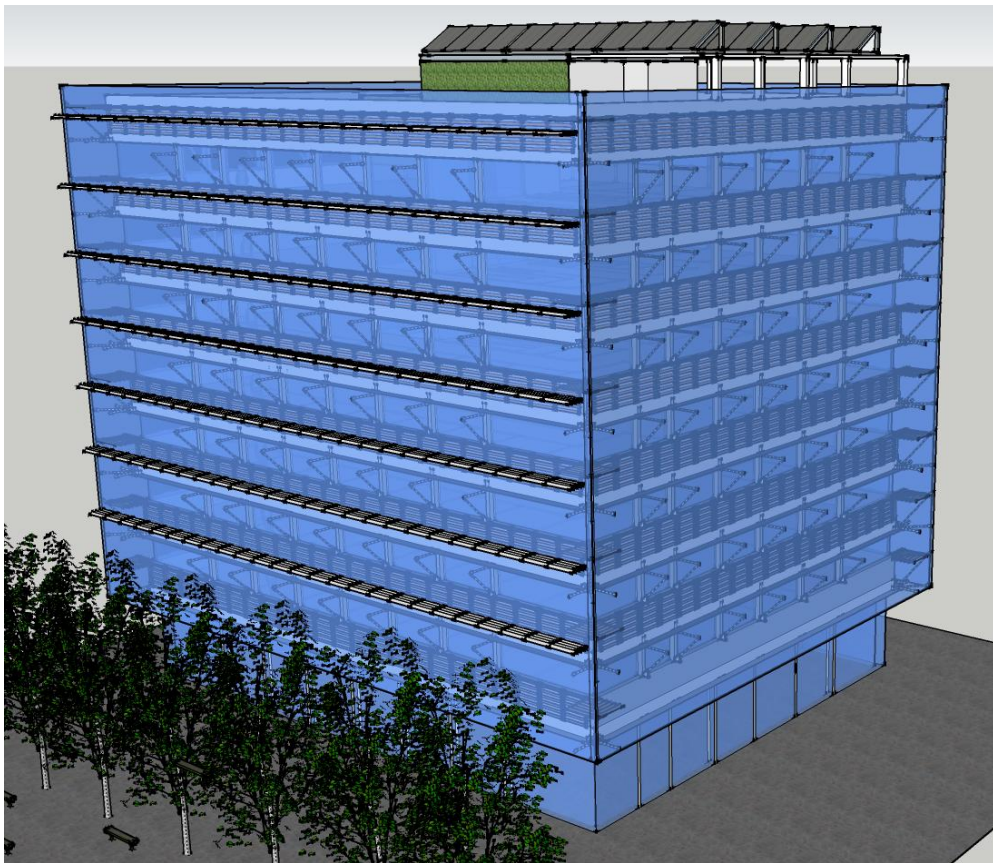


Arquitectura bioclimàtica:

Estudi i proposta d'aïllament tèrmic d'un edifici d'oficines



Alfred Subietas Oliveras

2013

Proposta i experimentació d'una façana
bioclimàtica per a un edifici corporatiu
de vidre a la ciutat de Barcelona.

Alfred Subietas Oliveras

Nom del director: Marta Martí Caballeria

Nom del centre: Escola Pia de Sarrià-Calassanç

2013

Índex del projecte:

1.	Introducció	1
2.	Situació actual façanes i solucions bioclimàtiques	3
2.1.	Despesa energètica	3
2.2.	Climatització i il·luminació en edificis d'oficines	10
2.3.	Mesures d'estalvi	12
2.4.	Cares d'un edifici	16
2.5.	Estudi d'edificis bioclimàtics concrets	24
2.5.1.	Media-Tic	24
2.5.2.	Edifici d'oficines del carrer Àvila	25
2.5.3.	Edifici de la RNE a Barcelona	26
2.6.	Conclusions i solucions bioclimàtiques concretes	31
3.	Experimentació sobre façanes de vidre	33
3.1.	Proves d'aïllament	33
3.2.	Proves de convecció	40
3.2.1.	Experiment número 1, vidre simple	40
3.2.2.	Experiment número 2, doble vidre amb distància 1cm.	42
3.2.3.	Experiment número 3, doble vidre amb distància 2cm.	45
3.2.4.	Experiment número 4, doble vidre amb distància 2cm segellat.	47
3.2.5.	Experiment número 5, doble vidre amb reflectant.	49
3.2.6.	Experiment número 6, doble vidre amb reflectant abans de la convecció.	52
3.2.7.	Experiment número 7, doble vidre amb material opac (plàstic negre)	54
3.2.8.	Experiment número 8, doble vidre amb material opac (plàstic blanc).	56
3.2.9.	Experiment número 9, doble vidre amb material opac (cartró)	58
3.3.	Proves de traspassament de calor de cara Sud a cara Nord	60

3.3.1.	Proves de traspassament de calor S→N número 1	62
3.3.2.	Proves de traspassament de calor S→N número 2	64
3.3.3.	Proves de traspassament de calor S→N número 3	66
3.4.	Resultats	68
3.4.1.	Resum de dades obtingudes	70
3.5.	Conclusions de l'experimentació	73
4.	Proposta d'una solució bioclimàtica concreta per a un edifici d'oficines a Catalunya	75
4.1.	Condicionaments al disseny	75
4.2.	Proposta d'edifici	77
4.2.1.	Distribució	77
4.2.2.	Planta baixa	82
4.2.3.	Façana	83
4.2.4.	Viseres	85
4.2.5.	Terrat	93
4.2.6.	Reflectors	96
4.2.7.	Façana dinàmica posició estiu	99
4.2.8.	Façana dinàmica posició hivern	101
4.3.	Recull de solucions i conclusions	104
5.	Conclusions d'aquest projecte	106
6.	Bibliografia	110
7.	Annexos	111

1. Introducció

El següent treball de recerca està emmarcat en l'àmbit de la arquitectura bioclimàtica, una branca de l'arquitectura que es centra en el disseny d'edificis que tinguin en compte l'entorn, optimitzant la utilització dels recursos naturals (sol, vegetació, vent, etc.) per tal d'estalviar energia i fer més saludables els edificis als seus usuaris.

L'estalvi energètic és un concepte clau dins d'aquesta branca, aquest treball se centra en la optimització del consum energètic i la reducció de la necessitat de consum en un edifici d'oficines per mitjà de l'adaptació i la implementació d'aïllaments a la façana per tal de reduir l'intercanvi de temperatura de l'interior a l'exterior.

Em proposo a fer un estudi de les diferents maneres que té un edifici d'estalviar energia i fer-lo més viable energèticament per tal de reduir-ne el consum i l'ús per tal de aportar una millora d'estalvi tan energètic, com econòmic i mediambiental. Els objectius del treball són diversos, aconseguir una millora objectiva basada en l'experimentació de l'eficiència dels edificis, estudiar la situació d'aquesta pràctica avui en dia, observar i estudiar alguns exemples d'edificis bioclimàtics a Barcelona, descriure els avantatges dels sistemes bioclimàtics que incorporen i treure'n conclusions del seu funcionament i dels diferents sistemes i components que integren.

També caldria realitzar tota una sèrie d'experiments per tal d'arribar a trobar una millora en l'aïllament de l'edifici.

Un altre dels objectius a complir seria una proposta de millora, disseny i plantejament d'un sistema bioclimàtic propi basat en els experiments per tal de millorar les condicions de temperatura a l'interior d'un edifici en el cas que fos integrat en un d'unes condicions prefixades.

Identificar els diferents aspectes importants que cal tenir en compte a l'hora de dissenyar un edifici bioclimàtic.

Comentar els diferents avantatges d'un edifici eficient enèrgicament.

La metodologia emprada per la realització d'aquest treball ha estat primer, fer una recerca bibliogràfica i d'informació sobre les bases i els punts clau a tenir

en compte per tal d'elaborar un edifici bioclimàtic. Com a part del treball també cal estudiar diversos edificis bioclimàtics i assenyalar les seves característiques bioclimàtiques i les avantatges que ofereixen.

Un cop finalitzar l'estudi, cal fer una recerca experimental sobre diferents materials i combinacions d'aïllaments per tal de trobar una estructura bioclimàtica que sigui alhora d'econòmica eficaç per a un edifici. El procés d'experimentació es realitzarà a partir d'una maqueta que figuri un edifici estàndard, segellar per tres de les quatre "façanes" de manera que per aquestes no s'intercanviï gens d'energia amb l'exterior, amb l'univers, i per la quarta cara posar allà les diferents proves d'aïllament per tal de permetre tota una sèrie de rèpliques a cada experiment i també un soroll mínim per tal de permetre la màxima veracitat als resultats.

Un cop s'hagin obtingut resultats positius, resultats satisfactoris, es procedirà a fer un disseny d'un edifici que reculli tots els bons resultats obtinguts.

En la realització d'aquest treball han sorgit diversos problemes com ara trobar una manera idònia per tal de dur a terme els experiments d'una manera que fos fàcilment replicable i on l'ambient no afectés els resultats. Un altre problema que va sorgir va ser la escassetat d'informació en les fonts convencionals com la xarxa o els mitjans de comunicació.

Un altre problema que s'ha trobat ha estat la dificultat tècnica a l'hora d'elaborar el disseny de l'edifici. S'ha provat diferents opcions com el disseny a mà representant les diferents vistes (alçat, planta i perfil) però no resultava gens net ni clar, es va provar el fer una vista axonomètrica (3D) per tal donar una vista més clara i precisa de l'edifici però tampoc es va veure gens clar. Un cop descartat el dibuix a mà es va plantejar el DAO, (dibuix assistit per ordinador) que va donar millors resultats i més clars.

2. Situació actual en façanes i solucions bioclimàtiques

2.1-Despesa energètica

Cada vegada la societat està més conscienciada del perill que suposa l'escalfament global, el canvi climàtic i l'ús abusiu del combustibles fòssils. La nostra economia està fonamentada totalment en el consum de l'energia, concretament en la que prové dels combustibles fòssils (representa el 70% del total de l'energia consumida). S'ha de tenir en compte, però, que el consum energètic depèn del grau de desenvolupament d'un país: un país desenvolupat pot consumir entre 2500 i 5000 kg de petroli per persona i any com és el cas d'Europa, Sud-àfrica i Nova Zelanda o entre 5000 i 10000 kg de petroli per persona i any com es el cas dels Estats Units, Canadà, Austràlia i els països escandinaus. Un país subdesenvolupat no arriba als 1500 kg de petroli per persona i any com tots els països africans exceptuant Sud-Àfrica, Algèria i Líbia.

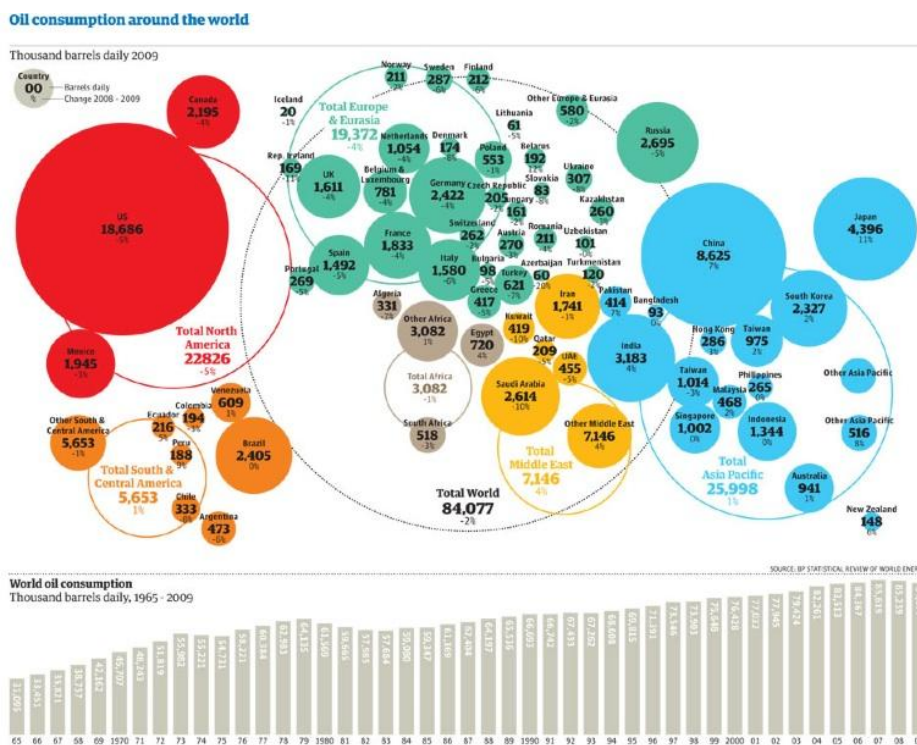


Figura 1. Consum de petroli en milers de barrils diaris a cada país durant l'any 2009

Font: [http://investorsconundrum.com/wp-content/...](http://investorsconundrum.com/wp-content/)

Cada quilogram de petroli consumit provoca residus contaminants, on els més característics són el diòxid de carboni (CO_2) i el vapor d'aigua ($\text{H}_2\text{O}_{(g)}$) que són els responsables de l'efecte hivernacle però també n'hi ha de nocius pels éssers vius com el diòxid de nitrogen (NO_2), el monòxid de nitrogen (NO), el monòxid de carboni (CO) o el diòxid de sofre (SO_2) que poden causar problemes respiratoris o pluja àcida, el monòxid de carboni és tòxic per inhalació o metalls pesants com el plom (Pb). El petroli en cru no té cap aplicació directa, a les refineries s'extreu els diferents derivats (butà, propà, gasolina, gasoil, querosè, fuel-oil...) a part de residus provinents d'aquest procés químic pels usos respectius de cadascú.

La gasolina, amb el seu principal component que és l'octà (C_8H_{18}) és el derivat més conegut i característic del petroli i s'utilitza sobretot en la combustió i també en el transport.

Cal parlar també de la generació de l'energia elèctrica, la més usada en aparells de climatització, pot ser ecològica o no depenent de com s'hagi generat.

- Mètodes de producció d'energia elèctrica no renovables:
 - Centrals tèrmiques, crema de combustibles fòssils:
 - Petroli. És més usat en el transport però ara ja poc usat en les centrals elèctriques. Es el més conegut.
 - Gas Natural: És el que produeix menys contaminació per tona cremada. Consisteix també en la combustió del metà (CH_4). Aquesta energia és també bastant utilitzada a les cases, domicilis, en tema de cuina, calefacció i aigua.
 - Carbó. És el que produeix més contaminació per tona cremada. Consisteix en la combustió del mineral format majoritàriament per carboni.
 - Urani, centrals nuclears: l'energia produïda per fissió nuclear té una eficiència molt més elevada que les anteriors i els residus que produeix són molt més limitats, per tant a vegades es considera

una energia renovable tot i que no ho és. La reacció de fissió es produeix quan un nucli d'urani 235 (U_{235}) es divideix en dos elements més petits i això produeix grans quantitats d'energia i pocs residus en relació a les altres vies de producció. Els accidents i repercussions a la natura d'aquesta font d'energia són molt poc freqüents però a la vegada catastròfics.

- Mètodes de producció d'energia elèctrica renovables més utilitzats
 - Vent (energia eòlica): Utilitzen l'energia provinent del moviment de masses d'aire per tal de crear un moviment a un eix adherit a una bobina (alternador) per tal de produir electricitat, n'hi ha de dos tipus:
 - Aerogenerador d'eix vertical: utilitzats en ciutats i domicilis.
 - Aerogeneradors d'eix horitzontal: els més utilitzats per generar energia procedent del vent.
 - Solar
 - Solar tèrmica: Consisteix en un sistema d'escalfar aigua a partir de l'energia provinent del sol, aquest sistema cada vegada és més comú i utilitzat sobretot als domicilis ja que és rendible, no només proporciona una mica d'ombra al terrat de l'edifici sinó que ajuda escalfar aigua, ja sigui sanitària o no, de manera que disminueix el cost necessari per fer-ho. També s'utilitza massivament per tal de produir electricitat a gran escala en forns solars com el de Font Romeu a França.
 - Solar elèctrica o fotovoltaica :Consisteix en plaques fetes de silici que s'exciten en contacte amb la llum i produeixen electricitat.

L'ús dels derivats del petroli en el transport és bastant conegut però el meu treball de recerca es centra més aviat en una altra perspectiva no gaire coneguda de l'ús de l'energia però molt comuna en la nostra societat, que té una capacitat d'estalvi energètic important i que encara no s'ha revisat del tot, la climatització. La climatització és un sistema present a tots els edificis, tan si

són d'oficines com domèstics que regula la temperatura interior d'un edifici per adequar-lo a la temperatura de confort. Segons si escalfa l'edifici o el refreda rep dos noms diferents: calefacció o aire condicionat respectivament.

A Espanya, el més utilitzat dels dos és l'aire condicionat. L'aire condicionat s'usa sobretot a l'estiu però també a l'hivern, sobretot edificis d'oficines.

La despesa energètica mitjana d'un edifici d'oficines (edifici de mostra agafat: Consorci de la Zona Franca) és aproximadament d'un total de 2 600 000 kWh/any on un 50% és d'il·luminació i ascensors, un 35% de climatització i un 15% de preses de corrent tal i com es mostra en la taula 1 i figura 2.

Taula 1. Consum energètic per usos (Edifici del consorci de la Zona franca) durant l'any 2006

Font: Casos prácticos de eficiencia energética en Espanya ed.: Gas Natural Fundation

Usos	Consum elèctric (KWh/any)
Climatització	900 000
Il·luminació i ascensors	1 300 000
Preses de corrent	400 000
Total	2 600 000

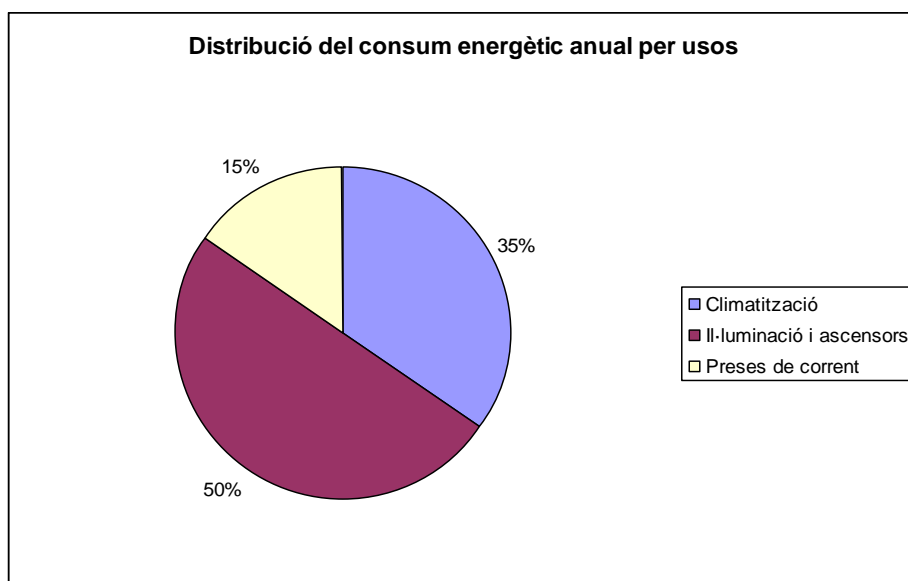


Figura 2. Distribució del consum energètic per usos edif., Consorci de la Zona Franca any 2006

Font: Elaboració pròpia a partir de la taula 1

En la gràfica anterior (fig.2) es pot observar que l'energia emprada per la climatització en comparació de la total és molt gran. L'ideal d'un edifici és que no hagi d'usar energia ni per climatització ni per il·luminació, que utilitzi llum del sol i s'automantingui a una temperatura estable, aquest seria l'edifici perfecte energèticament.

Però aquestes dades (fig. 2) no ens donen prou informació per determinar si l'energia consumida per la climatització és fruit de la calefacció o l'aire condicionat per això necessitem una altra gràfica de consum elèctric (fig.3):

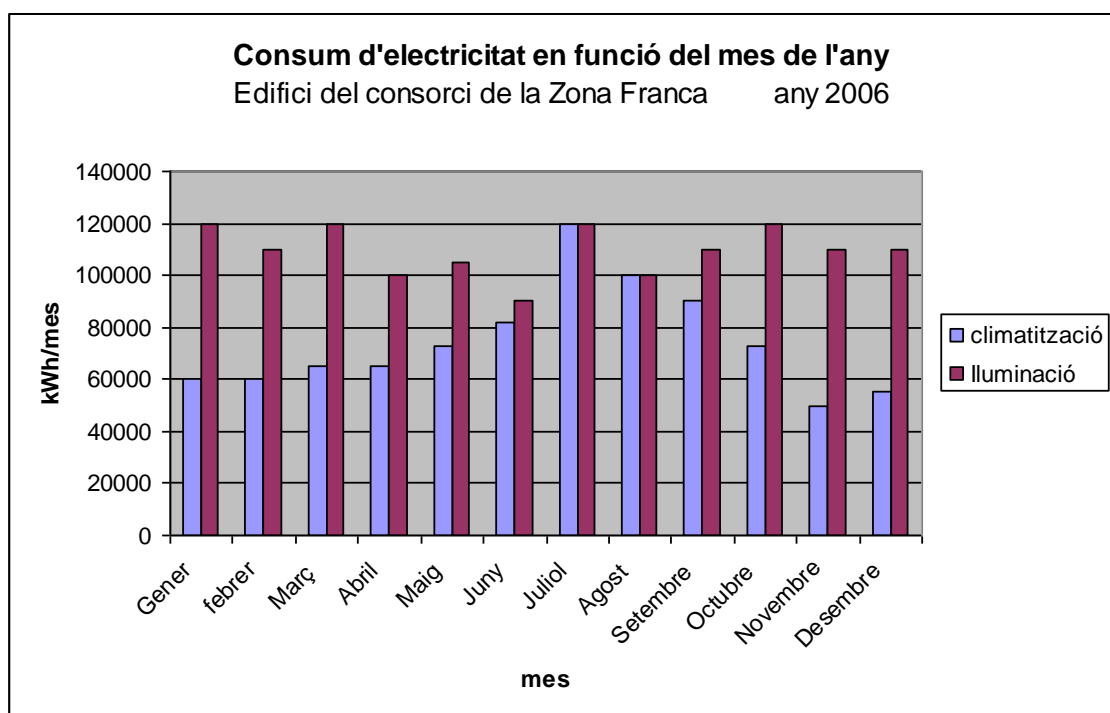


Figura 3: Comparació del consum d'il·luminació i climatització mensuals

Font: Casos pràctics de eficiència energètica en Espanya ed.: Gas Natural Fundation

Aquesta gràfica representa el consum d'energia tan d'il·luminació com de climatització en kWh/mes en cada mes de l'any. Es pot apreciar que el consum de climatització a l'hivern (novembre, desembre, gener, febrer i març), quan haurien d'utilitzar calefacció, el consum és molt més baix en comparació als mesos càlids (maig, juny, juliol, agost i setembre), quan fan ús de l'aire condicionat, i quasi arriba a doblar-se el consum energètic, de fet, al mes de juliol arriba a doblar el mesos de gener i febrer, i representa més que el doble que novembre i desembre.

Així queda confirmat que en un edifici d'oficines a la Zona Franca de Barcelona es consumeix més energia de climatització en aire condicionat que en calefacció.

Aquestes dades, i totes les anteriors, proven que la climatització, i en concret l'aire condicionat representa una despesa i un cost important dins d'una oficina, en els mesos d'estiu quasi equival al cost de la il·luminació. Per veure fins a quina xifra estem parlant agafem el que costa un quilowatt hora d'una empresa coneguda com ENDESA (0,142€/kWh) o la millor oferta per empreses (0,10€/kWh) i el multipliquem per la quantitat d'energia consumida obtindrem:

Taula 2. Càlcul de la despesa enèrgica en euros del edif. Consorci de la Zona Franca

Font: elaboració pròpia a partir de la figura 2

Consum en climatització	Preu (€/kWh)	Total despesa
900 000kWh	0,142€/kWh	127 800€
900 000kWh	0,100€/kWh	90 000€

Un edifici d'oficines paga aproximadament entre 90,000 i 125,000€ anuals de cost energètic només per la climatització, elevat, però si ens fixem en cost i l'energia per metre quadrat (l'edifici consta d' aproximadament 14.000m²) obtenim en següent:

$$900\ 000\text{kWh} / 14\ 000\text{m}^2 = 64,3\text{kWh/any i m}^2$$

Si comparem aquest últim resultat al de un domicili normal (aprox. 200kWh/mes en un domicili de 200 m² (font pròpia)

$$200\text{kWh/mes} * 12\text{mesos/ any} = 2\ 400\ \text{kWh/any}$$

$$2\ 400\text{kWh/any} / 200\text{m}^2 = 12\ \text{kWh/any i m}^2$$

Així doncs la diferència de consum entre les oficines i el domicili és bastant gran, les oficines consumeixen més de 5 vegades en climatització que el domicili.

Així doncs, queda confirmat que els edificis d'oficines consumeixen una gran quantitat d'energia en climatització.

En el meu treball de recerca es tractarà de trobar maneres per reduir aquest consum, però sobretot per reduir-ne la seva necessitat.

2.2- Climatització i il·luminació en edificis:

El primer que cal fer per reduir el consum de l'edifici és buscar les causes que fan que un edifici d'oficines estàndard consumeixi tanta energia en climatització i en aire condicionat.

En un edifici d'oficines les parets estan totalment recobertes de vidre, això provoca efecte hivernacle dins de l'oficina.

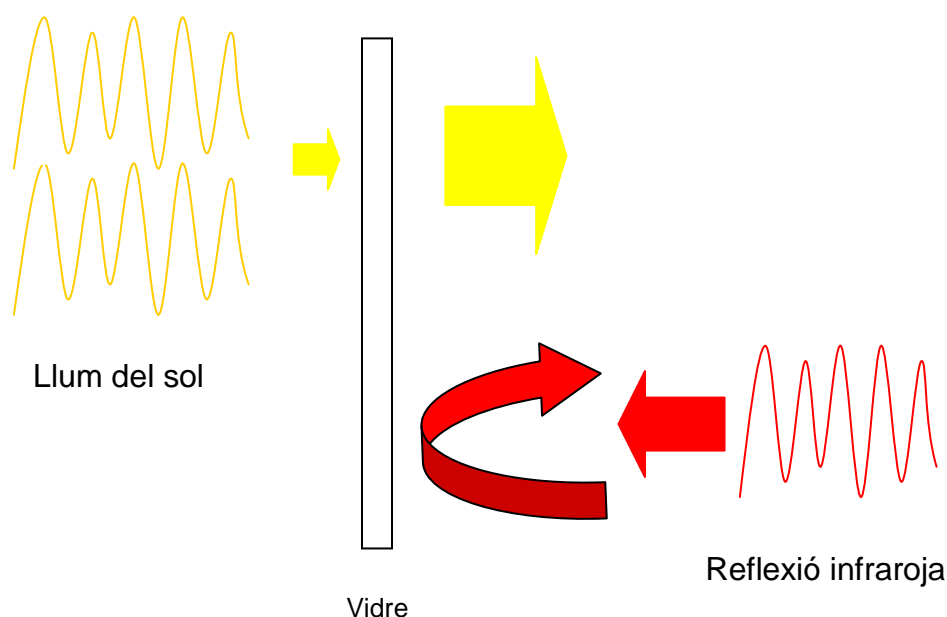


Figura 4: Esquema visual de l'efecte hivernacle causat per l'efecte opac del vidre a l'infraroig

Com es pot veure a la figura anterior (fig. 4) la llum visible i ultravioleta traspasa el vidre i entra dins les oficines i escalfen l'interior, perquè el vidre és transparent per a radiacions en aquestes freqüències (radiació visible). L'escalfament interior provoca la generació de radiació infraroja dels cossos calents (radiació no visible). La radiació infraroja no pot sortir de l'interior de l'edifici perquè el vidre és opac per sota del camp visible. A aquest mecanisme se l'anomena efecte hivernacle.

Els edificis d'oficines estan totalment recoberts de vidres per una qüestió estètica tan d'interior com d'exterior.

Dos exemple d'edificis d'oficines així serien l'edifici de Caja Madrid situat a l'Avinguda Diagonal 640.



Figura 5: Oficines de Caja Madrid a av. Diagonal 640 de Barcelona

O bé les oficines del carrer Carles III.



Figura 6: Oficines del carrer Carles III de Barcelona

Com es pot veure a les fotografies (fig. 5 i 6), el vidre recobreix pràcticament tot l'edifici sense discriminar entre la façana nord o sud, ambdues reben llum solar i retenen pels vidres la radiació infraroja dissipada cosa que fa augmentar la temperatura a l'interior i s'hagi de compensar en climatització, per refrescar tot l'edifici i mantenir la temperatura de confort (22°C). Això representa un cost econòmic important.

2.3- Mesures d'estalvi:

Tornem a l'exemple del Consorci de la Zona Franca, es va celebrar una auditoria per prendre mesures per tal de reduir la despesa energètica.

Després de l'estudi es van decidir les mesures següents:

- Instal·lació d'una nova màquina de climatització exclusiva pel vestíbul, ja que el seu horari de funcionament és totalment diferent a la de la resta de l'edifici
- Ajustar de la temperatura (hivern/estiu) entre 21/24°C i 23/25 cosa que els va proporcionar un estalvi del 15% en climatització.
- Prescindir de la il·luminació ornamental les 24h i passar a un horari corresponent a la ocupació real de l'edifici d' entre 12 a 14h al dia.
- Canviar a bombetes de baix consum de 35W en comptes de bombetes de 50W i de durabilitat de 5000 hores en comptes de 4000.

A aquestes mesures cal afegir-li la campanya "Jo apago el llum". Campanya de reducció del consum d'energia bàsicament, sense reduir-ne la necessitat. Els resultats del programa han estat bastant satisfactoris, ja que s'ha reduït aproximadament el consum energètic en 440 000kWh/any que equivalia a un 16% de la factura inicial i un estalvi de 170kWh/any i m² respecte el total del cost energètic. Es pot representar en les gràfiques (fig. 7 i 8) següents:

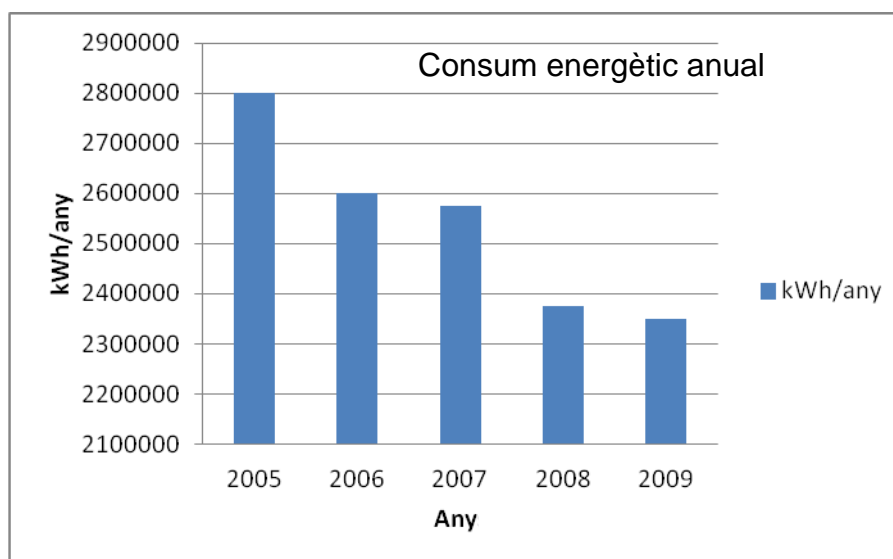


Figura 7: Evolució del consum energètic total de l'edifici de Consorci de la Zona Franca
 Font: Casos pràctics de eficiència energètica en Espanya ed.: Gas Natural Fundation

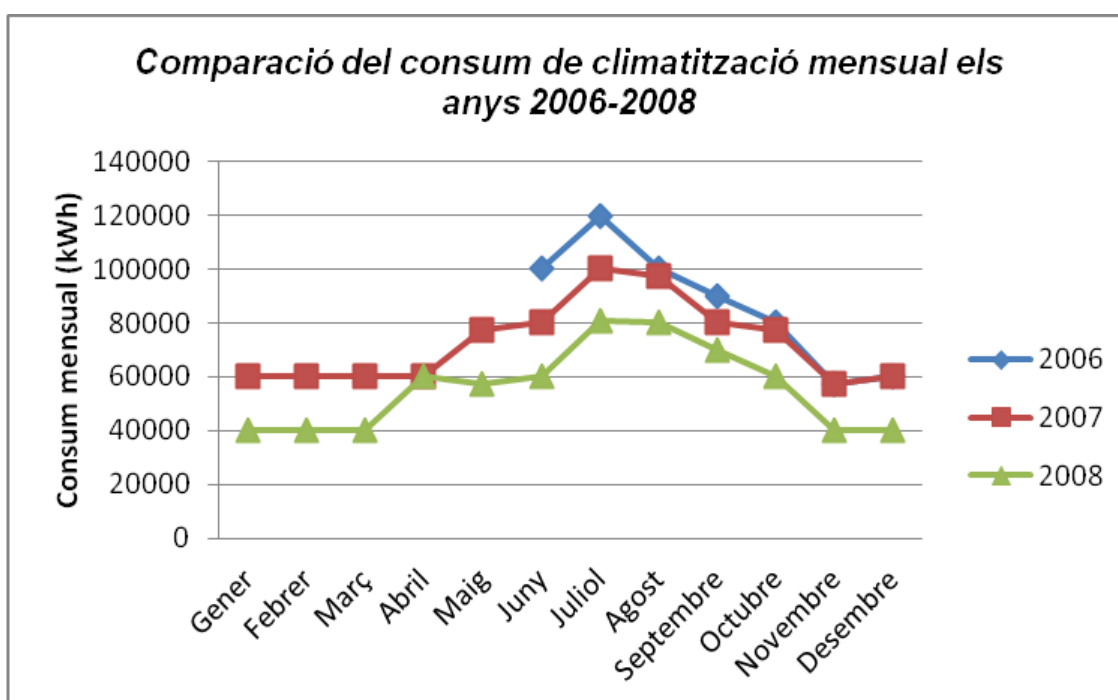


Figura 8: Comparació del consum de climatització mensual els anys 2006-2008
 Font: Casos pràctics de eficiència energètica en Espanya ed.: Gas Natural Fundation

Aquestes gràfiques demostren que les mesures aplicades pel consorci els han ajudat a reduir el cost energètic tan en il·luminació com en climatització.

Si mirem l'estalvi econòmic proporcional (agafant com a preu d'energia la millor oferta esmentada anteriorment, 0,1€/kWh durant els mesos juny-desembre dels anys 2006 i 2008):

$$\text{Any 2006} \Rightarrow 10^5 + 1,2 \cdot 10^5 + 10^5 + 9 \cdot 10^4 + 8 \cdot 10^4 + 6 \cdot 10^4 + 6 \cdot 10^4 = 6,1 \cdot 10^5 \text{kWh}$$

$$\text{Any 2008} \Rightarrow 6 \cdot 10^4 + 8 \cdot 10^4 + 8 \cdot 10^4 + 7 \cdot 10^4 + 6 \cdot 10^4 + 4 \cdot 10^4 + 4 \cdot 10^4 = 4,3 \cdot 10^5 \text{kWh}$$

$$\text{Percentatge d'estalvi: } \% = (1 - 4,3 \cdot 10^5 \text{W} / 6,1 \cdot 10^5 \text{W}) \cdot 100 = 29,5\%$$

Van aconseguir només amb unes mesures simples reduir un 29,5% la despesa energètica en climatització, i si la traduïm a costos econòmics:

$$(6,1 \cdot 10^5 \text{kWh} \cdot 0,1 \text{€/kWh}) - (4,3 \cdot 10^5 \cdot 0,1 \text{€/kWh}) = 6,1 \cdot 10^4 \text{€} - 4,3 \cdot 10^4 \text{€} = 18.000 \text{€}$$

Van estalviar-se un total de 18000€ només en climatització a l'any. Si les mesures aplicades van ser només de promoció de l'estalvi i regulació de l'ús dels costos d'impuls poden ser superats amb escreixos a curt termini

Però aquestes mesures imposades són de reducció del consum i no pas de la necessitat.

La millor manera per reduir el cost en la climatització seria no recobrir els edificis d'oficines amb vidres, cosa que reduiria no només la retenció de calor pels infraroigs sinó la captació de llum dins del edificis, però això, no només dóna una impressió antiestètica externa i interna, a més els empleats afirmen que els és més còmode treballar si poden veure l'exterior des de la seva oficina, això no només els dóna benestar sinó que suposa un augment de la productivitat i el rendiment del seu treball.

Per tal de solucionar aquest problema s'ha d'adaptar l'edifici a aquests condicionants per donar-li un aspecte de modernitat però cal fer-lo energèticament eficient. L'arquitectura bioclimàtica intenta donar solucions a tots aquests problemes.

Segons el diccionari l'arquitectura bioclimàtica consisteix en el disseny d'edificis que tinguin en compte l'entorn, optimitzant la utilització dels recursos naturals (sol, vegetació, vent, etc.) per tal d'estalviar energia i fer-los més saludables als seus usuaris.

La figura 9 que explica el funcionament d'un edifici bioclimàtic:

Las líneas básicas de una casa bioclimática

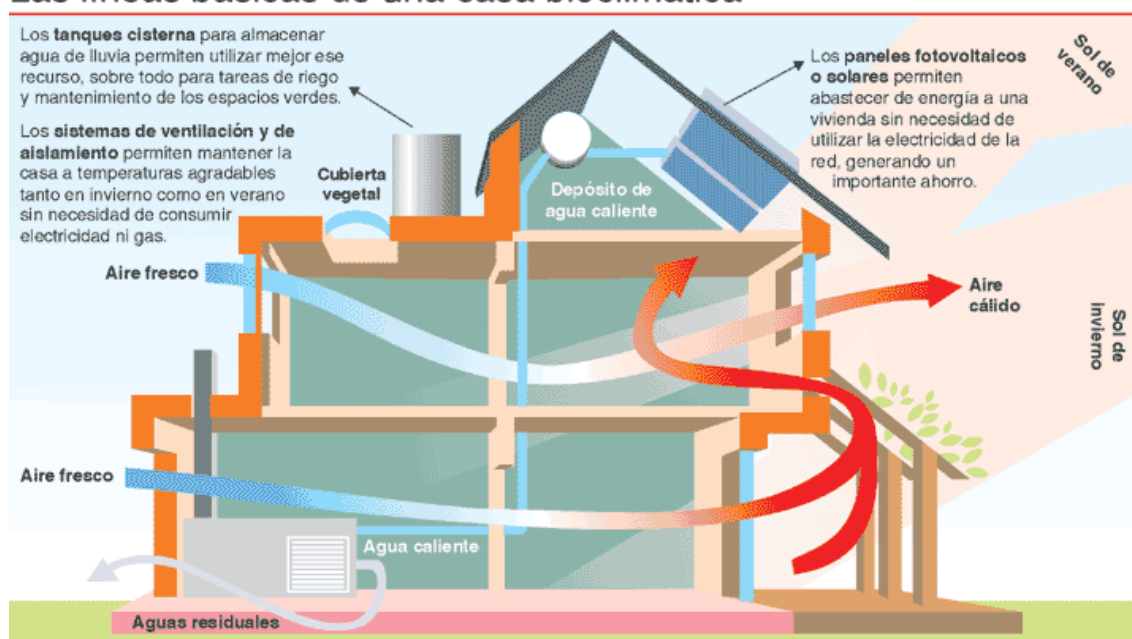


Figura 9: Esquema d'un edifici bioclimàtic

Font: <http://ecocasaonline.com/blog/...>

Aquest esquema representa un habitatge de dues plantes on hi ha representats amb fletxes vermelles i blaves els corrents d'aire calent i fred respectivament. Es pot apreciar que des de la cara Nord de l'edifici entren corrents freds i surten per la cara Sud escalfats amb la calor de l'interior de la casa cap a l'exterior, això provoca un estalvi en la climatització que en ocasions extremes podria resultar una reducció del 100% de l'ús i la necessitat d'aquest. Tot i que el corrent que crea és a l'interior de la casa, i jo em centraré més en conveccions al voltant de la façana. La casa està dissenyada expressament per crear aquests corrents de convecció per tal de refredar-la durant les èpoques de l'any on fa més calor (primavera i estiu), aquest tipus de convecció s'aconsegueix a partir d'aïllaments i recobriments de la façana, per tal d'obtenir un moviment de l'aire òptim i natural, sense ajuda de màquines.

