

CARACTERITZACIÓ TÈRMICA MITJANÇANT TERMOGRAFIA INFRAROJA DE L'EDIFICI DE LES FACULTATS DE FÍSICA I DE QUÍMICA. ESTIU 2013 (DOC/AM/C0Y/1202)

Índex

Antecedents	2
Disseny de la metodologia de realització de les imatges per termografia	3
Posada a prova de la metodologia en l'edifici de les facultats de Física i de Química ...	3
Característiques generals de l'edifici de Física i Química	7
Condicions meteorològiques	10
Resultats de les termografies	13
Façana Martí i Franquès	13
Façana Pau Gargallo	15
Aulari de Física	17
Façana Pascual i Vila	18
Façana Avinguda Diagonal	20
Façana posterior de l'Avinguda Diagonal	22
Coberta de l'aulari antic	24
Cobertes de l'edifici antic i l'ampliació	25
Coberta de l'aulari de Física	27
Façana posterior de Martí Franquès	28
Façana posterior de Pau Gargallo	30
Façana posterior de Pascual i Vila	32
Atri Solar	34
Instal·lació fotovoltaica de l'Atri Solar	37
Conclusions	39

Antecedents

La Universitat de Barcelona va aprovar l'any 2012 el seu Pla de Sostenibilitat, en què s'inclouen com a objectius millorar l'eficiència energètica i reduir l'impacte ambiental de l'activitat que es du a terme en els seus edificis.

Un dels aspectes més determinants en el consum energètic dels edificis és el seu aïllament, de forma que si es corregeixen les pèrdues que es produeixen a través de l'envolupant aquest consum es pot reduir significativament. Degut a que la normativa d'edificació no va prestar suficient atenció a aquest aspecte, els edificis universitaris pateixen pèrdues energètiques significatives que no s'han quantificat, però que en termes de costos de climatització són rellevants.

La termografia infraroja ha esdevingut els darrers anys un mètode efectiu per detectar aquestes pèrdues i facilitar l'aplicació de mesures correctores per millorar l'eficiència energètica dels edificis.

Tenint en compte aquests aspectes, l'Oficina de Seguretat, Salut i Medi Ambient de la UB va incloure en el seu pla d'objectius de treball de l'any 2013 la realització d'un estudi de caracterització tèrmica d'edificis de la UB mitjançant termografia infraroja.

Per la seva banda, el Departament de Física Aplicada i Òptica de la UB també està interessat en dur a terme un estudi de caracterització tèrmica d'edificis mitjançant termografia infraroja, i disposa de l'equipament necessari per executar-lo. És per això que ambdues unitats han signat un acord de col·laboració per realitzar aquest estudi en l'edifici de les facultats de Física i de Química.

En el marc d'aquest acord, el Departament de Física Aplicada i Òptica aporta la infraestructura (càmera per termografia) i el professorat especialitzat per fer assessorament científic en el desenvolupament d'aquest treball, sota la direcció dels doctors Salvador Bosch Puig i Santiago Vallmitjana Rico, catedràtics d'aquest Departament i investigadors del Grup de Recerca en Enginyeria de Fronts d'Ona. Per la seva banda, l'OSSMA aporta els recursos humans per al desenvolupament de l'estudi i l'assessorament tècnic del projecte.

L'acord es preveu a llarg termini, però es preveuen diferents fases de treball:

1. Disseny de la metodologia de realització de les imatges per termografia (gener-abril de 2013)
2. Posada a prova del procediment en l'edifici de les facultats de Física i de Química (juny-agost 2013)
3. Redacció del primer informe de caracterització tèrmica de l'edifici de Física i Química (estiu), amb valoració de l'aplicabilitat del procediment a l'estiu (setembre-desembre 2013)
4. Presa d'imatges i dades a l'edifici de les facultats de Física i de Química durant l'hivern (gener-març 2014)
5. Redacció del segon informe de caracterització tèrmica de l'edifici de Física i Química (hivern), amb valoració de l'aplicabilitat del procediment a l'hivern (abril-juny 2014)
6. Implantació del procediment de caracterització tèrmica en altres edificis (segon semestre de 2014 en endavant)

Durant el primer any de l'acord es duen a terme les fases 1 a 5, en tant que la sisena es desenvoluparà en anys posteriors, tot i que resta condicionada als resultats

obtinguts en l'estudi realitzat a l'edifici de Física i Química, i a la disponibilitat de recursos humans.

Disseny de la metodologia de realització de les imatges per termografia

La tècnica d'imatges per termografia es va començar a aplicar en arquitectura per analitzar el comportament tèrmic dels edificis en període hivernals de latituds altes, on el consum energètic per calefacció és molt elevat i les grans diferències de temperatura entre l'exterior (en molts casos per sota dels 0°C) i l'interior de l'edifici permeten identificar clarament les pèrdues de calor i les anomalies d'aïllament.

En latituds mitjanes l'aplicació de la termografia no es troba tan estesa, atès que les temperatures són més suaus i els costos associats a la calefacció no són tan alts, però l'augment constant dels preus de l'energia està fent que qualsevol deficiència en l'aïllament de l'edifici tingui una repercussió important en la despesa.

Per altra banda, la despesa energètica en climatització en l'entorn mediterrani s'ha anat desplaçant els últims anys cap al període d'estiu degut a l'abaratiment dels aparells d'aire condicionat amb bomba de calor, que s'han anat instal·lant en substitució dels aparells solament d'aire fred. En conseqüència, la despesa d'energia elèctrica ha augmentat considerablement en detriment dels sistemes centralitzats de producció de calor amb gas natural, que tenen millor rendiment i més baixa despesa).

Per tot això, resulta especialment necessari conèixer les mancances de l'edifici que determinen malbaratament energètic en relació a aquest període.

Tenint en compte aquests aspectes, s'ha dissenyat una instrucció tècnica de realització de termografies infraroges per a l'estudi de l'envolupant dels edificis de la UB, que té el codi IT/ZUB/MAM/007 en el sistema de gestió ambiental de la nostra universitat. Aquesta instrucció té associats

- la fitxa de caracterització de l'envolupant d'edificis amb termografies infraroges (FOR_MAM_017), on es recullen les característiques generals de l'edifici que s'analitza, i
- el full de registre d'imatges per termografia (FOR_MAM_018), on s'anoten les dades de les imatges que es prenen per fer l'estudi.

La instrucció tècnica s'adjunta com a annex 1 d'aquest informe, en tant que la fitxa de caracterització de l'edifici de Física i Química s'incorpora com a annex 2, i el registre d'imatges com a annex 3.

En el disseny d'aquesta metodologia s'han pres com a referència:

- European Standard EN 1387:1998. Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method.
- Standard for Infrared Inspection of Building Envelopes. 2008 edition. Infrasppection Institute.

Posada a prova de la metodologia en l'edifici de les facultats de Física i de Química

Durant els mesos de juny i juliol de 2013 es va dur a terme una prova pràctica del funcionament de la instrucció tècnica per realitzar les imatges per termografia,

buscant els dies més calorosos per tal de garantir el compliment de les condicions ambientals fixades en la metodologia.

Prèviament es va fer un reconeixement del terreny, buscant els emplaçaments idonis per a la presa d'imatges de totes les façanes interiors i exteriors, que va donar com a resultat l'establiment de 17 punts d'observació, inclòs un a la teulada de l'edifici de l'escola d'Enginyers de la Universitat Politècnica de Catalunya per observar la coberta de Física i Química. A la Figura 1 i a la Taula I es detallen la distribució i característiques dels punts d'observació.



Figura 1. Punts de presa de les termografies a l'edifici de les facultats de Física i de Química.

Taula I. Ubicació i descripció dels punts de realització de les termografies de l'edifici de les facultats de Física i de Química.

Codi	Ubicació	Descripció
A	Exterior	Carrer Pascual i Vila amb carrer Llorens Artigas, vorera costat est
B	Exterior	Carrer Pau Gargallo, davant del porxo entre d'edifici de la facultat de Física i l'aulari
C	Exterior	Carrer Pau Gargallo, davant de la porta del magatzem de residus de la facultat
D	Exterior	Carrer Martí i Franquès, al costat de l'entrada a l'aparcament de Biologia
E	Interior	Planta 5 de la facultat de Química, situat a la vidriera del passadís del departament de Química Orgànica que dona a l'atri
F	Interior	Planta 7 de la facultat de Física, situat a la finestra final del passadís del departament d'Astronomia i Meteorologia que dona a l'atri
G	Interior	Planta 5 de la facultat de Física, situat a la finestra final del passadís del departament de Física Aplicada i òptica que dona a l'atri
H ₁	Exterior	Terrassa del menjador de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona de la UPC, situada a la planta 1
H ₂	Exterior	Teulada superior de l'edifici de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona de la UPC
I	Exterior	Pati interior de l'aulari de Física
J	Interior	Planta 7 de la facultat de Física, situat a la finestra final del passadís del departament d'Astronomia i Meteorologia que dona a l'aulari de Física. Aquest punt permet analitzar la coberta de l'aulari
K	Exterior	Cantonada entre els carrers Pau Gargallo i Pascual i Vila
L	Interior	Atri solar de la facultat, al costat del bar
M	Exterior	Vorera de costat mar de l'Avinguda Diagonal, cantonada amb carrer Martí i Franquès
N	Exterior	Vorera de costat muntanya de l'Avinguda Diagonal, cantonada amb carrer Tinent Coronel Valenzuela
O	Interior	Planta 2 del porxo de l'Atri solar, a sobre del bar
P	Interior	Atri solar de la facultat, al costat de l'entrada a l'edifici des de l'Avinguda Diagonal
Q	Exterior	Carrer Pascual i Vila entre l'Avinguda Diagonal i el carrer Pau Gargallo (3 punts)

L'aparell utilitzat ha estat una càmera per termografia SAT-G90 que compleix els requisits mínims establerts a la instrucció tècnica. En concret, té un detector amb resolució de 320x240 píxels, objectiu angular amb camp de visió de 24°x18°, resolució geomètrica (IFOV) de 1,3 mrad, i exactitud de mesura de temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, equivalent a $\pm 2\%$ del valor mesurat.

Tot i que aquesta càmera proporcionava la possibilitat de prendre simultàniament la imatge infraroja i visible, es va utilitzar una càmera fotogràfica digital Nikon Coolpix S2600 amb un objectiu de zoom òptic 5x, f=3,2 mm a 6,5 mm, resolució de 14,48 píxels i sensibilitat ISO 3200.

Les càmeres es muntaven sobre un trípod plegable a l'alçada fixada en la instrucció de treball (1,2 m sobre el nivell del terra), en tant que les lectures de temperatura i

humitat interiors i exteriors es van prendre amb un equip Testo 176 data logger, complementant-les amb les dades de l'estació meteorològica instal·lada a la coberta del mateix edifici de les facultats de Física i Química, i que es poden consultar en temps real al lloc web d'InfoMet¹.

També d'InfoMet s'han obtingut les dades de velocitat del vent per determinar si es sobrepassava el límit màxim establert per validar les imatges.

Un cop realitzats els assajos i les proves d'obtenció de les imatges es poden establir les següents observacions sobre la instrucció tècnica:

- Es comprova que resulta imprescindible el reconeixement previ del terreny, atès que això permet comprovar els angles de visió des de punts no accessibles per al públic en general, però que proporcionen perspectives idònies per a l'estudi quan s'hi accedeix amb els permisos adients. També pot ser necessari fer gestions addicionals durant tot el període de treball de camp per modificar algun dels emplaçaments inicialment previstos, tot i que no ha estat el nostre cas.
- No es compleix el requisit de 5°C de diferència entre la temperatura interior i l'exterior per a realitzar les termografies d'estiu. Això és degut principalment a que la major part de l'edifici no disposa d'un sistema centralitzat d'aire condicionat.

En funció d'aquesta evidència, la caracterització tèrmica mitjançant imatges per termografia no sembla viable durant l'estiu en aquest tipus d'edificis que no es trobin íntegrament climatitzats, donat que no es poden detectar pèrdues d'energia.

Tanmateix, abans de descartar completament la viabilitat de les termografies d'estiu en tots els casos, caldria realitzar una altra prova en un edifici climatitzat.

- Garantir el compliment d'algun dels requeriments pot ser inviable en funció dels recursos humans disponibles. Per exemple, inicialment s'havia previst fer les termografies d'estiu a partir del moment en què la façana deixava de rebre insolació directa, i fins a tres hores després d'haver-la rebut. Això implicava començar a partir del migdia i allargar la jornada de treball fins més enllà de la posta de sol, amb un límit màxim cap a les 23:30 hores a finals de juny.

Sobre el terreny, es mostrava més eficient per detectar el comportament de les façanes prendre les imatges quan encara rebien insolació, i n'havien rebut al menys durant les tres hores anteriors, de forma que resultava possible fer les termografies començant entre les 8:30 i les 9:00 per les façanes orientades al Sud-est, i acabant per les orientades al Nord-oest abans de les 19:30 hores.

Per tant, el redactat de la instrucció tècnica s'hauria de modificar en l'apartat 5.4 amb el següent text:

«En les termografies d'estiu, per tal de facilitar la detecció de pèrdues de fred de l'edifici, les mesures es realitzaran amb insolació directa sobre la façana, quan aquesta n'hagi rebut com a mínim durant les tres hores anteriors.

[...]

En canvi, per a les termografies d'estiu, la finestra de temps útil s'inicia tres hores després de la sortida del Sol en les façanes orientades a l'est i el nord-est, i s'allarga fins poc abans de la posta de Sol en les façanes nord-oest i nord.»

