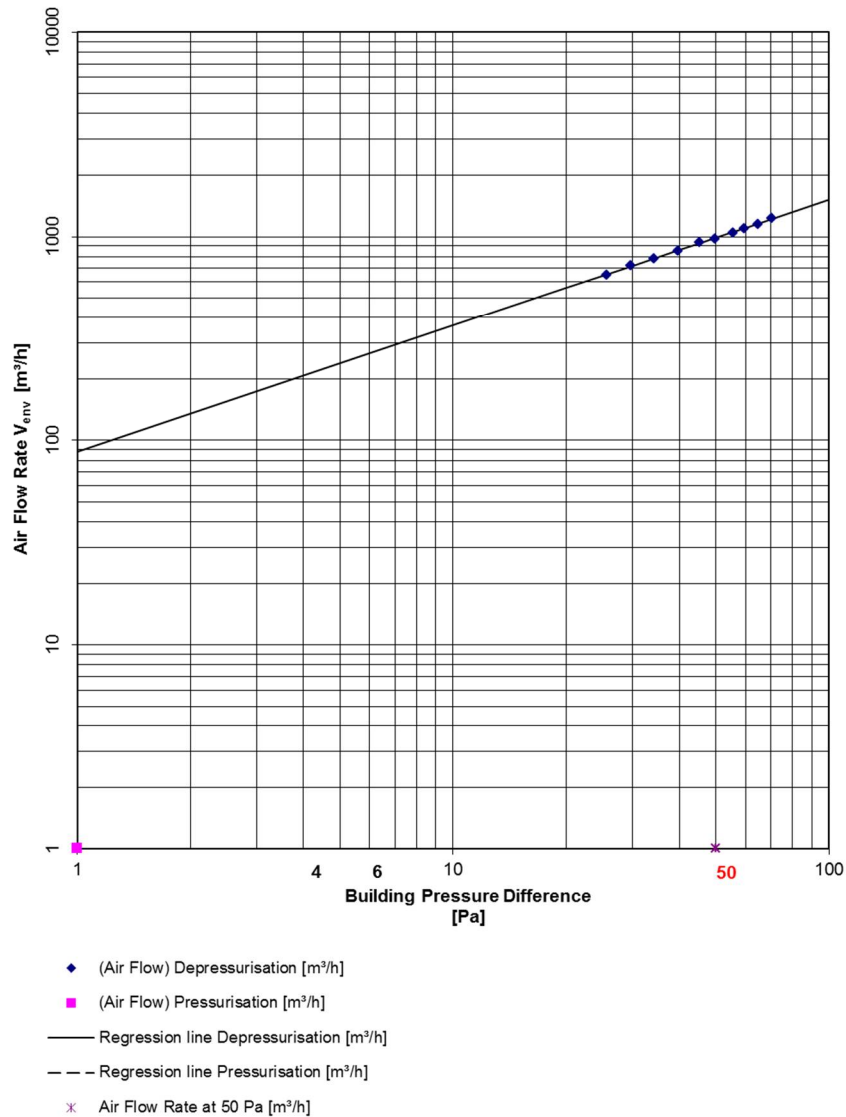


El resultat de l'assaig determina que $n_{50} = 5,7 \text{ ren/h}$



Aquest resultat posa de manifest que l'hermeticitat de l'edifici és baixa i que les infiltracions d'aire no controlades són altes.

BlowerDoor Air Leakage Graph
Object: CEIP Margalló



Gràfic de registre de les pèrdues de pressió al llarg de l'assaig

1.2.b. Estat actual de les instal·lacions

- **Calefacció:**

La producció de calor es fa a través d'una caldera centralitzada d'aquestes característiques:

Marca: ROCA, Model: TD-260

Potència útil: 302 kW; Rendiment: 88,7%

Cremador: marca ROCA, modelo TECNO 38-G

Potència elèctrica: 0,6 kW

Es disposen de dos circuits hidràulics per la distribució d'aigua calenta als radiadors, un d'ells cobreix la zona nord i l'altre la zona sud de l'edifici.

Aquestes són les característiques de les bombes instal·lades:

Marca: GRUNDFOS

Potència elèctrica unitària: 400 W (4 unitats)

Potència elèctrica unitària: 245 W (1 unitat)

Potència elèctrica total: 1,845 kW

El seu funcionament és mitjançant un sistema de regulació automàtica amb programador horari i diari de dilluns a divendres, amb una centraleta per cada circuit hidràulic que controla el sistema en funció de la consigna de la temperatura de l'aigua de retorn i de la temperatura presa per la sonda exterior.

Per l'habitatge es disposa d'una altra caldera de tipus mural atmosfèrica i mixta també de gas natural. Aquestes són les seves característiques:

Marca: JUNKERS, Model: EUROSMART

Potència útil: 24 kW; Potència elèctrica: 0,2 kW

A l'habitatge hi ha també un equip de climatització tipus "Split" de les següents característiques:

Marca: SANIFER

Potència frigorífica: 1,3 kW

Potència calorífica: 1,35 kW

Aquest equip s'utilitza únicament a l'estiu.

- **ACS:**

L'escola no disposa de vestidors així que el consum d'ACS és únicament per les piques de la cuina i pel consum de l'habitatge.

A la cuina, el sistema de producció d'aigua calenta sanitària (ACS) està compost per un dipòsit acumulador exterior d'aigua de 500l i una caldera mural atmosfèrica de gas natural amb aquestes característiques:

Marca: JUNKERS, Model: miniMAXX-encensa per bateria (modulant)

Potència útil: 19,2 kW; Potència elèctrica: 0,2 kW

Es disposa d'un sistema d'energia solar tèrmica de recolzament a la producció d'ACS de la cuina. A la coberta hi ha instal·lats un conjunt de col·lectors solars amb un element aerotèrmic per dissipació de calor. Tanmateix, aquest sistema està fora de servei.

- **Enllumenat:**

La tipologia que predomina a tot el centre és el tub fluorescent de 36W i 58W amb balast convencional. Per l'enllumenat exterior hi ha algunes làmpades de vapor de sodi i de vapor de mercuri.

La potència total instal·lada és de 31,4 kW. La regulació de l'enllumenat de l'interior de l'edifici es fa manualment adaptant-se a l'horari d'ús de cada sala o aula. L'enllumenat exterior està regulat mitjançant un programador horari diari, amb un horari establert de 19h fins a 8h.

Pels matins, en funcionament normal, l'enllumenat està encès i per la tarda, un cop finalitzat l'horari lectiu, es procedeix a la neteja del centre. Per la neteja es mantenen enceses totes les lluminàries de les zones comunes durant el període de neteja (de 17h a 23h) y s'encenen puntualment les lluminàries de les aules durant l'operació de neteja.

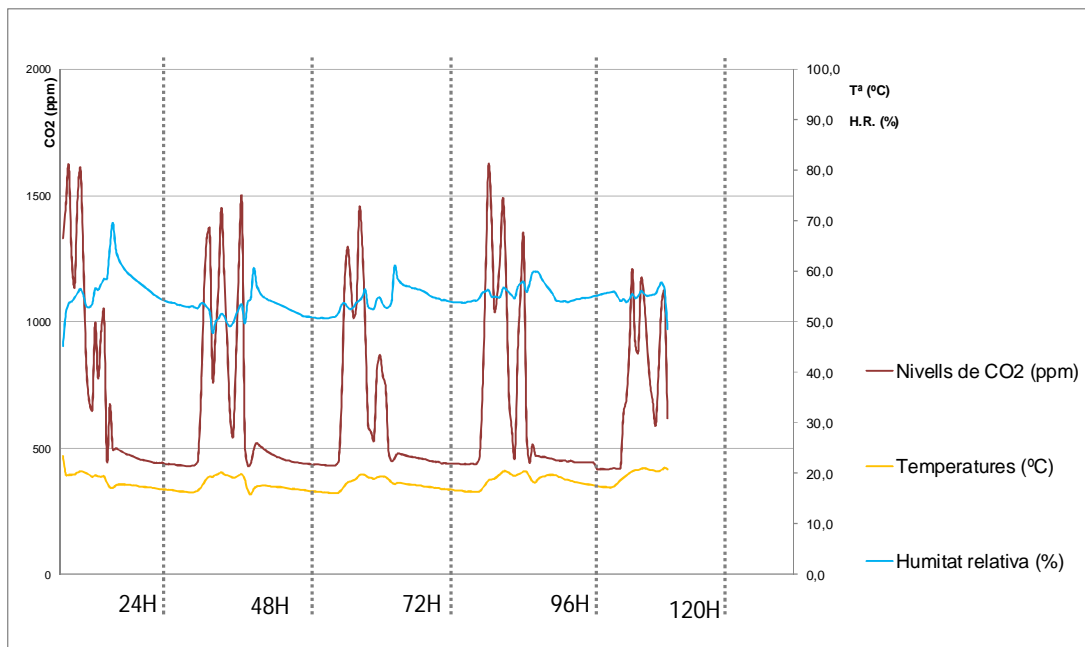
1.2.c. Qualitat de l'aire interior

Es realitza la medició de la qualitat de l'aire amb un equip Wöhler (Mod. CDL 210). Aquest equip registra la temperatura, la humitat i la concentració de CO₂

La lectura de la qualitat de l'aire interior s'ha realitzat simultàniament a les aules de P5 Grup B (orientada a nord-oest) i Primer B orientada a sud-est en l'ala de l'edifici on es troba l'entrada.

Es va registrar la qualitat de l'aire des de dilluns 16 fins al divendres 20 de novembre de 2015. Cal tenir en compte que aquests dies van ser particularment calorosos atesa l'època de l'any i que les aules van estar més ventilades que si la temperatura fos l'habitual per aquestes dades.