Per altra banda, també es pot observar un dipòsit cisterna per l'aigua de la pluja, i plaques solars i fotovoltaïques per tal de generar energia elèctrica a través del sol, escalfar l'aigua i recollir aigua de la pluja per sanejament.

L'objectiu del meu treball és el d'investigar amb façanes bioclimàtiques tan per edificis residencials com edificis d'oficines i de reduir-ne el consum energètic.

2.4 Cares d'un edifici:

En un edifici estàndard d'oficines o habitatge com qualsevol prisma té sis cares reals de les quals una, la inferior no rep radiació de cap mena, per tant no el comptarem, les cinc restants es classifiquen en: façana sud, façana est, façana oest, façana nord i terrat. D'aquestes, les dues que reben més insolació són la façana Sud i el terrat a l'hemisferi Nord.

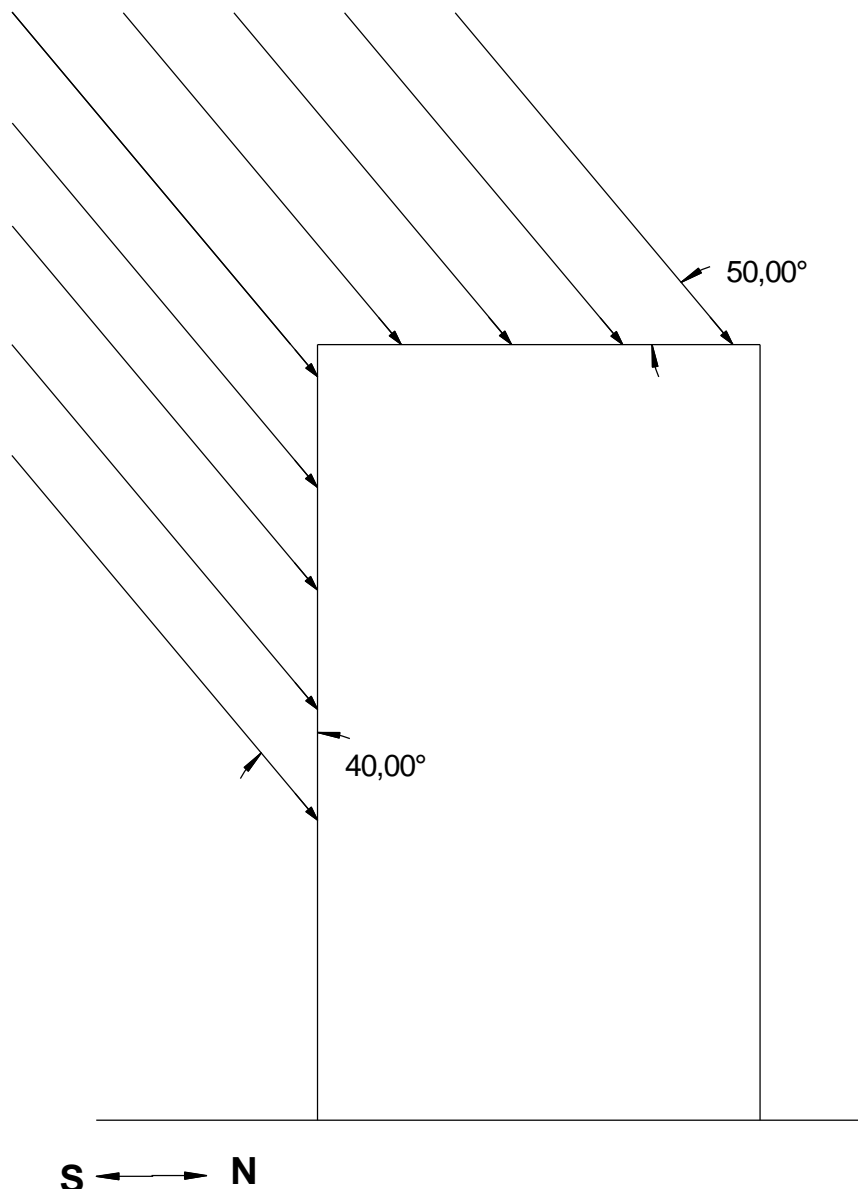


Figura 10: Esquema d'un edifici estàndard rebent radiació solar durant els mesos de primavera i tardor a l'azimut

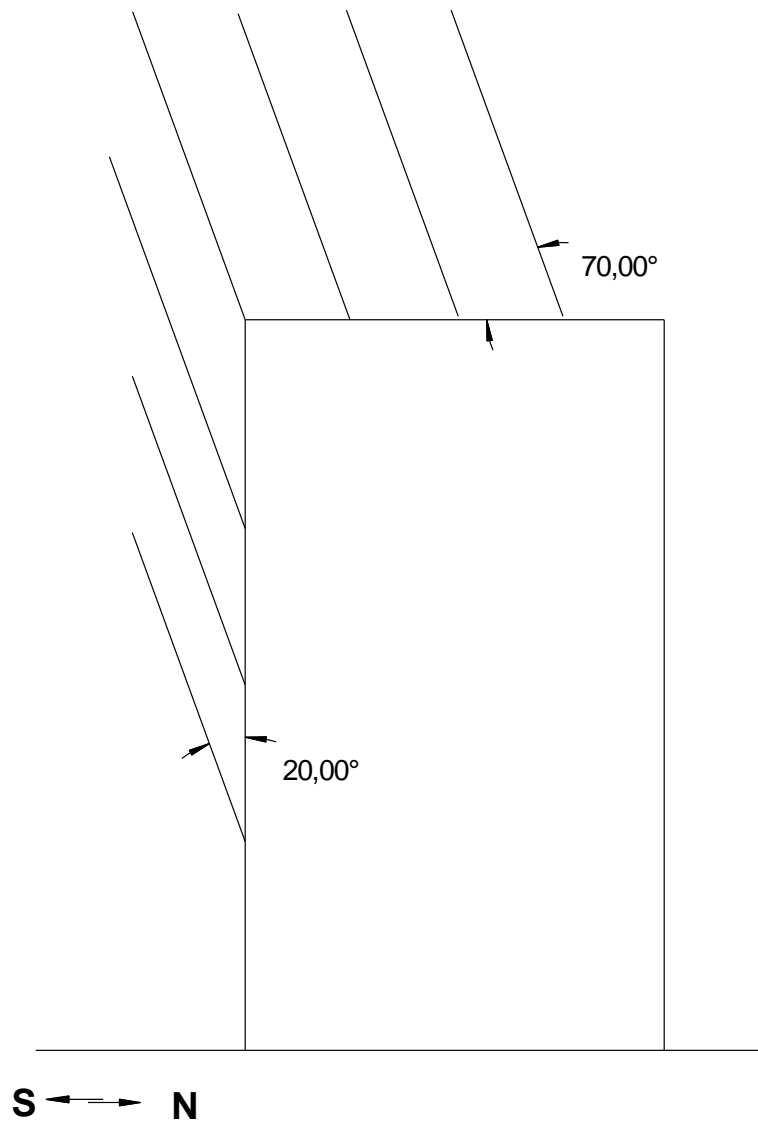


Figura 11: Esquema d'un edifici estàndard rebent radiació solar rebent radiació solar durant els mesos d'estiu a l'azimut

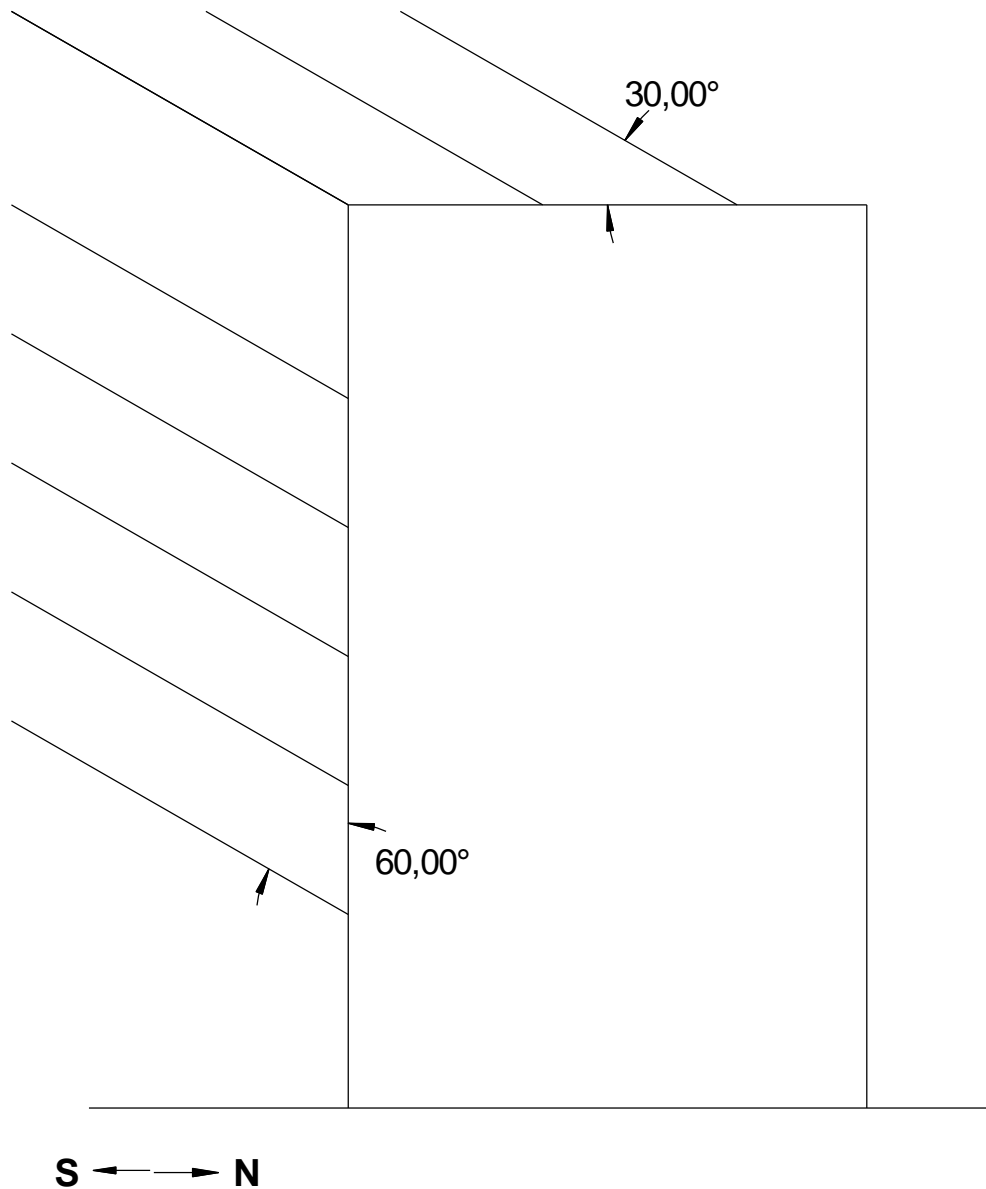


Figura 12: Esquema d'un edifici estandard rebent radiació solar durant els mesos d'hivern a l'azimut

Com es pot apreciar en el primer dels esquemes anteriors (fig. 10), l'angle en que el terrat rep la insolació és de 50° , aquest és l'angle mig als equinoccis a una ciutat com Barcelona, a uns 40 graus de latitud. La façana, que és una paret vertical, la insolació és de 40 graus ($90^\circ - 50^\circ = 40^\circ$), 10 graus menys que al terrat. En la figura 11, que correspon a la insolació rebuda als mesos d'estiu, la insolació rebuda correspon a 70° en el terra i teulada i 20° en les parets

verticals. Per últim als mesos d'hivern (figura 12) la radiació rebuda és molt més paral·lela al terra i perpendicular a la vertical: 60 graus amb la façana i 30 amb el terrat. Totes aquestes dades estan preses a la mateixa hora del dia, l'azimut que és el punt del dia quan el sol està més alt. De la inclinació dels rajos solars en depèn l'energia que rep una determinada superfície. Tot segueix la següent fórmula:

$$E=I *A*\sin \alpha$$

E és l'energia (potència) que rep l'edifici en watts, **I** és la intensitat lumínica, l'energia (potència) provinent del sol per metre quadrat en watts per metre quadrat, **A** és l'àrea de la superfície que rep l'energia del sol i finalment **α** és l'angle dels rajos del sol respecte la superfície.

Així doncs, a l'hemisferi Nord les dues cares que reben més insolació al llarg del dia són la façana sud i el terrat en canvi la façana nord no en rep gens d'insolació, les façanes est i oest reben una insolació mitjana, ni molt alta ni molt baixa.

Per tant el disseny de planta i edifici més eficaç que es podria fer jugant amb aquesta fórmula seria un edifici amb una façana sud i nord molt petita i dues cares est i oest molt grans a més d'un nombre elevat de plantes. Un edifici que quedaria així

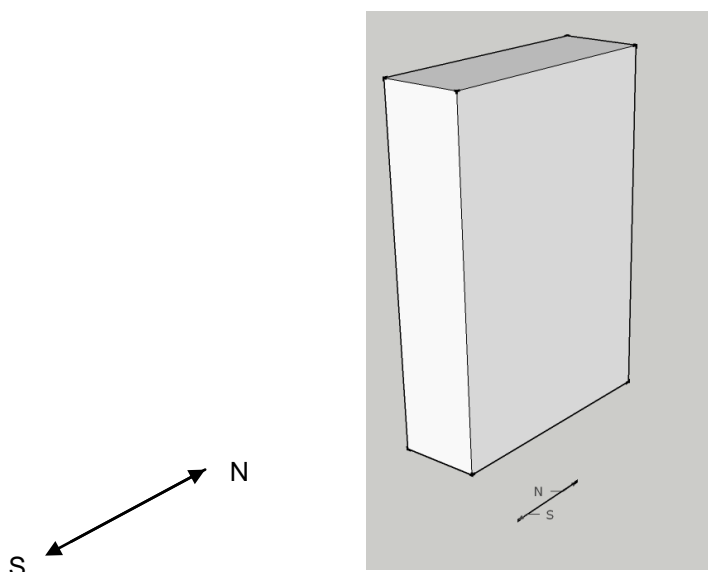


Figura 13: Esquema de l'edifici descrit anteriorment

Aquest edifici seria l'ideal per modular la radiació solar però té un problema que el fa del tot inviable que és que com que és tan curt per dues de les línies de la base fa que no sigui gens viable per la vida a l'interior i menys encara com ha oficina. Un habitatge ha de tenir una planta mes o menys quadrangular.

Per això hem de trobar una solució a aquest problema per tal d'aïllar la cara sud i el terrat sent ambdues de dimensions significatives.

Al terrat, com que no hi ha cap necessitat d'instal·lar-hi vidres ni finestres és suficient amb un aïllament. Avui en dia, es comença a desenvolupar un tipus d'aïllament vegetal que consisteix en recobrir la superfície que es vol aïllar amb plantes de manera que l'humitat de les plantes, tan com elles mateixes i les seves arrels afavoreixen un aïllament idoni. El problema d'aquest aïllament és que no és gens estètic si el veus penjant d'una de les façanes. És idoni a l'última planta de l'edifici, és com tenir un jardí que pot servir com espai d'esbarjo i descans pels usuaris de tot l'edifici a banda de proporcionar un aïllament molt bo.



Figura 14: Teulada de l'edifici d'oficines del carrer Avila 138 al 22@ Barcelona vista 1



Figura 15: Teulada de l'edifici d'oficines del carrer Avila 138 al 22@ Barcelona vista 2



Figura 16: Teulada de l'edifici d'oficines del carrer Avila 138 al 22@ Barcelona vista 3

A les imatges anteriors (fig. 14, 15 i 16), a l'última planta de l'edifici d'oficines del carrer Avila 138 al 22@ Barcelona, el terrat té una plantació de diferents tipus de plantes i un terra aïllant. Recull aigua en una bassa sota el terra de la teulada per tal de recollir aigua de la pluja; a Barcelona generalment durant l'any hi plou relativament poc i amb concentracions en poques setmanes sobretot als últims mesos de primavera (maig) i les últimes d'agost i principis de tardor cosa que s'hauria de solucionar amb un simple dipòsit d'aigües no de boca ja sigui que les reculli amb conductes o amb plaques elevades i que s'usi com a tal, per a regar i els vàters. Les plantes reben, com ja he dit, aigua de la pluja i a més estan alimentades per un sistema de reg gota a gota amb aigua recollida de la pluja a les cisternes. L'efecte que crea aquest sistema és relaxant de manera que serveix com a lloc d'esbarjo i descans per les oficines i no només com a aïllant, les plantes haurien de ser recomanablement autòctones i a partir d'aquí es podria fer diverses creacions artístiques amb les plantes, posar plantes aromàtiques o fins i tot reservar un tros de terreny per cada empleat per tal que conreï les plantes ell mateix cosa que ajuda a mantenir la moral alta i dóna una sensació de llar a la feina però no hi entrarem.

L'eficiència d'aquest sistema és molt elevada ja que no només és barat (les plantes no necessiten electricitat, només aigua per regar-les i amb l'aigua de la pluja i la que es recull ja surt de franc o quasi de franc) sinó que a resulta un espai aprofitable que si es decora i es tracta de la manera adequada resulta un lloc de descans que incrementa la productivitat dels empleats. La última planta pot resultar també el lloc de recreació pels empleats, s'hi pot instal·lar la cafeteria i taules a l'aire lliure envoltat de la vegetació.

Un altre sistema que també s'ha posat en pràctica i ha donat resultats satisfactoris a més d'estètics és la piscina/estany al terrat com el de l'edifici del museu de Gas Natural Fundation: Consisteix simplement en crear una bassa d'aigua de no més de 4 dits de profunditat al terrat de manera que gran part de la calor queda absorbida per l'aigua i no passa als pisos inferiors. L'aigua per tal de que no quedi estancada i amb la calor acumulada s'ha d'anar renovant contínuament ja sigui amb aigua sanitària o freàtica (aquesta és una opció que no sempre es pot utilitzar, tot i així és la més recomanada) independentment. Tan la mini piscina com l'estany tots dos creen molt bons resultats estètics, l'estany es pot decorar amb tan amb peixos com amb qualsevol altre esser viu idoni per aquest medi però no és molt recomanable, és millor renovar l'aigua sovint per tal de mantenir l'aigua neta.

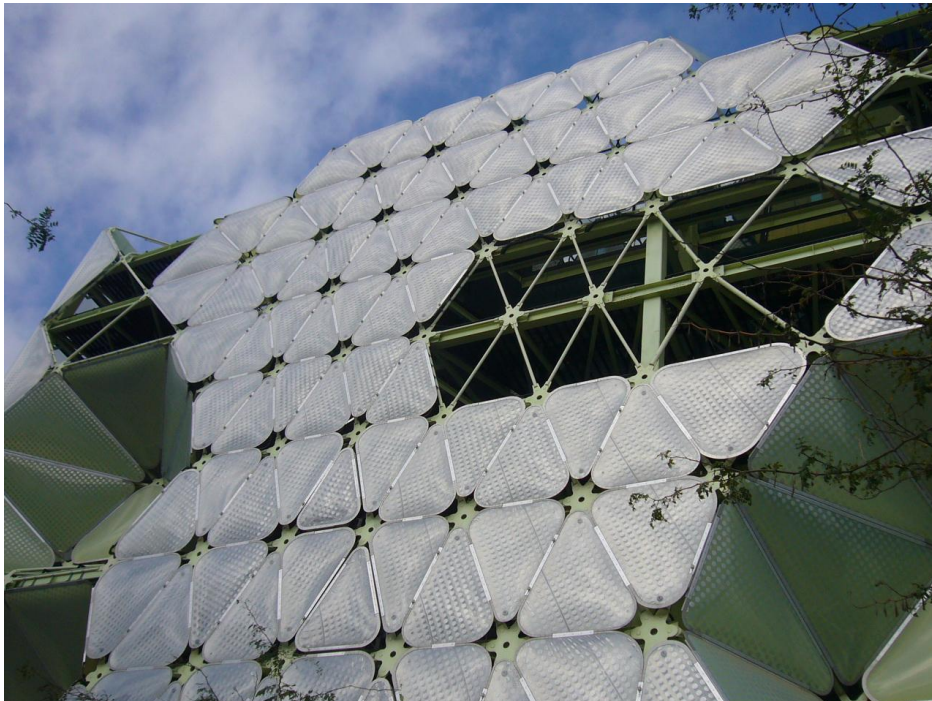


Figura 17: Esquema de la piscina al terrat

En el cas de la façana, al ser una paret vertical penjar-hi plantes o aigua no dóna un resultat gens bo ja que el manteniment de les plantes és força car i alhora limita molt la il·luminació natural interior de les oficines per tan s'ha de crear un altre tipus d'aïllament que s'adapti tan a edificis d'habitatges com d'oficines, a partir d'aquí començo a investigar.

Estudi d'edificis bioclimàtics concrets

2.5.1 Media-tic



Figures 18 i 19 : Fotografies de la façana sud i la façana est de l'edifici Media-Tic al 22@ al carrer Àvila encreuant amb Roc Boronat Barcelona .

Aquest edifici per tal de solucionar el problema de la insolació han muntat dos sistemes dinàmics d'adaptació (bioclimàtics) un a la façana Sud i un altre a la façana Oest. En aquesta última han posat tota un sèrie de bosses davant la façana de manera que quan fa sol hi injecten nitrogen de manera que dins les bosses crea una boira espessa que limita que la insolació penetri a dins de l'edifici, aquesta boira és capaç d'arribar a capturar un total d'energia de $500\text{W}/\text{m}^2$ i s'activa de manera automàtica quan uns sensors instal·lats registraven una energia de 300W . A la façana Sud hi ha instal·lat unes bosses que en desinflar-se tanquen el pas de la llum del sol. Les façanes Nord i Est com que no reben tanta calor com les altres dues han posat simplement un doble vidre per acabar d'aïllar. El disseny del Media-Tic és cúbic totalment(40X40X40). Apart, també comptava amb un pati a cel obert que permetia l'arribada de llum natural a les parts interiors de l'edifici de manera que el consum d'il·luminació es reduïa considerablement. El principal problema que presentava l'estructura de les parets de boira de nitrogen i de bosses inflables es que necessita un manteniment i reparació constants i sobretot una neteja constant causada pels excrements dels ocells.

2.5.2 Edifici d'oficines del C/Àvila



Figura 20: l'edifici d'oficines del carrer Àvila 138 al 22@ Barcelona

Font: http://www.habitaclia.com/hab_images/inmuebles...

Com ja he esmentat en les anterior pàgines el carrer Àvila té una coberta verda, regats amb aigua acumulada de pluja que serveix per a regar les plantes i alhora refreda el terra per evaporació. També fa d'element d'inèrcia limitant que tant la calor com el fred el traspassin la superfície cap a l'interior.

L'edifici compta no només amb aïllament al terrat sinó les façanes també compten amb un aïllament propi. El sistema que utilitzen un policarbonat de doble capa que actua com a façana ventilada per convecció natural.

2.5.3 Edifici de la RNE a Barcelona

L'edifici de la RNE aporta una proposta per tal de ajustar la quantitat de llum del sol a la façana molt interessant apart de estètic i econòmic: unes viseres verticals que bloquegen el sol durant els mesos càlids però en canvi hi permeten l'entrada els mesos més freds.

Aquestes viseres segueixen els següent esquema

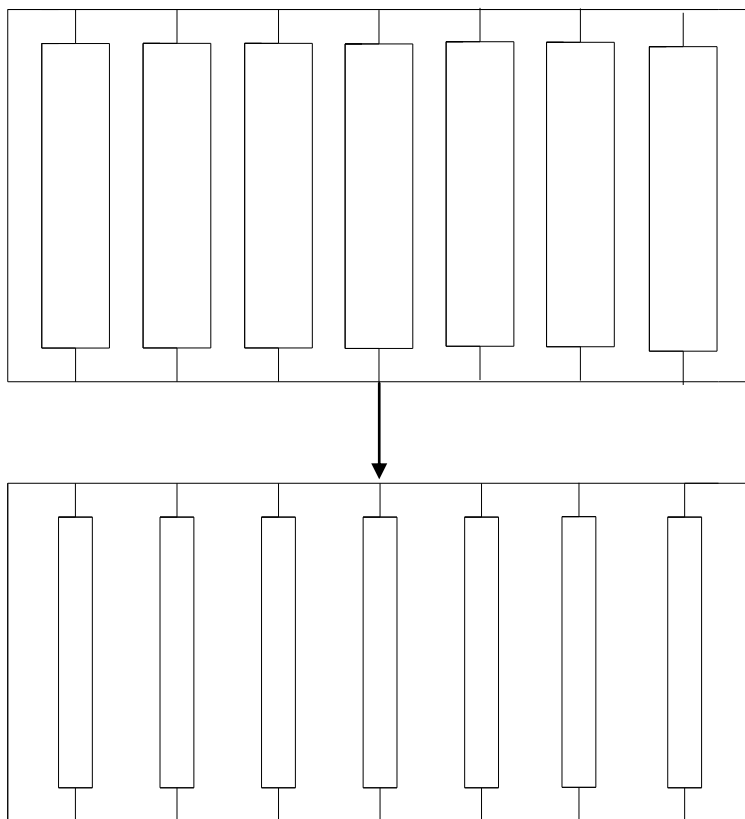


Figura 21 :viseres verticals utilitzades a la RNE Font: elaboració pròpia a partir de les fotografies preses a l'edifici

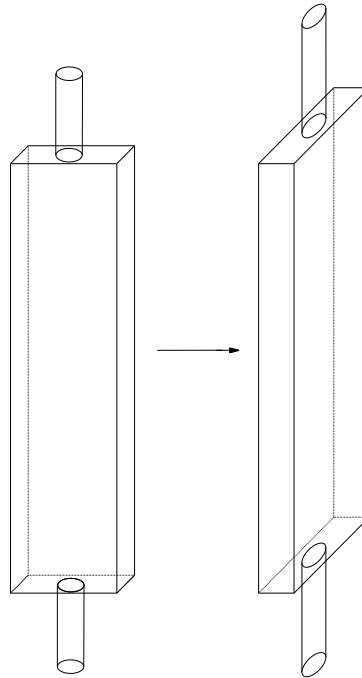


Figura 22: esquema de la rotació dels panells

Aquestes plaques, ja sigui d'una manera manual o automàtica, depenent de la temperatura i de la llum solar es giren 90° de manera que la superfície que la obertura és pot fer més petita i per tant redueix la quantitat de sol i l'energia que arriba a l'edifici. Aquestes plaques estan separades uns centímetres de la façana per tal de permetre la mobilitat i passar per la passarel·la que es pot veure a les imatges següents (fig.22 i 23) per tal de poder-les netejar quan toca, a més fan una increïble imatge estètica tan des de dins com des de fora ja que com s'ha fet, les plaques es poden pintar de diferents colors de manera que es creï un dibuix. Alhora les plaques queden ventilades per davant i per darrera, i la calor no passa a la façana.

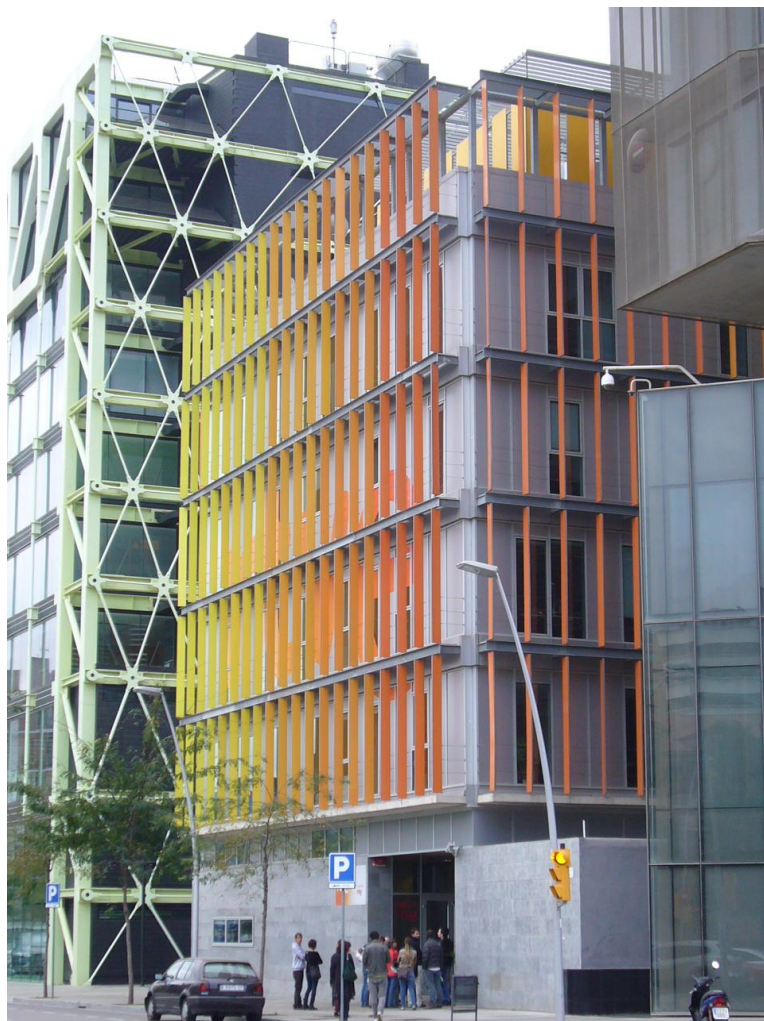


Figura 23: Edifici de la RNE al 22 @, carrer Roc Boronat 125 Barcelona



Figura 24: Plaques verticals usades per l'edifici de RNE a Barcelona carrer Roc Boronat 125 al 22 @, Barcelona



Figura 25: Foto presa des de l'interior de l'edifici

Aquesta és la impressió que provoquen les plaques vistes des de l'interior, l'exterior es veu perfectament ja que aquestes no molesten gens i el vidre permet veure l'exterior, la llum entra a l'edifici durant els mesos d'hivern de manera que il·lumina l'interior, el despatx i no cal un ús tan gran d'energia elèctrica.

2.6 Conclusions i solucions bioclimàtiques concretes

En aquesta primera part de la recerca sobre diversos edificis i solucions emprades sobre casos reals hem pogut treure les següents conclusions:

- Gairebé el 75% de l'energia que consumim a Espanya prové de la combustió de combustibles fòssils.
- Els edificis d'oficines gasten un percentatge molt alt de l'energia en la seva climatització – fred i calor- (aproximadament el 35%).
- La climatització, present a tots els edificis, tan si són d'oficines com domèstics, comporta un percentatge elevat dins del consum total d'energia.
- En un clima com el d'Espanya, la despesa energètica és més alta en aire condicionat (refrigeració) que en calefacció.
- El motiu pel qual els edificis d'oficines amb mur cortina de vidre s'escalfen tant és perquè estan aquest material crea un efecte hivernacle dins de l'edifici.
- Els vidres de les oficines no es poden treure com a mesura estalviadora, són un requisit estètic i funcional.
- En la majoria d'edificis d'oficines no discriminen cap mesura de regulació de la insolació entre les façanes Nord i Sud.
- L'aprofitament d'aigües pluvials per a usos no sanitaris és un bon recurs estalviador, tant tèrmic com d'aprofitament de les aigües.
- Les cares de l'edifici que reben més insolació són el terrat i la façana Sud.
- L'angle amb el que el sol arriba respecte l'horitzontal a Barcelona és de 50° els mesos de tardor i primavera, 30° els mesos d'hivern i 70° els mesos d'estiu.
- La quantitat d'energia que afecta a l'edifici es pot calcular amb la fórmula següent: $E=I \cdot A \cdot \sin\alpha$ on **E** és la potència (energia) en watts, **I** la

intensitat lumínica que arriba en W/m^2 i α és l'angle dels rajos del sol respecte la façana i A és l'àrea de la cara de l'edifici que és afectada.

- Un edifici que teòricament tingués poca desigualtat tèrmica entre façanes seria aquell de dimensions petites en les cares Nord i Sud i allargada en les Est i Oest i una alçada considerable, però seria mal aprofitat des del punt de vista funcional interior.
- Per aïllar el terrat tenim suficient amb una coberta verda, porosa o una bassa d'aigua per tal d'absorbir la calor o un terra aïllant.
- Les façanes, com que han de respectar una cobertura de vidre visible des de l'exterior i una visibilitat des de l'interior òptima, no es poden aplicar les mesures convencionals ni les ja esmentades pels terrats i cal trobar-ne unes que respectin aquestes condicions.
- Alguns edificis presenten mecanismes adaptatius a les façanes (bioclimàtics) per tal de regular la energia que reben les façanes amb insolació. Aquests sistemes poden ser de regulació esporàdica i manual (com a l'edifici c/Àvila) o bé automatitzats (com a l'edifici TIC). Les solucions automatitzades permeten distingir entre dies bons i dolents però requereixen de sistemes electromecànic complexos i de costos manteniment.

3. Experimentació sobre façanes de vidre:

Els experiments realitzats en aquest treball estan enfocats a comprendre el comportament dels diversos materials i les seves combinacions en la transmissió de calor a l'interior d'un edifici per tal de trobar una combinació òptima d'elements que aïllin i refresquin la façana els mesos d'estiu i en canvi permetin que s'escalfi l'edifici els mesos d'hivern. El procediment que s'ha emprat per fer els experiments és la realització d'una maqueta amb un receptor de temperatura que enregistres els canvis de temperatura que succeïen a l'interior. Davant de la maqueta un element il·luminador que representes el sol i observar la velocitat d'augment de la temperatura interior. Quan més lent el creixement de la temperatura millor el comportament aïllant del material emprat.

3.1 Proves d'aïllament

La primera sèrie de pràctiques consistien en analitzar els diferents components d'una façana bioclimàtica per a residències.

Normalment una façana ben aïllada consta del següents components (fig. 25)

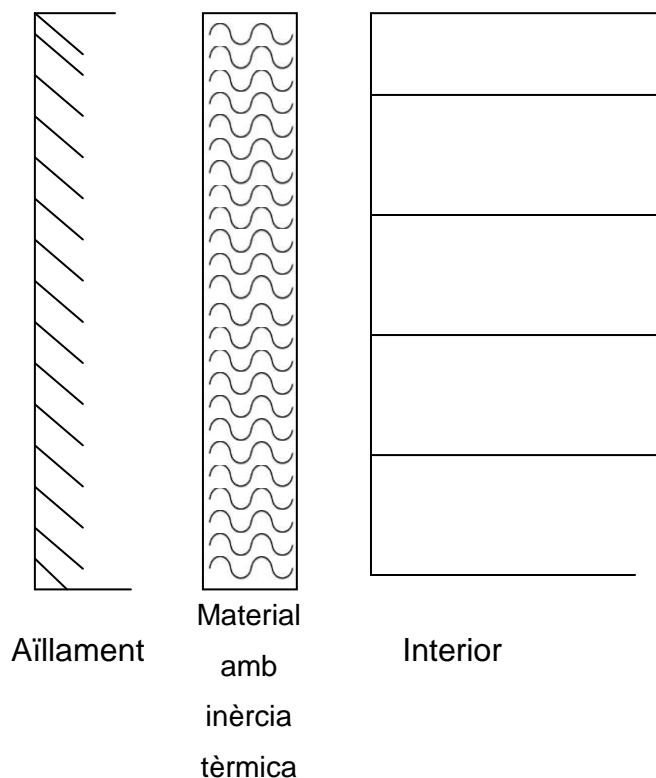


Figura 26: Esquema de la disposició ordenada dels aïllaments de la façana

En un edifici l'ordre dels diferents components de la façana, de fora cap a dins, és primer l'aïllant, en segon lloc un material amb inèrcia tèrmica (normalment obra). Un material amb inèrcia tèrmica és tot aquell material amb una calor específica elevada capaç de deixar anar la calor prèviament absorbida a una velocitat bastant reduïda.

El primer experiment dut a terme consistia a verificar l'eficàcia d'aquest esquema, comprovar l'eficàcia tan d'uns aïllaments com de materials amb inèrcia i l'ordre més adequat d'aquests.

