

Capítol 3

Instrumentació i metodologia

3.1 Introducció

Existeixen diferents classes d'aparells per a mesurar la radiació solar que es classifiquen de diferent manera segons l'amplada de banda espectral en què mesuren i també segons l'orientació de l'instrument respecte al feix solar. En relació aquest últim criteri es distingeix entre piranòmetres i pirheliòmetres. Els piranòmetres mesuren la irradiància global o la irradiància difusa procedent de la totalitat de la volta celeste i s'instal·len amb la superfície sensora horitzontal. Els pirheliòmetres mesuren la radiació solar (generalment la irradiància directa) a incidència normal col·locant el sensor perpendicularment al feix solar, bé de forma manual o bé sobre una muntatge equatorial. Segons la banda espectral en què mesuren es distingeix entre espectroradiòmetres, instruments de banda ampla i fotòmetres.

Els espectroradiòmetres mesuren la irradiància solar monocromàtica en estrets intervals de longitud d'ona, segons quina sigui la seva resolució i dins d'un rang més o menys ampli, els instruments de banda ampla mesuren la irradiància solar generalment en intervals molt grans de longitud d'ona (tot l'espectre, tot l'UV, tota la regió visible...), mentre que els fotòmetres mesuren la intensitat d'un feix de llum que arriba d'una font lluminosa (en el cas que aquesta font sigui el Sol, s'anomenen heliofotòmetres) i generalment en unes bandes estretes de longitud d'ona.

A més d'aquests aparells, n'existeixen d'altres que mesuren altres magnituds, com els heliògrafs que mesuren la durada de la insolació, el temps durant el qual ha lluit el Sol (generalment, en un dia o en un any), concentrant els raigs solars, per mitjà d'una esfera de vidre, sobre una tira de cartolina que es crema en el punt en què es forma la imatge del Sol.

3.2 Instruments per a mesurar espectralment la irradiància solar

Els espectralradiòmetres mesuren la irradiància solar monocromàtica (global, difusa o directa) ja sigui en superfície horitzontal o perpendicular al feix solar. Típicament, estan constituïts per un monocromador amb un filtre ajustable, que deixa passar una banda de longituds d'ona més o menys estreta, amb la conseqüent disminució de potència radiativa del senyal i l'empitjorament de la relació senyal-soroll. Com que les característiques de la transmissió espectral depenen sobretot de la distribució espectral i de la polarització de la radiació incident, usualment es fa servir en els espectralradiòmetres una entrada òptica quan es mesuren fonts extenses com la llum solar. Normalment, s'utilitza una cúpula difusora o bé una esfera integradora que estan dissenyades per recollir radiació en $2\pi sr$ i despolaritzar la radiació incident.

El monocromador acostuma a consistir en un condensador (una lent o bé un mirall), una obertura d'entrada, un col·limador (lent o mirall), un instrument de dispersió (un prisma o bé una reixeta), un sistema d'enfocament (lent o mirall) i una obertura de sortida. La funció del condensador és concentrar l'energia radiant de la font d'estudi en l'obertura d'entrada, que normalment és una esclatxa d'amplada fixa o graduable que serveix per definir el pas de banda del monocromador. El col·limador és l'encarregat d'enviar un feix paral·lel sobre la reixeta de difracció que produeix l'espectre mitjançant fenòmens d'interferència. El sistema d'enfocament concentra l'espectre cap a l'esclatxa d'entrada, i impossibilita el pas de les altres longituds d'ona. Per disminuir la radiació dispersa espúria, és a dir, aquella no desitjada, que pot donar senyal de sortida en longituds d'ona per a les quals no hi ha radiació

incident i millorar així la resolució de l'aparell, s'utilitzen monocromadors dobles, especialment quan es mesura radiació de baixa potència com la radiació solar entre 280 i 310 nm.

Finalment, els espectroradiòmetres disposen d'un detector pel senyal de sortida que més tard és amplificat generalment per un tub fotomultiplicador o un fotodíode de silici. Els primers tenen una sensibilitat de l'ordre d'unes 1.000 vegades superior la dels fotodíodes i una millor resposta per a longituds d'ona curtes, encara que presenten altres inconvenients (requeriment d'una font d'alt voltage, inestabilitat espectral, fragilitat i preu elevat).