- Com a complement de l'anàlisi del comportament tèrmic de l'edifici, les termografies han permès detectar diversos problemes específics relacionats amb l'envolupant i instal·lacions, com ara cobertes amb impermeabilització asfàltica, els

¹ <http://infomet.am.ub.es/metdata/>

aparells d'aire condicionat individuals o la instal·lació fotovoltaica de l'Atri Solar. En apartats posteriors es detallen els resultats obtinguts.

Característiques generals de l'edifici de Física i Química

L'edifici de les facultats de Física i Química es troba ubicat al districte de Les Corts de Barcelona i ocupa una illa sencera amb façanes a quatre carrers: avinguda de la Diagonal al Nord-oest, carrer de Martí i Franquès al Nord-est, carrer de Pau Gargallo al Sud-est i carrer de Pascual i Vila al Sud-oest.

Per tant, amb la sortida del Sol comença a rebre insolació pels carrers de Martí i Franquès, que la mantenen durant tot el matí, en tant que la façana de Pascual i Vila resta en ombra fins al migdia, i la de l'avinguda de la Diagonal és la més ombrívola, donat que només rep insolació a la tarda (i molt poc temps durant l'hivern).

L'edifici presenta diversos cossos de diferents alçades que delimiten dos espais buits interiors, de forma que es presenten façanes reculades i façanes interiors que també cal analitzar.

Les façanes són diferents, en funció de l'evolució constructiva de l'edifici. L'any 1959 es va inaugurar el primer edifici, que tenia forma en L i ocupava tota la façana de Martí i Franquès i part de la Diagonal (vegeu la figura 3). L'acabat de la façana en aquest cos és de peces ceràmiques i tancament de vidre, en tant que a la cantonada d'ambdós carrers i a una de les façanes interiors la façana és només de vidre.

Aquest bloc té planta baixa més sis plantes en alçada i un soterrani, amb coberta parcialment ocupada per instal·lacions i equips científics, com ara una estació meteorològica. A l'interior de l'illa la configuració de les façanes és similar, tot i que el tancament del pati es va fer amb un aulari d'una única planta a doble alçada.

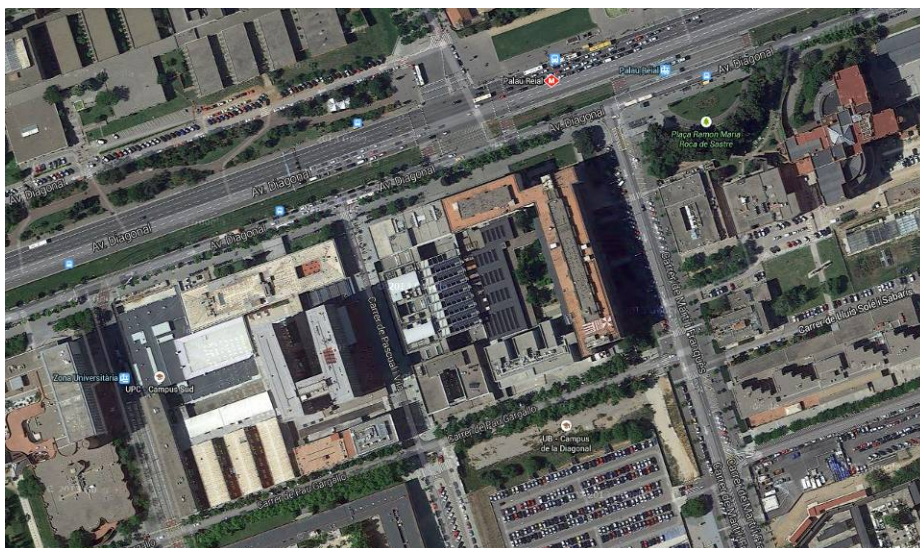


Figura 2. Emplaçament de l'edifici de Física i Química, al centre de la imatge. Font: Google Maps².

² <https://www.google.es/maps/preview#!data=!1m4!1m3!1d1752!2d2.1170085!3d41.3845669!2m1!1e3&fid=7>

A finals del anys 80 es va inaugurar l'aulari de la facultat de Física, ubicat a la cantonada dels carrers de Pau Gargallo i de Pascual i Vila. En aquest cas es tracta d'un bloc de planta baixa, tres plantes en alçada i soterrani, amb façanes de peces ceràmiques com imitació del revestiment del primer edifici en forma de L (vegeu la Figura 4).



Figura 3. Edifici inicial de la facultat de Química, façana del carrer de Martí i Franquès. Font: Banc d'imatges OSSMA.

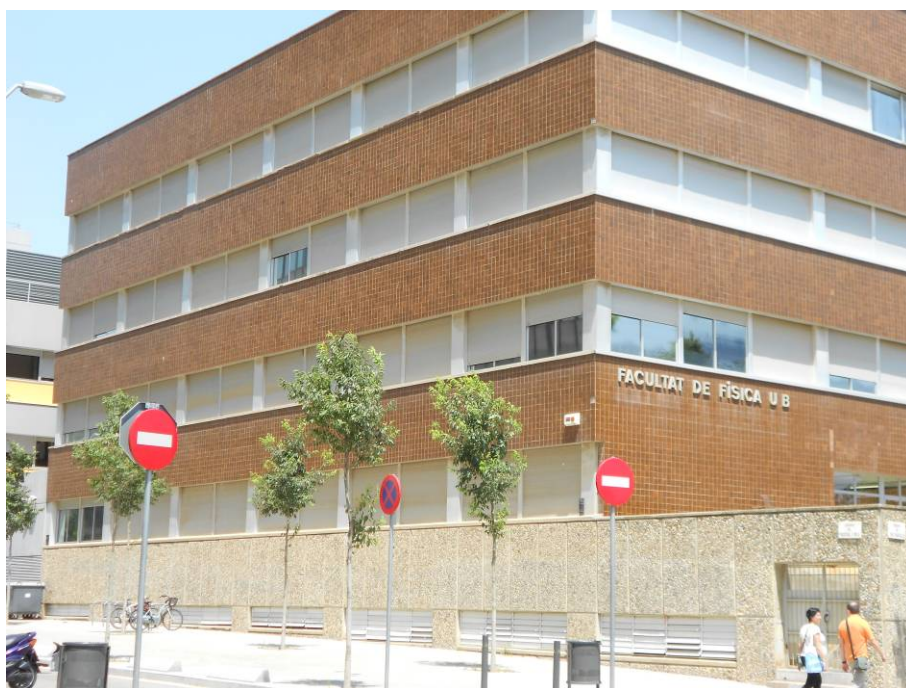


Figura 4. Aulari de Física, façana a la cantonada dels carrers de Pau Gargallo i de Pascual i Vila. Font: Banc d'imatges OSSMA.

La illa es va tancar l'any 2006 amb la inauguració de l'ampliació de les facultats, que tanca les façanes de l'avinguda Diagonal, el carrer Pascual i Vila i el carrer de Pau Gargallo. En aquest cas les façanes són de formigó prefabricat, amb diferents alçades en cada façana segons la dels edificis preexistents: planta baixa més sis a la Diagonal i a Pau Gargallo, i planta baixa més tres a Pascual i Vila (vegeu la Figura 5). Les cobertes es troben totalment ocupades per instal·lacions de climatització i ventilació.



Figura 5. Ampliació de les facultats de Física i de Química, des del carrer de Pascual i Vila. Font: Banc d'imatges OSSMA.



Figura 6. Façana interior de l'ampliació de les facultats de Física i de Química, al carrer de Pau Gargallo. Font: Banc d'imatges OSSMA.

Aquesta darrera ampliació crea un segon pati interior amb una façana que dona a l'aulari de Química, i tres façanes creades per la pròpia ampliació. Aquest pati interior rep el nom d'Atri Solar, i es troba parcialment cobert a l'alçada de la tercera planta per una instal·lació solar fotovoltaica. La façana interior que tanca pel carrer de Pau Gargallo és irregular, donat que l'edifici es presenta en aquesta zona en tres blocs de fondària variable (vegeu la Figura 6).

En total, l'edifici té una superfície construïda de 67.087 m² i una superfície útil de 58.358 m², que es distribueixen de la següent forma per tipus d'activitat:

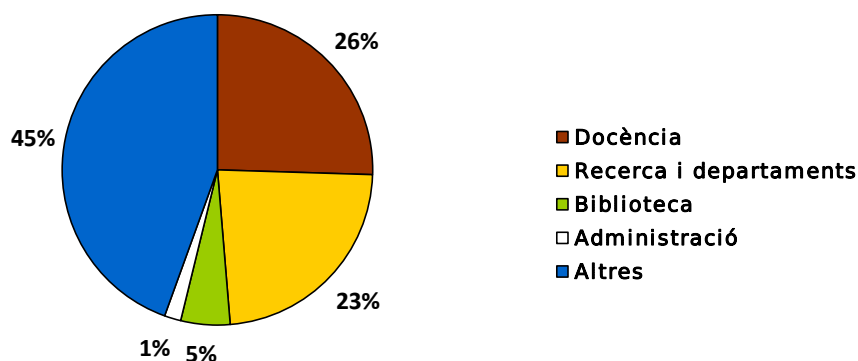


Figura 7. Distribució d'espais a l'edifici de les facultats de Física i de Química per tipus d'activitat. Elaboració pròpia.

El nombre total d'usuaris de l'edifici és de 4.172 persones, de les quals un 54,7% corresponen a la Facultat de Química i un 54,8% són estudiants de grau. El desglossament de la comunitat universitària que estudia i treballa en aquest centre es detalla en la Taula II.

Taula II. Població de les facultats de Física i de Química (curs 2012-2013).

CENTRE	ESTUDIANTS				PDI	PAS	BECARI DE RECERCA	TOTAL
	Ensenyament anterior EEES	Ensenyaments adaptats EEES						
		1r i 2n Cicle	Grau	Màster				
Facultat de Física	165	909	237	178	234	67	39	1.829
Facultat de Química	169	1.376	140	246	246	54	54	2.285
Fac. Física i Química	0	0	0	0	0	58	0	58
TOTAL	334	2.285	377	424	480	179	93	4.172

En aquest recompte no s'inclou el col·lectiu de treballadors d'empreses externes (neteja, manteniment, restauració, reprografia i oficines bancàries), que és d'unes 60 persones.

Condicions meteorològiques

El període de prova es va dur a terme entre el 4 i el 26 de juliol de 2013, buscant els dies en que les condicions meteorològiques eren apropiades, amb temperatures altes i poc vent. En total es van prendre 3.530 imatges, tot i que moltes d'elles van ser en sèries repetides de la mateixa localització per assegurar que es disposava de còpies de seguretat en cas alguna presentés algun defecte en l'enfocament o no s'hagués gravat bé a la targeta de memòria.

Per tant, durant tot el mes es van fer 272 sèries de termografies des dels diferents punts d'observació, amb una mitjana de 13 imatges per sèrie que inclouen tant imatges repetides com seccions panoràmiques d'una mateixa façana.

Taula III. Dades de referència de la presa d'imatges per termografia realitzades durant el mes de juliol de 2013. Les caselles en vermell indiquen quan no es compleixen les condicions fixades a la instrucció tècnica.

Data	Hora inici	Hora final	T interior		T exterior		ΔT_{ext}	$\Delta \text{màx.}$ $T_{ext} - T_{int}$	$\Delta \text{mín.}$ $T_{ext} - T_{int}$
			Màx.	Mín.	Màx.	Mín.			
04/07	13:00	15:30	27,6	25,7	28,1	24,2	3,9	0,4	-0,6
05/07	13:00	15:35	30,7	27,7	30,7	27,3	3,4	2,7	-1,1
09/07	12:25	15:45	32,2	29,3	34,0	29,2	4,8	2,4	-0,9
10/07	12:30	15:50	30,0	28,0	32,9	28,2	4,7	4,2	-1,7
11/07	12:50	15:45	29,2	28,4	30,0	27,2	4,8	0,8	-2,0
12/07	13:20	15:50	30,7	28,9	33,7	31,8	1,9	4,1	2,3
15/07	12:20	14:40	30,4	28,4	33,7	30,6	3,1	3,3	-1,1
16/07	12:00	16:00	33,9	28,6	35,8	30,8	5,0	3,7	-3,1
17/07	12:00	15:10	32,3	29,1	33,6	28,9	4,7	2,1	-1,9
22/07	11:45	15:25	32,2	28,7	33,2	28,6	4,6	4,3	-2,2
23/07	8:35	13:00	33,2	27,3	33,8	26,1	7,7	6,5	-3,1
24/07	14:20	17:55	34,1	29,5	35,0	30,1	4,9	2,8	-2,8
25/07	12:10	15:45	32,8	28,0	35,1	29,0	6,1	6,9	-2,0
26/07	11:00	13:50	35,7	28,0	34,5	30,2	4,3	5,9	-2,3

La temperatura durant aquest dies era generalment superior als 28°C tant a l'exterior com a l'interior, exceptuant el 4, el 5 i el 23 de juliol. L'amplitud tèrmica durant el temps de realització de les termografies va ser en general inferior als 5°C que estableix la instrucció, superant-los només els dies 23 i 25 de juliol.

El principal problema que es detecta per validar les termografies és que la temperatura exterior en molt poques ocasions és clarament superior a la interior, de forma que no resulta possible detectar possibles fuites d'energia procedents d'espais climatitzats.