El muntatge (fig. 26) per tal de realitzar els experiments era el següent:

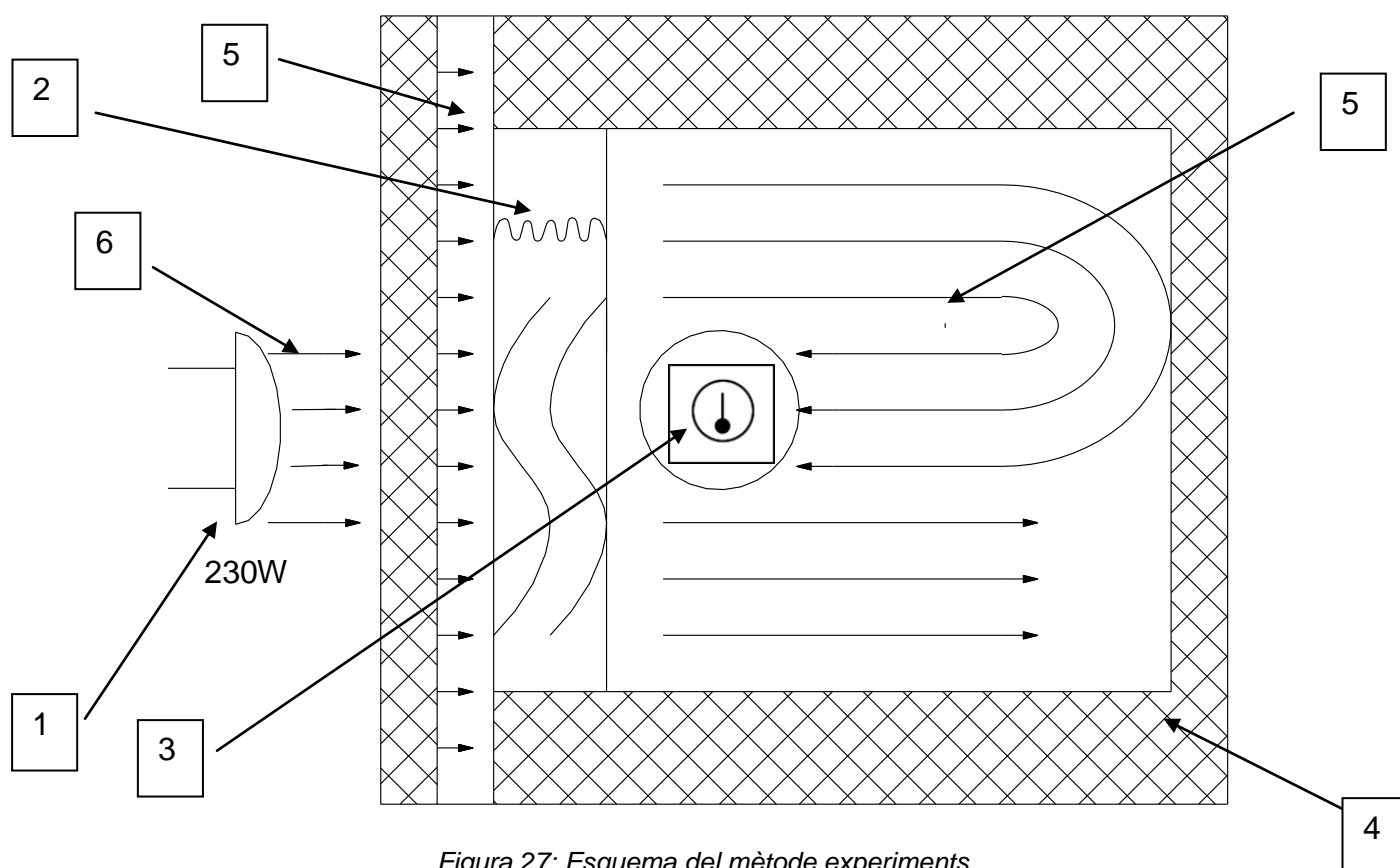


Figura 27: Esquema del mètode experiments

- Parts:
- 1-Focus de 230W
 - 2-Material amb inèrcia tèrmica (en aquest cas aigua)
 - 3-Termòmetre
 - 4-Aïllant total
 - 5- Convecció/ns d'aire
 - 6-Rajos de llum

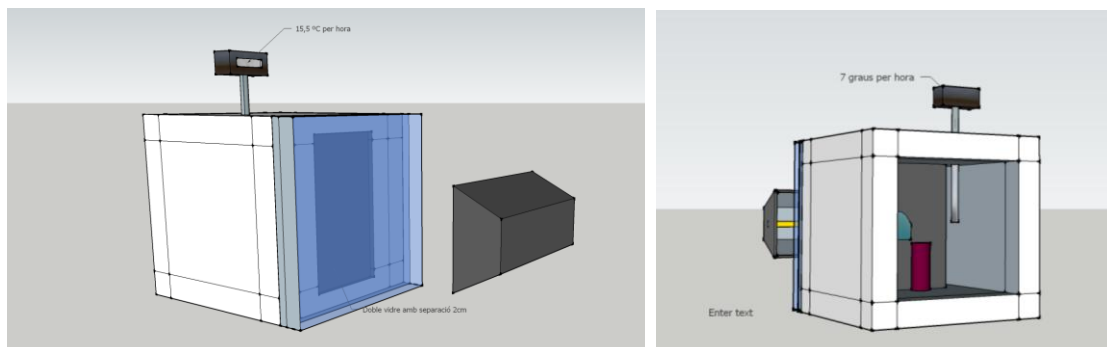


Figura 28: Plànol i representació gràfica de la caixa d'experiments vista d'alçat i revés

Com es pot apreciar en els esquemes anteriors (fig. 26 i 27), el muntatge consistia en una caixa de poliestirè totalment aïllada, la qual se li col·locava un termòmetre a dins que anava enregistrant la temperatura de l'interior cada 10 segons i una sonda termòmetre per anar monitoritzant des de l'exterior la evolució de la temperatura. A l'exterior posàvem un focus de 230W a una proximitat de la caixa que irradiava en una potència aproximada de $500\text{W}/\text{m}^2$. Per passar de 230W a $500\text{W}/\text{m}^2$ hem seguit el següent esquema:

El focus té una potència de 230W constant sobre una àrea rectangular il·luminada (veure figura 28). La llum perduda fora de l'àrea principal il·luminada és considera era molt petita i per tant despreciable a efectes de l'experiment.

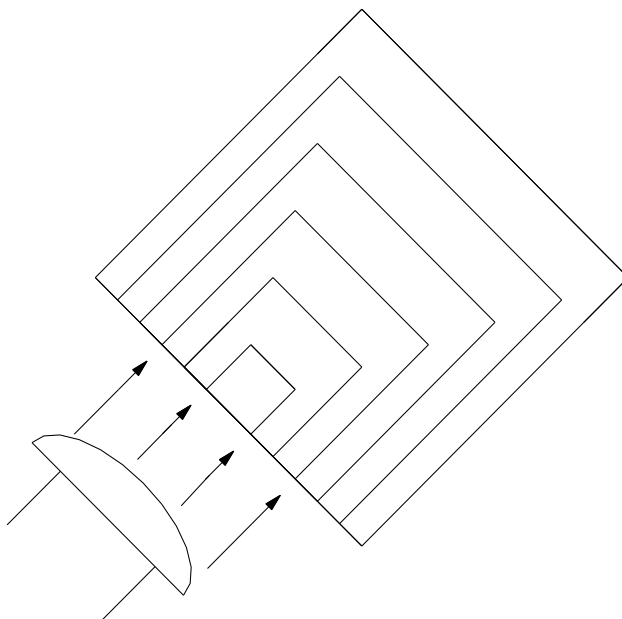


Figura 29: esquema de la distribució de la il·luminària del focus

Depenent de si allunyaves o apropaves el focus l'àrea que s'il·luminava es feia més gran o més petita, de manera que si per exemple il·luminaves una àrea de 2 m^2 els 230W es repartien per aquests 2 metres quadrats i s'obtenia una potència de $230\text{W}/2\text{m}^2 = 115\text{W}/\text{m}^2$. Ara hem de buscar la potència per superfície que el sol subministra a la latitud de 41° N com és Barcelona a la tardor/primavera (pels equinoccis) i l'estiu. La potència que subministra el sol per m^2 que arriba a la terra és de $200\text{W}/\text{m}^2$ però la que queda retinguda extra per l'efecte hivernacle és de $150\text{W}/\text{m}^2$ que fa un total de $350\text{W}/\text{m}^2$ durant els equinoccis i a l'estiu pot arribar als 500 W . Per això hem agafat aquesta potència, volem simular casos d'estiu. Hem de posar el focus a una distància concreta de forma que els 230W que irradia es converteixin en $500\text{W}/\text{m}^2$. Calculem l'àrea que ha d'il·luminar per arribar a $500\text{W}/\text{m}^2$: $230/500=0,46\text{m}^2$. Apropem el focus de manera que l'àrea il·luminada es correspon aproximadament a aquesta superfície i fixem el focus a una distància de 20cm . És important que independentment de l'exactitud del càlcul anterior, tots els experiment es facin amb el focus a aquesta distància fixa i eliminar diferències per grau d'insolació. Muntem uns ferros collats al focus per tal de mantenir aquesta distància constant.

La primera part d'experiments mostraven els comportaments dels diferents aïllaments i les diferents distribucions dels components per tal de veure quina combinació era l'òptima.

Calia comprovar que l'eficiència de l'ordre aïllament-inèrcia és com recull tota la informació trobada, millor que la contrària, inèrcia-aïllament. seguint els següents esquemes (fig29 i 30).

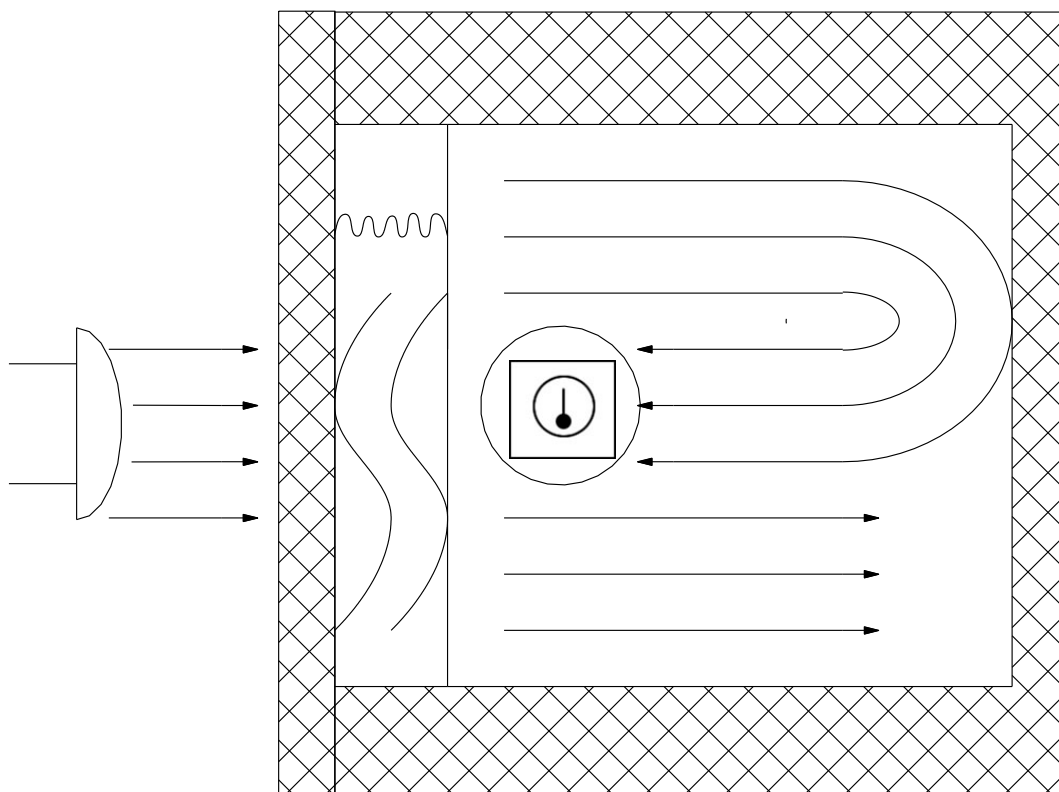


Figura 30: Aïllament-inèrcia

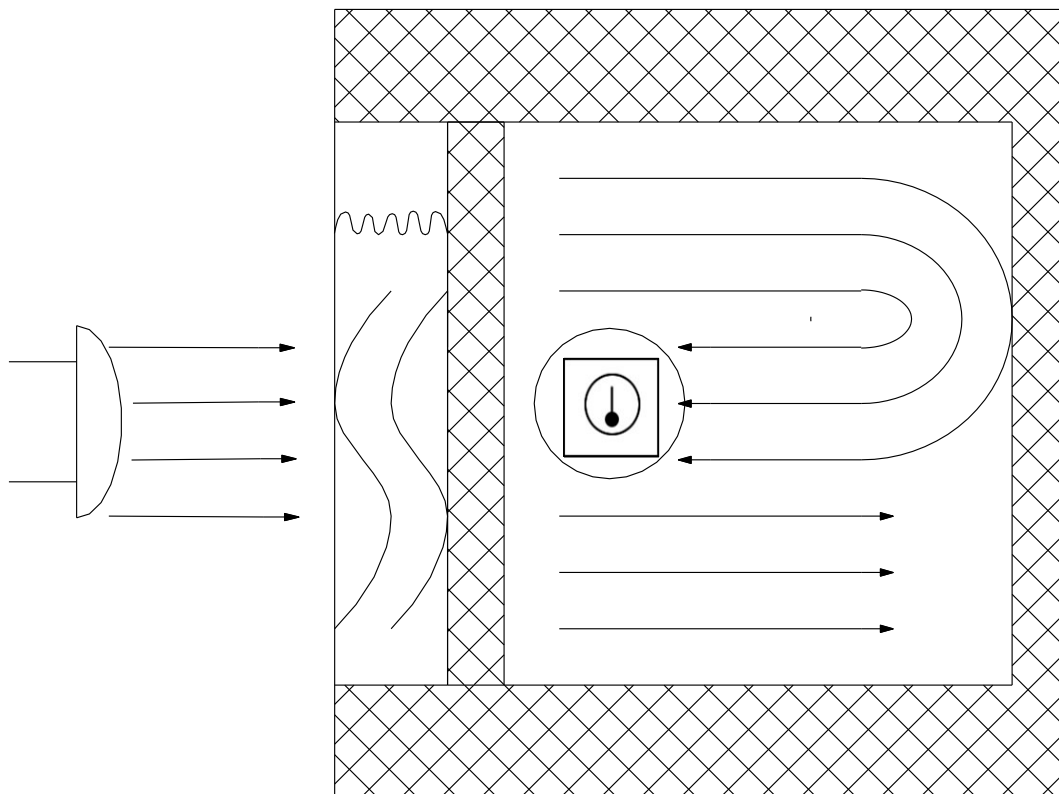


Figura 31 :Inèrcia-aïllament

En el primer cas (fig. 29) la llum arribava a l'aïllament on part de l'energia tèrmica era dispersada per aquest i després arribava a la inèrcia on era retinguda i deixada anar lentament per tal de homogeneïtzar el repartiment.

En el segon cas (fig. 30) el material amb inèrcia va primer, això fa que el 100% de l'energia que hi arriba no s'ha retingut, la captura tota i la deixa anar, quan arriba a l'aïllament, aquest no reté tanta calor i més energia arriba al receptor, això fa que augmenti més la temperatura que en el primer cas.

Es comprova que la velocitat d'augment de la temperatura és quasi el doble en la solució inèrcia primer que en el cas de l'aïllament a l'exterior. A partir d'aquesta comprovació totes les millores que trobem en els diferents experiments, tots els resultats tan positius com negatius seran aplicats als

futurs experiments, de manera que, si seguint l'exemple anterior hem vist que l'aïllament primer funciona millor doncs a partir d'aquí en els experiments següents sempre posarem l'aïllament primer.

3.2 Experiment de convecció

3.2.1 Experiment número 1, Vidre simple: El primer experiment consisteix en un vidre simple. El vidre primer i després el material amb inèrcia, tal i com pot observar-se en el esquema següent (fig. 31) . Això ens permet tenir la referència de quin és el comportament d'un edifici amb una façana de vidre senzilla. Els resultats de les dues proves fetes estan representades en les gràfiques 1 i 2 :

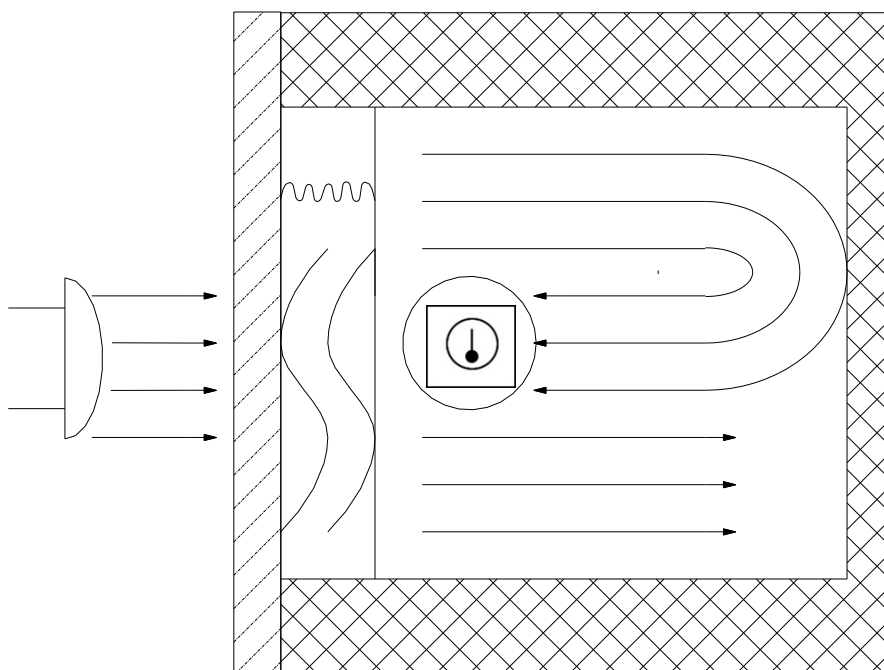
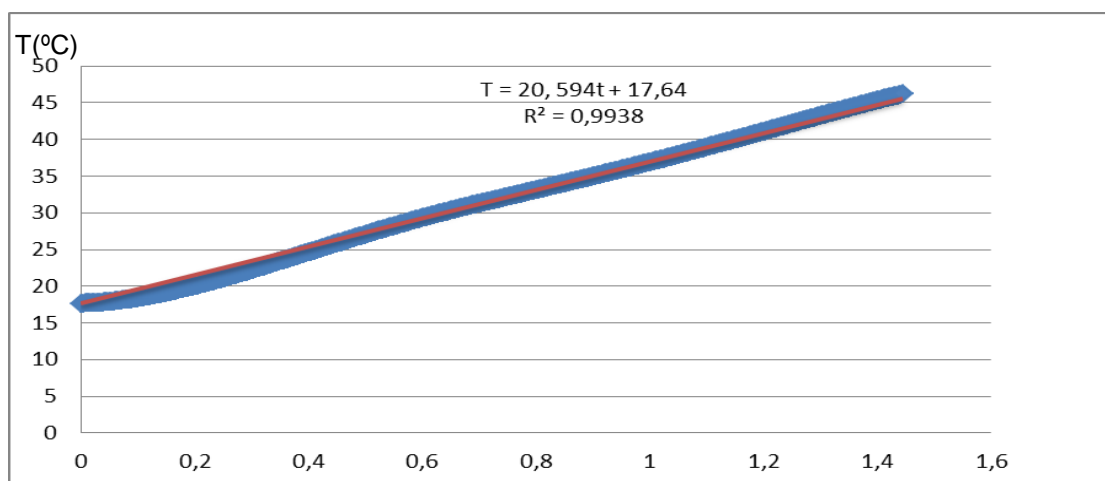
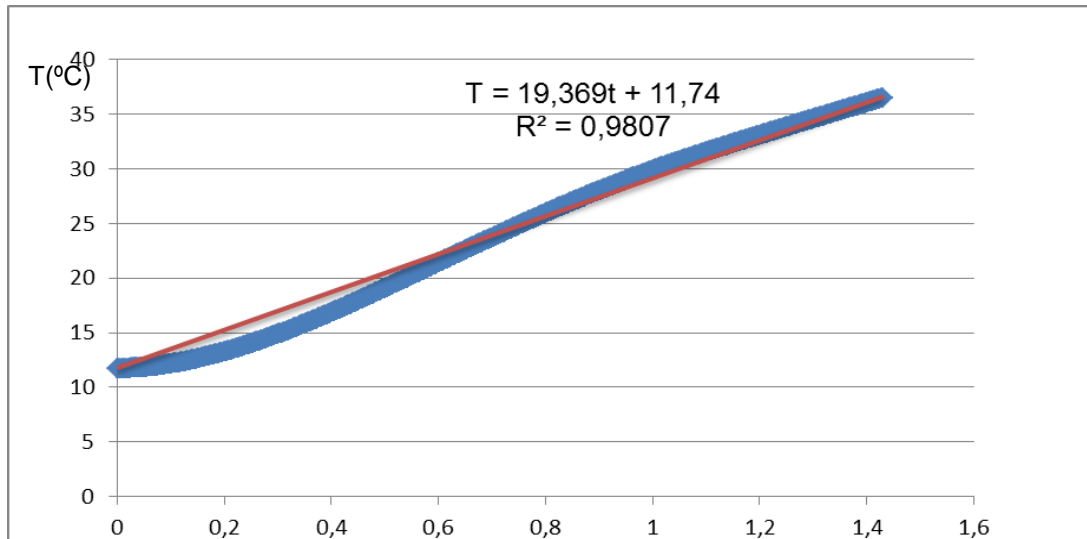


Figura 32: plànol de l'experiment número 1: Vidre simple.



Gràfica 1: Gràfica del progrés temperatura-temps en l'experiment número 1 prova1 (vegeu annexes experiment 1 prova 1 pàgina 112) t(h)



Gràfica 2: Gràfica del progrés temperatura-temps en l'experiment número 1 prova2 (vegeu annexes experiment 1 prova 2 pàgina 117) t(h)

Resultat de l'experiment número 1:

Mitjana de les dues proves : $(20,6 + 19,37)/2 = 39,97/2 = 20$ graus per hora.

Un increment de temperatura de 20°C/h És la primera prova, no se'n pot treure més conclusions, de moment però ens serveix de referència de qualsevol altre solució respecte al de la façana de vidre simple.

3.2.2 Experiment número 2, Doble vidre distància 1cm: Aquest segon experiment consisteix en posar un segon vidre en front del primer a una distància d'un centímetre per veure si crea un moviment ascendent de l'aire i per tant part de la calor es perd. Aquest experiment pretén comprovar el comportament d'una façana ventilada de doble vidre de separació reduïda. El plànol és el següent (fig. 32):

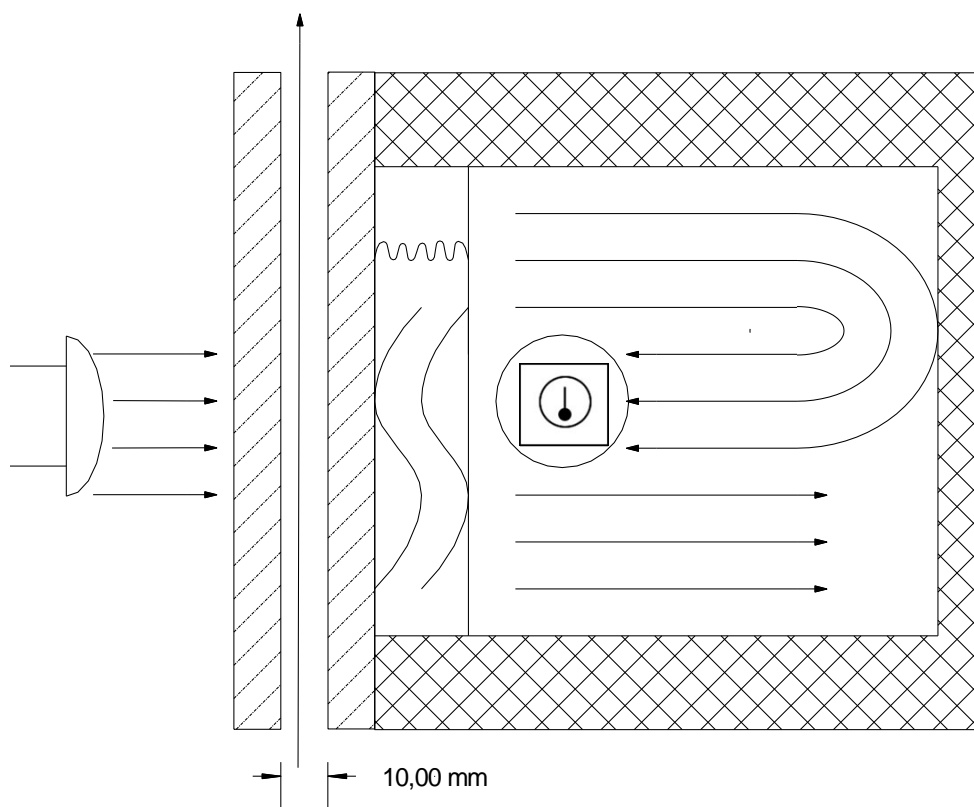
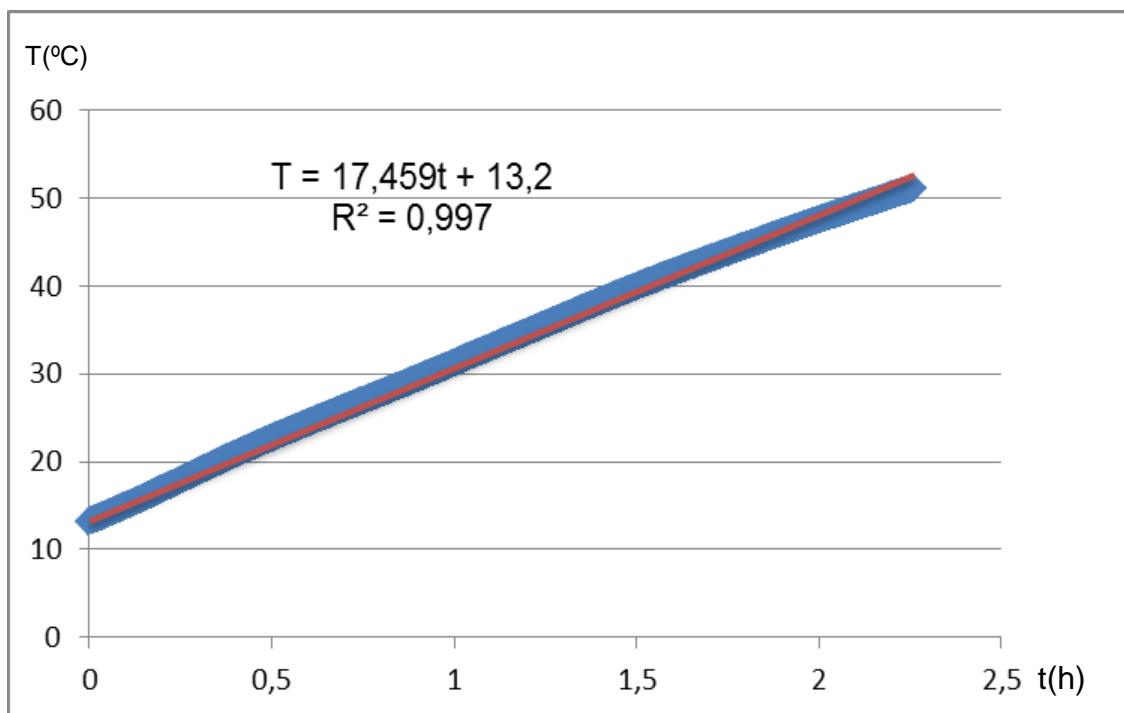
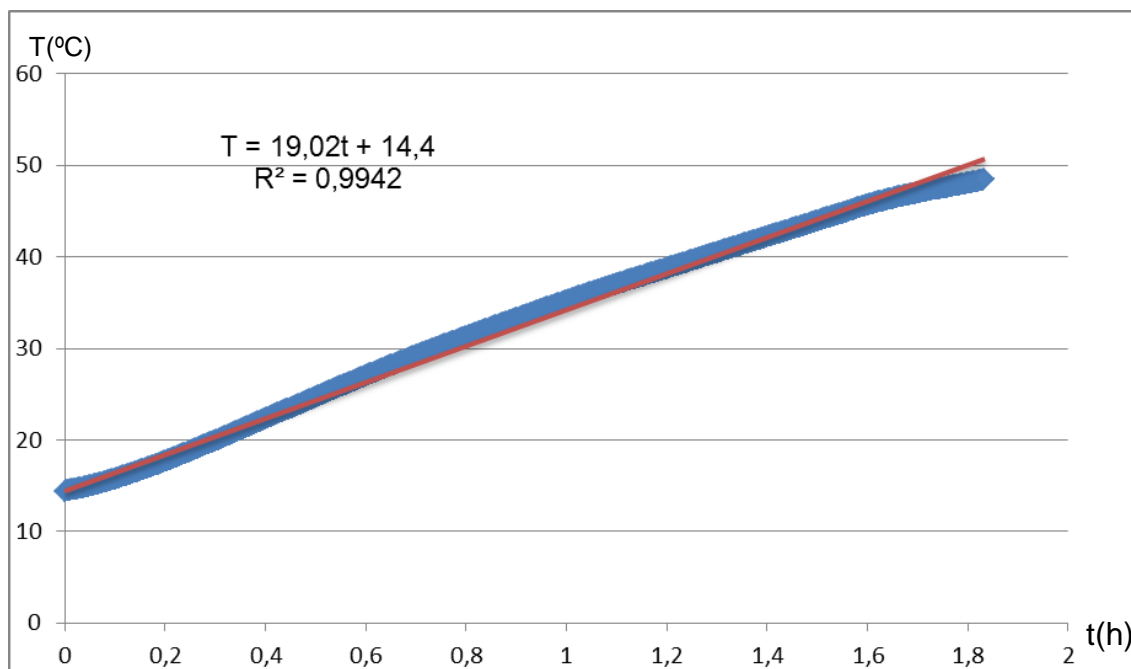


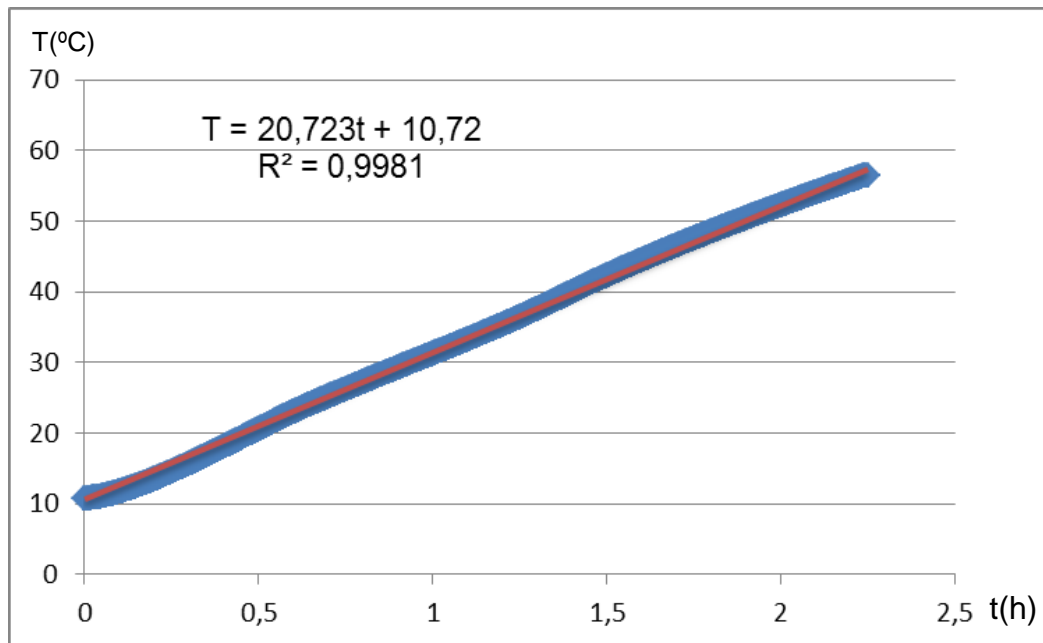
Figura 33: plànol de l'experiment número 2, doble vidre amb distància 1 cm



Gràfica 3: Gràfica del progrés temperatura-temps en l'experiment número 2 prova 1 (vegeu annexes experiment 2 prova 1 pàgina 126)



Gràfica 4: Gràfica del progrés temperatura-temps en l'experiment número 2 prova 2 (vegeu annexes experiment 2 prova 2 pàgina 133)



Gràfica 5: Gràfica del progrés temperatura-temps en l'experiment número 2 prova 3 (vegeu annexes experiment 1 prova 3 pàgina 143)

Resultat de l'experiment número 2:

Mitjana de les tres proves : $(20,7 + 17,7 + 19) / 3 = 57,4 / 3 = 19$ graus per hora.

Resultat: Un increment de 19°C/h. Aquest resultat demostra que instal·lant un segon vidre fent que es creï una corrent ascendent d'aire en redueix l'absorció de calor de manera que part de calor que arriba a la capa d'aire intermitja ascendeix i es perd de manera que no arriba a la inèrcia i no l'escalfa, cosa que de retruc no escalfa l'interior .

3.2.3 Experiment número 3, Doble vidre amb distància 2cm: Aquest experiment segueix la mateixa línia que l'anterior, però hem doblat la distància entre els vidres: de 10 mm a 20 mm. Segons la meua hipòtesi, si doblem la distància entre un vidre i l'altre esperem que millori l'efecte aïllant al tenir una convecció més folgada entre parets. Penso a priori que hauria de ser entre 18 i 17°C per hora si segueix una progressió lineal.

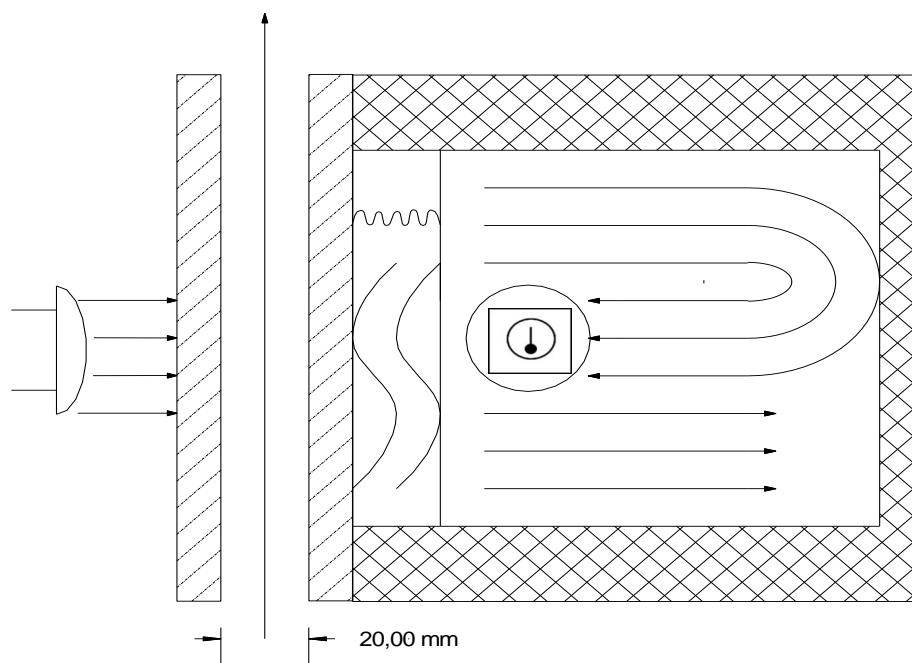
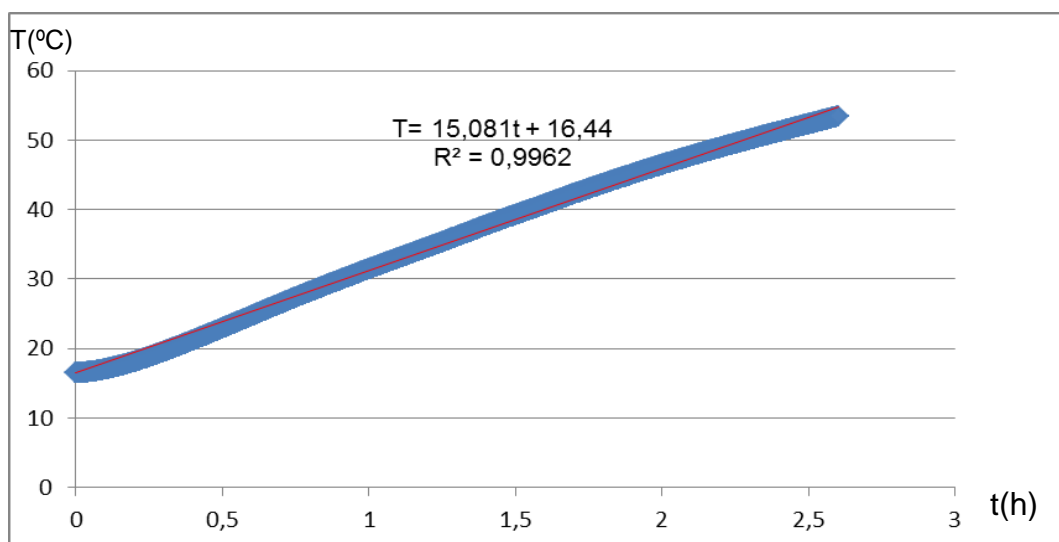
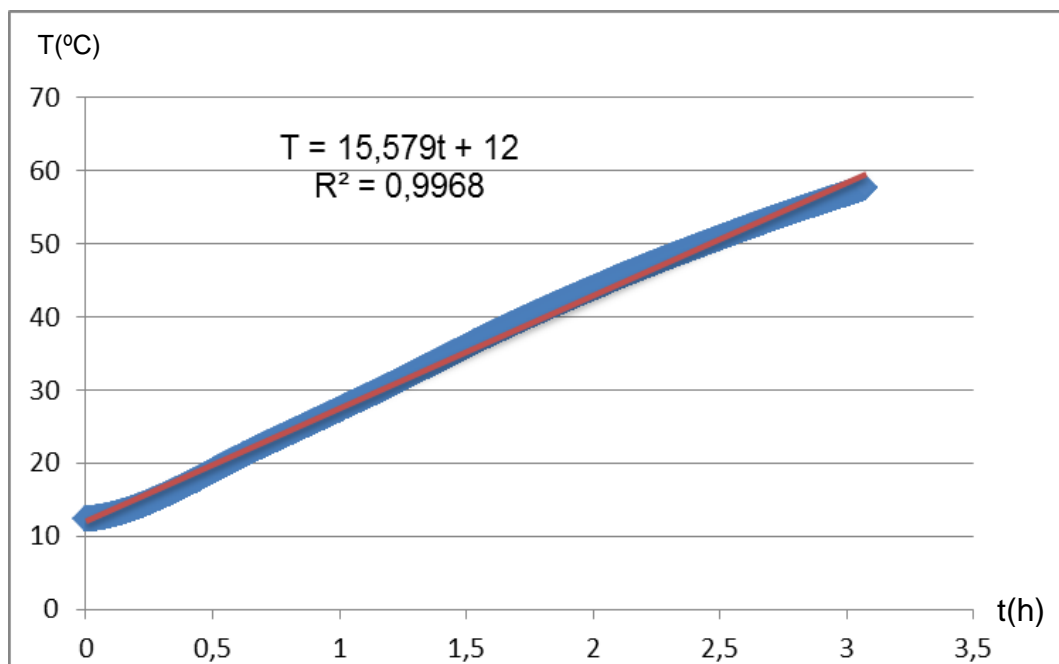


Figura 34: plànol de l'experiment número 3, doble vidre amb distància 2 cm



Gràfica 6: Gràfica del progrés temperatura-temps en l'experiment número 3 prova 1 (vegeu annexes experiment 3 prova 1 pàgina 152)



Gràfica 7: Gràfica del progrés temperatura-temps en l'experiment número 3 prova 2 (vegeu annexes experiment 3 prova 2 pàgina 162)

Resultat de l'experiment número 3:

Mitjana de les tres proves : $(15,1+15,6)/2 = 15,5$ graus per hora

Resultat: Un increment de 16°C per hora, no es compleix la hipòtesi plantejada a l'inici de l'experiment, es plantejava que seria d'entre 18 i 17 graus però ha estat de 15,5 graus així que supera les meves expectatives, demostrem que com més estigui allunyat el primer vidre del segon menor serà l'increment de temperatura però tampoc es pot posar el vidre exageradament lluny, és totalment inviable, així que a partir d'ara tot en farà amb doble vidre a 20mm .

3.2.4 Experiment número 4, Doble vidre a 2 cm de distància segellat. En aquest experiment eliminem la convecció segellant el vidre per dalt i per baix de manera que l'aire atrapat a dins actuï per si mateix com un aïllant. Això és per esbrinar si l'efecte aïllant observat anteriorment és per efecte de convecció o per que l'aire actua com a aïllant per si mateix.