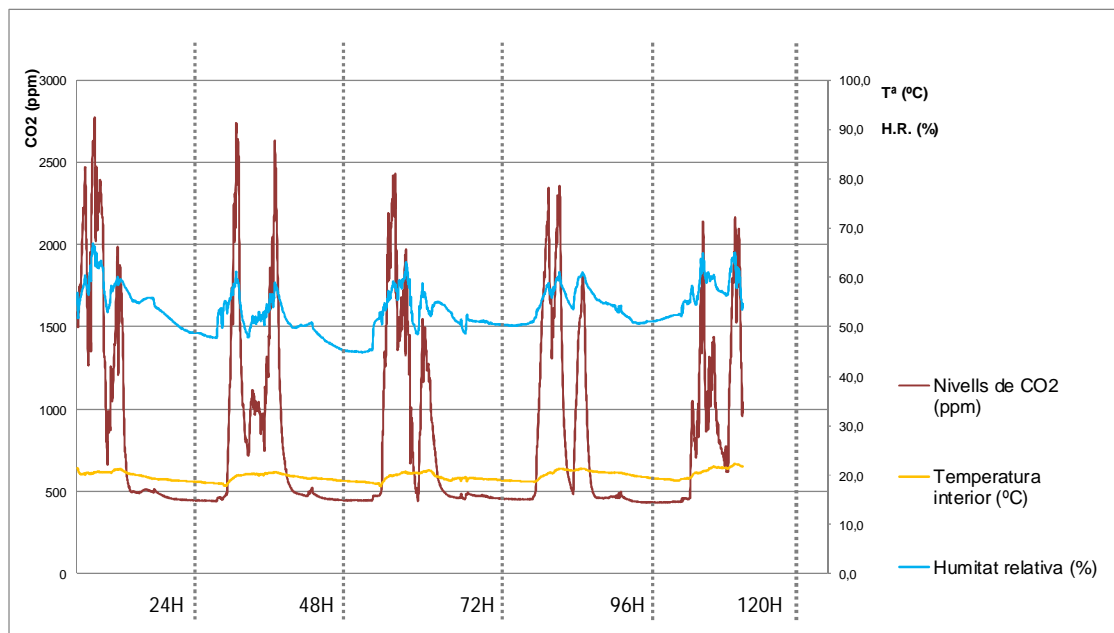
Resultat lectures a aula P5, grup B (orientació nord-est)



Imatge de l'aula de P5 (les lones no permeten veure el sostre inclinat)



Resultat lectures a aula Primer (orientació sud)



Imatge de l'aula de Primer

Cal tenir en compte que l'aula de P5 té un volum d'aire superior perquè el sostre és inclinat, l'alçada promig de l'aula és de 4,15 m. En canvi a l'aula de Primer, l'alçada del sostre és de 3.00 m.

En el cas de l'aula de P5 el límit de 1500 ppm es supera de manera puntual però en el cas de l'aula de Primer els 1500ppm es superen diàriament tant pel matí com per la tarda. La corba permet identificar com, al llarg del matí va augmentant la concentració de CO₂, a la pausa del migdia es ventila l'aula i baixa la concentració, i, per la tarda, torna a produir-se un pic en la concentració de CO₂.

La major part de normatives no permeten que la concentració de CO₂ superi els 1000ppm (veure apartat IV d'aquest document). A partir de 1000ppm augmenta la sensibilitat a l'olor i les persones poden patir dificultats de concentració i mal de cap.

D'altra banda, cal tenir en compte que l'anàlisi s'ha fet a la tardor i en uns dies particularment càlids en els quals els espais han estat ventilats, per tant es pot deduir que en circumstàncies climàtiques normals, i especialment a l'hivern, quan les aules no es ventilin, la concentració de CO₂ augmentarà.

1.3. BALANÇ ENERGÈTIC: DEMANDA I CONSUM ENERGÈTIC DE L'EDIFICI

Per analitzar les condicions de confort de l'edifici en l'estat actual s'ha realitzat una primera simulació amb l'eina PHPP 8.5 tenint en compte els guanys interns de calor actuals i les condicions de confort que estableix l'estàndard Passivhaus.

- Temperatura de confort a l'hivern: 20°C
- Temperatura màxima de confort a l'estiu: 25°C

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
			Requerimientos	¿Cumplido?*
	Superficie de referencia energética	2352,3 m ²		
Calefacción	Demanda de calefacción	97,9 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	no
	Carga de calefacción	71,1 W/m ²	10 W/m ²	no
Refrigeración	Demanda total refrigeración	kWh/(m ² a)	-	-
	Carga de refrigeración	W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	27,1 %	-	-
Energía primaria sin refrig. activa	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	213,1 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	no
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	5,7 1/h	0,6 1/h	no

* Campo vacío: faltan datos; "-": sin requerimiento

Resultats obtinguts de la simulació amb PHPP 8.5 de l'edifici en l'estat actual

Nota: Un valor clau en els càlculs és la superfície de referència energètica. L'eina PHPP discrimina les superfícies en funció de si són o no zones de pas. Aquest balanç comptabilitza la SRE, superfície de referència energètica (aquí 2352,5 m²). Aquesta superfície és diferent a la superfície útil!

La taula següent mostra els resultats de la demanda de calefacció i el consum de gas de l'edifici simulat amb l'eina PHPP i el consum real de gas de l'edifici calculat amb la mitjana de consum dels últims 4 anys.

El consum real de gas de l'edifici inclou el consum per la calefacció i el consum de gas per cuinar. D'aquesta manera, en la simulació en PHPP, també s'ha tingut en compte el consum de gas de la cuina.

PHPP	Demanda calefacció en condicions de confort Passivhaus	97,9 kWh/m ² .a
	Consum de gas per satisfer la demanda calculada en condicions de confort Passivhaus (inclou cuina)	122,8 kWh/m ² .a
Real	Consum de gas (inclou cuina)	112,0 kWh/m ² .a

Taula comparativa entre el consum real de l'edifici i el consum de l'edifici en condicions de confort

Amb la simulació energètica en el seu estat actual, la demanda teòrica de calefacció és de 97,9 kWh/m²a i el consum teòric de gas és de 122,8 kWh/m²a. El consum real dels últims anys és de 112 kWh/m²a. La diferència entre el consum de gas real actual de l'edifici i el consum teòric necessari per satisfer la demanda de calefacció en condicions de confort és del 10%.

Aquesta diferència mostra el desconfort existent a l'edifici durant els mesos d'hivern en el període de calefacció.

2. PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER COMPLIR L'ESTANDARD PASSIVHAUS

Els requeriments específics per al compliment amb l'estàndard Passivhaus certificable en un procés de rehabilitació són:

Criteri de certificació	Requeriment	
Calefacció	Demanda de calefacció <i>o alternativament</i>	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
	Carrega de calefacció	$\leq 10 \text{ W/m}^2$
Refrigeració	Freqüència de sobreescalfament (25°C)	$\leq 10 \text{ \%(*)}$
Energia primària	<i>(calefacció, refrigeració, ACS, ventilació, electricitat aux., il·luminació, aparells elèctrics)</i>	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Hermeticitat	Resultat de l'assaig a pressió n50	1,0 ren/h

(*)Aquesta premissa s'ha de complir durant el període de funcionament de l'escola (de l'1 de setembre al 15 de juny)

Per la manca de capacitat d'aquest edifici, aquesta escola és la única escola dels tres casos estudiats que pot assolir l'estàndard Passivhaus sense sistema actiu de refrigeració. Estudiarem a continuació una possible rehabilitació Passivhaus, també estudiarem l'opció de rehabilitar per tal d'augmentar dues lletres la qualificació energètica i arribar a qualificació B.

El municipi de Castelldefels està afectat pel Pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire. Dins d'aquest Pla, i concretament a la mesura EL33, no es recomana la instal·lació de calderes de biomassa. Es desestima per tant l'opció de la caldera de biomassa

2.1. MESURES D'ACTUACIÓ PER LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS

a. Optimització del balanç energètic de les finestres

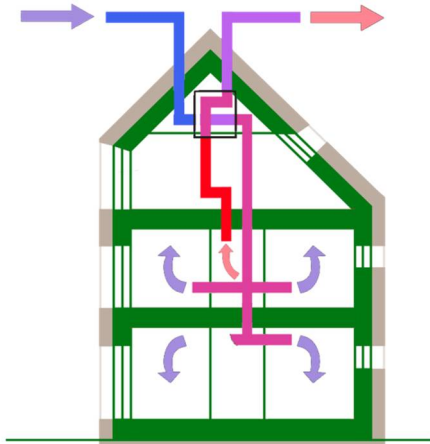
L'estàndard Passivhaus estableix uns criteris de transmissió tèrmica màxims de les finestres ($U_{W,inst}$) per garantir els criteris de confort i higiene segons la zona climàtica. Per tant, l'optimització de les finestres adaptant-se als criteris Passivhaus per a clima càlid mediterrani de Barcelona és la primera proposta de millora de l'edifici. A més, s'estudien diferents possibilitats de col·locació de la finestra per tal de reduir al màxim el pont tèrmic que es produeix en la trobada entre fusteria i façana.



Fusteria d'alumini tipus Passivhaus amb separadors de plàstic tipus TGI

b. Instal·lació de ventilació controlada de doble flux amb recuperador de calor i millora de l'hermeticitat al pas de l'aire

Per minimitzar les pèrdues energètiques a través de la ventilació i millorar la qualitat de l'aire interior es proposa un sistema de ventilació de doble flux amb recuperador de calor d'alta eficiència.



Esquema de funcionament del sistema de ventilació amb recuperador de calor

Els requeriments de ventilació d'aire de l'estàndard Passivhaus son de entre 4,15 i 5,5 l/s per persona. La normativa vigent a l'estat espanyol obliga a una ventilació de 12,5 l/s per persona (Reglament RITE).

Tanmateix, el Departament d'Indústria de la Generalitat accepta un cabal de ventilació per escoles de 8,4 l/s per persona (veure document de treball de la Secretaria d'Indústria sobre sistemes de ventilació en centres escolars a l'Annex V)

S'ha dimensionat la xarxa de ventilació per complir amb els cabals proposats per la Secretaria d'Indústria de la Generalitat (8,4l/s-persona) però per l'anàlisi energètic amb l'eina PHPP, s'ha establert que el sistema de ventilació funcionarà a un cabal mínim de ventilació de 4,15 l/s-persona aplicant el criteri Passivhaus per escoles.

En edificis passius es recomana un règim de funcionament amb cabals de ventilació més baixos que els definits per la norma espanyola per garantir la bona qualitat de l'aire i evitar pèrdues energètiques.

Cal recordar que un cabal de ventilació reduït no només minimitza les despeses energètiques sinó que també evita molèsties de corrents d'aire i de soroll. Per això, Passivhaus defineix la tipologia de l'aire interior dels edificis escolars amb a IDA 3 (RITE opta per IDA 2).

D'altra banda, Passivhaus preveu el funcionament sostingut del sistema de ventilació durant les hores de funcionament del centre mentre que els centres a Catalunya amb instal·lacions de ventilació amb cabals superiors en fan un ús intermitent.

