

## ANNEX 3

---

### **MESURES DE TEMPERATURA I RADIACIÓ (LLUM)**

#### **A3.1. DESCRIPCIÓ DE L'ESPAI A MESURAR**

#### **A3.2. COL·LOCACIÓ DELS PUNTS DE MESURA**

#### **A3.3. CRITERIS GENERALS DE MESURES**

##### **A3.3.1. Sistema d'adquisició de dades**

- a. Sensors de temperatura
- b. Sensors de radiació (llum)
- c. Ordinador, targeta i software

##### **A3.3.2. Mesures preliminars**

##### **A3.3.3. Controls periòdics**

#### **A3.4. RESULTATS OBTINGUTS**

## A3. MESURES DE TEMPERATURA I RADIACIÓ (LLUM)

### A3.1. DESCRIPCIÓ DE L'ESPAI A MESURAR

Una part d'aquest treball d'investigació ha consistit a mesurar la temperatura i la llum de l'espai intermedi descrit, per fer la posterior anàlisi de les dades experimentals, extreure'n informació sobre el comportament ambiental i obtenir conclusions que es puguin estendre a d'altres casos. Per poder fer una correcta anàlisi d'espais reals es presenta un programa de mesures, tan sistemàtiques com sigui possible, ja que el treball no pretén basar-se només en els càlculs generats per ordinador, encara que siguin fets sempre amb programes informàtics desenvolupats per membres del mateix equip de recerca.

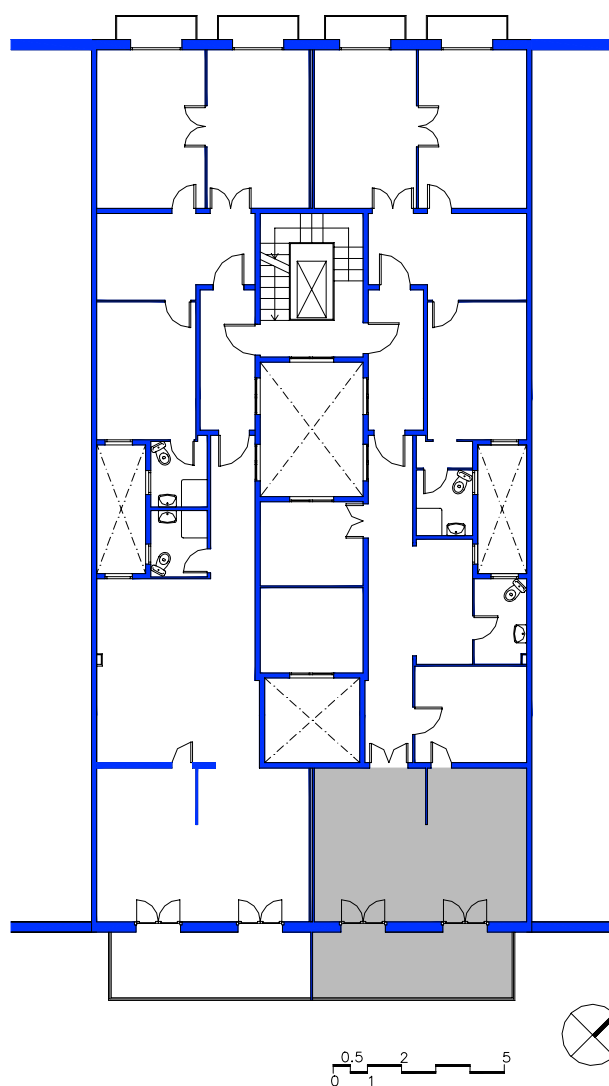
A l'anterior annex, "Comportament ambiental d'espais intermedis. Simulacions" ja s'han considerat els espais intermedis seleccionats en el capítol 2, com a representatius de tots els altres: el *pati* i el *porxo*, amb les seves variants tancades amb vidre que són l'*atri* i la *galeria*. Per fer les mesures reals s'ha seleccionat **la galeria**, ja que és molt representativa de diversos tipus d'habitatge, i també perquè és un element molt característic de la ciutat de Barcelona. S'ha escollit una galeria situada al primer pis d'un edifici de l'Eixample de Barcelona, concretament al carrer Aragó, 346, entre Girona i Bailèn.



