



EPS

Escola Politècnica
Superior

Treball final de grau

Estudi: Grau d'Arquitectura Tècnica

Títol: Estudi de la integració Fotovoltaica en els edificis i l'aplicació per al disseny a una edificació existent

Document: Estudi de la integració fotovoltaica en els edificis

Alumne: Rafael Suares Cañete

Director/Tutor: Emili Sagrera Busquets

Departament: D'Arquitectura i Enginyeria de la construcció

Àrea: Construccions Arquitectòniques

Convocatòria (mes/any): JUNY/2015

03. ESTUDI DE LA INTEGRACIÓ FOTOVOLTAICA EN ELS EDIFICIS (E).

03.1. Introducció a l'energia fotovoltaica.

Aquesta font d'energia renovable té com unitat bàsica fotovoltaica la “cèl·lula solar” i amb aquestes es constitueixen els “mòduls fotovoltaics”, elements de fàcil manipulació que connectats entre si composen un generador elèctric d'aquesta instal·lació fotovoltaica. Aquests mòduls fotovoltaics transformen directament la llum solar en electricitat i poden interactuar amb l'envolent dels edificis de diferents formes. En un gran número de casos aquests “edificis fotovoltaics” estan connectats a la xarxa elèctrica, però també existeixen d'altres que són autònoms a la mateixa.

Per aconseguir una millor integració arquitectònica, el disseny d'aquests mòduls pot ajustar-se dintre d'uns certs límits. Cada tecnologia fotovoltaica ens oferta diferents possibilitats i a la vegada tenen les seves limitacions. A continuació d'aquest paràgraf fem una descripció de les diferents tecnologies de cèl·lules i mòduls fotovoltaics. A més a més, acreditant aquestes descripcions amb l'anàlisi de les tecnologies fotovoltaiques des del punt de vista d'integració en el disseny de l'edifici i les opcions que té el projectista/tècnic és completen amb una breu descripció general dels components dels sistemes fotovoltaics, tant de sistemes connectats a la xarxa, com els que no ho estan.

FIGURA 1

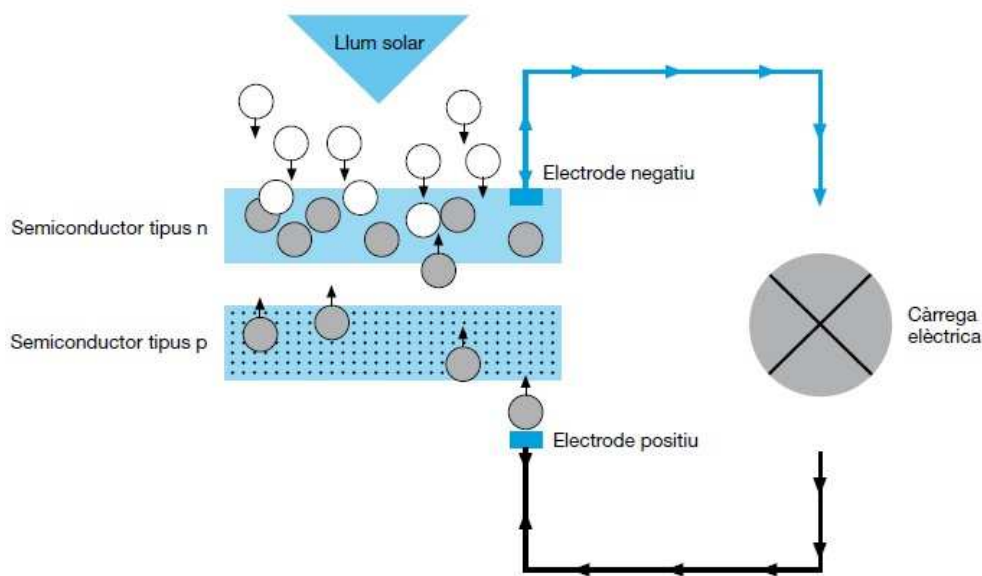


FIGURA 1 : Esquema d'una cèl·lula solar que absorbeix energia solar (efecte fotovoltaic).

Font d'informació: Quadern pràctic nº4, d'energia solar fotovoltaica d'ICAEN "Institut Català d'Energia"

03.2. Cèl·lules i mòduls fotovoltaics.

03.2.1. La cèl·lula solar.

Les cèl·lules solars fotovoltaïques transformen directament l'energia solar en energia elèctrica. Fabricats amb materials semiconductors, aquets dispositius absorbeixen part de la radiació solar que incideix sobre ells i la transformen, amb major o menor eficàcia, en electricitat. Si connectem una cèl·lula a una càrrega elèctrica i aquesta s'il·lumina, produeix una diferència en el potencial en aquesta càrrega. Això fa que el corrent circuli mitjançant aquesta connexió. Sota aquestes condicions d'operació, la cèl·lula funciona com un generador d'energia elèctrica.

Les cèl·lules fotovoltaïques convencionals estan fabricades amb "obleas" (amb fines làmines) de silici cristal·lí d'uns 100 centímetres quadrats de superfície i unes dècimes de mil·límetre de gruix. Sobre aquest silici es disposa una fina capa antireflexant que millora el seu rendiment i dona a la cèl·lula un to de color blau. A sobre d'aquesta capa s'imprimeix una malla metàl·lica que constitueix el contacte òhmic de la cara exposada al sol. El contacte de la superfície posterior de la cèl·lula està format per una capa metàl·lica de distribució homogènia.

Existeixen diferents tipus bàsics de cèl·lules solars:

- Silici monocristal·lí
- Silici multi cristal·lí ó policristal·lí
- De creixement en cinta sustentat amb el canto EFG (*Edge defined film Fed Grown*)
- Cèl·lules de tercera generació, "tándem de triple unió" (HCPV)

Les primeres aconseguen un major rendiment, tot i que la diferència depèn del fabricant. A més a més, tenen un aspecte més fosc degut a que la seva forma, està més texturitzada per poder fer una captació més correcta de la llum. Un altre diferència és que les cèl·lules monocristal·lines tenen les cantonades bisellades, ja que s'obtenen a partir del tall de barres de silici amb secció circular.

El tercer tipus de cèl·lules les seves propietats són semblants a les de les cèl·lules multi cristal·lines convencionals amb la diferència de que aquestes no tenen per que ser de secció circular, sinó que aquestes són de secció quadrada i tenen una longitud variable. El seu aspecte és més homogeni que el de les cèl·lules multi cristal·lines.

A aquets tres tipus explicats se'ls acusa d'una baixa eficiència energètica (entre un 13-15%), amb lo que constantment estan buscant nous sistemes amb majors rendiments. Com és el cas dels sistemes amb HCPV "High Concentration Photovoltaics" ó "Alta concentració fotovoltaica". Aquets sistemes abasteixen fins un 35% de la producció d'electricitat. L'objectiu d'aquets és reflectir els rajos solars concentrant-se la seva intensitat (augmentant la seva concentració fins a 400 Sols). En aquest punt es col·loquen unes cèl·lules especials anomenades cèl·lules tándem de triple unió.

A aquesta zona de concentració és col·loquen unes piles de cèl·lules de distinta composició, de forma que:

- Les cèl·lules de la part superior tenen un ample major en la seva banda i abasteixen els fotons de major energia.
Les cèl·lules de la part inferior de la pila, tenen un menor ample en la seva banda i d'aquesta forma abasteixen els fotons de menor energia.

Aquestes cèl·lules estan fetes de materials tals com, InGaP i AsGa que es disposen sobre un substrat de Ge. Aquests materials abasteixen resistint la alta concentració de radiació que perceben. Com ja hem esmentat, la seva eficiència elèctrica es elevada (35%) en comparació als panells fotovoltaics tradicionals (13-17%)

FIGURA 2

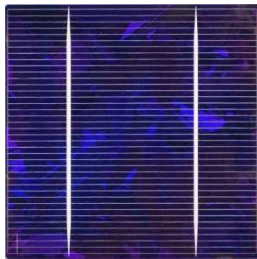


FIGURA 3

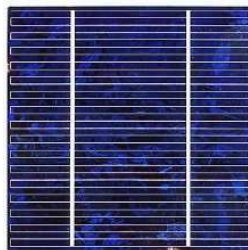


FIGURA 4



FIGURA 2 : Cèl·lula monocristal·lina

FIGURA 3 : Cèl·lula multicristal·lina

FIGURA 4 : Cèl·lula EFG

Font d'informació: Imatges extretes de Google ©.

FIGURA 5



FIGURA 5 : Cèl·lula d'alta concentració fotovoltaica.

Font d'informació: Manual d'ISO FOTON sobre la tecnologia de HCPV.

03.2.2. El mòdul fotovoltaic.

03.2.2.1. Característiques elèctriques i tecnològiques.

Les cèl·lules fotovoltaïques normalment tenen valors baixos de tensió per a la majoria d'aplicacions. Per aquest motiu es connecten en sèrie o en paral·lel, per aconseguir majors corrents. Aquestes constitueixen una vegada encapsulades, una unitat de generació elèctrica anomenada "mòdul fotovoltaic".

Des del punt de vista qualitatiu, el comportament elèctric d'un mòdul és similar al de les cèl·lules que el componen. En termes generals, els paràmetres elèctrics principals d'un mòdul fotovoltaic són la "potència de pic" i el seu "rendiment".

La "potència de pic" o pic de potència és la màxima potència a la que pot arribar a generar un mòdul fotovoltaic sota les condicions estàndard d'il·luminació i temperatura (1000 watts per metre quadrat de irradiància solar i atmosfera estàndard i 25 graus centígrads de temperatura al mòdul). El "rendiment" es defineix com el quocient entre la potència màxima i la potència d'il·luminació que capta el mòdul.

A major rendiment, més generació de potència per unitat de superfície. Per exemple, un mòdul d'1m quadrat que tingui un 15% de rendiment genera una potència de 150 watts sota un sol de 1000 watts per metre quadrat. Per estimar la quantitat d'energia produïda per aquest mòdul durant un interval de temps determinat, multipliquem aquesta (150 watts) per l'energia solar de referència, és a dir la seva irradiació total captada en kilowatts-hora per metre quadrat dividida entre 1.000. A aquest valor normalitzat de irradiació també l'anomenem número de "hores de pic".

Avui en dia, al voltant del 90% de les cèl·lules comercials es fabriquen amb "oblees" de silici, monocristal·lí o multi cristal·lí. El us predominant d'aquest material per a la fabricació de mòduls comercials és deguda a causa del bon coneixement d'aquesta tecnologia, al seu alt rendiment i a la seva fiabilitat demostrada durant diverses dècades. No obstant, en el mercat existeixen altres tecnologies, entre les que hem de destacar la "lamina prima", anomenada així per el gruix tant prim que hi ha entre les capes que el constitueixen.

La tecnologia més consolidada a la família de làmines primes és la del Silici Amorf. Aquets mòduls estalvien material i temps en la seva fabricació respecte als convencionals de silici monocristal·lí, però el seu rendiment és aproximadament la meitat (representat a la taula a continuació). Aquesta característica els ha relegat durant molts anys en el mercat de productes de consum de baixa potència, com per exemple rellotges, calculadores, llanternes. De totes maneres, el aspecte homogeni, la versatilitat i les possibilitats de transparència dels mòduls de silici amorf el converteixen en una alternativa interessant per a la integració en els edificis.

Les limitacions de rendiment del silici amorf han potenciat la recerca de materials policristal·lins alternatius per a una millor fabricació de mòduls de làmina prima. Actualment, existeix en el mercat una petita producció de mòduls de tel·lur de cadmi (CdTe), material ja considerat des de fa anys per la conversió fotovoltaica. No obstant, aquest producte presenta l'inconvenient de l'ús del cadmi, ja que està considerat com un material molt tòxic pel medi ambient. Una tecnologia molt prometedora és la que utilitza en la seva fabricació el seleniür de coure (CIS) amb el que s'han obtingut els mòduls de làmina prima més eficients fins al moment (amb uns rendiments del 11%).

Els rendiments típics dels mòduls comercials acostumen a anar entre el 12-15% els de silici monocristal·lí i un 6-7% dels mòduls de silici amorf. A la taula 1 estan representats aquets valors. En el mercat podem trobar mòduls que no arriben a aquets valors tipificats ó que tot el contrari els superen. Com exemples destaquem els mòduls amb estructura de cèl·lules piramidal i contactes soterrats que aconsegueixen un 15,5% del rendiment i es fabriquen a Espanya ("Saturno", de la firma BP Solar). A més a més també tenim els mòduls als que tots els seus contactes estan situats a la cara posterior (PCC: *Point Contact Cell*), com els fabricats per SunPower, que aconsegueixen rendiments de 17,7%. Recentment, Sanyo ha desenvolupat una tecnologia que combina silici cristal·lí amb silici amorf (HIT: *Hetero junction with intrinsic thin layer*), que arriba a valors propers al 17%.

TAULA 1

Tecnologia	Rendiments tipificats (%)
Silici monocristal·lí	12-17
Silici multi cristal·lí	11-15
CIS	10-11
Tel·lur de cadmi	9
Silici amorf	6-7

TAULA 1 : Rendiments tipificats dels mòduls fotovoltaics de distintes tecnologies.

Font d'informació "La envoltante fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

03.2.2.2. Característiques mecàniques i estructura.

En el mòdul, les cèl·lules estan protegides elèctrica i mecànicament. A més a més, també dels efectes atmosfèrics. La normativa aplicable sobre els mòduls fotovoltaics contempla una sèrie d'assajos mecànics, ambientals i elèctrics que garanteixen totes aquestes propietats. Tot i que, tot

mètode de fabricació dels mòduls convencionals basats en oblees de silici difereix molt comparat amb els de làmina prima, la seva estructura final es semblant. La estructura laminada d'un mòdul comercial acostuma a seguir el següent tipus:

FIGURA 6

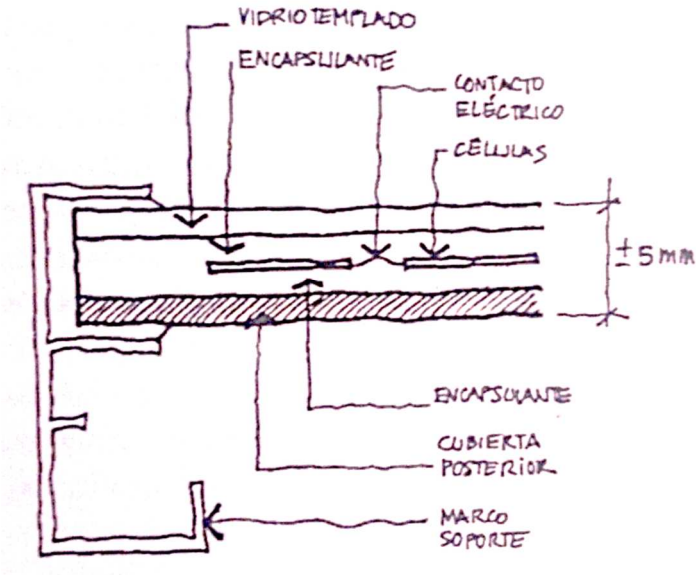


FIGURA 6 : Estructura laminada habitual d'un mòdul d'una casa comercial.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignacio Fernández Solla.

tipus EVA (etil-vinil-acetat) , tot i que ocasionalment també pot estar compost per un laminat de fluorur de polivinil (Tedlar) de color blanc, transparent ó de diversos colors. Aquesta capa és visible també des de la cara frontal del mòdul, entre cèl·lules. El conjunt del laminat té un gruix al voltant dels 5 mil·límetres, tal i com es representa a la figura 5.

La coberta posterior pot ser substituïda per un altre vidre. Aquesta configuració de doble envidriament és la més utilitzada per la integració del sistema en els edificis, per la seva major resistència a les càrregues del vent. El gruix total està al voltant dels 10-12 mil·límetres, en funció dels requeriments del gruix del vidre interior, que és l'element resistent.

El vidre utilitzat està "templat" per poder resistir els esforços tèrmics i té una alta transmissivitat lluminosa (que aconsegueix reduint el contingut de ferro en la massa del vidre). El seu gruix és d'uns 3-4 mil·límetres. L'encapsulat acostuma a ser un polímer transparent del

FIGURA 7

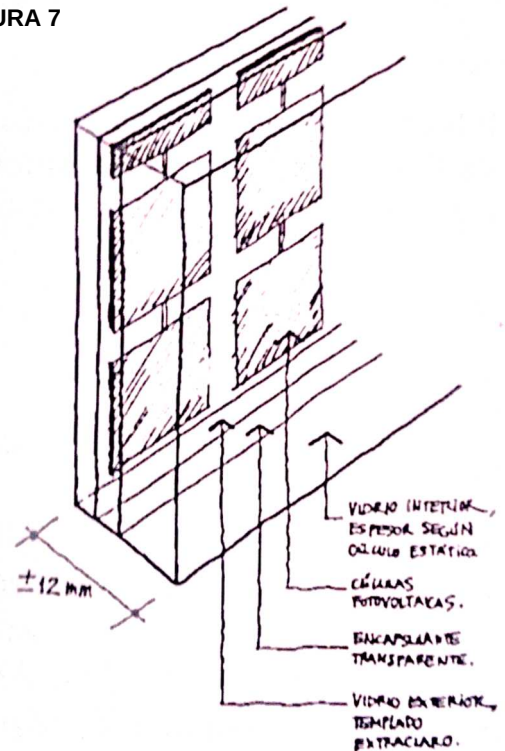


FIGURA 7 :Mòdul amb doble estructura d'envidriament.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignacio Fernández Solla.

Un altre gran avantatge de laminar cèl·lules amb silici cristal·lí entre dos vidres es que l'espai que queda entre els les cèl·lules és transparent, lo que ens aporta certa lluminositat al mòdul. El percentatge llum-visió va en funció de la distància que hi ha entre cèl·lules. En el cas dels mòduls de làmina prima, aquesta transmissió parcial de llum s'aconsegueix reduint el gruix de les capes, o bé eliminant parcialment el material actiu en punts o franges.

03.2.2.3. Tendències actuals.

Mòduls fotovoltaics.

Silici monocristal·lí i silici multi cristal·lí.

Al principi, la tecnologia dominant va ser el silici monocristal·lí, des de fa uns anys la producció mundial va continuar estant dominada pel silici multi cristal·lí. Aquets suposa ara la meitat del mercat mundial i la major part està fabricat al Japó i Estats Units. Els mòduls de silici monocristal·lí han passat a un segon plànol i actualment representen un terç de la producció mundial. Aquesta nova redistribució és conseqüència de que s'estan aconseguint mòduls de silici multi cristal·lí amb rendiments molt acceptables a preus més econòmics que els del silici monocristal·lí.

Actualment, el desenvolupament dels materials per les cèl·lules de silici es centra en la reducció del gruix de les cèl·lules, en la millora del seu rendiment i en l'estalvi dels seus costos de fabricació. Afirmant així, que s'intensifica la investigació i la comercialització de les tecnologies de làmina prima amb diferents materials conductors. En quant al disseny dels mòduls fotovoltaics, la varietat d'aspectes i dimensions es cada vegada més abundant i a la vegada s'adapta a les necessitats de la seva integració arquitectònica.

03.3. Mòduls fotovoltaics per la seva integració arquitectònica.

03.3.1. Possibilitats de disseny.

Existeixen diferents possibilitats per conformar el disseny del mòdul a les necessitats de cada aplicació arquitectònica. Les diferents característiques poden modificar-se dintre d'unes certes limitacions, aquestes són les següents:

- Dimensions i forma del mòdul.
- Estructura constructiva del mòdul.
- Forma i dimensió de les cèl·lules.
- Color de les cèl·lules i de la coberta posterior.
- Transparència del mòdul.
- Número de cèl·lules i la seva disposició en el mòdul.

A més a més, cal que tinguem en compte que moltes de les variacions afecten al rendiment elèctric dels mòduls. Així que, una major transparència implica un menor rendiment. Llavors podríem dir que la transparència afecta al coeficient de transmissió tèrmica del mòdul i, en definitiva, té un cert efecte en el balanç energètic global de l'edifici.

Les dimensions i la forma del mòdul en la majoria dels casos els mòduls no acostumen a sobrepassar els 80 x 160 centímetres. Tot i que aquestes dimensions poden reduir-se o incrementar-se. Existeixen mòduls els quals la seva longitud supera els 2 metres i mitjançant la utilització de resina com encapsulant poden fabricar-se fins als 6 metres quadrats. La forma habitual és rectangular. Tot i que els mòduls flexibles poden adoptar formes corbes. La substitució del vidre per materials acrílics permet obtenir formes diverses, fins i tot en mòduls de silici cristal·lí.

L'estructura constructiva del mòdul que permet més possibilitats d'integració en la arquitectura és la del doble envidriament, en la que el mòdul fotovoltaic és part d'un vidre laminat. Aquest vidre es pot substituir per diferents materials més lleugers i mal·leables.

En determinades aplicacions (finestres, murs cortina ó lluernaris) acostuma a interessar que el mòdul fotovoltaic presenti una baixa transmissió tèrmica. Per aquest motiu el laminat fotovoltaic té un muntatge amb un doble envidriament, en el que el mòdul el situem sempre en la fulla exterior. El gruix de la càmera estanca intermitja acostuma a estar entre 12-16 mil·límetres per poder així minimitzar la transmissió tèrmica. La fulla interior pot ser de vidre simple, o bé laminat de seguretat si el conjunt treballa com un antepit ó lluernari. Afegint una capa de baixa emissivitat en la fulla interior, ó un gas inert (com l'argon) en la càmera, la transmissió tèrmica es redueix encara més.

Un altre opció de disseny, és instal·lar el laminat fotovoltaic com la fulla exterior d'una façana ventilada, en la que la càmera intermitja no sigui estanca. Aquesta opció pot ser incrementant un element interaccionat amb l'envolvent de l'edifici, o bé, pot ser aquest mateix element l'envolvent de l'edifici. En aquest segon cas, a l'hivern, aquesta càmera pot tancar-se amb reixes, amb lo que garanteix les capacitats tèrmiques per l'efecte hivernacle. Per un altre banda, a l'estiu permet el flux d'aire calent ascendent fins la seva sortida. D'aquesta manera es redueix la temperatura de treball dels mòduls, cosa que millora el seu rendiment. L'aire calent que es genera en la càmera pot emprar-se per la recirculació del el propi edifici a l'hivern, un exemple clar d'això és la biblioteca Pompeu Fabra de Mataró que proporciona el clima per tot l'edifici amb aquest sistema constructiu.

Per dissenyar els suports d'aquets mòduls tenim diferents opcions que van des de els sistemes de subjecció d'una façana ventilada, fins a la fixació com els vidres d'un mur cortina ó una finestra. Un altre opció d'integració arquitectònica dels mòduls fotovoltaics és la seva col·locació com teules en una coberta o com lames en una façana, guarden les similituds amb els elements constructius als

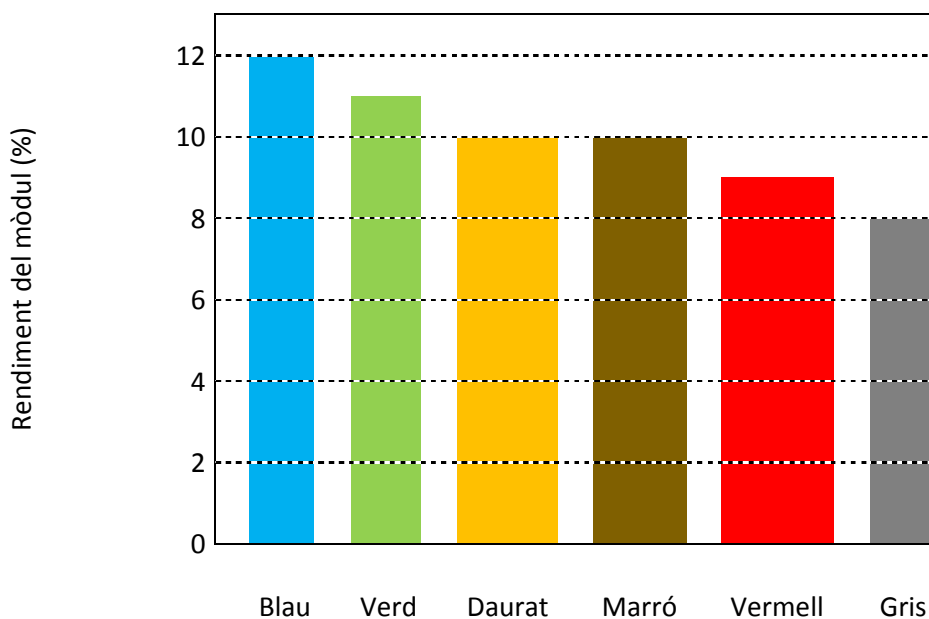
que substitueixen. En aquets casos, els materials de les cobertes anterior i posterior laminat són substituïts per altres més adients a cada aplicació.

En quant a la forma i dimensió de les cèl·lules varia en funció de la tecnologia emprada. Com ja hem vist anteriorment, les cèl·lules de silici monocristal·lí estan fabricades amb oblees (finíssimes i tallades a partir d'una barra cilíndrica de silici). Amb lo que poden mantenir aquesta forma circular. No obstant, normalment es tendeix a tallar-les amb una dimensió que faciliti el seu empaquetament en els mòduls. El resultat son cèl·lules quasi quadrades (amb les arestes arrodonides) d'uns 10 centímetres de costat.

Per aquest motiu, les cèl·lules multi cristal·lines són totalment quadrades, ja que provenen del tall de blocs de secció també quadrada. La seva dimensió esta entre 10 i 15 centímetres.

Un altre característica a tenir en compte és el color de les cèl·lules i de la coberta posterior. Aquest normalment acostuma a ser el color de la seva capa antireflexant. Aquesta capa té un gruix optimitzat, per que sigui mínima la reflexió en el rang de longituds d'ona de major rendiment de la cèl·lula. La variació del gruix fa que canviï el seu rang de longituds d'ona reflexa des i per tant el color de la cèl·lula, però també el seu rendiment. Com orientació adjuntem el següent gràfic.

Gràfic 1



GRÀFIC 1 : Rendiment d'un mòdul de silici multi cristal·lí en funció del color de les seves cèl·lules.

Font d'informació "La envoltante fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

Per un altre banda, el color de la coberta posterior es molt fàcil de canviar, ja que no afecta significativament al rendiment del mòdul. Per tant, podem buscar altres colors i contrastar-los amb el de les cèl·lules.

La transparència del mòdul és un fet que obre moltes possibilitats des de la integració arquitectònica al mateix temps que ratifica la seva condició d'elements multifuncionals en l'edificació. La transmitància de llum pot ser continua ó discontinua, en funció de la tecnologia.

La transmitància de llum pot modificar el comportament energètic de l'edifici, tant per permetre el pas de la llum natural al seu interior, com per l'afectació al "factor solar". Aquest és el percentatge d'energia que traspasa el mòdul en relació amb l'energia solar que rep.

Finalment, el número de cèl·lules i la seva disposició en el mòdul pot reduir-se per aconseguir una major transparència d'aquest. Igualment, la seva disposició pot alternar-se amb finalitats estètiques. No obstant, hem de tenir en compte que la supressió de cèl·lules en un mòdul redueix la seva potencia elèctrica en proporció directa a la reducció de les cèl·lules. Per exemple, un mòdul de 56 watts constituït per 54 cèl·lules redueix la seva potencia a 36 watts si en trèiem 21 de les seves cèl·lules.