Aquesta situació es pot explicar perquè l'edifici no està climatitzat en conjunt i perquè durant el mes de juliol hi ha espais sense activitat on la climatització no s'engega, com ara les aules. A l'edifici inicial només ho estan els despatxos (amb aparells d'aire condicionat individuals), i les aules 101 a 105 (que no estaven climatitzades inicialment, sinó que es va instal·lar després de segellar unes claraboies que permetien ventilació natural). En canvi, a l'ampliació sí es va climatitzar tot (aules, despatxos, laboratoris, biblioteca CRAI, menjador), amb excepció de passadissos i vestíbuls.

Per altra banda, destaca que en moltes ocasions la temperatura interior és superior a l'exterior, posant de manifest que

- els materials de l'edifici poden afavorir l'acumulació de calor (per exemple, es produeix un efecte hivernacle en les zones on la façana és de vidre),
- l'edifici no disposa dels elements arquitectònics necessaris per protegir de l'excés de radiació solar, com ara para-sols que creïn ombra, i

- en determinades zones l'edifici no presenta una configuració adequada dels espais interiors per facilitar una bona ventilació natural.

El detall dels valors màxims i mínims de temperatura obtinguts cadascun dels dies es pot consultar a la Taula III.

Resultats de les termografies

Façana Martí i Franquès

Tal i com es pot veure a la Figura 8, a la façana de Martí i Franquès es poden detectar els aparells d'aire condicionat de despatxos que es troben en funcionament, amb temperatures superiors als 50°C. La proporció d'aparells engegats és d'un 35% del total, que es pot justificar perquè bona part d'ells no estiguessin ocupats (les imatges són del 17 de juliol).

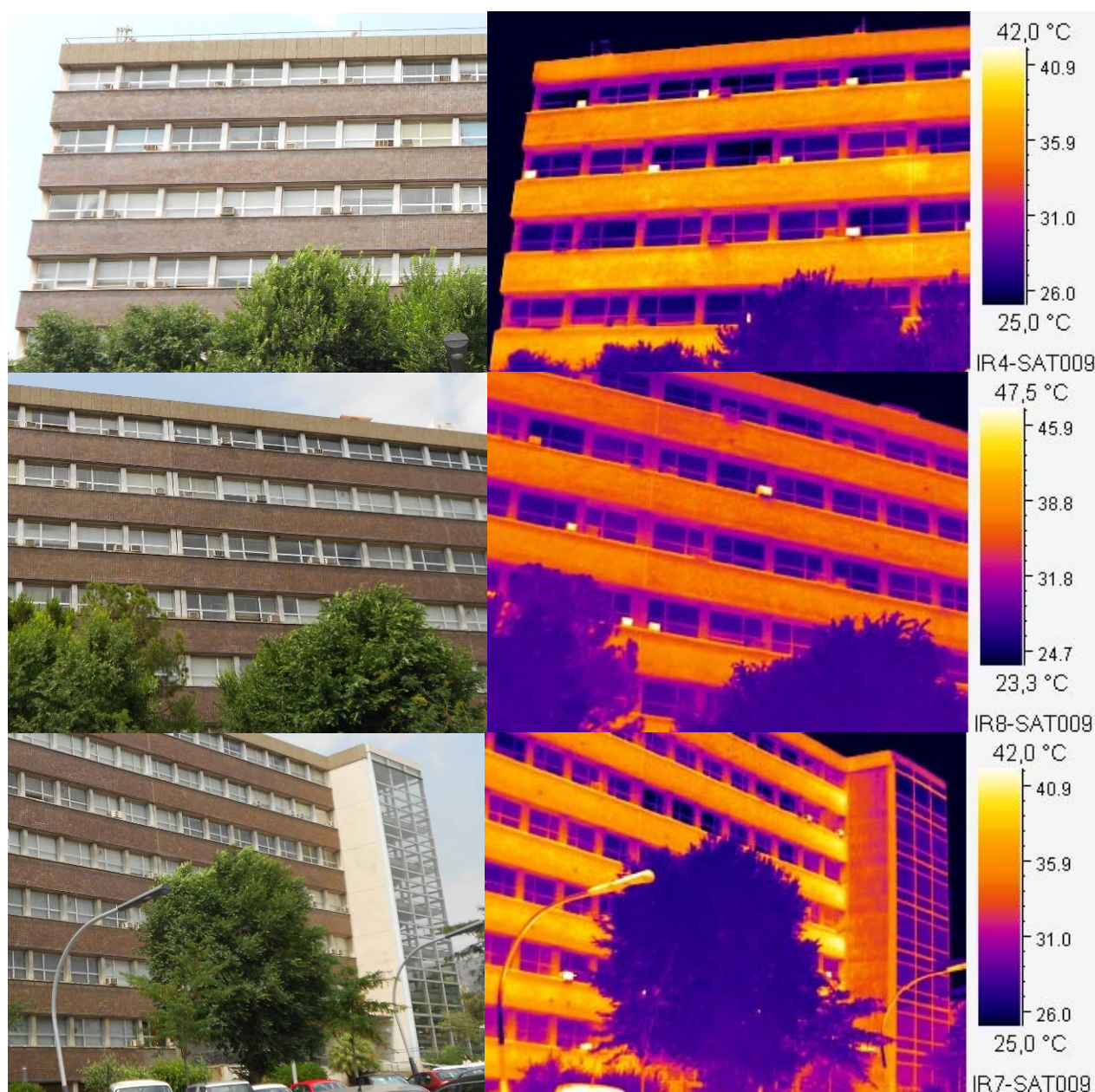


Figura 8. Imatges visible i infraroja de la façana del carrer de Martí i Franquès. Font: Banc d'imatges OSSMA (17/07/2013).

La temperatura sobre les franges amb peces de ceràmica oscil·la entre els 35 i els 37°C, en tant que als finestrals disminueix entre els 29 i 32°C. A l'estreta franja de

façana de pedra que es veu a la tercera imatge, i que presenta orientació Sud-est, la temperatura oscil·la entre 33 i 36°C.

Per altra banda, a la primera imatge, corresponent al terç més proper al carrer de Pau Gargallo, s'observa un escalfament lleugerament superior a la mitjana que irradia a ambdós costats de la junta de dilatació en la sisena planta. Podria ser indicatiu d'un problema de segellat incorrecte, o deteriorament de la junta, o bé resultat de la substitució de peces ceràmiques malmeses al voltant de la junta, que tindrien un comportament tèrmic diferent al del material original.

La segona imatge no mostra aquest problema, tot i que la junta de dilatació s'identifica clarament.

La tercera imatge, que mostra la part més propera a l'avinguda de la Diagonal, mostra una anomalia de temperatura elevada cap a la cantonada amb la franja de façana orientada al SSE, amb temperatures properes als 40°C, que són 3-4°C superiors a la resta de la façana de Martí i Franquès, i entre 5 i 8°C més altes que la façana de pedra contigua.

Aquesta darrera anomalia mereixeria ser analitzada amb més detall per determinar la causa i els possibles efectes de rescalfament que generi a l'interior de l'edifici.

Façana Pau Gargallo

Degut a la presència d'arbrat, la presa d'una perspectiva general es troba parcialment obstaculitzada i és necessari desplaçar-se a una distància de com a mínim 50 metres per a la presa de les termografies.

Segons s'observa en la Figura 9, els tres tipus de material presents en aquesta façana, corresponents a períodes constructius diferents, tenen comportaments tèrmics ben contrastats.

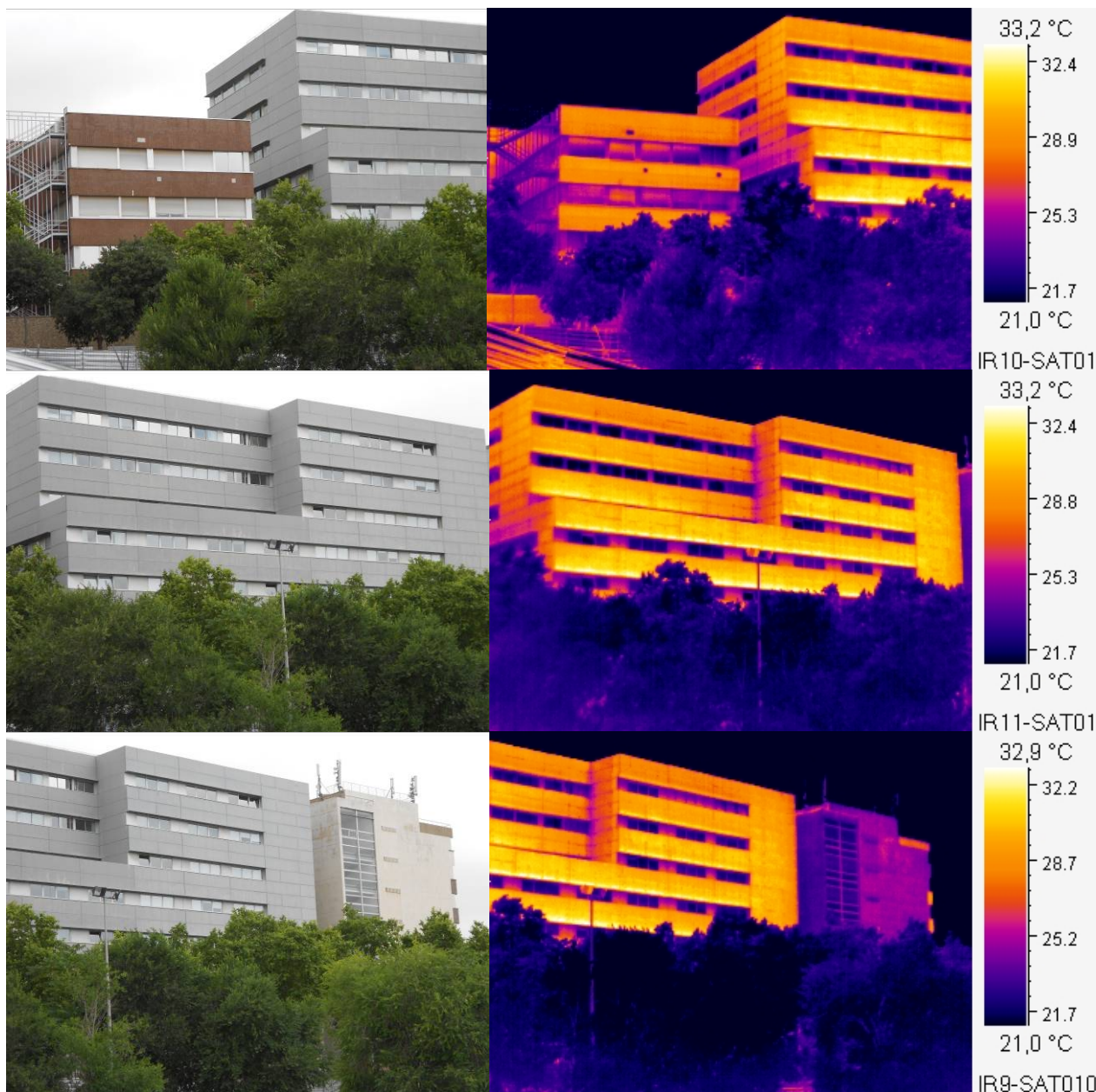


Figura 9. Imatges visible i infraroja de la façana del carrer de Pau Gargallo. Font: Banc d'imatges OSSMA (17/07/2013).

Començant per l'aulari de Física, ubicat al sector proper a la cantonada amb Pascual i Vila, la façana de ceràmica presenta unes temperatures en l'interval 28-29°C. Es dona la circumstància que a la imatge infraroja es detecten tres punts més freds (al voltant

de 22-23°C, que corresponen a reixes de ventilació d'un aula que antigament havia estat habilitada com a laboratori. Aquesta diferència de 6°C s'explica per la circulació d'aire a través de la reixeta metàl·lica, que refresca significativament el material.

En la segona imatge trobem l'ampliació de la facultat de Física, amb façana de blocs de formigó prefabricat. La temperatura és més elevada a les plantes inferiors, on es situa al voltant de 32°C i disminueix cap a la coberta, amb uns 29°C a la setena planta, per efecte d'una millor ventilació.

Les seccions de façana orientades cap a l'OSO encara presenten temperatures més baixes, en consonància amb que havien rebut menys insolació en el moment de prendre les imatges (a les 13:30 hores del 17 de juliol).

Finalment, la tercera imatge permet observar que la façana de revestiment d'aplatat de peces de marbre de l'edifici antic és la menys escalfada, amb temperatures que es situen al voltant dels 25°C. Tot i que desconeixem el perfil constructiu de la façana, el comportament tèrmic podria ser indicatiu de la presència d'un aplatat amb cambra d'aire que afavoreix la ventilació, el que oferiria el millor comportament en termes de reducció de la demanda d'energia per climatització a l'edifici.

Aulari de Física

El tret predominant a les façanes exteriors de l'aulari de Física, ubicat a la cantonada dels carrers de Pau Gargallo i de Pascual i Vila, és la capacitat d'absorció de calor que presenta el material ceràmic que les recobreix.