L'hermeticitat al pas de l'aire és un aspecte clau per el correcte funcionament de la ventilació controlada i per l'optimització del balanç energètic en un edifici tipus Passivhaus. Per la certificació en rehabilitació cal assolir un valor de $n_{50} = 1,0$ ren/h en l'assaig del test Blower Door. Es proposen una sèrie de mesures per minimitzar les infiltracions de l'edifici garantint la continuïtat de la línia d'hermeticitat en totes les trobades de l'envolupant tèrmica.

Es garantirà l'hermeticitat al pas de l'aire a les juntes de instal·lació de les finestres amb la façana mitjançant la col·locació de cintes especials de segellat.



Col·locació de bandes de segellat del perímetre de la fusteria

En les portes exteriors es prestarà especial atenció a col·locar a la part inferior un perfil metàl·lic fixe continu fixat al paviment que garanteix d'una banda l'hermeticitat a l'aire i d'altra banda assegura l'accessibilitat.



Perfil estanqueïtat a l'aire en paviment (font: Variotec)

Totes les perforacions de la línia d'hermeticitat de l'envolupant, en especial aquelles derivades de passos de conductes de instal·lacions, es segellaran amb productes específics seguint les instruccions del fabricant.



Collaret de ubbink/Siber



Collaret de Eisedicht



Exemple de mala col·locació de conductes



Exemple de mala col·locació de conductes



Exemple d'accessoris per conductes que travessen la línia d'hermeticitat

c. Millora de l'aïllament de l'envolupant tèrmica i optimització dels ponts tèrmics

Un cop reduïda la demanda energètica de l'edifici amb les mesures exposades anteriorment, s'optimitza l'aïllament de la part massissa de l'envolupant per arribar als valors establerts per l'estàndard Passivhaus de demanda de calefacció. Es planteja la col·locació de un SATE (Sistema d'Aïllament Tèrmic per la cara Exterior) que garanteix la eliminació dels ponts tèrmics constructius (per exemple, trobada entre façana i forjats).

d. Optimització dels elements d'ombra i ventilació addicional nocturna

Per minimitzar la freqüència de sobreescalfament de l'edifici per sobre dels 26°C es proposen les següents solucions passives de millora:

- Optimització dels elements d'ombrejament temporal
- Plantejament d'un escenari factible de ventilació addicional nocturna per refrigerar l'edifici de forma passiva durant la nit a través de les finestres

2.2. RESULTATS DE L'ESTAT ACTUAL

Per analitzar l'impacte de cadascuna de les propostes de millora de l'optimització Passivhaus en l'edifici, es simula l'edifici amb els criteris oficials establerts per l'estàndard Passivhaus en escoles:

- Guanys interns de calor a l'hivern: 2,8 W/m² (estàndard Passivhaus)
- Guanys interns de calor a l'estiu: 2,8 W/m² (estàndard Passivhaus)
- Temperatura de confort a l'hivern: 20°C (estàndard Passivhaus)
- Temperatura màxima de confort al llarg de l'estiu: 26°C (criteri modificat)
-

Pel càlcul del consum elèctric de l'edifici s'han considerats tots els equips electrònics (ordinadors, monitors, projectors, pantalles digitals, ascensors, etc.) en la simulació amb l'eina PHPP 8.5 descrits a l'Annex II.

Els resultats obtinguts en aquesta simulació difereixen dels resultats presentats a l'apartat 1.3 perquè els guanys interns de calor considerats són diferents. En aquest apartat es consideren els guanys de calor establerts com a estàndard en el procés de certificació Passivhaus.

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
	Superficie de referencia energética	2352,3 m ²	Requerimientos	¿Cumplido?*
Calefacción	Demanda de calefacción	107,8 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	no
	Carga de calefacción	71,1 W/m ²	10 W/m ²	no
Refrigeración	Demanda total refrigeración	kWh/(m ² a)	-	-
	Carga de refrigeración	W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobre calentamiento (> 25 °C)	13,0 %	-	-
Energía primaria	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	224,5 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	no
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	5,7 1/h	0,6 1/h	no

* Campo vacío: faltan datos; -: sin requerimiento

Resultats obtinguts de la simulació amb PHPP 8.5 de l'edifici en estat actual amb els criteris esmentats

2.3. ANÀLISI DE LES PROPOSTES PER A LA REHABILITACIÓ PASSIVHAUS ADAPTAT A CLIMA MEDITERRANI

S'analitzen en aquest apartat una sèrie de millores passives, ordenades per propostes vinculades a la reducció de la demanda de calefacció i d'altres de millora del confort a l'estiu. Es parteix de la simulació de l'edifici en l'estat actual amb l'eina PHPP (veure Annex II). Un cop simulat l'edifici en l'estat actual, es simula introduint cadascuna de les propostes de millora de manera correlativa. Els resultats obtinguts són acumulatius.

PROPOSTA DE MILLORES PER LA OPTIMITZACIÓ DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓ:

a. Optimització del balanç energètic de les finestres

Es proposa la substitució de la fusteria actual de l'edifici. La fusteria de portes i finestres serà substituïda per fusteria tipus Passivhaus per climes càlids. Aquesta perfilaria incorporarà separadors de plàstic del tipus TGI (veure imatge) per garantir l'estanqueïtat de l'entrega entre la façana i la fusteria.

SUBSTITUCIÓ FUSTERIA DE FAÇANA

MILLORES	ESTAT INICIAL
Finestres d'alumini tipus Passivhaus Uf=1,3W/m ² K; Ug=1,0W/m ² K; g=0,38	Finestres d'acer existents Uf=5,7W/m ² K; Ug=5,8W/m ² K; g=0,60
Separadors de plàstic (tipus TGI)	Vidre simple
Millora del pont tèrmic de instal·lació de les finestres (sobre l'aïllament)	Instal·lació de les finestres sobre el tancament ceràmic

*Uf: Transmissió tèrmica del marc (W/m²K)

*Ug: Transmissió tèrmica del vidre (W/m²K)

*g: Factor solar del vidre (%)

La següent taula mostra el balanç energètic de les finestres (relació entre pèrdues i guanys per radiació solar) a l'estat actual i a l'estat rehabilitat segons les millores plantejades. Les quatre files corresponen a les obertures col·locades en diferents orientacions segons aquest ordre (de dalt a baix): Nord, Est, Oest, Sud i pla horitzontal. El resultat final de cada taula es refereix al total de cada paràmetre.

Pérdidas por transmisión	Ganancias de calor por radiación solar		Pèrdues per transmissió	Guany de calor per radiació solar
kWh/a	kWh/a		kWh/a	kWh/a
32142	2517	➔	7122	1594
5338	190		1125	120
45371	11755		9923	7445
4586	1863		957	1180
524	155		144	107
87961	16480		19271	10446

Millora del balanç energètic de les finestres durant l'hivern calculat amb l'eina PHPP 8.5

Per calcular la influència en la demanda de calefacció de l'optimització de les finestres s'ha simulat l'edifici amb l'eina PHPP modificant els paràmetres energètics de les finestres (U_f , U_g , g , pont tèrmic en le perímetre del vidre i pont tèrmic de la instal.lació de la fusteria) segons les millores proposades. (veure Annex II, document "Escola Margalló, Castelldefels, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb eina PHPP 8.5").

El resultat de la demanda de calefacció a la simulació de l'edifici amb les noves finestres es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en el seu estat actual:

L'optimització del balanç energètic de les finestres suposa un estalvi en la demanda de calefacció de 41,8 kWh/m²a

b. Ventilació mecànica de flux doble i millora de l'hermeticitat al pas de l'aire

S'incorpora un sistema de ventilació controlada de doble flux amb recuperació de calor per tal de reduir les pèrdues energètiques a través de la ventilació, i per millorar el confort dels alumnes i la qualitat de l'aire a les aules. Es preveu que la xarxa de ventilació funcioni 8 hores diàries a l'hivern en mode de doble flux i 8 h diàries a l'estiu només en mode d'extracció. És molt important apagar el sistema de ventilació controlada durant els temps de desocupació de l'edifici, per estalviar en els consums elèctrics dels ventiladors. El funcionament del sistema de ventilació serà regulat per un sistema de gestió automatitzat.

Aquest sistema es combina amb una reducció de les infiltracions millorant l'hermeticitat de l'edifici per aconseguir així el valor exigít per l'estàndard ($n_{50}=1,0/h$). La reducció de les pèrdues energètiques s'aconsegueix mitjançant bandes especials per a l'hermeticitat en la instal.lació de les finestres i collarets de segellat per als conductes de instal.lacions que travessen l'envolupant tèrmica. A més, s'ha de definir la capa de guix interior, que ha de ser contínua, com a línia d'hermeticitat a l'aire. També s'ha de corregir possibles desperfectes en la capa de guix.

Per calcular la influència en la demanda de calefacció de l'edifici de la instal.lació del sistema de ventilació, s'ha simulat l'edifici introduint les dades del sistema de ventilació amb una

eficiència del recuperador de calor del 75% - eficiència mínima recomanada a l'estàndard Passivhaus i modificant el valor de les infiltracions n50 des de 5,7 ren/h (obtingut en el test Blower Door en l'estat actual) fins a 1,0 ren/h (màxim establert en l'estàndard Passivhaus per rehabilitació d'edificis) - (veure Annex II, document "Escola Margalló Castelldefels, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb eina PHPP 8.5").

El resultat de la demanda de calefacció en la simulació de l'edifici amb el sistema de ventilació es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en l'estat anterior, és a dir, l'edifici un cop optimitzades les finestres:

La instal·lació d'un sistema de ventilació controlada amb recuperació de calor i la millora de l'hermeticitat suposen un estalvi en la demanda de calefacció de 18,8 kWh/m²any (respecte a l'edifici actual combinat amb les mesures anteriors).

c. Optimització de l'aïllament de l'envolupant tèrmica

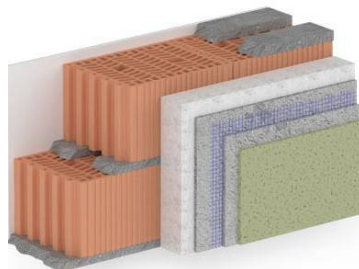
- Aïllament per l'exterior en façana i en coberta

Es proposa la instal·lació d'un sistema SATE. Es tracta d'un revestiment per l'exterior de l'edifici amb unes planxes d'aïllament tipus EPS de 10 cm de gruix, aconseguint una transmitància tèrmica de la façana de 0,242 W/ m²K.

Aquest revestiment cobrirà les parts de l'estructura que en aquest moment apareixen en façana i n'anul·larà els ponts tèrmics. Igualment, quedaran protegits la resta de punts febles: brancals, dintells, ampits de les finestres i caixes de persianes.