03.3.2. Mòduls de silici cristal·lí en edificis.

Els mòduls de silici cristal·lí aconseguixen els rendiments de conversió més alts entre els productes comercials. Al voltant del 18% de l'energia que incideix pot convertir-se en electricitat. No obstant, cada vegada és més freqüent veure mòduls de silici multi cristal·lí en les façanes dels edificis. A més a més de la millora del seu rendiment i el seu menor preu, la raó que prolifera està en la seva vistositat i en una major versatilitat en les dimensions i aspecte de les cèl·lules.

Les possibilitats de disseny dels mòduls, a part de les descrites anteriorment, cal ressaltar que el grau de transparència s'aconsegueix fonamentalment variant el numero de cèl·lules del mòdul. No obstant, en aquets casos el dibuix de les ombres creat pel mòdul és discontinu, cosa que pot ser un inconvenient en algunes situacions (sales de lectura, despatxos). Una forma de suavitzar aquestes ombres consisteix en una coberta posterior transparent per una translúcida.

També existeixen mòduls de silici cristal·lí compostats de cèl·lules semitransparents. Un exemple de la firma Sunways, fabricat mitjançant una tecnologia làser aconseguix una transparència de les cèl·lules del 10% aconseguint un rendiment elèctric al voltant del 13%.

03.3.3. Mòduls de silici amorf en els edificis.

Tot i el seu menor rendiment de conversió fotovoltaica, el silici amorf té un gran potencial per la integració en edificis. Existeixen nombrosos exemples d'edificis amb façanes o cobertes a base de mòduls de silici amorf. Aquests poden fabricar-se en diferents dimensions i formes. A més a més també els podem fabricar a sobre de diferents substrats, com vidre, xapa metàl·lica, acer inoxidable, ceràmica o materials plàstics. A més a més, la influència de la temperatura en la potència generada per el mòdul es menor en aquesta tecnologia que no pas en la de silici cristal·lí.

Un altra característica important d'aquest tipus de mòduls es que e el procés de fabricació podem controlar fàcilment el seu gruix del material semiconductor, amb lo que s'aconsegueixen mòduls semitransparents de transmissió homogènia. Normalment uns valors superiors al 15% de transparència.

L'aspecte d'un mòdul de silici amorf es homogeni, amb tons que van des del marró fins al blau. La coberta frontal del vidre es pot substituir el material per un plàstic que permet la fabricació de mòduls més lleugers i flexibles que poden subministrar-se en rotllos.

03.3.4. Altres mòduls de làmina prima en edificis.

Els mòduls de làmina prima basats en materials policristal·lins son de fabricació més recent que els de silici amorf, aquest és el motiu pel qual no trobem tants exemples de integració en edificis. Els mòduls de tel·lur de cadmi (CdTe) i de seleniür de coure (CIS) tenen un aspecte homogeni, igual que els mòduls de silici amorf, tot i que amb tonalitats més fosques. Són mòduls pràcticament negres en els que quasi no destaquen les fines línies grises d'interconnexió entre les cèl·lules.

Per aconseguir una sensació de transparència, es poden fabricar mòduls de CIS sobre vidre amb zones de punts transparents, de major o menor densitat. A més a més podem influir en la seva superfície i de diferent color com anagrames o altres dibuixos. Altre opció és alternar bandes de CIS amb bandes de vidre transparent.

03.4. Els edificis fotovoltaics.

03.3.1. Introducció als edificis fotovoltaics.

FIGURA 8

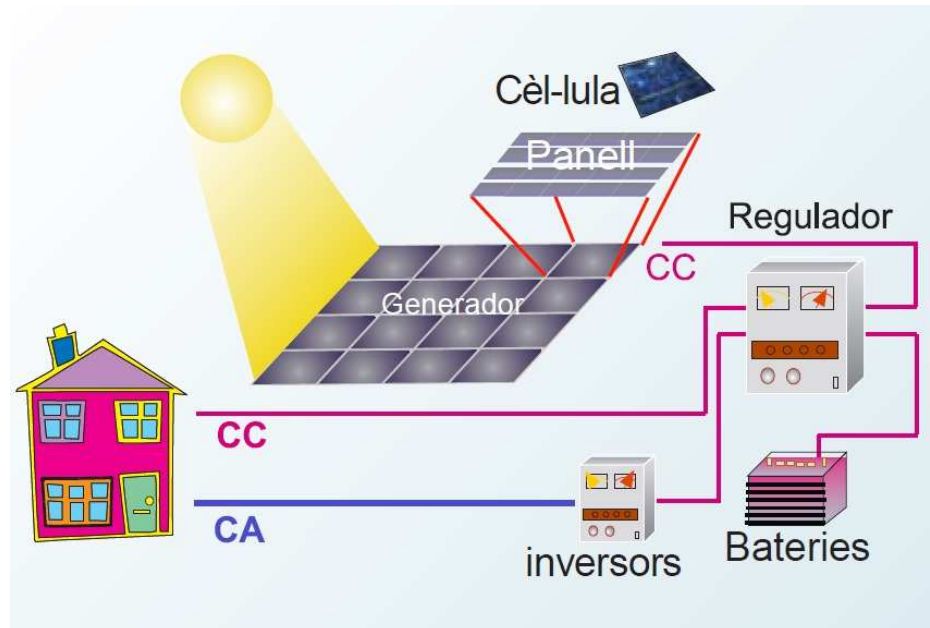


FIGURA 8 :Diagrama d'un edifici amb sistema fotovoltaic aïllat.

Font d'informació: Manual "Energía solar per a la nostra vida quotidiana" de IDAE
"Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía"

Els elements fonamentals d'un sistema fotovoltaic són els mòduls, però existeixen altres components que completen el sistema. La gran quantitat de sistemes fotovoltaics integrats en edificis estan connectats a la xarxa elèctrica. El gran potencial de la integració arquitectònica en els edificis es troba en les zones urbanes dels països desenvolupats, a on s'incentiva la connexió a xarxa dels sistemes

fotovoltaics mitjançant primes o subvencions. A més a més és on existeixen més possibilitats d'integrar els mòduls fotovoltaics des del punt de vista arquitectònic i estètic.

No obstant, existeixen bons exemples d'integració fotovoltaica en edificis no connectats a la xarxa elèctrica i ubicats en llocs rurals sense electrificar. Un bon exemple d'això és el prototip espanyol Magic Box, desenvolupat per l'Institut d'Energia Solar de l'Universitat Politècnica de Madrid. Aquests sistemes fotovoltaics autònoms, els components fonamentals són el generador, (format per un conjunt de mòduls més les proteccions pertinents) i un sistema d'acumulació de l'energia elèctrica o bateria. En cas de que fos precís també podem afegir un inversor autònom que transforma el corrent continu en corrent altern.

El canvi, és que els sistemes connectats a la xarxa no porten bateries, ja que l'energia generada és cedeix a la xarxa elèctrica local sense acumulació prèvia. Lo que si necessiten és un "inversor" o "ondulador" que transformi la corrent alterna en corrent continu dels mòduls. A més a més, a Espanya exigeixen la instal·lació de dos comptadors independents, un per el consum i l'altre per la injecció d'energia fotovoltaica a la xarxa.

A continuació fem una descripció dels principals components i característiques d'aquets sistemes:

03.4.2. El generador fotovoltaic.

El generador fotovoltaic acostuma a estar compostat per més d'un mòdul fotovoltaic, tot i que hi ha excepcions en algunes aplicacions de baixa potència, com els sistemes d'il·luminació o el mobiliari urbà. Diversos mòduls associats en sèrie i/o en paral·lel, constitueixen un panel fotovoltaic. Normalment, es procedeix associant en sèrie (filera), el numero de mòduls necessaris fins aconseguir el valor de tensió desitjat i posteriorment associant en paral·lel tantes fileres de mòduls com siguin necessàries fins abastir la intensitat desitjada.

Altres elements importants del sistema generador són els encarregats de les connexions elèctriques i les proteccions: cablejat, caixes de connexions, díodes de bloqueig, díodes de pas i fusibles. El rendiment d'un generador fotovoltaic es sempre inferior al de cada mòdul individual que lo conforma, degut a l'existència d'una sèrie de factors de pèrdues.

03.4.3. L'inversor.

L'inversor d'un sistema fotovoltaic connectat a la xarxa és un dispositiu electrònic de potència que transforma a corrent alterna el corrent continu que provee dels mòduls. Aquesta corrent alterna pot injectar-se en la xarxa elèctrica o consumir-se directament en el propi edifici. Existeixen diversos tipus d'inversors, però qualsevol d'aquets ha de complir amb les normes de seguretat i protecció de les persones, els equips i la xarxa elèctrica.

Les tres principals característiques que defineixen el comportament d'un inversor són:

- El rendiment, que es el quocient entre la potència activa que subministra l'inversor i la potència continua que rep. Els valors màxims del rendiment es situen entre 90-95%. El rendiment d'un inversor amb aïllament galvànic és una mica inferior que sense aquesta protecció. No hem d'oblidar la normativa que ho exigeix (RD 1663/2000)
- El seguiment del punt de màxima potència, estratègia de control amb la que l'inversor intenta ser constant amb el generador treballant en el punt de màxima potència. La finalitat és cercar el màxim aprofitament possible de l'energia produïda per els mòduls. La existència d'ombres pot dificultar aquest seguiment.
- La qualitat de la ona, aquesta ha de complir les exigències de la normativa. Per una banda, els valors de freqüència i tensió han de ser constants dintre d'uns límits. La distorsió harmònica total té també un límit màxim per la senyal de corrent i un altre per la senyal de tensió. El desfas entre aquestes senyals ha de ser tal factor de potència de l'ona estigui lo més propera a la unitat.

03.4.4. Paràmetres de comportament.

Amb la finalitat de poder avaluar el funcionament dels sistemes fotovoltaics i de comparar-los entre si, es defineixen a continuació una sèrie de paràmetres característics del comportament:

- Energia de referència: Irradiació solar rebuda en el pla del panel fotovoltaic, dividida per la irradiància de referència de 1000 watts per metre quadrat. S'expressa el número d'hores i se denomina també el "pic d'hores" durant un període de temps. Una irradiació diària de 4.200 watts-hora per metre quadrat (Wh/m²) sobre una superfície equival a 4,2 hores de pic en aquest dia.
- Productivitat del generador fotovoltaic durant un període de temps: Energia útil generada per el generador en aquest interval de temps per unitat de potencia instal·lada. Només es té en compte les pèrdues per el generador.
- Productivitat final del sistema fotovoltaic durant un període de temps (Final yield): És l'energia útil generada en aquest interval de temps per unitat de potencia instal·lada. Es té en compte les pèrdues en el sistema complet (inclòs el inversor).
- Rendiment característic del sistema fotovoltaic (Performance Ratio): És l'energia útil generada per un sistema fotovoltaic, dividida per la màxima teòrica. Aquesta última calculada tenint en compte només la irradiància rebuda per el generador fotovoltaic i la seva potencia.

Els factors de pèrdues que incideixen en els paràmetres de comportament d'un sistema fotovoltaic depenen fonamentalment de la idoneïtat del disseny. Des del punt de vista de la generació elèctrica, l'objectiu es reduir al mínim els factors de pèrdues amb la finalitat d'abastir al màxim l'energia i la seva màxima productivitat i el major rendiment global del sistema.

03.4.5. Fiabilitat dels edificis amb sistemes fotovoltaics.

Que manquin defectes o errades en els sistemes fotovoltaics integrats en edificis es una de les claus de l'èxit futur d'aquesta aplicació a gran escala. A partir de l'experiència en instal·lacions de diferents països en sistemes residencials amb potencies de entre 1 i 5 kilowatts, es dedueix que les errades dels sistemes fotovoltaics connectats a la xarxa han disminuït seguint una corba d'aprenentatge.

Els defectes o errades en els sistemes analitzats es poden produir en diferents fases del projecte: disseny, instal·lació i operació. Sense cap mena de dubte, un bon disseny ens ajuda notablement a millorar el rendiment d'un sistema fotovoltaic.

L'inversor és el principal motiu d'errada de les instal·lacions fotovoltaiques connectades a la xarxa, tot i que en alguns casos això es degut al mal funcionament de la xarxa elèctrica local. En qualsevol cas la millora en la fiabilitat dels inversors és notable en aquets últims anys, lo que ha reduït les

incidències d'errada. Per un altre banda els mòduls comercials estàndard han aconseguit una qualitat i fiabilitat molt elevades, amb lo que presenten índex molt baixos d'errada.

03.4.6. Seguretat dels edificis amb sistemes fotovoltaics.

la instal·lació fotovoltaica d'un edifici ha de complir la normativa vigent en quant a proteccions i seguretat, lo que garanteix la mancabilitat de riscos per les persones, els equips i la pròpia xarxa elèctrica. Ha de complir-se el reglament electrotècnic de baixa tensió i, en concret, les instruccions tècniques complementaries que són aplicables a una instal·lació elèctrica. A més a més aplicarem la normativa fotovoltaics (RD 1663/2000) sobre connexió d'instal·lacions fotovoltaiques a la xarxa de baixa tensió.

En el cas de que la xarxa es desconnectés del sistema per una averia o altre anomalia, es necessari que l'inversor deixi de funcionar, per evitar així lo que s'anomena en l'operació del sistema com a "mode illa", que no només pot danyar les càrregues de la instal·lació, sinó posar en perill al personal encarregat del manteniment de la xarxa. Per tant, quan saltin les proteccions i es desconnecti la xarxa, ha de saltar també les proteccions del sistema fotovoltaic.

També és recomanable que el lloc on es situï el inversor estigui aïllat de la resta de l'edificació i no sigui una zona de pas. Una bona solució per les cobertes fotovoltaiques es situar aquest inversor en un espai sota la coberta propera als panells fotovoltaics. A més a més, cal que aquest espai estigui ben aïllat de la humitat.

En els sistemes autònoms, la bateria és l'element més delicat en quant a seguretat i manteniment. Ha de reservar-se un espai ventilat a l'exterior per la ubicació de la bateria, ja que aquesta allibera hidrogen durant el cicle de càrrega. Per aquest motiu, han d'evitar-se la presència de xispes o flames en aquesta sala, que podrien ocasionar explosions. A més a més, es recomana instal·lar la bateria sobre una bancada per que estigui aïllada elèctricament del terra.

03.5. Criteris generals per a la generació fotovoltaica.

03.5.1. Introducció dels criteris de generació fotovoltaica.

Qualsevol superfície de l'envolvent de l'edifici que estigui lliure d'espais ombrejats i bé orientada pot ser accessible per contenir mòduls fotovoltaics. Des del punt de vista de la generació de l'energia, la posició òptima per els sistemes fotovoltaics connectats a la xarxa correspon a la orientació sud (en latituds nord), amb una inclinació d'uns quants graus (entre 5-10) per sota del valor de la latitud local. Per els sistemes integrats en edificis no sempre es possible comptar amb aquestes condicions, però si es recomanable que els mòduls captin com a mínim un 80% de la irradiació màxima anual local.

En el disseny dels sistemes fotovoltaics integrats en edificis entren en joc diversos factors que interactuen mútuament: La generació fotovoltaica, la funció, el disseny arquitectònic, el comportament tèrmic, la transmissió lluminosa dels mòduls i el cost. És important abastir un compromís entre tots ells, al mateix temps han de complir les exigències de seguretat que afecten a la instal·lació, tant des del punt de vista elèctric com l'arquitectònic.

A la vegada, aquets paràmetres de disseny estan determinats per altres variables, que són les que hem de conèixer i analitzar per trobar una solució òptima en cada cas d'estudi. Uns clars exemples d'això són la radiació solar local, la latitud, l'ús que tindrà l'edifici, l'entorn del mateix i la elecció d'un sistema fotovoltaic concret.

Existeixen programes informàtics de simulació i disseny de sistemes fotovoltaics en general o per a la integració en edificis en particular, aquets poden ser d'utilitat en la presa de decisions sobre el disseny d'aquets sistemes. No obstant, cal remarcar que existeixen altres factors, independentment del criteri personal de l'arquitecte o del propietari, això pot modificar substancialment la solució adoptada en un inici.

Convé remarcar que una bona integració arquitectònica dels mòduls en els edificis es la clau de l'èxit d'aquesta aplicació. L'ideal és incloure el sistema fotovoltaic ja en la fase de disseny de l'edifici, de manera que, els mòduls fotovoltaic substitueixin a altres elements constructius de l'envolvent i no els superposen sobre elements existents de l'edifici. En conseqüència, hem de valorar, no tant sols la producció fotovoltaica, sinó també la seva influència en el balanç tèrmic de l'edifici i el seu possible efecte d'il·luminació natural a l'interior. Entre les possibles aplicacions arquitectòniques dels mòduls integrats en l'edifici destaquen, entre d'altres, les associades a la coberta, façanes, voladís, claraboies i pèrgoles.

La potència generada per un mòdul fotovoltaic pot expressar-se com el producte de la irradiància per el seu rendiment nominal i, a més a més per un seguit de factors de pèrdues que modifiquen aquest valor ideal. En principi, els factors que afecten a la producció elèctrica no difereixen dels de qualsevol sistema fotovoltaic, tot i que la seva influència pot arribar a ser més significativa degut fonamentalment a les restriccions del tipus arquitectònic, que afecten a l'orientació, inclinació i ventilació dels mòduls, a més de l'existència d'altres condicionants com són les ombres (totals o parcials), la brutícia per falta d'accessibilitat.

A continuació exposem la importància de l'orientació i inclinació del mòdul en la irradiància que rep i, com a conseqüència, en la seva generació fotovoltaica. Després analitzarem la influència de cada factor de pèrdues en la producció elèctrica d'un sistema fotovoltaic integrat en un edifici.

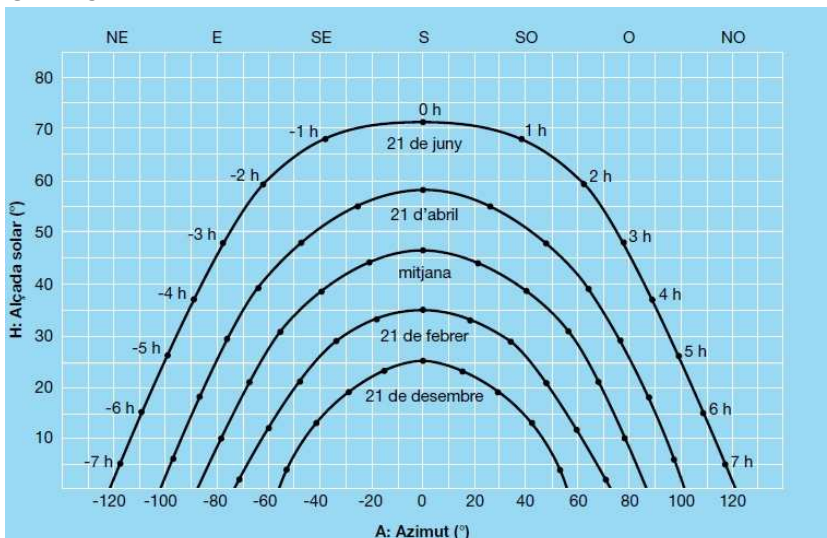
03.5.2. La irradiància: orientació i inclinació.

La irradiància és l'energia solar que rep el mòdul per unitat de temps i superfície. És tracta, del paràmetre més influent en la generació fotovoltaica, ja que, en una primera aproximació la potència del mòdul és proporcional a aquesta. La irradiància està determinada per la radiació solar local i per l'orientació/inclinació del mòdul. En termes anuals, l'energia total generada per un mòdul fotovoltaic es generalment màxima per una orientació sud i una inclinació entre 5 i 10 graus per sota de la latitud local. Anomenem "pèrdues anuals de irradiància" a les produïdes en aquest valor màxim de captació.

Les pèrdues anuals d'irradiància no acostumen a ser significatives si considerem petites variacions de la inclinació/orientació descrits anteriorment. El marge dels angles està determinat per cada clima i, sobre tot, per la latitud de la ubicació.

A continuació es representa un diagrama (figura 9) que representa les trajectòries del Sol a Catalunya. L'eix horitzontal representa la desviació angular (azimut) del mòdul respecte el sud (0°) i, per tant, la orientació 180° correspon al nord geogràfic. Les corbes representen valors constants de hores, segons indica el marge esquerre les pèrdues obtingudes amb la posició fixe òptima.

GRÀFIC 2



Aquest diagrama serveix d'orientació per localitats amb latituds similars a Catalunya.

GRÀFIC 2 : Diagrama de les trajectòries del Sol a Catalunya, en funció de l'angle azimutal i la inclinació, considerat un any meteorològic típic a Catalunya.

Font d'informació "Quadern pràctic nº04 d'energia solar fotovoltaica d'ICAEN "Institut Català d'Energia".

FIGURA 9

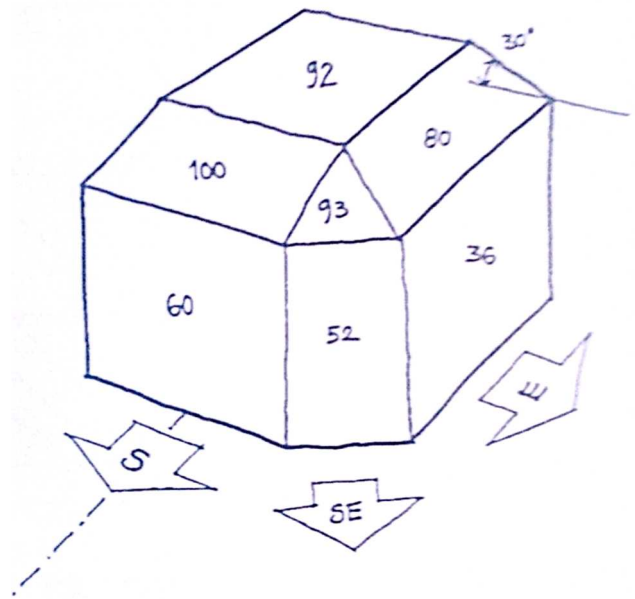


FIGURA 9 : Irradiació solar rebuda per les diferents superfícies de l'envoltant d'un edifici. Les seves unitats percentuals són relatives al 100% obtingut amb l'orientació i inclinació òptimes.

Font d'informació "La envoltant fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

Al següent figura 10 tenim les dades obtingudes per a l'estació de Barcelona i ens indica els valors mitjans de la radiació global diària ($\text{MJ} / \text{m}^2 \text{ dia}$), és a dir, la suma de tots els components de la radiació que rebria una superfície una superfície d' 1m^2 que estigués orientada al sud (Azimut = 0) en funció de la inclinació del seu mòdul, per cadascun dels mesos de l'any i, finalment, a la columna de la dreta el valor mitjà anual.

TAULA 2

Orientació: 0°													
Incli-nació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
0°	6,80	9,65	13,88	18,54	22,25	24,03	23,37	20,42	16,05	11,40	7,73	6,04	15,04
5°	7,70	10,56	14,72	19,15	22,58	24,21	23,63	20,93	16,85	12,32	8,66	6,94	15,71
10°	8,56	11,41	15,47	19,67	22,78	24,25	23,74	21,31	17,54	13,17	9,55	7,80	16,29
15°	9,37	12,19	16,14	20,07	22,84	24,13	23,70	21,59	18,13	13,95	10,38	8,61	16,78
20°	10,12	12,90	16,70	20,35	22,76	23,87	23,52	21,76	18,61	14,63	11,15	9,37	17,17
25°	10,81	13,52	17,17	20,51	22,60	23,48	23,24	21,80	18,98	15,23	11,85	10,07	17,46
30°	11,43	14,07	17,52	20,54	22,32	23,02	22,86	21,71	19,23	15,73	12,47	10,71	17,65
35°	11,97	14,52	17,77	20,45	21,90	22,43	22,34	21,48	19,36	16,13	13,01	11,28	17,73
40°	12,44	14,88	17,91	20,23	21,35	21,70	21,69	21,12	19,37	16,43	13,47	11,77	17,71
45°	12,83	15,15	17,94	19,98	20,67	20,84	20,90	20,63	19,26	16,63	13,85	12,19	17,58
50°	13,14	15,32	17,86	19,43	19,87	19,86	20,00	20,02	19,03	16,72	14,13	12,53	17,33
55°	13,36	15,40	17,67	18,85	18,95	18,77	18,97	19,29	18,68	16,71	14,32	12,78	16,98
60°	13,49	15,37	17,36	18,16	17,92	17,60	17,84	18,44	18,22	16,59	14,42	12,95	16,53
65°	13,53	15,25	16,95	17,36	16,83	16,41	16,71	17,48	17,65	16,36	14,42	13,04	16,00
70°	13,49	15,03	16,44	16,46	15,70	15,14	15,48	16,43	16,97	16,03	14,33	13,03	15,38
75°	13,35	14,72	15,83	15,47	14,48	13,78	14,18	15,35	16,19	15,60	14,14	12,94	14,67
80°	13,13	14,31	15,12	14,41	13,81	12,36	12,80	14,17	15,31	15,08	13,86	12,77	13,87
85°	12,82	13,81	14,32	13,29	11,82	10,93	11,35	12,93	14,34	14,45	13,50	12,51	13,00
90°	12,43	13,23	13,44	12,11	10,41	9,57	9,99	11,62	13,30	13,74	13,04	12,16	12,08

TAULA 2 : Radiació global anual sobre superfícies inclinades ($\text{MJ} / \text{m}^2 \text{ dia}$). Estació: Barcelona

Font d'informació: "Quadern pràctic nº04 d'energia solar fotovoltaica" de ICAEN "Institut Català d'Energia"

Per tant, podem observar que en les cobertes i els elements d'ombres (marquesines, pèrgoles,...) amb orientació sud i una inclinació de 10° inferior a la latitud aconseguirien el màxim rendiment solar al mes de Juny amb $24,25 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ dia}$. És a dir, la màxima efectivitat en la captació de la radiació solar local i, per tant, la més alta generació elèctrica a termes anuals. A més a més, hi han destacats quan tindrem aquesta radiació mínima al mes de Desembre amb 50° i 65°.

03.5.2.1. La constant solar.

La potència de la radiació solar rebuda sobre una unitat de superfície (m^2), sobre un pla tangent a l'esfera imaginària formada per la capa externa de l'atmosfera, s'anomena constant solar. El valor d'aquesta constant és de: 1.353 W/m^2 .

Encara que aquest valor s'anomena "constant solar", no és un valor fix, sinó que varia aproximadament $\pm 3\%$ en funció de les variacions de la distància Sol-Terra durant l'any.

L'òrbita terrestre

La Terra gira al voltant del Sol formant una el·líptica en la qual el Sol és el focus, amb una separació màxima el 21 de juny (afeli) i una distància mínima el 21 de desembre (periheli), mentre que la distància mitjana entre els dos astres (UA) és de $149.600.000 \text{ km}$.

D'altra banda, la Terra gira sobre un eix imaginari que està inclinat $23^\circ 30'$ respecte del pla de l'eclíptica (pla de l'òrbita terrestre al voltant del Sol) o sigui que l'eix de la Terra no és perpendicular a la seva òrbita. La ruta aparent del Sol a través del cel porta el nom d'eclíptica.