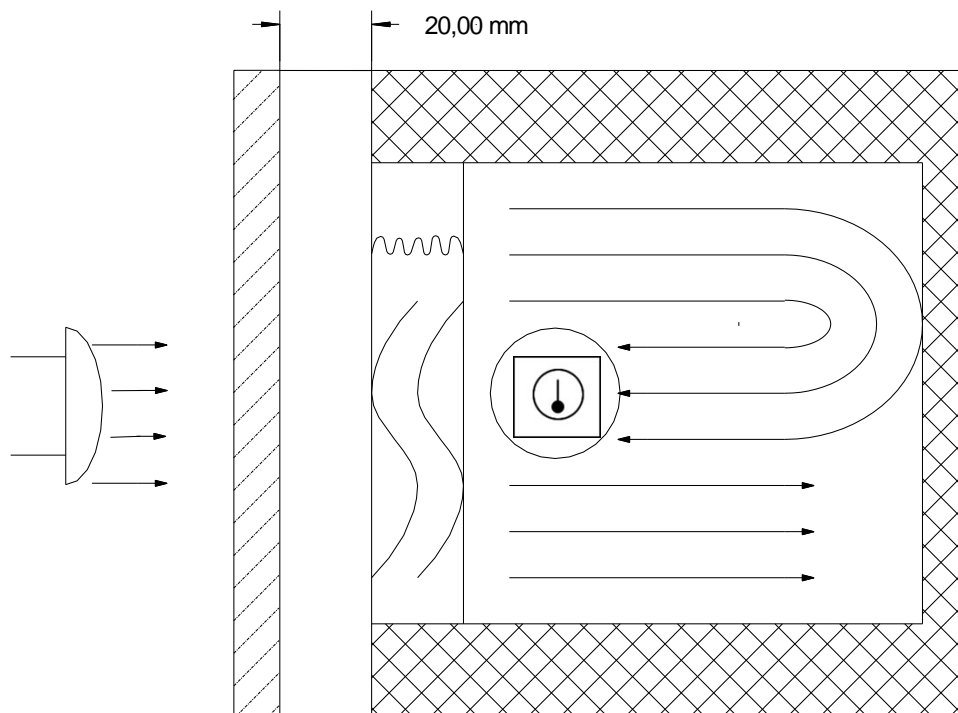
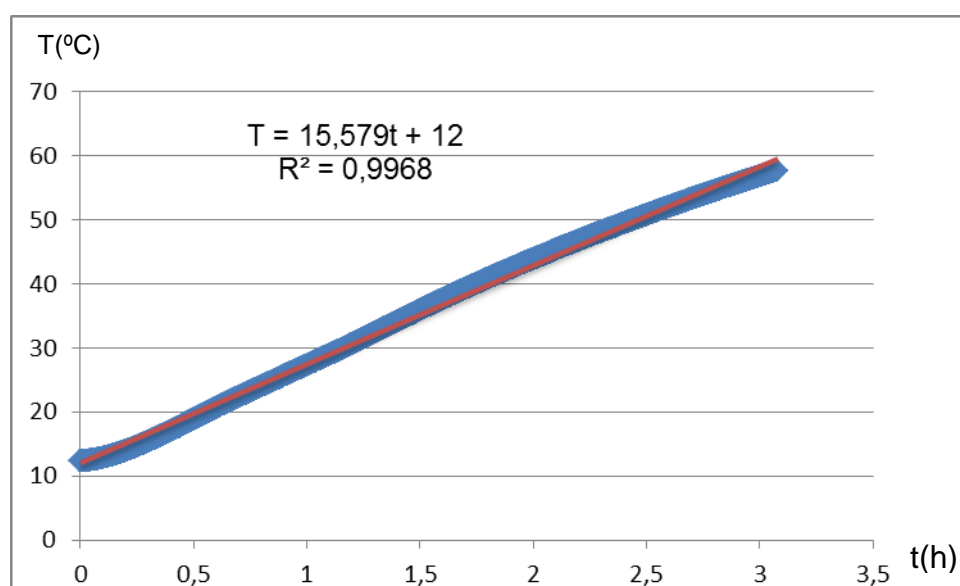
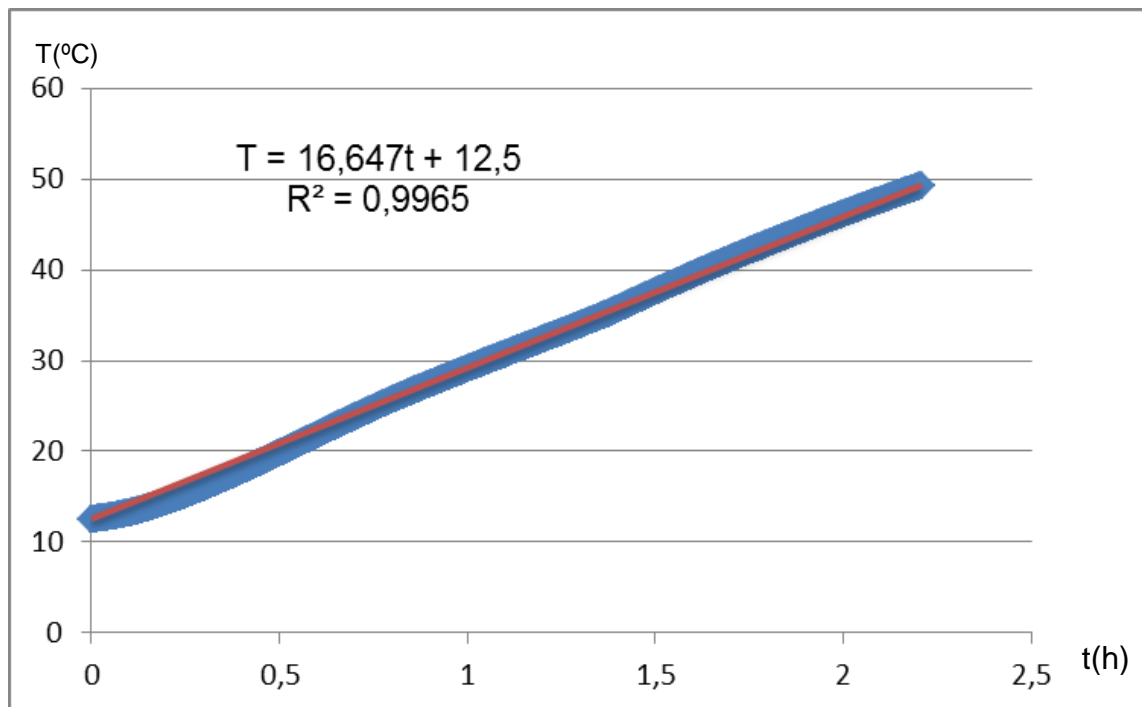


Figura 35: plànol de l'experiment 4, doble vidre segellat amb capa d'aire de 20mm



Gràfica 8: Gràfica del progrés temperatura-temps en l'experiment número 4 prova 1 (vegeu annexes experiment 4 prova 1 pàgina 174)



Gràfica 9: Gràfica del progrés temperatura-temps en l'experiment número 4 prova 2 (vegeu annexes experiment 4 prova 2 pàgina 182)

Resultat de l'experiment número 4:

Mitjana de les tres proves : $(16,6+15,6)/2 = 32,2/3 = 16,1$ graus per hora

Resultat: Un increment de $16,4^{\circ}\text{C}$ per hora l'aire de l'interior no actua en si mateix com un aïllament, l'impediment de la convecció fa que l'aire no es renovi i per tant s'escalfa més de pressa cosa que fa que la calor que arriba a l'interior no s'escapi, funciona millor quan hi ha convecció i eliminació de l'aire calent per la part superior.

3.2.5 Experiment número 5, Doble vidre amb reflectant: Teòricament, i a la pràctica hem observat que també, la convecció funciona millor que la capa d'aire confinat, de manera que continuarem la línia de la convecció d'aire. Aquesta vegada provem amb un material reflectant. Hi poso un reflectant de manera que la llum que arribi a través del vidre es reflecteixi en el reflectant (efecte mirall) i es perdi cap a l'exterior. Sabem que el vidre té efecte hivernacle i reté els rajos infrarojos, vegem si reflectint-los en el visible millora el resultat. Després també creem una capa de convecció també de 20 mm per tal de renovar l'aire. El reflectant el col·locarem després de la capa d'aire, enganxat al material d'inèrcia.

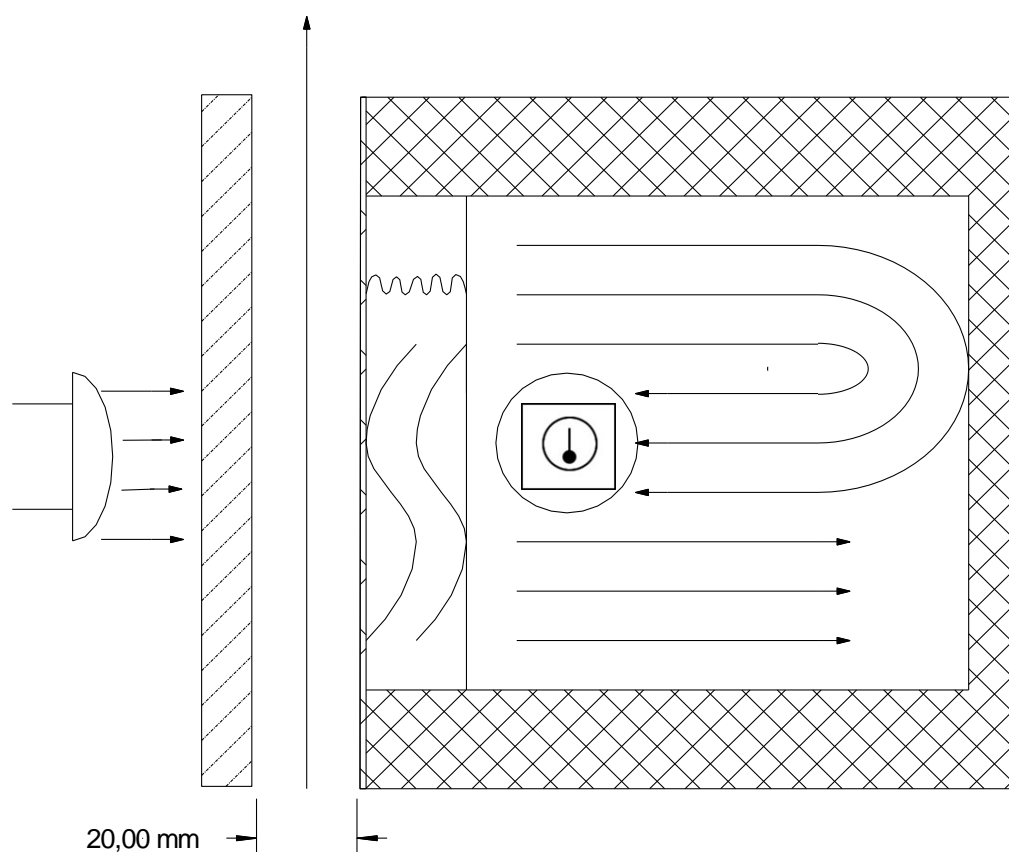
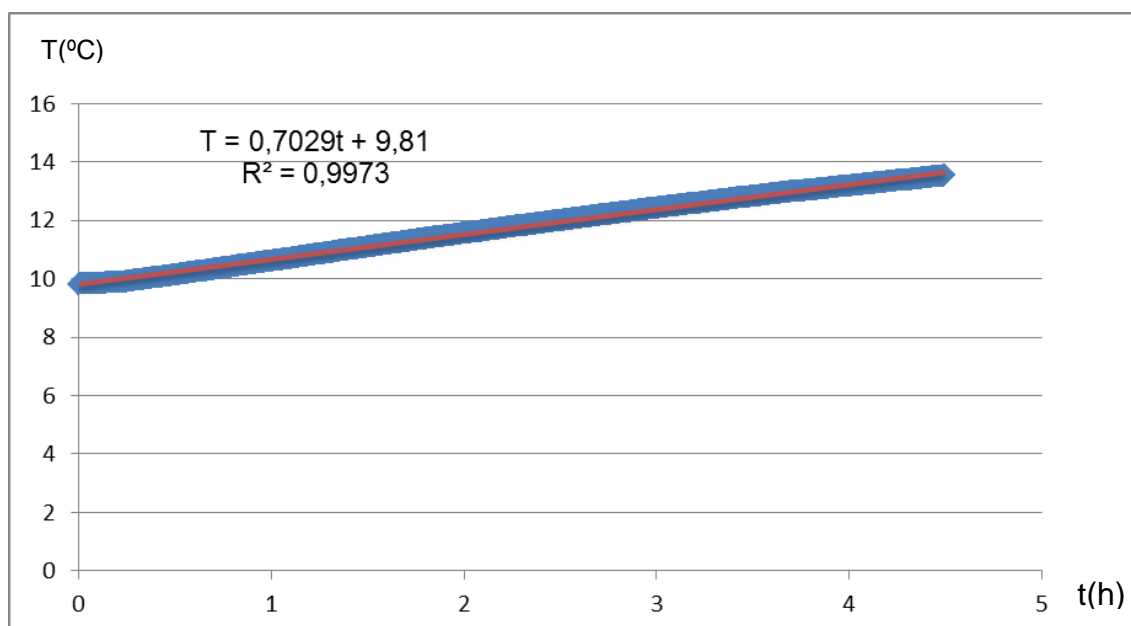


Figura 36: plànol de l'experiment 5, convecció d'aire amb reflectant després de la capa d'aire



Gràfica 10: Gràfica de la progressió de l'escalfament de l'experiment número 5 prova 2 (vegeu annexes experiment 5 pàgina 190)

Resultat de l'experiment número 5:

Resultat: 0,7 graus per hora, Això vol dir que el reflectant, que impedeix que la calor arribi al material d'inèrcia actua com un material aïllant perfecte, no tant per no permetre la conducció de calor sinó perquè ja reflecteix la llum. Quasi no s'escalfa, i el poc que s'escalfa la ventilació convectiva s'emporta la calor. És el que ha donat millor resultat fins ara.

Vist els bons resultats que ha donat aquest experiment ja es podria plantejar una solució a partir de incorporar on sigui factible un material reflectant sobre la façana interior. Potser amb una estructura semblant a les viseres verticals de l'edifici de la RNE (vegeu fig. 20, 21, 23 i 24).

L'esquema quedaria de la següent manera:

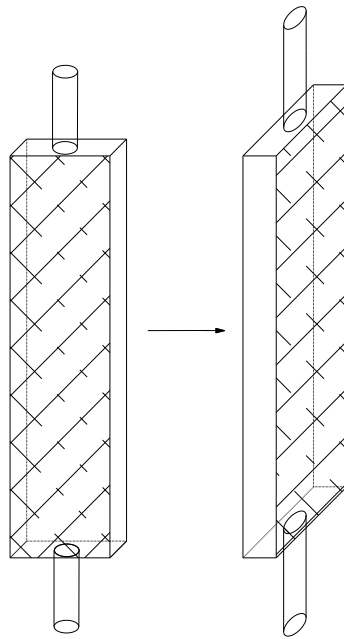


Figura 37: esquema de les plaques reflectants

Tot i així seguim amb els experiments

3.2.6 Experiment número 6, Doble vidre amb reflectant abans de la convecció de l'aire: Aquest experiment segueix la mateixa línia que l'anterior amb la única diferència que el reflectant ara el posarem primer abans que la capa d'aire, tot seguit després del vidre.

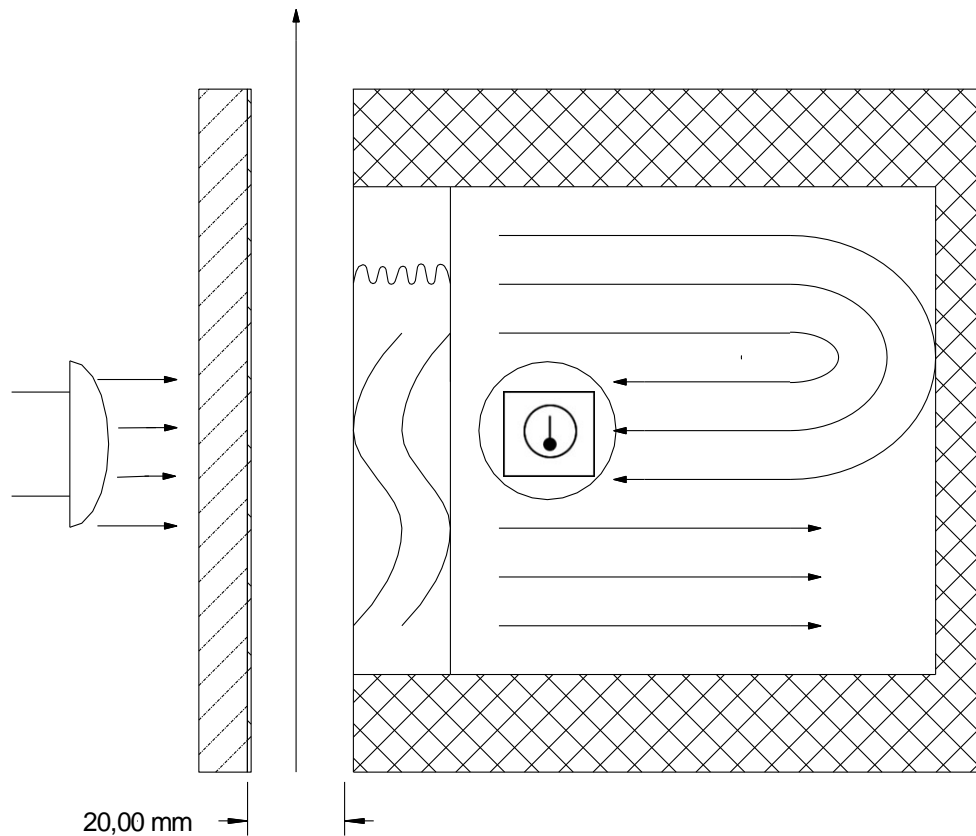
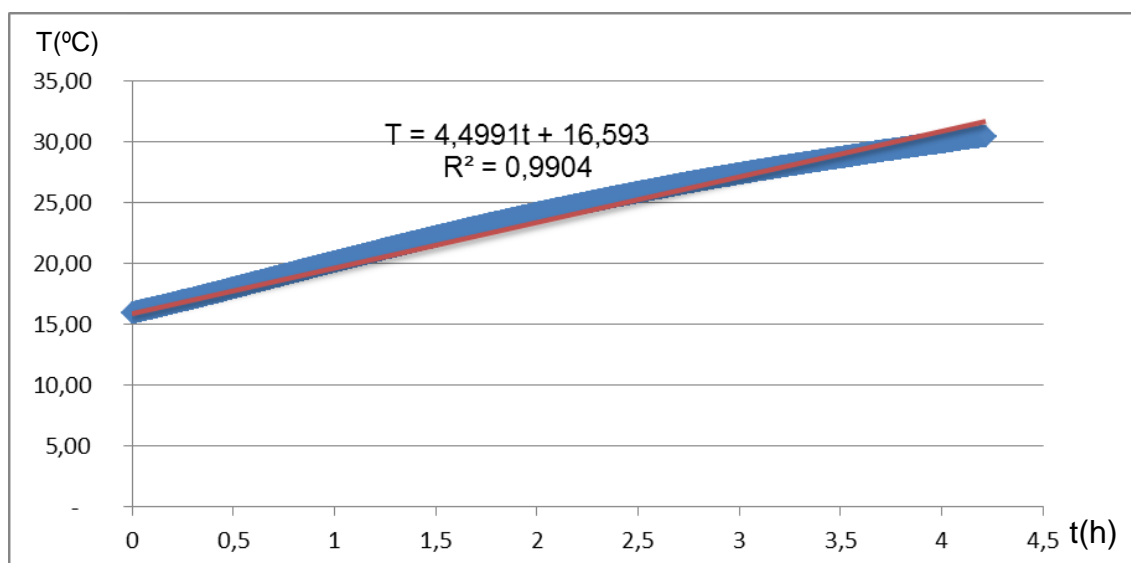


Figura 38: plànol de l'experiment número 6, doble vidre amb reflectant primer



Gràfica 11: Gràfica de la progressió de l'escalfament de l'experiment número 6 (vegeu annexes experiment 6 pàgina 205)

Resultant: 4,5 °C per hora. Això demostra que l'experiment número 5 funciona millor que aquest per una diferència de 4 graus per hora. El fet que l'experiment número 5 funcioni millor que no pas aquest pot ser degut a que el reflectant, si es col·loca després del vidre la seva reflexió no sigui tant bona o perquè la convecció de l'aire funciona millor sobre la cara calenta del reflectant.

3.2.7 Experiment número 7, Doble vidre amb material opac (plàstic negre):

En aquest experiment utilitzarem un material opac, que no deixi passar la llum de manera que ni tan sols arribi llum al material d'inèrcia i no s'escalfi gens per radiació sinó per conducció de calor a través de l'aïllant. La hipòtesi inicial és que potser no serà tan efectiu com els reflectants, però que en tot cas l'absorció de calor serà petita.

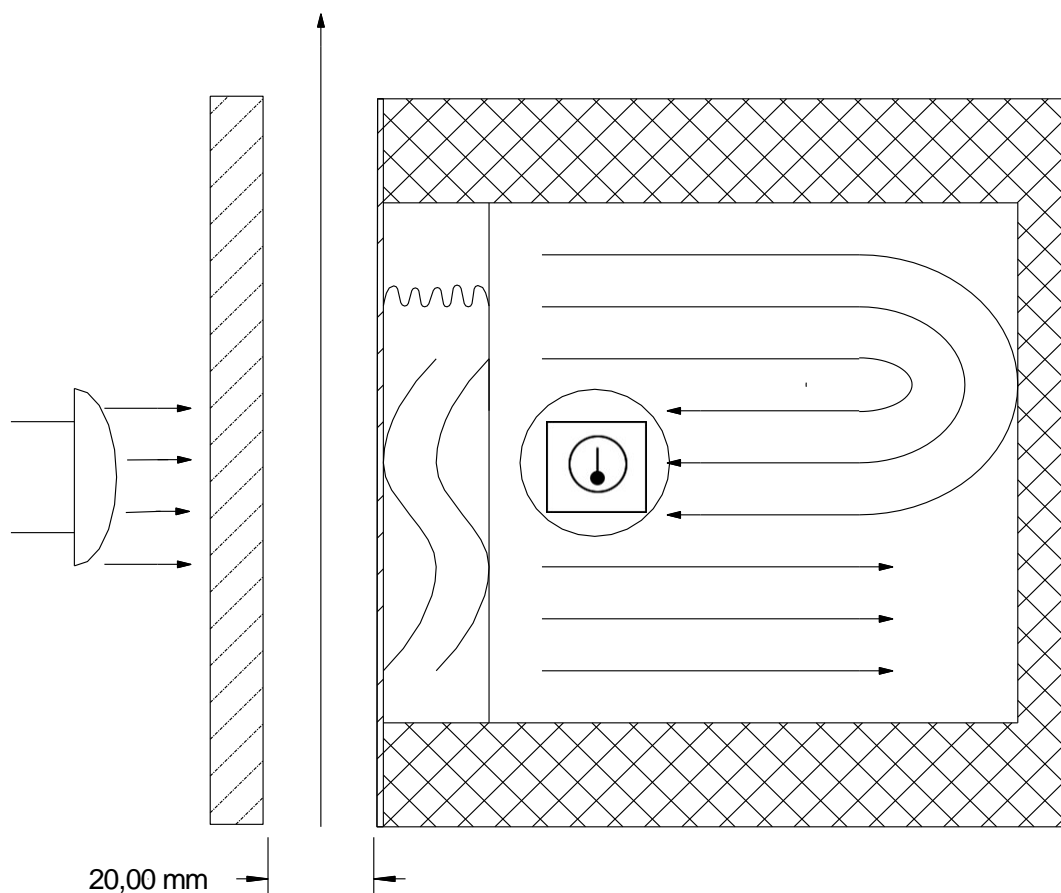
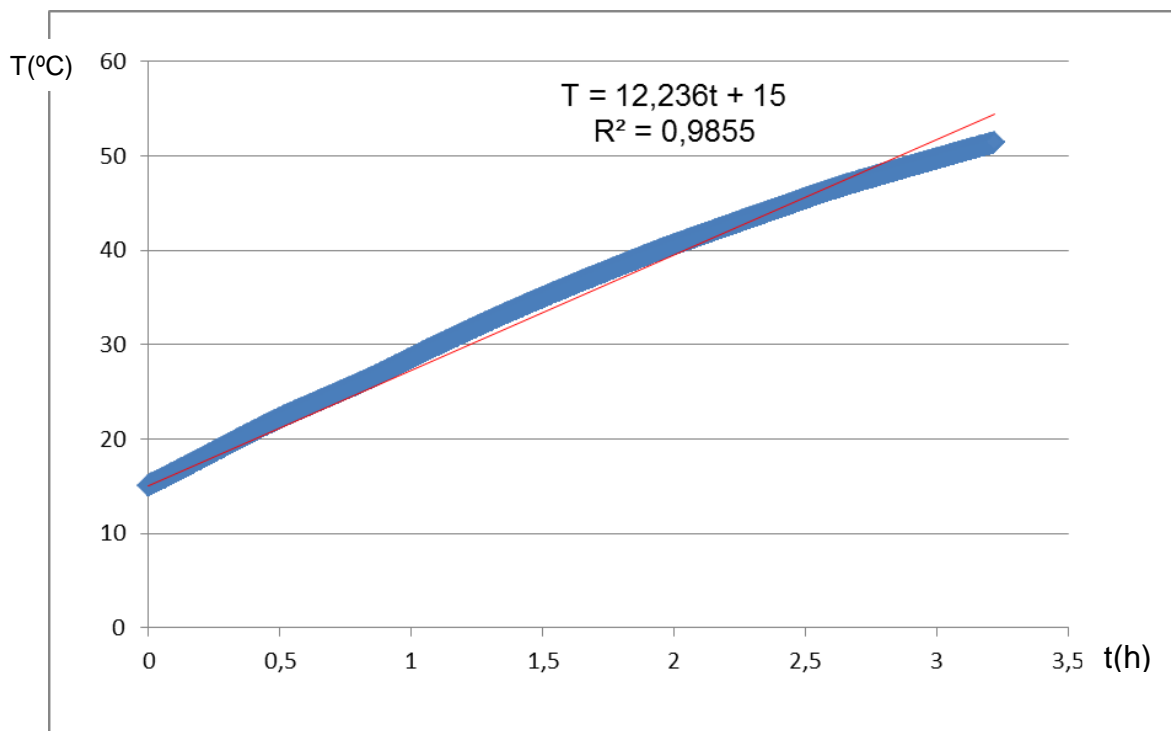


Figura 39: Plànol de l'experiment número 7 doble vidre amb material opac



Gràfica 12: Gràfica de la progressió de l'escalfament de l'experiment número 7 (vegeu annexes experiment 7 pàgina 219)

Resultat: Durant l'experiment, el plàstic negre va resultar que absorbia massa llum per ser negre i va cremar tot el voltant de la caixa fonent l'aïllant que el recobria. Vaig parar l'experiment abans d'hora, tot i així vaig enregistrar un augment de temperatura de 12,2°C/h. Això confirma la hipòtesi inicial que deixa que no s'escalfaria tan ràpid com un reflectant. Tot i així ho tornaré a provar però amb un plàstic aquesta vegada blanc. No faré cap altra prova per no acabar de fondre tota la caixa.

3.2.8 Experiment número 8, Doble vidre amb material opac (plàstic blanc):

Aquest experiment és igual que l'anterior però amb la única diferència que el plàstic ara en comptes de ser negre és blanc. La hipòtesi que faig en aquest experiment és que, essent blanc, absorbirà menys calor i per tant no només el termòmetre enregistrarà menys calor sinó que les vores no es cremaran.

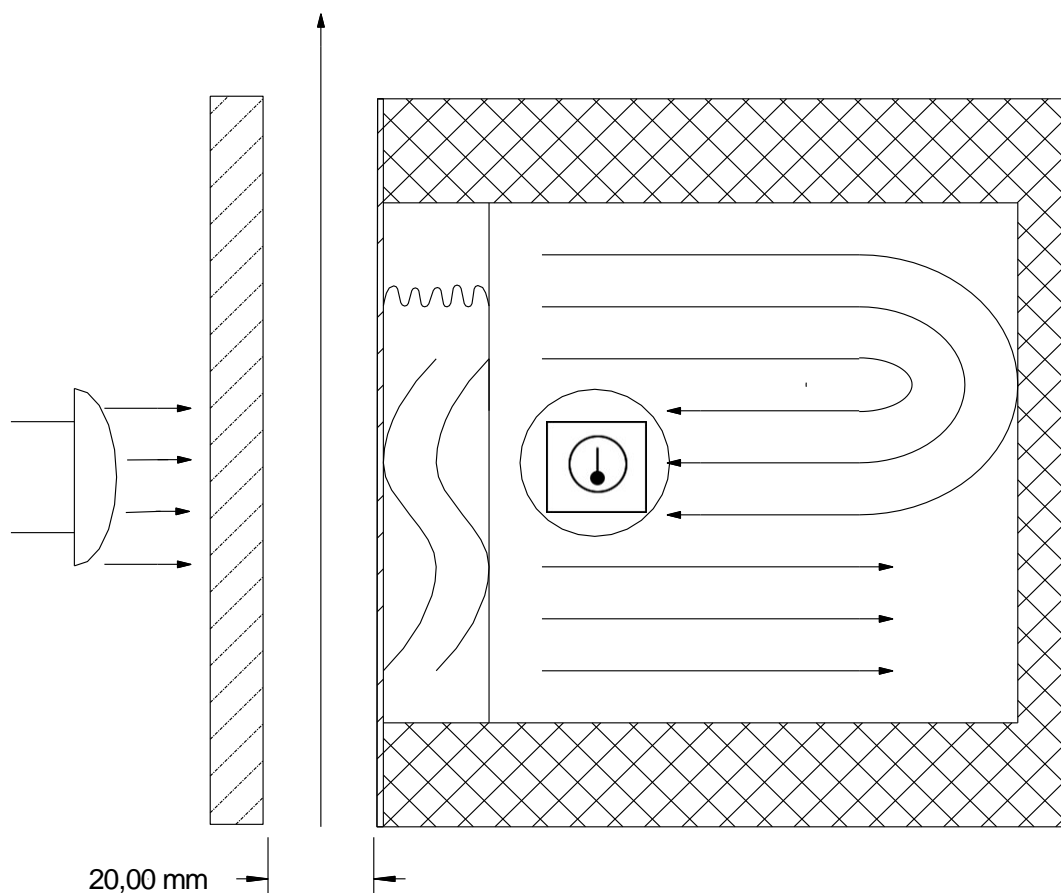
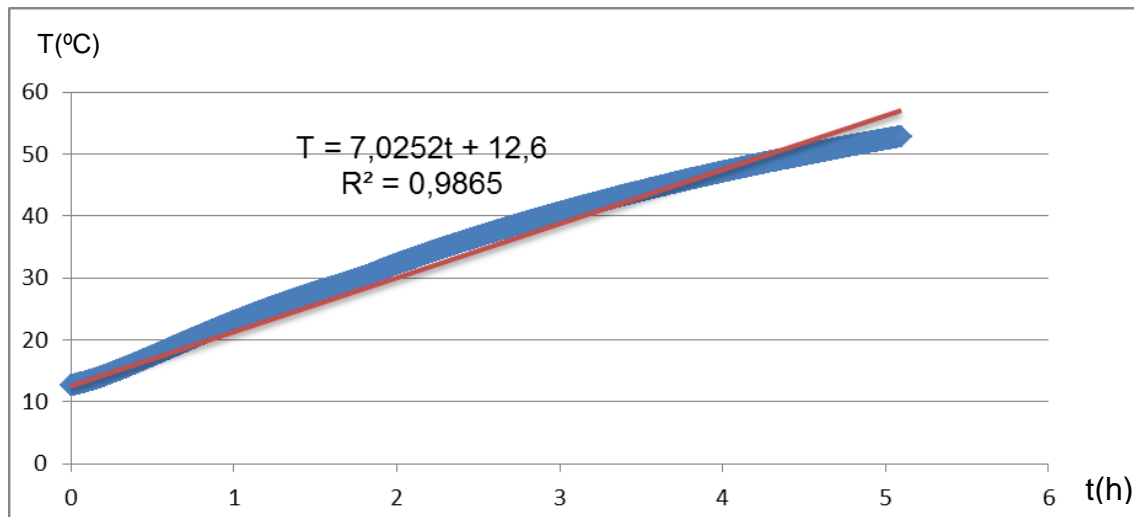


Figura 40: plànol de l'experiment número 8 doble vidre amb material opac (plàstic blanc)



Gràfica 13: Gràfica de la progressió de l'escalfament de l'experiment número 8 (vegeu annexes experiment 8 pàgina 230)

Resultat: La meua hipòtesi inicial resulta ser certa, No només les vores no s'han cremat sinó que la temperatura enregistrada és de 7 graus per hora. Tot i així no arriba a ser tan baixa com la del reflectant, puc donar el reflectant com a vàlid o fer una última prova.

3.2.9 Experiment número 9, Doble vidre amb material opac (cartró): Aquest serà l'últim experiment que faré, consisteix amb una peça de cartró totalment opaca de una gruixudesa i una densitat considerable. El cartró ocupa el mateix volum i posició que tots els materials dels experiments anteriors. Aquest experiment ha de servir per veure si materials naturals com la fusta o el cartró són millors que els plàstics a l'hora de actuar com a aïllants.

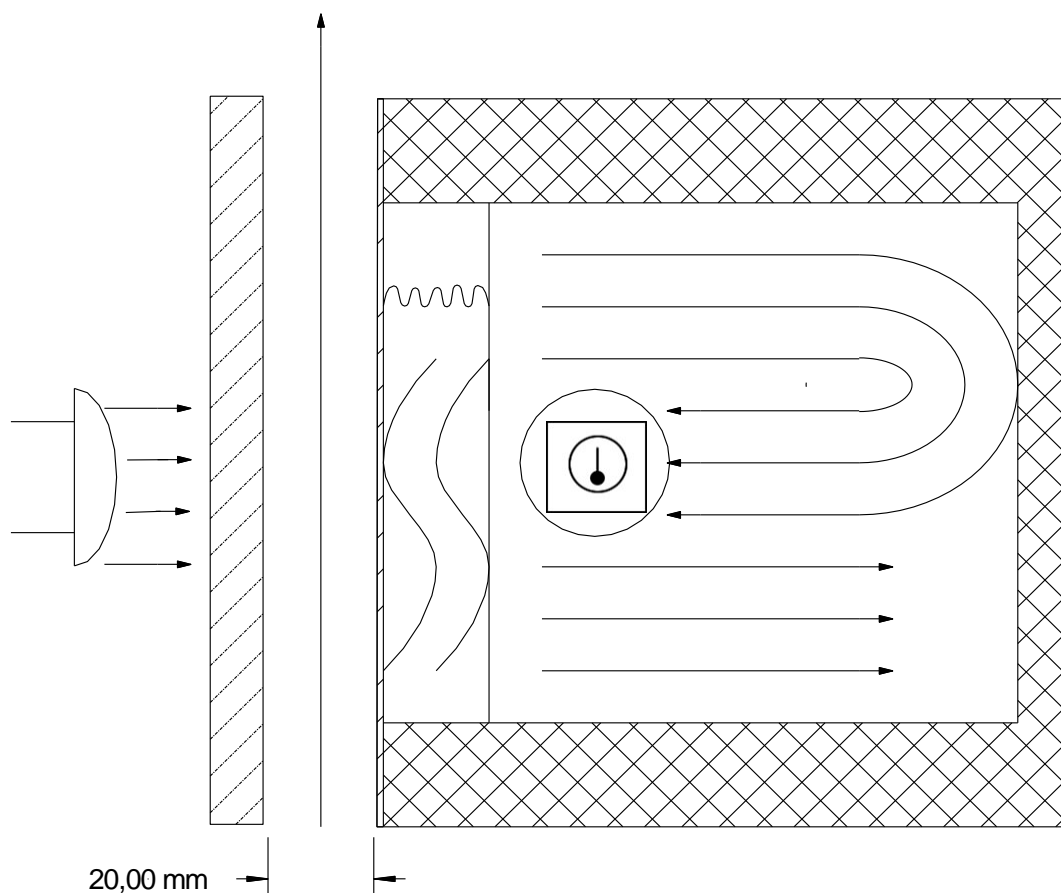
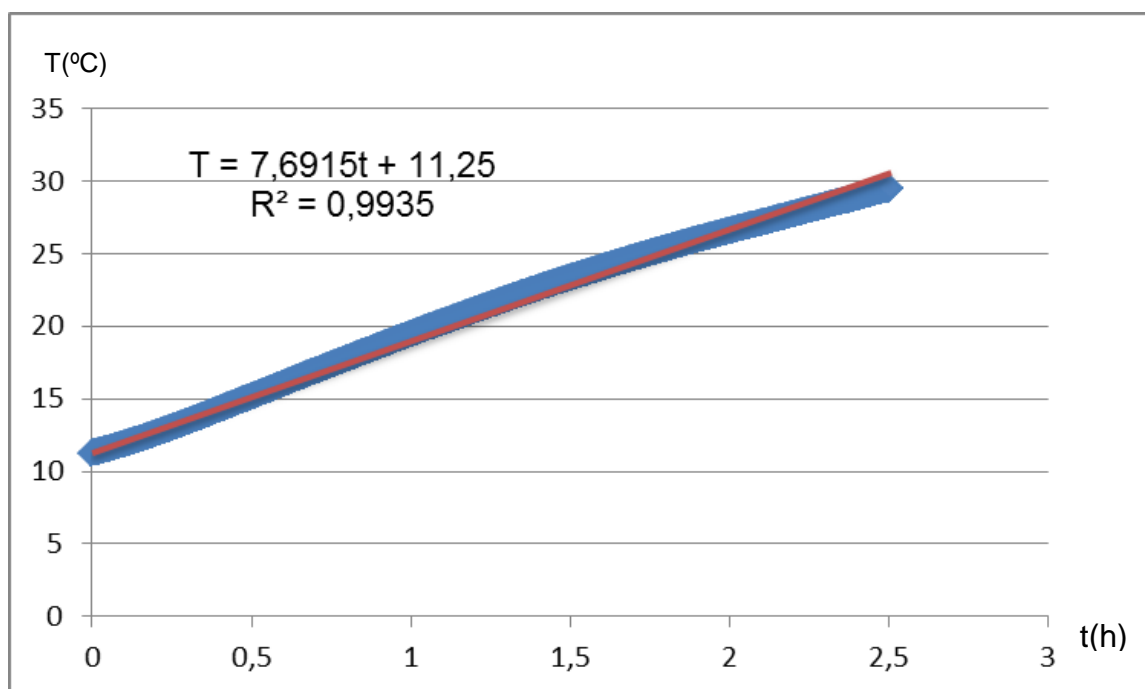


Figura 41: plànol de l'experiment número 8 doble vidre amb material opac (plàstic blanc)



Gràfica 14: Gràfica de la progressió de l'escalfament de l'experiment número 9 (vegeu annexes experiment 9 pàgina 247)

Resultat: 7,7°C per hora d'escalfament

Ni tan sols un material opac i gruixut com el cartó pot millor la marca del reflectant. Sembla ser que el reflectant és el que protegeix millor l'interior de la calor. I en tot cas, sinó optarem per un aïllant plàstic de color clar.