L'acabat exterior de la planxa d'aïllament es fa amb diferents capes de morter que garanteixen l'adherència i flexibilitat del revestiment en la seva vida útil. L'aspecte és el d'un morter tipus monocapa. En aquest cas el morter d'acabat haurà de ser de color blanc o blanc trencat per tal d'evitar el sobreescalfament a l'estiu.

Per l'optimització de l'aïllament en coberta es proposa la instal·lació d'un aïllament tipus EPS de 20 cm de gruix en una solució de coberta ventilada. Un major gruix de l'aïllament en coberta redueix les pèrdues energètiques per transmissió a l'hivern i els guanys solars per radiació a l'estiu. La transmitància tèrmica aconseguida a la coberta és de 0,170 W/m²K.

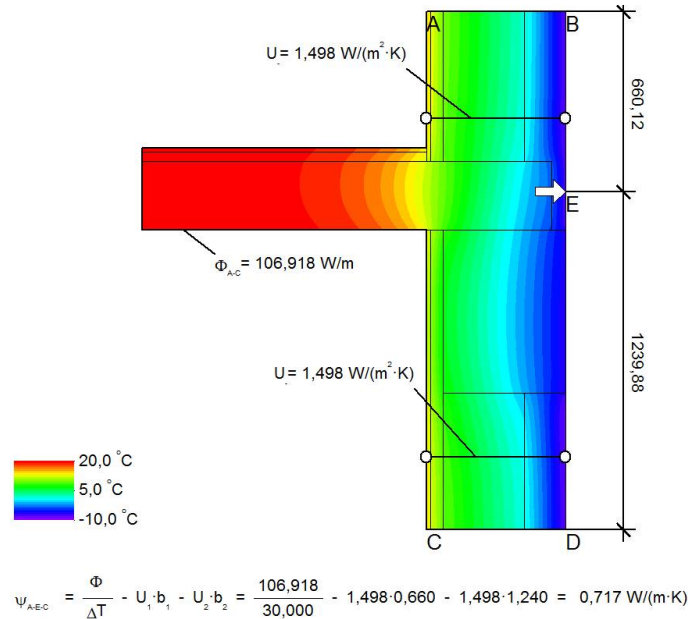


Imatge instal·lació sistema SATE

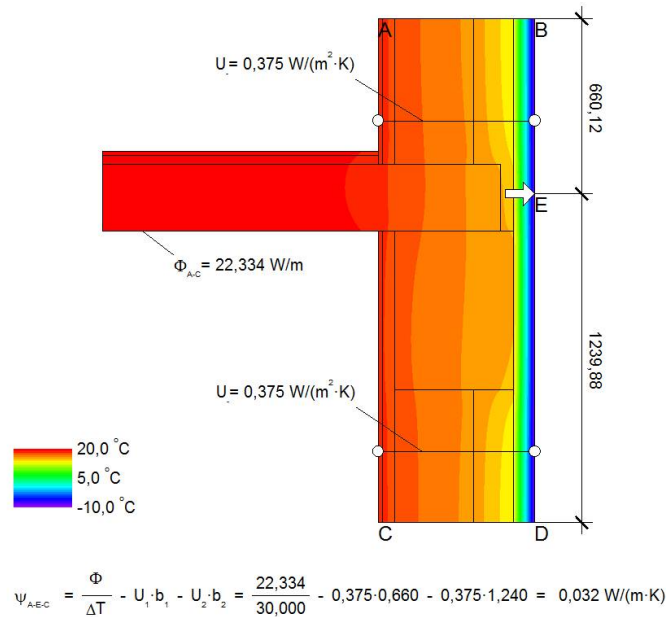
Analitzant a nivell energètic el comportament de l'edifici a l'estiu, es proposa no actuar a nivell de l'aïllament de la solera per no perjudicar la dissipació de calor cap al terreny.

- Optimització dels ponts tèrmics constructius

Es realitza un càlcul amb l'eina Flixo energy v.7 per estudiar el pont tèrmic de la trobada del forjat amb la façana i la trobada entre fusteria i façana. En l'All s'inclou el detall dels resultats.



Distribució de temperatures en l'envolupant de l'edifici en l'estat actual



Distribució de temperatures en l'envolupant de l'edifici millorat

La millora de l'aïllament amb la col·locació d'un sistema SATE per l'exterior redueix el pont tèrmic que es produeix en la trobada entre la façana i els forjats entremitjos de 0,599 W/mK fins a 0,033 W/mK.

Tenint en compte que la longitud d'aquest pont tèrmic és de **351m** i la diferència entre la transmitància lineal en el seu estat actual i l'estat optimitzat és de 0,566 W/mK, la millora del pont tèrmic equival a un gruix d'aïllament suplementari de 45mm ($\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$).

La solució adoptada d'aïllar per l'exterior amb un sistema SATE comporta la reducció dels ponts tèrmics geomètrics de l'edifici. Si l'opció adoptada fos aïllar per l'interior seria necessari utilitzar 145 mm d'aïllament en lloc dels 100 mm proposats per arribar a reduir al mateix nivell les pèrdues de calor per transmissió en façana.

La reducció del valor del pont tèrmic amb la solució optimitzada, equival a un suplement de 65 mm de d'aïllament tèrmic que caldria afegir al sistema SATE.

Per calcular la influència en la demanda de calefacció de l'edifici de l'optimització de l'aïllament tèrmic de l'envolupant, s'ha simulat l'edifici afegint a cadascun dels elements de l'envolupant la solució d'aïllament proposada (veure Annex II, document "Escola Margalló Castelldefels, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb eina PHPP 8.5).

El resultat de la demanda de calefacció en la simulació de l'edifici amb l'optimització de l'aïllament tèrmic de l'envolupant proposada es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en l'estat anterior, és a dir, l'edifici un cop optimitzades les finestres, instal·lat el sistema de doble flux amb recuperador de calor i millorada l'hermeticitat al pas de l'aire:

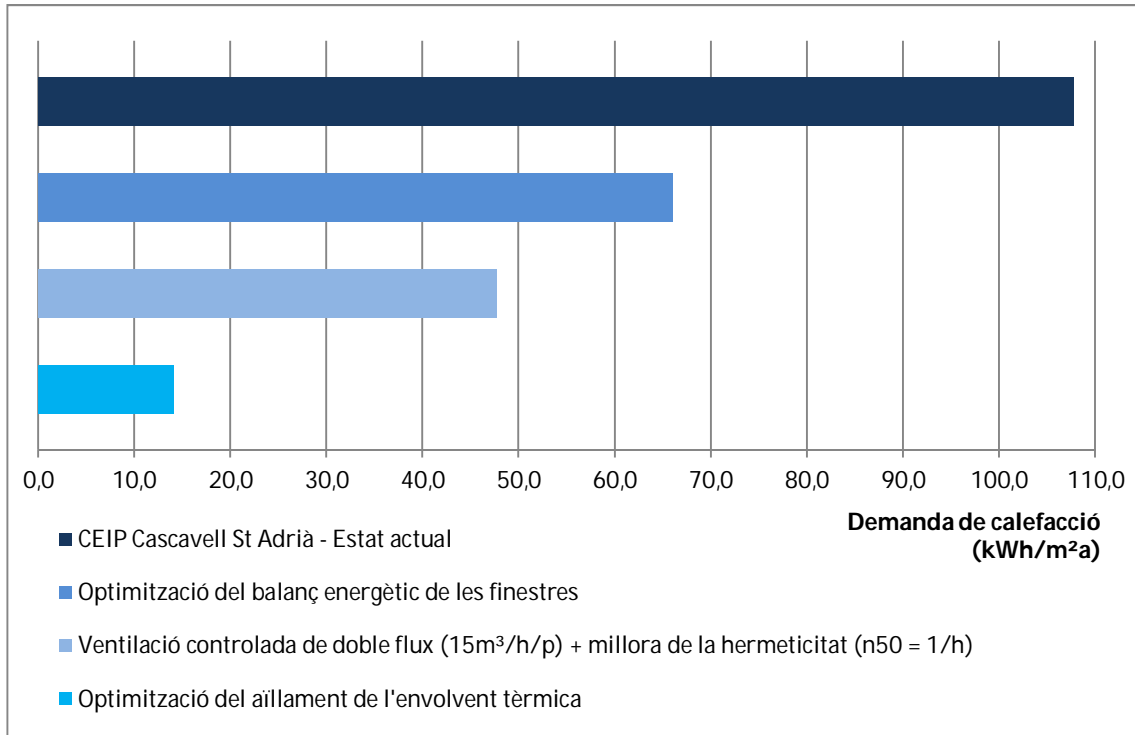
L'optimització de l'aïllament de l'envolvent tèrmica suposa un estalvi en la demanda de calefacció de 24,1 kWh/m²any (respecte a l'edifici actual combinat amb les mesures anteriors).

RESUM DE LES MILLORES PER LA OPTIMIZACIÓ DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓ :

La taula i gràfica següent mostren la progressiva reducció de la demanda de calefacció de l'edifici que s'obté amb cadascuna de les propostes de millora descrites anteriorment.

CEIP Margalló (Castelldefels)	Demanda energètica de calefacció (kWh/m ² a)	Freqüència de sobreescalfament sobre 26°C (%)	PASSIVHAUS
ESTAT INICIAL	107,8	13	NO
Optimització del balanç energètic de les finestres	66,0	13,6	NO
Instal·lació de la ventilació controlada de doble flux amb millora de la hermeticitat	47,8	17,8	NO
Optimització de l'aïllament de l'envolupant tèrmica i dels ponts tèrmics	14,1	12,1	NO

Incidència de les mesures en la demanda de calefacció



Gràfic resum de la disminució de la demanda de calefacció que suposa cadascuna de les millores proposades

El total de les actuacions proposades per la rehabilitació Passivhaus de l'escola suposen un estalvi en la demanda de calefacció de 93,7 kWh/m²any (un 87% de la demanda de calefacció en l'estat actual).

- Increment del consum elèctric**

La incorporació del sistema de ventilació provoca un lleuger increment del consum elèctric tot i que el consum global d'energia primària de l'edifici segueix complint els requeriments de l'estàndard Passivhaus.