Fig. A3.1. Façana al carrer Aragó, façana al pati interior i interior de la galeria

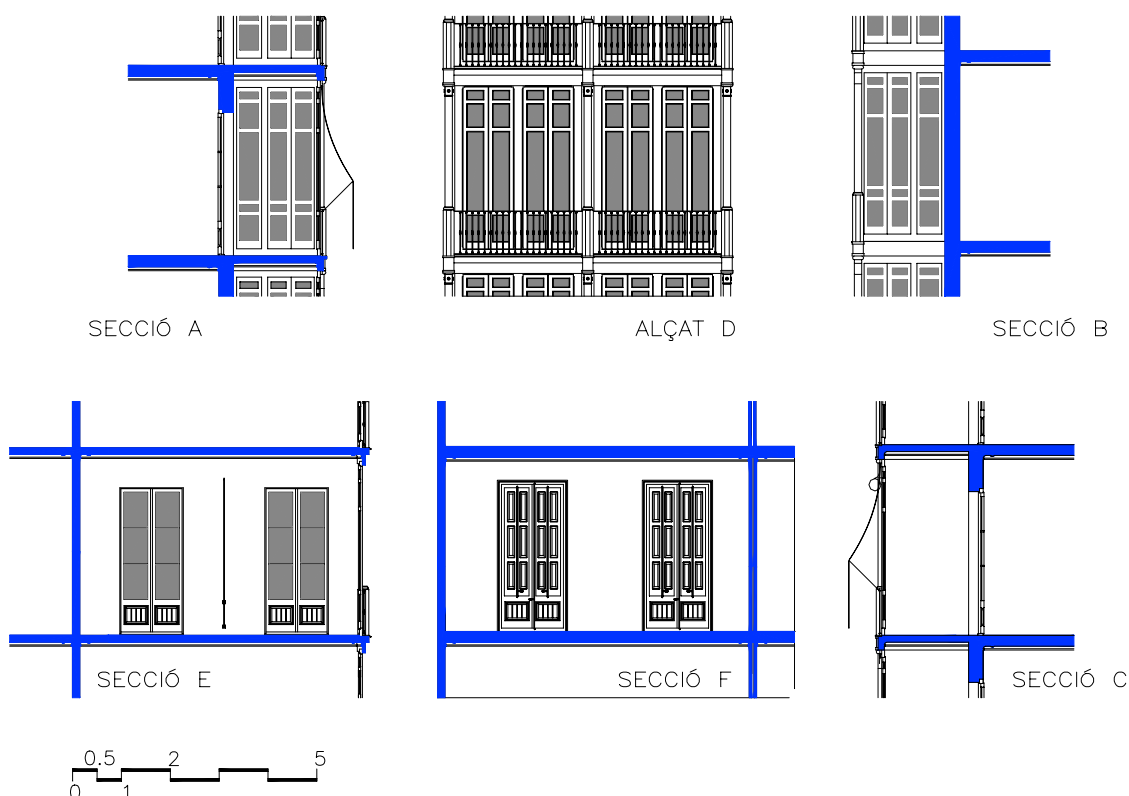
La galeria és a la façana interior que dóna al pati d'illa i té una orientació sud-est. Una raó important per fer la tria també ha estat la facilitat d'accés, ja que pertany al despatx d'arquitectura d'un company, Juan Antonio Marín, que ha suportat la presència dels diferents aparells del sistema d'adquisició de dades (sensors, ordinador, targeta, etc.) durant quasi dos anys.

Aquesta finca sol tenir dos habitatges per planta, que van del carrer fins al pati d'illa, però en aquest cas s'ha dividit un pis en dos despatxos: un d'exterior que dóna al carrer Aragó i un que dóna a l'interior. Les mesures s'han fet en aquesta meitat del pis, concretament a la galeria i la sala annexa que es veuen en el dibuix de la planta.