FIGURA 10

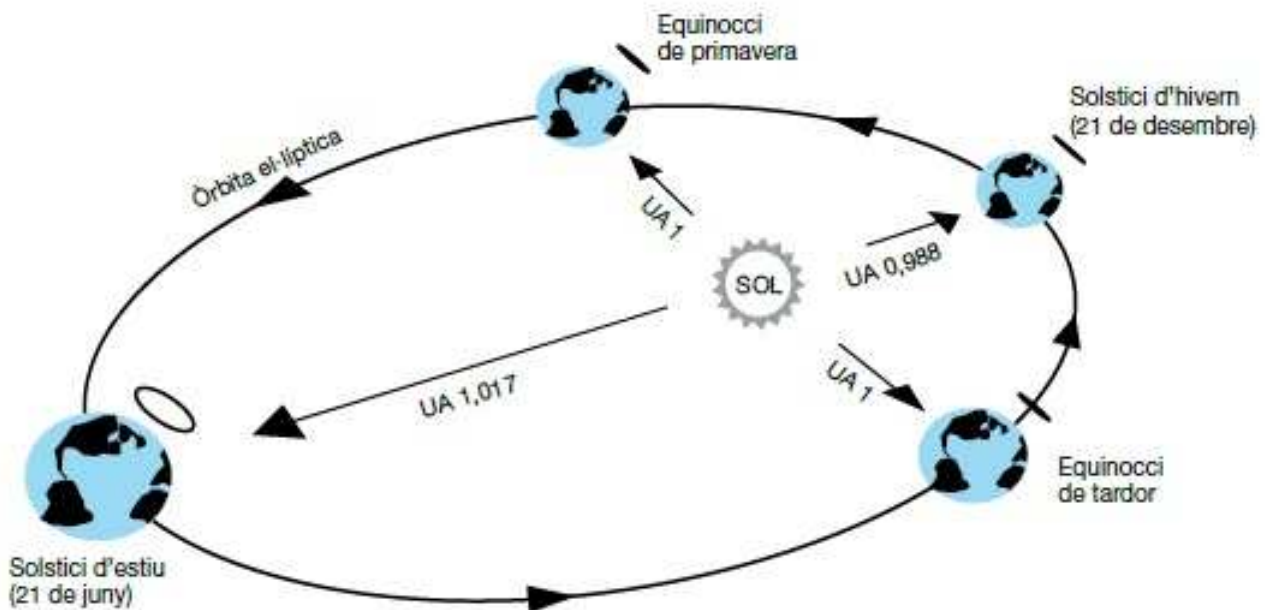


FIGURA 10 : Representació gràfica del desplaçament de la Terra al voltant del Sol.

Font d'informació: "Quadern pràctic nº04 d'energia solar fotovoltaica" de ICAEN "Institut Català d'Energia"

Radiació solar incident en la superfície de la Terra.

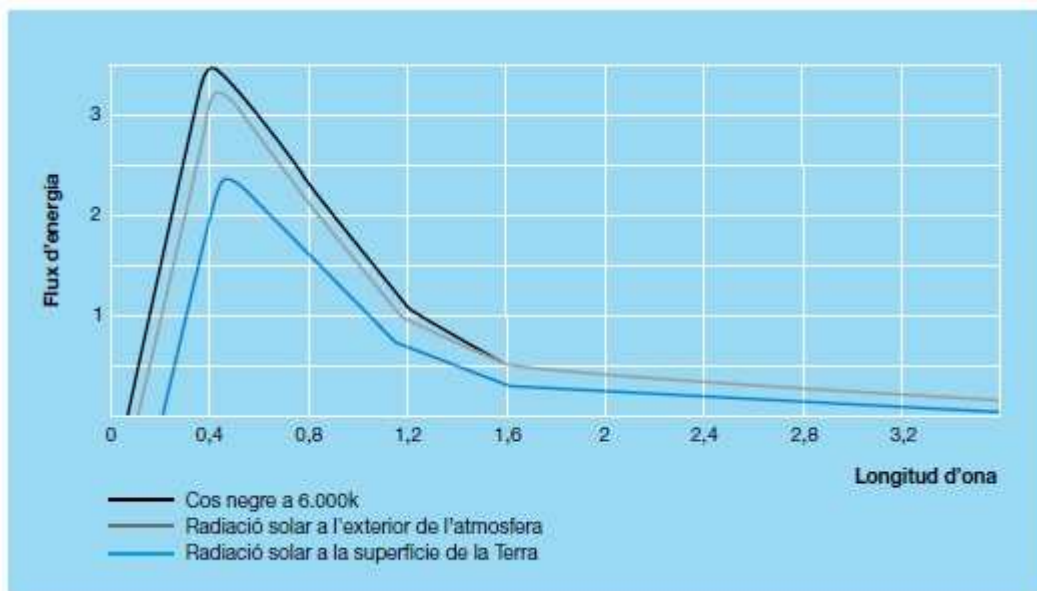
La radiació solar és força constant abans d'entrar a l'atmosfera; en canvi, un cop ha travessat la franja d'aire que ens envolta, la radiació solar experimenta tot un seguit de processos d'interacció

amb la matèria (gasos, pols en suspensió, vapor d'aigua, etc.) que forma l'atmosfera. En aquest procés, la radiació solar s'altera a causa dels fenòmens físics següents:

- Reflexió: una part de la radiació no penetra, sinó que es desvia cap a l'exterior com si es tractés d'un mirall.
- Transmissió: una part de la radiació travessa l'atmosfera terrestre, de manera que aquesta radiació pot patir més o menys canvis de direcció i/o velocitat (refracció).
- Absorció: una part de la radiació es absorbeix per l'atmosfera, cosa que produeix un escalfament per l'impacte sobre els àtoms que componen l'atmosfera terrestre.

A causa dels fenòmens descrits anteriorment, només una part de l'energia disponible es podrà aprofitar a nivell del mar. Aquest filtrat es dona no només en quantitat, sinó també en composició: l'energia que incideix, es distribueix al llarg de les diferents bandes de radiació, tal com podem observar en el gràfic següent.

GRÀFIC 3



GRÀFIC 3 : Representació gràfica del desplaçament de la Terra al voltant del Sol.

Font d'informació: "Quadern pràctic nº04 d'energia solar fotovoltaica" de ICAEN "Institut Català d'Energia"

D'altra banda, la radiació solar incident en la superfície de la Terra està condicionada pels factors que descriurem a continuació.

03.5.2.2. Factor de localització geogràfica.

La radiació incident variarà en funció de la localització geogràfica. Com més allunyats de l'equador ens situem, menys nivell de radiació incident per unitat de superfície (W/m^2) tindrem.

Això es a causa, principalment, de l'angle d'incidència de la radiació sobre la Terra, que es menys perpendicular al Sol i, alhora, la radiació solar ha de travessar més atmosfera, més "massa d'aire", que actua de filtre de la radiació solar. A Catalunya tenim uns 1000 W / m² (HSP)

La radiació solar incident pot variar fins a un 30% per aquest concepte.

L'alçada respecte al nivell del mar serà un altre dels factors que afectara directament la quantitat de radiació incident. L'espessor d'atmosfera que ha de travessar la radiació solar varia en funció de la distància que hi ha entre el punt d'ubicació i de l'estratosfera.

FIGURA 11

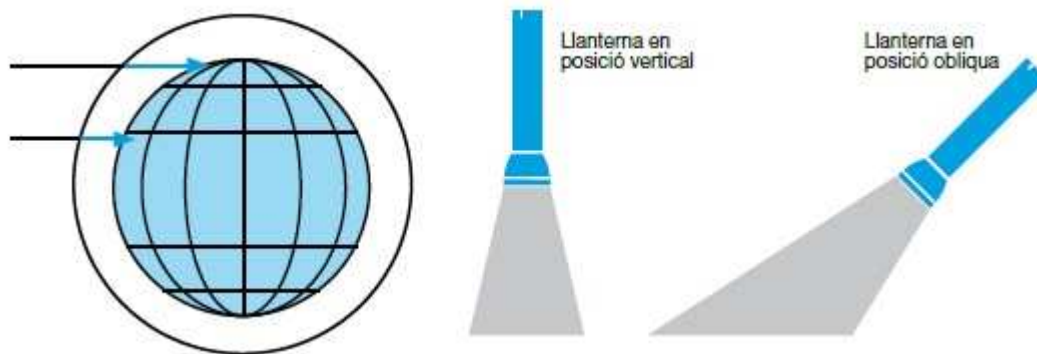


FIGURA 11 : Amb una il·luminació obliqua, s'ocupa més superfície d'il·luminació, però incideix menys llum per unitat de superfície. Passa el mateix amb la radiació solar: com més ens anyullem de l'Equador menys perpendicular és la radiació solar i, per tant, hi ha menys energia incident per unitat de superfície (W / m²)

Font d'informació: "Quadern pràctic nº04 d'energia solar fotovoltaica" de ICAEN "Institut Català d'Energia"

TAULA 3

Alçada sobre el nivell del mar (m)	0	900	1.500	2.250
Intensitat màxima de radiació (W/m ²)	950	1.050	1.100	1.150

TAULA 3 : Variació de la radiació en funció de l'alçada sobre el nivell del mar.

Font d'informació: "Quadern pràctic nº04 d'energia solar fotovoltaica" de ICAEN "Institut Català d'Energia"

03.5.2.3. Factor estacional.

Les estacions de l'any venen determinades per la declinació de la Terra respecte al Sol, cosa que incideix directament sobre el temps d'exposició diària a la radiació solar, tal com podem observar a la figura 12.

Com a conseqüència d'aquesta inclinació, a cada punt de l'òrbita terrestre variarà la geometria de la situació d'un emplaçament respecte del Sol. Aquest fet fa variar l'angle d'incidència i el temps d'exposició a la radiació solar, que dona pas a les estacions meteorològiques, que són oposades en dates entre els dos hemisferis perquè la radiació solar hi incideix amb angles diferents.

FIGURA 12

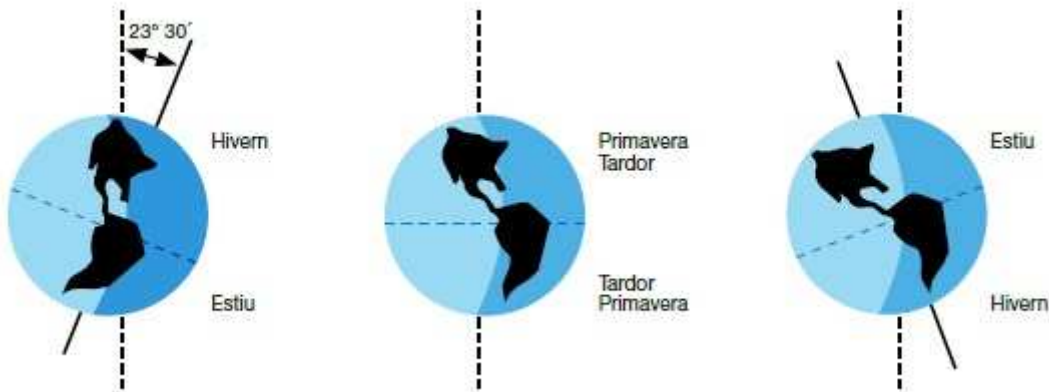


FIGURA 12 : Representació gràfica de la declinació de la Terra en funció de l'estació de l'any.

Font d'informació: "Quadern pràctic nº04 d'energia solar fotovoltaica" de ICAEN "Institut Català d'Energia"

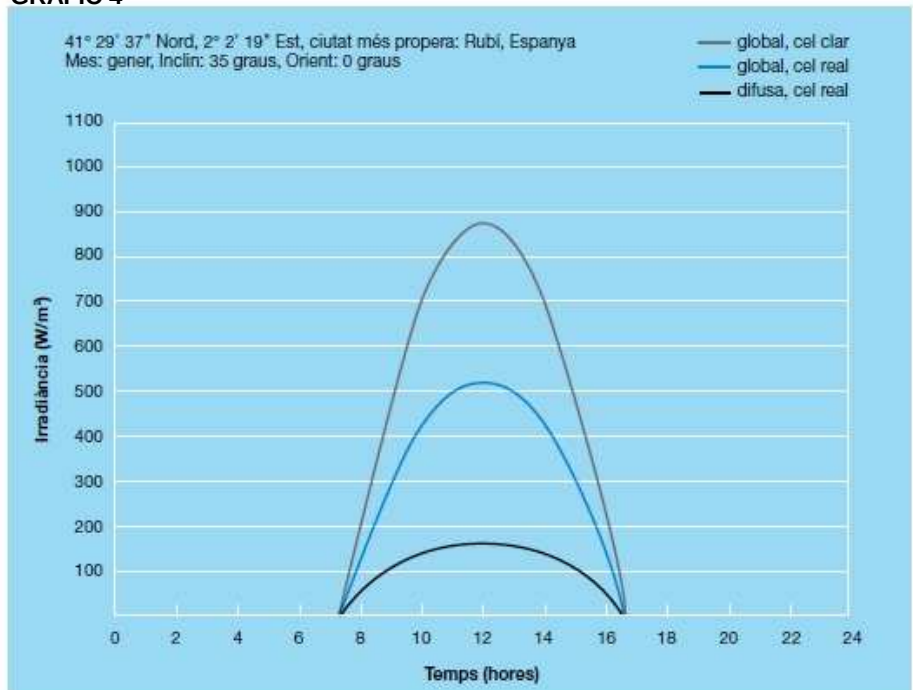
03.5.2.4. Factor climatològic.

De l'energia solar que travessa l'atmosfera i que incideix sobre l'escorça de la Terra, una part principal arriba en forma directa, és a dir, que no pateix canvis de dispersió en la direcció. La resta d'energia arriba de manera difusa o dispersa. Aquesta última correspon als raigs desviats per les gotes de vapor d'aigua en suspensió (núvols).

Com més ennuvolat es el dia, més important és la radiació difusa; en canvi, com més clar, més participació hi ha de la radiació directa.

La climatologia específica de la localització establerta serà el factor determinant de la radiació solar incident, ja que els elements climatològics com els núvols o les boires actuen com un intens filtre de la radiació solar que la redueix d'una manera important.

GRÀFIC 4



GRÀFIC 4 : Representació gràfica de la diferència d'intensitat de radiació en funció de la climatologia.

Font d'informació: "Quadern pràctic nº04 d'energia solar fotovoltaica" de ICAEN "Institut Català d'Energia"

TAULA 4

	Radiació global (W/m²)	Percentatge de difusa (%)
Cel clar	750 - 1.000	10 - 20
Parcialment núvol	200 - 500	20 - 90
Tapat	50 - 150	90 - 100

TAULA 4 : Influència del factor climatològic.

Font d'informació: "Quadern pràctic nº04 d'energia solar fotovoltaica" de ICAEN "Institut Català d'Energia"

03.5.2.5. Factors de pèrdues.

03.5.2.5.1. Temperatura.

Com a terme mig, un mòdul fotovoltaic de silici cristal·lí perd un 4% de potència cada 10° centígrads que augmenti la temperatura. En el cas dels mòduls de silici amorf, aquest factor es redueix a la meitat (2%). En general, aquesta dependència està en funció de la tecnologia (com expliquem a la taula 5 i al gràfic 5). Els mòduls que millor comportament tenen a les altes temperatures són els de silici amorf, això ens indica una avantatge per la seva integració en edificis.

Tot i que, es de segon ordre la relació amb la irradiància, el control de la temperatura constitueix un factor important en els sistemes integrats en els edificis. La ventilació de la cara posterior del mòdul, per tant, es un requeriment fonamental que depèn d'un bon disseny del tancament fotovoltaic. Una bona ventilació disminueix la temperatura de treball de les cèl·lules i, per tant, millora el seu rendiment. Una càmera d'aire ventilada d'uns 10 centímetres de gruix es suficient en la majoria dels casos.

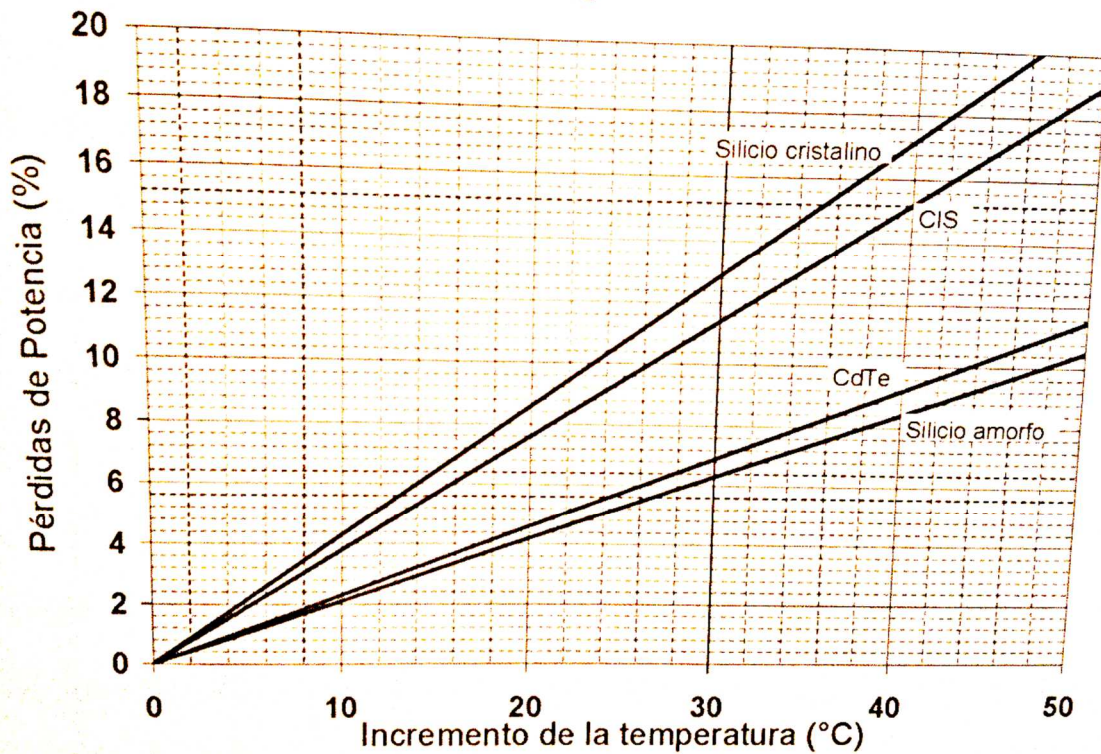
Taula 5

Tecnologia fotovoltaica	Disminució de la potència per increment de temperatura
Silici cristal·lí	0,43 % / C°
Silici amorf	0,21 % / C°
CIS	0,38 % / C°
CdTe	0,23 % / C°

TAULA 5 : Efecte de l'increment de temperatura en la potència dels mòduls fotovoltaics.

Font d'informació "La envoltant fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

GRÀFIC 5



GRÀFIC 5: Variació lineal de les pèrdues de potència de mòduls de diferents tecnologies, en funció de la variació de temperatura de les seves cèl·lules.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

Hem de tenir en compte que la temperatura no només afecta als mòduls fotovoltaics. En el cas d'utilitzar inversors modulars interaccionats en els propis mòduls (al conjunt mòdul + inversor l'anomenem "mòdul ACS") la vida mitja d'aquets és molt dependent de la temperatura a la que treballen. També sabem, que en el cas de no ser ventilat, els inversors tenen una vida útil menor que si treballen a una zona protegida del sol i totalment ventilada.

03.5.2.5.2. Dispersió o disparitat.

Les pèrdues per dispersió són les que estan ocasionades per connectar entre si diferents mòduls amb diferents característiques elèctriques (valors de tensió i/o corrent). La tensió resultant d'associar diferents mòduls en paral·lel és la del mòdul amb menor tensió. Anàlogament, al connectar més d'un mòdul en sèrie (que és lo més habitual), la intensitat del corrent final és igual a la menor que subministra cada mòdul per separat.

Aquestes pèrdues són en la majoria evitables. Per suposat, una mesura obvia és considerar el connectar tots els mòduls del mateix tipus entre si. Però, en mesura de lo possible convé tenir

amidades abans de la seva instal·lació les corbes característiques de cadascun d'ells. En realitat, els fabricants poden subministrar-nos mòduls iguals amb diferències al voltant del 10% (toleràncies de +/- 5%) en les seves característiques elèctriques. Amb aquets resultats classificarem els mòduls en funció del seus valors de corrent en el punt de màxima potència. Aquesta operació pot suposar una reducció de les pèrdues de, com a mínim, un terç en relació amb les que obtindríem sense una selecció prèvia. Com exemple, si considerem una sèrie de deu mòduls, les pèrdues per disparitat passen del 6 al 2%. Aquesta reducció relativa es encara més superior si augmentem el número de mòduls connectats.

A més a més, en els sistemes integrats en edificis les condicions d'orientació, temperatura i ombrejat poden afectar de forma diferent als diferents mòduls una vegada instal·lats. Es coneixen casos en els que aquesta particularitat no s'ha tingut en compte i s'han connectat en sèrie les fileres de mòduls orientats de diferent forma, la qual cosa ocasiona pèrdues per disparitat. Per evitar-les hem de dividir el sistema fotovoltaic en fileres (cadascuna formant un subsistema) i connectar cadascuna d'aquestes fileres a un inversor diferent.

Els mòduls del tipus AC eviten per complet les pèrdues per dispersió o disparitat, tot i que resulten amb menys vida útil degut a les extremes condicions de treball a les que estan sotmesos habitualment. En realitat, aquets dispositius presenten més inconvenients que avantatges, ja que, augmenten les probabilitats d'errades i no sempre són de fàcil supervisió i reposició, especialment els mòduls que tinguin un difícil accés. Per aquest motiu els estan deixant de fabricar.

03.5.2.5.3. Cablejat i connexions.

Les pèrdues pel cablejat han de reduir-se al mínim possible, emprant cables de secció adequada i reduint, en mesura de lo possible, les distàncies entre el generador i el sistema de condicionament de potència. Per exemple, en edificis amb cobertes fotovoltaïques, es recomanable situar l'inversor en un sota coberta o alguna zona independent a prop del sistema. Per un altre banda, les pèrdues de connexions son habitualment mes freqüents de lo que desitjaríem, això ho podem evitar, en gran part, realitzant correctes contactes i la utilització de caixes de connexió estanques que impedeixen la corrosió dels terminals. Uns rangs acceptables per les caigudes de tensió són entre 1,5-2% en la part continua i del 0,5-1% en la part alterna.

03.5.2.5.4. Brutícia.

La brutícia superficial dels mòduls és un altre motiu de pèrdua, en gran mesura, es pot evitar. En el cas de que l'aigua de la pluja no sigui suficient per netejar la superfície (amb una inclinació del mòdul mínima del 10°) es recomana que els mòduls estiguin accessibles per poder realitzar una neteja periòdica.

La brutícia superficial no només ocasiona la reducció de la transmitància de la llum a l'interior del mòdul (7-8%), sinó que a més a més augmenta les pèrdues per reflexió per una incidència no perpendicular.

Els climes àrids o alguns factors ambientals (com partícules en suspensió per proximitat de fàbriques, vies del tren,...) poden generar graus de brutícia molt significatius en la superfície dels mòduls. Aquests efectes es veuen augmentats en els mòduls de vidre amb superfície texturitzada, ja que són superfícies que retenen la brutícia. També és important destacar que la brutícia tendeix a acumular-se a prop del marc inferior del mòdul, la qual cosa ocasiona un ombrejat parcial de les cèl·lules properes al cantell.

03.5.2.5.5. Ombrejat.

Degut a la possible existència d'altres elements constructius propers als mòduls, inclosos els edificis mitjaners, l'ombrejat acostuma a ser més crític en els sistemes fotovoltaics integrats en els edificis que en d'altres aplicacions. Per tant, és requereix un esforç addicional per evitar aquest ombrejat sobre els mòduls.

En cas de que no fos possible evitar petites ombres temporals, com a mínim si hem de procurar que sigui una filera la que estigui afectada i, en tot cas, assegurar-se d'utilitzar mòduls amb díodes de pas. Si no, una petita ombra que afecta a una sola cèl·lula d'un mòdul podria reduir dràsticament el corrent que aquest genera i, per tant, la filada de mòduls connectats en sèrie. Un ombrejat pertinaç d'una de les cèl·lules podria provocar l'efecte que es coneix amb el nom de "efecte de punt escalfat" o "efecte illa". Aquest escalfament excessiu es produeix per que la cèl·lula, al estar ombrejada, dissipa la potencia que genera la resta de cèl·lules amb les que esta connectades en sèrie.

A lo esmentat anteriorment convé recordar que, en el disseny dels mòduls per l'edifici, ha de mantenir una superfície en els perímetres del tancament lliure de cèl·lules, amb un ample que concordi amb el de l'estructura de suport o dels perfils que s'utilitzin en cada cas, de manera que aquesta no faci ombres parcials a determinades hores del dia.

L'existència d'ombres temporals pot influir també en el funcionament del inversor i com a conseqüència, en el rendiment global del sistema. L'estratègia de seguiment del punt màxim de potencia pot no saber gestionar bé aquestes ombres temporals i ocasionar que el sistema funcioni lluny de el seu rendiment òptim.

Es recomanable fer un us d'algun mètode d'estimació de les ombres sobre els mòduls al llarg d'un any. Per això existeixen nombrosos estris de càlcul que permeten determinar l'horitzó vist des d'una superfície determinada, tot i que requereixen la realització prèvia d'algun tipus d'aixecament

topogràfic de l'edifici en qüestió. Un mètode senzill per detectar el diferent tipus d'ombres és l'explicat a continuació en funció de la ubicació de les ombres.

Ombres properes

Per tal d'avaluar la incidència d'ombres d'obstacles pròxims, s'observarà l'entorn pròxim comprès en la franja est-oest, en que no hi ha d'haver cap obstacle que pugui produir ombres sobre els panells solars per un període mínim de 4 hores de sol entorn al migdia del solstici d'hivern.

Per tal de garantir-ho, els panells s'hauran d'instal·lar a una distància mínima dels obstacles propers, determinada per l'expressió següent:

$$d = (h / \tan H_{\text{solar}}) \cdot \cos A_{\text{solar}}$$

En què:

d → És la distància mínima entre l'obstacle i el panel

h → És l'alçada de l'obstacle

tan H solar → és la tangent de l'alçada solar en el mes més desfavorable (desembre) a la nostra latitud.

cos h solar → És el cosinus de l'azimut solar en el mes més desfavorable (desembre) a les 10 h solar.