Existeixen diferents tipus i models d'espectroradiòmetres, des de portàtils fins a espectroradiòmetres amb sofisticats sistemes d'autocalibratge automàtic, seguidor solar i reguladors de la temperatura. Un dels més precisos en la regió de l'UV i que s'utilitza com a instrument de referència en la mesura de l'ozó des de terra (Kerr et al., 1985) és l'espectrofotòmetre Brewer que mesura la radiació solar UV, la columna total d'ozó i el contingut de SO_2 i de NO_2 . La seva òptica d'entrada permet utilitzar una cúpula per fer mesures d'irradiància global i un prisma per realitzar mesures d'irradiància directa. Consta d'un doble monocromador amb reixeta hologràfica de difracció amb una amplada de banda de 0.6 nm. Aquesta és la resolució amb què es mesura la irradiància directa en 5 canals (303.2, 306.3, 310.1, 313.5, 316.8 i 320.1 nm). L'instrument també mesura la irradiància global UV amb una precisió de 0.005 nm en un rang diferent de longituds d'ona segons el model (el MK-II i MK-IV de 290 a 325 nm, mentre que el MK-III de 286.5 a 363 nm) i la columna total d'ozó amb una precisió de $\pm 2.5\%$ (Kerr and McElroy, 1995). L'aparell mesura, s'orienta i es calibra de forma automàtica. Disposa d'una làmpada interna halògena per a calibrar en irradiància i d'una làmpada de mercuri per fer-ho en longitud d'ona. Un altre instrument de característiques semblants (i de fet anterior al Brewer) és l'espectrofotòmetre Dobson, encara que aquest únicament està destinat a la mesura de la columna total d'ozó. L'aparell va ser dissenyat per Gordon Dobson als anys 30 i encara es continua usant avui en dia.

El LI-COR 1800 (LI-COR, Inc., 1982) és un espectroradiòmetre portàtil que mesura la irradiància solar monocromàtica mitjançant un receptor òptic

format per una cúpula difusora de tefló de 5° de camp de visió que envia la llum a un monocromador format per una reixeta hologràfica còncava amb una amplada de banda de 6 nm i un detector de silici. L'instrument mesura de 300 a 1100 nm amb un pas mínim de 1 nm. El Departament d'Astronomia i Meteorologia disposa d'un LI-COR 1800 i també de dos espectroradiòmetres Bentham, un DTMc300F i un DMC150.

3.2.1 Espectroradiòmetre Bentham 300

L'espectroradiòmetre Bentham DTMc300F (Bentham Instruments Ltd, 2001) mesura la irradiància solar monocromàtica global i difusa de forma automàtica. Es compon d'un capçal que consta d'una cúpula difusora de tefló i d'una banda para-sol automàtica per tal de fer la mesura d'irradiància difusa. Aquest capçal està connectat per mitjà d'un cable de fibra òptica que transmet la llum sense pèrdues a un contenidor metàl·lic que es manté a una temperatura constant de 25°C gràcies a un mòdul de cèl·lules termoelectriques Peltier (que refrigeren o escalfen segons quina sigui la temperatura ambiental).

La llum incideix a l'interior de l'espectroradiòmetre a través de l'escaleta d'entrada, passa per una reixeta hologràfica de 2400 línies per mm on es descompon espectralment i posteriorment arriba a tres rodes de filtres: un de tipus ND1 (transmet un 10% del que li arriba, a fi de limitar el màxim de senyal que s'enregistra en l'UV) situat a 308 nm, un de tipus OS400, per impedir que es transmeti la radiació per sota de 400 nm i per últim un filtre OS700 que només deixa passar la radiació per sobre de 700 nm. Un cop s'ha garantit que no penetra cap mena de llum espúria, la llum separada selectivament en intervals arriba al doble monocromador a la sortida del qual es troba el detector, un fotodiode de silici, que el converteix en un corrent elèctric. L'espectroradiòmetre disposa d'un segon detector més sensible en la zona visible i de l'infraroig que s'activa girant un sistema de miralls basculants (SAMs) per tal que la llum vagi a parar allà en lloc d'anar al primer detector.

L'espectroradiòmetre pot mesurar la irradiància de 200 a 1100 nm, amb una resolució de 0.5 nm, una amplada de banda de 1.1 nm i un camp de visió

de 5°.

Des de l'agost de l'any 1999, l'instrument mesura de forma automàtica cada 15 minuts la irradiància global i difusa, de 285 a 400 nm amb un pas de banda espectral de 0.5 nm. El capçal està ubicat al terrat de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona (41° 23' N, 2° 7' E) i per mitjà d'una fibra òptica de 12 metres, la llum arriba a l'interior del contenidor metàl·lic situat a la planta 7 de l'edifici, al laboratori de meteorologia.



Figura 3.1: Fotografies del capçal de l'espectroradiòmetre Bentham 300 amb banda para-sol automàtica per a realitzar la mesura d'irradiància difusa (imatge inferior de la dreta) instal·lat al terrat de la Facultat de Física.

3.2.1.1 Calibratge i manteniment

L'instrument només es calibra en irradiància (a diferència del model Bentham 150, que cal calibrar-lo també en longitud d'ona) amb una làmpada Bentham CL6-4375 que proporciona un espectre de 200 a 800nm amb una irradiància

3.3. Instruments de banda ampla per a mesurar la irradiància solar

integrada de 46195 mW/m^2 . Si es disposa de l'espectre patró d'aquesta làmpada, i es divideix per la mesura de l'espectroradiòmetre Bentham, s'obté el factor de calibratge per a cada longitud d'ona. Aquesta operació es repeteix periòdicament cada mes a fi de garantir el correcte funcionament de l'aparell.