3.3 Proves de traspasament de calor S→N:

El cas d'un edifici d'oficines és més complicat perquè l'edifici ha d'estar recobert per tot arreu amb vidre i ens hem d'adaptar a això, a més no podem utilitzar cap material amb inèrcia perquè hauria de ser transparent i no disposem d'un material amb inèrcia alta i que deixi passar la llum. (transparent)

Per tal de preparar els experiments en qüestió he preparat el següent esquema

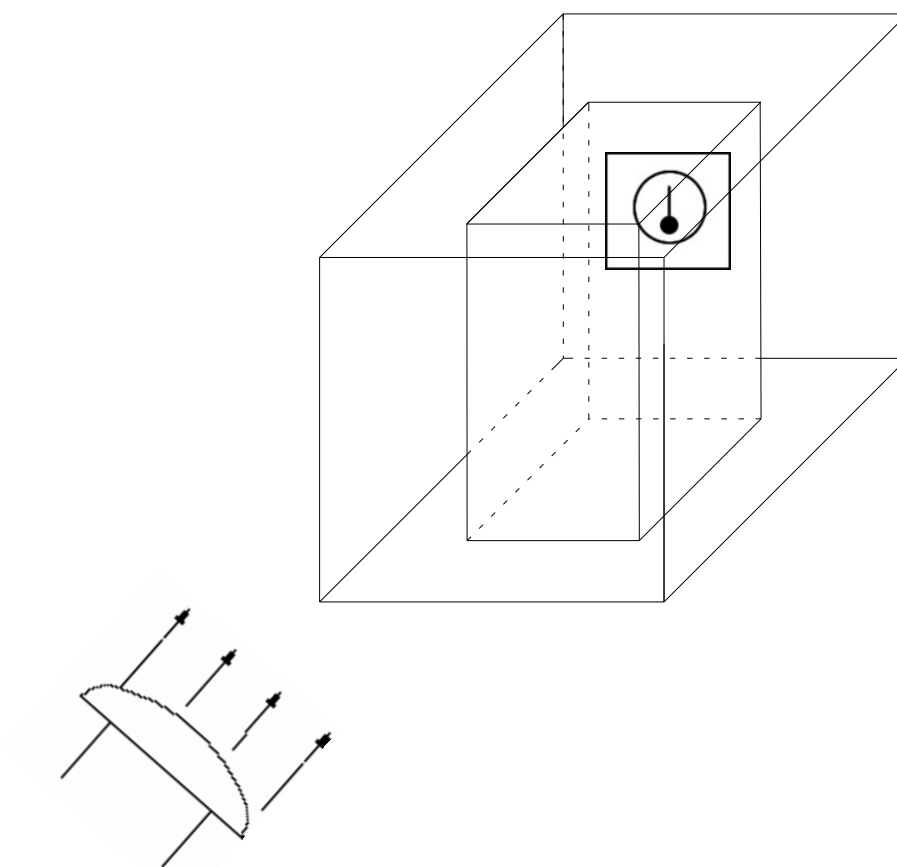
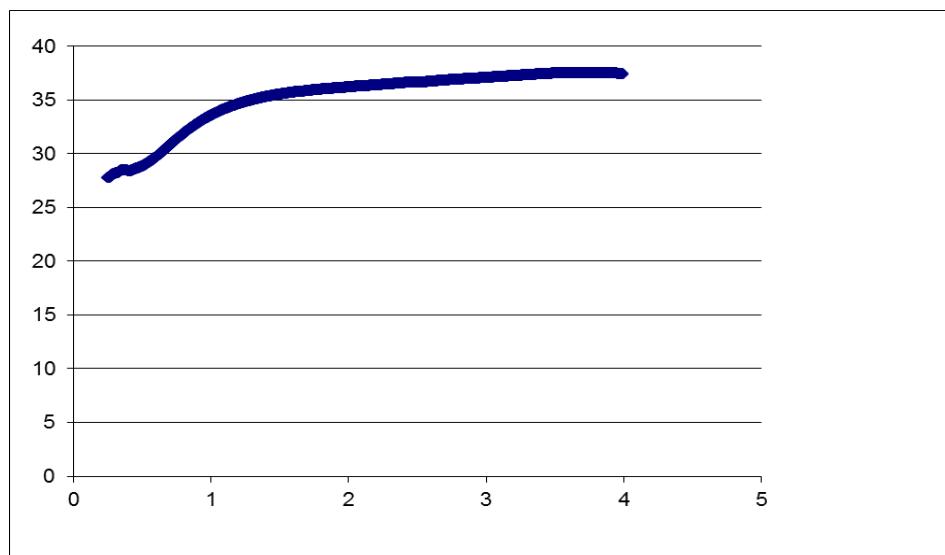


Figura 42: esquema dels experiments d'oficina

L'esquema consisteix en una caixa de material aïllant, recobert amb una façana exterior de vidre pels quatre cantons i segellat a la part superior pel qual l'aire ni entri ni surti del conjunt. Situem el termòmetre a la cara contrària (Nord) de la recepció de la llum. L'objectiu d'aquest plantejament és veure si amb aquesta solució (vidre a quatre façanes tancades per la part superior) la calor és capaç d'arribar d'una banda de l'edifici a l'altra homogeneïtzant la temperatura.

Els experiments fets amb aquesta estructura presenten el les gràfiques de temperatura en funció del temps la següent estructura:



Gràfica 15: Explicació del comportament dels experiments de traspasament de calor S->N

Aquesta gràfica presenta dos trams, el primer, el tram 1 és la primera pujada, la d'adaptació, quan l'aire es comença a posar en moviment i després tenim el tram 2, el tram d'estabilitat on la temperatura ja no puja i és quan l'aire ja està en moviment. En tots els experiments en tram 2 era el mateix, el que presentava diferències, però, era el tram 1 i en les gràfiques dels experiments em centraré en aquest primer tram, en el temps que dura i el seu pendent. També ens interessa veure aquesta fase inicial, com de ràpid l'edifici és capaç de fer arribar la calor a l'altre façana.

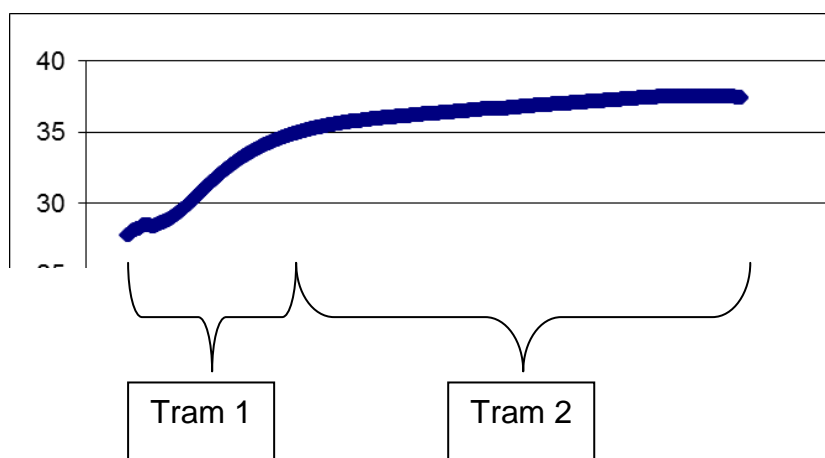


Figura 43: Representació dels dos trams de la gràfica

3.3.1 Prova de traspasament de calor S→N número 1: Caixa amb vidre a quatre costats, tancats a la part superior (sense convecció cap a dalt) . L'objectiu d'aquest primer experiment és veure si sense convecció natural també existeix convecció entre cares Nord i Sud i homogeneïtzació de temperatura.

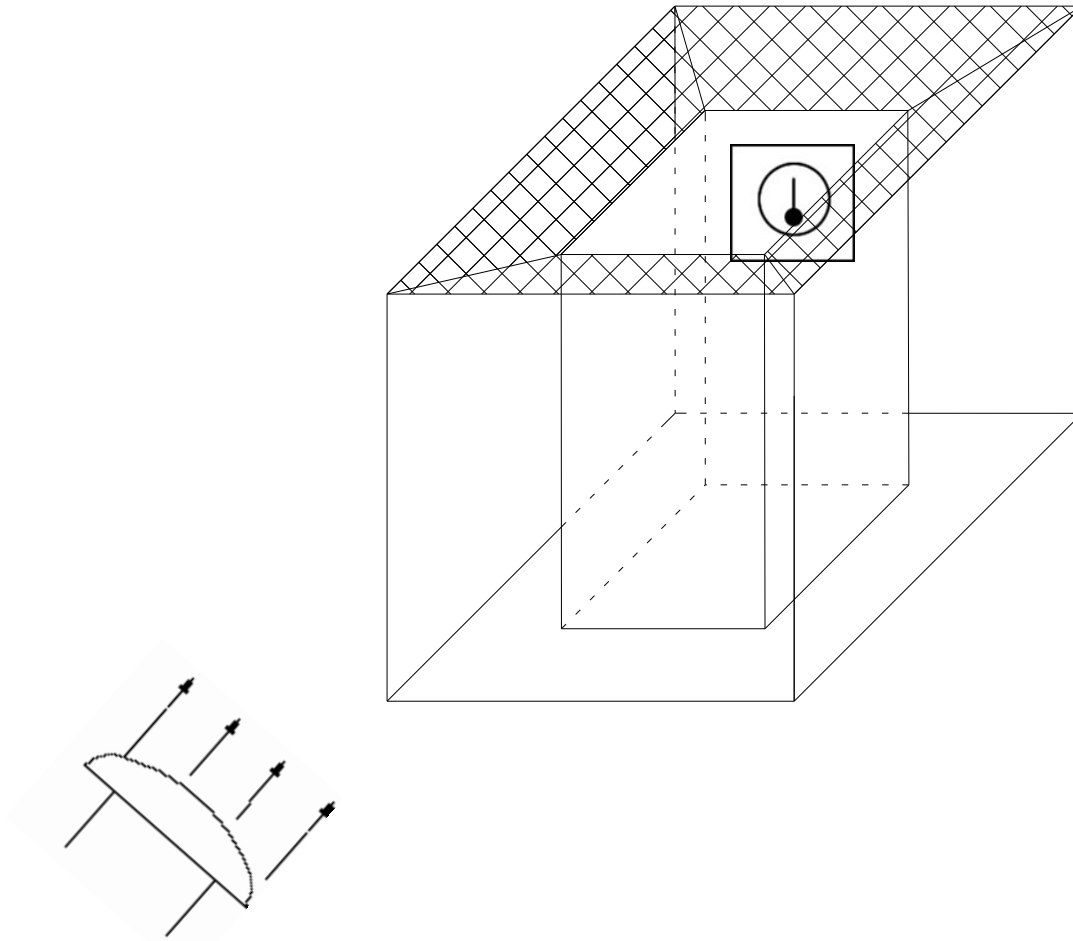
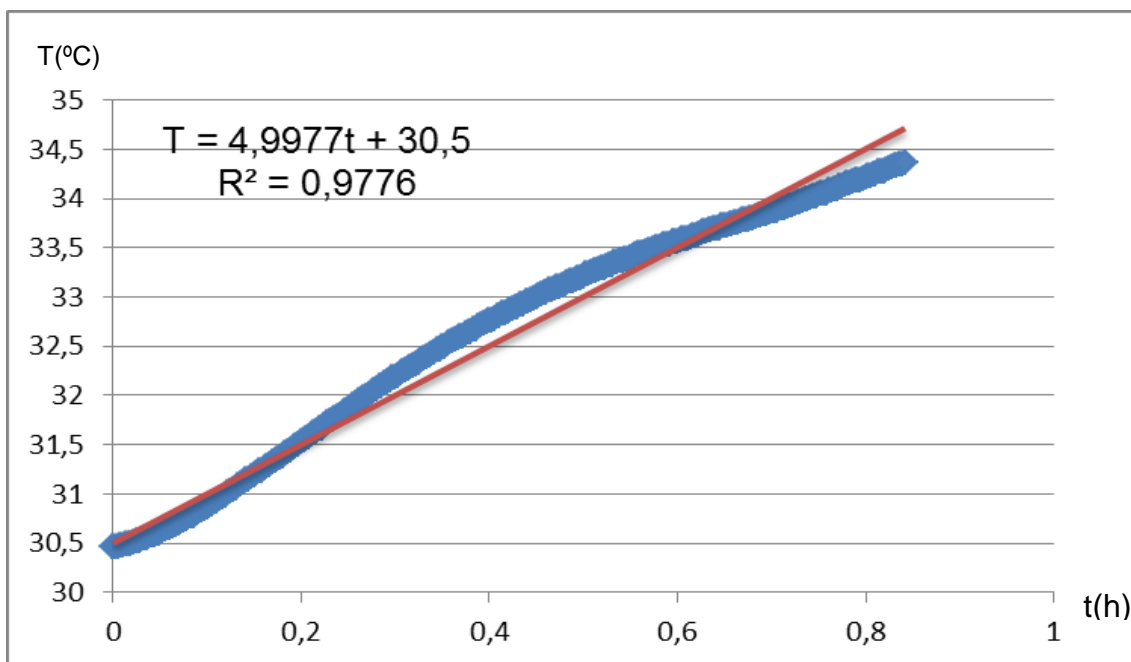
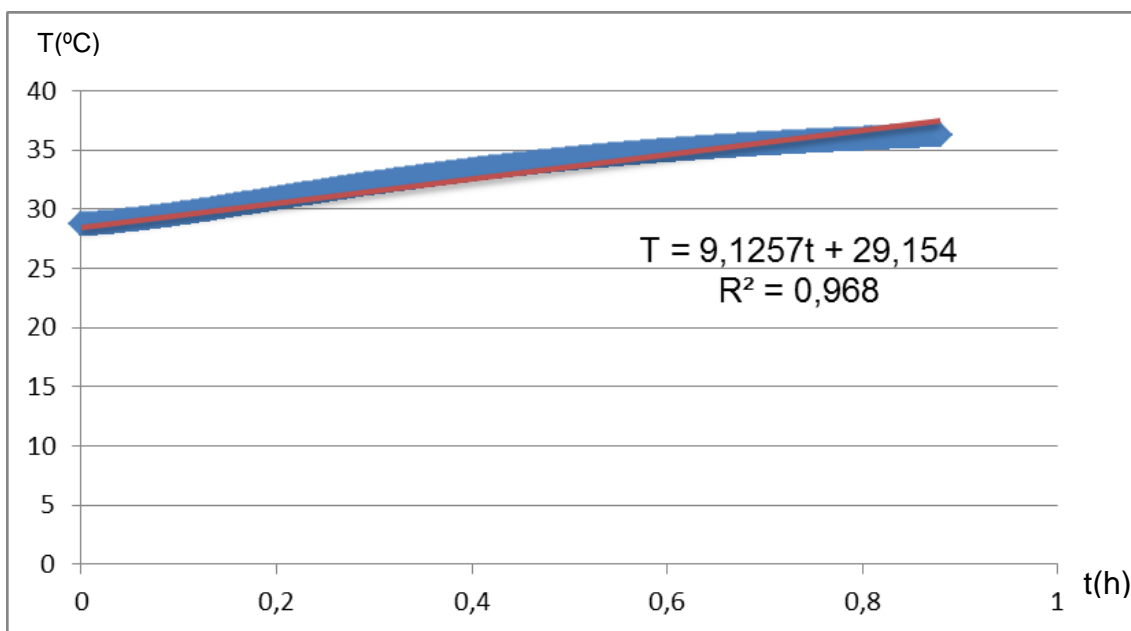


Figura 44: Plànol del primer experiment d'oficines: caixa sense rengleres totalment segellat

Resultat: La convecció és escassa i la diferència de temperatura entre la part de davant i la part de darrere alta. Perquè es creï convecció es necessita ajuda estructural.



Gràfica 16: Gràfica de la progressió de l'escalfament de l'experiment número 1 de traspasament de calor S->N prova 1 (vegeu annexes de l'experiment número 1 de traspasament de calor S->N prova 1 pàgina 256)



Gràfica 17: Gràfica de la progressió de l'escalfament de l'experiment número 1 de traspasament de calor S->N prova 2 (vegeu annexes de l'experiment número 1 de traspasament de calor S->N prova 2 pàgina 259)

Resultat: Mitjana de les dues proves = $(4,9+9,1)/2 = 14/2 = 7$ graus per hora d'escalfament i els duren aproximadament 0,9 hores.

3.3.2 Prova de traspasament de calor S→N número 2: Aquesta vegada hi ha entrada d'aire per la part inferior de la cara Sud i sortida per la part superior de la cara Nord. La hipòtesi és que l'aire viatjarà des de la part inferior davantera, circularà pels laterals i sortirà per la part superior dels darrere de la capsa amb el que s'aconseguirà traslladar calor de la cara insolada a la oposada.

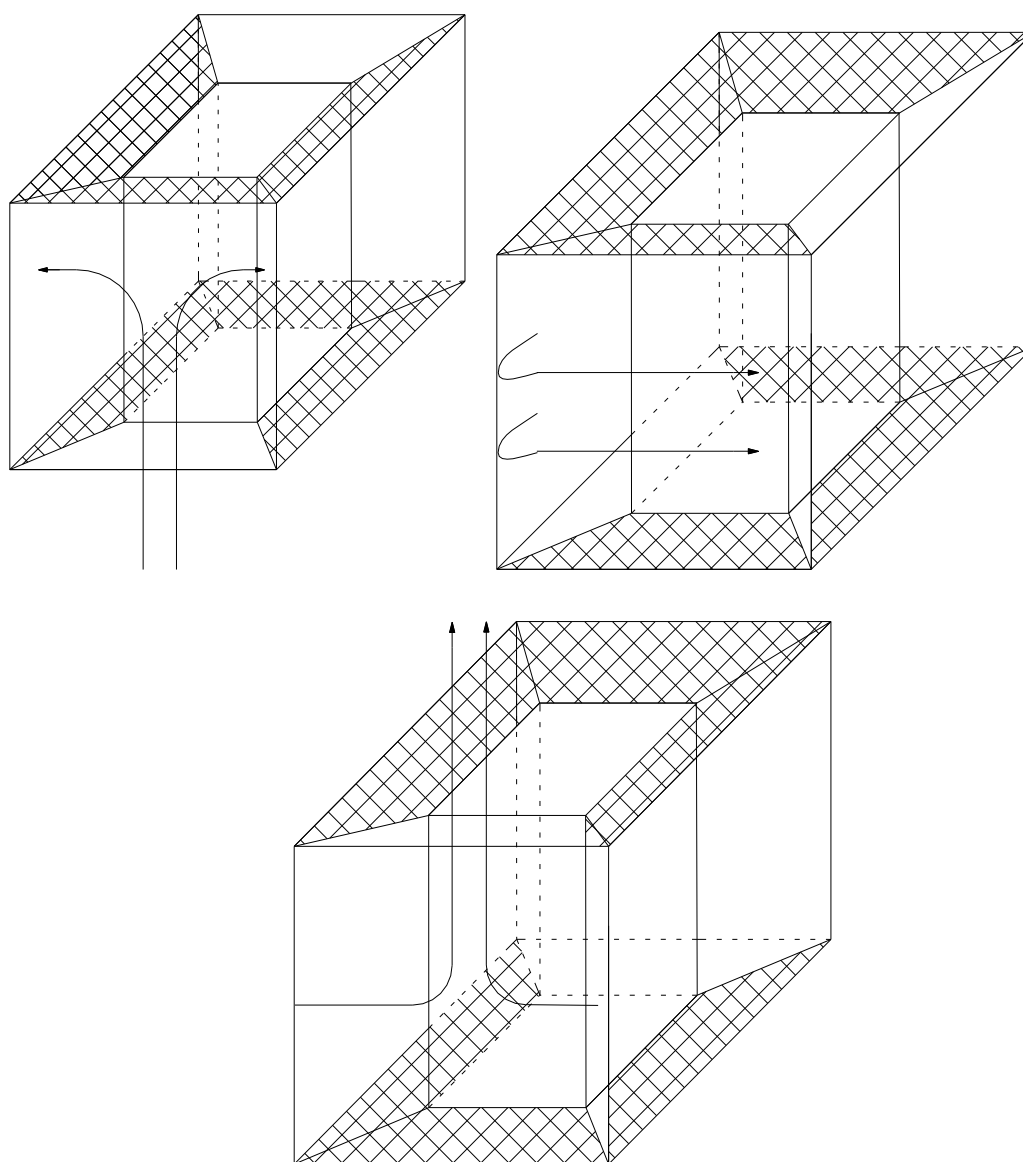
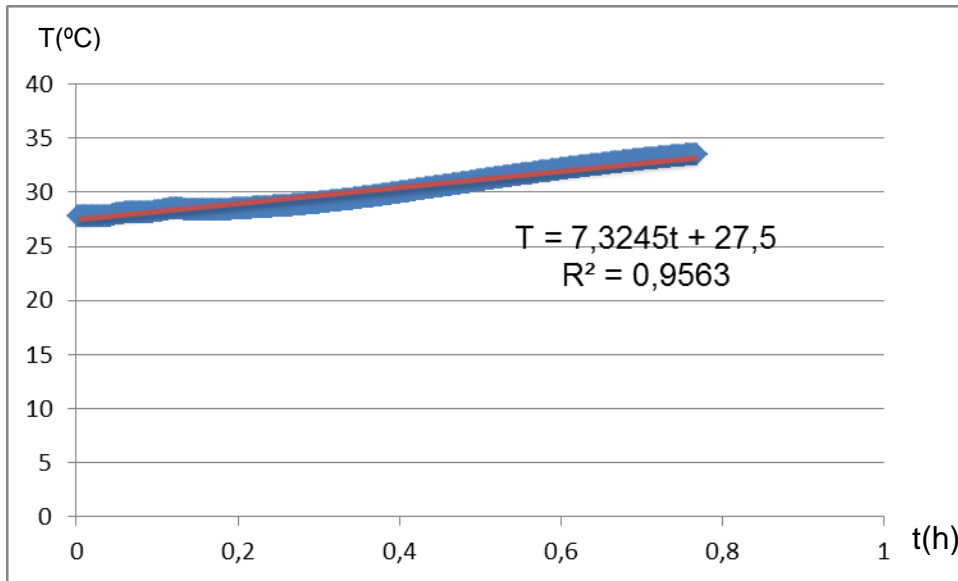


Figura 45: Plànols d'alçat, perfil i revés respectivament segons com hauria de ser hipotèticament la convecció del aire.



Gràfica 18: Gràfica de la progressió de l'escalfament de l'experiment número 2 de traspassament de calor S->N (vegeu annexes de l'experiment número 2 de traspassament de calor S->N pàgina 262)

Resultat: 8 graus per hora. No funciona tan bé com el tancat. La convecció triga massa en activar-se. Una altra explicació possible és que la convecció natural ajuda a no acumular calor, ho sabem dels experiments anteriors. Potser aquest esquema facilita la transmissió a la cara Nord però com que la calor s'escapa, l'efecte net no és millor que en la caixa totalment tancada.

3.3.3 Prova de traspasament de calor S→N número 3: Hem vist que la convecció funciona millor, i també hem vist que per crear convecció necessita ajuda, sense rengleres trigava massa i s'escalfava massa, així que fem el següent pas: Posem tota una sèrie de rengleres al voltant de la capa de vidre per orientar i dirigir l'aire per tal de fer-lo funcionar i assegurar que l'aire no circula només per la part superior de la capsa.

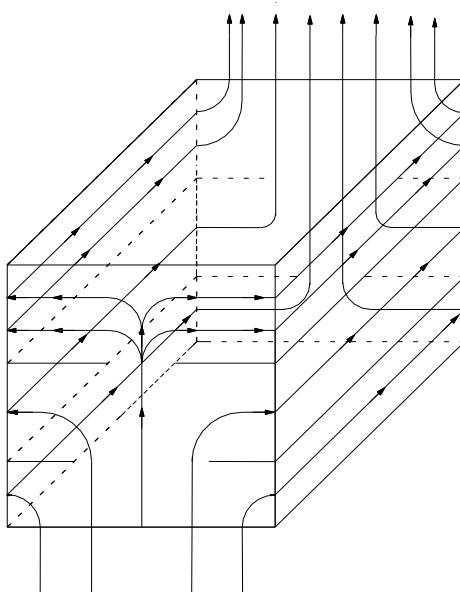
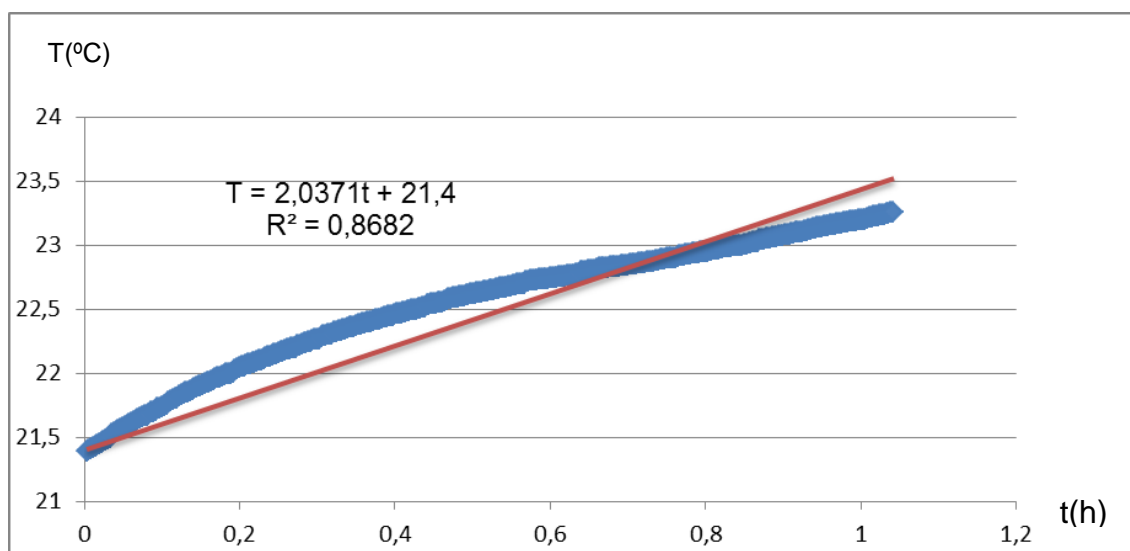


Figura 46: esquema de la convecció total i òptima de la capsa per tal d'homogeneïtzar la temperatura respecte la façana sud i la façana nord. Font: elaboració pròpia



Gràfica 19: Gràfica de la progressió de l'escalfament de l'experiment número 2 de traspasament de calor S->N (vegeu annexes de l'experiment número 3 de traspasament de calor S->N pàgina 262)

Resultat: La convecció és correcte i la diferència de temperatura entre la part de davant i la del darrere és minsa. Demostra que la convecció amb rengleres funciona. Així doncs es veu que el que hem de fer és posar unes guies per tal de que l'aire circuli de manera natural, també es podria posar ajuda de maquinària, una convecció artificial però s'hauria de veure si el consum d'energia d'aquestes compensa respecte la convecció natural, de moment jo em quedo amb la convecció natural.

La fase d'estabilització triga una mica més que la resta però finalment la velocitat d'escalfament de la cara Nord és més petita, 2 graus per hora, el que confirma que la convecció entre cares és molt eficient.

Si volguéssim que s'acumulés més la calor, cal mantenir l'estructura fixada en aquest experiment però reduir l'entrada (part inferior de la cara Sud) i la de sortida (superior de la cara Nord). Recomanem que la part oberta i escalada de les rengleres sigui més tancada perquè la convecció no sigui tant dinàmica.

3.4 Resultats:

La solució més eficient des del punt de vista d'aïllament és la de doble façana de vidre amb convecció amplia i reflectant interior (figura 35). Aquesta seria la fórmula emprada per cas de reduir el consum energètic en aire condicionat a l'estiu.

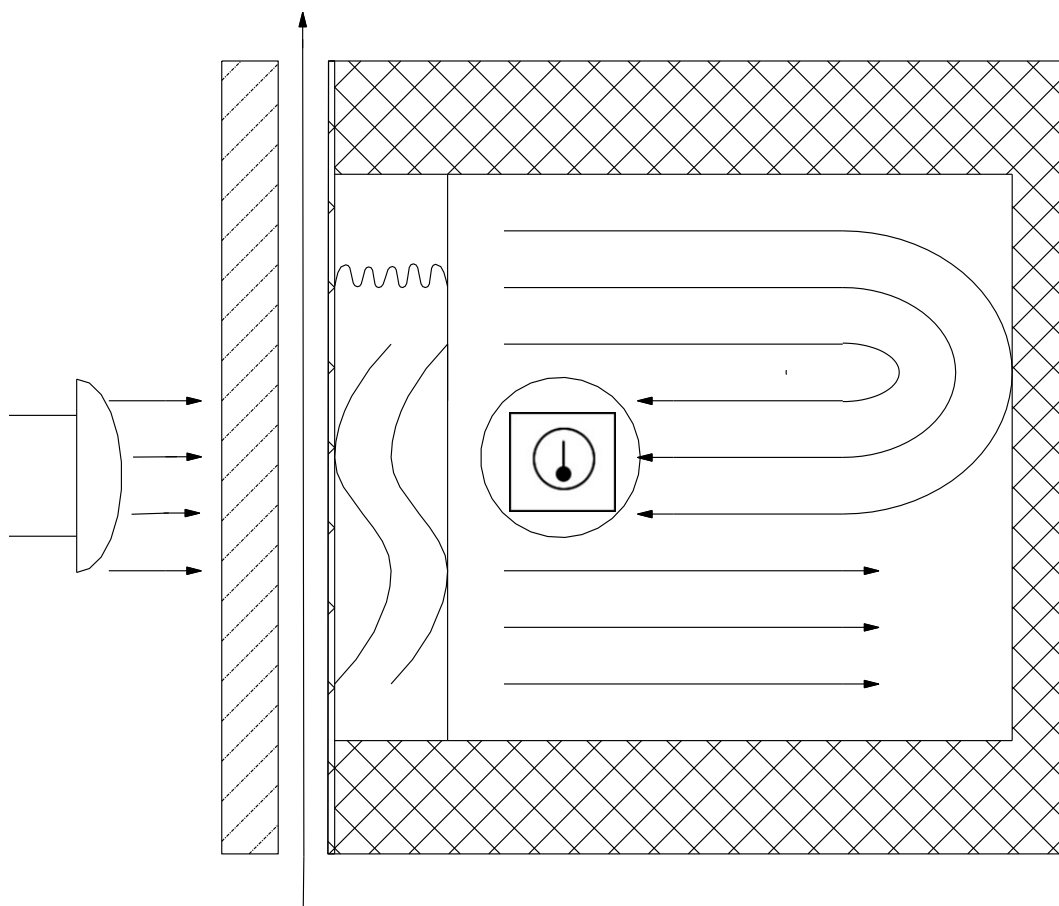


Figura 36:

L'esquema consisteix en un vidre, un espai buit de 2 cm i una lamina de paper d'alumini. Aquest esquema fa que no només es creï una convecció d'aire en aquest espai sinó que la llum que traspasa el vidre rebota en el paper d'alumini i pot sortir a través del vidre exterior i fa que la quantitat de calor que arriba sigui molt reduïda

Pel cas de edifici d'oficines a l'hivern, tenim bons resultats de l'esquema de convecció per rengleres, que crea un repartiment del calor òptim i ventila l'edifici per mitjà de corrents d'aire naturals entre la cara Sud i la Nord. Aquesta pot ser una bona solució per reduir el consum energètic de calefacció a l'hivern. La part de l'edifici que més calefacció requereix és la que no rep insolació (Nord) i aquest mecanisme demostra una eficient convecció des d'una a l'altra cara de l'edifici. Es recomana però reduir l'espai d'entrada i sortida d'aire per a minimitzar el flux d'aire i propiciar el seu escalfament. Les rengleres no tant sols permeten millorar la convecció sinó que cal esperar que ajudin a la difusió uniforme del repartiment de calor.

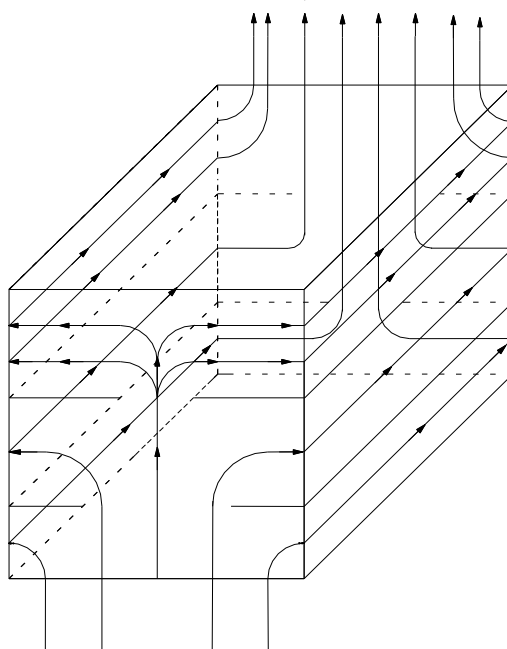
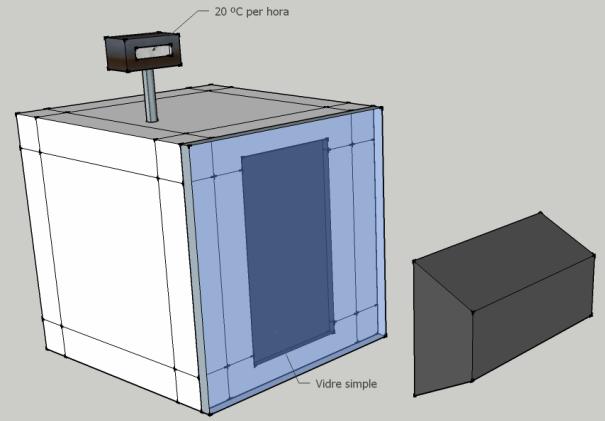
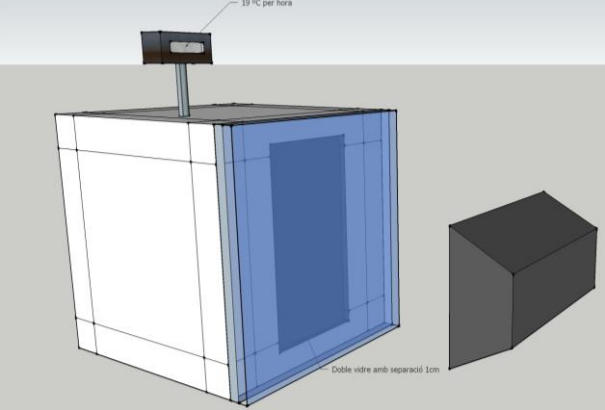
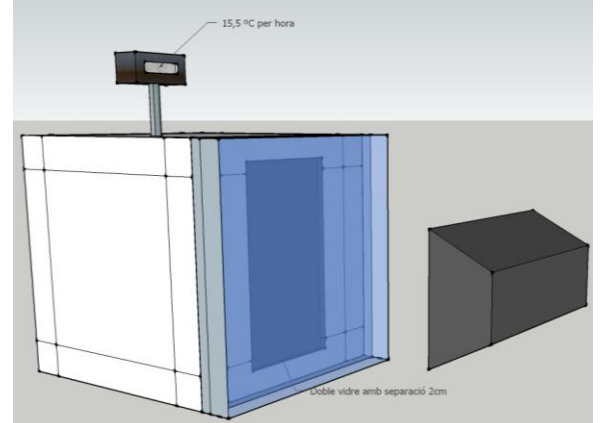
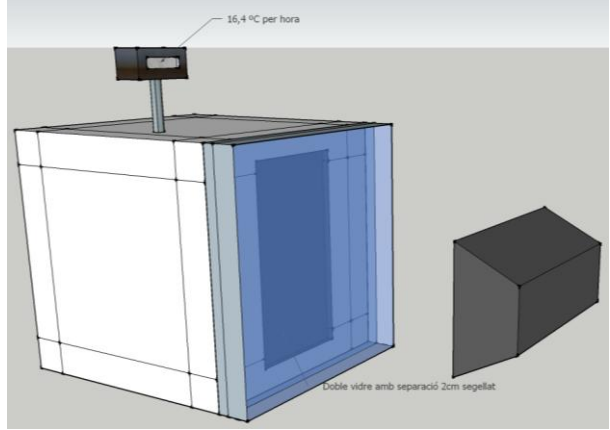
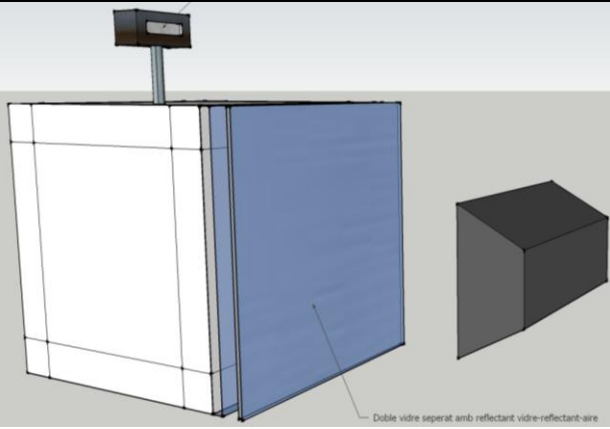
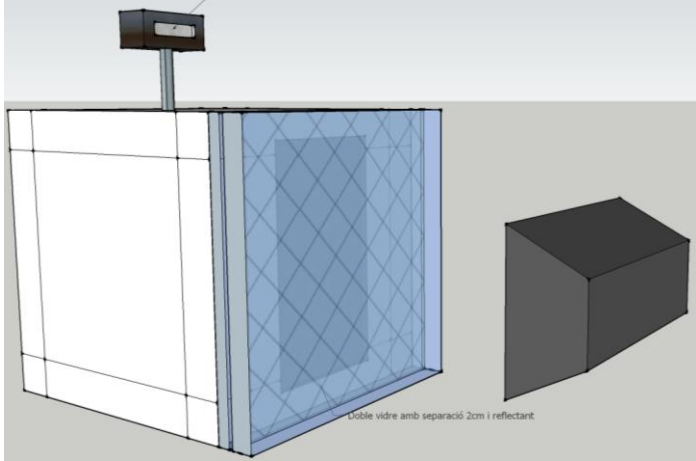


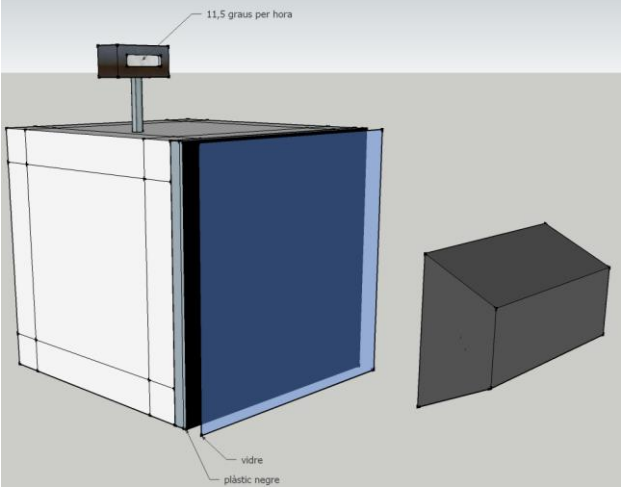
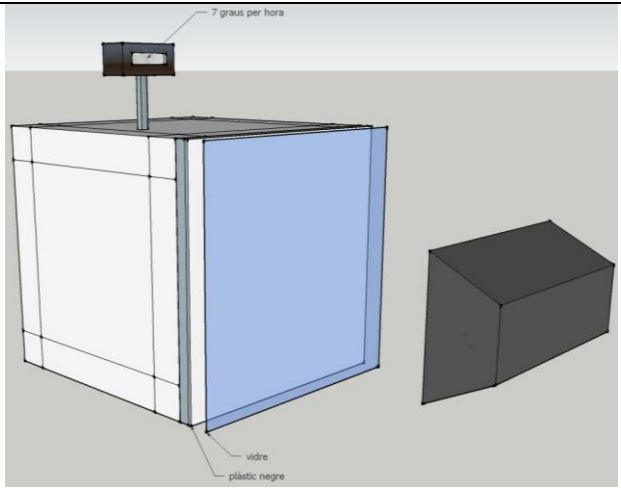
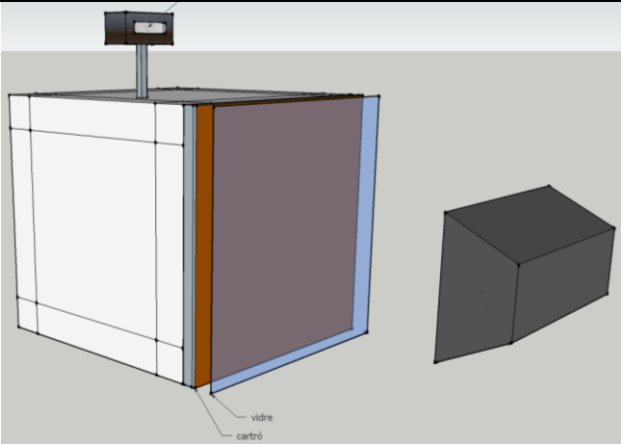
Figura 46

3.4.1 Resum de dades obtingudes

Taula 3: Taula dels resultats dels diferents experiments realitzats

Aïllaments	°C/h	Esquema
Vidre simple	20	
Doble vidre 1cm separació	19	
Doble vidre 2cm separació	16	

<p>Doble vidre 2cm segellat</p>	<p>16,4</p>	 <p>16,4 °C per hora</p> <p>Doble vidre amb separació 2cm segellat</p>
<p>Doble vidre 2cm vidre-reflectant- aire</p>	<p>0,7</p>	 <p>Doble vidre separat amb reflectant vidre-reflectant-aire</p>
<p>Doble vidre 2cm vidre-aire- reflectant</p>	<p>4,5</p>	 <p>Doble vidre amb separació 2cm i reflectant</p>

<p>Doble vidre 2cm plàstic negre</p>	<p>12,2</p>	
<p>Doble vidre 2cm plàstic blanc</p>	<p>7</p>	
<p>Doble vidre 2cm cartró</p>	<p>7,7</p>	

3.5 Conclusions de l'experimentació:

Després de realitzar tota una sèrie d'experiments tant amb d'aïllament com de convecció entre cares hem pogut treure una sèrie de conclusions basant-nos amb les dades obtingudes:

- Per tal d'obtenir un aïllament òptim cal utilitzar tant un aïllament com un material amb gran inèrcia tèrmica, preferiblement col·locats amb aquest ordre.
- Els aïllaments amb obra aguanten la calor un cert temps però al final sempre acaben escalfant l'interior i no suposen una gran millora. Els materials d'inèrcia són una bona solució si poden alliberar la calor cap a l'exterior (dies sense sol i nits).
- La reflexió és el tipus d'aïllament que funciona millor ja que reflexa quasi el 100% l'energia que prové del sol en forma de llum eliminant l'efecte hivernacle de la façana exterior de vidre.
- La convecció és una ajuda que funciona bastant bé i l'aïllament que ofereix millora amb a la distància a la que està el primer vidre amb l'obra però també redueix l'espai útil de l'edifici cosa que ofereix més desavantatge que el que ofereix en estalvi i per tant s'ha de trobar una proporció correcta entre espai i estalvi.
- Els colors dels materials amb que s'aïlla afecten a la captura d'energia del sol, com hem vist amb els experiments amb plàstics tots dos eren d'exactament el mateix material, el mateix tipus de plàstic però un de color negre i l'altre de blanc. El negre no només escalfava més de pressa sinó que va fondre gran part el material que l'envoltava significat que retenia més calor. Els colors clars (blanc) aïllen millor que els foscos (negre).
- Per tal d'alleugerar la diferència de temperatura de la cara sud respecte la nord cal portar l'aire calent de la cara sud a la nord per mitjà de una corrent d'aire contínua i natural.