*Fig. A3.2. Planta del primer pis de la casa del carrer Aragó, 346. Els dos habitatges longitudinals, habituals a la tipologia de la zona, han estat dividits en dos despatxos cadascun. El despatx i la galeria on s'han fet les mesures estan tramats en gris*

Aquesta galeria és un exemple clàssic, suportada per una estructura metàl·lica diferenciada de l'estructura de mur de càrrega de la resta de l'edifici; està tancada amb carpinteria de fusta practicable, que es veu que són afegits, tant per la barana, pròpia d'una galeria oberta, com per la presència, en el conjunt de la façana interior de l'edifici, d'altres parts on no està tancada o ho està amb paraments més opacs. El mur i la balconera que separen la galeria vidrada de l'espai interior són elements de façana, tal com es pot observar en el dibuix.



*Fig. A3.3. Secció A, des de l'interior de la galeria cap a llevant, alçat exterior de la galeria; secció B, des de l'exterior cap a la galeria; secció E, des de la galeria cap a l'interior; secció F, des de l'interior cap a la galeria, i secció C des de l'interior de la galeria cap a ponent*

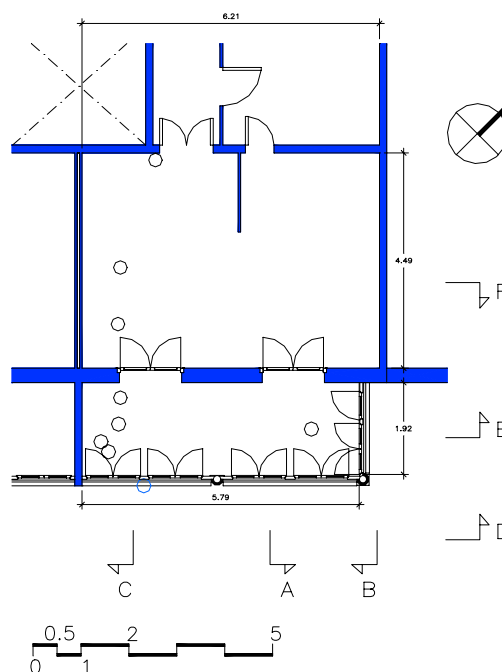
La galeria no es fa servir per a funcions estables; no hi ha ni ordinadors ni persones que l'ocupin, i l'arquitecte coneix bé el funcionament ambiental d'aquest espai i en fa una gestió correcta. Això vol dir que a l'hivern apuja les persianes enrotllables exteriors per captar radiació i a l'estiu les baixa per protegir-se de la radiació.

### A3.2. COL·LOCACIÓ DELS PUNTS DE MESURA

Els sensors es col·loquen de manera que es pugui obtenir la llum i la temperatura en el sentit d'amplària de la galeria (5,80 m) i en profunditat (1,90 m). També es col·loquen sondes a l'espai interior, en profunditat (4,50 m) i es mesura la temperatura exterior. La situació espacial –que pot semblar arbitrària– intenta produir les menors molèsties possibles als usuaris i alhora mesura punts que tinguin una significació per a l'anàlisi. La nomenclatura de cada sensor es manté en els diferents períodes de mesura i és la que es mostra en el gràfic, tot i que no sempre es valoren com a correctes els resultats de tots ells. S'ha de recordar que cada punt dibuixat pot tenir sensor de temperatura i de llum, però no és així en tots els casos.

Les sondes i els seus resultats en sèries gràfic

- EXTERIOR **EX** Situada a l'exterior, al centre de la galeria.
- GALERIA **E** Situada a la part EST de galeria, cap a l'exterior.
- GALERIA **E2** Situada a la part EST de la galeria, cap a l'interior.
- GALERIA **W1** Situada a la part OEST, tocant al mur de separació amb la galeria simètrica, també cap a l'exterior.
- GALERIA **W2** Situada a la part OEST, uns 60 cm més cap a l'interior.
- GALERIA **W3** Situada a la part OEST, tocant al mur que separa la galeria de l'interior.
- INTERIOR **I1** A l'espai interior, a uns 80 cm del mur que el separa de la galeria.
- INTERIOR **I2** Al mateix espai interior, a uns 2,5 m de profunditat, sempre a la franja oest.
- INTERIOR **I3** Al fons de tot de l'espai interior, al costat de la porta d'accés.