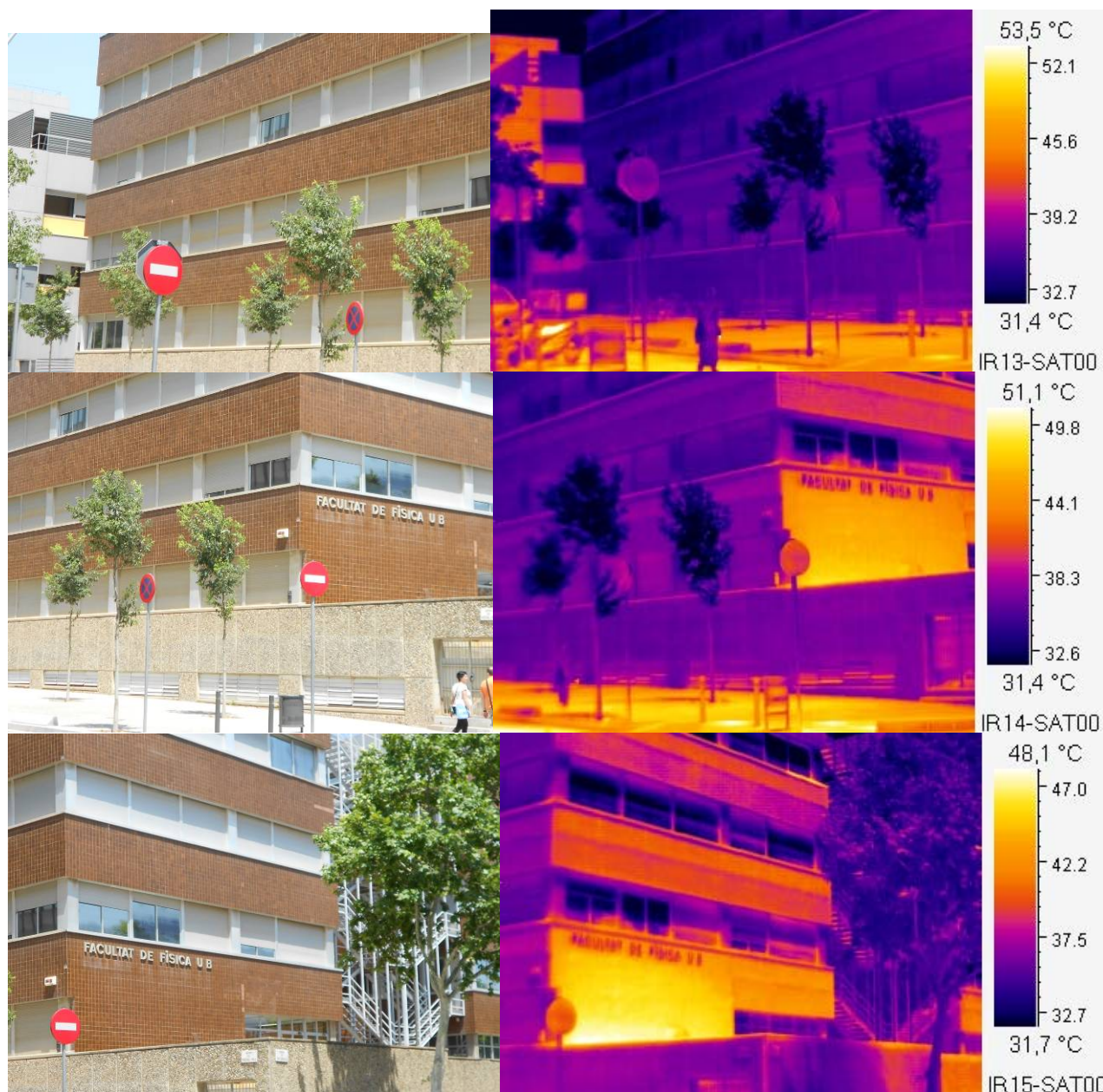


Figura 10. Imatges visible i infraroja de l'aulari de Física a la cantonada entre Pau Gargallo i Pascual i Vila. Font: Banc d'imatges OSSMA (11/07/2013).

El patró de comportament tèrmic en aquest cas posa de manifest que les façanes assoleixen temperatures molt elevades degut a les característiques del material ceràmic de l'envolupant, i que el perfil és de temperatures més altes a la base de l'edifici i decreixents en alçada.

Façana Pascual i Vila

La façana del carrer de Pascual i Vila presenta una orientació Sud-oest, de forma que rep insolació a partir de migdia però al mateix temps es troba sotmesa a la generació d'ombra durant la tarda degut a l'alçada de l'edifici de l'escola d'enginyeria industrial de la UPC.

A les imatges per termografia s'observa que el sector de la façana més proper a la Diagonal assoleix una temperatura molt elevada, amb uns 48°C a la planta 1, que disminueixen progressivament fins a 41°C a la planta 4.

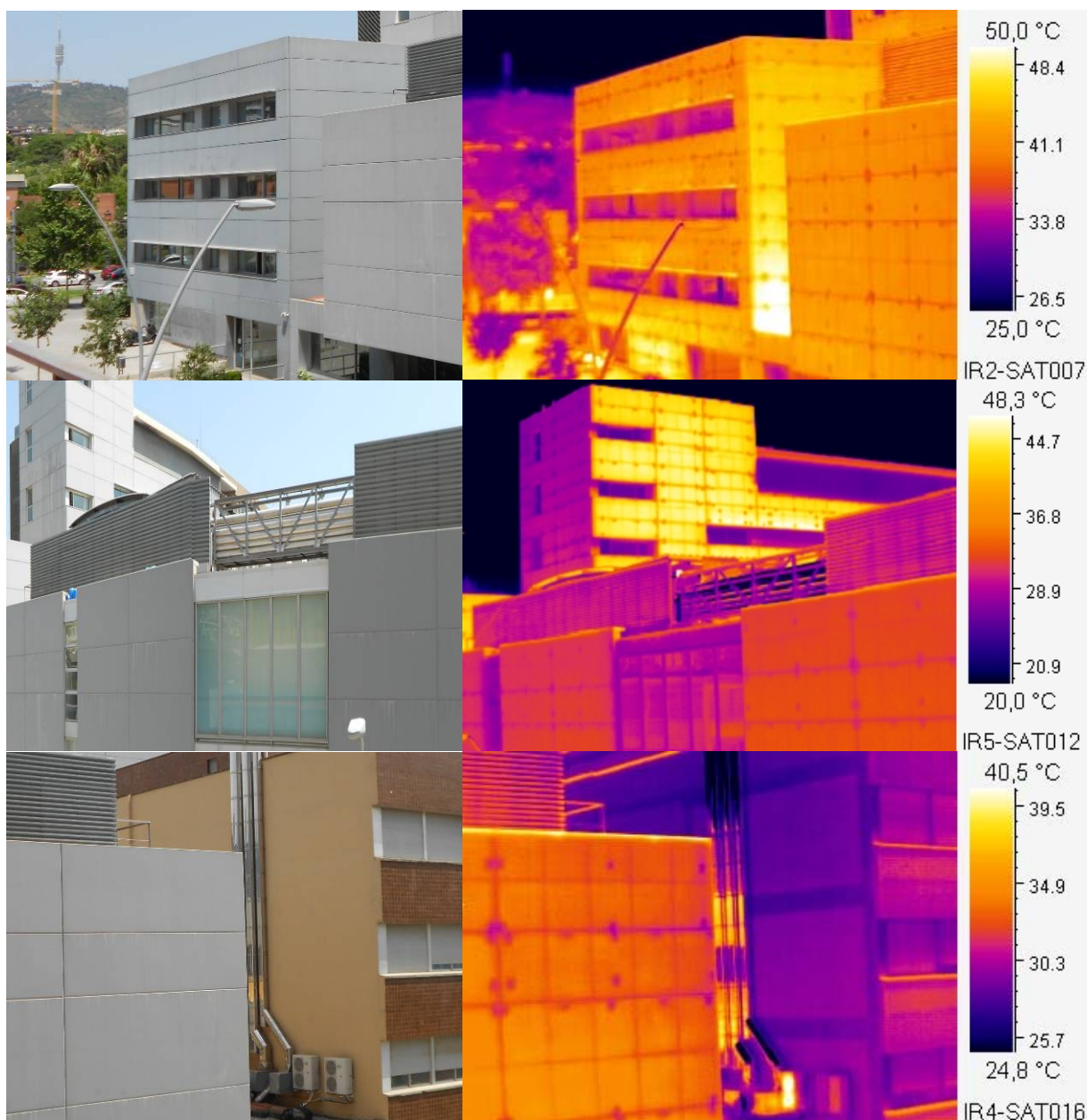


Figura 11. Imatges visible i infraroja de la façana del carrer Pascual i Vila. Font: Banc d'imatges OSSMA (superior 16/07/2013, central 22/07/2013, inferior 23/07/2013).

La temperatura a l'hora en què es va prendre (32,8°C a les 14:15 hores) ho explica en part, però també cal tenir en compte que aquest material i el seu recobriment es comporten amb una elevada capacitat d'acumulació tèrmica, i que la radiació incident al pla del carrer exerceix un efecte d'escalfament sobre la part baixa de l'edifici.

En aquesta mateixa imatge es detecta una acumulació de calor, amb temperatures que superen els 50°C, en una petita franja on la façana no té continuïtat. La radiació incident sobre el pla de coberta en aquest punt, i la manca de ventilació, afavoreixen que es produeixi aquest focus tèrmic sobre la façana amb orientació SSE.

La segona imatge, presa poc abans de les 13 hores, mostra encara poca insolació sobre la façana OSO, que tot just assoleix entre 33,5 i 34,5°C en la secció situada sobre el carrer de Pascual i Vila, i de 30-32°C en la secció elevada més propera a la Diagonal. En canvi, la façana orientada al SSE ja portava diverses hores exposada al Sol, i presenta una temperatura d'entre 44 i 46°C.

La tercera imatge mostra de nou el diferent escalfament que ofereixen els materials de l'aulari de Física i l'ampliació de les facultats. En l'aulari es detecten temperatures de 30-32°C, en tant que a l'ampliació són de 33-35°C. En el cas de l'aulari també es detecta una variació de temperatura al voltant d'1°C en les franges de façana entre línies de finestres, justament coincidint amb el forjat de separació de cada planta. Segons això, la base de cada planta es troba lleugerament més calenta que el sostre.

Façana Avinguda Diagonal

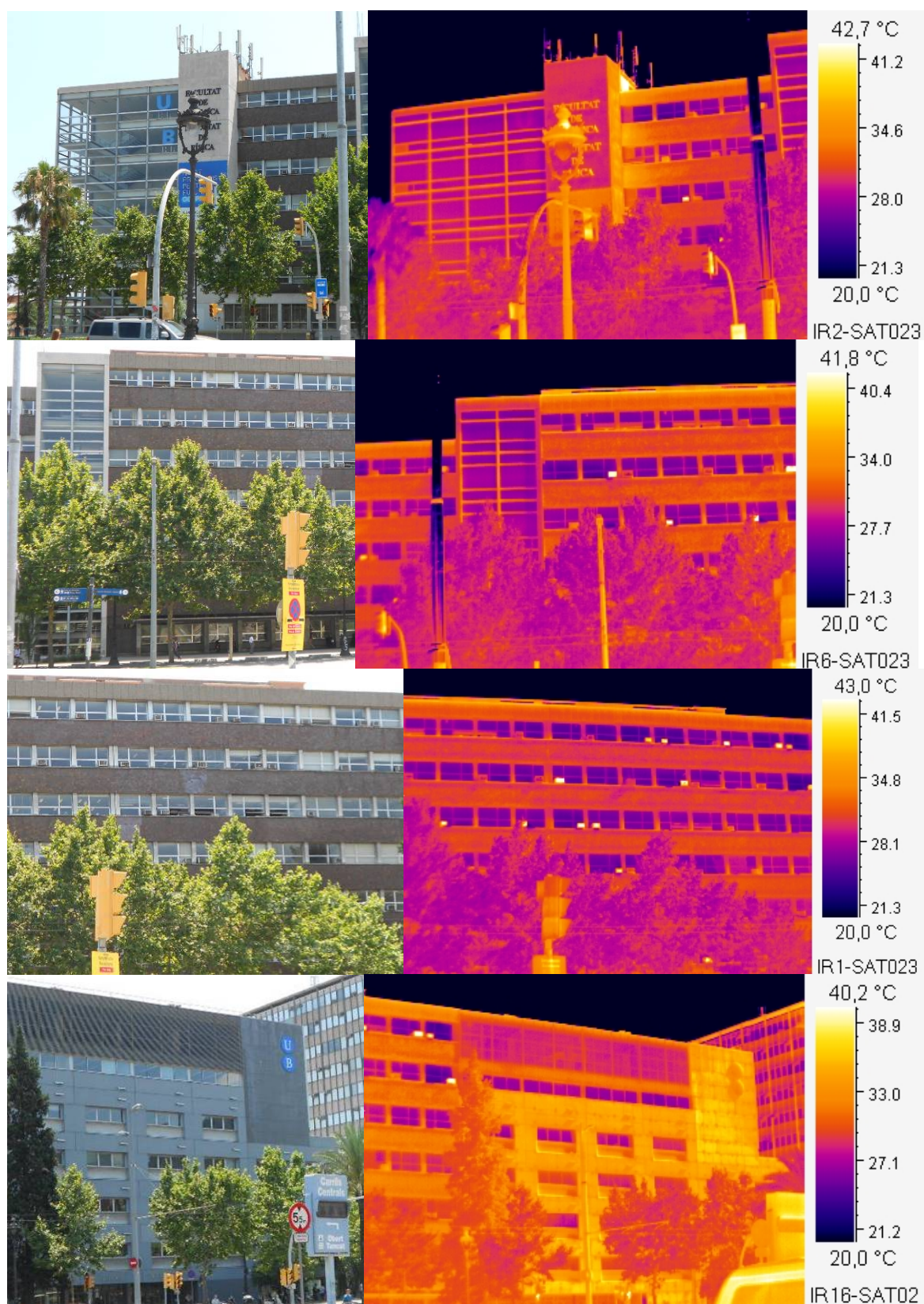


Figura 12. Imatges visible i infraroja de la façana de l'Avinguda Diagonal. Font: Banc d'imatges OSSMA (24/07/2013).