CEIP Margalló (Castelldefels)	Consum de energia elèctrica (kWh/m²a)	Estalvi energètic (kWh/m²a)	PASSIVHAUS
ESTAT ACTUAL	30,0		
Consum elèctric dels ventiladors de la ventilació mecànica de doble flux	31,9	-1,9	SI

- Substitució de caldera existent per caldera d'alta eficiència**

CEIP Margalló (Castelldefels)	Consum de gas (kWh/m²a)	Estalvi energètic (kWh/m²a)	PASSIVHAUS
ESTAT ACTUAL (incl ACS i cuina)	112,0		SI

Reducció de la demanda de gas per calefacció amb les millores passives (inclòs ACS i cuina)	34,8	77,2	
Instal·lació de calderes murals de gas de condensació d'alta eficiència 50kW (inclòs ACS i cuina)	30,5	4,3	



PROPOSTA DE MILLORES PER L'OPTIMITZACIÓ DEL CONFORT A L'ESTIU:

Per arribar a complir amb la solució Passivhaus certificable, cal reduir la freqüència de sobreescalfament per sobre de 25° fins el 10%.

a. Ventilació addicional nocturna per la refrigeració a l'estiu

Es proposa un escenari de ventilació addicional nocturna durant l'estiu. Es planteja que es realitzi una ventilació natural a través de les finestres al llarg de la nit de 1 ren/h per refrigerar l'interior de forma passiva. Aquest escenari de ventilació nocturna es produiria amb l'obertura oscil·lant de les finestres de forma manual per part del conserge de l'escola. Aquesta estratègia està estretament lligada al compliment del protocol d'actuació definit en fase de projecte i aprovat pel mateix usuari (per exemple: el conserge obre les finestres per la nit i es torna a tancar pel matí de l'endemà).

Per calcular la influència en la freqüència de sobreescalfament de l'edifici de la ventilació nocturna, s'ha simulat l'edifici incloent una ventilació nocturna durant l'estiu de 1 ren/h (veure Annex II, document "Escola Margalló Castelldefels, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani amb eina PHPP 8.5").

El resultat de la freqüència de sobreescalfament de l'edifici amb l'estratègia de ventilació addicional nocturna a l'estiu es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en el seu

estat anterior, és a dir, després de l'aplicació de les mesures per reduir la demanda de calefacció.

La ventilació addicional nocturna plantejada suposa una reducció de la freqüència de sobreescalfament per sobre de 25°C del 3,4%.

b. Millora de la protecció solar

Igualment, es preveu la instal·lació d'elements de protecció solar a les façanes Sud-oest i Sud-est. Es proposa un sistema de tendals per protegir la captació solar a través de les finestres. Al suprimir-se les caixes de persiana, caldrà incorporar cortines a l'interior que permetin enfosquir puntualment.

Per calcular la influència en la freqüència de sobreescalfament de l'edifici de la millora de la protecció solar, s'ha simulat l'edifici incloent elements d'ombra regulables amb un factor de reducció solar del 35% en les obertures orientades a Sud, Est i Oest (veure Annex II, document "Escola Margalló Castelldefels, modelització de l'optimització Passivhaus adaptada a clima mediterrani "amb eina PHPP 8.5"). El resultat de la freqüència de sobreescalfament de l'edifici amb la protecció solar a l'estiu es compara amb el resultat de la simulació de l'edifici en el seu estat anterior, és a dir, després de l'aplicació de les mesures per reduir la demanda de calefacció.

La protecció solar suposa una reducció de la freqüència de sobreescalfament per sobre de 25°C del 0,9% (un cop aplicada la mesura anterior).

CEIP Margalló (Castelldefels)	Demanda energètica de calefacció (kWh/m ² a)	Freqüència de sobreescalfament sobre 25°C (%)	PASSIVHAUS
OPTIMIZACIÓ PER A L'HIVERN	14,1	12,1	NO
Ventilació addicional nocturna per la refrigeració a l'estiu	14,1	10,7	NO
Millora de la protecció solar en les aules	14,1	9,8	SI

Taula resum de la disminució de la freqüència de sobreescalfament que suposen les millores proposades

2.4. RESULTATS I CONCLUSIONS

En la simulació final de l'edifici un cop optimitzat per la rehabilitació Passivhaus certificable amb l'eina PHPP 8.5 s'obtenen els següents resultats:

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
	Superficie de referencia energética	2352,3 m ²		
Calefacción	Demanda de calefacción	14,1 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	si
	Carga de calefacción	13,7 W/m ²	10 W/m ²	-
Refrigeración	Demanda total refrigeración	kWh/(m ² a)	-	-
	Carga de refrigeración	W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	9,8 %	-	-
Energía primaria	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, itum., aparatos eléct.	116,5 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	si
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	37 kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	1,0 1/h	0,6 1/h	no

* Campo vacío: faltan datos, "-": sin requerimiento

*Nota: Els criteris de l'estàndard Passivhaus per rehabilitació en hermeticitat modifiquen els requeriments del resultat de l'assaig de pressió n50 a 1,0 1/h

- La demanda de calefacció es redueix des de 107,8 kWh/m²a fins a 14,1 kWh/m²a
- Es redueix la freqüència de sobreescalfament per sobre de 26°C fins al 9,8%
- La demanda d'energia primària es redueix de 224,5 kWh/m²a a 116,5 kWh/m²a
- Les emissions de CO₂ es redueixen de 48,4 kg/m²a a 28,2 kg/m²a

La reducció de la demanda de calefacció i l'optimització de la il·luminació de les aules suposa una reducció de la demanda d'energia primària i de les emissions de CO₂ de l'edifici.

L'energia primària és aquella que es troba disponible a la natura, podent distingir-se entre energia renovable o energia fòssil (no renovable). En el procés de transformació d'aquesta energia primària en energia final consumida pels edificis es produeixen despeses d'operació de plantes, transport, pèrdues, accidents, etc... Per tant, la quantitat d'energia primària que entra al sistema serà sempre superior a l'energia final consumida. A més, cal tenir en compte que durant el procés es produeixen impactes ambientals i contaminació que ha de ser tractada i eliminada amb mitjans humans i tècnics, el cost dels quals caldria comptabilitzar com una partida més imputable al cost de producció de l'energia.

Pel càlcul de l'energia primària d'un edifici a partir de la seva demanda d'energia final s'apliquen uns factors de conversió en funció de la font d'energia utilitzada.

TIPUS D'ENERGIA	FONT D'ENERGIA	FACTOR EP (font d'energia renovable)
Combustible	Gas natural	1,1
Combustible	GLP	1,1
Combustible	Fusta (Biomassa)	0,2
Electricitat	Xarxa	2,6

Normativa vigent al desembre de 2015

El factor de conversió d'energia final a emissions de CO₂(g CO₂/kWh) s'obté a partir del factor de conversió d'energia final a energia primària (kWh e.primària/ kWh e.final) i el factor d'emissions de CO₂ específic de cada combustible segons el seu factor d'oxidació (g CO₂/kWh). Pel càlcul de les emissions de CO₂ d'un edifici a partir de la seva demanda d'energia final, s'apliquen els següents factors de conversió:

TIPUS D'ENERGIA	FONT D'ENERGIA	Factor de emissió de CO ₂ (g/kWh)
Combustible	Gas natural	250
Combustible	GLP	270
Combustible	Fusta (Biomassa)	55
Electricitat	Xarxa	680

Normativa vigent al desembre de 2015

2.5. COST ECONÒMIC

A continuació es descriu l'estimació pressupostària de la rehabilitació i la possible contribució del Programa PAREER CRECE de l'IDAE.

REHABILITACIÓ ENERGÈTICA DE L'ESCOLA MARGALLÓ: ESTIMACIÓ DE COSTOS REHABILITACIÓ PAVIHAUS

Partida	Ctat	€/ut	TOTAL PEM	TOTAL PEC	AJUDA PAREER-CRECE	IMPORT SUBVENCIÓ
EDIFICI PRINCIPAL (EDUCACIÓ PRIMÀRIA)						
SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA						
Retirada finestres, premarcs i ampits existents	843	m2	10	8.426	9.269	
Col·locació nous premarcs	1.308	ml	11	14.390	15.829	
Enguixat brancals i pintat	523	m2	16	8.372	9.210	
Ampit interior de DM esmaltat	382	ml	30	11.460	12.606	
Ampit exterior de pedra	382	ml	42	16.044	17.648	
Fusteria d'alumini standard PH	843	m2	270	227.506	227.506	
Vidre segons característiques	758	m2	70	53.060	58.366	
Tendals exteriors	500	m2	123	61.500	67.650	
Cortines tipus foscurit	843	m2	35	29.492	29.492	
TOTAL SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA				430.251	447.576	0,5 223.788

INSTAL·LACIÓ VENTILACIÓ

Xarxa de ventilació*	132.902	146.192	50%	73.096
----------------------	---------	----------------	-----	--------

SATE

1.535 m2 74	113.620	113.620	50%	56.810
-------------	---------	----------------	-----	--------

CANVI CALDERA

2 Ut 2650	5.300	5.300	50%	2.650
-----------	-------	--------------	-----	-------

ALTRES

Instal·lació sistema de control calefacció		10.000		
--	--	---------------	--	--

MILLORA HERMETICITAT

Encintat perímetre envolupant	10.465	12.453	50%	6.227
-------------------------------	--------	--------	-----	-------

AÏLLAMENT COBERTA

2.112 m2 66	139.422	153.365	50%	76.682
-------------	---------	----------------	-----	--------

IMPORT TOTAL DE L'OBRA		888.506		
-------------------------------	--	----------------	--	--

IMPORT DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER				439.253
--	--	--	--	----------------

COST FINAL EDIFICI PRIMÀRIA (DESCONTANT AJUDA)		449.253		
---	--	----------------	--	--

DESPESES PROJECTE I DIRECCIÓ D'OBRA

PROJECTE EXECUTIU PER SOL·LICITUD DE SUBVENCIÓ	17.900	50%	8.950
CERTIFICACIÓ ENERGÈTICA EDIFICI EXISTENT	1.800	50%	900
DIRECCIÓ D'OBRA	42.000	50%	21.000
ESTUDI DE GESTIÓ DE RESIDUS	1.000	50%	500
PLA DE CONTROL DE QUALITAT	1.500	50%	750
ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT	2.000	50%	1.000
COORDINACIÓ DE SEGURETAT I SALUT	6.000	50%	3.000

TOTAL DESPESES PROJECTE	72.200		
--------------------------------	---------------	--	--

IMPORT TOTAL DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER			36.100
--	--	--	---------------