*Fig. A3.4. Planta del despatx i la galeria on s'han fet les mesures. Es poden veure grafiades les seccions representades a la pàgina anterior i la situació de les sondes*

### **A3.3. CRITERIS GENERALS DE MESURES**

Una de les etapes més importants d'una mesura és probablement la formulació d'una adequada estratègia. En aquest cas, s'han seguit les següents premisses:

L'objectiu ha estat obtenir dades globals de l'ambient interior i exterior simultànies, variables en el temps, per poder comparar-les.

S'han seleccionat com a variables la temperatura de l'aire interior, la de l'aire exterior i la radiació (llum). Malgrat que hi ha altres variables que influeixen molt en el confort, la temperatura i la llum són paràmetres prou significatius i, a més, es poden mesurar amb relativa precisió i fiabilitat.

La humitat, encara que influeix sobre la temperatura interior i sobre el confort tèrmic, no s'ha tingut en compte per la dificultat de mesurar-la.

S'han fet mesures contínues, de període de mesura llarg, cercant la resolució que interessava. Igualment s'ha pres un interval entre mesures tan curt com ha estat possible. Tot això amb la finalitat de disminuir el soroll de les dades, per garantir una certa fiabilitat en els resultats dels càlculs.

S'ha mesurat en diferents èpoques de l'any, per verificar la consistència de les dades (en total durant més d'un any i mig).

Com que l'objectiu és efectuar mesures per avaluar el comportament global, s'han pres dades en diferents punts, tant a l'espai intermedi com a l'espai interior.

La intenció és recollir informació per entendre millor el comportament de l'espai intermedi en funcionament i la seva relació amb l'interior.

### **A3.3.1. Sistema d'adquisició de dades**

Tenint presents les estratègies de la mesura, cal tenir un sistema d'adquisició de dades automàtic, programat per a les finalitats del projecte, considerant que cal un nivell de precisió en la instrumentació relativament bo i un alt nivell d'autonomia.

S'ha de procurar, a més de la fiabilitat de la instrumentació en els mesuraments, la fiabilitat física de l'equip, que haurà de quedar instal·lat per molt temps. D'altra banda, interessa que no es produeixin avaries o aturades en l'equip durant cert temps, per garantir un període mínim de mesures contínues, i una certa estabilitat de funcionament en el temps –que depèn de la qualitat dels instruments. Alguns problemes que poden interrompre la sèrie de mesures podrien ser: avaries en el suport magnètic, avaries en els sensors o connexions, caigudes de la tensió de la xarxa elèctrica o mal funcionament de l'equip per canvis ambientals importants i ràpids.

El sistema d'adquisició de dades és molt similar a l'utilitzat per I. Marincic<sup>1</sup> però en un altre espai. El nivell de precisió requerit també és diferent, ja que la investigadora utilitza els valors mesurats per al càlcul de les transformades de Fourier que representen les funcions de transferència de calor, que són molt sensibles a alguns errors.

Aquest equip consta principalment de sensors (de temperatura i radiació solar), connectats per cables a un ordinador personal (PC) amb targeta d'adquisició de dades i *software* adequat.

---

<sup>1</sup> Marincic, I. Respuestas térmicas dinámicas en edificios. Tesis doctoral. 1999