La façana de l'Avinguda Diagonal —amb orientació NNO— experimenta un escalfament més progressiu al llarg de la jornada, ja que des de la sortida del Sol només rep calor per contacte de l'aire que envolta l'edifici i a partir de les 16:00 queda exposat a la incidència directa de la radiació solar, quan la resta de l'edifici ja porta moltes hores d'insolació.

Segons s'observa a la Figura 12, les imatges preses el 24 de juliol entre les 17:35 i les 17:45 hores, amb una temperatura exterior de 31°C, mostren els següents aspectes rellevants:

- La façana de l'ampliació de l'edifici (imatge inferior) presenta temperatures de 34-36°C. Els elements de ventilació ubicats entre les línies de façanes no mostren variacions de temperatura significatius, i per tant podrien indicar-nos que no estan actius i que no s'aprofita la convecció per ventilar l'interior sinó que els espais estan climatitzats artificialment. A la planta superior la temperatura baixa a 28,5-29°C degut a que l'estructura metàl·lica afavoreix la ventilació natural de l'espai d'instal·lacions que protegeix al seu darrera.
- La façana de l'edifici més antic (imatges centrals) té una temperatura en el revestiment ceràmic de 31-32°C, uns 3-4°C inferior a la de l'ampliació. Aquests resultats són coincidents amb els observats en la façana de Pau Gargallo, sotmesa a major insolació. Es detecten diversos aparells d'aire condicionat engegats (al voltant d'un 35-40% del total), amb temperatures que en general no superen els 42-43°C, amb excepció d'un equip ubicat a la planta 6a, que assoleix 54°C i podria indicar un funcionament ineficient per sobreescaïment. Seria recomanable revisar aquest equip.
- La secció coberta de pedra que sobresurt de la línia de façana general de l'edifici presenta temperatures de 36-37°C en la franja orientada a l'ENE, que portava més hores rebent insolació. La radiació incident sobre aquesta franja segurament també explica que, per reflexió, al costat la temperatura sobre els elements ceràmics sigui també de 36-37°C (5°C superior a la resta de la façana orientada al NNO).

La franja de la façana de pedra orientada a la Diagonal, on es troba la senyalització de les facultats, presenta una temperatura de 30-31°C, lleugerament inferior a la del revestiment ceràmic. Sobre la lona publicitària de material plàstic es produeix un escalfament de 3°C, que no podem determinar si afecta a la façana.

Façana posterior de l'Avinguda Diagonal

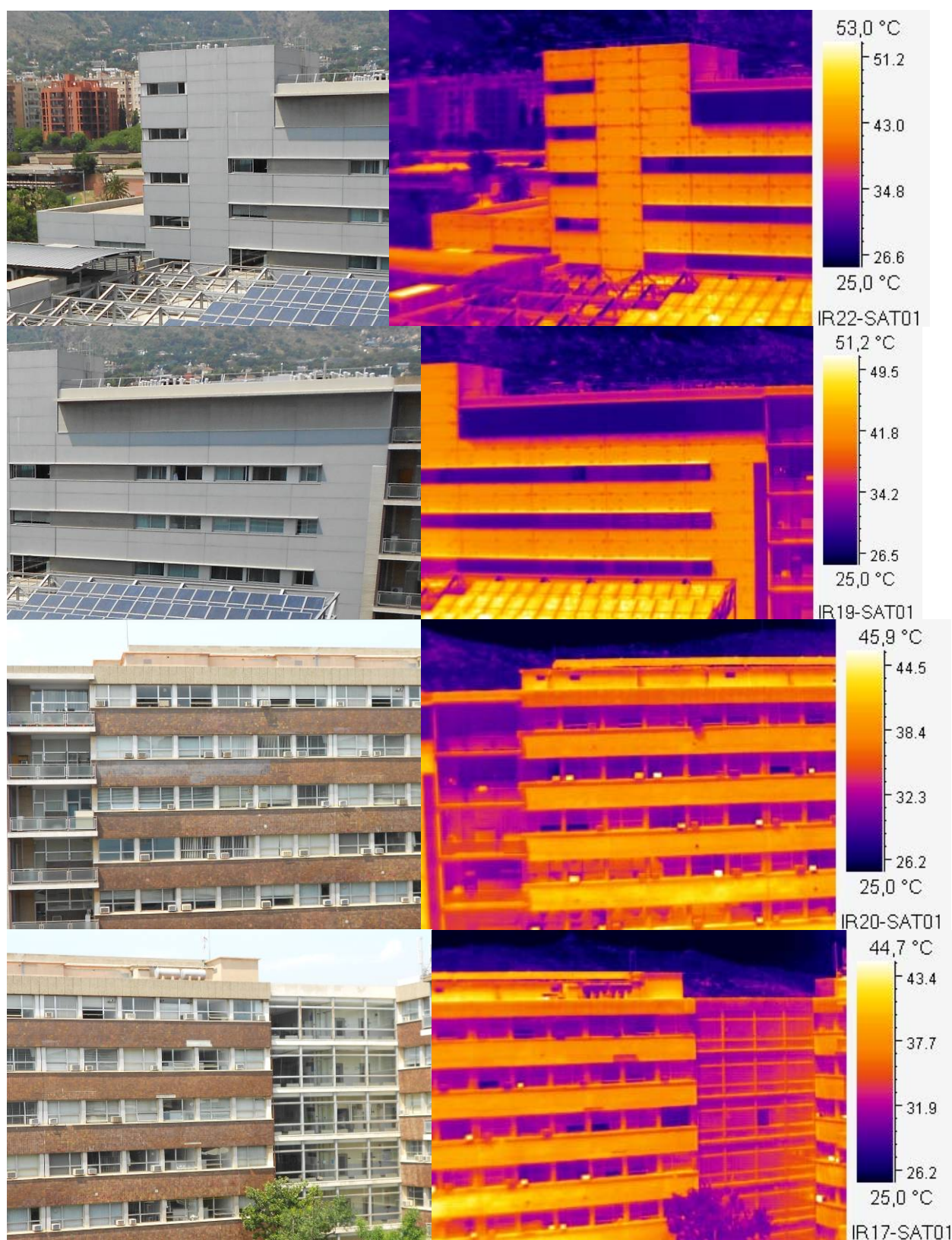


Figura 13. Imatges visible i infraroja de la façana posterior de l'Avinguda Diagonal. Font: Banc d'imatges OSSMA (17/07/2013).

En aquesta façana orientada al SSE s'observa com les plaques prefabricades de l'ampliació presenten una temperatura de 42-43°C (vegeu les dues imatges superiors de la Figura 13).

Tot just sobre les línies de finestres s'assoleixen 48°C degut a que els marcs generen un petit voladís i presenten una superfície horitzontal més exposada a la insolació que es reflecteix cap a la façana vertical. A més, el material és metàl·lic, de forma que s'escalfa més. Tanmateix, aquest voladís té com a funció principal generar ombra i pot ser una manera més de reforçar la continuïtat dels plans d'ombra i integració amb la façana de l'edifici més antic.

Un exemple de l'efecte que generarien els para-sols sobre les façanes el trobem a la part superior, on hi ha un voladís de formigó que projecta ombra sobre la darrera planta i n'evita l'escalfament. De fet, la temperatura en la franja de façana beneficiada per l'ombra és de 35-36°C, uns 7°C menor que a la resta (gairebé un 20% menys).

En les dues imatges superiors també s'observen amb temperatures elevades les plaques de la instal·lació fotovoltaica. Aquesta instal·lació es comenta en un apartat a banda.

Les dues imatges inferiors mostren la façana coberta per ceràmica de l'edifici antic, on s'assoleixen temperatures de 42-43°C a les plantes inferiors, que disminueixen fins a 36-37°C en la planta 7a. Aquest refredament en alçada és consistent al detectat en altres façanes de l'edifici, per l'efecte de la major ventilació en les plantes superiors i perquè part de la radiació solar incident sobre el pla horitzontal a nivell de terra es reflecteix en la part inferior de la façana de l'edifici.

Tanmateix, en aquest cas la dinàmica es veu accentuada per la presència de la coberta de l'aulari antic, tal i com es descriu en l'apartat següent.

Coberta de l'aulari antic

L'aulari antic de la Facultat de Química disposava inicialment d'unes claraboies en coberta que facilitaven la il·luminació natural i permetien la ventilació natural d'aquests espais. Degut a que es produïen filtracions d'aigua a través de les claraboies es va optar per impermeabilitzar completament la coberta, de forma que van quedar anul·lades tant la ventilació com la il·luminació natural de les aules.

En el cas de les aules, ha estat necessari instal·lar climatització artificial per compensar l'augment de temperatura que es genera a l'estiu per la radiació incident sobre la coberta. La pell que presenta, amb impermeabilització asfàltica d'albedo molt baix i elevada capacitat d'absorció calorífica i transmitància tèrmica, fa que s'assoleixin temperatures elevades que generen un fort escalfament de les aules.



Figura 14. Imatges visible i infraroja de la coberta de l'aulari antic. Font: Banc d'imatges OSSMA (17/07/2013).

A les termografies s'observa que la temperatura a la coberta supera els 60°C en els plànols horitzontal i inclinat, i de 49 a 55°C en el pla vertical. Aquesta calor irradia uns metres per sobre de la coberta, i a la façana ceràmica es detecta que la temperatura en les primeres plantes és aproximadament 4°C superior que a partir de la 4a planta, on es situa al voltant dels 39-40°C.

Per corregir aquest problema seria necessari:

- millorar l'aïllament dels materials d'acabat i reduir la seva transmitància tèrmica
- actuar sobre l'albedo de la coberta, per tal de reduir l'excés de calor que es captura en aquest espai, i
- recuperar la possibilitat d'obertura de les claraboies per tal de garantir la ventilació de l'espai que reduiria la necessitat de climatització d'aire fred.

Cobertes de l'edifici antic i l'ampliació

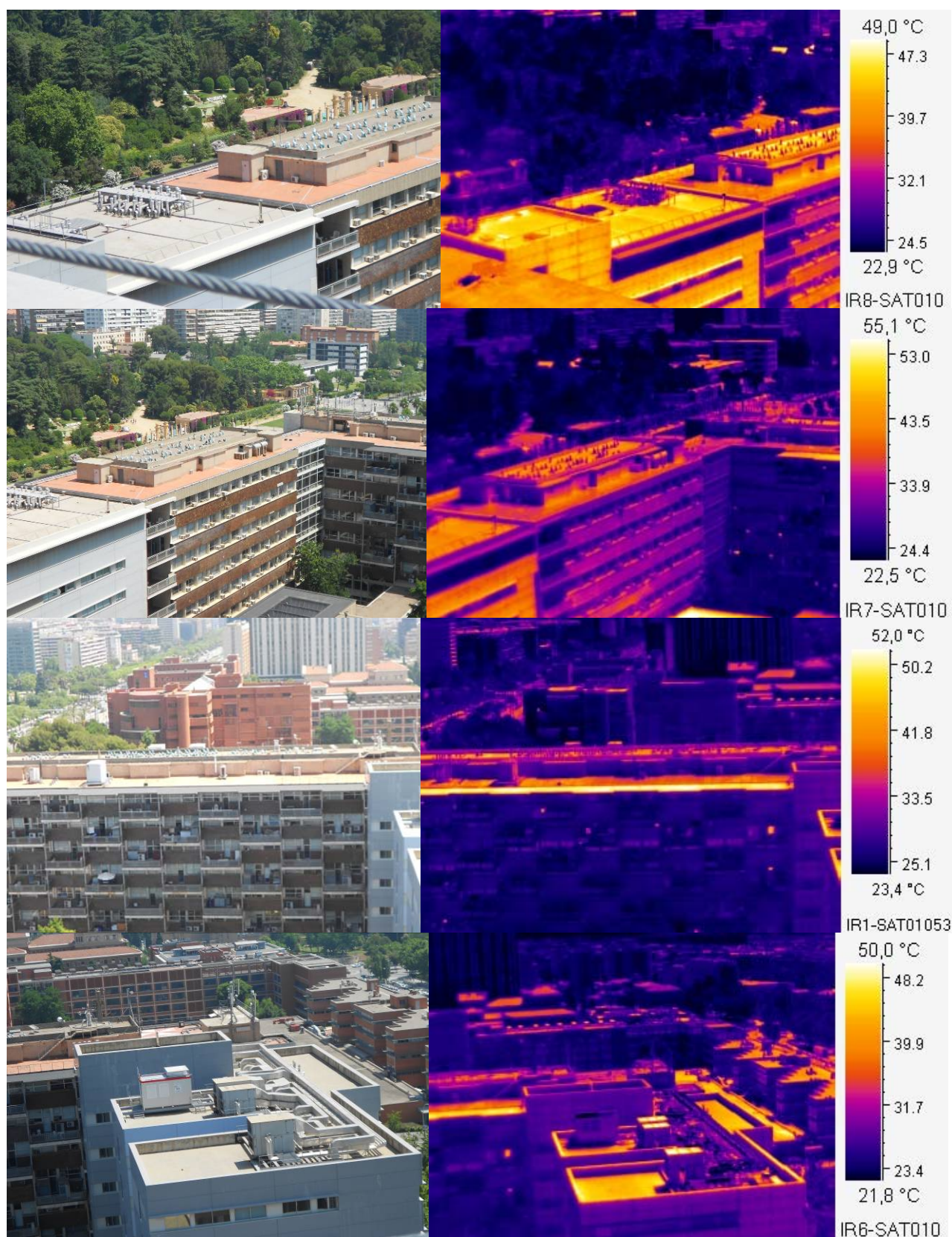


Figura 15. Imatges visible i infraroja de les cobertes de les façanes Diagonal, Martí Franquès i Pau Gargallo. Font: Banc d'imatges OSSMA (05/07/2013).