FIGURA 13

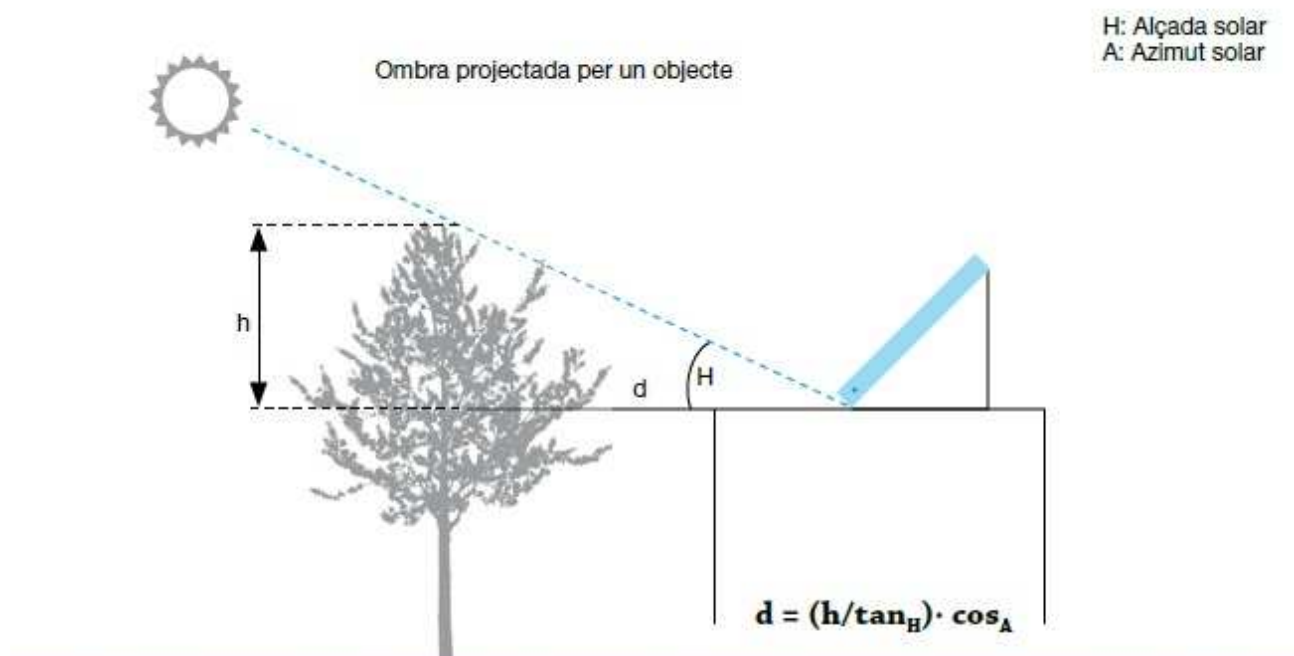


FIGURA 13: Representació gràfica dels paràmetres de càlcul de l'ombra.

Font d'informació: Quadern Pràctic nº04 de ICAEN "Institut Català d'Energia"

Podem simplificar l'aplicació d'aquesta expressió amb el que s'anomena factor K i que a Catalunya és igual a:

$$(1 / \tan 19^\circ) \cdot \cos 29^\circ = 2,54$$

Amb aquest resultat podem establir doncs que la distància (d) de l'obstacle ha de ser igual o superior a la resultant de multiplicar 2,54 (a Catalunya) per l'alçada (h) de l'obstacle que ens sobrepassi.

Ombres llunyanes

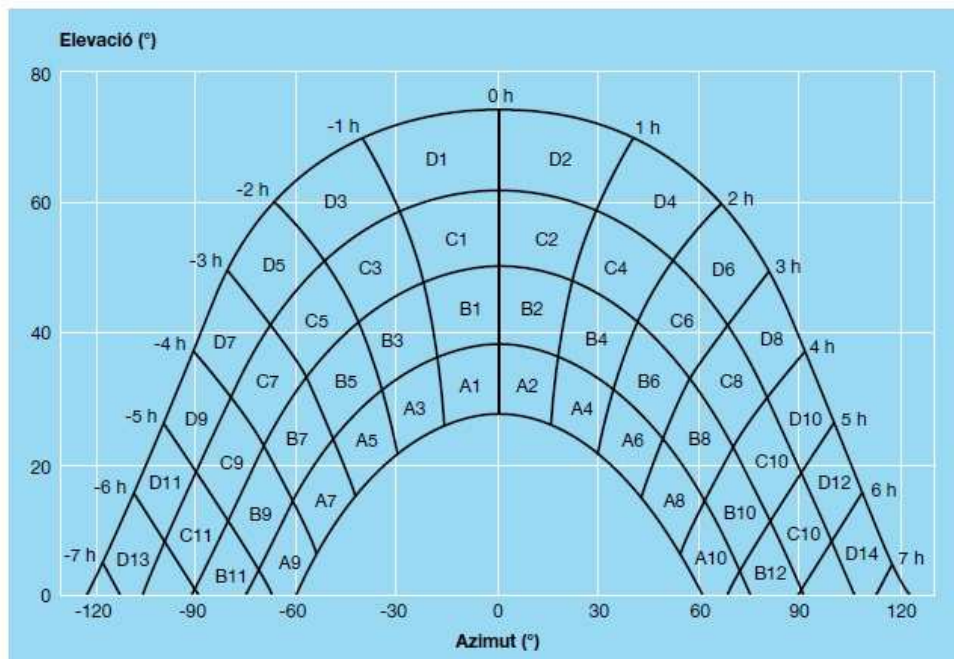
El fet de conèixer com pot afectar el relleu del paisatge a una instal·lació solar pot ser clau a l'hora de decidir aspectes tan importants com el muntatge o la inclinació dels panells per tal d'aprofitar els mesos d'insolació directa o la mateixa ubicació en solars amb diferents possibilitats.

Per tal de conèixer si durant l'any algun element de l'entorn més o menys llunya afectarà la insolació del camp de captació, caldrà conèixer l'evolució de les trajectòries que descriu el Sol al llarg dels diferents mesos de l'any.

Aquestes trajectòries es poden consultar en diferents documents de referència. També la majoria dels programes de càlcul d'energia solar basats en models de simulació tenen eines de càlcul per a dibuixar-les i/o representar-les.

El CTE (HE 5 apartat 3.6) facilita l'àbac, representat a la figura 14., per a l'estimació d'afectació d'ombres llunyanes. En aquest àbac hi ha representades les alçades solars (expressades com a angles d'elevació) en l'eix vertical i l'azimut en l'eix horitzontal.

GRÀFIC 6



GRÀFIC 6: Àbac representatiu de l'arc solar, inclòs al CTE HE 5.

Font d'informació: Quadern Pràctic nº04 de ICAEN "Institut Català d'Energia"

03.5.2.5.6. Reflexió.

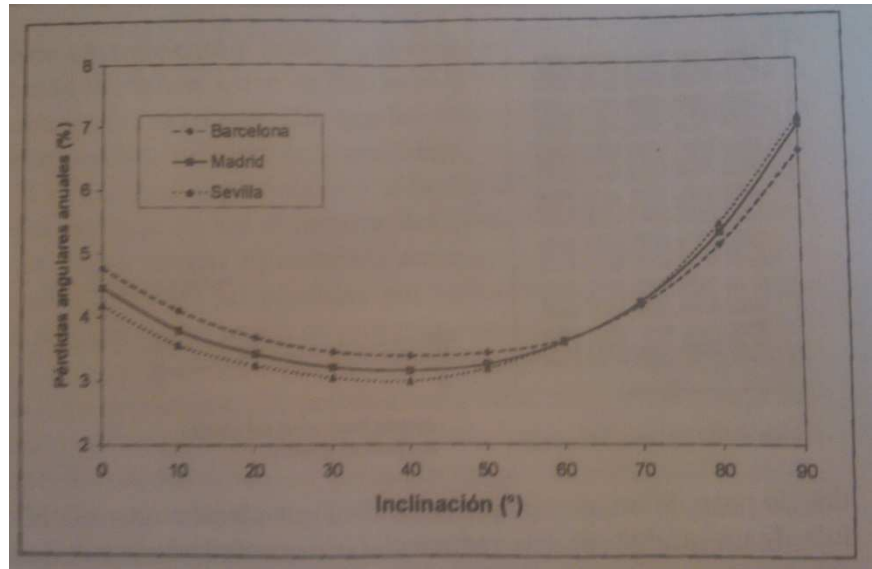
Les pèrdues angulars per reflexió en els mòduls fotovoltaics, referides als valors de referència sota incidència normal de la radiació, venen determinats principalment per l'angle de la incidència de la radiació directa, per tant la inclinació del mòdul com la latitud local, l'hora solar i el dia de l'any són els factors més influents.

Aquestes pèrdues poden arribar a ser especialment significatives a aplicacions arquitectòniques en les que la inclinació i l'orientació s'allunyin dels seus valors ideals des del punt de vista de la generació elèctrica, per als

que les pèrdues per reflexió són mínimes. En una primera aproximació, les pèrdues angulars a termes anuals tenen un mínim proper al 3%, que s'aconsegueix amb una inclinació d'uns quants graus per sota de la latitud i l'orientació sud. Per el contrari, els valors màxims (del 6 i el 7%) s'obtenen a Espanya per aquesta mateixa orientació, però en façanes verticals. La figura 13 reflecteix les pèrdues angulars anuals calculades per a tres localitats espanyoles amb latitud i climes diferents.

També la brutícia superficial augmenta les pèrdues

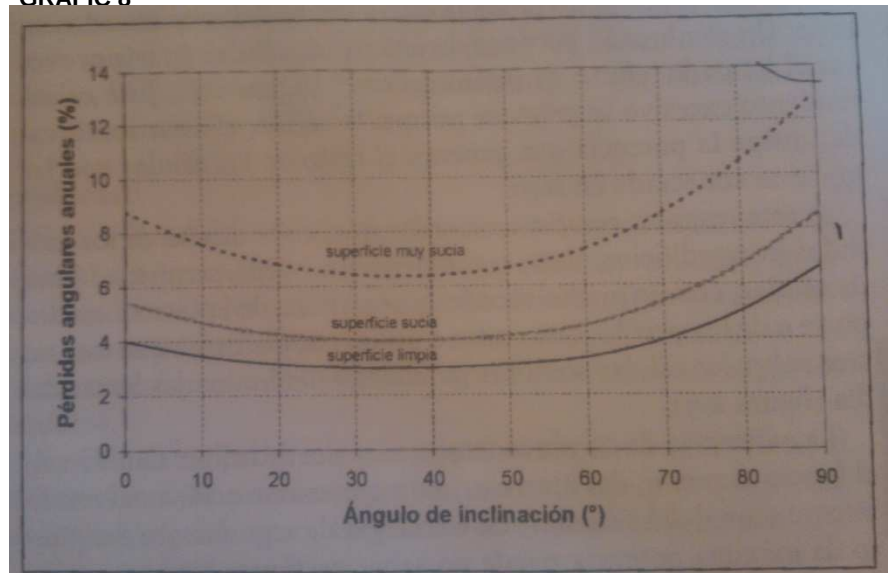
GRÀFIC 7



GRÀFIC 7 : Exemple de càlcul de les pèrdues angulars anuals per el mòdul de silici monocristal·lí orientat al sud a tres localitats espanyoles diferents.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

GRÀFIC 8



GRÀFIC 8: pèrdues angulars anuals per el mòdul de silici monocristal·lí, calculades a Madrid, representades en funció de l'angle d'inclinació del mòdul. Es compara a efecte de la brutícia.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

angulars. Un mòdul situat en un ambient urbà i amb un clima sec que no es netegi amb certa periodicitat pot arribar a acumular quantitats substancials de brutícia en la seva superfície i fer que les pèrdues angulars arribin fins i tot a duplicar les que tindria amb una superfície neta, representat en el gràfic.

03.5.2.5.7. Espectre de radicació.

Les cèl·lules i els mòduls fotovoltaics són espectralment selectius, això significa que el seu comportament està influït per la distribució en longituds d'ona de la radiació solar (espectre solar). Les pèrdues espectrals es calculen prenent com a referència la corrent fotogen errada amb un espectre solar estàndard considerat en els procediments de correcció de les corbes elèctriques característiques.

Les pèrdues espectrals anuals de distintes localitats representatives de Espanya varien en funció de la inclinació i l'orientació del mòdul (orientació sud, entre 1 i el 2,5% per a mòduls de silici cristal·lí i fins un 5% el mòduls de silici amorf). Els valors màxims que s'abasteixen amb inclinacions d'uns 20° per sobre de la latitud.

En tot cas, al marge de l'actuació del projectista és petit amb respecte a aquest valor de pèrdues, que està sobre tot determinat pel clima local, amb lo que no es considerarà com a criteri de disseny.

03.6. DISSENY DE LA PELL DE L'EDIFICI.

03.6.1. Disseny del sistema fotovoltaic.

Fins fa relativament poc temps, els mòduls fotovoltaics s'han dissenyat amb un únic objectiu: la generació d'electricitat a partir de l'energia solar. El sistema de mòduls o panells fotovoltaics era un nou estri en el seu moment, no benvingut, que acostumava a acabar en les cobertes dels edificis, totalment aliè al concepte de disseny de l'arquitecte. A més a més, els costos es duplicaven: el revestiment de la façana es feia al complet i després es muntava el sistema fotovoltaic com una façana superposada.

No va ser fins mitjans de l'any 1990, quan els arquitectes i l'indústria del moment van trobar una base comú per integrar de manera efectiva els mòduls fotovoltaics en els tancaments de les façanes. El primer pas, per una integració efectiva es donar-se compte de que quasi tots els edificis utilitzen les finestres com font d'energia passiva (que proporciona llum a la tardor i guanys d'escalfor a l'hivern). Convertir les superfícies opaques dels edificis (façanes, cobertes o para-sols) en productors actius d'electricitat, integrant en aquets panells fotovoltaics, això vol dir que forma part del mateix procés de disseny que fa, per exemple, les obertures en una façana per aconseguir il·luminació i ventilació.

A termes constructius, aquesta nova missió dels elements fotovoltaics significa que la façana fotovoltaica integrada té que fer el mateix paper que la façana tradicional o els elements de coberta dels quals estan compostats. Entre aquets requeriments estan el color, la imatge i les dimensions dels elements que componen el tancament, també la impermeabilitat, l'estabilitat, la resistència a les càrregues del vent, la resistència al foc, la durabilitat i el manteniment, a més a més la seguretat elèctrica durant la seva construcció i una vegada ja instal·lat i finalment el cost.

Si volem que els panells fotovoltaics compleixin amb aquets nous requeriments tal i com els antics materials que conformava el tancament, no podem deixar de banda les exigències que hem anomenat anteriorment, com l'orientació i la inclinació, evitar ombres i la aportació d'escalfor i ventilació. Per a poder donar resposta a ambdós tipus de requeriments (els de la construcció i els de la producció energètica) és fonamental que l'opció fotovoltaica es discuteixi des d'un principi en el procés de disseny de l'edifici. L'arquitecte decideix el grau d'exposició exterior del sistema fotovoltaic, si aquest vol convertir-se en un element característic de la façana o si es preferible que només constitueixi una part més discreta d'aquesta. Que un sistema fotovoltaic sigui integrat no vol dir que haguí d'alterar radicalment la imatge de l'edifici.

És poden agafar aquestes diferents aptituds de disseny:

- Els panells es situen de forma invisible, per exemple en coberta. Aquesta pot ser una bona opció si estem actuant en un edifici amb valor històric o patrimonial.
- Els panells es sobreposa sobre el disseny. En aquest cas seria un seguit de para-sols col·locats sobre les obertures de l'edifici o sobre murs tipus trombe per la recirculació de l'aire interior i, per tant el clima.
- El sistema fotovoltaic que aporta valor afegit a la imatge arquitectònica de l'edifici. Està integrat totalment en el disseny de l'edifici, però sense alterar la imatge del projecte.
- El sistema fotovoltaic determina la imatge arquitectònica. En aquest cas fan un paper rellevant en la imatge final de l'edifici.
- La integració fotovoltaica dona lloc a nous conceptes arquitectònics. L'ús de panells fotovoltaic obre un camí a un disseny innovador i alterna la imatge de l'edifici amb lo que s'obren nous camps estètics.

03.6.2. Sistemes de façana.

Els sistemes de façana poden ser diferents en funció dels conceptes de disseny esmentats anteriorment i els requeriments normatius actuals. La figura que ve a continuació ens fa un breu resum sobre els tipus de façanes.

Els tipus que apareixen a la part inferior són en els que més endavant aprofundirem. Les finestres es considera un cas especial del sistema del mur cortina modular, integrat a la façana pesada.

Les lames i para-sols es consideren una aplicació externa, vàlida per a totes les solucions de façana transparent, façana opaca i de cobertes.

FIGURA 13

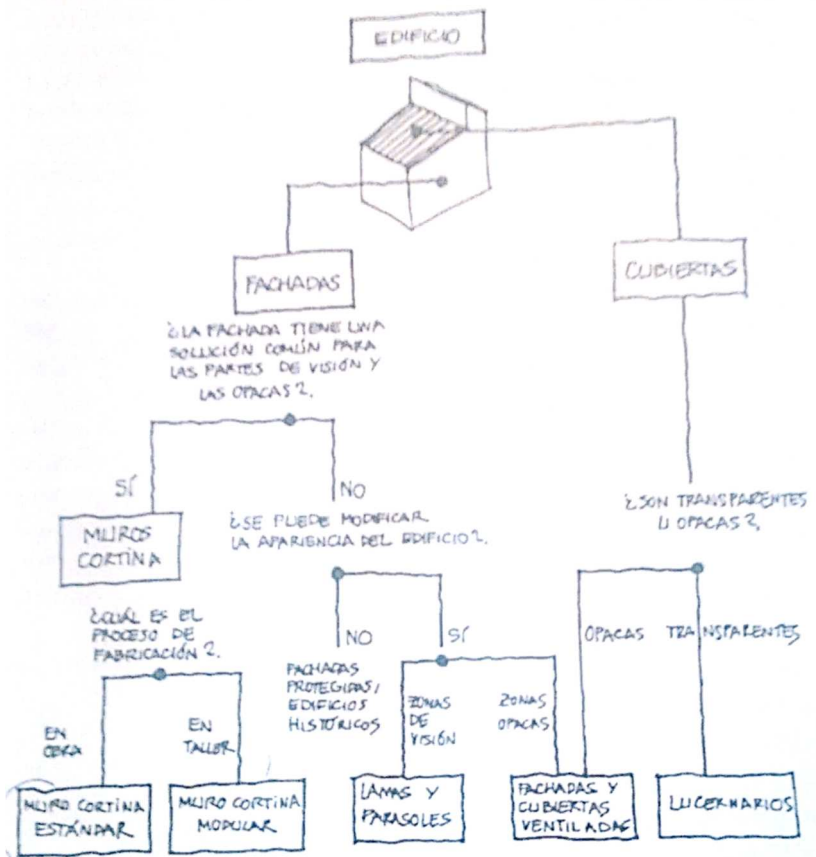


FIGURA 13 : Esquema amb els diferents tipus d'opcions de tancaments.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignacio Fernández Solla.

03.6.2.1. Opcions d'integració.

Hi ha cinc possibilitats bàsiques per que un sistema de panells fotovoltaics s'integri en una façana. A continuació, veurem els diferents tipus i cadascuna de les possibilitats amb més en detall.

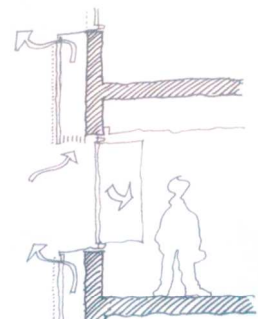
03.6.2.1.1. Façanes ventilades.

Els sistemes ventilats de revestiments de façana consisteixen en una pell exterior de panells metàl·lics, de pedra, ceràmics o d'altres materials, disposats per la part exterior del tancament opac del edifici i muntats sobre una subestructura auxiliar poden fer la ventilació del trasdós i el drenatge de l'aigua infiltrada. A més a més la càmera posterior té com una funció per poder reduir temperatures amb lo que contribueix a un manteniment augmentant el seu rendiment, també fa l'espai pel cablejat i les connexions.

FIGURA 14

FIGURA 14:

Façana ventilada. Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignacio Fernández Solla.



Integració de mòduls fotovoltaics a façanes ventilades

Les façanes ventilades amb la fulla exterior superposada representen una molt bona oportunitat per la integració dels panells fotovoltaics. La tecnologia de façanes ventilades, ja ha desenvolupat tots els elements necessaris per incorporar aquets sistemes, només substituïnt els panells de vidre, alumini o bé ceràmics per panells fotovoltaics.

Podem distingir entre dos famílies de solucions per les façanes ventilades amb panells fotovoltaics:

- Façanes basades en vidre.
- Façanes basades en altres suports opacs.

FIGURA 15

Al primer tipus de família, partim de sistemes existents de mur cortina de vidre sobre façanes opaques, en els que uns montants reben uns panells de vidres fixats amb la subestructura d'alumini. El vidre pot estar subjecte perimètricament al travessar mitjançant unions de "junquillos" exteriors que funcionen fixats a pressió ó mitjançant sil·licona estructural. La integració del mòdul fotovoltaic, consisteix doncs, en substituir aquesta peça de vidre templat o laminar de la fulla exterior (generalment opaca) per un vidre laminar amb cèl·lules fotovoltaïques de silici cristal·lí o amorf. Una mostra d'aquest tipus de família és la representació de la figura 15.

La segona família, en canvi, parteix de qualsevol tipus de façana ventilada a base de panells lleugers opaques fixats mecànicament sobre una estructura de perfils verticals: safates d'alumini plegat, d'alumini, panells laminats d'alta densitat, gres vitrificat, etc.

La avantatge d'incorporar panells fotovoltaics a aquest tipus de façanes és la possibilitat de ventilar el trasdós del panell, lo que augmenta sensiblement el seu rendiment en funció de la

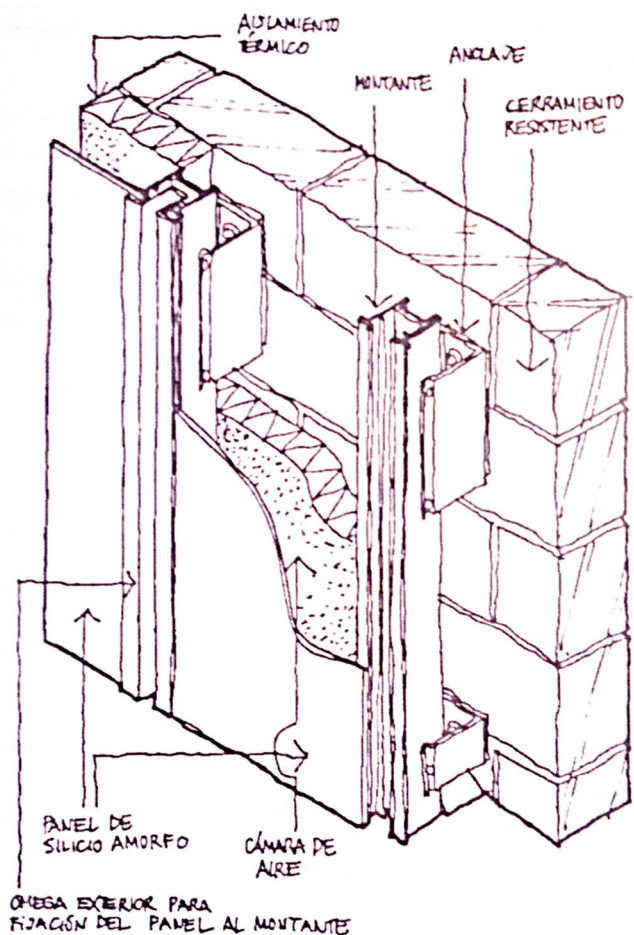


FIGURA 15: Esquema general d'una façana ventilada amb panells exteriors de silici amorf.

Font d'informació "La envoltant fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

temperatura exterior i del grau de ventilació de la cambra. La caixa de connexions del panell pot fixar-se sobre la cara interior dels panells, aprofitant així el gruix de la cambra. El cablejat de connexió pot conduir-se al llarg dels perfils verticals que suporten els panells i a travessar la pell interior en un punt determinat, ja sigui a la base o a l'extrem superior de la façana.

Les dimensions de la façana poden ajustar-se a les mesures estàndard dels mòduls fotovoltaics, amb lo que és redueixen els costos del subministre. En tot cas, la combinació de diversos mòduls estàndard poden encaixar amb les dimensions típiques de la façana ventilada, ja sigui l'alçada entre plaques de dimensions especials ó laminats no convencionals.

Des del punt de vista del rendiment elèctric, és aconsellable que la façana ventilada a on situem els panells sigui del tipus drenat i transventilada, per que aquí la ventilació de la cambra és major i la temperatura de la cara interior del panell fotovoltaic pateix uns descensos més

ràpidament. Per altra banda, si la façana que hem de cobrir és de grans dimensions i, sobre tot, si és de gran alçada, és preferible optar per una façana ventilada amb equalització de pressions, que podria fer malbé el cablejat ó penetrar per els passos a través de la fulla interior.

A la figura 16 es mostra el sistema de façana ventilada amb aquesta equalització de pressions. A aquesta podem observar una doble junta de goma entre els mòduls, que redueix la quantitat d'aigua infiltrada entre les juntes. Cada cert número de plantes se ha disposat d'un remat inferior que compartimenta la cambra ventilada i provoca la sortida a l'exterior de l'aigua infiltrada.

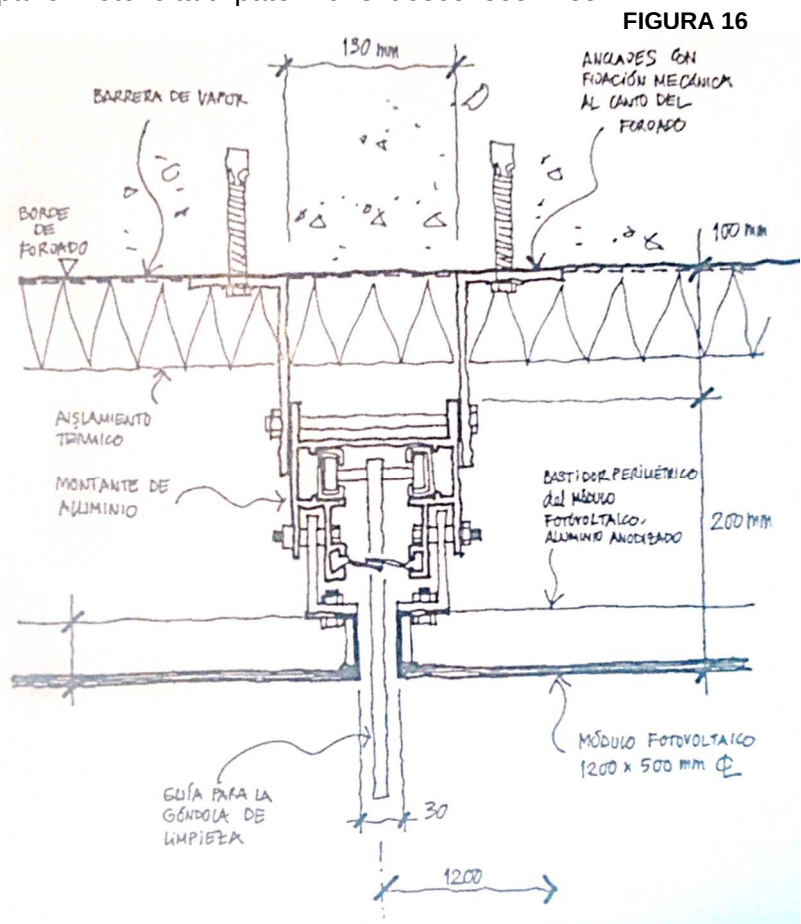


FIGURA 16: Secció horitzontal de la façana ventilada.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

03.6.2.1.2. Sistemes de mur cortina.

En façanes verticals o inclinades, els murs cortina son una opció de recobriments coneguda, acceptada i econòmica. Hi ha dos maneres de dissenyar i instal·lar un mur cortina:

- Sistema de muntats i travessers muntats a obra (tradicional).
- Sistema modular prefabricat a taller (modular).

Ambdós tipus poden incorporar panells fotovoltaics, ja sigui cobrint tota la superfície o combinant parts transparents amb parts col·lectores. Els murs cortina moduls són millors des del punt de vista constructiu, per que la instal·lació i la connexió elèctrica dels mòduls fotovoltaics es fa a taller sota unes condicions de qualitat més controlades.