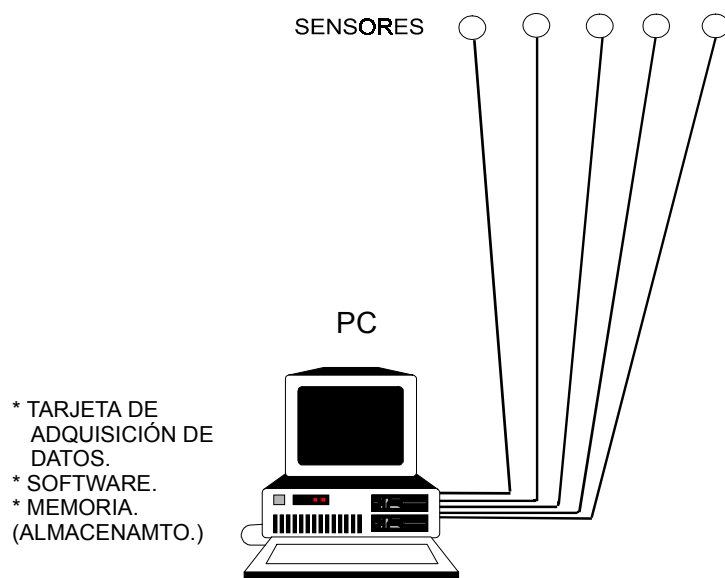


Fig. A3.5. Esquema dels elements interconnectats del sistema d'adquisició

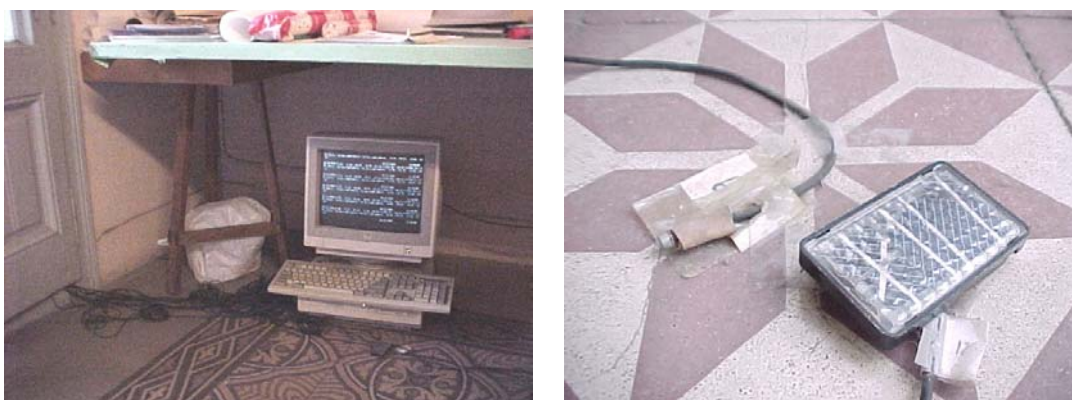


Fig. A3.6. Sensors i ordinador que constitueixen el sistema d'adquisició de dades. A l'esquerra, ordinador amb la targeta d'adquisició de dades; a la dreta, cèl·lula fotovoltaica (obscura) i, uns 5 cm a l'esquerra, sensor de temperatura



### a. Sensors de temperatura

Els elements d'un sistema d'adquisició de dades que compleixen la funció de mesurar les magnituds físiques són els sensors, que normalment donen una sortida en forma de variables elèctriques. Els sensors que s'utilitzen per a les magnituds tèrmiques d'interès i per a la caracterització de sistemes tèrmics en edificis, efectuen una transició del valor de la magnitud física a un valor de mesura elèctrica (tensió, corrent, resistència, freqüència, etc.). Aquests senyals elèctrics transitoris s'emmagatzemen en forma de valors digitals convertits, mitjançant una targeta d'adquisició de dades i el software apropiat, al valor de la magnitud ambiental mesurada (amb calibració prèvia).

Els sensors de temperatura utilitzats són circuits integrats de dos terminals AD590 (el sensor disposa d'un tercer terminal per a massa, connectat a la seva carcassa). Generen un corrent proporcional a la temperatura absoluta en relació lineal (fig. A3.7). Les seves característiques són les següents:

Sortida de corrent lineal:  $1\mu\text{A}/\text{K}$  (sensibilitat)

Camp de mesura:  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+150^{\circ}\text{C}$ .

Linealitat:  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  en tota l'escala (veg. fig. A.3)

Tensió d'alimentació: 4 V a 30 V dc.

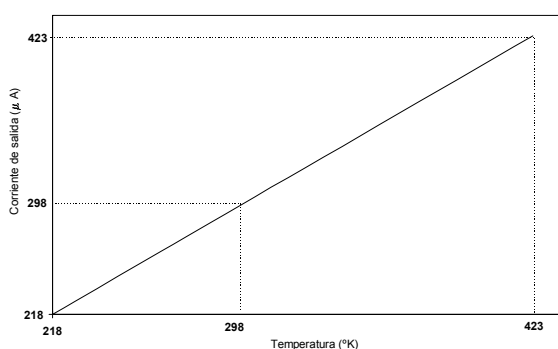


Fig. A3.7. Corba de sensibilitat del sensor: temperatura ( $^{\circ}\text{K}$ ) - corrent de sortida  $\mu\text{A}$   
(Font: Analog Devices Inc., 1990, EUA)

Estan ajustats de fàbrica a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ , amb un error de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  (per a tot l'interval de mesura), i encara es poden obtenir precisions més grans.