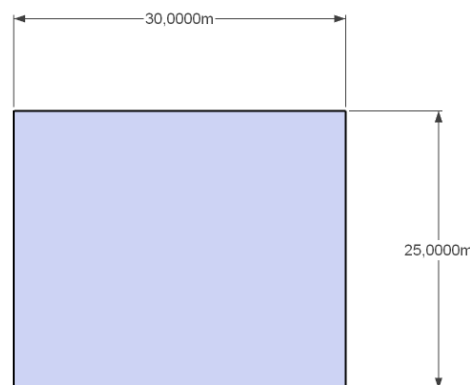
- La convecció natural al voltant de l'edifici és àrdua i difícil, per això es necessiten ajudes que facilitin a l'aire circular, les rengleres i guies són una bona solució.

4. Proposta d'una solució bioclimàtica concreta per a un edifici d'oficines a Catalunya

4.1. Condicionaments al disseny

Per tal de donar una solució i dissenyar un edifici que compleixi tots els requisits citats anteriorment per tal d'assegurar un estalvi d'energia òptim hem d'imaginar-nos primer tota una sèrie de condicionaments del disseny desfavorables per tal de trobar-los solució. Aquestes condicions ens les imaginarem com una empresa qualsevol que ens demana que li construïm un edifici per dedicar-lo a les seves oficines i és l'empresa juntament amb l'ajuntament qui ens dona les condicions que ens dona les condicions que podrien ser les següents:

1. El terreny on ens diuen que s'hauran de construir les oficines està en un camp aïllat, sense cap edifici al voltant que li pugui fer ombra i l'edifici ha de tenir les següents mesures:



2. Ha de tenir 7 plantes sense contar la planta baixa
3. Evidentment s'ha de donar prioritat a la comoditat i la eficiència espacial i visual de les oficines abans que la façana.
4. Totes les façanes exteriors han de ser de vidre.
5. Les oficines han de tenir màxima vista a l'exterior i llum natural.

6. Un cop les condicions anteriors estiguin satisfetes es demana que es proposin tota una sèrie de millores bioclimàtiques per tal de reduir el consum de climatització i il·luminació.

El disseny a proposar s'ha realitzar assegurant la integritat en 3D de la proposta i presentar-lo de manera que sigui visual i atractiu per valorar-se adequadament. L'objectiu és vendre la proposta tan des de la seva vessant eco-energètica, com per la adequació a les necessitats del client com per seu atractiu tan estètic com a seu corporativa d'una entitat d'oficines important.

Per tal de realitzar un disseny en 3D òptim s'ha utilitzat el programa de disseny **DAO en 3D de programari lliure** anomenat .

GOOGLE 3D SKetchUp 8



Figura 47: Logotip e Google SKetchUp

4.2. Proposta d'edifici

Primer cal plantejar-se la planta de l'edifici de manera que respecti les condicions tan de sòl com d'espai com d'utilitat.

Per mitjà de Google SKetchUp he dissenyat una planta respectant les condicions imposades: unes dimensions de 24X28 metres.

4.2.1. Distribució

.

Així doncs el disseny de les plantes d'oficines és el següent:

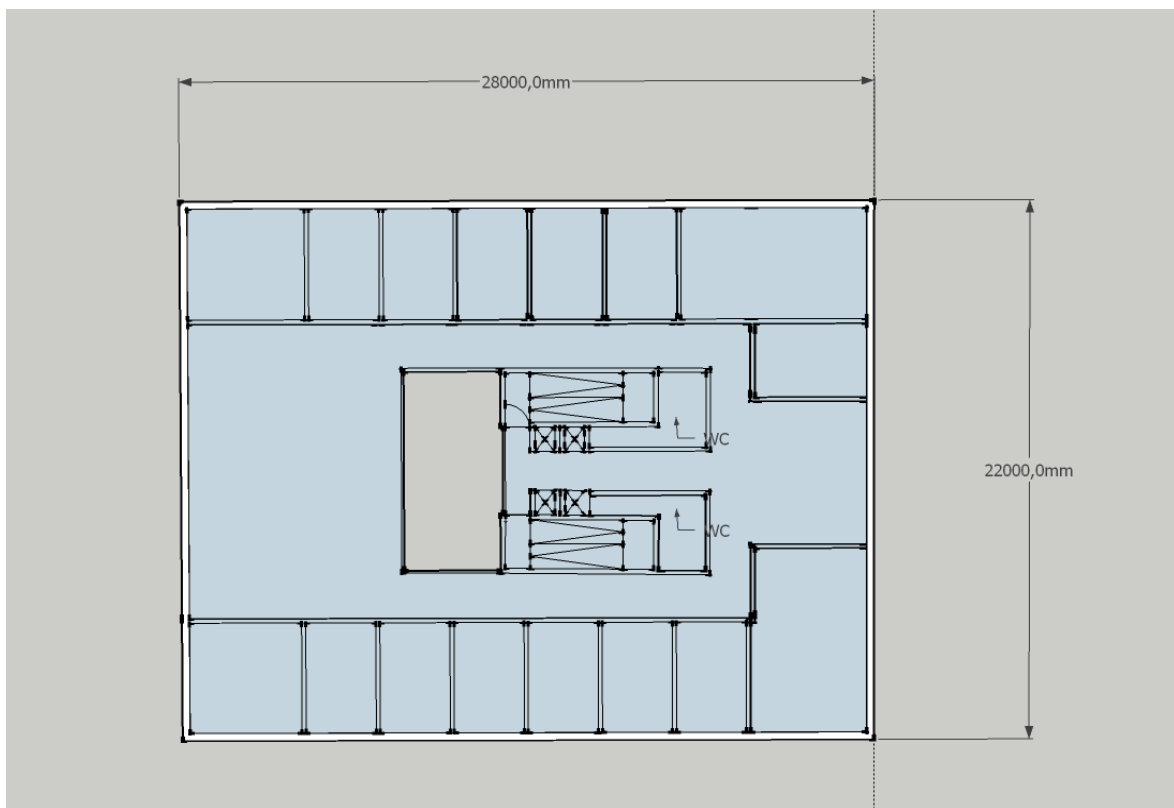
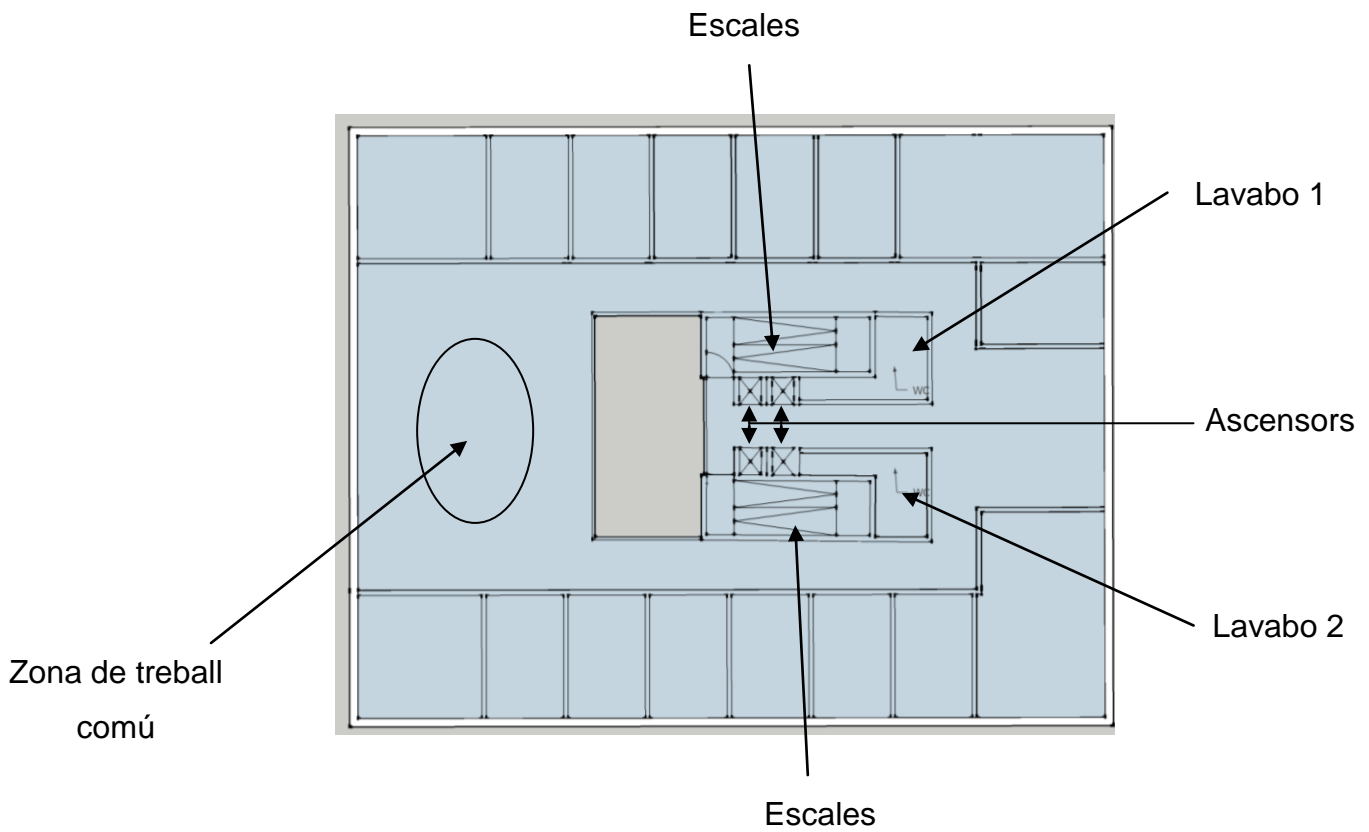
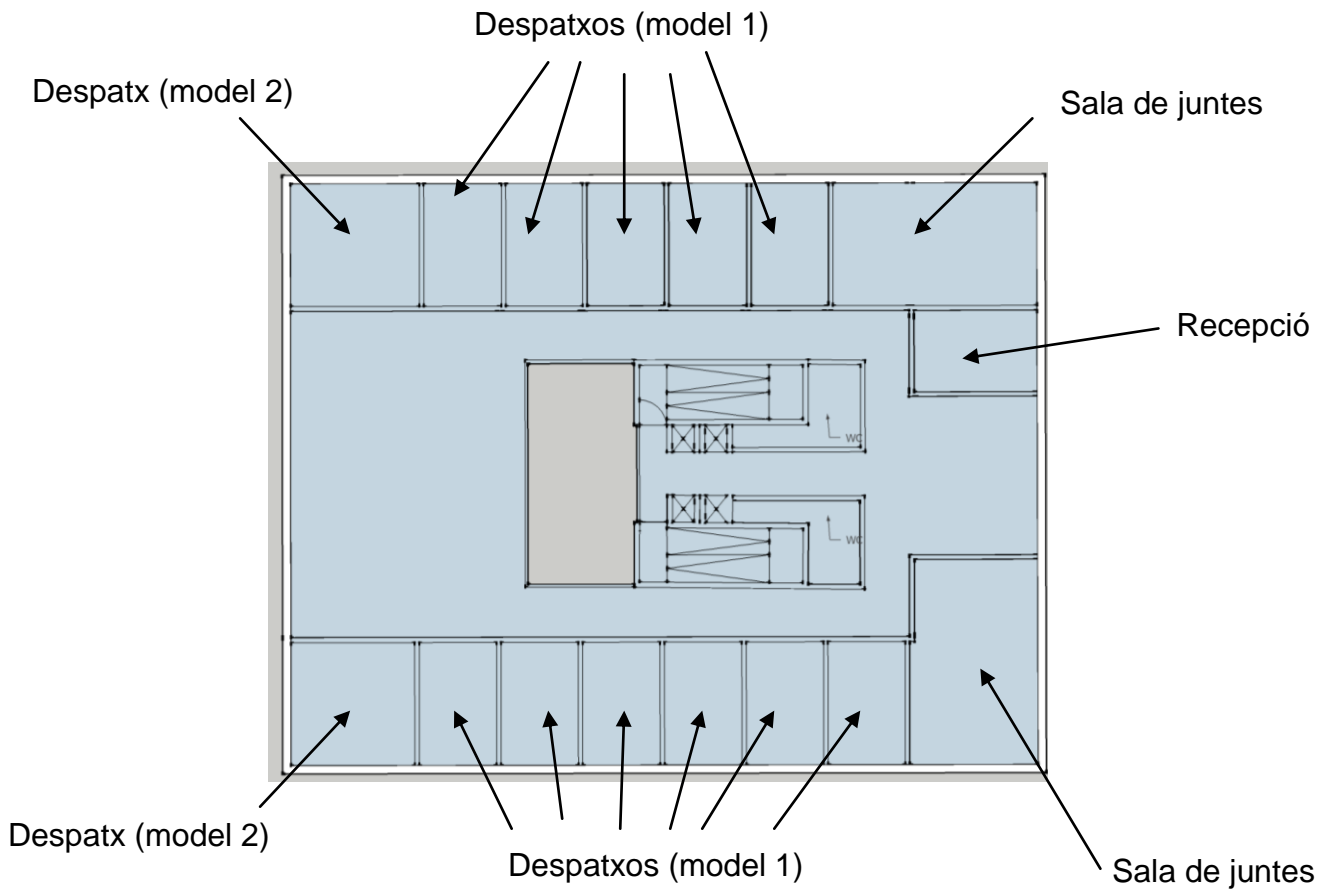


Figura 48: planta de l'edifici de proposta



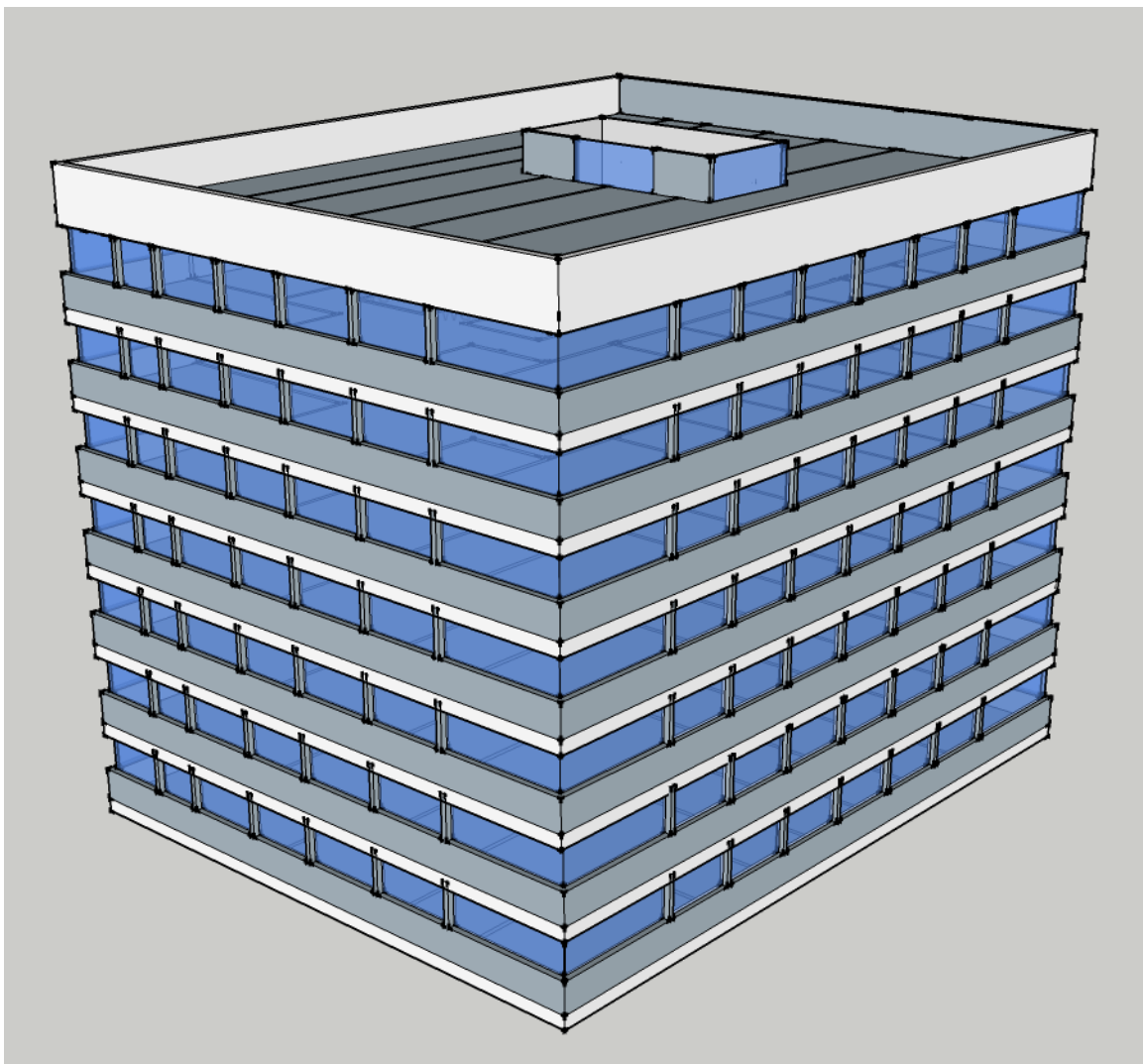
Figures 49 i 50: explicació de la planta de l'edifici

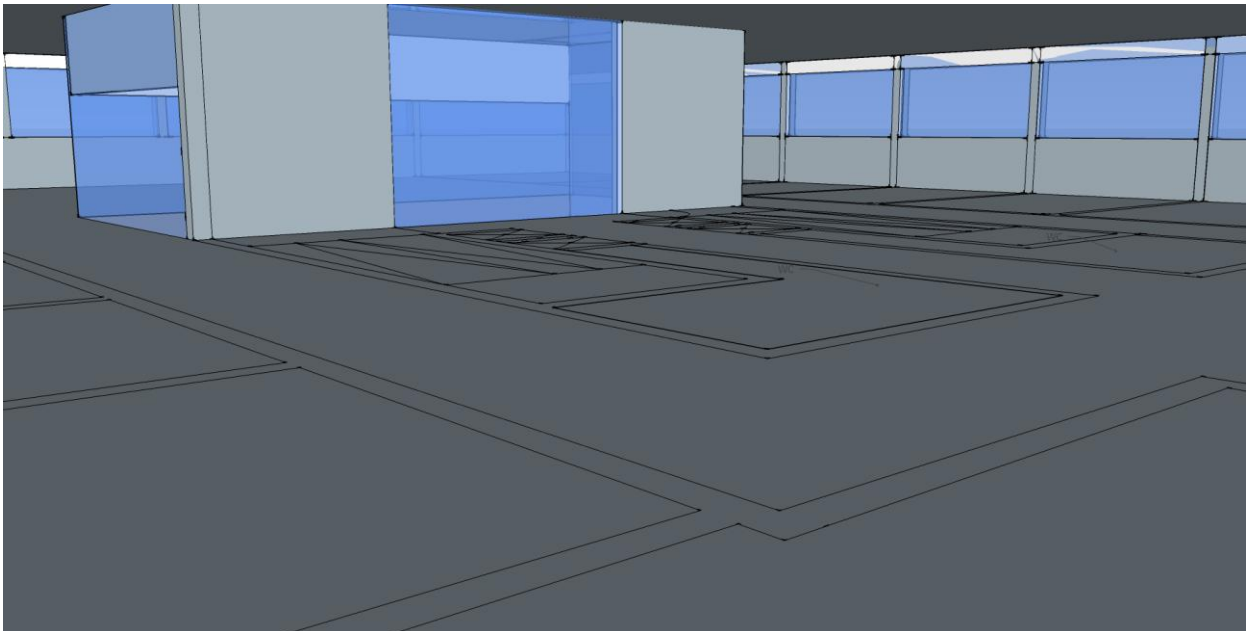
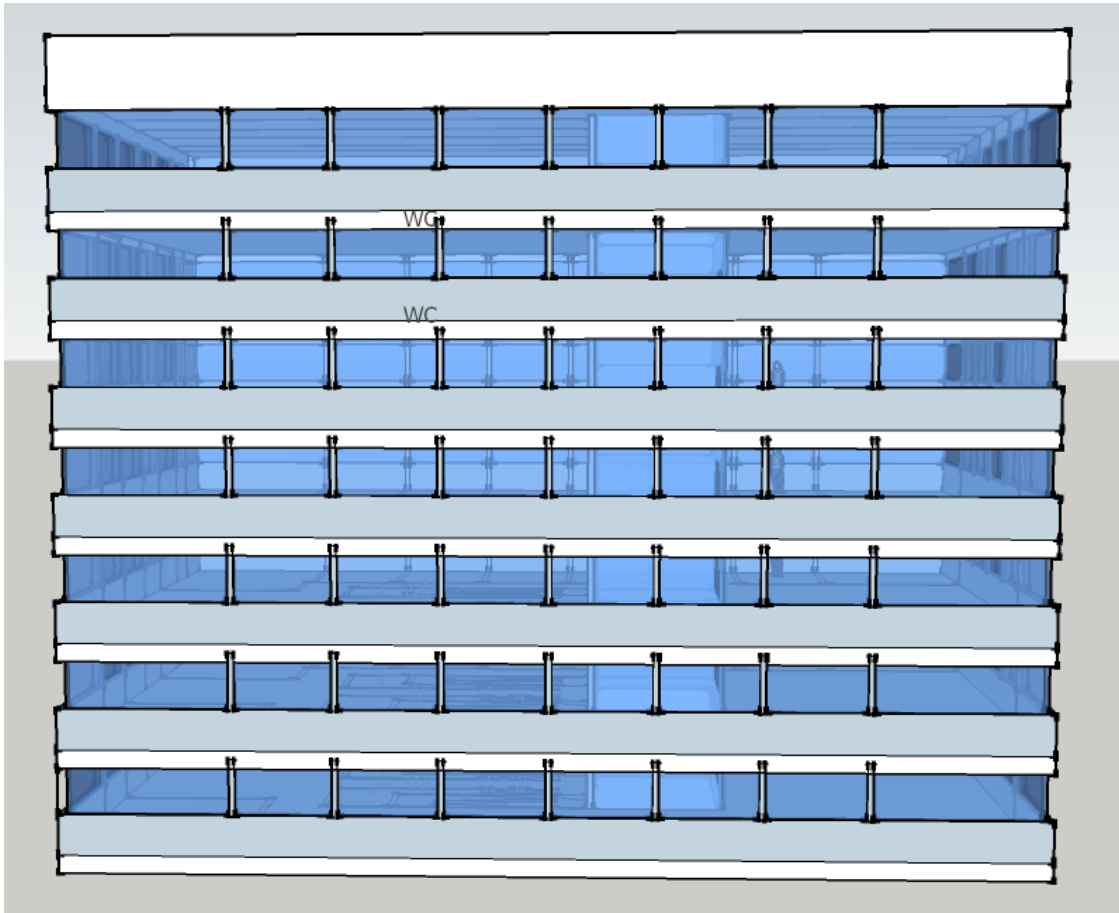
El disseny de les plantes plantejat és bastant senzill:

- Despatxos (model1): Són els despatxos individuals, situats a les parets exteriors de l'edifici per tal d'il·luminar-se amb llum natural. Tenen una mida de 4,5 x 2,8m
- Despatxos (model2): És el segon model de despatx, una mica més grans i situats a les cantonades de la planta per permetre la màxima il·luminació i per ser utilitzada per treballadors de rang més alt, per exemple o per qualsevol altre ús que necessiti uns metres quadrats més. Té una mida de 4,5 X 4,7m
- Sala/es de juntes: Grans sales també situades a les cantonades per permetre una il·luminació suficient per celebrar-hi conferències i reunions amb un nombre mitjà de gent utilitzant la mínima il·luminació utilitzant només llum natural. Té una mida de 4,5 x 7,5m.
- Recepció (o secretaria segons convingui): Situada just davant dels ascensors i les escales de manera que quan arribis a la planta sigui el primer que trobis. Té una mida de 3 x 4,5 m
- Zona de treball comú: Un espai buit on situar-hi taules de treball en comú pels treballadors. Aquesta zona està situada just al mig entre el pati interior perquè les taules que estiguin massa allunyades de l'exterior també puguin veure la llum i il·luminar-se.

L'edifici també inclou un pati il·luminat que travessa totes les plantes, des del terrat fins a la planta baixa dotant de llum natural als passadissos i espais de treball per tal de reduir al màxim la despesa tan econòmica com energètica en il·luminació. Just al centre de l'edifici, es planteja situar tots els elements d'accés vertical de l'edifici (escales i ascensors) i els serveis de manera que els despatxos, que són els que requereixen més llum queden a la part perimetral.

Així doncs ja tenim la planta de l'edifici instaurada ara cal crear una maqueta de l'edifici amb les plantes apilades complet, amb les 7 plantes per tal de veure com queda tan per dins com per fora.

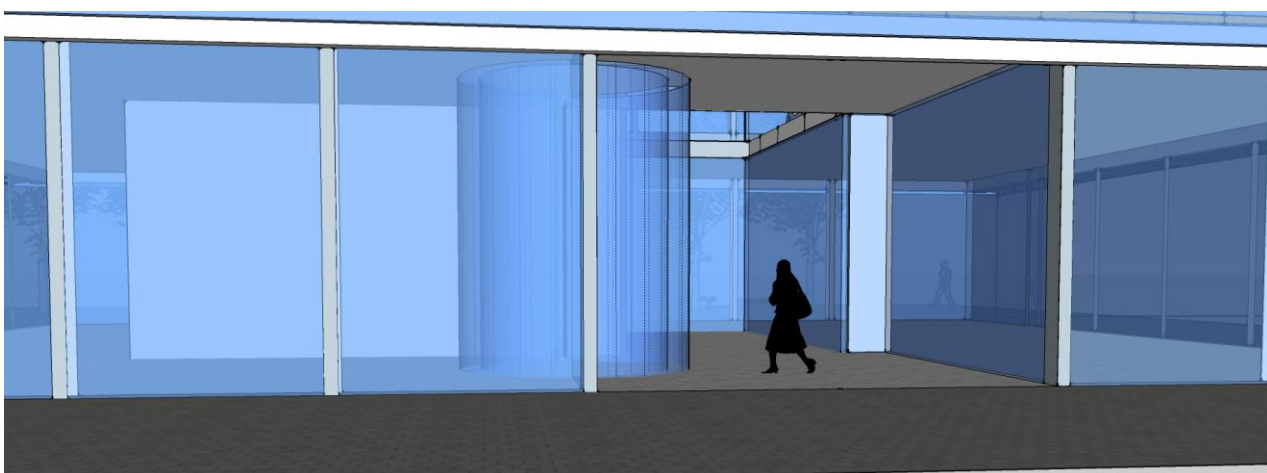
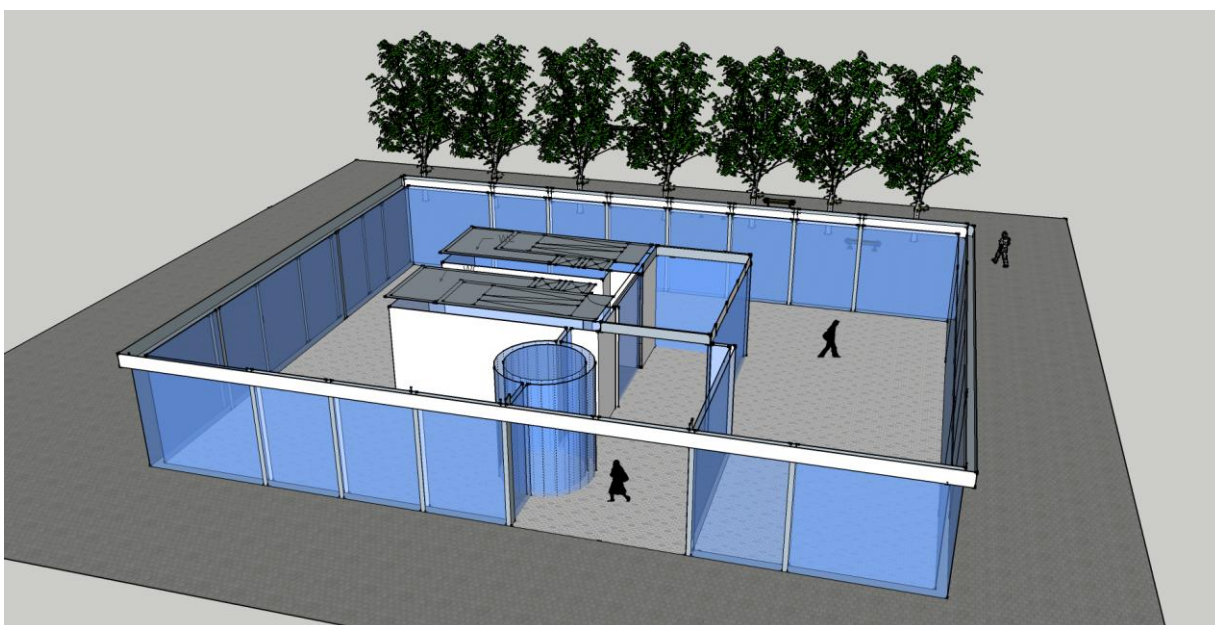




Figures 51, 52 i 53: vistes tridimensional, d'alçat i interior de l'edifici

4.2.2Planta baixa.

La planta baixa té l'accés per la cara Nord pel carrer, que entra a l'interior de l'edifici i ja dona al pati interior . Quan arribes del carrer et trobes amb una porta giratòria que evita que la calor de l'interior es perdi per corrents d'aire i per tant conserva la temperatura. De seguida et trobes amb la recepció i les vies d'accés a les diferents plantes superiors. La resta de la planta pot ser utilitzada com a zona d'exposicions, com a local de carrer, com a cafeteria... A l'exterior, per la banda Sud situaríem una filera d'arbres de fulla caduca per tal de protegir les primeres plantes del sol a l'estiu i a l'hivern permetre que el sol escalfi.



Figures 54 i 55: vista tridimensional de la planta baixa

4.2.3 Façana:

Una dels requeriments esmentats al principi era que la façana es veiés tota recoberta de vidre des de l'exterior i que hi hagués una visibilitat de l'exterior òptima des de l'interior. De totes maneres hem vist que el vidre no només no és un bon aïllament tèrmic, sinó que provoca efecte hivernacle dins l'edifici que fa que augmenti la temperatura i que s'hagi de fer un ús abusiu de l'aire condicionat.

Per tal d'harmonitzar els dos requeriments (que sigui de vidre però alhora eco-sostenible) es proposa una doble façana, una primera de vidre i una segona que combini vidre i obra maximitzant els elements d'inèrcia i aïllament i estalvi.

Les conclusions de la investigació realitzada prèviament ens diu que la doble façana en convecció natural ajuda a reduir l'escalfament interior de l'edifici. També sabem que els elements d'inèrcia (obra, part interior) i els elements d'aïllament (poc conductors i/o reflexants a l'interior de l'obra), són la solució més eficient per evitar l'entrada de la calor.