Des del punt de vista del rendiment, el major problema dels murs cortina, a més de l'orientació i la possibilitat de tenir ombres, es la falta de ventilació posterior dels panells fotovoltaics, que pot causar una reducció de la generació elèctrica. Una solució a això és fer façanes amb doble pell, tot i que el cost augmenti a curt termini.

Integració fotovoltaica als murs cortina

Murs cortina tradicionals

En el mur cortina de muntants i travessers, els panells fotovoltaics es poden interaccionar mitjançant, tant vidres de visió, com en vidres opacs. Tant si l'envidriament és simple, com si és doble. Podem substituir doncs, el vidre convencional per un altre que incorpori cèl·lules fotovoltaiques d'algun tipus. La forma més senzilla d'incorporar un panell fotovoltaic amb un vidre, és fixar-lo amb "pressors" exteriors i realitzar unes canalitzacions per ubicar el cablejat de connexió entre els diferents mòduls.

Si els mòduls fotovoltaics estan integrats en la zona de divisió del mur cortina, les cèl·lules estaran embegudes en un vidre laminat que formarà la fulla exterior del doble envidriament.

Si és tracta de cèl·lules mono o policristal·lines, la transparència la aconseguim fent espai entre les diverses cèl·lules encapsulades en EVA (Ètil-vinil-acetà) transparent. Si és tracta d'un mòdul de silici amorf semitransparent, aquest ocuparà la totalitat de la superfície. És important fer notar que en ambdós casos les cèl·lules solars actuen com una capa de control solar que absorbeix part de la radiació solar i, per tant, redueixen el factor solar, lo que és positiu per el comportament del mur cortina en condicions d'estiu. A la fulla interior del vidre doble s'acostuma a inserir una capa de

FIGURA 17

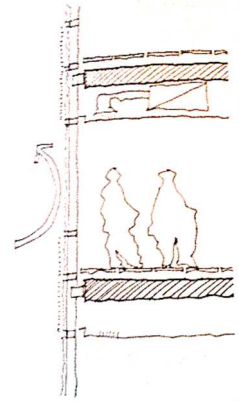


FIGURA 17 :Mur cortina. Font d'informació "La envoltante fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

baixa emissivitat per reduir la transmissió tèrmica del vidre (coeficient U). Si les pròpies cèl·lules no abasteixen per assolir el factor solar que requerim, podem afegir una capa de control solar en la cara interna de la fulla exterior, sempre per darrera del mòdul fotovoltaic per no reduir la quantitat d'energia solar que reben les cèl·lules. Per evitar la ruptura del vidre per xoc tèrmic, el vidre laminat serà templat o termoendurit. El càlcul dels gruixos del vidre tindran en compte, a més de les empentes del vent, les exigències d'impactes tant externs com interns.

FIGURA 18

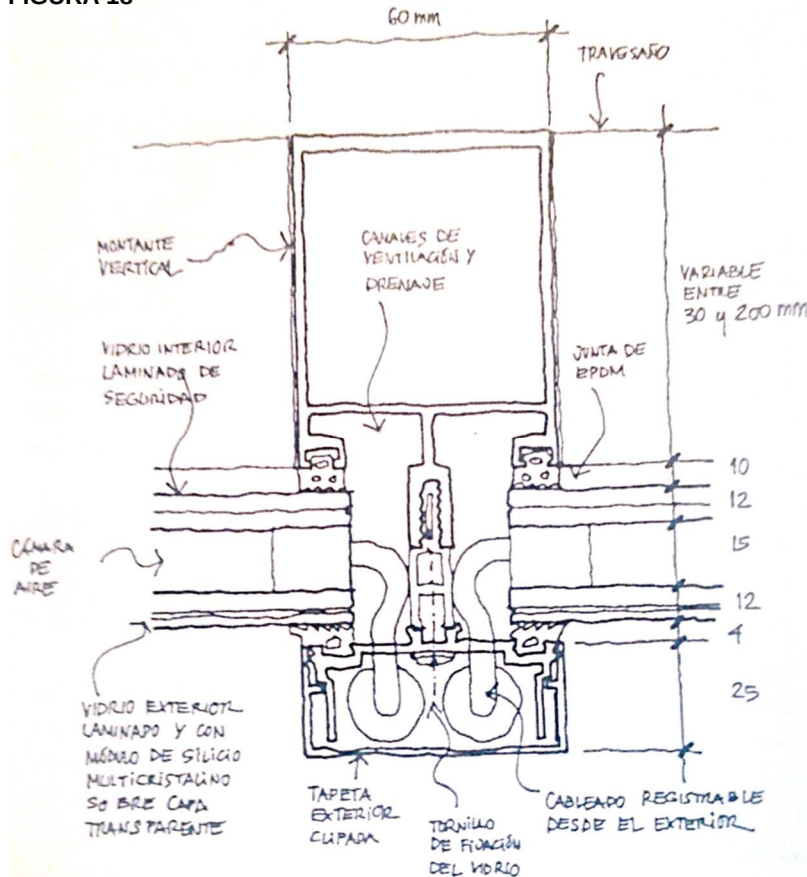


FIGURA 18 : Secció horitzontal per muntant de mur cortina, en aquest cas, el pas de cables i registre el fem per l'exterior de la façana (zona inferior del dibuix).

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignacio Fernández Solla.

equalitzada amb la pressió exterior, drenada i lo més ventilada possible per no penalitzar el rendiment per excés de temperatura. La interacció entre el panell sandwich interior i la perfil·leria ha de constituir una barrera de vapor continua.

Quan les parts opaques del mur cortina estan formades per panells sandwich d'acabat metàl·lic, ó bé, per panells de composite, és fàcil afegir a la cara exterior dels panells un mòdul fotovoltaic. Si aquest és de silici amorf, la avantatge és que la caiguda del rendiment per temperatura és menys

Quan els mòduls fotovoltaics s'integren en les parts opaques d'un mur cortina, podem utilitzar vidre laminat amb cèl·lules opaques o semitransparents. El mòdul fotovoltaic pot insertar-se en l'obertura com si d'un vidre doble o simple és tractés. El primer dels casos, la fulla interior serà opaca per ocultar l'interior de la façana, amb lo que ha de ser un vidre templat. En el segon cas, el vidre senzill amb el mòdul fotovoltaic el fixem a una safata que en la seva cara interior de la fulla conté un panell sandwich format per dos xapes d'acer, o bé alumini i un aïllament de llana de roca o qualsevol altre material aïllant. Entre el panell fotovoltaic i el panell sandwich és crea una cambra d'aire que haurà d'estar

marcada que en d'altres tecnologies, amb lo que el seu ús és idoni per façanes sense ventilació posterior. Els encontres del mòdul amb el panell han d'estar sellats a taller.

Hem descrit la integració del panell fotovoltaic per substitució del vidre tradicional. Tot i que aquesta solució resulta idònia des del punt de vista del cost, ja que substituïm un vidre per un altre. No ho és tant des del punt de vista del rendiment, ja que la ventilació de la part inferior del panell fotovoltaic acostuma a ser nul·la o força reduïda. Una solució per aquest problema, és que els mòduls fotovoltaics de vidre es col·loquin per fora del pla del mur cortina, simulant així una façana de doble pell. La fixació es pot fer per punts, travessant la façana lleugera en els muntants i inserint una

FIGURA 19

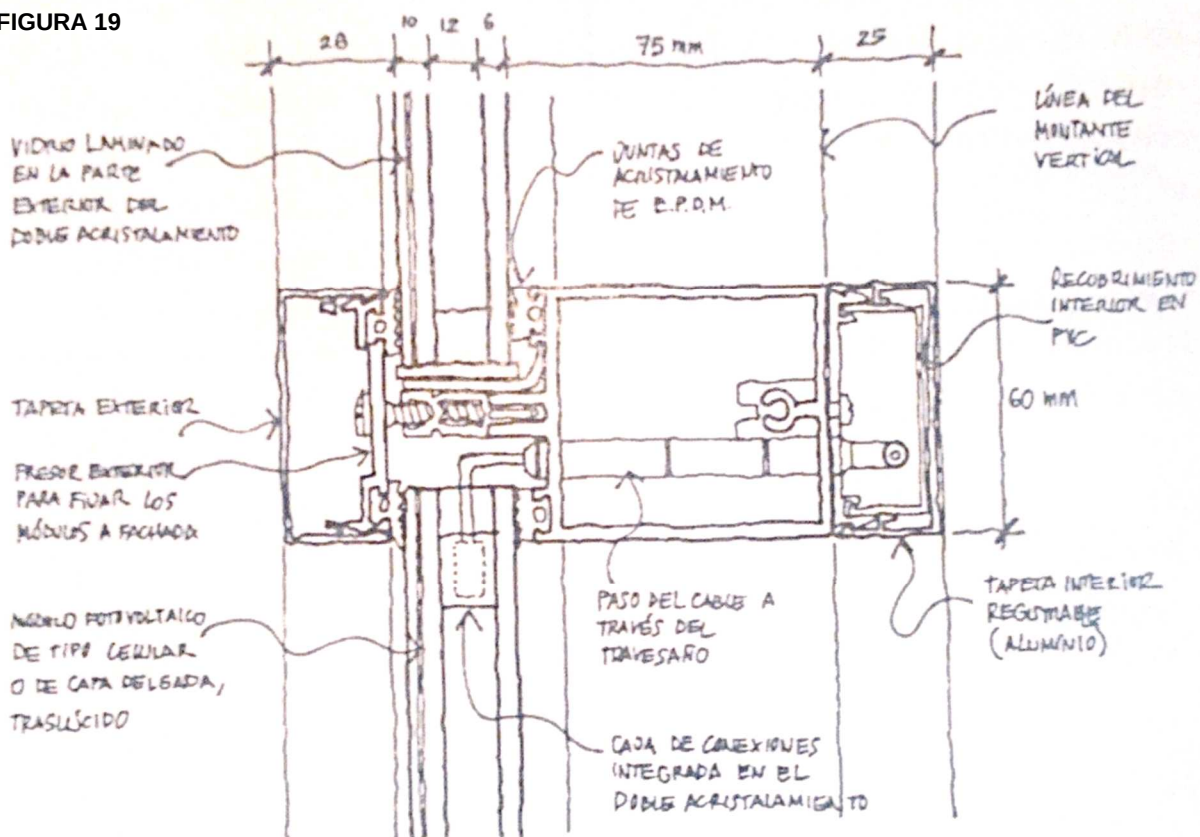


FIGURA 19 : Secció vertical del mur cortina tradicional, en el que el pas de cables és realitzat per la cara interior de façana.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

perfileria de suport, la qual tindrà la missió de rebre els mòduls.

La opció d'integrar mòduls fotovoltaics a la pell exterior del mur cortina, a més de ser tècnicament adequada, per la ventilació i la possibilitat d'accés a les connexions des de passarel·les col·locades entre ambdues pells. Suposa una alternativa mediterrània als murs de doble pell propis de climes

FIGURA 20

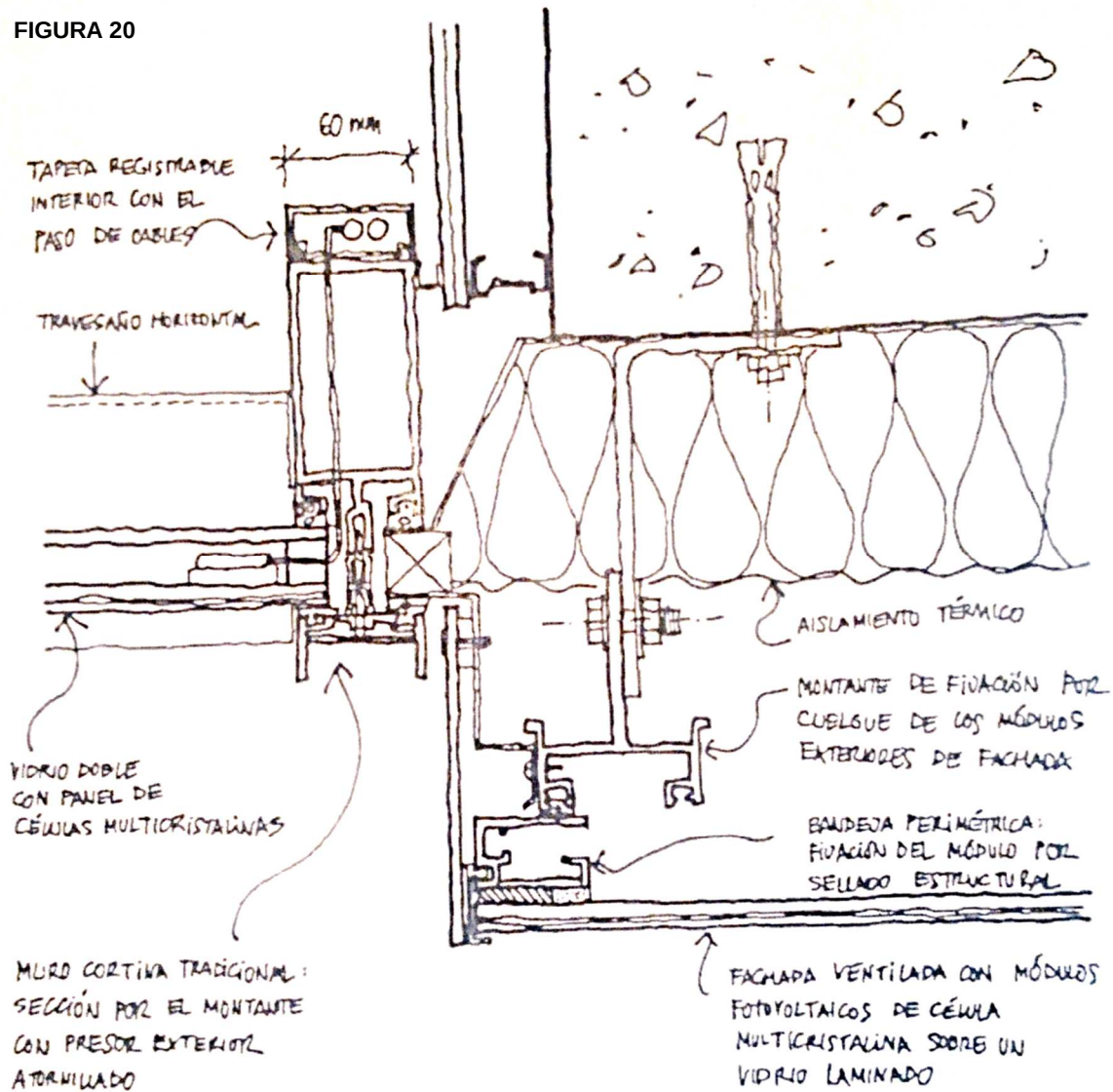


FIGURA 20 : Secció horitzontal de l'interacció entre el mur cortina i una façana ventilada, els dos tipus de façana incorporen mòduls fotovoltaics en aquest cas, el de la façana ventilada serà opac.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

del nord d'Europa, a on l'interès consisteix en guanyar l'escalfor solar i no el de defensar-se d'aquest.

Els punts que hem de controlar en quant al disseny per la òptima integració dels panells fotovoltaics en els murs cortina tradicional són:

- La localització, les dimensions i la integració de la caixa de connexions sobre el trasdós del panell.
- El recorregut i la accessibilitat del cablejat de connexió entre els panells. Tant en direcció horitzontal com en vertical, al llarg dels travessers i els muntants, representat a les figures 18, 19 i 20.

- L'estanqueïtat i el manteniment de la barrera de vapor en les perforacions per el pas dels cables a través de la perfil·leria dels muntants i els travessers.
- La sortida dels cables en el lateral del doble envidriament i la seva entrada a la caixa de connexions dels trasdós del panell, assegurant així la durabilitat de la barrera de vapor en el intercalament entre vidres i evitant que es produeixin condensacions a la cambra.
- Evitar ombres produïdes per les tapes situades sobre els laterals dels mòduls, ja que produeixen una caiguda en el rendiment.
- La capacitat del panell fotovoltaic de vidre per absorbir les càrregues del vent i els requeriments a impactes tant exteriors com interiors.

Una conclusió clau, és que hem de decidir si mantindrem el cablejat extern amb una sola penetració a través del mur cortina en un punt, generalment a la base (possibilitat que ens dona la doble pell fotovoltaica exterior) ó bé, si fem tantes penetracions com panells fotovoltaics tinguem (opció inevitable si integrem el panell dintre de la perfil·leria, en substitució del vidre convencional). Ambdós solucions requereixen de l'anàlisi de requeriments d'espai, accessibilitat i resistència a la humitat.

Murs cortina modulars

A un mur cortina modular, els panells fotovoltaics és poden integrar tant en els vidres de visió com a les parts opaques. Tant si l'envidriament és simple, com si és doble, el vidre convencional és pot substituir per un altre de simple ó doble que incorpori cèl·lules fotovoltaïques.

Els mòduls fotovoltaics és fixen a la estructura de la façana modular en el seu procés de fabricació a taller. La avantatge d'això, és que aquest sistema té totes les connexions entre cablejat i les perforacions per el pas dels conductes fetes al propi taller. Cosa que garanteix una certa qualitat.

Si el disseny permet l'existència de perfil·leria vista a l'exterior, els panells fotovoltaics es munten mitjançant una tècnica de galze amb pressors cargolats des de l'exterior. Si busquem una imatge de façana llisa, sense perfil·leria vista, utilitzarem un sistema d'acoplament a un bastidor intermig, que a la vegada és cargolat a l'estructura del mòdul de façana. D'aquesta forma, tant en un cas com en l'altre, un eventual panell fotovoltaic danyat el podrem substituir des de l'exterior sense posar en un compromís l'estabilitat del conjunt. El sistema de fixació mitjançant l'adhesió estructural directe del mòdul fotovoltaic a l'estructura del panell modular no és recomanable per les dificultats de manteniment i reposició.

Quan volem integrar panells fotovoltaics a les zones de visió del mur cortina modular, la composició del mòdul fotovoltaic ha de ser de doble envidriament per garantir l'aïllament tèrmic. Les cèl·lules fotovoltaïques poden integrar-se en el vidre laminat de la fulla exterior del doble envidriament. Per

darrera de les cèl·lules podem afegir altres capes que millorin el rendiment del vidre, com les de baixa emissivitat ó de control solar.

FIGURA 21

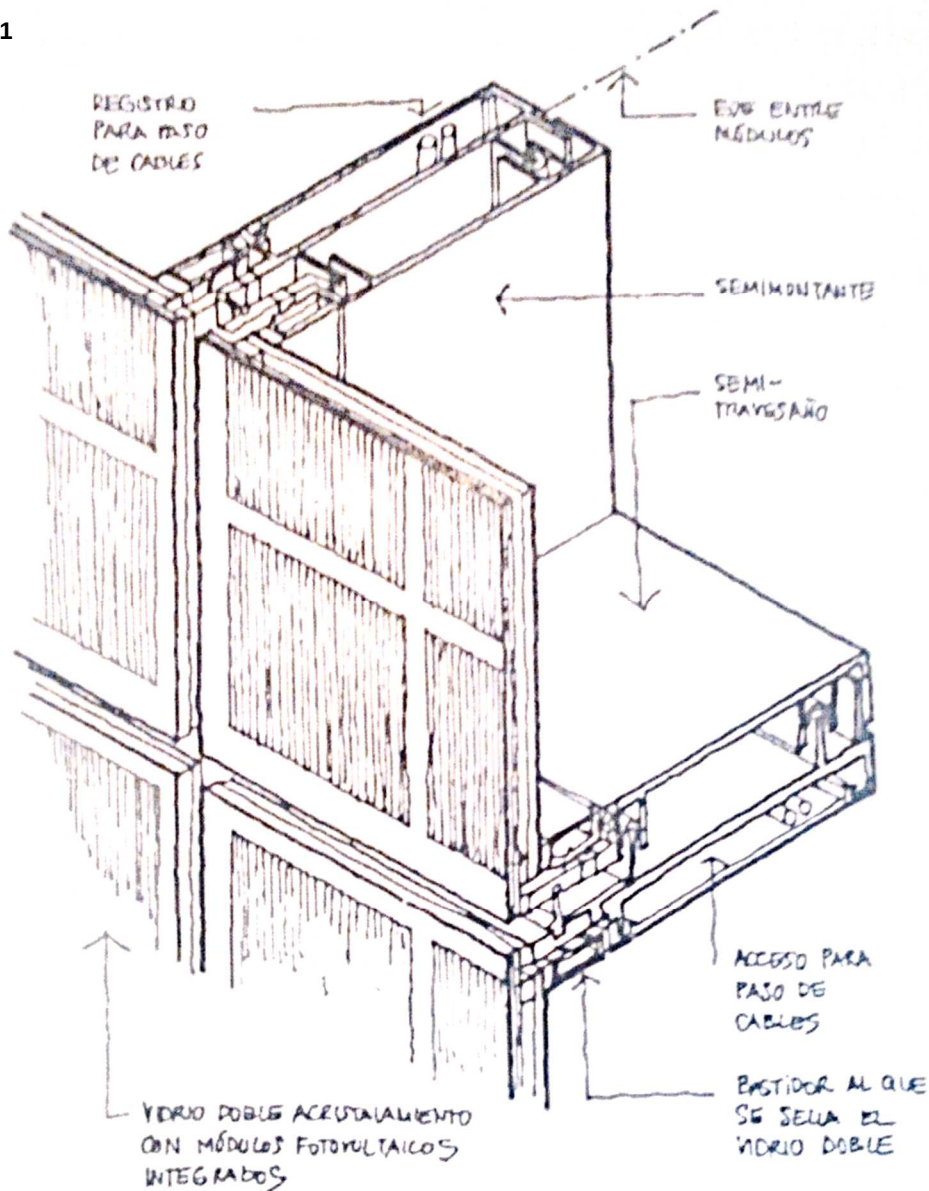


FIGURA 21 : Axonomètric d'un mur cortina modular amb integració de panells fotovoltaics. El vidre està fixat encolat, es poden apreciar les tapes fixades a pressió que permeten el registre del cablejat per la part interior de muntants i travessers.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

Per evitar la ruptura del vidre per xoc tèrmic hem de temprar ó termoendurir els dos vidres de la fulla exterior laminada. El gruix d'aquets vidres i la composició final del doble envidriament es decidirà en funció dels requeriments de resistència mecànica, ja sigui davant el vent ó a possibles impactes tant exteriors com interiors.

Quan integrem el panell fotovoltaic a les zones opaques del mur cortina modular, les opcions de composició i d'acabats són majors. En aquest cas, el panell fotovoltaic pot estar integrat en un vidre simple ó doble, tot i que sempre ha d'estar encapsulat dintre d'un laminat per la seva protecció.

Hem de tenir en compte que s'ha d'assegurar la ventilació natural del trasdós del panell, amb lo que podem deixar unes juntes horitzontals obertes i crear una cambra d'aire entre el panell fotovoltaic exterior i el panell sandwich amb aïllament i barrera de vapor situat a l'interior del mòdul de la façana. Aquesta cambra permet la recogida d'aigua infiltrada, generalment en la part inferior de cada mòdul fotovoltaic.

Un altre possibilitat per millorar la ventilació posterior dels mòduls fotovoltaics i evitar així el seu sobreescalfament és penjar dels mòduls petites mènsules que sobresurtin per la part exterior del panell modular. En aquest cas ens aproximarem al concepte de doble pell, tot i que amb un gruix inferior. L'únic inconvenient és que estem duplicant materials: el panell fotovoltaic no substitueix al panell opac del mòdul de la façana, sinó que es sobreposa per davant d'ell. Per una part la avantatge és que la reposició dels mòduls des de l'exterior la podem fer amb facilitat.

Els aspectes constructius que hem de tenir en compte a l'hora de dissenyar façanes de mur cortina modular amb panells fotovoltaics integrats són les següents:

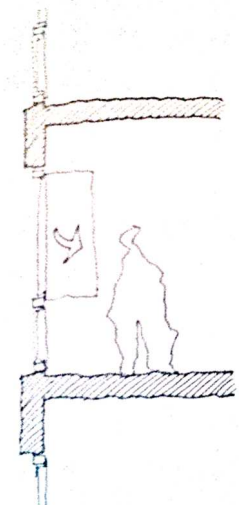
- La situació i l'accés a la caixa de connexions en la cara interior de cada mòdul fotovoltaic.
- La disposició del cablejat al llarg dels perfils horitzontals i verticals, amb la possibilitat d'accés des de l'interior.
- L'estanqueïtat de les perforacions per el pas dels cables.
- La capacitat dels mòduls fotovoltaics per resistir les càrregues, tant de tensions tèrmiques com de vent o impacte exterior o interior.

03.6.2.1.3. Sistemes de finestres.

En edificis amb finestres de maó, formigó o d'altres materials opacs, les finestres són els únics elements d'il·luminació i ventilació natural. És habitual que el seu disseny s'integri a part fixes o practicables, les primeres per augmentar la il·luminació i les segones per la ventilació i l'accés a la neteja. En finestres de format vertical, l'ampit i el dintell superior són fixes i les fulles verticals es situen en el tram central.

La integració fotovoltaica pot fer-se ocupant amb els panells fotovoltaics les parts fixes de les finestres i deixant les practicables per la visió directa. Un altre alternativa, és fer servir mòduls

FIGURA 22 :
Finestres amb
ampit. Font
d'informació "La
envolvente
fotovoltaica en la
arquitectura" de
Nuria Martín
Chivelet i Ignacio
Fernández Solla.



semitransparents de capes molt primes (com els de silici amor, o bé de CIS) i cobrir amb ells tota la superfície de la finestra.

03.6.2.1.4. Lames i para-sols de protecció solar.

FIGURA 23

Els para-sols acostumen a estar compostats per elements de vidre ó metàl·lics col·locats en disposició inclinada ó horitzontal i instal·lats per la part exterior del tancament principal. Poden cobrir part de la façana, generalment una banda situada per sobre de la línia de finestres per preveure així la radiació directa, o bé tota la façana, actuant així com una pell exterior i aquestes poden ser tant fixes com mòbils (les mòbils permeten augmentar l'entrada de llum quan el sol no incideix directament sobre la façana).

Els para-sols son una bona superfície per la integració fotovoltaica per la seva inclinació cap al sol i perquè les seves dos cares estan ventilades. El punt que hem de controlar és l'ombra que produeix les lames superiors cap a les inferiors a certs angles solars, això afecta molt negativament al rendiment.

Un para-sols de major dimensió i disposició vertical passa a convertir-se en una pantalla de control solar, formada per lames verticals ó horitzontals, que generalment són orientables. En aquest cas, la idoneïtat per la instal·lació són els panells fotovoltaics.

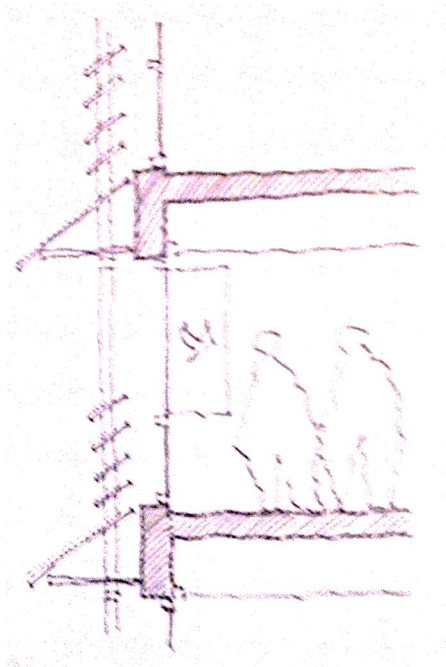


Figura 23 : Lames i para-sols. Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

Integració fotovoltaica en lames i para-sols de protecció solar

És lògic considera'ls elements per protecció del sol, tant els para-sols com les lames en general tenen una oportunitat de convertir-se en el suport idoni per integrar els mòduls fotovoltaics. D'aquesta forma, els panells fent dos funcions en un element:

- Control solar.
- Producció energètica.