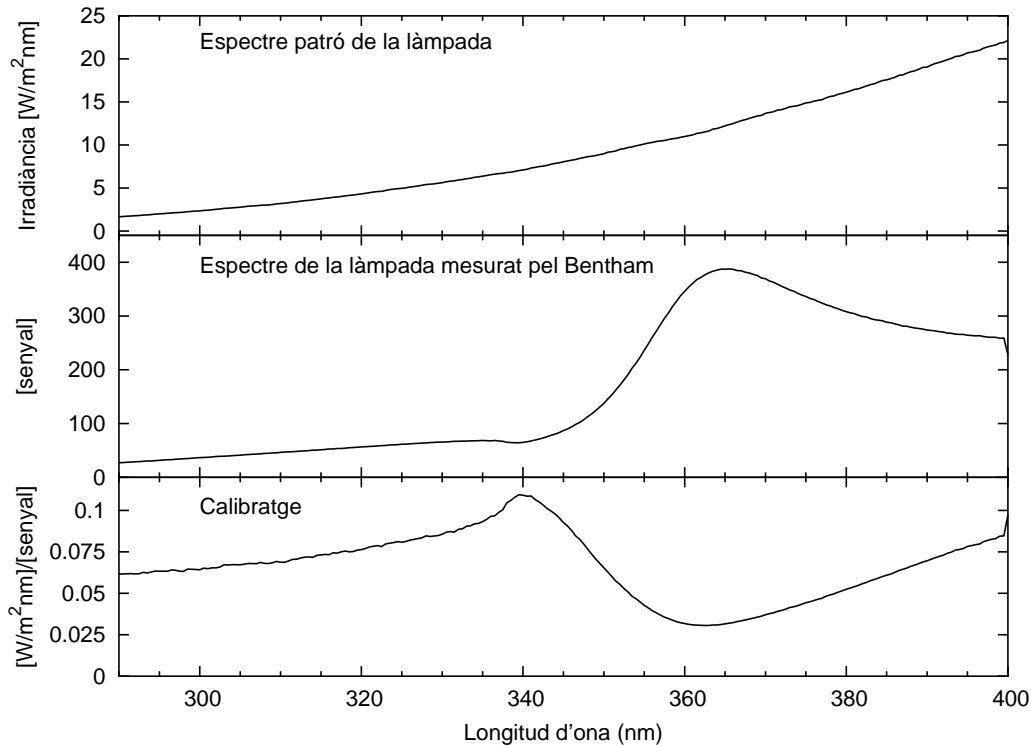


Figura 3.2: Espectre de la làmpada CL6-4375 i calibratge de l'espectroradiòmetre Bentham 300.

3.3 Instruments de banda ampla per a mesurar la irradiància solar

Els instruments de banda ampla mesuren, generalment en intervals molt grans de longitud d'ona, la irradiància solar global i difusa. Per a fer aquest tipus de mesura generalment estan proveïts d'algun sistema d'ocultació de la radiació solar directa, freqüentment una banda para-sol orientada segons el recorregut

del disc solar al cel. En ser instruments de mesura de la radiació solar a incidència horitzontal, els sensors dels piranòmetres s'han de corregir de l'error de cosinus per evitar que es reflecteixi aquella part de la radiació que entra al sensor en angles massa baixos. Generalment, l'element sensor es troba cobert per una doble cúpula de vidre per tal d'eliminar els efectes tèrmics. Segons el tipus de sensor que utilitzen, es distingeix entre piranòmetres termovoltàics i piranòmetres fotovoltàics. Els termovoltàics estan basats en la diferència de potencial elèctric produïda entre la soldadura freda i calenta d'una termopila exposada a la radiació solar, mentre que els fotovoltàics disposen d'una cèl·lula fotoelèctrica que genera un petit corrent en incidir-hi la radiació solar.

La facultat de Física, té al seu terrat dos piranòmetres Eppley que mesuren la irradiància global i difusa en tot l'espectre (UV, visible i infraroig) i un piranòmetre YES de l'Institut Nacional de Meteorologia que mesura la irradiància UVB.

3.3.1 Piranòmetre YES

El piranòmetre UVB-1 Yankee Environmental System (Yankee Environmental System, Inc., 2004) mesura la radiància UVB biològicament efectiva. Es compon d'una cúpula de quars que deixa passar la llum fins a un filtre de vidre negre que transmet l'UV i absorbeix tota la llum visible excepte una petita fracció de llum vermella. Aquesta llum arriba a un fòsfor sensible a la radiació UVB de manera que la llum que no pertany a aquest interval espectral no es té en compte. El fòsfor converteix la radiació UV en visible (de longitud d'ona propera al verd) i aquesta, després de passar per un vidre verd que bloqueja la llum vermella transmesa pel vidre negre, és mesurada per un fotodíode. L'equip es troba a una temperatura constant de 25°C gràcies a un termistor de 1000 $K\Omega$.