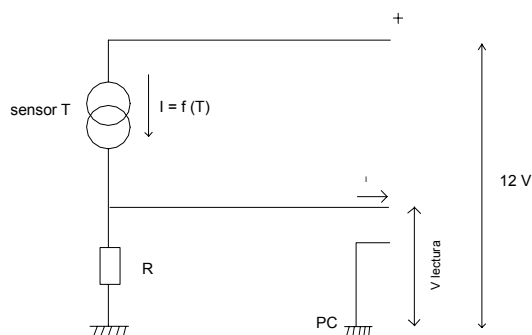


Fig. A3.8. Circuit de connexió del sensor de temperatura. El corrent serà igual a la temperatura on està ubicat el sensor en  $^{\circ}\text{K}$ , en unitats de  $\mu\text{A}$

La resistència R s'escull de  $22\text{ K}\Omega$ , perquè la tensió entre extrems dels sensors sigui propera a  $6\text{ V}$  (valor recomanat pel fabricant) i perquè la sortida sigui també propera a  $6\text{ V}$ . S'ajusta l'amplificador de la placa conversora A/D de forma que aquests  $6\text{ V}$  corresponguin a una lectura propera o superior a  $12.000$  unitats de digitalització (o dígits) (d'un màxim de  $16.383$  que admet la placa).

Amb això, la unitat de digitalització de la placa conversora A/D, correspon a prop de  $0,6\text{ mV}$ , o sigui, uns  $0,03\text{ K}$ .

Els sensors tenen radiadors que n'embolcallen la superfície, que dissipen la calor generada a causa de la tensió aplicada, perquè es modifiqui el mínim possible el mesurament. Aquests radiadors d'aletes també produeixen un millor intercanvi amb l'aire dels espais que cal mesurar.

Aquest tipus de sensors pot registrar canvis en l'oscil·lació de temperatura ambient molt petits, de l'ordre de la dècima de grau o inferior.

### b. Sensors de radiació (llum)

Es van utilitzar sensors constituïts per cel·les fotovoltaïques de silici que, amb la incidència de llum, es comporten com a generadores de corrent. A baixes tensions, el corrent de sortida és proporcional a la quantitat de la radiació incident, en un interval definit de longitud d'ona. El transductor fotovoltaic no dóna una resposta proporcional a la integral de l'energia incident per unitat de temps, sinó que la resposta depèn en certa mesura de l'espectre de la radiació. Es pot veure la corba espectral de la cel·la en la fig. A3.9.