Tot i ser una tècnica amb perspectiva de futur, la integració dels mòduls fotovoltaics en persianes i venecianes retràctils resulta complicat per la fragilitat de les seves cèl·lules o de les capes fotovoltaïques, i per la dificultat d'assegurar les connexions. No obstant, la incorporació de mòduls fotovoltaics en para-sols i lames exteriors resulta l'opció d'integració més evident. De fet, quan

parlem d'integració fotovoltaica en els edificis més enllà de les cobertes. Aquesta és la primera opció que s'ha de considerar.

FIGURA 24

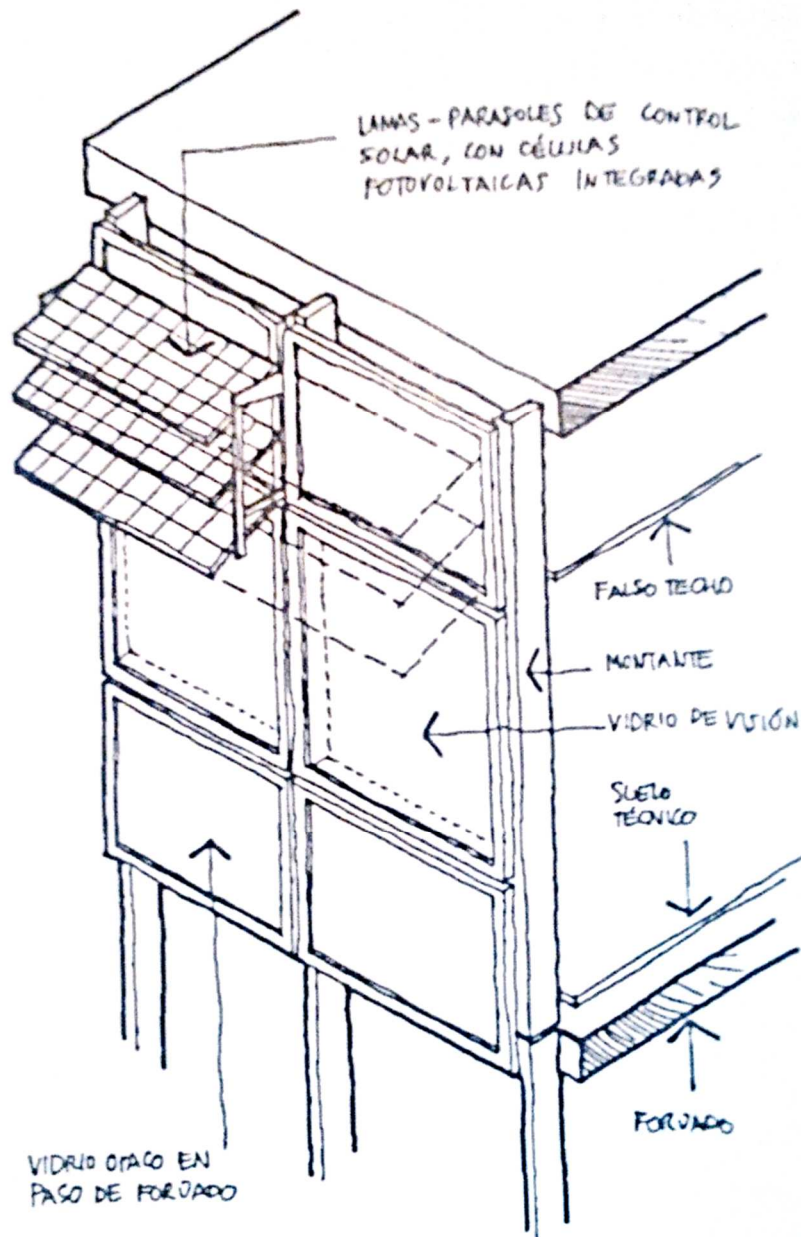


Figura 24 : Esquema de principi d'un sistema de lames fotovoltaiques integrades en un mur cortina.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

Una primera solució són els para-sols fixes, que protegeixen del Sol per sobre de la línia de les finestres o que podem posar-se de forma que sigui més convenient per assegurar la màxima captació solar. Un altre variant és la dels para-sols metàl·lics revestits amb panells solars de làmina prima. En ambdós casos, la neteja acostuma a ser el punt crític, amb lo que no ha de confiar-se només a la acció de l'aigua de la pluja. Per tant hem de tenir accés per la seva neteja des de les

finestres de la planta superior, ó des de la coberta per la última planta amb l'ajuda d'un braç extensible connectat a una manguera.

Una variant dels para-sols fotovoltaics és la dels balcons i les terrasses d'edificis de vivendes, que poden actuar com elements cecs que incorporen cèl·lules fotovoltaiques en la seva cara exterior. En aquest cas, la neteja és més fàcil i el seu punt crític és la seva inclinació, ja que normalment serà vertical i pot estar subjecte a ombres properes o llunyanes tal i com hem vist anteriorment, aquestes afectaran al seu rendiment.

Tant per la seva extensió com per la seva accessibilitat, la millor opció d'integració de mòduls fotovoltaics és la de lames que cobreixen una gran superfície de la façana, fixades a una estructura intermitja amb passarel·les registrables per la seva neteja. En aquest cas, les lames poden ser ajustables i orientar-se al Sol en busca de la màxima ombra i el màxim rendiment simultàniament.

La superfície coberta amb lames com pell exterior pot arribar a ser tota la façana o només part de la mateixa. En ambdós casos, les lames són de vidre laminat, amb cèl·lules cristal·lines embegudes entre les dos fulles del vidre.

El mètode habitual de fixació d'aquest tipus d'elements és amb pressilles longitudinals en els extrems, mitjançant grapes puntuals, ó bé, mitjançant fixacions abotonades passants. Aquets elements de fixació del vidre i els elements muntants verticals de suport del conjunt de les lames han d'incorporar registres per la inserció del cablejat de connexió, tant per connectar els mòduls entre si com per guiar la seva entrada a l'edifici. El disseny de muntants ha d'assegurar que els cables de la zona exposada estiguin ben ventilats i drenats, sense que es pugui acumular l'aigua en els mateixos. La connexió dels cables s'ha de realitzar en un número limitat de punts, de fàcil registre, per minimitzar el número de penetracions a traves de la pell interior estanca.

Tant els para-sols ó fronts de balcons com en lames, la integració de mòduls fotovoltaics és molt eficaç, donat que la ventilació del trasdós està assegurada i, per tant, les pèrdues per excés de temperatura no són tant importants que en les opcions vistes anteriorment de mur cortina. D'aquesta forma la autèntica preocupació és facilitar la neteja i escollir una correcta orientació.

03.6.3. Cobertes i lluernaris.

03.6.3.1. Cobertes i lluernaris.

Aquesta és la millor opció quan no volem alterar la imatge de l'edifici i també és la millor des del punt de vista de l'eficiència, com ja hem vist. És fàcil mantenir fora el contacte de les ombres, més fàcil d'orientar al millor angle solar i fàcil de ventilar pel darrere.

Les cobertes inclinades poden incorporar panells fotovoltaics complets o bé teules solars, molt adequades en vivendes unifamiliars. Les cobertes planes poden rebre panells inclinats (amb una mínima integració) ó bé lluernaris translúcids i quasi plans amb panells incorporats en l'envidriament. En edificis industrials o pavellons poliesportius, els panells fotovoltaics es poden col·locar amb orientació sud a una coberta amb dent de serra, lo que permet l'entrada de llum natural per l'orientació nord. Si l'edifici te una coberta corba, una bona opció és utilitzar panells solars de capa prima, opacs però flexibles, segellats sobre una xapa nervada de la coberta.

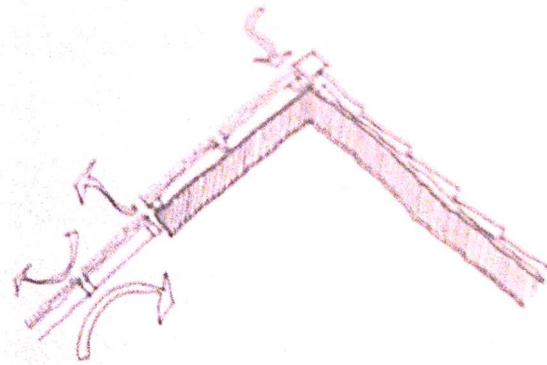


Figura 25 : Cobertes i lluernaris.

Font d'informació "La envoltante fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignacio Fernández Solla.

Els lluernaris que cobreixen patis d'illa constitueixen cobertes transparents en les i que són màximes les implicacions de disseny per els panells fotovoltaics, doncs aquets queden visibles des de l'interior. Una possibilitat d'integrar les cèl·lules de silici cristal·lí en un vidre transparent és jugar amb la separació entre les cèl·lules per aconseguir un cert nivell d'ombra sense perdre la transparència.

Per els arquitectes, el repte radica en com integrar adequadament els panells fotovoltaics dintre dels edificis. Aquesta integració hauria de donar lloc a nous dissenys més innovadors, però això no es pot fer sense tenir un coneixement adequat de les implicacions d'un sistema fotovoltaic, tant en el seu paper de generar electricitat com el de elements del tancament.

Integració fotovoltaica a cobertes i lluernaris

Distingim entre dos famílies de solucions de coberta, que requereixen diferents respostes d'integració fotovoltaica, per aquesta part podem subdividir en cobertes inclinades i planes, en las que els mòduls fotovoltaics poden integrar-se com un revestiment addicional ó com un component intrínsec del sistema estanc. Per l'altre part estan les cobertes envidriades que han de respondre a les exigències simultànies de transparència i estanqueïtat, per tant, un sistema semblant al vist anteriorment als murs cortina.

Cobertes cegues inclinades

En els edificis residencials, les cobertes inclinades acostumen a revestir-se amb teules ceràmiques ó de pissarra, en funció de les tradicions constructives de cada zona. Les primeres solucions

d'aplicació de mòduls fotovoltaics en les cobertes que no poden anomenar-se pròpiament d'integració, sinó en tot cas de superposició, amb resultats més que dubtosos des del punt de vista de la imatge final. Amb motiu de millorar aquest factor estètic, els fabricants de mòduls fotovoltaics integrats s'han esforçat en desenvolupar solucions de petits mòduls que simulen l'acabat i les dimensions de les teules de pissarra pròpies de països nord europeus i que coneixem amb el nom de "teules solars".

Això ho podem aconseguir amb èxit si les teules són de pissarra, ó bé, d'asfalt, però sobre cobertes de teula ceràmica la integració visual és més complicada. Per aquest motiu, normalment, les cobertes inclinades es solucionen amb panells metàl·lics, ja que la seva integració posterior fotovoltaica resulta més senzilla.

Això va provocar que fos més accessible la via de la integració que la superposició en les cobertes. Gràcies als panells metàl·lics amb la cara exterior interaccionada amb lamines primes de silici amorf o de seleniür de coure e indi (CIS). Un producte molt conegut en aquest aspecte és el laminat fotovoltaic flexible basat en silici amorf que incorporem sobre un panell format d'alumini. La flexibilitat del silici amorf permet que el panell es pugui fer corb en ambdós direccions. El color del panell base el podem igualar al del laminat fotovoltaic, ó bé diferenciar-se d'aquest.

El següent pas és veure aquest panell com a revestiment d'una coberta, al panell prefabricat amb lamines fotovoltaiques integrades com element únic de la coberta, una solució equivalent a les vistes anteriorment als murs cortina modulars. Al no estar coberts solament de vidre, podem caminar per sobre d'ells en el seu moment d'instal·lació ó de manteniment. Cada panell pot arribar a obtenir una longitud de 17 metres i porta incorporada una connexió elèctrica. El procés de construcció és molt ràpid, ja que, amb una sola operació de grua per panell, la coberta exterior queda totalment acabada.

Cobertes cegues planes

Instal·lar uns mòduls fotovoltaics sobre una coberta plana cega és la primera forma d'integració, i encara la més habitual, de la generació fotovoltaica en els edificis. No obstant, hem de qüestionar-nos sobre el escàs grau d'integració aconseguit fins ara. Ja que, en la majoria dels casos, els panells es sobreposen a la coberta ja existent i, per tant, no substitueixen a cap altre element constructiu. Per un altre banda, el seu muntatge ha de ser molt curós ja des del projecte, per què les fixacions de l'estructura dels mòduls no perforin la lamina impermeable de la coberta.

Tots els fabricants de sistemes fotovoltaics tenen solucions per les cobertes planes, que acostumen a ser les més econòmiques de la seva gama de productes, ja que, utilitzen dimensions i sistemes de fixació ja normalitzats.

Lluernaris i atris envidrats

Tanquem doncs el camp de les cobertes cegues i tornem a les exigències de combinació generació elèctrica, transparència i estanqueïtat, pròpies dels atris envidrats i dels lluernaris.

Com ja hem vist en els murs cortina, és fàcil integrar els mòduls fotovoltaics en lluernaris basats en muntants i travessers. Això pot fer-se tant en les parts de visió com en les parts opaques, si és que existeixen. Els vidres de doble envidrament de les cobertes es substitueixen per panells fotovoltaics amb cert grau de transparència, muntats a la vegada, en un doble envidrament amb l'objectiu de no perdre les prestacions de transmissivitat tèrmica. Per tant, la seva fixació dels mòduls és exactament la mateixa que la dels vidres que és substituïen.

Si els mòduls fotovoltaics s'integren en les zones de visió de la coberta envidrada, el mòdul es situarà en la fulla exterior del doble envidrament, que a més a més incorporarà altres lamines de baixa emissivitat i possiblement de control solar. Per evitar ruptures del vidre degut al xoc tèrmic, el vidre laminat s'ha de temprar, o bé termoendurir. El conjunt de doble envidrament també ha de

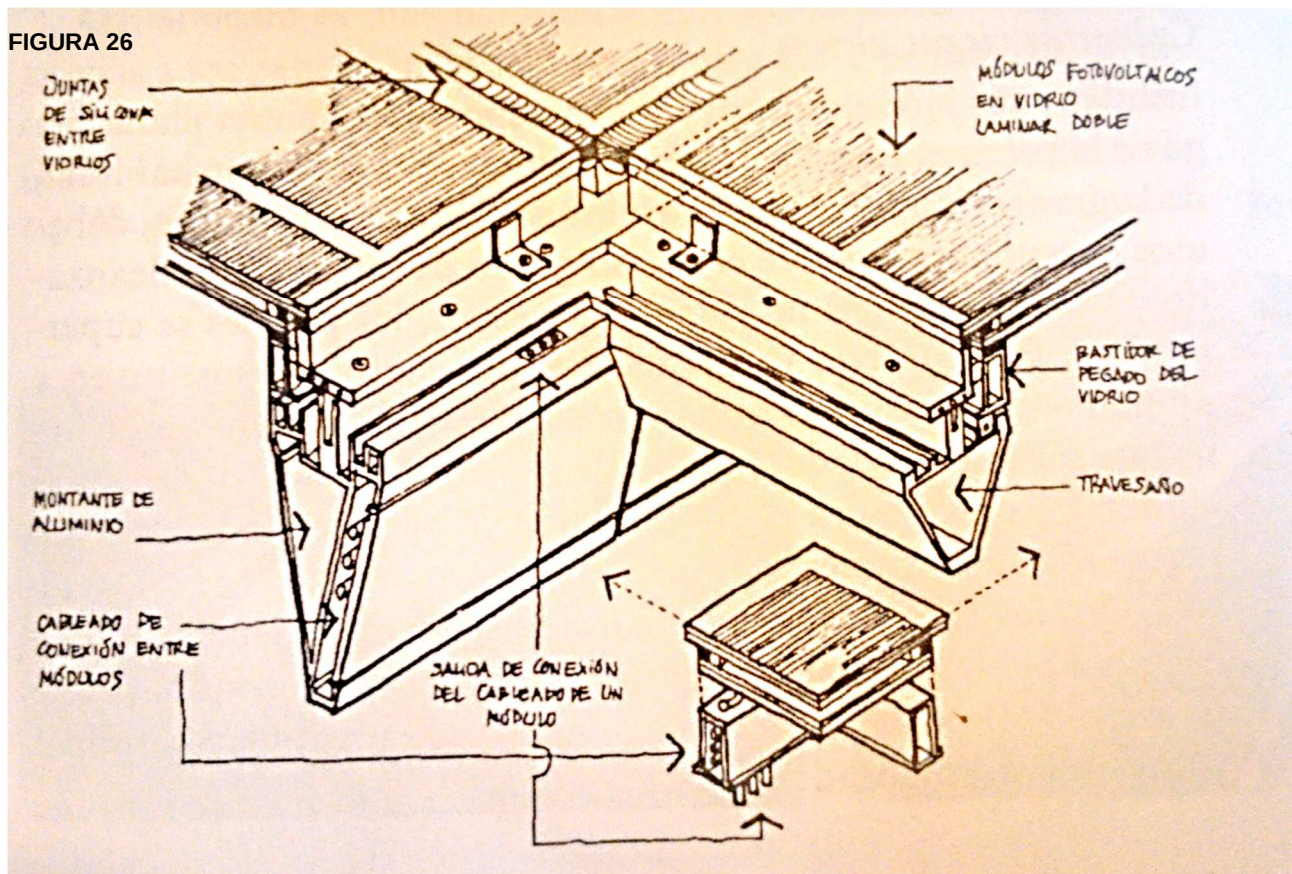


Figura 26 : Esquema d'un lluernari amb doble envidrament encolat i amb integració de mòduls fotovoltaics.

Font d'informació "La envoltant fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

suportar les accions estructurals com les del vent, sobrecàrregues de manteniment i impactes des d'altres edificis ó de les parts altes del mateix. Com ja hem indicat anteriorment, la fulla interior del

dobles envidrament serà també laminada, per actuar com a línia de defensa en cas de ruptura de la fulla exterior.

Si els mòduls fotovoltaics s'integren en les zones opaques de lluernari o atris, podem utilitzar un mòdul fotovoltaic opac, tant en làmina prima com de silici amorf. El mòdul és pot integrar en vidre simple o doble. Si utilitzem vidre doble, el podem fer opac amb una capa ceràmica o impresa en la seva cara interior. Si, en canvi, utilitzem vidre simple, és convenient drenar la cambra situada darrere d'aquest, igualitzar la seva pressió amb l'ambient exterior i aïllar la cara interna amb una barrera de vapor. L'escalfor generada en la cambra obligarà a utilitzar vidre templat o termoendurit.

FIGURA 27

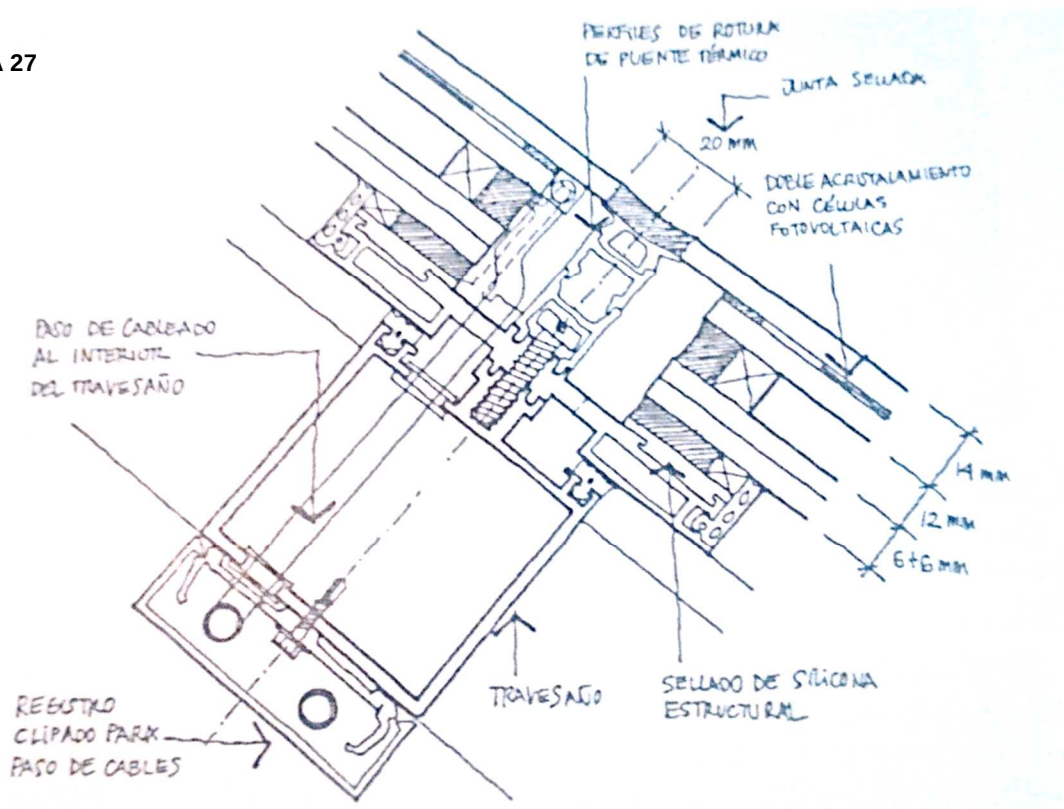


Figura 27 : Esquema d'un lluernari amb doble envidrament encolat i amb integració de mòduls fotovoltaics. Podem observar la connexió del cablejat per els travessers i el registre d'aquets per la cara interior.

Font d'informació "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

En quan al disseny, la localització de la caixa de connexions estarà en el trasdós del mòdul, el recorregut i el registre del cablejat a través dels muntants i travessers, la seva impermeabilització de les perforacions dels seus perfils, la durabilitat dels sellats del perímetre del doble envidrament i la capacitat del mòdul fotovoltaic de suportar les càrregues de vent, neu i manteniment.

La qüestió de la impermeabilització és especialment delicada, ja que la perfil·leria ha de contenir una línia interior d'evacuació de l'aigua infiltrada i no confiar l'estanqueïtat solament en el sellat exterior. Com és l'exemple de la figura 27.

Un sistema de lames fotovoltaïques muntades sobre un lluernari pot resoldre al mateix temps la integració fotovoltaica i la generació d'ombres. Les lames poden activar-se per girar amb el Sol, i l'espai entre aquestes assegura una correcta ventilació. Un altre exemple, el trobem amb la pèrgola envidrada. Un altre exemple el trobem en a pèrgola envidrada, a on el mateix panell de silici monocristal·lí el podem col·locar en dos situacions diferents:

- A la part inferior com a pèrgola, fixat mitjançant un sistema d'aranyes i ròtules que travessen el vidre amb les juntes entre vidres sellades.
- A la part superior com a façana ventilada, fixat sobre els travessers horitzontals amb les juntes verticals sellades. En aquest cas, el vidre de la pèrgola és minat.

Les grans superfícies envidrades que tanquen lluernaris ó atris de diferents dimensions considerables amb una solució arquitectònica cada vegada més en voga. Per abastir el control solar necessari en la coberta envidrada d'un atriu podem emprar mòduls fotovoltaics, disposats de forma ordenada, ó bé, aleatòria.

03.6.4. Requeriments exigibles als tancaments.

La façana proporciona a l'edifici una barrera per protegir l'ambient interior de l'exterior, canviant i agressiu a vegades i un ambient interior bastant estàtic i confortable. La pell de l'edifici necessita controlar el flux d'aire que la travessa, preveure l'entrada d'aigua i humitat, així com reduir la transmissió energètica i acústica en ambdós ambients. A més a més, la façana dels edificis ha de donar resposta als requeriments de seguretat contra intrusió i incendis. Per tot això s'exigeix a les façanes el compliment d'una sèrie de requisits des del seu disseny.

A continuació veurem, de manera resumida els requeriments funcionals exigibles a les façanes i les cobertes de qualsevol tipus.

03.6.4.1. Vida útil dels tancaments.

La vida útil que associem, des d'una base prèvia de disseny, als tancaments i als seus elements depèn de l'ús de l'edifici. Per exemple, la vida útil esperable d'un edifici d'oficines es de 60 anys, mentre que la vida útil de la seva façana lleugera pot ser només de 30 anys.

Des del punt de vista de la vida útil de les façanes, hi ha tres categories d'elements:

- Elements substituïbles: Aquets són les parts que sabem que duraran menys temps que la vida útil de la façana, i per les quals hem previst el seu reemplaçament. Un exemple d'això són les juntes de goma exteriors, els segellats de silicona i els vidres, pels quals s'estima una vida útil entre uns 25 i uns 30 anys.

- Elements que hem de mantenir: Són les parts, les quals estan previstes que durin tant temps com la vida útil del tancament, no obstant, sabem que a base de tractaments periòdics i manteniments. Un exemple d'això són les juntes interiors de goma de les finestres.
- Elements duradors: Són les parts que esperem que mantinguin inalterables durant tota la vida útil del tancament, sense cap altre manteniment que una neteja periòdica. Un exemple d'això són els perfils principals del mur cortina o les fixacions de les façanes a l'estructura principal.

03.6.4.2. Comportament estructural.

Els elements estructurals d'un tancament es dissenyen i calculen mitjançant el criteri dels estats límits últims (tensió màxima) i dels estats límits de servei (deformació màxima). En la majoria dels casos, els elements del tancament es dissenyen per suportar les càrregues de vent i neu, entre d'altres, com per exemple les d'impacte, barreres o el manteniment. Els efectes de les càrregues sísmiques o d'explosius també han de ser considerats, en funció de cada cas d'estudi.

03.6.4.3. Moviment de l'edifici i toleràncies.

Ha de prestar-se especial atenció a la integració entre l'estructura del edifici, els seus moviments i deformacions previstes, i el tancament que l'envolta. Els estructuristes i els dissenyadors de la façana haurien de coordinar-se, per ficar els límits al moviment de l'estructura i les toleràncies de les juntes existents entre els elements i l'estructura.

La rigidesa de l'estructura perimetral determina la necessitat de permetre moviments relatius dintre dels elements del tancament, i de delimitar les dimensions de les juntes existents entre ells. En molts casos, una estructura més rígida en el perímetre de l'edifici limita els moviments entre els elements de la façana i, en conseqüència, redueix l'amplada de les seves juntes. Les úniques excepcions serien els components de la façana que existeixen entre pilar i pilar, lo que evita les deformacions al cantell del forjat o les façanes autoportants recolzades en el terra.

03.6.4.4. Permeabilitat a l'aire.

L'envolvent d'un edifici ha de ser estanca, amb lo que el disseny dels tancaments ha d'incorporar diverses línies de defensa contra l'entrada de l'aigua. L'estanqueïtat s'aconsegueix, normalment, mitjançant juntes de goma perforades, que poden ser d'EPDM o silicona. Molts sistemes del tancament, com les finestres i la majoria dels murs cortina, fan ús del principi d'equalització per crear una barrera impermeable. El principi d'equalització de pressions es basa en una càmera d'aire situada d'arrere de la pell exterior de la façana. Per obtenir la mateixa pressió de l'aire que l'ambient exterior. Així, la façana exterior actua com una pantalla de pluja que desvia la major part de l'aigua incident i elimina la seva energia cinètica. Si la pressió de la càmera segueix les variacions de la

pressió exterior degudes a les carregues del vent, queden anul·lades les forces que normalment empenyen l'aigua travessant la primera línia de defensa de la façana.