L'instrument mesura irradiància global solar en el rang de 280 a 320 nm amb una resposta espectral semblant a l'espectre d'acció CIE, com es mostra a la figura 3.5, el qual permet obtenir directament l'índex UV. L'àrea efectiva del sensor és de 2.54 cm i té una resposta de cosinus de $\pm 5\%$ per a angles zenitals de 0 a 60°. L'aparell disposa d'un calibratge original de fàbrica.

3.3. Instruments de banda ampla per a mesurar la irradiància solar

Des de 1999, l'Institut Nacional de Meteorologia té al terrat de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona un piranòmetre YES que proporciona mitjanes cada deu minuts de l'índex UV.

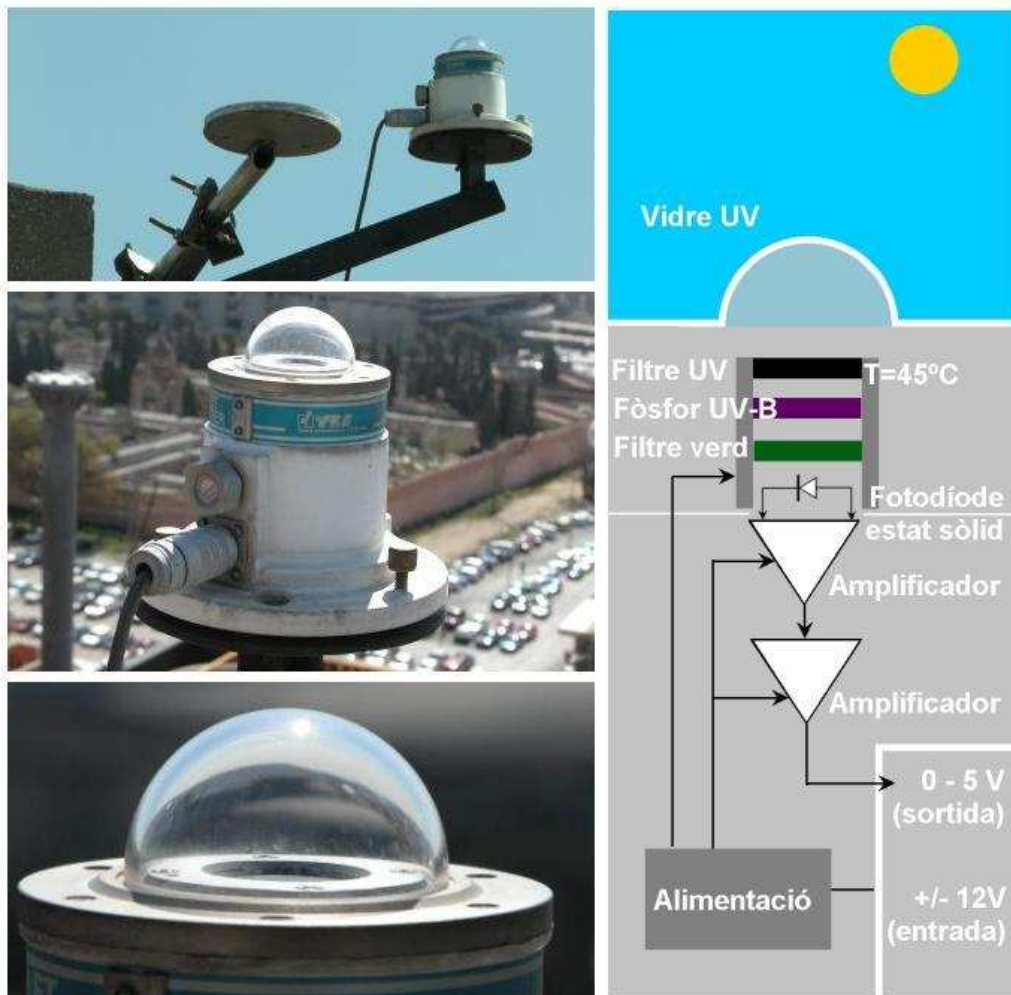


Figura 3.3: Fotografies del piranòmetre YES instal·lat al terrat de la Facultat de Física i esquema de funcionament de l'aparell basat en (Yankee Environmental System, Inc., 2004).

3.3.2 Piranòmetre Solar Light

El piranòmetre Solar Light UV-Biometer 501 (Solar Light Co., 1991) mesura la irradiància UVB biològicament efectiva fent servir el mateix principi que el seguit pel piranòmetre YES (Robertson-Berger). La llum també incideix a través d'una cúpula de quars, s'elimina la major part de component visible amb un filtre de vidre negre i s'excita un fòsfor que emet llum visible. Aquesta llum, filtrada per un vidre verd, és captada per un fotodíode que produeix un corrent elèctric. Tant el fòsfor com el fotodíode estan aïllats en una càpsula metàl·lica a una temperatura constant de 25°C per mitjà d'un element Peltier.