Les cobertes de tot l'edifici es troben ocupades parcialment per instal·lacions, i presenten diferents materials en cada fase de la construcció. Així, l'edifici antic té dos nivells, un més baix transitable amb solat de rajola comuna i un altre elevat amb grava on es situen les xemeneies dels laboratoris, i l'ampliació presenta solat de ciment a un únic nivell (tot i que les alçades varien en cadascun dels cossos).

Les temperatures aparents varien en consonància amb els materials: les superfícies de grava al nivell més elevat de Diagonal (45-46°C) i Martí Franquès (44-46°C) presenten les temperatures més altes, seguides amb poca diferència per les cobertes de ciment a l'ampliació de Diagonal (43-46°C) i Pau Gargallo (43-44°C), en tant que els valors més baixos s'assoleixen a la superfície de rajola en el nivell transitable de l'edifici antic a Diagonal (40-42°C) i Martí Franquès (37-40°C).

Segons aquestes termografies, la coberta amb rajola comuna ofereix millors resultats en termes de reducció de l'acumulació de calor en el plànol horitzontal exposat a la radiació solar.

Finalment, destacar que en la imatge central s'observa novament l'efecte d'escalfament generat per la coberta de l'aulari antic sobre les plantes inferiors de la façana posterior de l'avinguda Diagonal, on s'hi assoleixen temperatures de 39-40°C. En canvi, a les plantes superiors la temperatura de la façana és uns sis graus inferiors (33-34°C).

Coberta de l'aulari de Física

Aquesta coberta transitable presenta solat de grava, i acull diversos elements de la instal·lació fotovoltaica emprats amb finalitat docent que, per tant, no es troben en funcionament de forma habitual.

La temperatura aparent que s'assoleix en aquesta coberta de grava es situa entre 45 i 53°C, uns valors una mica superiors als detectats en l'anterior apartat de valoració de les cobertes dels edificis, però que es troben en consonància amb que la temperatura ambient el 25 de juliol en el moment de realització de les termografies (30,8°C a les 14:40 hores) era gairebé 3,5°C superior a la del moment de presa de les imatges el 5 de juliol (27,4°C a les 13 hores).

També presenta un elevat escalfament la passarel·la de fusta emprada per transitar pel perímetre de la coberta, amb temperatures d'uns 52°C i un màxim proper als 60°C al costat de la porta d'accés (veure la imatge superior).



Figura 16. Imatges visible i infraroja de la coberta de l'aulari antic de Física. Font: Banc d'imatges OSSMA (25/07/2013).

En la paret perimetral també es poden detectar els efectes del deteriorament de la pintura, l'acumulació d'humitat i les taques de fongs, amb petites clapes de temperatura 1°C superior a la resta en aquells punts més deteriorats.

Façana posterior de Martí Franquès

La façana posterior del carrer Martí Franquès presenta una característica ben diferent a la resta de l'edifici, donat que disposa de balconades discontinües repartides en disposició alterna per plantes. Aquesta solució genera dos plànols verticals diferents, un exposat directament a la radiació solar, i el segon retrocedit i protegit per l'obra que creen les balconades.

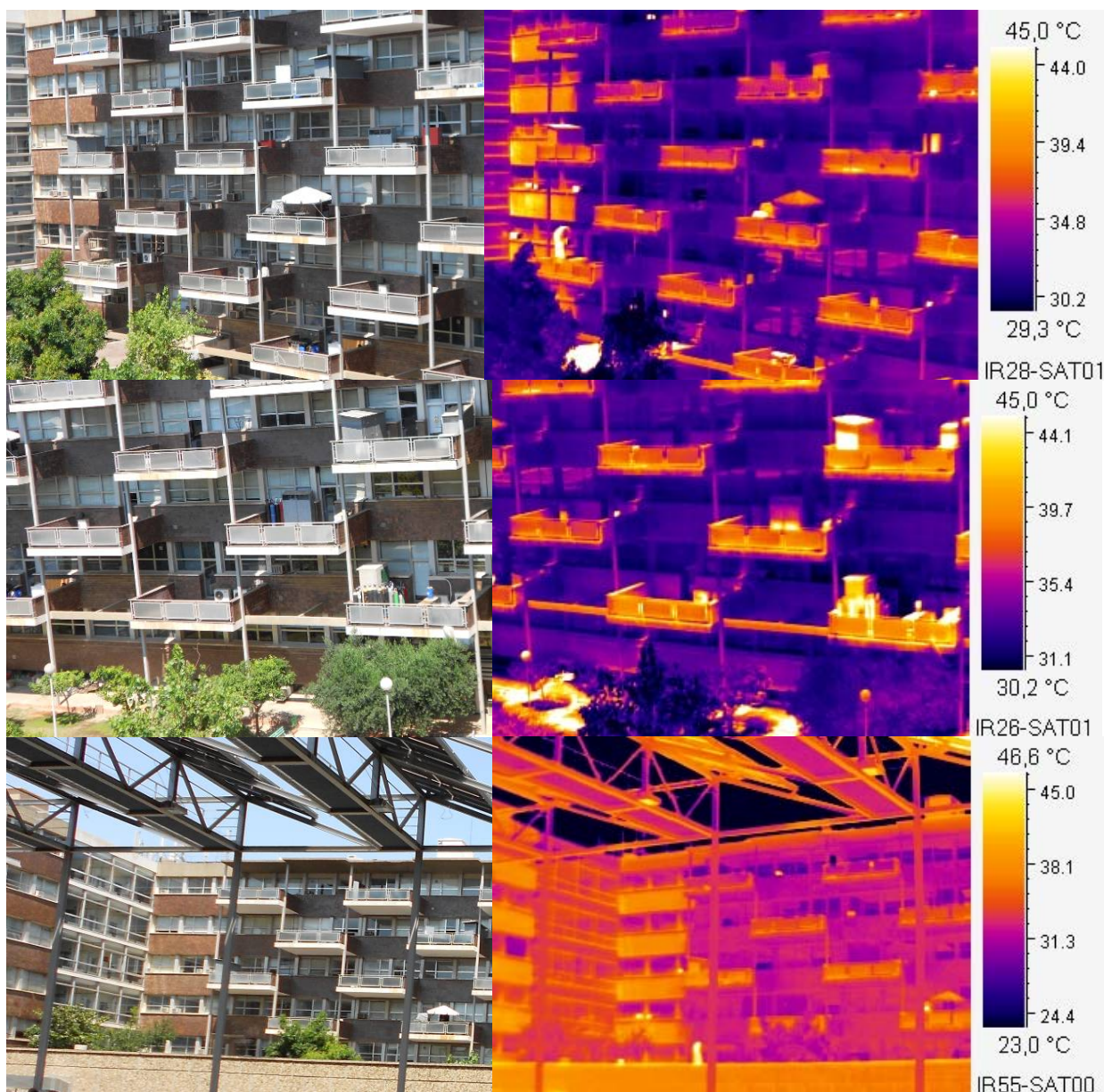


Figura 17. Imatges visible i infraroja de la façana posterior de Martí Franquès. Font: Banc d'imatges OSSMA (09/07/2013, superior i central; 16/07/2013, inferior).

Així, en les termografies del 9 de juliol el frontal de les balconades assoleix una temperatura aparent de 37-38°C, similar a la resta de les façanes de l'edifici, en tant que la façana interior protegida per l'ombra es manté entre 31 i 33°C. Aquesta reducció de 5-6°C afavoreix que els espais interiors ubicats en aquesta zona presentin una temperatura més suau i redueixin la necessitat de climatització durant l'estiu.

També s'evidencia la diferència de temperatura sobre la façana a l'extrem esquerre de la imatge superior, on una part de la façana rep insolació directa i assoleix una temperatura de 39-40°C, en tant que a partir de la línia d'ombra generada per les balconades es situa al voltant de 32-33°C.

Aquesta exemple posa de manifest com solucions arquitectòniques amb doble funció estètica i funcional creen ombra sobre les façanes exposades a la radiació solar i permeten reduir l'aportació de calor a l'edifici, el què eventualment disminueix el consum d'energia necessari per climatitzar-lo durant l'estiu. Tenint en compte que en el nostre entorn territorial el consum associat a l'aire condicionat durant l'estiu és superior a la calefacció durant l'hivern, és prioritari reduir l'aportació de calor amb aquest tipus de solucions.

Per altra banda, cal remarcar la presència a diverses balconades d'ampolles de gasos, en alguns casos exposades al Sol, i en d'altres protegides per casetes (vegeu la imatge inferior). La temperatura de les ampolles assoleix els 45-47°C, en tant que a l'exterior de les casetes oscil·la entre els 43°C de la ubicada a la cantonada inferior dreta, i els 48°C de la paret vertical i els 61-62°C de la coberta.

Ens consta que la Comissió de Seguretat ja ha manifestat als Departaments la necessitat d'evitar l'acumulació d'aquest material exposat al Sol, i es procedirà a la seva retirada.

Façana posterior de Pau Gargallo

La façana posterior del carrer Pau Gargallo correspon a l'ampliació de la Facultat de Física, i presenta tres volums que generen franges de façanes exposades a tres vents (ENE, NNO i OSO). El material de la façana és, com en tota l'ampliació, lloses prefabricades de formigó.

En les imatges de la Figura 18 s'observa l'orientació predominant NNO, que en el moment de realització de les termografies (15:20 hores) no rebia insolació directa. La temperatura en tota aquesta façana es situa en l'interval 32-34°C, en tant que a les franges de façana orientades a l'ENE es manté entre 30 i 32°C, lleugerament per sobre de la temperatura ambiental en aquell moment (29,8°C).

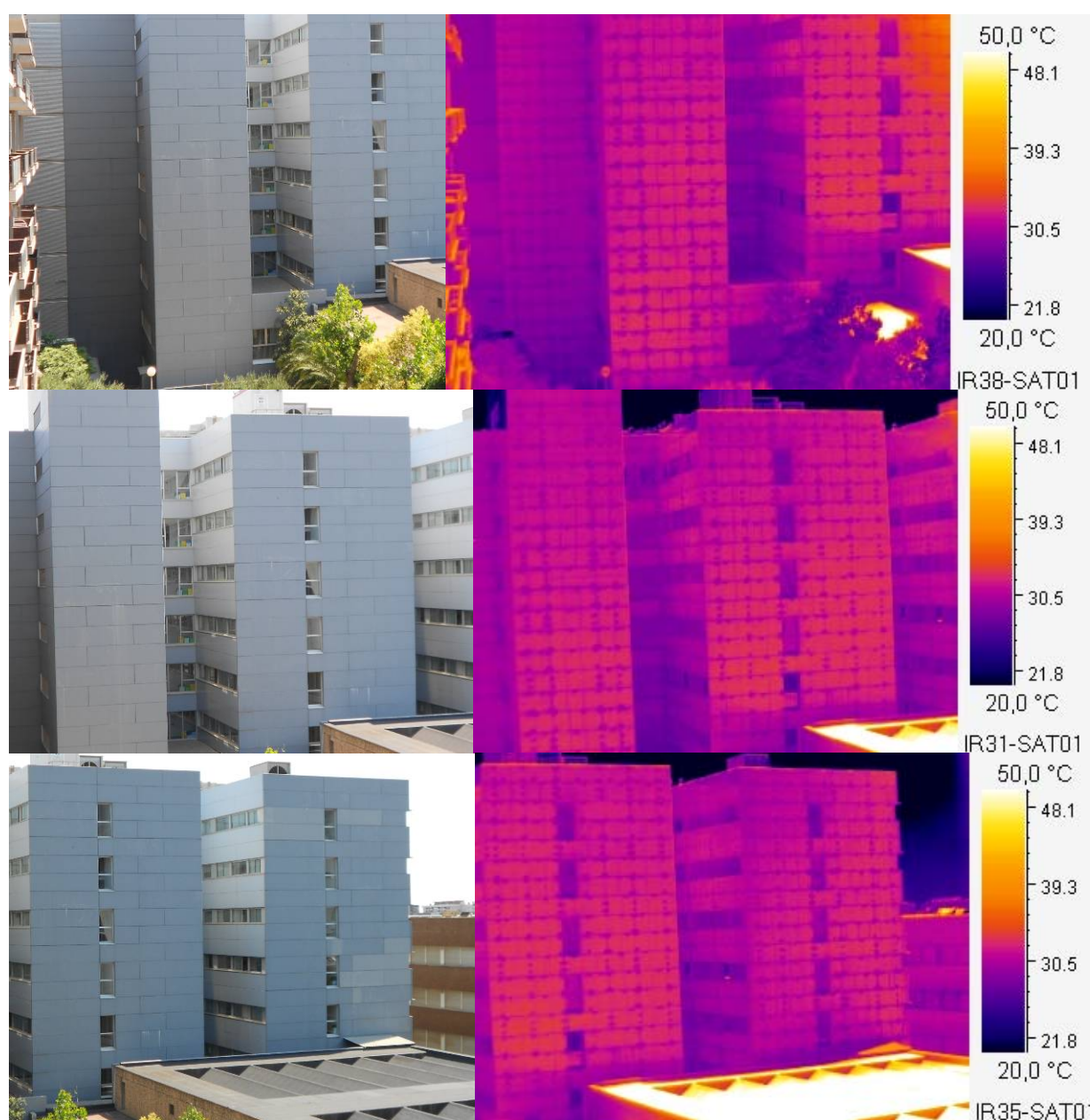


Figura 18. Imatges visible i infraroja de la façana posterior de Pau Gargallo. Font: Banc d'imatges OSSMA (09/07/2013).