TOTAL FINAL DESPESES PROJECTE (DESCONTANT AJUDA)	36.100		
---	---------------	--	--

DESPESES OPCIONALS

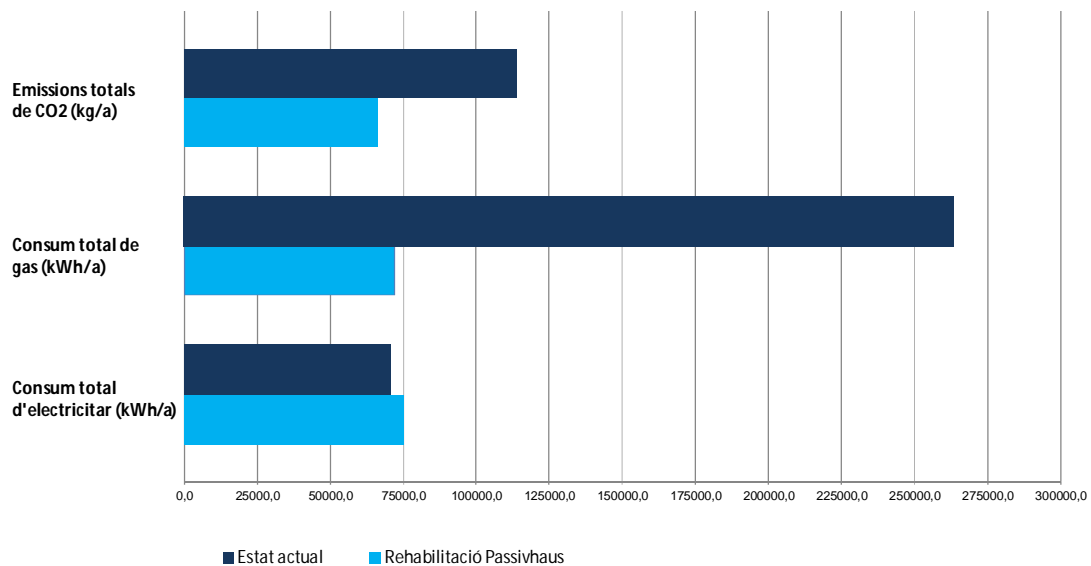
CERTIFICACIÓ PASSIVEHAUS	13.000		
--------------------------	--------	--	--

Aquest pressupost no inclou l'IVA. Les despeses generals i el benefici industrial ha estat adaptat en cada cas segons l'experiència dels autors. Es tracta d'un pressupost orientatiu realitzat a partir d'un estudi preliminar de la rehabilitació

* Pressupost aproximat de subministrament i instal·lació d'un sistema de ventilació de doble flux amb recuperació de calor zonificat per plantes amb una xarxa de ventilació separada pels banys .

2.6. ANÀLISI FINANCER

Anàlisi dels consums energètics amb la rehabilitació Passivhaus



Estalvis energètics de la rehabilitació Passivhaus adaptat a clima mediterrani:

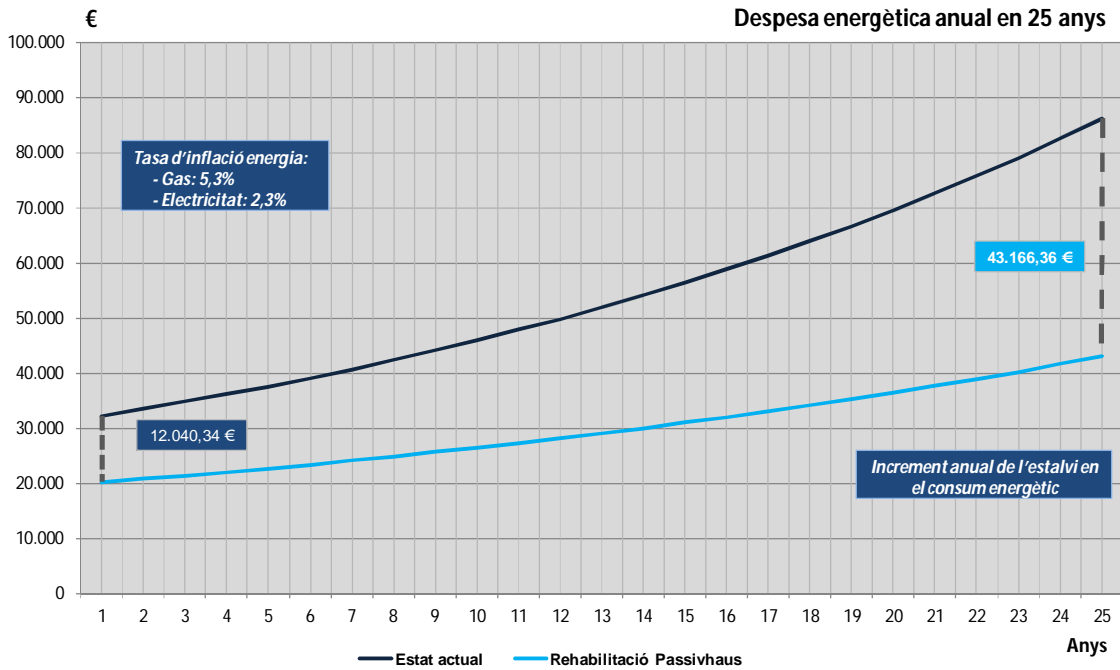
- Estalvi en el consum de gas anual: 191.678 kWh (-73%)
- Augment del consum d'electricitat anual: 4.483 kWh (+6%)
- Reducció d'emissions de CO₂ anual: 47.571 kg (-42%)

L'anàlisi de l'estalvi es fa preveient una taxa d'inflació del 5,3% en el cost del gas i d'un 2,3% en el cost de l'electricitat, basat en l'evolució del preu en els últims 4 anys.

S'ha calculat l'estalvi energètic de l'edifici després de la rehabilitació Passivhaus tenint en compte la reducció del consum de gas i electricitat de l'edifici simulat respecte al consum actual promig dels últims 4 anys.

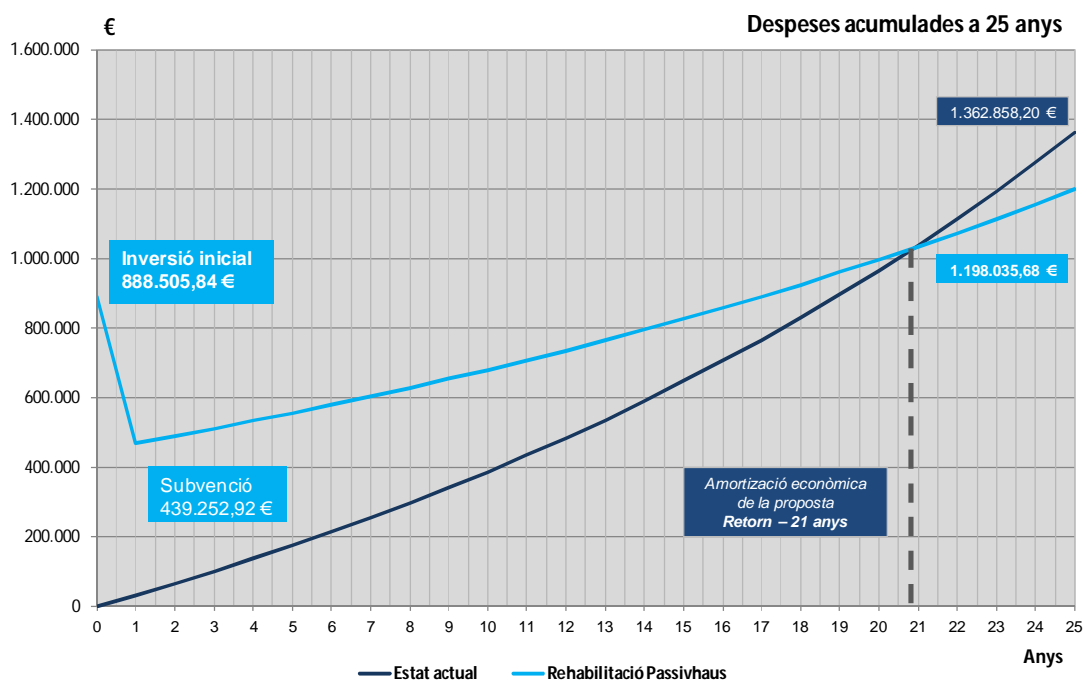
Per calcular l'estalvi econòmic s'ha considerat el preu mig del gas i electricitat que ha estat pagant l'escola al llarg dels últims 4 anys (a partir de les dades de les factures) i una taxa d'inflació del preu de l'energia calculada amb l'evolució del preu bianual del gas i l'electricitat segons Eurostat.

Increment anual de l'estalvi en el consum energètic



Amortització de la inversió: despeses acumulades a 25 anys

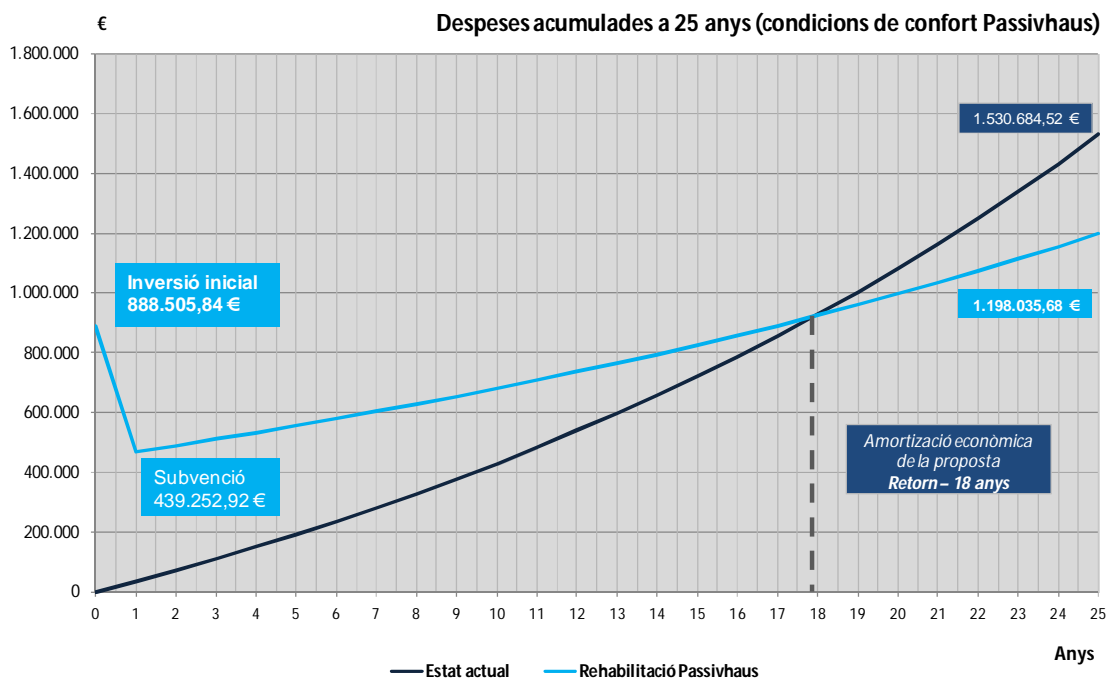
Aquesta gràfica mostra els consums anuals acumulats per l'edifici en el seu estat actual i per l'edifici millorat simulat amb l'eina PHPP 8.5 després del procés de rehabilitació Passivhaus. En els consums acumulats es consideren els costos energètics de l'edifici (gas i electricitat) tenint en compte la taxa d'inflació anual del preu de l'energia, no és té en compte el cost d'oportunitat (tipus d'interès). S'han realitzat els càlculs d'amortització de cadascuna de les opcions segons la norma ISO 15686-5.