L'instrument mesura en el rang espectral de 290 a 320 nm i en el rang de les 0 a les 10 MED/Hr (dosi eritemàtica mínima per hora¹) proporcionant una mitjana cada mitja hora de l'índex UV. L'espectre de resposta de l'aparell és semblant al del piranòmetre YES tot i que aquest s'ajusta una mica més a l'espectre d'acció CIE, tal com s'aprecia a la figura 3.5

El juny de 2000, el Servei Meteorològic de Catalunya va instal·lar tres piranòmetres Solar Light a diferents localitzacions que juntament amb el piranòmetre YES instal·lat al terrat de la Facultat de Física per l'Institut Nacional de Meteorologia configura la xarxa de piranòmetres UV mostrada a la taula 3.1.

¹Aquesta unitat, molt utilitzada en medicina, es defineix com la quantitat d'irradiància necessària per produir eritema després d'una hora d'exposició. Evidentment dependent del tipus de pell (o fototipus) aquesta quantitat serà diferent (una persona de pell bruna no es crema amb tanta facilitat com una de pell molt blanca), però s'utilitza el conveni que $1 \text{ [MED/Hr]} = 5.83 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$.

3.3. Instruments de banda ampla per a mesurar la irradiància solar

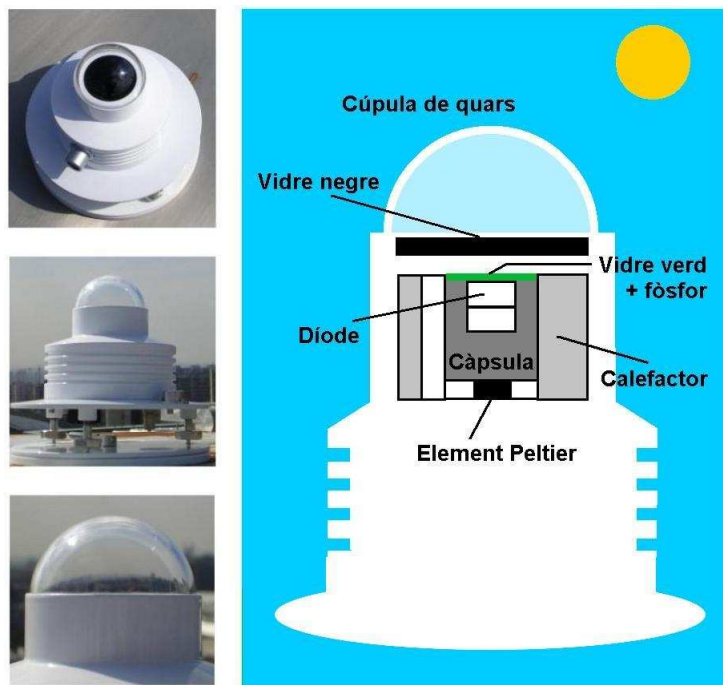


Figura 3.4: Fotografies i esquema de funcionament del piranòmetre Solar Light, basat en (Solar Light Co., 1991).

Taula 3.1: Localització dels piranòmetres del Servei de Meteorologia de Catalunya (Solar Light) i de l'Institut Nacional de Meteorologia (YES).

Estació	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Barcelona (YES)	41° 23' 08" N	2° 7' 13" E	98
Roses (Solar Light)	42° 16' 16" N	3° 10' 12" E	24
Molló (Solar Light)	42° 21' 36" N	2° 23' 34" E	1406
El Perelló (Solar Light)	41° 15' 25" N	0° 42' 36" E	179

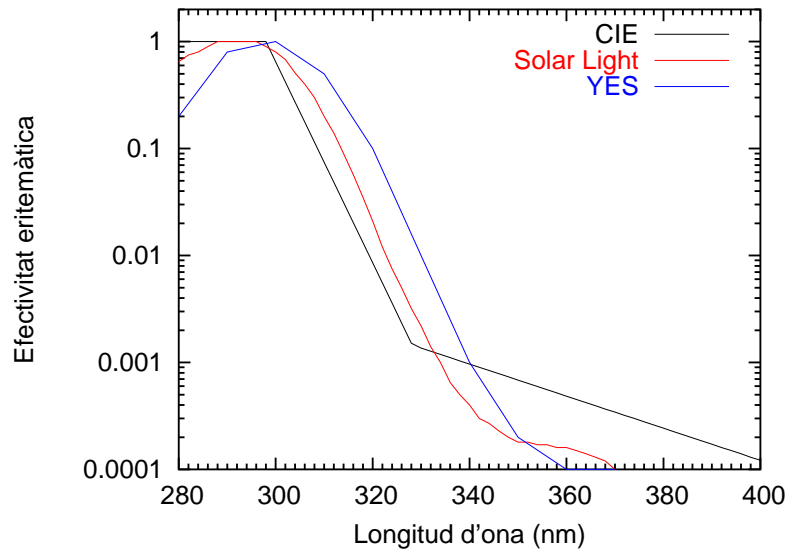


Figura 3.5: Espectre d'acció CIE (McKinley and Diffey, 1987) i espectres de resposta dels piranòmetres Solar Light i YES (Lantz et al., 1998).