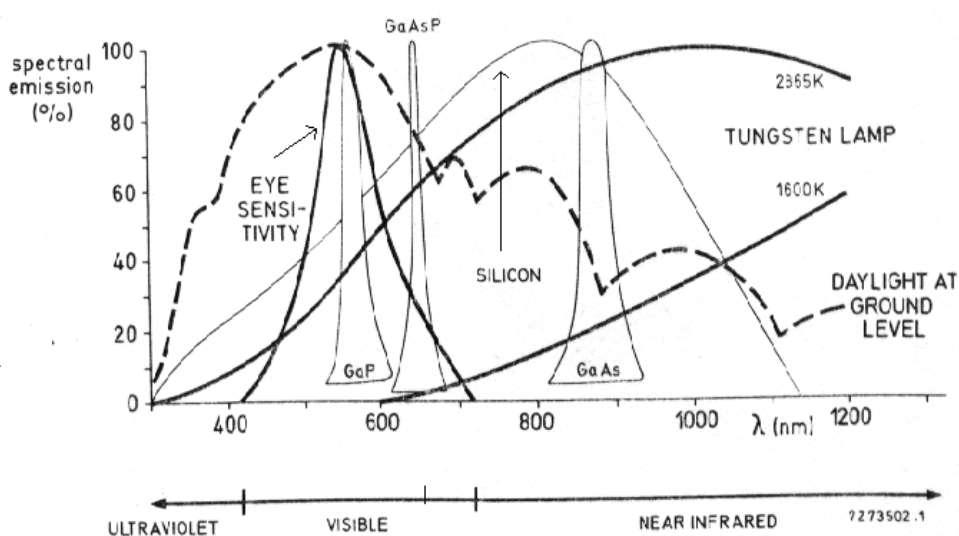


Fig. A3.9. Corba espectral de la cel·la fotovoltaica de Si, comparada amb la corba de sensibilitat de l'ull humà, la de la llum natural i la de dues làmpades de tungstè. (Font: General Catalogue Copresa)<sup>2</sup>

Cadascun dels sensors es va connectar al circuit elèctric de la forma següent:

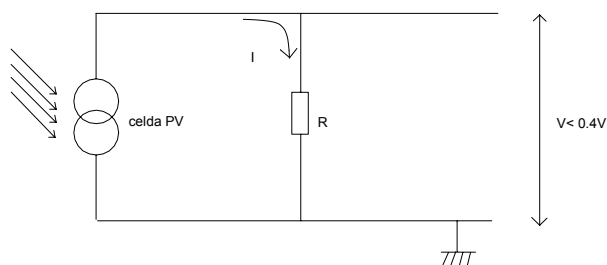


Fig. A3.10. Circuit de connexió de la cel·la fotovoltaica (sensor de radiació solar)

<sup>2</sup> COPRESA. General Catalogue 1978, febrer 1978, Eindhoven, Holanda.

La resolució assolible utilitzant la mateixa placa de conversió A/D que per a la temperatura (mesura sobre 6 V) és menor. S'ha de parar atenció al valor de la resistència que es posi en el circuit, de forma que, fins i tot en un dia amb molta radiació solar, la tensió de sortida, un cop passada la resistència, no superi els 0,4 V. Això és degut al fet que, a valors majors de tensió, canvia la relació radiació-corrent en la cel·la, com es pot observar en la fig. A.8.

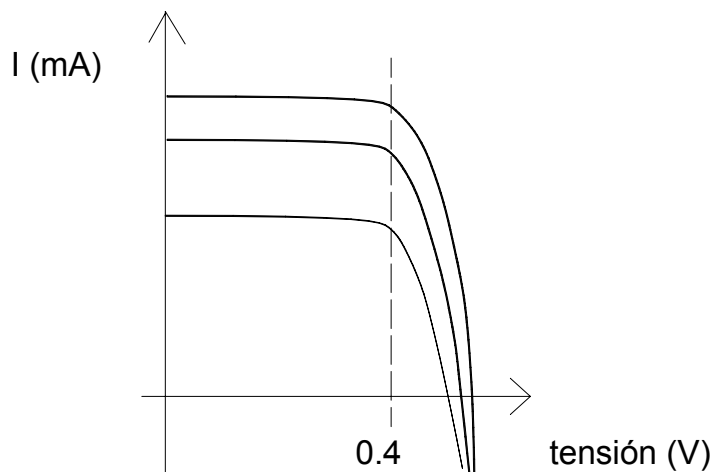


Fig. A3.10. Relació V-I en una cel·la fotovoltaica de Si (esquema aproximat)

El resultat final que interessa en aquest projecte no és la mesura de radiació solar sinó la utilització d'aquestes cel·les fotovoltaïques per mesurar la il·luminància en el interior, calibrant-les amb un luxòmetre. Probablement això és vàlid per a la major part de la corba diària d'il·luminància, però no és vàlid per a certs tipus d'il·luminació artificial.

### c. Ordinador, targeta i software

En aquest cas, una targeta d'adquisició de dades analògica-digital de 14 bits (PC ADDA-14 Card), continguda en el PC, rep la tensió dels diferents canals, un per cada sensor. El sistema adquireix i processa les dades a través d'un programa compilat en QuickBasic, que conté la calibració dels sensors. És una adaptació del programa de demostració del manual de l'usuari de la targeta, en què s'indica l'interval entre mesures, el nombre de mesures, les mitjanes, etc.