Aquesta gràfica correspon a la hipòtesi de rebre l'ajuda corresponent al Pla PAREER CRECE al cap d'un any de la rehabilitació.

L'amortització s'ha calculat respecte al consum energètic de l'edifici en l'estat actual de desconfort en el qual el consum és inferior al necessari per obtenir les condicions de confort Passivhaus. En la següent gràfica es fa el càlcul de l'amortització considerant que l'edifici es troba en les condicions de confort Passivhaus.

Amortització de la inversió en cas de que l'edifici en estat actual estigués en situació de confort



Nota: En ambdós gràfics d'amortització s'ha considerat el cost PEC de la rehabilitació (no inclou IVA ni despeses de projecte)

Es comprova que l'amortització de la inversió és més curta, prenent com a referència l'edifici actual però en condicions de confort Passivhaus: temperatura a l'hivern de 20°C i a de l'estiu 25°C.

3. PROPOSTA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B

La qualificació energètica que s'assigna a un edifici és la corresponent als índexs de qualificació d'eficiència energètica obtinguts per l'edifici dins d'una escala de 7 lletres (dela lletra A, la més eficient, a la lletra G, la menys eficient)

Els càlculs per determinar la qualificació energètica d'un edifici depenen de l'ús del mateix i tenen en compte els serveis de calefacció, refrigeració, enllumenat i aigua calenta sanitària.

La qualificació s'ha determinat mitjançant el procediment simplificat de certificació energètica CE3X. L'edifici de l'escola Margalló té la següent qualificació energètica:

ANEXO II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	C2	Uso	Intensidad Alta - 8h
----------------	----	-----	----------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	47.97 D	CALEFACCIÓN		ACS	
		F		E	
		Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² año]	
		18.63		1.42	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² año]			
47.97		9.01		18.9	

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

2. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN					
	64.47 G		23.31 C				
				Demanda global de calefacción [kWh/m ² año]		Demanda global de refrigeración [kWh/m ² año]	
				64.47		23.31	

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA

Por energía primaria se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes renovables y no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	210.4 D	CALEFACCIÓN		ACS	
		1.95		1.81	
		Energía primaria calefacción [kWh/m ² año]		Energía primaria ACS [kWh/m ² año]	
		91.02		7.11	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Energía primaria refrigeración [kWh/m ² año]		Energía primaria iluminación [kWh/m ² año]			
210.40		36.25		76.0	

La qualificació global és D, tot i que la qualificació de la demanda de calefacció és G. Aquesta alternativa de rehabilitació proposa passar de la qualificació global D a la qualificació B.

3.1. MESURES D'ACTUACIÓ PER ACONSEGUIR LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA B:

S'actua en els mateixos elements que a la rehabilitació Passivhaus però amb un grau d'exigència menor. Les mesures d'actuació necessàries són:

- Reducció de la potència de l'enllumenat

Es proposa la substitució dels tubs fluorescents existents per tubs LED. Amb una reducció del consum del 36%.

- Substitució de les fusteries existents

Retirada de fusteries existents i instal·lació de fusteries d'alumini amb els requeriments per complir el Codi Tècnic d'Edificació a la zona climàtica C2:

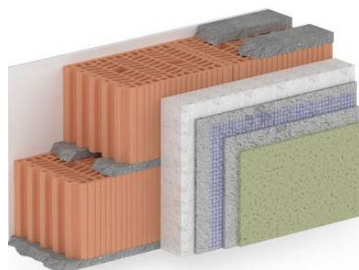
U marc	1,3
U vidre	2,7
G vidre	0,5

- Aïllament de la façana per la cara exterior

Es proposa la instal·lació d'un sistema SATE. Es tracta d'un revestiment per l'exterior de l'edifici amb unes planxes d'aïllament tipus EPS ($\lambda=0.037$) de 8 cm de gruix.

Aquest revestiment cobrirà les parts de l'estructura que en aquest moment apareixen en façana i n'anul·larà els ponts tèrmics. Igualment, quedaran protegits els brancals, dintells i ampits de les finestres.

L'acabat exterior de la planxa d'aïllament es fa amb diferents capes de morter que garanteixen l'adherència i flexibilitat del revestiment en la seva vida útil. L'aspecte és el d'un morter tipus monocapa, que en aquest cas l'acabat haurà de ser de color blanc o blanc trencat per tal d'evitar el sobre-escalfament a l'estiu.



Imatge instal·lació SATE

La caixa de les persianes és un pont tèrmic important, proposem que les noves fusteries no tinguin persianes. Les dues façanes sud-est i sud-oest incorporarien tendals o persianes

replegables com a protecció solar a l'estiu. La resta de façanes no requereix d'elements de protecció solar.

Per tal de poder enfosquir puntualment les aules per permetre projeccions, es proposa la instal·lació de cortines tipus foscurit a l'interior de les aules.

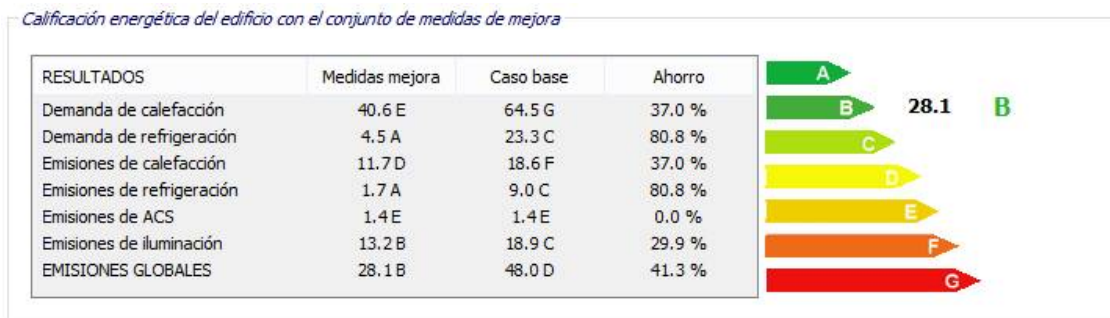
- Sistema de ventilació mecànic

Donat que l'escola no disposa actualment de sistema de ventilació i estem realitzant una rehabilitació, legalment, no hi ha l'obligatorietat d'instal·lar un sistema de ventilació.

Tanmateix, donat que la qualitat de l'aire de l'escola no és gaire bona en l'estat actual, és previsible que si es canvien les finestres i s'augmenta l'estanqueïtat de l'edifici, la qualitat de l'ambient empitjorarà, especialment a l'hivern, quan les finestres s'obrin poc.

Per aquest motiu, tot hi que no sigui necessari per aconseguir la qualificació B, ni sigui legalment imperatiu, es recomana la instal·lació d'una xarxa de ventilació.

Aquesta xarxa de ventilació ha de ser de doble flux amb uns cabals de 8,4l/s d'acord amb el document de treball de la Secretaria d'Indústria sobre ventilació en centres escolars.



Imatge del resultat de les mesures de millora des de el programa CE3x

3.2. COST ECONÒMIC

A continuació es descriu l'estimació pressupostària de la rehabilitació i la possible contribució del Programa PAREER CRECE de l'IDAE.

REHABILITACIÓ ENERGÈTICA DE L'ESCOLA MARGALLÓ: ESTIMACIÓ DE COSTOS REHABILITACIÓ CLASSE B

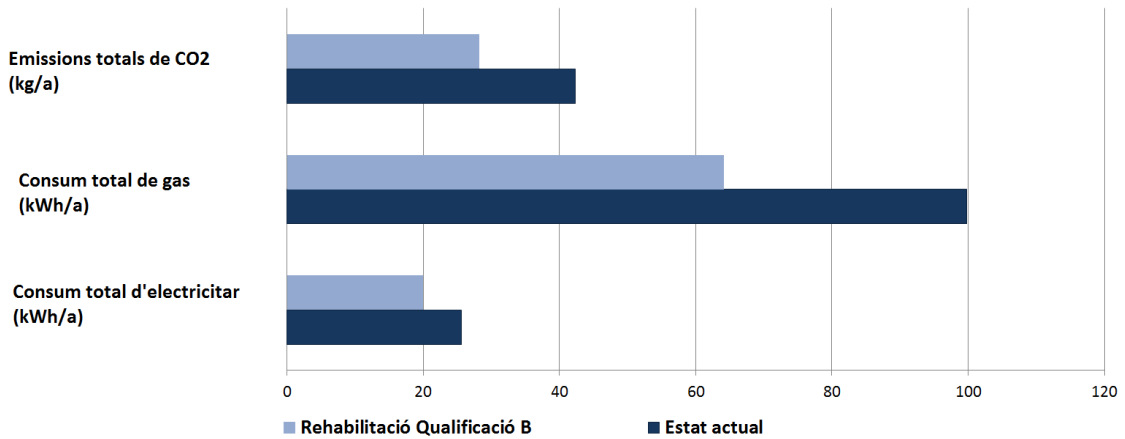
Partida	Ctat	€/ut	TOTAL	TOTAL	AJUDA	IMPORT
			PEM	PEC	PAREER- CRECE	SUBVENCIÓ
EDIFICI PRINCIPAL (EDUCACIÓ PRIMÀRIA)						
SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA						
Retirada finestres, premarcs i ampits existents	843	m2	10	8.426	9.269	
Col·locació nous premarcs	1.308	ml	10	13.082	14.390	