3.4 Instruments fotomètrics

Els fotòmetres són instruments que mesuren la intensitat d'un feix de llum que els arriba directament d'una font lluminosa. En el cas que aquesta font sigui el Sol, l'instrument s'anomena heliofotòmetre. Estan dissenyats per apuntar directament al Sol i per tant, mesuren la irradiància solar directa. Tot i que alguns heliofotòmetres responen a un ample marge de longituds d'ona de la llum solar, la gran part inclouen filtres especials que admeten sols una estreta banda de longituds d'ona que, en general, coincideixen amb fortes bandes d'absorció de gasos com l'ozó i el vapor d'aigua.

Existeixen diferents tipus de fotòmetres, un dels més antics i senzills és l'heliofotòmetre Volz, que porta incorporats 5 filtres i permet mesurar la irradiància solar a incidència normal (més exactament la intensitat en μA generada per una cèl·lula fotoelèctrica de silici) en els canals R (centrat a 640 nm), G (500 nm), B (440 nm) de la regió visible i w (940 nm) i 8 (880 nm) de les bandes d'absorció del vapor d'aigua. També permet mesurar la massa

d'aire relativa $m(\sec \theta)$. Les constants de calibratge en cada un dels canals de l'heliotòmetre es calculen per mitjà del mètode Langley que consisteix a realitzar mesures amb el fotòmetre per a diferents valors de la massa d'aire al llarg d'un període en què la turbulència es mantingui pràcticament constant. Per aquest motiu és millor considerar dies de gran transparència.

3.4.1 Fotòmetre Microtops

El fotòmetre Microtops II v.2.4X és un heliotòmetre que proporciona directament la columna total d'ozó, la massa d'aigua precipitable i l'espessor òptic d'aerosols a 1020nm. Es compon de 5 col·limadors òptics alineats amb precisió amb un camp de visió total de 2.5°. Cada canal disposa d'un filtre d'interferència i un fotodíode on la radiació, quan hi incideix després d'haver estat capturada pels col·limadors i filtrada, produeix un corrent elèctric proporcional a l'energia captada.

L'instrument ve equipat amb una diana solar, de manera que quan la imatge del Sol està centrada, tots els canals estan apuntant de forma directa al disc solar, i amb un processador que calcula l'angle zenital a partir de les coordenades geogràfiques del lloc i l'hora i realitza els càlculs pertinents per tal de determinar la columna total d'ozó, la massa d'aigua precipitable i l'espessor òptic d'aerosols a 1020 nm.

L'aparell mesura la irradiància solar directa en els canals de 305.5, 312.5, 320, 936 i 1020 nm amb una amplada de banda FWHM de 2 ± 0.3 nm pels tres canals de l'UV i de 10 ± 1 nm pels altres dos.

L'instrument porta un calibratge realitzat prèviament pel mètode Langley a l'observatori de Mauna Loa situat a Hawaii a una alçada de 3397 m, sota diferents condicions climàtiques. Tot i així l'aparell permet que l'usuari li introdueixi unes constants de calibratge noves determinades pel mètode Langley a partir d'una sèrie llarga de mesures consecutives en una atmosfera neta.



Figura 3.6: Fotografies del fotòmetre Microtops al terrat de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona.

3.4.2 Fotòmetre CIMEL

3.4.2.1 Característiques tècniques i òptiques de l'aparell

El fotòmetre CIMEL 318N-VBS7 (CIMEL Électronique, 2001) és un heliofotòmetre motoritzat que s'orienta i apunta al Sol de forma automàtica. Es compon d'un capçal òptic amb dos col·limadors: un per a fer observacions del Sol sense lents i l'altre amb lents per a mesures de cel. El camp de visió de tots dos és de $d^{\circ}1.2^{\circ}$.

Aquest capçal apunta al Sol gràcies a dos microprocessadors que calculen l'angle zenital i azimutal a partir de les coordenades geogràfiques del lloc i l'hora i d'un motor pas a pas que permet el moviment en dues direccions: en el pla zenital i en el pla azimutal. Finalment, s'afina l'orientació amb un últim ajust del detector de quatre quadrants amb una precisió de 0.1° .

L'instrument disposa de 7 canals 340, 380, 440, 675, 870, 936 i 1020 nm amb una amplada de banda FWHM de 10 nm (excepte els canals de 340 i 380 que tenen una FWHM de 2 nm). Mesura la irradiància directa, irradiància en l'almucantarats (mantenint l'angle zenital constant i variant l'angle azimutal)

3.4. Instruments fotomètrics

i irradiància en el pla principal (mantenint l'angle azimutal constant i variant l'angle zenital). Per a cada mesura realitza un escombratge dels 7 filtres que ocupa uns 8 segons i després d'una pausa de 20 segons torna a repetir dues vegades més la sèrie de mesures, obtenint per a cada canal un triplet de mesures no simultànies. Amb aquestes mesures es pot obtenir la massa d'aigua precipitable i l'espessor òptic d'aerosols.