Un segellat d'estanqueïtat continu inclòs en la fulla interior de la façana resulta essencial pressions amb l'ambient interior i assegurar l'estanqueïtat del conjunt, per aquest motiu s'acostuma a incorporar una làmina impermeable interior com a segona barrera de defensa. No obstant, lo més important es tenir un bon drenatge i una adequada ventilació de la càmera intermitja, de manera que l'aigua que travessi la primera fulla pugui ser guiada novament cap a l'exterior.

L'assaig d'estanqueïtat d'un sistema de tancament normalment es dur a terme mitjançant una prova d'una mostra en un laboratori homologat, sota condicions controlades de pressió estàtica i dinàmica. Addicionalment, es poden realitzar assajos a taller ó a obra per determinar la qualitat de la instal·lació, lo que pot tenir un impacte crític en la impermeabilització del sistema de façana en molts casos.

03.6.4.5. Prestacions tèrmiques.

Un tancament ha d'actuar com a filtre de transmissió de calor entre l'ambient interior i l'exterior. L'objectiu es aconseguir un ambient interior confortable i consumir la mínima quantitat de recursos energètics.

En climes amb estius i hiverns extremats, els fluxos d'intercanvi de calor en les dos direccions a traves de la façana són de gran importància. A l'hivern, l'objectiu és eliminar les pèrdues de calor per la façana cap a l'exterior. El coeficient que calcula la pèrdua de calor a traves d'una façana és la transmissió tèrmica o coeficient U [W / m^2K]. Tal i com el defineix el Codi tècnic de l'edificació, el coeficient U quantifica la quantitat d'escalfor que passa a traves d'una unitat de superfície [m^2] per unitat de temps [$W = J / s$] i per el grau de temperatura [K] entre els ambients situats a ambdós costats d'un tancament. Quant més baix sigui aquest coeficient U , menys escalfor es perd a traves de l'envolvent de l'edifici.

U global de la façana el podem calcular per mètodes directes. En construccions més complexes, ja sigui per el número de capes, o bé la heterogeneïtat dels seus components (com els murs cortina), es requereixen de mètodes de càlcul més complexes. L'habitual es emprar programes informàtics basats en l'anàlisi numèric, en dos o tres dimensions, per avaluar la interacció que existeix entre els diferents components i obtenir el rendiment tèrmic de tot el tancament. Aquets programes ens ajuden en fase de disseny a preveure i evitar que es produeixin ponts tèrmics, en els quals s'acumularien posteriorment les condensacions,

En l'estiu l'objectiu es controlar els guanys de calor que entren en l'edifici a traves de la façana. Depenent del tipus d'edifici i el seu ús, aquets guanys poden ser benvinguts o indesitjables. Per

exemple, els edificis d'oficines tenen unes càrregues internes d'escalfor molt altes, degut al nivell d'ocupació i a l'equipament, llavors els guanys addicionals per la radiació solar s'haurien de reduir al mínim possible. Per el contrari, els edificis de vivendes es poden beneficiar dels guanys solars per reduir el cost de la calefacció a l'hivern. Com a conclusió obtenim que a l'estiu en el nostre país hem de lluitar contra el sobreescalfament en tot tipus d'edificis.

Els guanys de l'energia solar es produeixen fonamentalment a través de les superfícies envidriades de les façanes. El coeficient que quantifica aquest guany s'anomena "factor solar" i es adimensional. El factor solar d'una façana envidriada indica el percentatge del flux d'energia solar que entra en l'edifici o a través de l'envidriament [W / m^2] dintre del total de radiació solar que incideix sobre l'exterior del mateix. L'energia total que entra es la suma de la radiació directa que travessa el vidre, i de l'energia re irradiada des del vidre, per convecció i conducció, després de haver sigut absorbida per aquest.

03.6.4.6. Seguretat i resistència.

Al llarg de la vida útil d'un edifici, els components de la façana poden errar prematurament per diverses causes: danys accidentals, defectes en els materials, vandalisme o explosions.

Des del punt de vista de la seguretat, el major risc, tant per els ocupants de l'edifici com per els vianants del carrer, es el trencament dels vidres o de finestres (figura número 20) i amb més motiu si la posició del vidre es horitzontal (lluernaris, marquesines,...).

Quan es dissenya un envidriament, tant si es vertical com si es inclinat, es important tenir en compte els següents factors:

- Possibilitat de caiguda de gent o objectes que han impactat sobre el vidre.
- Ús interior i exterior de l'espai, i probabilitat d'impacte accidental ó provocat sobre el vidre.
- Conseqüències de col·lapse del vidre des del punt de vista de la retenció de les persones i de la contenció de les peces de vidre trencades.
- Qüestions de seguretat en relació a la neteja i el manteniment de la façana.

Els vidres poden temprar-se o laminar-se per augmentar la seva resistència enfront el trencament. En el vidre templet, la resistència (tensió admissible) augmenta cinc vegades més respecte al vidre

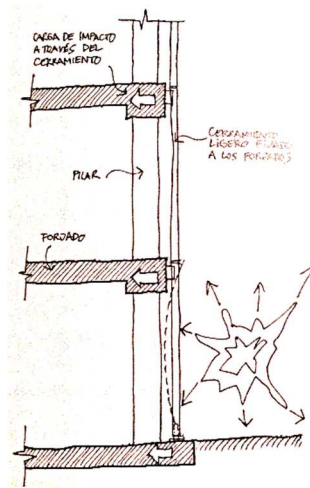


FIGURA 28



FIGURA 28 : Esquema de funcionament d'una façana lleugera dabant explosió i transmissió de l'impacte a l'estructura principal.

Font d'informació: "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura" de Nuria Martín Chivelet i Ignació Fernández Solla.

reconegut com a convencional. Mitjançant un laminat fem treballar conjuntament a dos o més capes de vidre, amb lo que el trencament d'alguna d'aquestes no suposa perill per l'estabilitat del conjunt. Tant el vidre templet com el laminat s'anomenen "vidres de seguretat". Des del punt de vista templat es el risc de te la seguretat, una preocupació actual en relació amb el vidre templet és el risc de trencament espontani degut a la presencia de partícules de sulfurs de níquel (NiS). Aquestes partícules són impureses presents en la massa del vidre durant el seu procés de fabricació flotant. Durant la fase posterior del templet, les inclusions de sulfur de níquel canvien de forma i passen a adquirir una estructura cristal·lina i de menor volum. Quan el vidre templet es refreda ràpidament, les partícules de sulfur de níquel mantenen la nova estructura. A partir d'aquí i durant un període de temps de diversos anys, les inclusions tendeixen a tornar al seu estat inicial, augmenta la seva dimensió entre un 2 i un 4%, això pot provocar el trencament del vidre. Lo més perillós es que les partícules són indetectables i poden provocar trencaments de forma impredecible al llarg del temps.

Per reduir la possibilitat de trencament del vidre per inclusions de sulfur de níquel es fa passar el vidre durant el seu procés de fabricació per una exposició accelerada d'altres temperatures amb lo que les inclusions augmenten de dimensió ràpidament i provoquen el trencament del vidre. Aquest procediment es coneix amb el nom de HST (Heat Soak Test). Aquest procediment redueix la possibilitat de que posteriorment es produeixi un trencament espontani, però no l'elimina per complet.

03.6.4.7. Aïllament acústic.

Les prestacions acústiques d'una façana estan en relació a la massa i la composició del vidre, això com la permeabilitat de l'aire de les juntes en el tancament. L'aïllament al soroll (exterior ó procedent d'altres plantes) el podem millorar instal·lant replens d'algun material absorbent al soroll (per lo general de massa elevada) i assegurant al màxim l'estanqueïtat del pas de l'aire.

Des del punt de vista acústic, el punt més feble d'una façana són els elements envidriats, tant per la seva menor massa relativa com per la presencia entre ells d'obertures, amb major infiltració de l'aire. Els paràmetres principals que controlen les prestacions acústiques d'una façana envidriada són el gruix del vidre, la infiltració de l'aire a traves de la fusteria i el tipus de vidre utilitzat (monolític, doble envidriament, laminar,...). Altres factors de menor importància són el tipus d'intercalat en els vidres, el gruix i el tipus de gas present en la càmera d'aire i en el vidre, conjuntament amb les dimensions dels vidres.

03.6.4.8. Resistència al foc.

Normalment, les plantes d'un edifici constitueixen sectors d'incendi independents. La resistència al foc i el segellat del pas del fum en els espais existents entre la façana i el canto del forjat són essencials per aturar el pas del foc i els gasos de combustió entre les plantes. Les superfícies

opaques situades per davant del cantell del forjat han d'incorporar en la seva cara interior un aïllament tèrmic no combustible.

Sovint els codis contra incendis requereixen la previsió dels panells de vidre especials a façana per permetre l'accés als bombers. Aquets panells es trenquen per poder entrar a l'edifici, amb lo que el tipus de fractura d'aquets vidres, trossets petits, permet l'accés en condicions segures.

03.6.4.9. Tensions tèrmiques en el vidre.

El terme que descriu les tensions internes creades quan el vidre esta sotmès a diferents temperatures en diversos punts de superfície és el conegut com "xoc tèrmic".

El vidre present en les zones transparents i opaques d'una façana s'expandeix en resposta a l'escalfor del sol. Contra més capacitat d'absorció té el vidre, més gran i més rapida es la seva resposta a la radiació solar. Si els cantells del vidre estan encapsulats en la perfilaria que els té retinguts, i per tant, protegits del sol directe, s'escalfa i s'expandeix molt menys. Una reacció semblant be donada quan el vidre rep d'altre edifici ó d'un element exterior una ombra parcial que marca una línia de separació. Si la diferencia de temperatura entre la part amb ombra i la part exposada excedeix uns 25-30º, el vidre recuit es pot fracturar.

El trencament per xoc tèrmic es reconeix generalment per que inicia perpendicular al canto del vidre i progressa mitjançant una fissura en corba serpentejant. Altres factors que afecten a la seguretat enfront el xoc tèrmic són l'existència de cortines, fonts internes d'escalfor, ombres exteriors, pel·lícules adherides sobre el vidre, que augmenten l'absorció i la situació geogràfica.

Quan existeix risc per trencament de xoc tèrmic, el vidre ha de ser tractat tèrmicament per incrementar la seva resistència al trencament. Els dos tipus de tractament tèrmic existents són el "templet" (que augmenta la seva resistència cinc vegades) i el "termoenduriment" (que dobla la resistència del vidre recuit convencional).

03.7. Panorama actual de l'energia fotovoltaica.

03.7.1. Dades generals sobre la situació a Catalunya.

Actualment la situació a Catalunya en global de l'any 2014 és que tenim unes 3600 instal·lacions fotovoltaiques tipus instal·lades. Per tant, uns 226 MW de potència que provenen directament de l'energia solar fotovoltaica. Aquestes dades van estar extretes a la Jornada sobre "els reptes de la fotovoltaica a Catalunya" que és va celebrar al col·legi d'enginyers industrials de Catalunya a Barcelona, per part del Sr. Pere Palacín i Farré. Director General d'Energies, Mines i Seguretat Industrial de la Generalitat de Catalunya.

03.7.2. Canvis normatius de la reforma del sector elèctric.

El punt anterior marca el lloc i el moment on ens situem. Però també, sabem que la normativa actual proposa una certa inseguretat jurídica. Tant en factors administratius, com econòmics. Aquest fet es va produir degut en major part, per els "Peatges" o "Cargues" que va proposar el ministeri per part de les grans companyies elèctriques de l'Estat. Per tant, tant els usuaris com els tècnics, enginyers, o bé, projectistes en general, són conscients de que cal un canvi de model energètic, tant en renovables com en l'eficiència energètica. A més a més, d'una normativa que especifiqui les regles del joc, en quant a l'autoconsum en qualsevol tipus de sectors i faciliti una tramitació comunitària àgil. Aquest canvi ha de procurar una qualitat estàtica de lo que engloba tot el producte, aquesta és produirà sempre que no hi haguí risc financer (principalment en els costos variables), tingui una seguretat jurídica i ho concorde amb el dret Europeu de la resta de països que tenim a la Unió Europea.

03.7.3. Possibilitat de la hibridació elèctrica i dels sistemes aïllats.

Actualment en el mercat Estatal existeixen sistemes d'hibridació elèctrica. Com són els SPS (Sirio Power Supply) de l'empresa AROS SOLAR TECHNOLOGY. Aquesta és una solució trifàsica d'un sistema automatitzat que fa la funció d'ampliar les funcionalitats de l'energia produïda per el conjunt d'un sistema d'energia fotovoltaica, ja que, realimenta les bateries i la càrrega. Les seves dimensions són establertes en funció de les característiques de càrrega i d'una autonomia adequada. Permet emmagatzemar energia produïda per una font d'energia renovable, com es la fotovoltaica. Per poder-la emprar després a les nits o en hores de baixa irradiació. La recàrrega d'aquesta bateria es produeix mitjançant l'inversor fotovoltaic, o bé de la xarxa ó d'un grup electrogen.



FIGURA 29

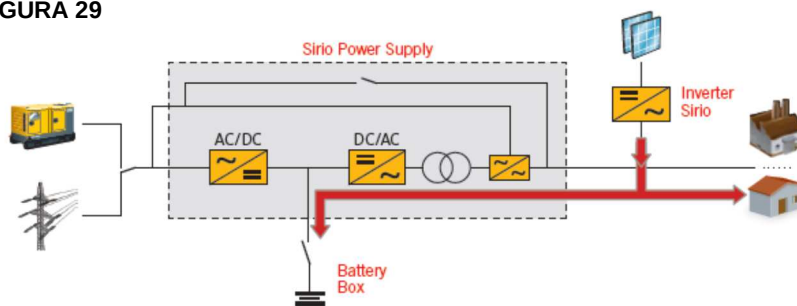


FIGURA 29 : Esquema del Sistema SPS (Sirio Power Supply)

Font d'informació: Catàleg de Sirio Power Supply de Soluciones Storage de l'empresa AROS SOLAR TECHNOLOGY.

Aquest sistema funciona tant en sistemes "On grid" (zones on la xarxa està disponible) com en sistemes de "Off-grid" (zones on la xarxa no es troba disponible). Per tant, és una tecnologia que ens proporciona l'automatització del sistema fotovoltaic per un millor confort de l'usuari final de l'habitatge.

03.7.4. El futur de les smart cities des d'una vessant energètica.

Els rendiments urbans actualment no tan sols depenen de la dotació d'infraestructures físiques ("capital físic") de les ciutats, sinó també, i cada vegada més, de la seva disponibilitat i qualitat de la comunicació del coneixement i de la infraestructura social ("el capital intel·lectual i social") que tinguin. Aquesta última forma de capital és decisiva per a la competitivitat urbana. És en aquest context que el concepte de "smart city" (ciutat intel·ligent o digital) s'ha introduït com un element estratègic per a abastar els factors de producció urbana moderna en un marc comú i per posar en relleu la creixent importància de les Tecnologies de la Informació i la Comunicació (TIC), el capital social i el medi ambient, en el perfil de la competitivitat de les ciutats. La importància d'aquests dos conceptes -capital social i capital mediambiental- és el que permet diferenciar una ciutat digital d'una ciutat convencional.

No obstant, a part de les tecnologies TIC, també hi ha un altre vessant, "l'energetic". Aquest està pensat per gestionar un consum eficient (Smart energy management system) en els nostres edificis (smart buildings). Els principals problemes que en trobem són que la nostre instal·lació variarà en funció de la qualitat del dia. Aquets són els següents:

- Dies ideals → Ni es perd ni es compra energia
- Dies de poc sol → Hem d'agafar energia de la xarxa
- Dies de molt sol → És perd energia (necessitem bateries)

Els objectius d'aquets Smart buildings són:

- Reduir la potència contractada
- Fer una Instal·lació assistida, tant en el sistema fotovoltaic com a la pròpia xarxa.

Barcelona és un clar exemple d'aquesta tecnologia. A la legislatura passada es va estendre la xarxa de Wi-Fi per la ciutat. Des del 2010 hi ha una aposta decidida per aquest model de ciutat i el 2012 Barcelona ja es va posicionar al món.

En aquest sentit, alguns projectes més destacats són:

- El servei de teleassistència, que usen més de 70.000 persones els 365 dies de l'any i les 24 hores, pensat per a persones grans, dependents o amb discapacitat i que les connecta amb serveis d'urgència.

- Els semàfors amb so per a les persones invidents
- El projecte Vincles que, a través d'una tauleta, dona suport a les persones grans que viuen soles amb una xarxa de confiança que es crea en el seu entorn
- Els Ateneus de Fabricació, espais dedicats a la pedagogia de la tecnologia i a la seva aplicació en el dia a dia dels ciutadans.

Són moltes les ciutats que treballen entorn a aquesta tecnologia aplicada que s'anomena Smart City. Des de fa quatre anys Fira de Barcelona organitza la Smart City Expo que el passat novembre va tancar amb les seves millors xifres: 400 ciutats, 242 empreses i més de 10.000 visitants (un 43% més que a la primera edició). Les últimes novetats presentades més mediàtiques van ser els nous drons per a emergències mèdiques, llambordes intel·ligents o cotxes urbans híbrids i de tres rodes.

03.7.5. Potencial de la fotovoltaica en l'entorn rural.

Aquest potencial a l'entorn rural ve definit per el disseny i la gestió de microxarxes EERR híbrides i microxarxes d'electrificació rural. Aquesta és una idea que va sorgir a finals dels anys 80 i tracta l'electrificació d'habitatges aïllats i la seva interconnexió en una microxarxa rural. Concretament, el primer projecte el tenim al Estat Espanyol hi és integrat a la comunitat autònoma d'Andalusia amb "La Rambla del Agua" l'any 1994. Aquest projecte, en quant a termes fotovoltaics, va realitzar la instal·lació d'una minicentral d'energia solar amb una capacitat de 10KW solars fotovoltaics per el subministrament a 44 habitatges i l'enllumenat públic per els carrers de tot el poble. Aquest projecte va rebre el premi SOLyPAZ, premi que atorga la Fundación Tierra, a les persones i entitats que han destacat en la promoció de l'energia solar.

Actualment ens trobem amb una magnitud d'aproximadament és d'uns 952TWh addicionals per a uns 1300 milions de persones a tot al món que utilitzen aquesta tecnologia, majoritàriament representats a l'Àfrica.

La idea principal doncs, És la que va sorgir a arrel de la PIME trama tecnoambiental (TTA), aquesta va ser fundada el 1986 i procura interconnectar poblacions aïllades en lo que s'anomena unes microxarxes com les esmentades anteriorment. Aquestes han de ser valorades tant a nivell consultiu, com de recerca, la gestió dels projectes, aspectes socials i financers tant per a clients institucionals com a privats. A més a més han de valorar aspectes més crítics, com són: la caracterització de la demanda, la solució tècnica i el concepte de mesura. Aquesta PIME també a realitzat un sistema per portar un control del consum d'energia anomenat EDA (Energia diària assignada) aquest és un sistema que utilitza en el dispensador-comptador d'electricitat per passar l'energia d'un a altre sistema fotovoltaic aïllat mitjançant unes targetes magnètiques individuals per a cada instal·lació. Aquesta tecnologia té per objectius:

- Limitar la disponibilitat d'energia (en funció de cada consum).

- Gestionar l'energia que es contracta i es consumeix.

FIGURA 30

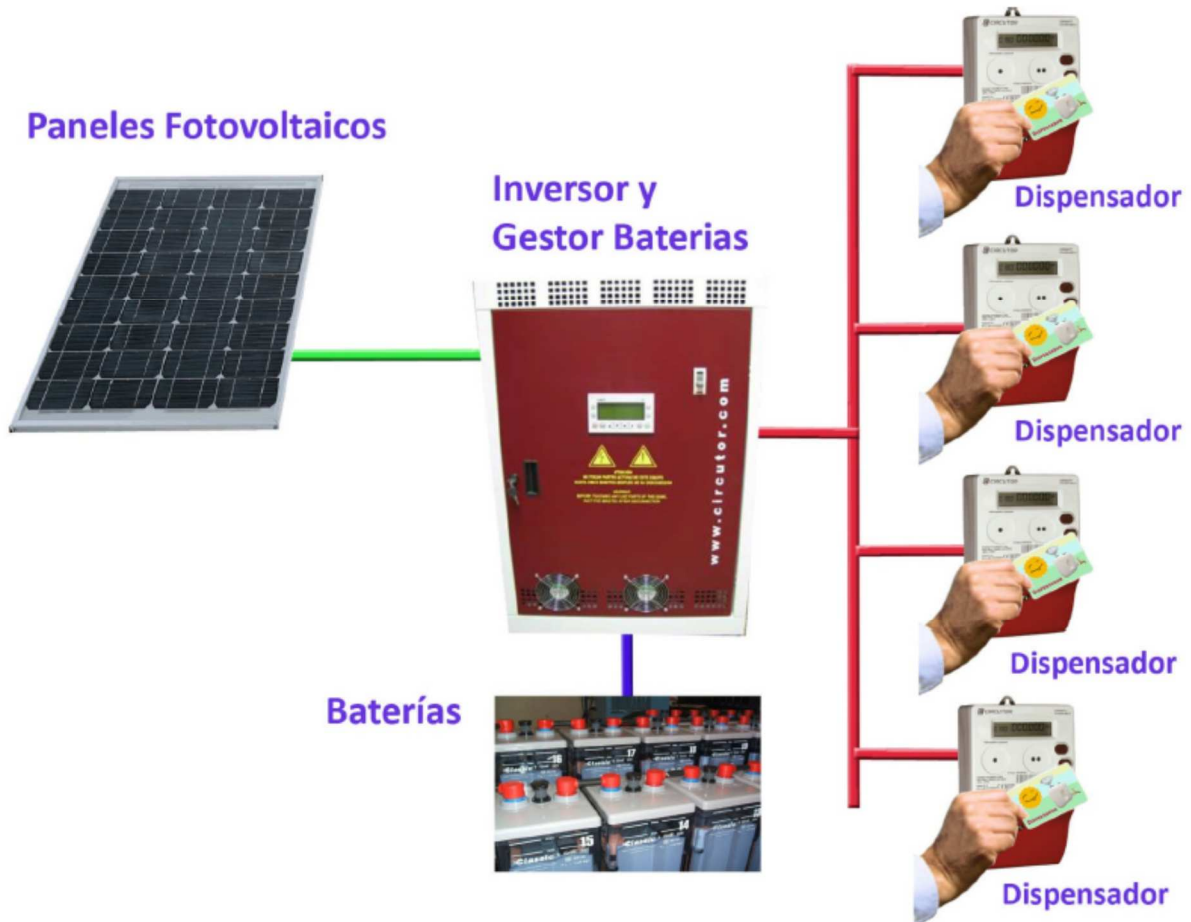


FIGURA 30 : Esquema de la nova generació de Dispensadors i comptadors elèctrics.

Font d'informació: Presentació de Jordi Ribas sobre Multiuser Solar Grids (MSG): l'Anàlisi de 5 anys de funcionament i desenvolupament de Trama TecnoAmbiental.

Les solucions tecnològiques són les següents:

- Generació distribuïda amb energies renovables.
- ON-GRID (Microcentrals connectades a la xarxa).
Equips de gestió de l'energia (generació, exportació, gestió de la demanda, acumulació, etc).
Smart-grid i funcionament en illa.
- OFF-GRID (Microcentrals autònomes).
Microxarxes amb generació renovable en poblacions aïllades.
Autogeneració
Seguretat de subministrament.

Tipologies: Sistemes en xarxa, generació autònoma, microxarxes.

03.7.6. Legalització de les instal·lacions d'autoconsum.

A l'any 2012, com a conseqüència de la publicació en el BOE de data 28/01/2012 del Reial Decret Llei 1/2012, pel qual es procedeix a la suspensió dels procediments de pre-assignació de retribució i a la supressió dels incentius econòmics per a noves instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de cogeneració, fonts d'energia renovables i residus, la Direcció General d'Empresa i Ocupació va prendre la decisió de continuar tramitant totes les instal·lacions generadores connectades o no en xarxa interior sota l'empara del règim especial de producció elèctrica atès que aquest continuava vigent.

Ara bé, com que resultava afectat el règim econòmic, cada persona o entitat que tingués la intenció de promoure una instal·lació de règim especial havia de tenir en compte que, per l'energia que aboqués a la xarxa, percebria el preu del mercat elèctric, ja que s'havia suspès el règim econòmic primat.

La forma de sol·licitar i tramitar l'autorització administrativa, la posada en marxa i la sol·licitud d'inscripció en el Registre d'Instal·lacions de Producció en Règim Especial continuava sent la mateixa, d'acord amb el procediment establert pel Reial Decret 661/2007, el Reial Decret 1699/2011 i els procediments de la Direcció General d'Energia, Mines i Seguretat Industrial.

Actualment el nou marc regulatori (Llei 24/2013 del Sector Elèctric) elimina els conceptes diferenciats de règim ordinari i règim especial i regula la producció d'energia elèctrica.

La citada Llei, en el seu article 9, defineix l'autoconsum com el consum d'energia elèctrica provinent d'instal·lacions de generació connectades a l'interior d'una xarxa d'un consumidor o mitjançant una línia directa d'energia elèctrica associades a un consumidor i estableix diferents modalitats d'autoconsum.

També s'ha constatat un augment de l'interès d'empreses i ciutadans en posar en marxa projectes on l'energia produïda és consumida en la seva totalitat pel propi productor, motiu pel qual no es generen excedents ni es preveu cap abocament d'energia a la xarxa.

És per això que s'emet aquesta nota informativa amb l'objectiu d'aclarir els procediments administratius de tramitació dels diferents tipus d'instal·lacions de generació elèctrica.

Tipus d'instal·lacions

La ITC-BT 40 del Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió (REBT) (Reial Decret 842/2002) relativa a instal·lacions generadores de baixa tensió, classifica les instal·lacions generadores atenent el seu funcionament respecte a la xarxa de distribució elèctrica de la manera següent:

- a. Instal·lacions generadores aïllades: en què no pot existir connexió elèctrica alguna amb la xarxa de distribució elèctrica.
- b. Instal·lacions generadores assistides: aquelles en les que hi ha connexió a la xarxa de distribució elèctrica, però sense que els generadors puguin estar treballant en paral·lel amb ella.
- c. Instal·lacions elèctriques interconnectades: les que estan, normalment, treballant en paral·lel amb la xarxa de distribució elèctrica.

Requisits per a la tramitació

a. Instal·lacions aïllades.

Les instal·lacions aïllades que generen en baixa tensió es tramiten de conformitat amb les ITC-BT 4 i ITC-BT 5 del Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió (REBT) (Reial Decret 842/2002) així com la Instrucció 7/2003, de 9 de setembre, de la Direcció General d'Energia i Mines, per la qual s'estableix el procediment per a la tramitació, posada en servei i inspecció de les instal·lacions elèctriques connectades a una alimentació en baixa tensió.

b. Instal·lacions assistides.