Enguixat brancals i pintat	523	m2	16	8.372	9.210		
Ampit exterior de pedra	382	ml	40	15.280	16.808		
Fusteria d'alumini standard PH	843	m2	198	166.838	166.838		
Vidre segons característiques	758	m2	35	26.530	29.183		
Tendals exteriors	500	m2	123	61.500	67.650		
Cortines tipus foscurit	843	m2	35	29.492	29.492		
TOTAL SUBSTITUCIÓ FUSTERIES EN FAÇANA				329.520	342.839	0,5	171.420
INSTAL·LACIÓ VENTILACIÓ							
Xarxa de ventilació				88.000	96.800	50%	48.400
SATE							
	1.535	m2	70	107.478	107.478	50%	53.739
CANVI CALDERA							
	2	Ut	3500	7.000	7.000	50%	3.500
ALTRES							
Instal·lació sistema de control calefacció					10.000		
AÏLLAMENT COBERTA							
	2.112	m2	60	126.748	139.422	50%	69.711
IMPORT TOTAL DE L'OBRA					703.540		
IMPORT DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER							346.770
COST FINAL EDIFICI PRIMÀRIA (DESCONTANT AJUDA)					356.770		
DESPESES PROJECTE I DIRECCIÓ D'OBRA							
PROJECTE I DIRECCIÓ D'OBRA				59.900	50%		8.950
CERTIFICACIÓ ENERGÈTICA EDIFICI EXISTENT				1.800	50%		900
ESTUDI DE GESTIÓ DE RESIDUS				1.000	50%		500
PLA DE CONTROL DE QUALITAT				1.500	50%		750
ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT				2.000	50%		1.000
COORDINACIÓ DE SEGURETAT I SALUT				6.000	50%		3.000
TOTAL DESPESES PROJECTE					72.200		
IMPORT TOTAL DE L'AJUDA DEL PROGRAMA PAREER							36.100
TOTAL FINAL DESPESES PROJECTE (DESCONTANT AJUDA)					36.100		

Aquest pressupost no inclou l'IVA. Les despeses generals i el benefici industrial ha estat adaptat en cada cas segons l'experiència dels autors. Es tracta d'un pressupost orientatiu realitzat a partir d'un estudi preliminar de la rehabilitació

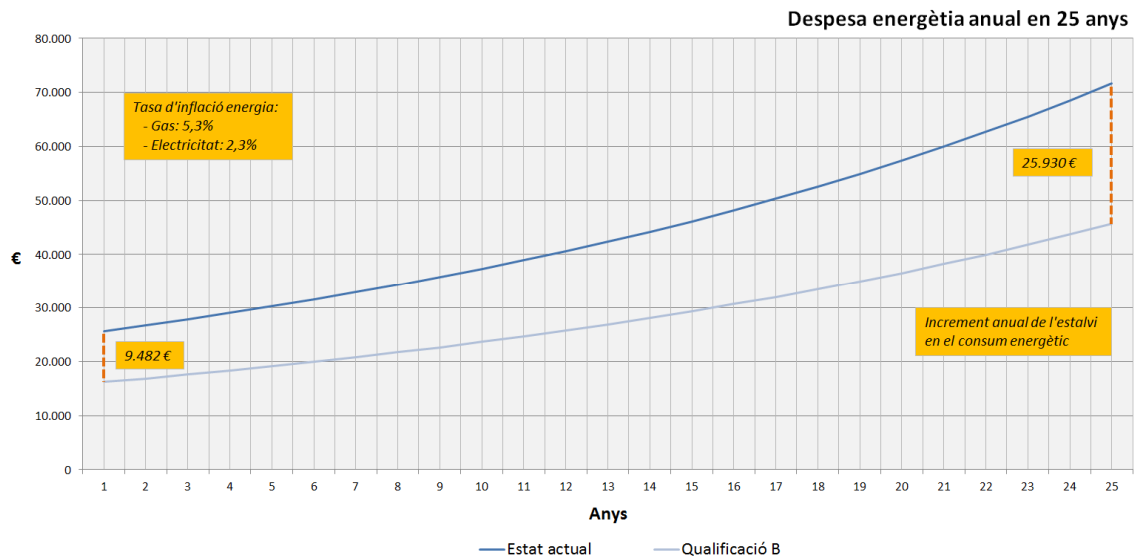
3.3. ANÀLISI FINANCER

Anàlisi dels consums energètics amb la rehabilitació per qualificació energètica B (veure taula resum resultats CE3X pàg. 184)

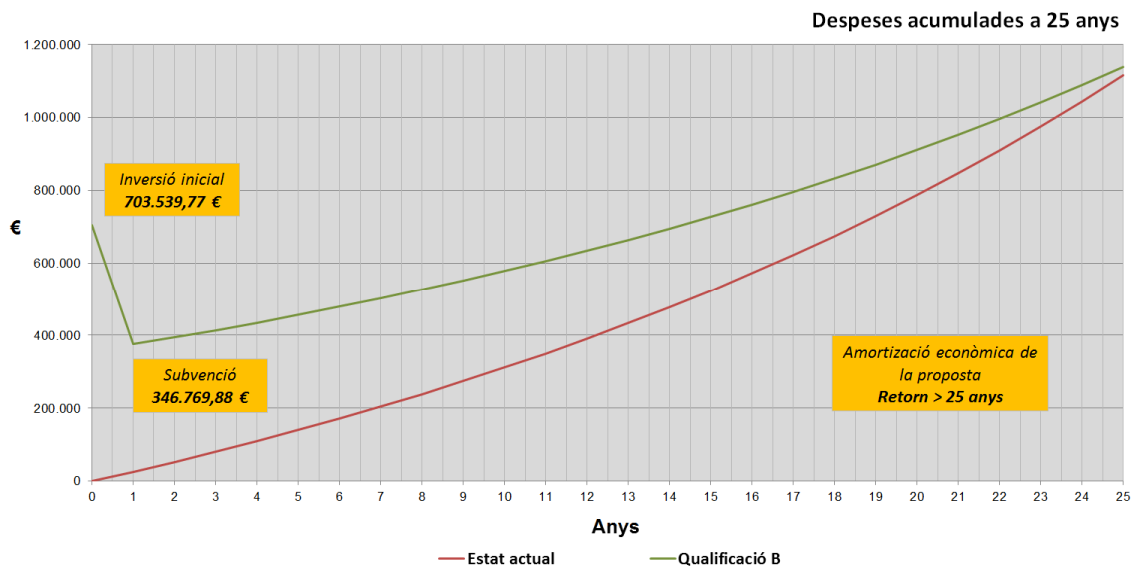


L'anàlisi de l'estalvi es fa preveient una taxa d'inflació del 5,3% en el cost del gas i d'un 2,3% en el cost de l'electricitat, basat en l'evolució del preu en els últims 4 anys.

Increment anual de l'estalvi en el consum energètic



Amortització de la inversió: despeses acumulades a 25 anys



Aquesta gràfica correspon a la hipòtesi de rebre l'ajuda corresponent al Pla PAREER CRECE al cap d'un any de la rehabilitació. El termini d'amortització de la rehabilitació per aconseguir la qualificació B supera els 25 anys.

5. ANÀLISI COMPARATIU DELS RESULTATS OBTINGUTS I CONCLUSIONS

La següent taula mostra una comparativa dels resultats obtinguts amb la simulació energètica de l'edifici en els dos casos estudiats.

	PH	Qualificació energètica B	Estat actual
Demanda calefacció (kWh/m².a)	12,5 (14,1)*	60,6	95,3 (107,8)
Consum elèctric (kWh/m².a)	28,2 (31,9)*	31,2	30 (26,5)
Consum gas (kWh/m².a)	27,1 (30,6)*	74,3	117,7 (133,1)
Emissions CO₂ (T/a)	66,3	78,0	113,8
Total energia primària (kWh/m².a)	103,0 (116,5)*	124,9	198,5 (224,5)
Cost rehabilitació	888.504 €	703.540 €	
Cost rehabilitació €/m²	334,0	264,5	
Amortització (anys)	21	>25	

Taula comparativa de les tres opcions d'intervenció a l'escola Margalló de Castelldefels

*Les dades entre parèntesi corresponen a les dades de les simulacions realitzades amb l'eina PHPP 8.5. Els resultats obtinguts amb PHPP estan calculats en funció de la superfície de referència energètica que no correspon a la superfície útil de l'edifici.

- Superfície de referència energètica: 2352,27 m²
- Superfície útil: 2660 m²

Per fer una comparativa entre els resultats obtinguts amb el PHPP 8.5 (en funció de la superfície de referència energètica) i el CE3X (en funció de la superfície útil) s'ha aplicat el coeficient corresponent a les dades obtingudes amb PHPP 8.5

**El cost considerat és el PEC, pressupost de contracte, no inclou IVA ni altres despeses

Un cop analitzat els resultats obtinguts d'estalvi energètic, cost de rehabilitació i amortització econòmica per les tres propostes de rehabilitació estudiades, s'arriba a les següents conclusions:

- L'opció Passivhaus és l'opció de rehabilitació amb el període d'amortització més curt.
- Dur a terme l'opció de rehabilitació per obtenir la qualificació B comporta una despesa inicial més baixa però el potencial d'estalvi energètic és molt inferior a la versió Passivhaus i el termini d'amortització és més llarg.
- Els resultats d'aquest estudi estan supeditats a la possible obtenció de l'ajuda del PROGRAMA DE AYUDAS PARA LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS EXISTENTES (PAREER-CRECE) de l'IDAE.
- Les transmitàncies tèrmiques dissenyades en l'opció Passivhaus (façana 0,24 W/m²K, coberta 0,17 W/m²K, finestres 1,3 W/m²K) son millors que els recomanats en el CTE-

HE1-apèndix E (per zona climàtica C: façana 0,29 W/m²K, coberta 0,23 W/m²K, finestres 1,6-2,0 W/m²K).

- La execució d'una rehabilitació tipus Passivhaus requereix d'un esforç superior per part del projectista i de l'empresa constructora. El projecte bàsic i executiu ha de definir-se en profunditat, deixant molt poc marge per la improvisació a la fase d'execució. Els amidaments de l'obra han d'estar molt ben definits. L'empresa constructora ha d'executar l'obra de manera meticulosa. Es recomana que aquestes empreses tinguin experts Passivhaus a la seva plantilla (existeixen cursos específics a Espanya per instal·ladors i constructors en matèria Passivhaus). També es recomana que la direcció d'obra s'adjudiqui a arquitectes i arquitectes tècnics que acreditin experiència en obres Passivhaus de mida similar.