Alguns autors<sup>3</sup> suggereixen, com a interval de mesura per poder avaluar convenientment les temperatures ambientals en edificis, el de menys de 15 minuts. Per a la radiació (llum) suggereixen menys de 5 minuts. Les possibilitats del sistema d'adquisició de dades i pels requeriments de la metodologia, es programen les mesures cada 10 minuts, tant les temperatures com la radiació. El sistema mesura durant uns 9 minuts i mig fa la mitjana de les dades i enregistra la mitjana de l'interval en finalitzar els 10 minuts. Es fa la mitjana durant tants minuts a fi de reduir el soroll produït per la freqüència pròpia de la xarxa elèctrica, 50 Hz, i filtrar les possibles fluctuacions ràpides. Les dades queden enregistrades en el PC.

Posteriorment s'extreuen les dades del PC amb un disquet i es fa la mitjana cada 30 minuts per a la major part dels gràfics d'aquest treball.

### **A3.3.2. Mesures preliminars**

Per mesurar efectivament les magnituds amb la precisió esperada és necessari efectuar controls sistemàtics de la instrumentació durant tot el període de monitorització, tant abans de la instal·lació com durant tot el període de presa de mesures.

Un cop acabada la instal·lació, és oportú realitzar una sèrie de mesures de, com a mínim, una setmana o deu dies, per verificar el funcionament correcte de la instrumentació i per assegurar-se que, durant el muntatge, no s'hagi produït cap incident en algun dels sensors o de les seves connexions.

D'altra banda, analitzant les dades en forma gràfica, es poden detectar fallades del tipus d'ubicació dels sensors: per exemple, sensors que, en un curt lapse de temps estan exposats al sol o que són massa a prop d'alguna altra font de calor.

Un cop fet aquest control, s'inicia l'adquisició definitiva de dades.

---

<sup>3</sup> FANCHIOTTI, A.; ROMANAZZO, M. *Guida alla strumentazione per l'edilizia dimostrativa*. E.N.E.A., Roma.  
ROMANAZZO, M. *Strumentazione di sistemi solari attivi e passivi*. ENE SIRE CISP, E.N.E.A., Sogesta, Urbino, març de 1991.


### **A3.3.3 Controls periòdics**

Durant el temps d'adquisició de les dades, és convenient controlar visualment i freqüent tant l'equip i els sensors com el resultat de les mesures. Poden detectar-se, per exemple, inconvenients com ara: caiguda d'un sensor de la seva posició original; que el sensor de temperatura està a la seva posició, però com que ha canviat la posició del sol ara rep llum solar directa; danys físics en els sensors o les connexions, etc. Detectar aquests errors a temps pot implicar que s'evitin considerables pèrdues de dades i de temps.

### A3.4. RESULTATS OBTINGUTS

S'obtenen quatre sèries de mesures vàlides: La primera sèrie consta de 1688 punts de mesura i va des del dia 10/5/99 a les 19:00h fins al 14/6/99 a les 22:00h (36 dies). La segona sèrie consta de 731 punts de mesura i va des del 13/10/99 a les 13:30h fins al 28/10/99 a les 16h. Aquest període presenta la singularitat que va nevar durant les mesures. La tercera sèrie consta de 8.501 punts de mesura (177 dies) i va des del 13/10/99 fins al 5/3/00. Finalment, la quarta i última sèrie de mesures vàlides per analitzar consta de 1.589 punts de mesura (33 dies) i va des del 6/3/00 fins al 9/5/00.

Les gràfiques que s'extreuen dels valors obtinguts mantenen sempre un mateix codi de colors per facilitar-ne la lectura. Els resultats de la sonda exterior estan dibuixats en negre, les interiors en verds –més clar com més exterior–, les que estan a la part Oest de la galeria en colors càlids: groc, taronja, vermell seguint també la llei que el més clar és més exterior. La part Est de la galeria està representada per blaus.

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>EXTERIOR</b>     |  |
| <b>INTERIOR</b>     |  |
| <b>GALERIA EST</b>  |  |
| <b>GALERIA OEST</b> |  |