Figura 3.7: Fotografies del fotòmetre CIMEL instal·lat al terrat de la Facultat de Física.

3.4.2.2 Calibratge: el mètode Langley

El fotòmetre CIMEL no disposa d'un calibratge inicial i per tant cal calibrar-lo o bé portant-lo a algun lloc elevat amb una bona visibilitat i una atmosfera neta o bé escollint un dia transparent i clar de tots els dies en què l'aparell ha mesurat al seu lloc habitual. En els dos casos el que es busca és disposar d'una sèrie de mesures consecutives en què la variació de l'espessor òptic d'aerosols sigui molt petita.

Donat que de moment l'aparell no s'ha mogut del terrat de la facultat des de la seva instal·lació (18 de febrer 2003), s'ha optat per prendre com a dia més clar el 10 de juliol de 2003. El mètode Langley consisteix a realitzar una

sèrie de mesures per a diferents angles zenitals durant un dia en què l'espessor òptic d'aerosols romanguí gairebé constant (d'aquí que s'utilitzin dies molt clars). Posteriorment es representa en escala logarítmica el senyal mesurat en funció de la massa d'aire i s'extrapola per a una massa d'aire igual a zero.

Partint de la llei de Beer-Lambert-Bouguer (2.10) en forma logarítmica per a cada canal:

$$\ln V_\lambda = \ln V_{0\lambda} - m\tau_\lambda \quad , \quad (3.1)$$

on V_λ fa referència al senyal rebut per l'aparell pel canal centrat a la longitud d'ona λ i $V_{0\lambda}$ a la constant de calibratge d'aquest canal (o el que és el mateix, el que mesuraria l'aparell al cim de l'atmosfera) i aplicant-la per a diferents mesures fetes al llarg del dia, això és, per a diferents masses òptiques m s'obté una recta l'ordenada a l'origen de la qual és precisament $V_{0\lambda}$ i el pendent, τ_λ (taula 3.2).

Taula 3.2: Pendent, ordenada a l'origen, correlació (r^2) i constants de calibratge per als diferents canals del fotòmetre CIMEL utilitzat en el present treball.

Canal (nm)	Pendent	Ordenada	Correlació	$V_{0\lambda}$
340	-1.140 ± 0.017	10.58 ± 0.06	-0.994	39300 ± 700
380	-0.853 ± 0.015	7.39 ± 0.06	-0.992	1610 ± 20
440	-0.56 ± 0.01	9.50 ± 0.03	-0.993	13310 ± 130
675	-0.199 ± 0.004	10.149 ± 0.016	-0.989	25600 ± 100
870	-0.105 ± 0.003	9.84 ± 0.01	-0.984	18770 ± 50
936	-0.99 ± 0.01	9.43 ± 0.02	-0.997	12400 ± 140
1020	-0.084 ± 0.003	9.46 ± 0.01	-0.976	12770 ± 30