Aquestes imatges no proporcionen informació especialment rellevant, atès que les temperatures són força homogènies i, degut a que es tracta de façanes no exposades a la radiació solar incident, no mostren una temperatura aparent gaire més elevada que la temperatura de l'aire.

A diferència de la façana posterior de la Diagonal, on la coberta de l'aulari de Química antic semblava incrementar la temperatura de les plantes inferiors, en aquest cas no s'observa cap afectació del material asfàltic sobre la façana posterior de Pau Gargallo.

Façana posterior de Pascual i Vila

La façana posterior del carrer Pascual i Vila inclou l'aulari antic de Física i la part de l'ampliació que correspon al nou aulari de Física, el bar i la biblioteca. En aquesta zona de l'ampliació, l'Atri Solar genera ombra durant bona part del dia, el que contribueix a suavitzar la temperatura de façana.

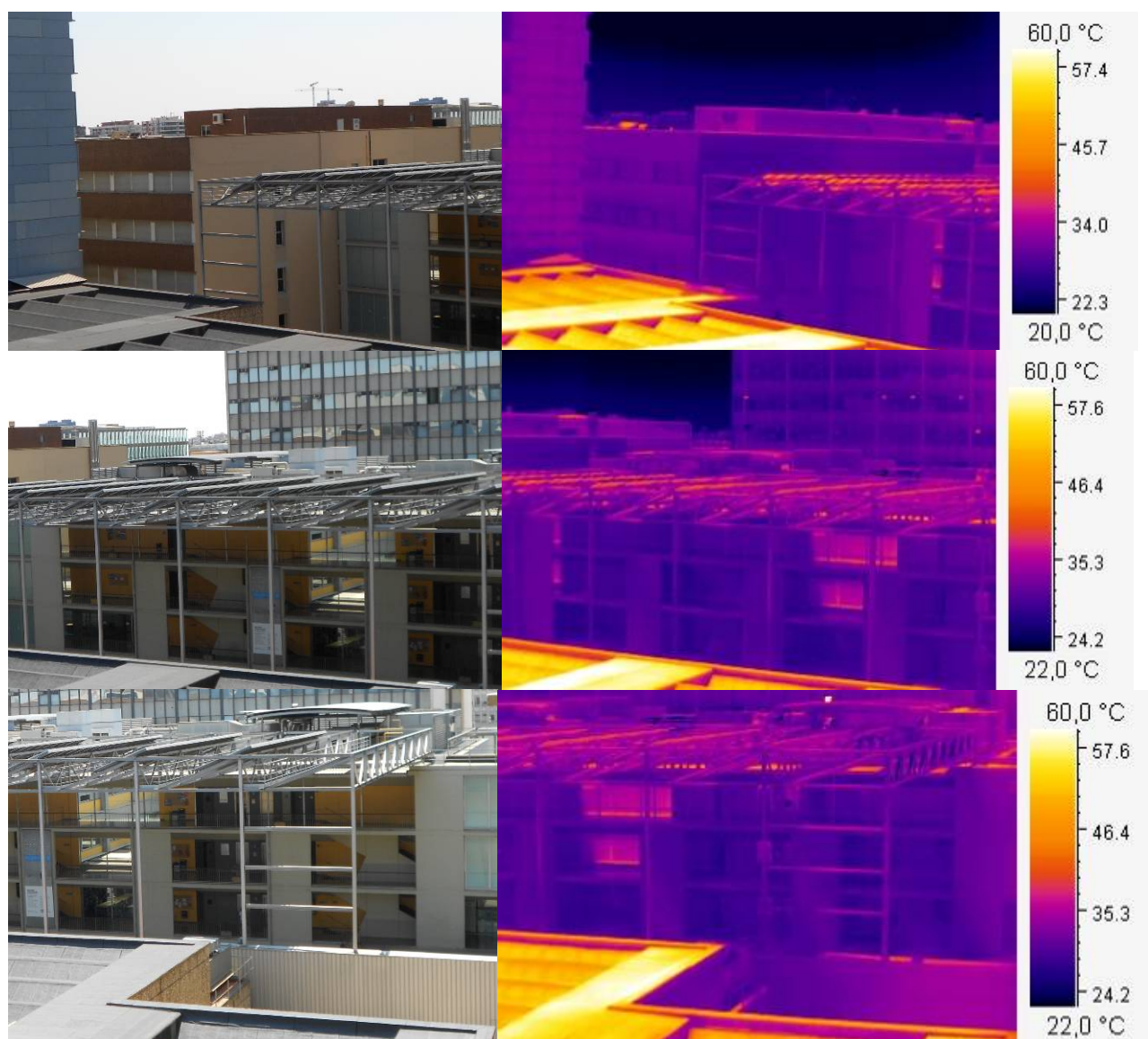


Figura 19. Imatges visible i infraroja de la façana posterior de Pascual i Vila. Font: Banc d'imatges OSSMA (09/07/2013).

Les termografies que es reproduïxen en aquest informe corresponen a un horari en que tota la façana ja es trobava en ombra després d'haver estat exposada a insolació durant el matí (15:25 hores), i la temperatura aparent es situava en l'interval 31-32°C, lleugerament per sobre de la temperatura de l'aire exterior en aquell moment (29,8°C).

Si comparem aquesta imatge amb la d'un altre moment del dia en què aquesta façana rep insolació directa (vegeu la Figura 20), es pot comprovar que la temperatura augmenta fins a 35-37°C en les zones assolellades, i es manté en 30-31°C en les àrees

ombrejades. Aquesta temperatura a l'ombra és gairebé idèntica a la temperatura de l'aire durant el moment de realització de la termografia: 29,7°C a les 12 hores.

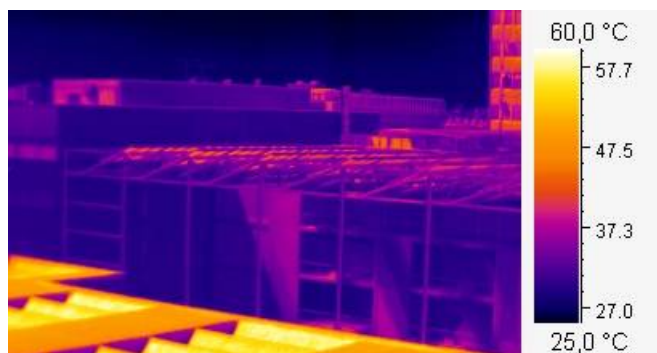


Figura 20. Imatge infraroja de la façana posterior de Pascual i Vila. Font: Banc d'imatges OSSMA (23/07/2013).

Aquesta zona d'ampliació de l'aulari es troba, per tant, molt protegida de la insolació per l'atri solar i perquè el passadís de circulació permet crear una zona d'ombra sobre la línia de façana interior, que es troba retrocedida respecte a l'estructura de pilars.

En quant a la façana de l'aulari antic de Física, també rep ombra bona part del matí per l'ampliació de la zona departamental de Física (façana de Pau Gargallo), de forma que no es produeix un excessiu escalfament de l'envolupant en aquest sector.

Atri Solar

L'Atri Solar constitueix el pati interior que tanca la meitat Oest de l'edifici de les facultats de Física i de Química, i es troba delimitat per l'ampliació de Química al Nord, el nou aulari de Física a l'Oest, l'aulari antic de Física al Sud, i l'aulari antic de Química a l'Est.

Rep el seu nom per la instal·lació fotovoltaica que el cobreix parcialment, i que està ubicada en una estructura ad-hoc sobre el pati. La instal·lació fotovoltaica, a més de la producció energètica a la que està destinada, protegeix l'atri i crea espais d'ombra que es desplacen al llarg del dia seguint el recorregut del Sol.

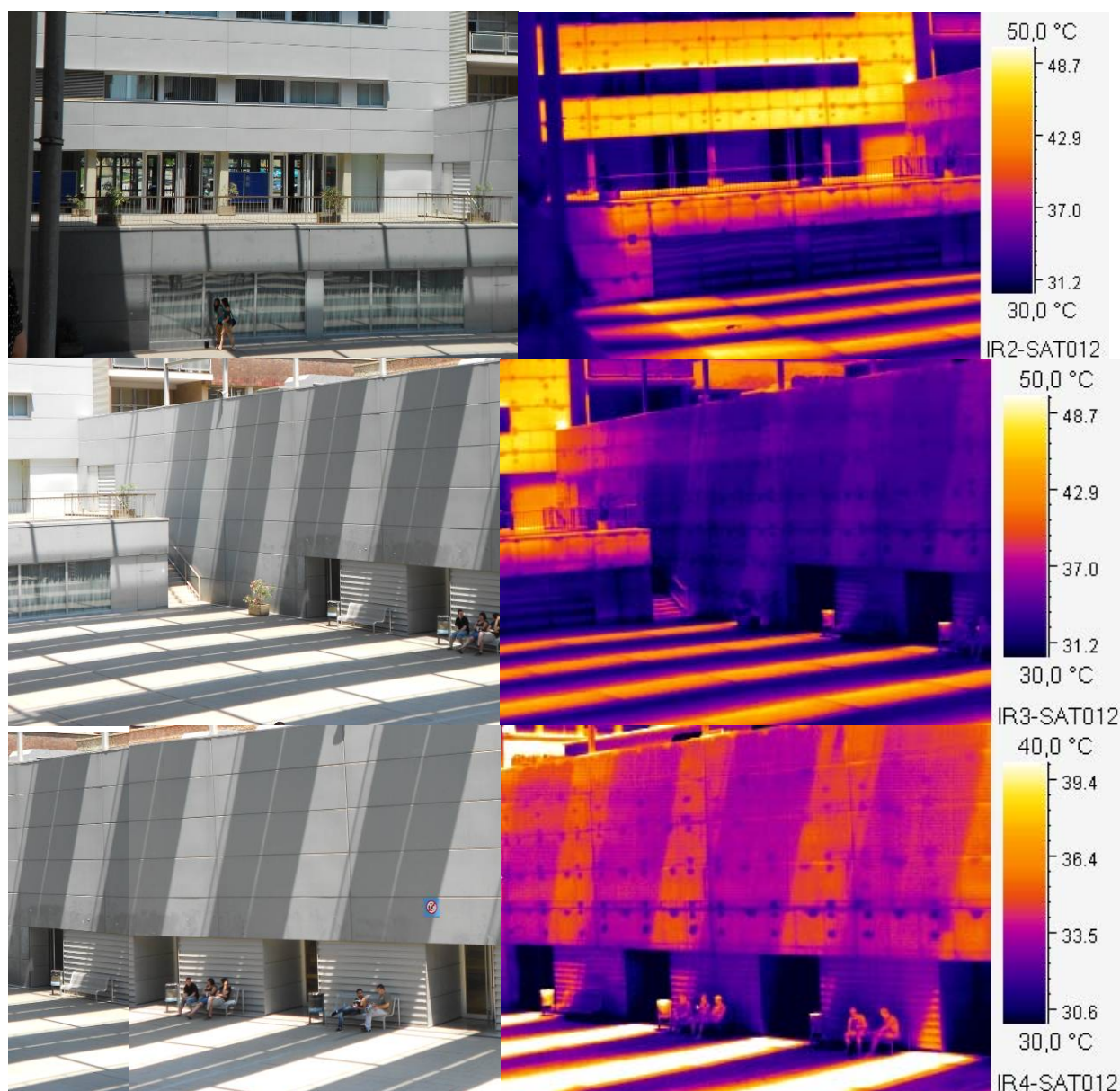


Figura 21. Imatges visible i infraroja de l'Atri Solar. Font: Banc d'imatges OSSMA (09/07/2013).

Tal i com s'observa a la Figura 21 (imatge superior), la façana interior de l'avinguda Diagonal es troba orientada al SSE, rep insolació directa i assoleix una temperatura aparent d'uns 47°C. A les franges de finestres, en ombra, la temperatura és de 33°C,

en tant que per sobre els tancaments metàl·lics produeixen una major acumulació de calor i fan que la façana assoleixi els 49°C.