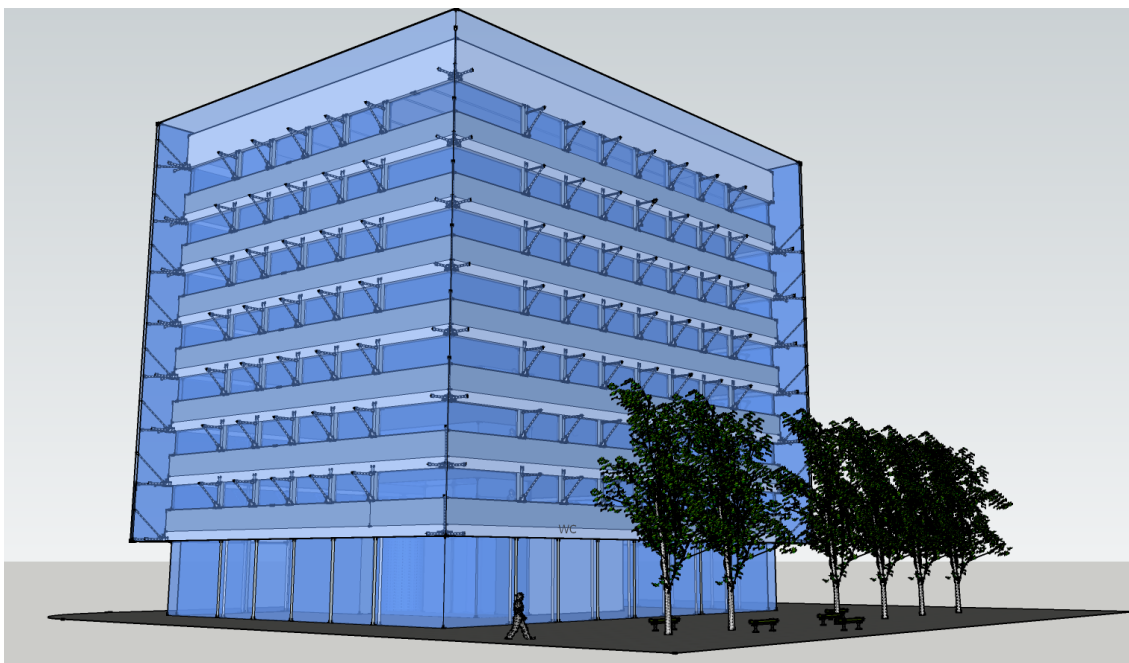


Figura 56: Vista tridimensional de l'edifici recobert de vidre

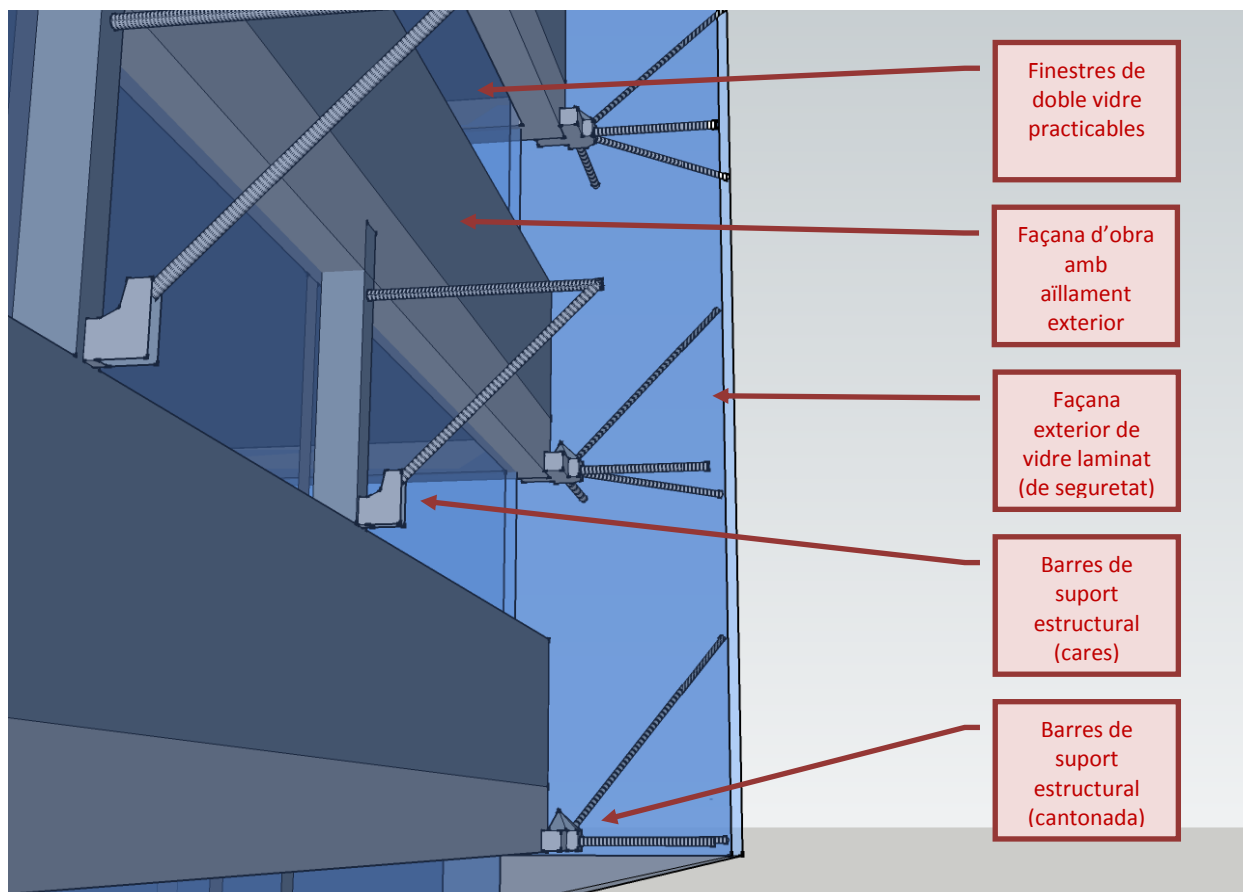


Figura 57: Vista tridimensional i explicació de les diferents estructures de la segona façana de vidre

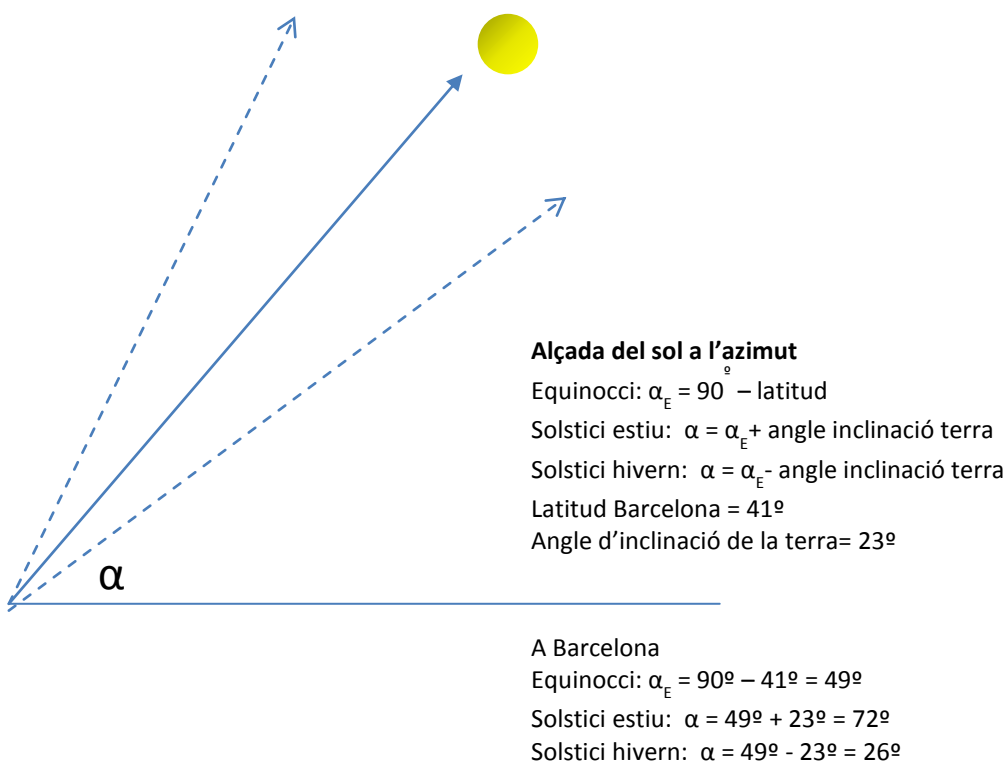
L'estructura de vidre es sosté mitjançant barres de ferro que l'aguanten des de l'estructura de formigó interior de manera que aquesta "levita" sobre el terra permetent una convecció lliure d'aire entre una i l'altre assegurant la convecció constant i la eliminació de la calor que s'origina per efecte hivernacle.

4.2.4 Viseres:

Trajectòria solar

Durant el dia el sol realitza una trajectòria pel cel des de que surt pel matí fins a la seva posta. Aquesta trajectòria depèn de la latitud on ens trobem i de l'època de l'any.

El sol viatja més temps i més alt a l'estiu i és el moment més alt el que correspon al solstici d'estiu. I a l'hivern el sol viatja més baix pel cel i menys temps sent el solstici d'hivern el perigeu d'aquest.



A l'azimut és el moment en que el sol està més alt en el cel, correspon a les 12:00h horari solar, quan està totalment orientat al Sud. A Barcelona, l'azimut oscil·la entre els 26 graus al solstici d'hivern i els 72° al solstici d'estiu passant pels 49° als equinoccis

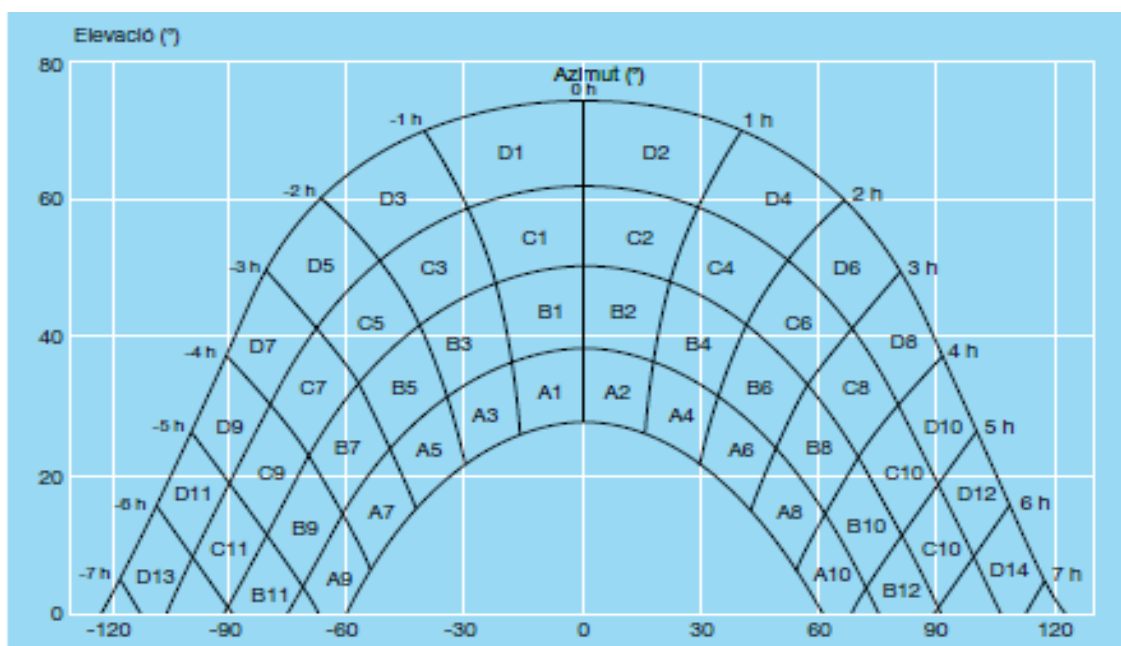


Figura 58: Angle del sol respecte al terra segons l'època de l'any i la orientació ($0^\circ = S$, $\pm 90^\circ = \text{Est-Oest}$)

Font: Mundet Anna; *Energia solar tèrmica (Col·lecció Quadern pràctic 3)*
Generalitat de Catalunya . Institut Català d'Energia

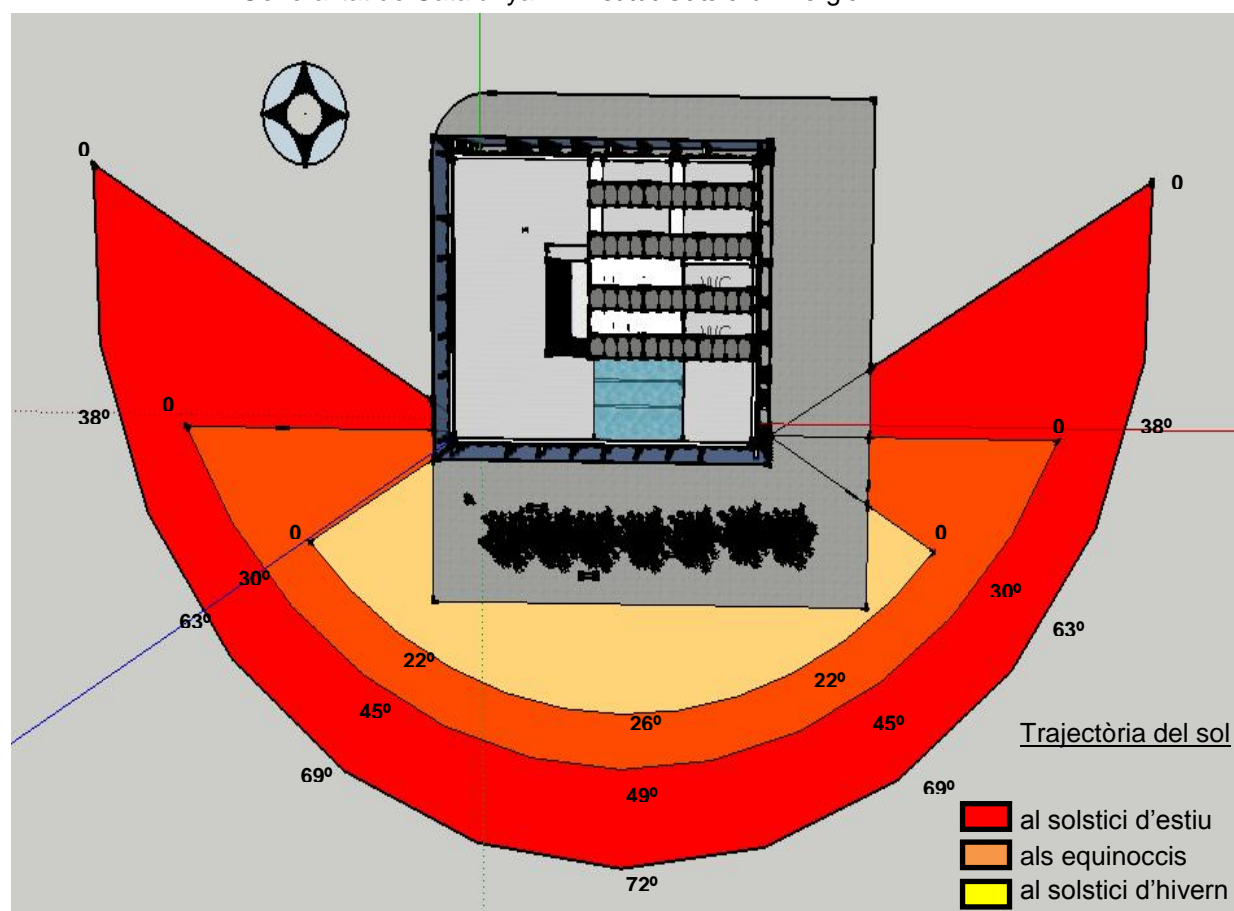


Figura 59: Plànol de l'edifici representant els diferents angles del sol durant l'any

Font: elaboració pròpia a partir de les dades de la fig. 51

Ara, un cop hem vist l'efecte del sol en diferents angles tant d'altitud com respecte el sud hem de dissenyar unes viseres de manera de fer ombrívols les finestres en el període que va des de l'equinocci de primavera fins l'equinocci de tardor passant pel solstici d'estiu. Per això cal que la ombra cobreixi la finestra quan l'alçada del sol es troba entre 41° (azimut de l'equinocci) i 72° (azimut del solstici d'estiu).

En dissenyar-la ens trobem amb dues opcions possibles: fer la visera sobre la façana de vidre exterior, o bé sobre la façana interior.

En el primer cas, com que la visera queda molt separada de la finestra, cal que la dimensió sigui molt llarga, (més de 3m). Una visera tan llarga i tant gran no només podria ser molt cara, sinó que és inviable estructuralment, hauria d'estar molt reforçada i hauria de tenir molta resistència als elements (vent i pluja).

Pel contrari, si situem la visera a l'interior de la façana de vidre, la mida de la visera és raonable (1,1m) constructivament i no li fa falta tant de reforç i és de construcció barata però ens ocuparà el 91% de l'espai lliure de ventilació que havíem decidit per la façana ventilada (1,2m). Això ho fa inviable perquè perdriem tota la eficàcia aïllant convectiva que esperem de la doble façana.

L'esquema de les dues opcions és el següent:

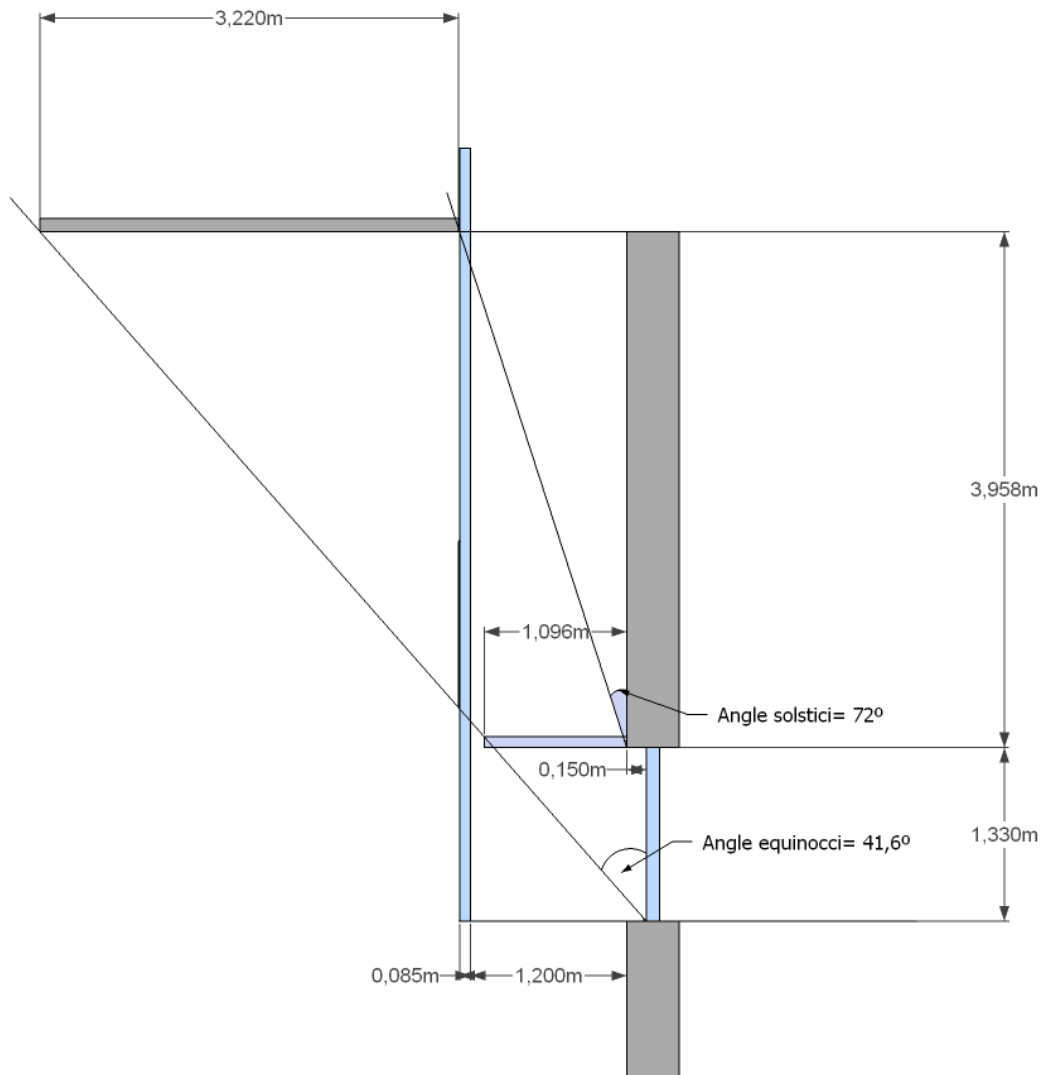


Figura 60: Esquema de la disposició de les viseres 1 tant a dins, sobre la façana interior, com si van a fora sobre la façana exterior

Per solucionar els dos inconvenients proposem una solució mixta amb dues viseres combinades, una interior de 35 cm que protegeix de les insolacions més pròximes al solstici d'estiu (més verticals) i una exterior que protegeix de les insolacions més pròximes als equinoccis.

El plànol seria el següent:

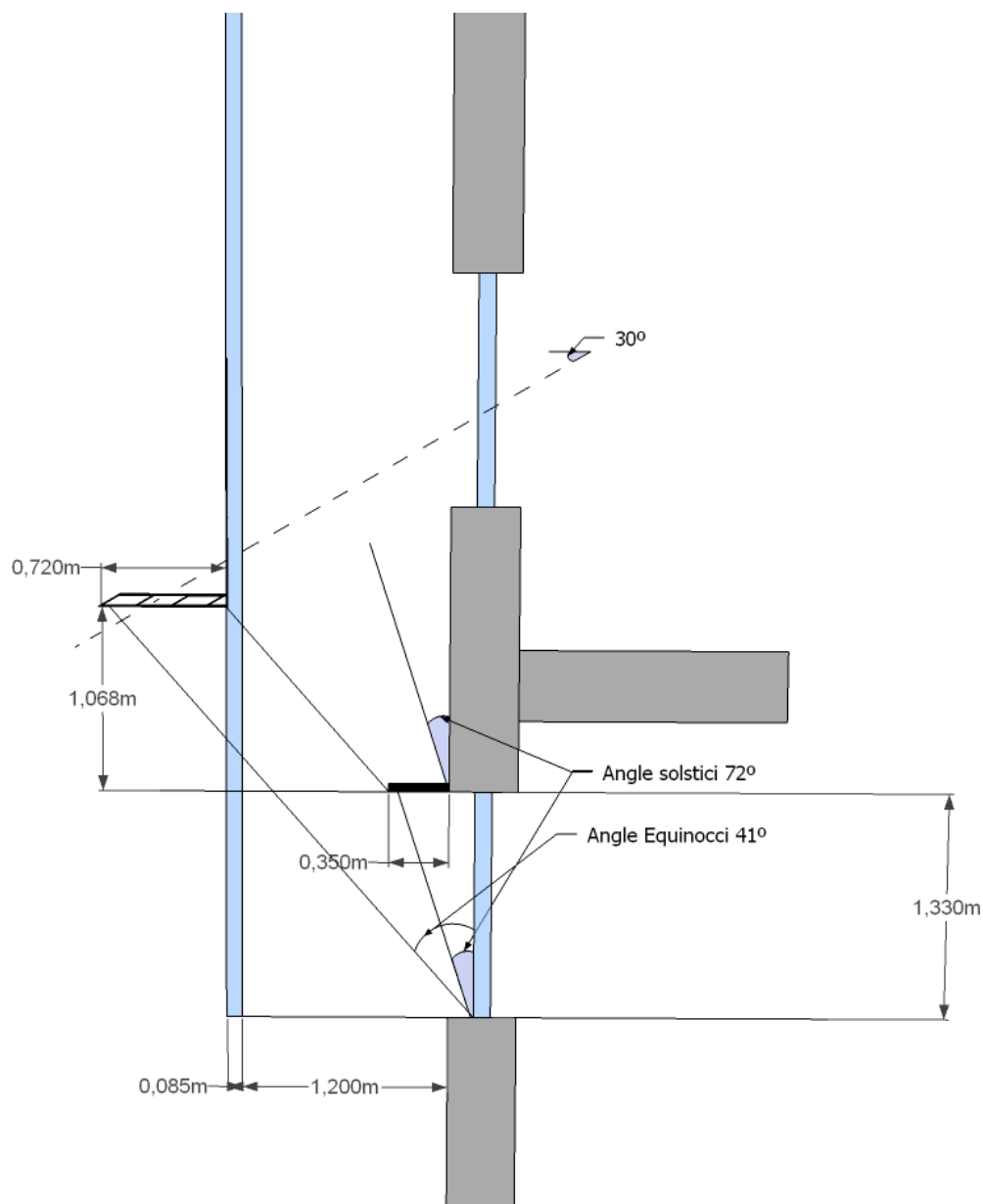


Figura 61: Esquema de la disposició de les viseres 2, una a dins sobre la façana interior i una altra a fora sobre la façana exterior.

Aquest esquema presenta dues viseres, la interior ocupa només 35 cm sobre 120 de l'espai lliure entre façanes (menys d'un 30%) això permet perfectament la ventilació natural de la doble façana. Després tenim una visera exterior de 72 cm que constructivament ja és més realitzable, amés s'ha pensat que aquesta visera sigui construïda mitjançant lames metàl·liques per tal disminuir la seva

resistència que ofereix al vent i permetre una bona visibilitat des de les finestres del pis cap el carrer.

Aquests tipus de viseres s'utilitza a vegades en edificis d'oficines. Es pot veure en la figura següent (fig. 62) on es pot veure la visera en lames que protegeix les finestres orientades cap al sud-est



Figura 62: Edifici d'oficines c/Botànica encreuant amb Miguel Hernández Hospitalet de Llobregat.

La implantació d'aquestes viseres en el nostre projecte es veu en les figures següents (fig. 63 i 64):



Figura 63: Vista de l'organització de les dues viseres combinades

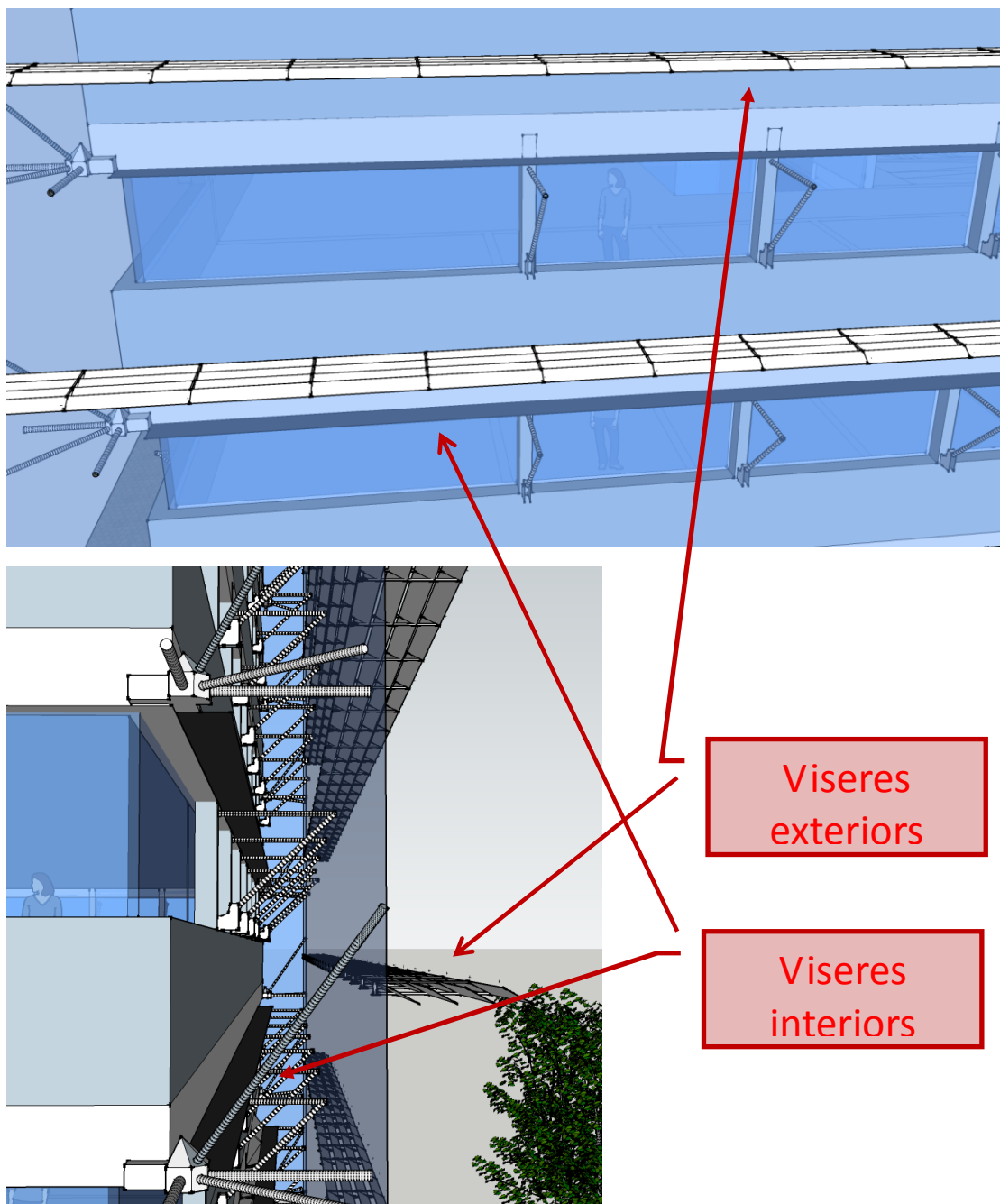


Figura 64: Explicació de l'estructura de les viseres

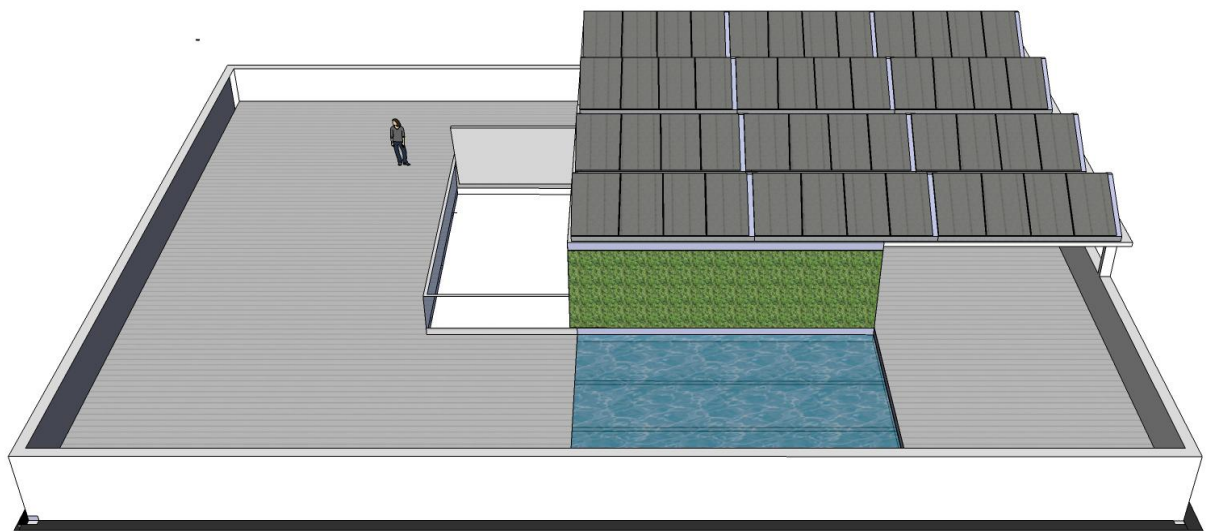
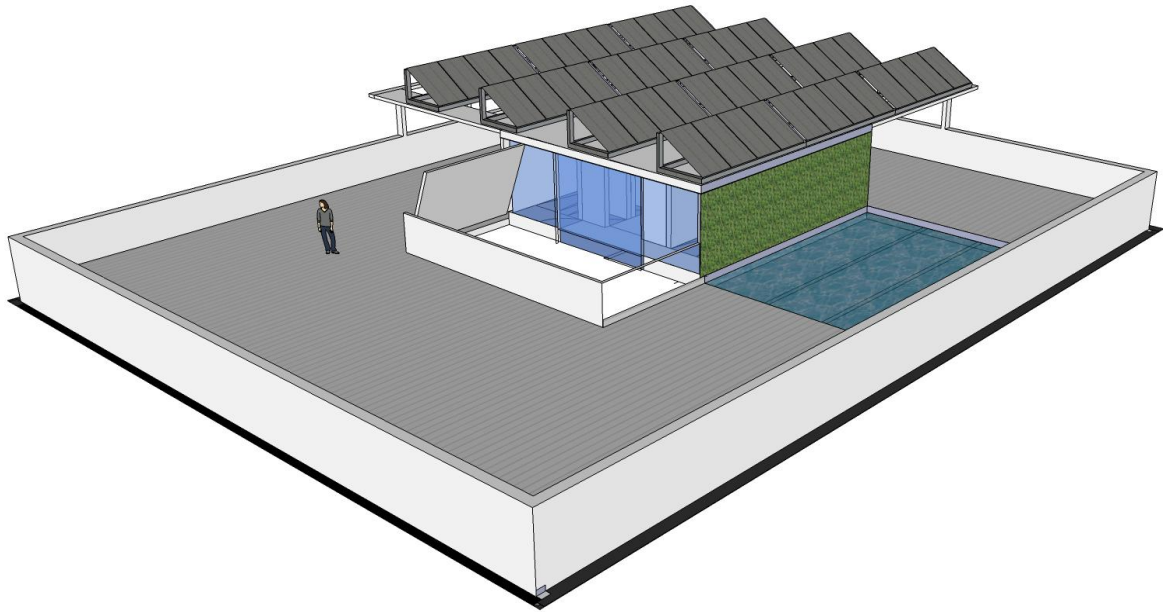
Com es pot apreciar en les figures anteriors (fig. 63 i 64) el sistema de viseres està dividit en dues parts, les viseres interiors i les exteriors. Les viseres interiors són sòlides i estan situades a la part superior de la finestra a la que volen fer ombra, són curtes i per tant permeten una convecció correcta de l'aire entre el vidre i la façana. Les viseres exteriors estan fetes de lames de manera que permeten una visibilitat òptima des de l'interior (planta superior) al carrer i bloquegen el sol en les èpoques properes a l'equinocci. Les viseres interiors són resistents, duradores i barates de construir, en canvi les exteriors són ben bé tot el contrari, tenen poca resistència, per tant se'ls aplicarà reforços estructurals. Només es construeixen a la cara sud, amés que a les altres cares només es necessiten les interiors com hem demostrat amb les figures 58, 59, 60 i 61.

4.2.5 Terrat:

Ara només falta dissenyar la última planta de l'edifici. Com s'ha esmentat en diverses parts d'aquest treball, un terrat bioclimàtic ha d'incloure:

- Elements vegetals. Les plantes, a part de no necessitar gaire manteniment són un excel·lent para-sol i a més mantenen una temperatura constant a aquella superfície a la que estan adherides
- Una bassa d'aigua per tal de capturar la calor i mantenir els pisos inferiors a una temperatura constant
- El terrat a mode de para-sol faria ombra sobre l'edifici i també podria incloure plaques solars per tal d'ajudar en la producció d'energia.
- D'altra banda el pati de llums podria d'incloure una paret reflectant a mode de mirall per tal d'orientar la llum cap a l'interior en els dies d'hivern. Si la paret es munta a uns 60-70° respecte la vertical no forçarà més calor cap a l'interior a l'estiu però ajudarà a entrar llum quan el sol sigui baix sobre l'horitzó a l'hivern.
- Com a requeriment ha d'incloure una via pels ascensors i les escales per tal de fer utilitzable el terrat per a les persones.

Un cop esmentats tots els requeriments de la planta es procedeix a dissenyar-la.



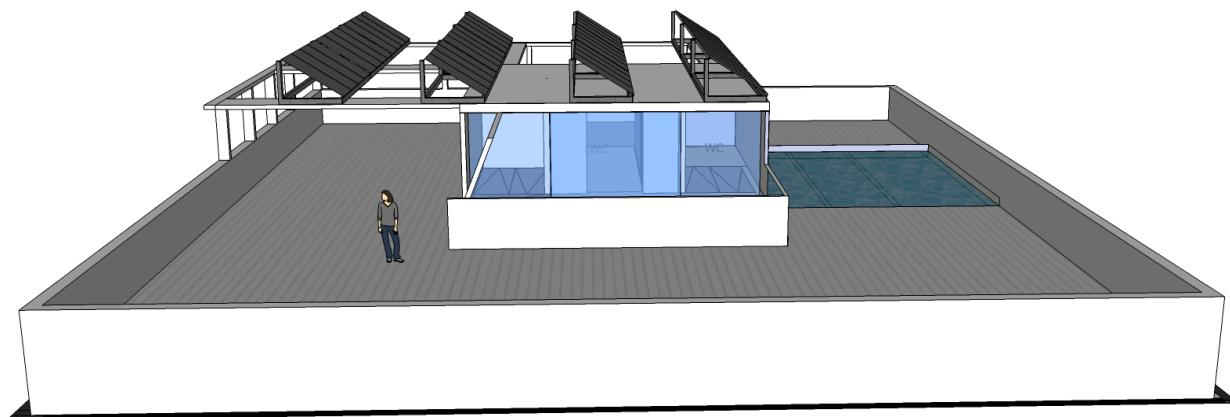


Figura 64, 65 i 66: Vistes en 3D del terrat en vista total, alçat i perfil oest.

El terrat combina els diferents elements que s'han anat presentant del terrat al llarg d'aquest treball. Inclou motius vegetals a la paret de les escales i els ascensors banda sud de manera que les plantes la protegeixin de la radiació solar i alhora la refresquin. Aquestes plantes com s'ha citat en el punt 2.4 "cares d'un edifici" i s'ha explicat mitjançant les figures 14, 15 i 16, amb l'edifici d'oficines del carrer Àvila estarien regades gota a gota amb aigua de pluja per tal d'assegurar el màxim estalvi d'aigua.

Per altra banda, el terrat situa sobre dels ascensors diverses plaques solars que no només proporcionen ombra sobre de l'edifici sinó que creen electricitat de manera que ajuden a la despesa energètica de l'edifici.

Situem una bassa d'aigua per sota del paviment on recollim aigua de pluja. L'aigua acumulada actua com a element d'inèrcia evitant que la calor que arriba al terrat no arribi als pisos inferiors i també per no perdre espai útil al terrat i sigui aprofitable per a qualsevol ús que se li vulgui donar, ja sigui recreatiu, d'esbarjo o qualsevol. Aquesta aigua acumulada també pot servir com a atomitzat refrigerant sobre la façana (veure capítol següent 4.2.6 reflectors), com a gota a gota per regar les plantes, o com a aigües brutes pels vàters de l'edifici.

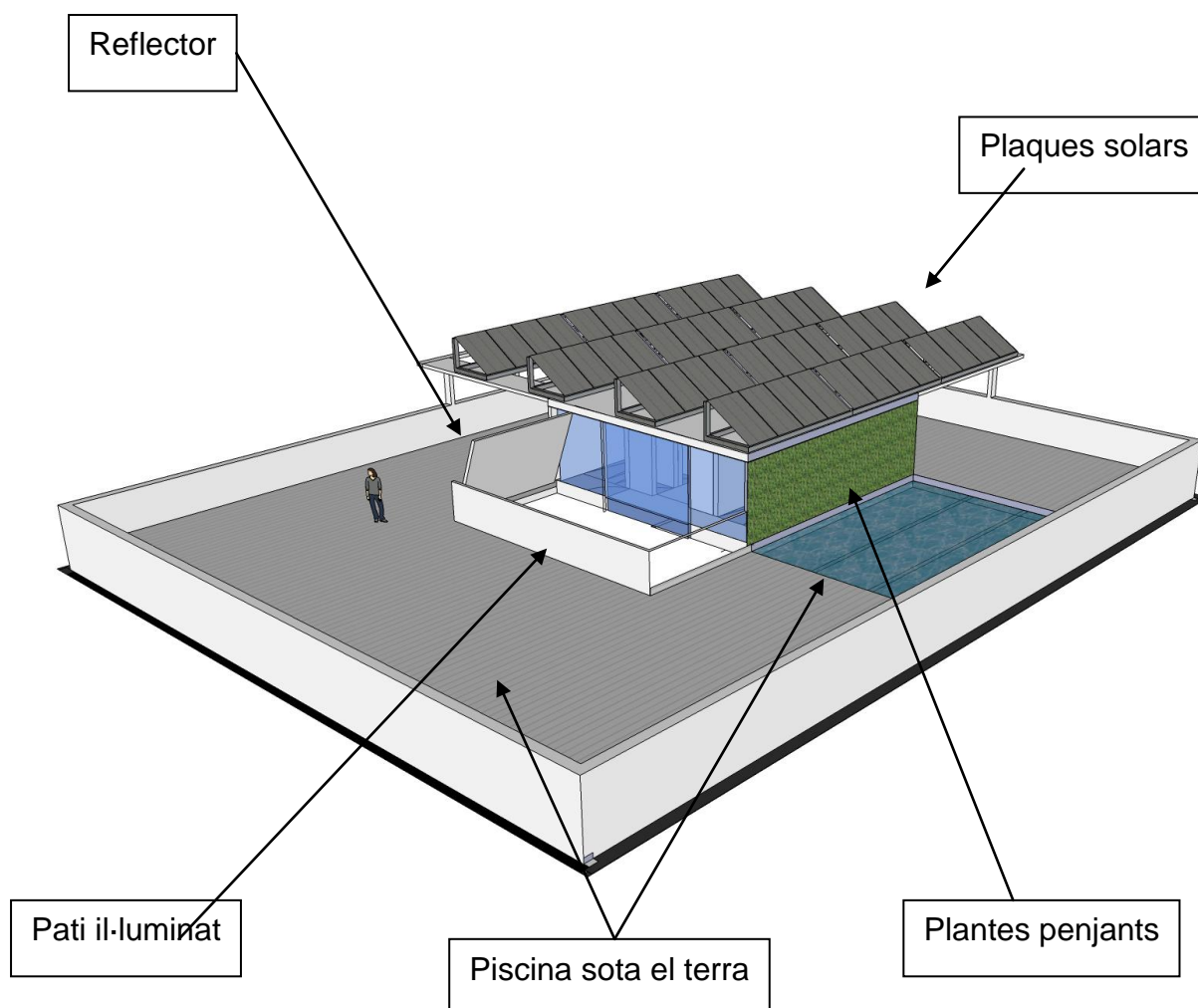


Figura 67: Explicació del esquema del terrat

4.2.6 Reflectors:

Un com tenim les viseres, l'edifici en base, el terrat i la primera planta és el moment d'aplicar totes les mesures bioclimàtiques que hem anat descobrint al llarg dels experiments per tal de trobar una combinació òptima tan en aïllament com en estètica.

Per trobar una combinació òptima entre els elements que han donat millor resultat en els experiments, que són els reflectants per tal d'evitar que el sol arribi a la façana, i el doble vidre fent convecció d'aire de avall a amunt per una

banda, i les lames, les rengleres per l'altra per tal de crear una convecció d'aire òptima entre la façana sud i la nord i homogeneïtzar la temperatura.