Les instal·lacions assistides que generen en baixa tensió es tramiten de conformitat amb les ITC-BT 4 i ITC-BT 5 del Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió (REBT) (Reial Decret 842/2002) així com la Instrucció 7/2003, de 9 de setembre, de la Direcció General d'Energia i Mines, per la qual s'estableix el procediment per a la tramitació, posada en servei i inspecció de les instal·lacions elèctriques connectades a una alimentació en baixa tensió.

El titular de la instal·lació està obligat, d'acord amb l'apartat 9 de la ITC-BT 40, a presentar un projecte a la empresa distribuïdora d'energia elèctrica d'aquelles parts que afectin les condicions d'acoblament i seguretat del subministrament elèctric, a fi de que aquesta pugui verificar que les instal·lacions d'interconnexió i altres elements que afectin a la regularitat del subministrament estiguin realitzades d'acord amb els reglaments en vigor.

D'acord amb l'article 9 de la Llei 24/2013, de 26 de desembre del sector elèctric, la instal·lació s'haurà d'inscriure en el Registre Administratiu d'Autoconsum d'energia elèctrica del Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme creat pel Reial Decret-Llei 9/2013, de 12 de juliol.

c. Instal·lacions interconnectades.

c.1. Instal·lacions generadores en baixa tensió sense abocament a la xarxa elèctrica de distribució.

Les instal·lacions interconnectades sense abocament a xarxa que generen en baixa tensió es tramiten de conformitat amb les ITC-BT 4 i ITC-BT 5 del Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió (REBT) (Reial Decret 842/2002) així com la Instrucció 7/2003, de 9 de setembre, de la Direcció General d'Energia i Mines, per la qual s'estableix el procediment per a la tramitació, posada en servei i inspecció de les instal·lacions elèctriques connectades a una alimentació en baixa tensió.

El titular de la instal·lació està obligat, d'acord amb l'apartat 9 de la ITC-BT 40, a presentar un projecte a la empresa distribuïdora d'energia elèctrica d'aquelles parts que afectin les condicions d'acoblament i seguretat del subministrament elèctric, a fi de que aquesta pugui verificar que les instal·lacions de interconnexió i altres elements que afectin a la regularitat del subministrament estiguin realitzades d'acord amb els reglaments en vigor.

D'acord amb l'article 9 de la Llei 24/2013, de 26 de desembre del sector elèctric, la instal·lació s'haurà d'inscriure en el Registre Administratiu d'Autoconsum d'energia elèctrica del Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme creat pel Reial Decret-Llei 9/2013, de 12 de juliol.

c.2. Instal·lacions generadores en baixa tensió amb abocament a la xarxa elèctrica de distribució.

La forma de sol·licitar i tramitar l'autorització administrativa, la posada en marxa, i la sol·licitud d'inscripció en el Registre d'Instal·lacions de Producció Elèctrica segueix el procediment establert pel Reial Decret 413/2014, el Reial Decret 1699/2011, el Decret 308/1996, el Decret 147/2009, de 22 de setembre pel que fa referència a les instal·lacions elèctriques de qualsevol potència i fotovoltaïques sobre terra de més de 100 kW i els procediments de la Direcció General d'Energia, Mines i Seguretat Industrial.

La instal·lació s'ha d'inscriure en el Registre d'Instal·lacions de Producció d'Energia Elèctrica de Catalunya (RIPRE) i, d'acord amb l'article 9 de la Llei 24/2013, de 26 de desembre del sector

elèctric, s'haurà d'inscriure en el Registre Administratiu d'Autoconsum d'energia elèctrica del Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme creat pel Reial Decret-Llei 9/2013, de 12 de juliol.

03.7.7. Edificis amb energia.

Tal i com hem vist anteriorment, hi ha diferents tècniques, tecnologies per fer una correcta integració fotovoltaica i totes aquestes busquen una perspectiva de futur. Tan per la pròpia edificació, com per a comunitat sostenible. En quant a les edificacions aquesta perspectiva presenta diferents objectius:

- Generació elèctrica
- Distribució
- Autoconsum
- Creixement de la FV
- Desenvolupament de més xarxes elèctriques
- Altres

En altres països, com és l'exemple dels Països Baixos, en concret al ECN (Centre d'Investigació Energètica) van fer una proposta per obtenir una nova visió d'abastament elèctric, en el qual feien una subdivisió a la seva pròpia empresa sobre a que dedicarien les seves prioritats en un futur energètic, aquestes eren dos, les energies tradicionals i les energies renovables. Aquestes últimes les prioritzen sobre les altres, ja que 40.000 de 60.000 operaris del global del ECN estan prioritzen les seves tasques a les noves energies. Per tant marca un canvi en la tendència energètica.

Un dels problemes és com fer sostenible tot aquest nou mercat d'edificis i poblacions sostenibles i eficients fotovoltaica ment parlant. Un exemple per poder sol ventar aquesta dificultat és el que va realitzar l'associació americana "ALEC" (American Legislative Council). Aquesta treballa per avançar amb el govern limitant, els mercats lliures i el federalisme en l'àmbit de l'Estat mitjançant aquesta associació publico-privada no partidista dels legisladors estatals dels Estats Units. Van fer una eina per poder limitar aquets consums energètics és el Net Metering o concepte de "reforma d'amidament net" que permet incentivar als consumidors d'energies renovables, fixant una retribució pe'l fet de donar energia excedent dels seus sistemes a la xarxa. Aquest concepte el fan servir a 43 dels Estats dels estats units més el districte de Columbia. Són els propis clients els que acrediten al tipus elèctric de venda al públic de qualsevol excés d'electricitat que generin.

03.7.8. Projectes relacionats.

03.7.8.1. Projecte Jujuy UdG. Plaques amb material reciclat.

L'any 2014, Judit Casadevall Quera, una estudiant de la UdG de Grau d'Enginyeria Mecànica, va presentar un projecte final de Grau sobre a l'Escola Politècnica Superior, que tractava sobre una instal·lació per generar un sistema d'escalfament d'aigua mitjançant un captador solar construït amb material reciclat a la província de Jujuy a Argentina.

Aquest captador solar, està compost per 216 ampolles de plàstic i 180 tetrabriks. La estructura suportant són tubs de PVC de 20mm de diàmetre, pintats de negre mate i que passen per l'interior de les ampolles de dos litres del tipus PE. Els tetrabriks també es pinten de negre mate per captar millor l'energia tèrmica solar i es col·loquen a l'interior de les ampolles i per sota dels tubs. La circulació de l'aigua es fa per termosifó. No s'incorporen bombes d'impulsió en el sistema, eliminant així el cost que podria tenir la bomba i les possibles averies futures degudes a la instal·lació elèctrica.

Un dels objectius principals d'aquest projecte era generar energia i poder tornar la zona de Jujuy i Argentina en general, més extensible a altres habitatges de les mateixes característiques.

03.7.8.2. Projecte ETSAB (UPC). Projecte LOW 3.

FIGURA 31

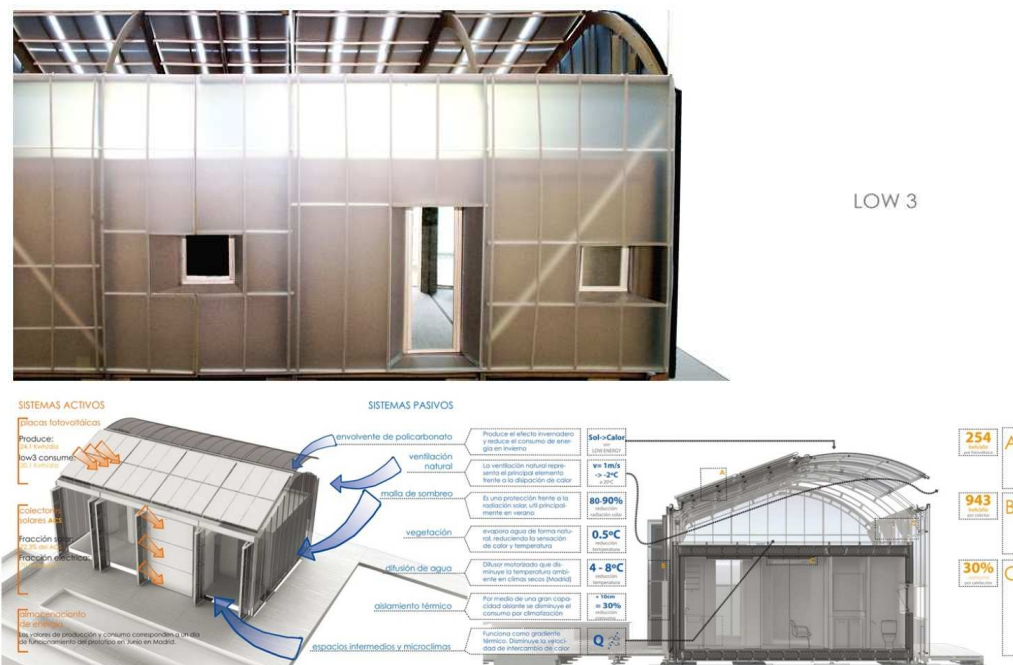


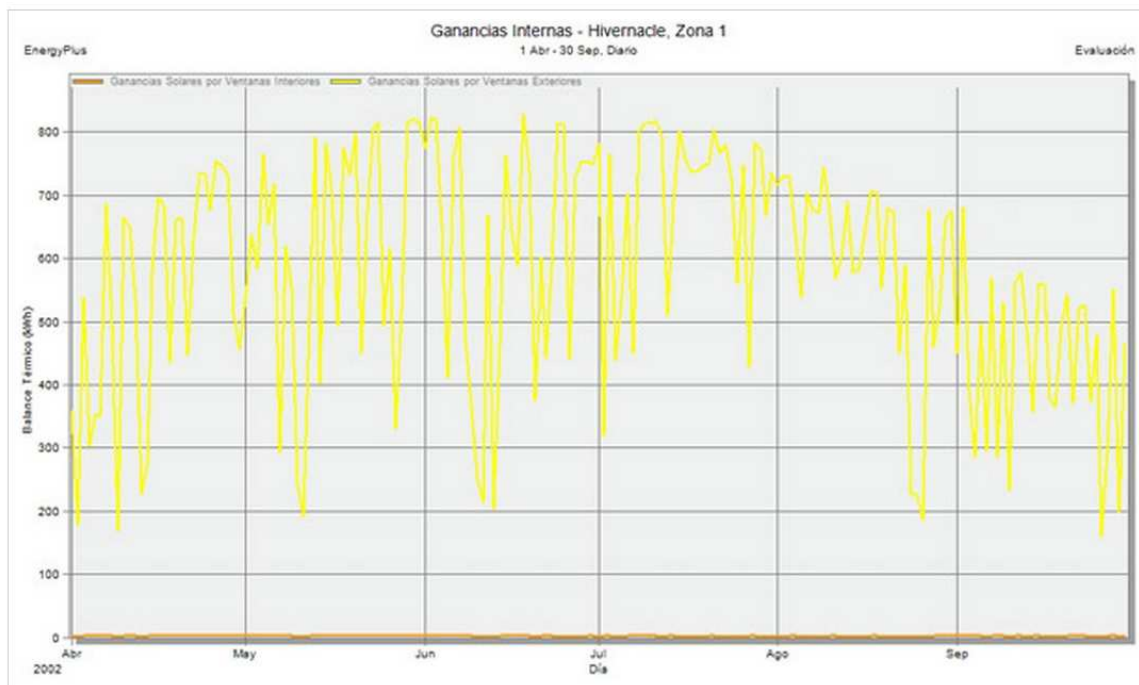
FIGURA 31 : Projecte LOW 3.

Font d'informació: Projectes realitzats per la ETSAB. Web de l'universitat "www.etsab.upc.edu".

'Low3' és un habitatge bioclimàtic basat en un baix consum energètic, baix impacte ambiental durant el seu cicle de vida i baix cost dels sistemes constructius. El director tècnic del projecte és en Torsten Maseck. El prototip de casa 'Low3', construïda amb materials reciclats i que utilitza només energia solar i fotovoltaica dissenyada i projectada per l'equip humà de la UPC, format per professors i estudiants de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès (ETSAB).

Ingetecnia ha col·laborat amb una empresa d'hivernacles per tal de dissenyar l'estructura del prototip d'habitatge solar "Low3" que ha presentat la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) en la competició "Solar Decathlon Europe 2010", celebrada del 18 al 27 de juny a Madrid, i en la qual el projecte "Low3" de la UPC va resultar guanyador de la prova d'arquitectura juntament amb altres dos projectes d'universitats de Finlàndia i els EUA. El jurat del concurs, que es va celebrar a Madrid, va valorar la qualitat del disseny tècnic, l'aplicació d'estratègies bioclimàtiques, la integració de sistemes tecnològics i la coherència i flexibilitat dels seus espais. Al concurs hi van participar 17 projectes més d'arreu del món.

Low3 és un acrònim de Low energy + Low impact + Low cost (baixa energia, baix impacte i baix cost). L'acrònim dóna nom a un prototip especialment concebut per a ser més que un habitatge energèticament autosuficient. L'habitatge utilitza l'energia del sol i la ventilació natural per autoregular-se tèrmicament. Addicionalment l'habitatge incorpora energies renovables.



GRÀFIC 9

GRÀFIC 9 : Representació gràfica del consum energètic/persona d'abril a setembre..

Font d'informació: Projectes realitzats per la ETSAB. Web de l'universitat "www.etsab.upc.edu"

03.7.8.3. Projecte ETSAV (UPC). Projecte RESSÒ.

RESSÒ és un prototip d'espai comunitari de rehabilitació social i autosuficient realitzat pels estudiants de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès (ETSAV) que s'emmarca dins la competició internacional Solar Decathlon Europe 2014.

FIGURA 32

Participem en tots els aspectes del projecte, des de la seva gestió i projecció fins a la construcció Do It Yourself (DIY). Actualment hem acabat de definir el prototip i properament començarem la seva construcció.

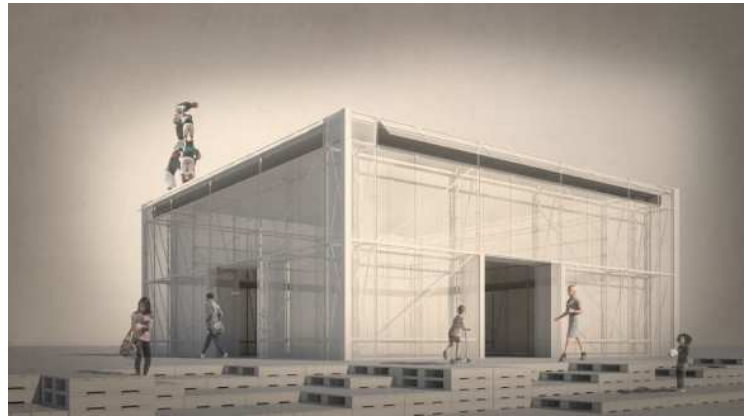


FIGURA 32 : Perspectiva Projecte RESSÒ

Font d'informació: Projectes realitzats per la ETSAV. Web de l'universitat "www.etsab.upc.edu"

El projecte Ressò es basa en els paràmetres de la construcció sostenible per tal de minimitzar la nostra petjada ecològica. Per tant tenim en compte aspectes com l'arquitectura bioclimàtica, l'eficiència energètica, l'urbanisme sostenible, la gestió eficient dels edificis i els sistemes solars actius integrats. És per això que prenem com a referència certificats energètics com Passiv Haus, Minergie, HGE O Verde.

Per altra banda replantegem un model residencial, gestionant col·lectivament tant els recursos com

FIGURA 33

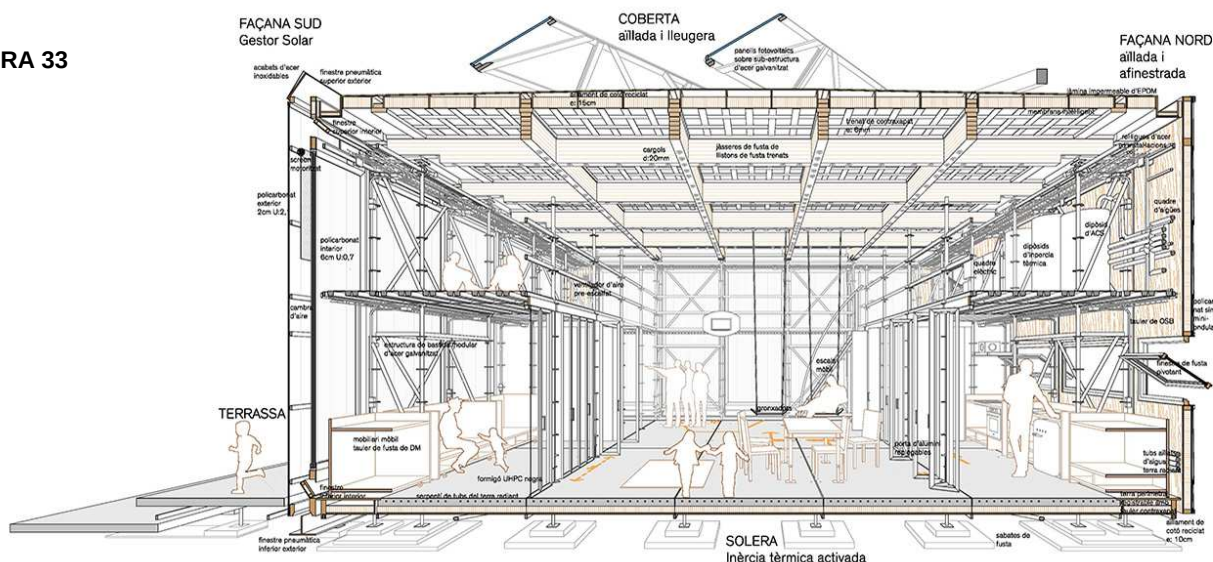


FIGURA 33 : Croquis Projecte RESSÒ

Font d'informació: Projectes realitzats per la ETSAV. Web de l'universitat "www.etsab.upc.edu"

l'estil de vida de les persones de manera col·lectiva (model co-housing).

Podem resumir les característiques del prototip en uns punts bàsics:

- ESPAI INTERMEDI d'acord amb el model d'espai comunitari co-housing.
- CLIMATITZACIÓ PASSIVA – sistemes LOW TECH segons els paràmetres de construcció sostenible.
- ESTRUCTURES LLEUGERES amb solucions que facilitin el transport i la construcció i el desmuntatge.
- DEPURACIÓ D'AIGUA local per reutilitzar les aigües grises i optimitzar i reduir el consum d'aigua.
- Ús de material reciclat en el MOBILIARI.

FIGURA 34



FIGURA 34 : Prototip Projecte RESSÒ

Font d'informació: Projectes realitzats per la ETSAB. Web de l'universitat "www.etsab.upc.edu"

- Objectius del prototip
 - Objectius a curt termini
 1. Aconseguir finançament per a les instal·lacions d'aigua i electricitat que emprarem per la construcció del prototip.
 - Objectius a llarg termini
 1. Promoure i difondre la rehabilitació com a via de treball en la professió d'arquitecte, d'acord amb la saturació del mercat de la construcció.
 2. Crear, millorar i desenvolupar espais col·lectius per tal de millorar les condicions de confort del tots els ciutadans/es.

3. Mínim impacte mediambiental i eficiència energètica.
4. Resoldre problemes socials mitjançant sistemes emprats a la construcció del prototip.

03.7.8.4. Projecte Etree.

Etree és un projecte social creat per l'empresa israeliana "Solargic Renewable Energy Systems". Aquest té com objectiu promoure la consciència ambiental i la sostenibilitat, per poder crear així un vincle entre l'entorn comunitari.

Concretament Etree és un arbre artificial que consta d'un tronc de metall marró i està alimentat per set panells solars. La finalitat d'aquets panells està situada als parcs i més en concret a les zones d'esbarjo. Aquest consta d'una estació d'acoplament per carregar telèfons intel·ligents (smatphones) i les tabletas. A més a més, incorpora un sistema de WI FI, una pantalla LCD d'il·luminació nocturna i té diferents acoblaments, com són, una bomba per poder operar una font d'aigua ó tots els possibles consumidors elèctrics.

FIGURA 35



FIGURA 35 : Fotografia de l'Etree

Font d'informació: Pàgina web de l'empresa israeliana Solargic "www.solargiving.com"

A l'actualitat, existeixen dos exemplars d'aquest producte, dels quals el més representatiu està ubicat al parc natural de Ramat HaNadiv a l'Israel. Aquets set panells poden generar un màxim de 1.4 kW, suficients per fer funcionar 35 ordinadors portàtils. A més a més, consta d'una bateria que

emmagatzema l'excés d'energia per poder fer la il·luminació nocturna i proporcionar energia de reserva en dies de núvol.

03.7.9. Tendències actuals.

03.7.9.1. Altres formes de generar electricitat integrada als edificis.

03.7.9.1.1. Pintura d'alta conductivitat elèctrica.

Al 2013, uns científics gal·lesos van desenvolupar una pintura amb propietats fotovoltaïques que produeix energia elèctrica. Amb aquesta pintura, podem pintar els edificis, parets i sostres amb l'objectiu de que aquest, independentment del seu ús, generi la seva pròpia energia.

En el centre d'investigació d'energia sostenible de Gales, els investigadors utilitzen tècniques de revestiment per a cobrir els edificis amb aquesta pintura dissenyada amb nanopartícules. Es tracta doncs, d'una pintura aplicada amb esprai elaborada a base de nano materials que aprofiten els rajos solars.

Aquest revestiment captura l'energia del Sol mitjançant nano estructures d'Òxid de titani i cèl·lules colorants semi conductores que fan una funció semblant a la fotosíntesi de les plantes i a la vegada no utilitza silici, resultant doncs més econòmic que les cèl·lules solars convencionals.

Eifion Jewell és un dels directors d'aquest projecte tecnològic. "En la seva forma més senzilla podem utilitzar grafeno extret del grafit del carbó, que el trobem a les mines dels llapisos i és un bon conductor, però l'inconvenient que té és que hem de posar altres materials, com la plata, en forma de tinta platejada que quan està seca es torna conductora".

Propietats intrínseques del grafeno:

Conductivitat tèrmica	3000 – 5000 W / mK
Conductivitat elèctrica	0,96 – 106 ($\Omega \cdot m$)-1
Superfície específica	2630 m ² / g
Mobilitat electrònica	15000 cm ² / Vs (a temperatura ambient)
Tensió mecànica	Suporta pressions superiors a 1060 GPa
Esforç a torsió	42 N / m
Límit de freqüència	130 GPa
Mòdul de Young	1,06 TPa
Coeficient de Poisson	0,186

Els científics utilitzen una màquina d'escalfament específica amb l'objectiu d'assecar diferents materials conductors. Al revestir els edificis amb aquest material, les cobertes i les façanes farien la funció de panells solars que podrien generar i emmagatzemar energia renovable.

03.7.9.1.2. Producció elèctrica mitjançant cobertes enjardinades.

Hi han estudis, publicats concretament a l'Octubre del 2013 a Euronews, que diuen que les plantes produeixen electricitat. En particular, el projecte "Planta E" de la Universitat de Wageningen dels Països Baixos dirigit pel científic Marjolein Helder, que ho va defensar el passat 23 de novembre com a investigació del seu doctorat. Posteriorment, va fundar una empresa anomenada "Plant-e" amb el seu soci David Strik per poder explotar aquesta ideal.

La pila de tot aquest sistema és un vegetal microbià que genera electricitat a partir de la interacció entre les arrels de les plantes i els bacteris dels terrenys. Funciona mitjançant l'aprofitament de fins el 70% del material orgànic produït a través de la fotosíntesi que no utilitzen les plantes i segreguen per les arrels.

Les bactèries interactuen amb els residus orgànics alliberant electrons i és així com es genera electricitat. Els panells fotovoltaics, avui en dia, continuen generant més energia per metre quadrat, però l'estudi té com un dels objectius reduir el cost de tot el global del sistema per buscar-li diferents aplicacions.

Un model experimental de 15 m² de pila vegetal microbiana pot fer funcionar un ordinador portàtil. Per tant podem trobar diferents aplicacions en el món de la construcció. Un exemple clar d'avui en dia, és l'edifici projectat per l'arquitecte Martin Kermer, situat a Hamburgo a Alemanya. Aquest funciona gràcies a la fotosíntesi de microalgues bioreactives integrades a la façana de l'edifici. Aquestes subministren el clima (calefacció) a les 15 plantes de l'edifici.

03.7.9.1.2. Noves formes d'emmagatzemar l'energia.

El 12/02/2015 la companyia nord americana Tesla Motors, va anunciar que portava temps fabricant un nou model de bateries portàtils per les vivendes, que funciona amb una tecnologia de ions de liti, que fan possible emmagatzemar la energia renovable necessària en un mínim espai dintre de l'habitatge. Això, pot permetre a moltes famílies el evitar-se contractar electricitat mitjançant els serveis públics. Sembla, que aquest tipus de bateries per les vivendes està obtenint uns bons resultats en els seus assajos i han estimat una producció en sèrie del producte d'aquí a sis mesos. Elon Musk director d'aquest projecte, físic i director executiu de Google, Larry Page ha apostat fort per aquest tipus de tecnologia, buscant com a objectiu el triomf de les energies renovables. Tot i

que, també hem de pensar en el conflicte que això genera amb les grans companyies elèctriques espanyoles. Ja que, aquestes sempre s'han oposat a l'autoconsum. De fet van ser els únics defensors de l'anomenat impost de sòl, del peatge recolzat pel govern que inclou en la proposta del reial decret d'autoconsum.

El 30/04/2015 va anunciar el producte en qüestió. Aquest s'anomena "Tesla Powerball", aquesta bateria mesura, en concret, 1,3 metres d'alçada i 68 centímetres d'ample. Amb un pes de 100 Kg i pot emmagatzemar fins a 10 kWh. Consta d'un disseny discret disponible en una ampla gama de colors, aquest aparell es col·loca a la paret, dintre o fora de casa i en ell s'emmagatzema l'energia provinent de panells solars i de la xarxa elèctrica. Aquesta proporcionarà una energia constant de 2 kWh amb pics de fins a 3.

A més a més, Tesla Powerball pot suportar des de 20 graus sota zero fins a 43 graus, amb lo que la podem col·locar pràcticament en qualsevol lloc. Amb un preu aproximat de 3.100 euros, es començarà a comercialitzar en els Estats Units en els propers mesos i en altres mercats cares al 2016.

03.7.9.1.5. Panell sandwich amb integració fotovoltaica.

L'empresa Valenciana Isotermia, va crear un panell sàndwich que incorpora a la seva geometria mòduls fotovoltaics. La idea és poder incorporar directament a qualsevol sistema constructiu de l'envolvent aquesta tecnologia fotovoltaica. En concret presenten aquesta tecnologia per poder realitzar qualsevol tipus de cobertes inclinades, des de vivendes unifamiliars fins a grans edificis comercials. Aquests panells, com a sistema constructiu aconseguixen una coberta/façana estanca subjectat a una subestructura portant interaccionada amb l'edifici i amb el sistema fotovoltaic.

Les cèl·lules fotovoltaïques integrades en mòduls resistents a la corrosió es fixen mitjançant un rail patentat sobre els panells sàndwich, proporcionant una òptima



FIGURA 36 : Panell sàndwich amb integració de mòduls fotovoltaics.

Font d'informació: Pàgina web de l'empresa s'isotermia soluciones constructivas "isotermia.blogspot.com.es"

ventilació per aconseguir una major eficàcia elèctrica. Cada mòdul està totalment equipat amb cablejat, connectors i el corresponen número i tipus d'inversors.