3.4. Instruments fotomètrics

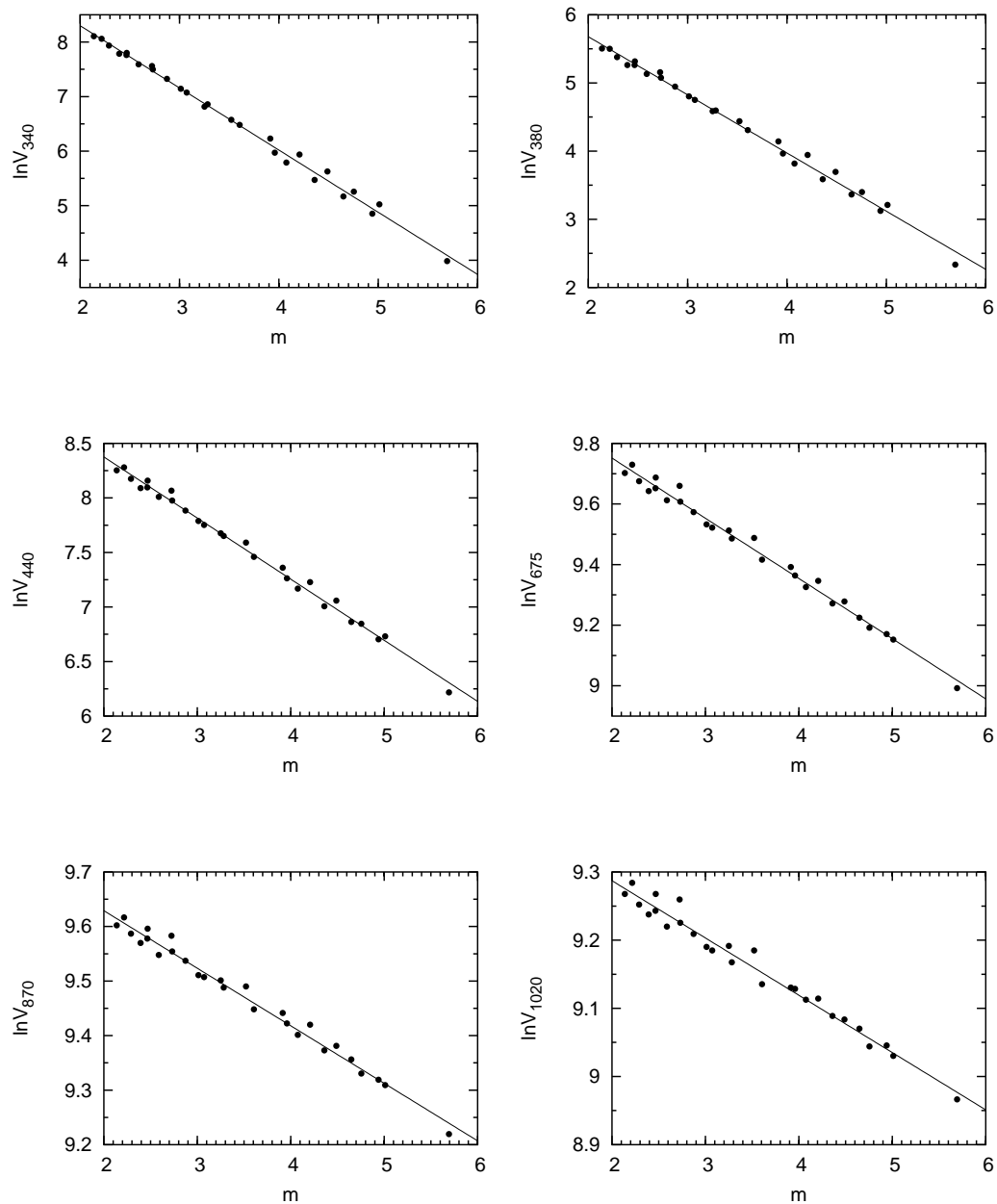


Figura 3.8: Calibratge a partir del mètode Langley pels diferents canals, excepte pel canal de 936 nm del fotòmetre CIMEL instal·lat al terrat de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona a partir de les mesures del 10 de juliol de 2003.

Pel que fa al canal de 936 nm en haver-hi absorció per part del vapor

d'aigua cal incloure a l'equació (3.1) el terme corresponent a l'absorció, segons Reagan et al. (1987):

$$\ln V_{H_2O} = \ln V_{0H_2O} - m\tau_{scat} - k(um)^b, \quad (3.2)$$

on τ_{scat} és la suma de la dispersió de Rayleigh i l'espessor òptic d'aerosols, u és la massa d'aigua precipitable, m la massa òptica relativa i k i b són constants obtingudes a partir del codi LOWTRAN-7 que depenen de la longitud d'ona, l'amplada de banda del filtre del fotòmetre, la pressió, la temperatura i la distribució vertical de vapor d'aigua. Pel cas de Barcelona, s'ha pres una atmosfera de latituds mitjanes amb una amplada de banda estreta i s'ha diferenciat entre estiu i hivern, com indica la taula 3.3. Si es representa el terme $\ln V_{H_2O} + m\tau_{scat}$ en funció del terme m^b s'obté novament una recta l'ordenada a l'origen de la qual permet determinar la constant de calibratge d'aquest canal, V_{0H_2O} (taula 3.2).

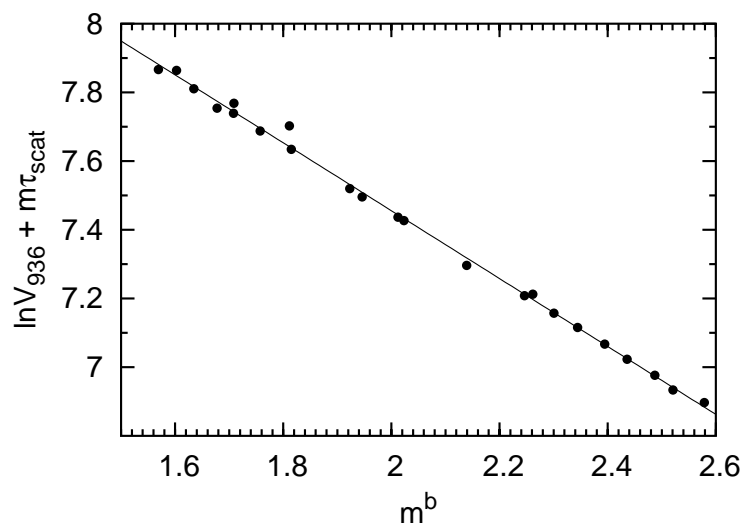


Figura 3.9: Calibratge a partir del mètode Langley del canal de 936 nm del fotòmetre CIMEL pel 10 de juliol de 2003.

3.4. Instruments fotomètrics

Taula 3.3: Coeficients k i b per a filtres de banda estreta i una atmosfera de latituds mitjanes, proposats per Halthore et al. (1997).

Atmosfera	k	b
Hivern (MLW)	0.616	0.597
Estiu (MLS)	0.616	0.593