Per tal de fer això s'ha creat un sistema **de façana bioclimàtica dinàmica** fet per les plaques següents:

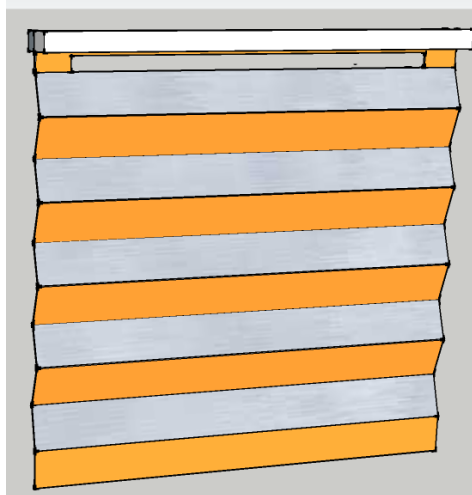


Figura 68: Plaques reflectores

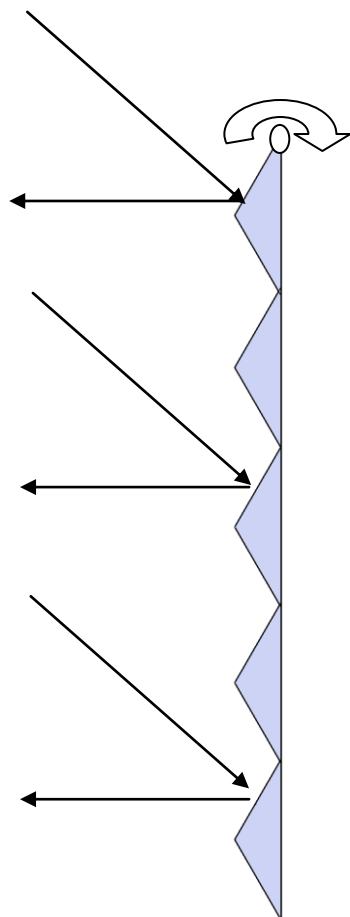


Figura 69: Explicació de les plaques reflectores en posició vertical (estiu)

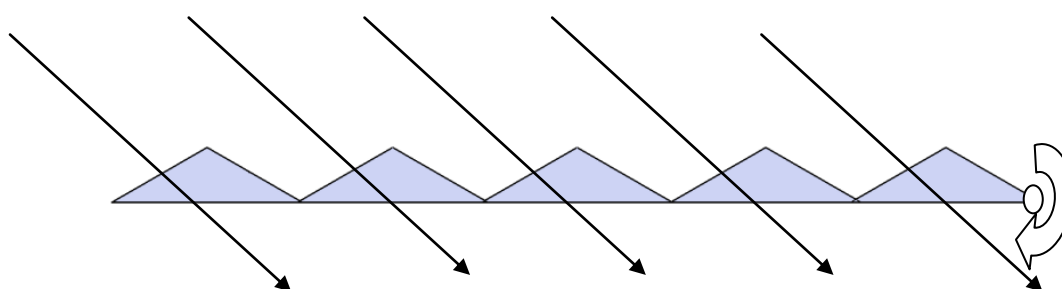


Figura 70: Explicació de les plaques reflectores en posició horitzontal (hivern)

Aquestes plaques presenten una estructura metàl·lica plana plegada en Zig-Zag de 1,2m d'alçada (la mateixa que la separació entre la primera i la segona façana). Les cares que miren cap amunt en la posició vertical tenen una

superfície reflectora de manera que quan el sol ve amb un angle elevat, com en el solstici d'estiu, aquests reflexen perpendicularment a la façana el sol cap a l'exterior, de manera que li impedeixen arribar a la façana interior. Els mesos d'hivern, per tal de crear la convecció aquestes plaques es pugen, girant 90° en sentit horari de manera que així creen les rengleres ocupant el 100% de l'espai entre façanes.

Els plegats zig-zag d'aquestes plaques, com es pot apreciar en la figura 67, són triangles isòsceles i presenten uns angles de 20° , 20° i 140° . La raó per la qual s'han triat aquestes mesures són per tal de reflectir tan perpendicularment a la façana exterior com sigui possible el rajos del sol de l'estiu. Els rajos arriben amb un angle de 70° respecte a l'horitzontal al solstici d'estiu i es reflectiran amb un angle de 60° respecte a la façana de vidre exterior.

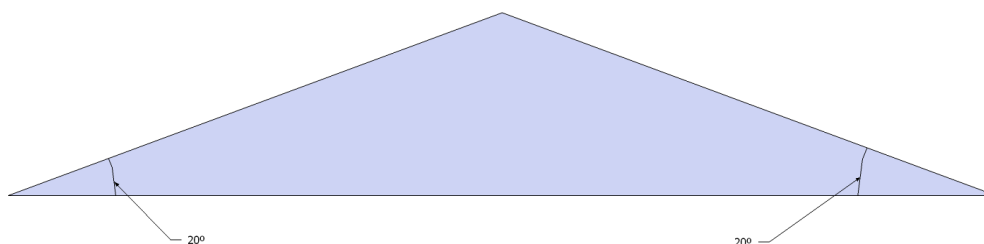
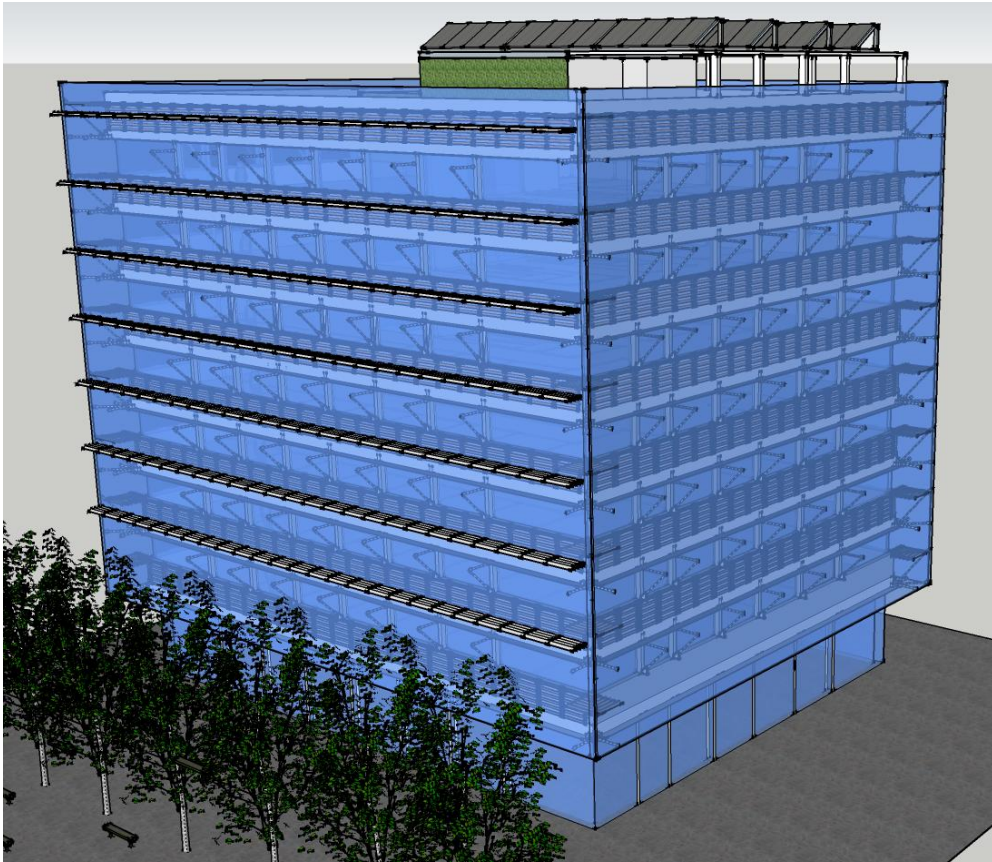


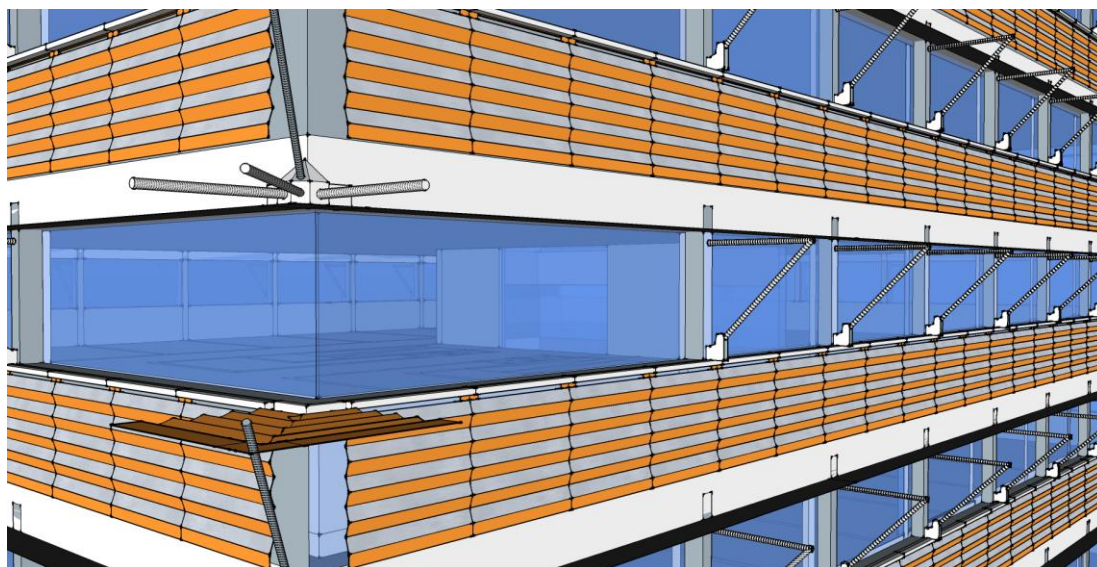
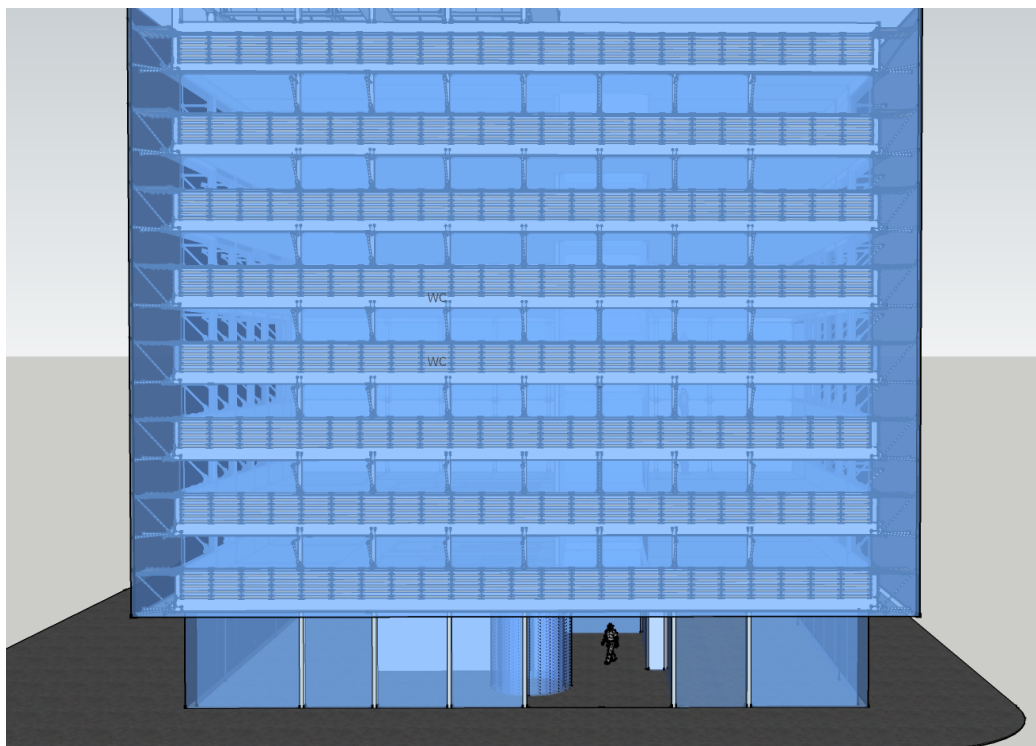
Figura 71: Explicació dels angles dels triangles

Un cop s'ha presentat l'estructura de les diferents plaques cal disposar els edificis tan d'estiu com d'hivern.

També haurien de disposar d'uns aspersors pels dies especialment càlids d'estiu per tal de regar amb micro-gotes les plaques metàl·liques que de ben segur s'escalfaran força. Aquestes gotes quedarien adherides a la superfície de les plaques i amb la calor excessiva s'evaporarien ajudant a refrescar. Aquesta aigua hauria de provenir de les cisternes pluvials del terrat amb unes canalitzacions dins l'obra perquè no reduïssin espai.

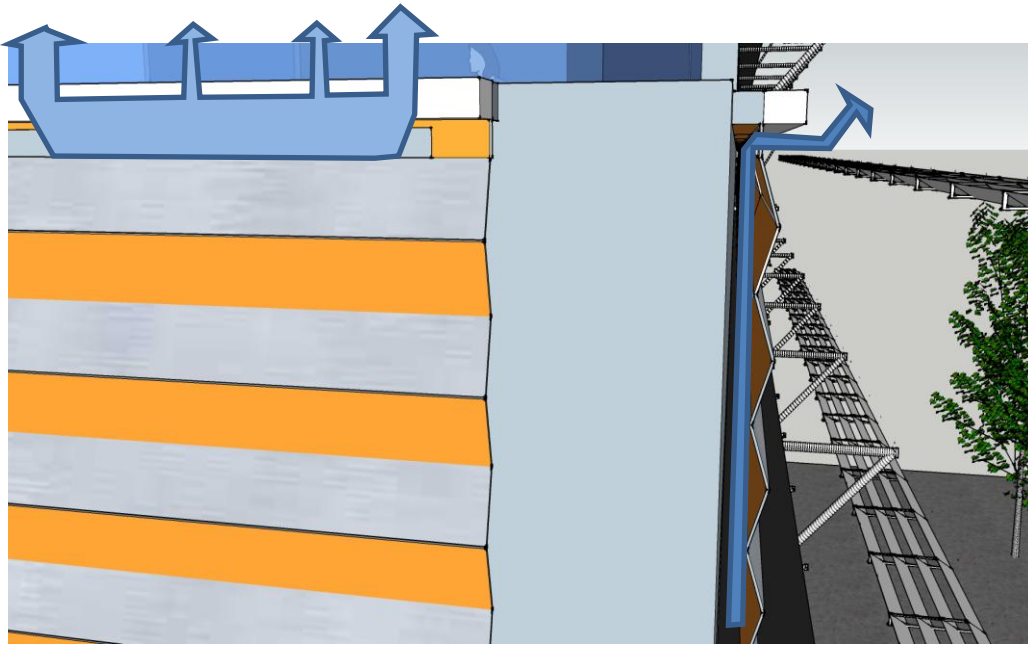
4.2.7.Façana dinàmica posició d'estiu





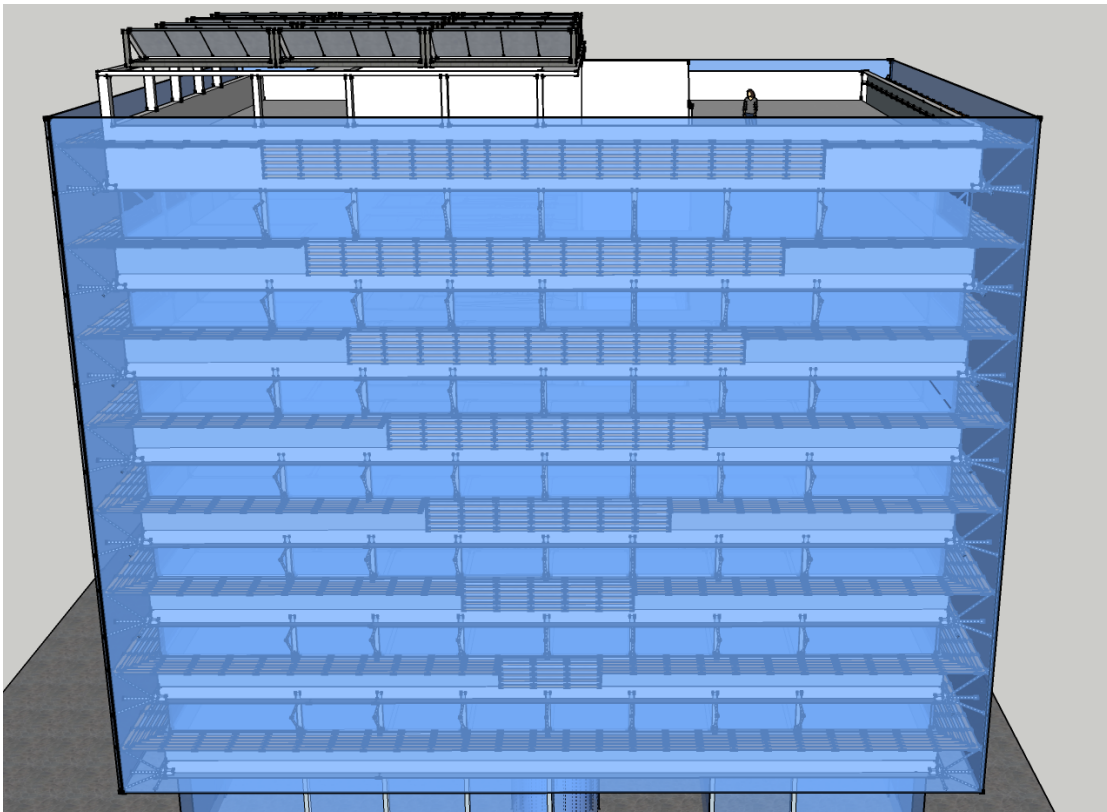
Figures 72, 73 i 74: Vistes del edifici en estiu

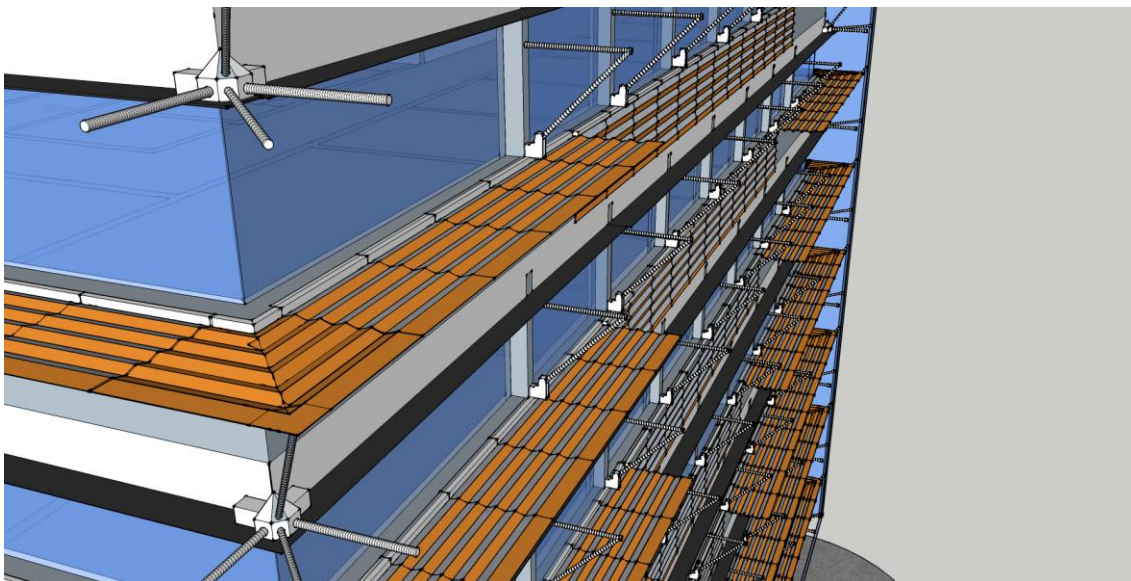
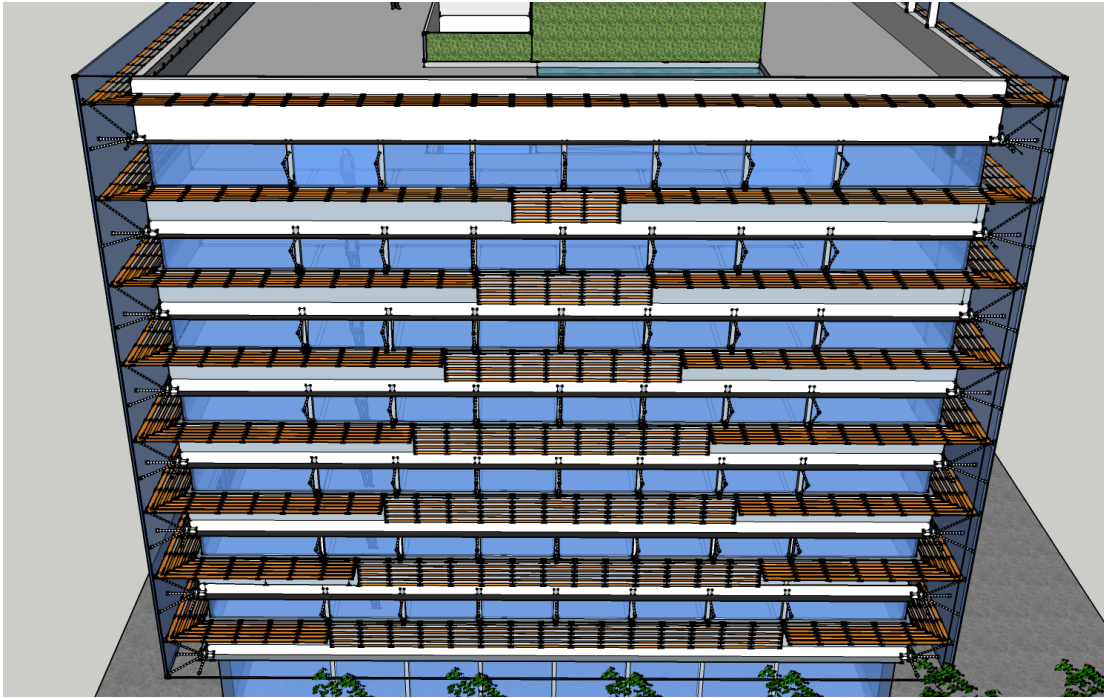
Com es pot observar en les figures anteriors (fig. 73, 73 i 74) l'edifici està recobert pels reflectors (plaques) entre planta i planta, on les viseres no arriben a fer ombra. Amb totes les plaques caigudes es produeix la màxima reflexió possible de sol. Aquestes plaques naturalment s'escalfen però com que es mantenen separades del que és la façana interior el traspàs per conducció a l'interior és molt petit i per tant la calor poc a poc s'allibera per convecció natural tan per la cara interior com exterior de la placa.



Figures 75: Esquema de la convecció d'aire entre plaques i façana

4.2.8 Façana dinàmica posició d'hivern

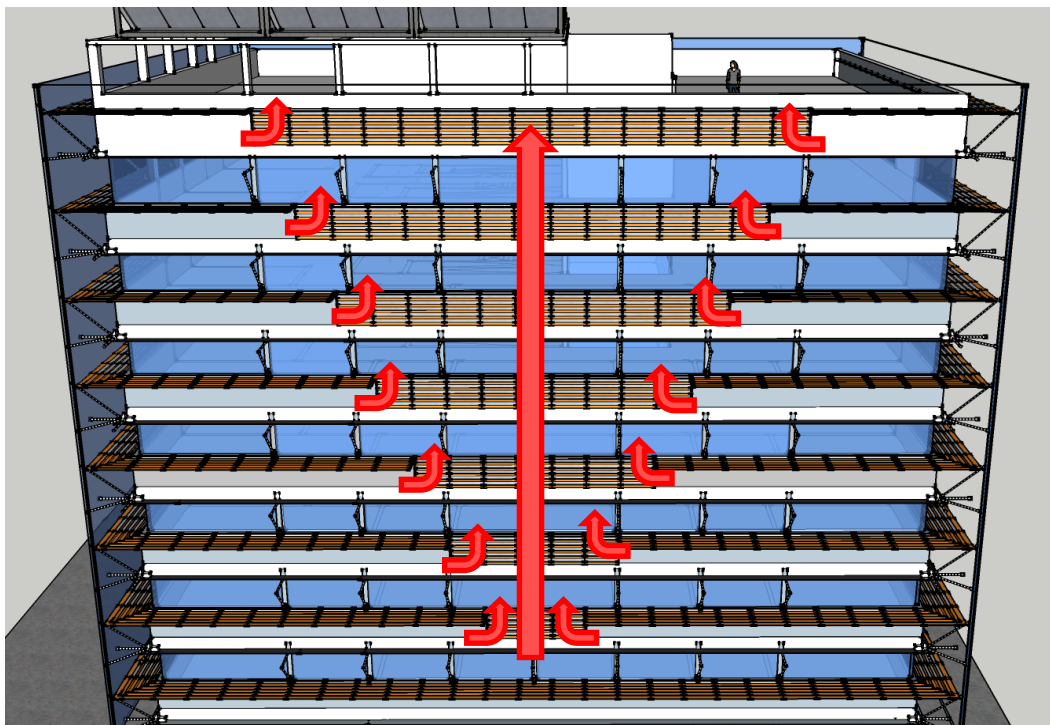
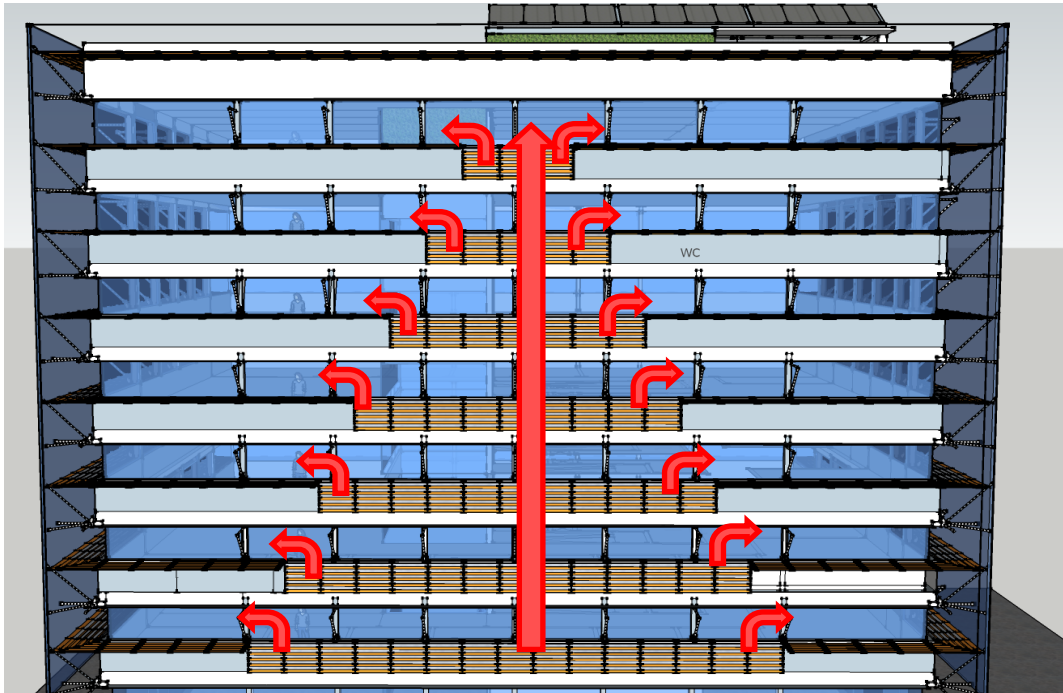




Figures 76, 77 i 78: Vistes respectives de la cara Nord i Sud de l'edifici a l'hivern i vista en detall de la disposició de les plaques (nord)

Les plaques, a l'hivern, giren amunt ocupant el 100% de l'espai entre la façana i el vidre evitant la convecció de l'aire entre façanes. També queda tapada la

petita esclatxa que hi havia a la part superior d'aquestes plaques. La convecció queda limitada i l'aire circula per rengleres com mostren les figures 79 i 80. Amés la part majoritària dels reflectors queden inutilitzats i així el sol pot escalfar la façana interior de l'edifici.



Figures 79 i 80: Esquemes de la convecció de l'aire calent en les façanes Sud i Nord respectivament

4.3 Recull de solucions i conclusions

En aquest punt hem conclòs que el nostre edifici ha de tenir:

- Tota una sèrie de condicions prèvies al disseny que eren:
 - El terreny on ens diuen que s'hauran de construir les oficines està en un camp aïllat, sense cap edifici al voltant que li pugui fer ombra i la parcel·la té les següents mesures:
 - Ha de tenir 7 plantes sense contar la planta baixa
 - Evidentment s'ha de donar prioritat a la comoditat i la eficiència espacial i visual de les oficines abans que la façana.
 - Ha de tenir un centre de vidre que travessi tot l'edifici per tal de il·luminar millor les oficines de l'interior.
 - Un cop les condicions anteriors estiguin satisfetes s'ha incloure tota una sèrie de millores bioclimàtiques per tal de reduir el consum de climatització i il·luminació.
- Una filera d'arbres de més d'un pis d'alçada de fulla caduca per la banda Sud per tal de protegir la planta baixa del sol a l'estiu i a l'hivern permetre que el sol l'escalfi per la caiguda de les fulles. És una bona manera dinàmica de tenir la funció d'aïllament a l'estiu i permissivitat a l'hivern.
- Una doble façana, una primera de vidre i una segona que combini vidre i obra és la millor adaptació a les condicions estètiques dels edificis d'oficines on s'ha de veure una recoberta total de vidre des de l'exterior i l'exterior des de l'interior.
- Les viseres són molt útils i barates per protegir l'edifici del sol però les lames exteriors només són útils en la façana Sud, la resta ja tenen un aïllament òptim amb les viseres interiors.
- Les viseres han de ser una combinació d'interiors i exteriors perquè si només en poses d'un tipus es torna inviable.
- El terrat, com ja s'havia esmentat en les conclusions del punt 2, és la cara de l'edifici que rep més insolació, les mesures que s'han pres pel seu aïllament són:

- Elements vegetals: Plantes per tal de aïllar i refrescar aquella superfície a la que estan adherides.
- Una bassa d'aigua per tal de capturar la calor i mantenir els pisos inferiors a una temperatura constant
- Plaques solars per tal d'ajudar en la producció d'energia
- Les plaques reflectores han de permetre una expulsió de la llum el més perpendicular possible els mesos d'estiu, apart de no ocupar espai, i els mesos d'hivern han de bloquejar el 100% de l'espai entre façanes per tal de generar convecció en rengleres. Així s'aconseguirà transferir calor a la cara nord i reduir despesa de calefacció.

5. Conclusions

5.1 Sobre l'eficiència energètica en edificis

- Quasi bé el 75% de l'energia que consumim a Espanya prové de la combustió de combustibles fòssils.
- Els edificis d'oficines gasten un percentatge molt alt de l'energia en climatització (aproximadament el 35%).
- La climatització, present a tots els edificis, tan si són d'oficines com domèstics, comporta un percentatge elevat dins del consum total d'energia.
- A Espanya, dins de la climatització, consumim molt més en aire condicionat (refrigeració) que en calefacció.
- El motiu pel qual els edificis d'oficines s'escalfen tant és perquè estan recoberts de vidre i això crea un efecte hivernacle dins de l'edifici.
- Les façanes de mur cortina en vidre formen part de la imatge i prestància dels edificis corporatius. Essent un requisit constructiu cal però estudiar opcions per tal que millori la seva eficiència energètica.
- En la majoria d'edificis d'oficines no discriminen cap mesura entre les façanes Nord i Sud ni disposen d'element dinàmics d'adaptació segons les estacions.
- L'aprofitament d'aigües pluvials per a usos no sanitaris és un bon recurs estalviador.
- Les cares de l'edifici que reben més insolació són el terrat, la façana Sud i la Oest.
- L'angle amb el que el sol arriba respecte l'horitzontal a Barcelona és de 50° els mesos de tardor i primavera, 30° els mesos d'hivern i 70° els mesos d'estiu.
- La quantitat d'energia que afecta a l'edifici depèn molt de la seva inclinació i es pot calcular amb la formula següent: $E=I \cdot A \cdot \sin \alpha$ on **E** és la potència (energia) en watts, **I** la il·luminació que arriba en W/m² i **α** és l'angle dels rajos del sol respecte la façana i **A** és l'àrea de la cara de l'edifici que és afectada.

- Per tal d'uniformitzar al màxim les temperatures entre cares, hom pot suggerir minimitzar les cares sud y nord i maximitzar les cares est i oest, però aquesta solució faria que l'edifici resultant molta falta d'espai útil i la resultant cost-utilitat la faria inaprofitable i inviable, cal trobar-hi una alternativa.
- Per aïllar el terrat tenim suficient amb una coberta verda, porosa i/o una bassa d'aigua per tal d'absorbir la calor o un terra aïllant. Pel terrat no hi ha gaires condicions necessàries a respectar que siguin perjudicials, només que s'hi pugui passejar lliurement, uns aïllament econòmics i òptims als que s'ha arribat són els següents
 - Elements vegetals: Plantes per tal de aïllar i refrescar aquella superfície a la que estan adherides.
 - Una bassa d'aigua per tal de capturar la calor i mantenir els pisos inferiors a una temperatura constant
 - Plaques solars per tal d'ajudar en la producció d'energia

5.2 Sobre l'eficiència energètica del edificis amb façana de vidre

- Les façanes s'han de fer que la cobertura de vidre visible des de l'exterior sigui contínua i que la visibilitat de l'exterior des de l'interior sigui òptima però la solució constructiva ha de ser eficient respectant aquestes condicions.
- La obra i els elements d'inèrcia tèrmica, retenen la calor un cert temps evitant que afecti plenament a l'espai interior i, alliberar-la a la nit o quan refresca.
- La reflexió és el tipus d'aïllament que funciona millor darrera una façana de vidre ja que reflexa, en l'espectre visible, l'energia cap a l'exterior, minimitzant l'efecte hivernacle que el vidre té en la radiació infraroja.
- La convecció és una ajuda que funciona bastant bé i l'aïllament que ofereix depèn de la distància de separació entre façanes. No pot ser molt gran tampoc perquè redueix l'espai útil de l'edifici cosa que ofereix més desavantatge que el que ofereix en estalvi i per tant s'ha de trobar una proporció correcta entre espai i estalvi.

- Els colors dels materials amb que s'aïlla afecten a la captura d'energia del sol, com hem vist amb els experiments amb plàstics tots dos eren d'exactament el mateix material, el mateix tipus de plàstic però un de color negre i l'altre de blanc. El negre no només escalfava més de pressa sinó que va fondre gran part el material que l'envoltava significat que retenia més calor. Els colors clars (blanc) aïllen millor que els foscos (negre).
- Per tal d'alleugerar la diferència de temperatura de la cara sud respecte la nord cal portar l'aire calent de la cara sud a la nord per mitjà de una corrent d'aire contínua i natural.
- La convecció natural al voltant de l'edifici és àrdua i difícil, per això es necessiten ajudes que facilitin a l'aire circular, les rengleres i guies són una bona solució.

5.3 Sobre al proposta dissenyada

- Una filera d'arbres de més d'un pis d'alçada de fulla caduca per la banda Sud per tal de protegir del sol a l'estiu i a l'hivern permetre que el sol escalfi per la caiguda de les fulles.
- Una doble façana, una primera de vidre i una segona que combini vidre i obra és la millor adaptació a les condicions estètiques dels edificis d'oficines on s'ha de veure una recoberta total de vidre des de l'exterior i l'exterior des de l'interior.
- Les viseres són molt útils i barates per protegir l'edifici del sol però les lames exteriors només són útils en la façana Sud, la resta ja tenen un aïllament suficient amb les viseres interiors.
- Amb un disseny de doble façana de convecció, les viseres han de ser una combinació d'interiors i exteriors perquè si només en poses d'un tipus es torna inviable tècnica o energèticament.

En aquest treball, una part important era la identificació dels principals elements consumidors d'energia dins d'un edifici amb unes característiques

preestablertes. A continuació els resumeixo relacionant-los en el concepte energètic que pretenen millorar.

Il·luminació: (aprox. 50% de l'electricitat consumida)

- Façanes completes de vidre a 360° per a disposar de màxima il·luminació natural a la part exterior de l'edifici.
- Pati interior: Un pati que travessi l'edifici pel centre per tal d'il·luminar amb llum natural també la part interior de l'edifici.
Proposta original: incorporar una placa reflectora dinàmica al començament del pati il·luminat per tal de orientar la llum del sol d'hivern cap a dins.

Climatització: (aprox. el 35% de l'electricitat consumida)

- *Proposta original:* Implementació d'una segona façana de vidre separada a una distància òptima de la primera per tal de crear convecció ascendent d'aire.
- *Proposta original:* Ús de reflectors a l'exterior de la façana interior per tal de repel·lir la radiació solar quan encara està en el camp visible i no crear efecte hivernacle
- *Proposta original:* Ús de convecció mitjançant rengleres per tal de portar escalfor de les cares insolades (Sud) a les no insolades (Nord).
- *Proposta original:* Ús d'aspersors d'aigua de pluja per tal de refredar les plaques reflectores durant els dies de calor excessiu.
- Terrat amb plaques solars, cisterna d'aigua de pluja i paret vegetal.

Aigües:

- Recull i ús d'aigües pluvials per a usos no sanitaris com el WC o regar
- Implantació de cisternes per recollir aigua de la pluja per a usos propis no sanitaris de l'edifici.

6. Bibliografia

ALEKSANDAR IVANČIĆ, JOAN A. PÉREZ RODRIGUEZ *Casos prácticos de eficiencia energética en Espanya. Editorial: Fundación Gas Natural 2a edició any 2011 (Col·lecció Guías técnicas de energía y medio ambiente)*
ISBN: 978-84-614-4125-9

MARC GARRIGASAIT Ivestors conundrum 18 de juny de 2010
<http://investorsconundrum.com/wp-content/uploads/2010/06/world-oil-consumption-map-2009.jpg> Consulta: 9 de novembre de 2012

Arquitectura bioclimática y construcción distribuidora. Web dissenyada per : Free Wordpress Themes i engegada per Wordpress publicat el diumenge 10 de maig de 2010
<http://ecocasaonline.com/blog/wp-content/uploads/2010/05/Casa-eco.jpg>
Consulta feta el dimarts 18 de setembre de 2012

Alquiler de oficinas en Glòries El Parc web de: Habitaclia. Publicat 6 d'agost de 2012
http://www.habitaclia.com/alquiler-oficinas-glories_el_parc-barcelona.htm
consulta: 27 d'octubre de 2012

Visites a edificis *(veure annex 2)*

48H Open House Barcelona (octubre 2011)

- Edifici Media TIC 22@
- Edifici c/Avila
- Quart sostenible de la Barceloneta
- Hotel Santos Plaça Europa (Toyo Ito)
- Torre Fira (Toyo Ito)

Museu del gas de Sabadell

Edifici varis a Barcelona

Annexes

Les dades experimentals estan en el CD adjunt