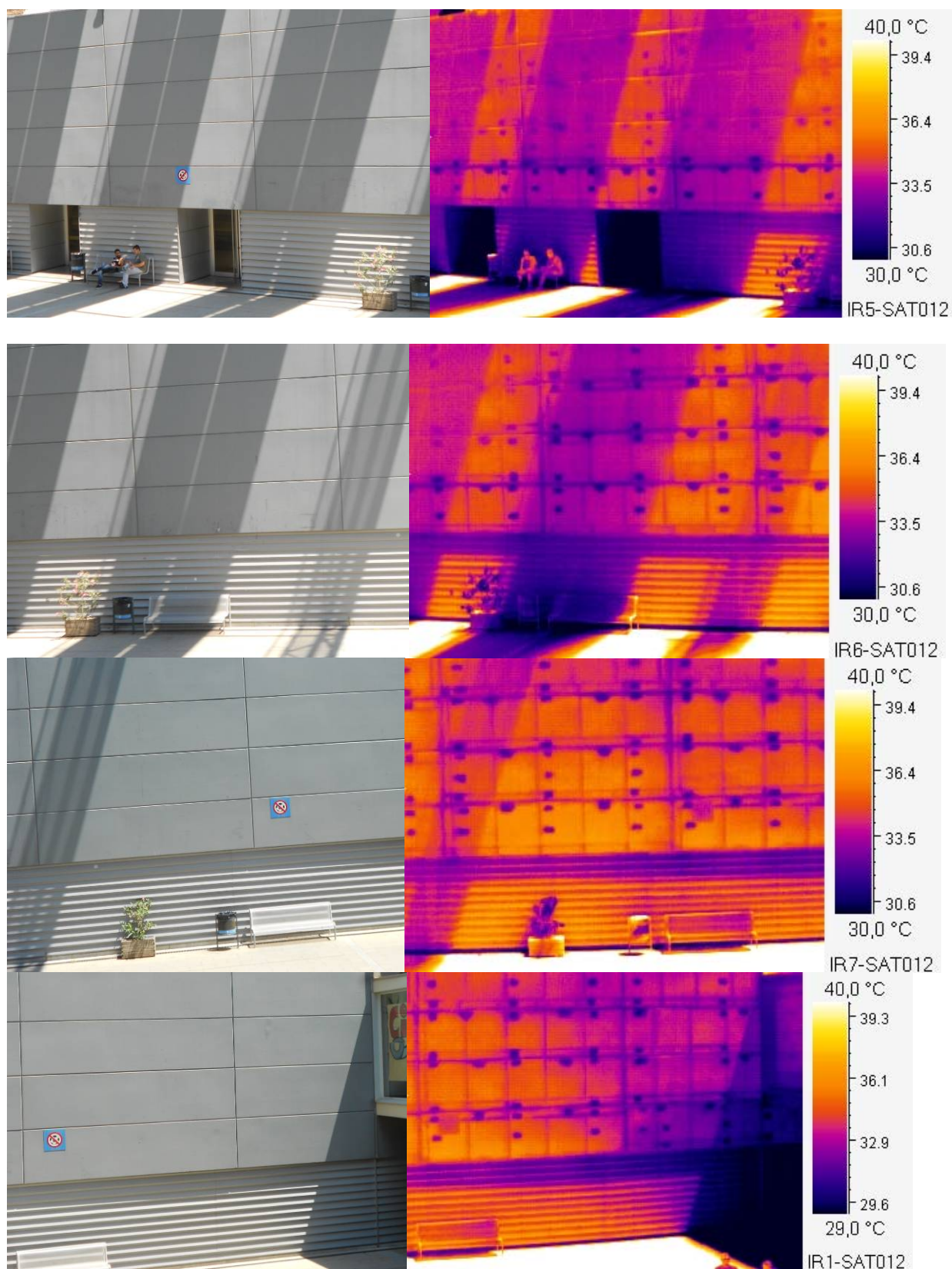


Figura 22. Imatges visible i infraroja de l'Atri Solar. Font: Banc d'imatges OSSMA (09/07/2013).

La façana contigua a l'aulari antic de Química, orientada a l'OSO presenta franges de diferent temperatura en funció de l'exposició a la radiació solar incident. Així, les assolellades es troben a 34,5-36,5°C, en tant que les ombrejades es mantenen en 33,5-34°C. Les termografies es van prendre al voltant de les 14 hores, de forma que la façana no portava massa temps amb exposició directa al Sol. Tanmateix, el desplaçament de l'ombra tendeix a homogeneïtzar la temperatura de la façana al llarg de la jornada, amb valors inferiors al de les façanes que no disposen d'aquesta protecció.

Sobre el substrat de l'Atri, en canvi, la incidència de la radiació solar sobre el plànol horitzontal dispara la temperatura fins a 44-46°C en les franges assolellades, i es manté al voltant de 32°C a les que romanen a l'ombra.

La darrera imatge, on s'intueix el portaló que comunica l'Atri Solar amb el carrer de Pau Gargallo, mostra temperatures inferiors als 30°C (la temperatura de l'aire en aquell moment era de 31,7°C), en una zona que es manté en ombra fins darrera hora de la tarda.

Com a curiositat, les termografies permeten detectar clarament les juntes entre les lloses de formigó prefabricat que constitueixen l'envolupant de la façana contigua a l'aulari antic de Química, així com els forats emprats en el procés de muntatge. El material emprat pel rebliment de juntes i forats presenta una resposta més lenta a la radiació solar incident, de forma que s'escalfa menys que el propi formigó, i dona una temperatura entre 2 i 3°C inferior, que és fàcilment detectable a la termografia. Tanmateix, no es tracta d'un efecte rellevant sobre el conjunt de la façana.

Instal·lació fotovoltaica de l'Atri Solar

L'Atri Solar té la instal·lació fotovoltaica que, en el moment de la seva inauguració l'any 2004, era la de major potència instal·lada en un edifici de Barcelona. Aquesta instal·lació forma part d'un important projecte cofinançat per la Unió europea denominat UnivERsol (universitats, Energia Renovable, solar) on hi participaven 29 organismes universitaris i culturals de quatre països europeus.

Els mòduls de plaques fotovoltaïques es situen en una estructura aèria a gran alçada el que permet gaudir d'una transparència lumínica i una protecció tèrmica de l'atri central que uneix les dues facultats. La instal·lació té una superfície de 500 m² i una potència pic de 500 kWp, amb capacitat per produir 60 MWh/any d'energia elèctrica. L'estructura permet ampliar la instal·lació fins gairebé el doble de la superfície actual, però no està previst fer-ho a mig termini.

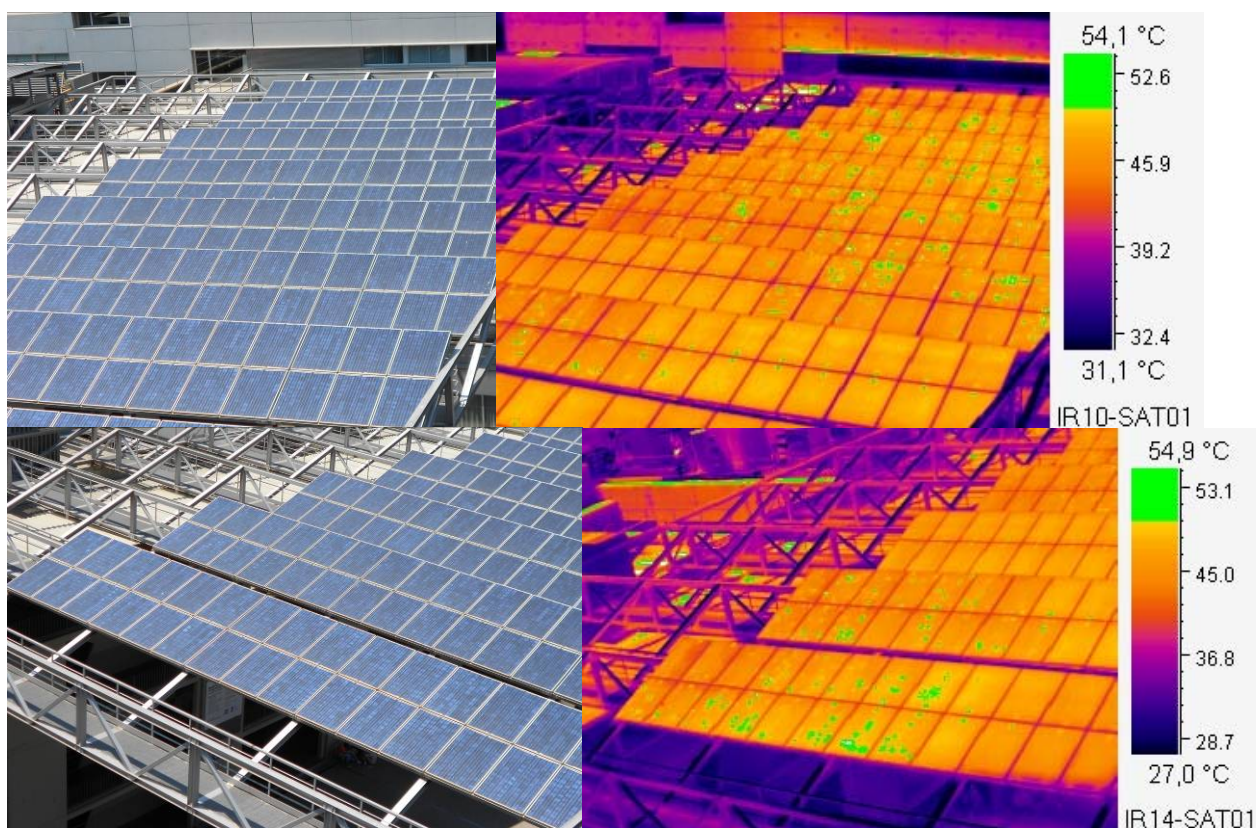


Figura 23. Imatges visible i infraroja de la instal·lació fotovoltaica de l'Atri Solar. Font: Banc d'imatges OSSMA (09/07/2013).

La termografia permet detectar anomalies en el funcionament de les cèl·lules que formen les plaques fotovoltaïques, atès que quan es produeixen avaries com ara connexions defectuoses, danys físics de les cel·les o díodes de derivació defectuosos, es detecten àrees excessivament calentes.

En l'estudi realitzat l'estiu de 2013 a l'edifici de Física i Química no es va dur a terme una anàlisi detallada de la instal·lació fotovoltaica, sinó que només es van prendre imatges generals. Tot i això, a la Figura 23 es poden identificar diverses taques consistents amb 'patró mosaic', que podria ser indicatiu de díodes de derivació defectuosos.

Aquest problema podria explicar la reducció de rendiment de la instal·lació fotovoltaica, ja que a partir del 2007 ha experimentat una significativa reducció de la producció d'electricitat (al voltant del 37%), que no s'explica per factors climatològics o de progressiu deteriorament de rendiment, sinó per algun tipus d'avaría.

Es recomana fer un estudi més detallat de la instal·lació fotovoltaica amb imatges per termografia, tant per identificar acuradament els punts on es produeixen avaries dels circuits com per detectar si existeixen cel·les danyades que, a la perspectiva general, poden passar desapercebuts.

Des del punt de vista purament descriptiu, la termografia del 9 de juliol a les 15:05 hores mostra que la temperatura de la instal·lació fotovoltaica era d'entre 44 i 47°C, amb algunes zones calentes que superaven els 50°C (s'ha modificat l'assignació de colors a les isotermes per tal que els punts que superen aquest valor apareguin en verd).

Conclusions

La termografia d'estiu realitzada a l'edifici de les facultats de Física i de Química no ha permès localitzar deficiències rellevants en l'envolupant, degut a que les diferències de temperatura entre l'exterior i l'interior són molt reduïdes, i a que l'edifici no compta amb un sistema de climatització generalitzat, sinó que només en disposen algunes zones.

A més a més, es van buscar els dies més càlids per prendre les imatges, però aquests coincideixen amb un període sense activitat docent (juliol), de forma que en el moment de realització de les termografies molts espais es trobaven buits (aules, alguns despatxos) o poc ocupats (per exemple, la biblioteca o les sales polivalents).

Tanmateix, les termografies han facilitat una caracterització del comportament dels materials que constitueixen l'envolupant de l'edifici, així com detectar diferències entre les diferents fases constructives, que resulten d'interès i aporten informació valuosa sobre quines alternatives proporcionen millors resultats per protegir els edificis de la UB de l'excés de radiació solar incident, i reduir la necessitat de climatitzar els espais interiors amb consum energètic.

A continuació es fa un recull de les principals conclusions obtingudes en aquest estudi:

- La utilització d'elements arquitectònics que facilitin la creació d'ombres sobre la façana és la solució que dona millors resultats per reduir la temperatura de l'envolupant, i eventualment l'entrada d'energia calorífica a l'interior de l'edifici. Aquesta realitat es posa de manifest en dos casos:
 - o la façana posterior de Martí Franquès (departaments de Química), on les balconades refresquen la façana interior, i
 - o la façana posterior de Pau Gargallo que dona a l'Atri Solar (aulari nou de Física), on el passadís crea un porxo que, afegit a l'estructura de la instal·lació fotovoltaica, evita la radiació solar incident directa sobre la façana.
 - Les façanes que presenten un menor escalfament exterior són les de l'edifici antic, i en especial les dues franges de plaques de pedra orientades a l'avinguda Diagonal i el carrer Pau Gargallo. Les façanes de ceràmica no responen tan bé i acumulen més calor.
 - Les façanes que mostren major temperatura aparent són les de l'ampliació, donat que les plaques de formigó prefabricat tenen una major capacitat d'escalfament en comparació amb la resta de materials que integren l'envolupant de l'edifici. A més, els elements metàl·lics emprats per evitar els ponts tèrmics en les franges de finestres augmenten una mica més l'escalfament sobre les obertures de la façana.
 - En general la temperatura és superior a les plantes més baixes de les façanes que als pisos superiors, degut a que la radiació solar reflectida del plànol horitzontal aporta calor addicional, i a que als nivells més elevats hi ha una major dissipació pel moviment de masses d'aire.
 - La impermeabilització de la coberta de l'aulari antic de Química, genera una gran acumulació de calor que es manifesta en temperatures aparents molt elevades (superiors a 60°C en els plànols horitzontal i inclinat, i de 49 a 55°C en el pla vertical). Aquesta escalfor irradia uns metres per sobre de la coberta, sobre la façana posterior de la Diagonal (edifici antic), augmentant la temperatura en les primeres plantes uns 4°C.
- Sobre les aules, això també ha generat un augment de la temperatura i pèrdua de llum natural que ha augmentat la dependència de la il·luminació artificial a tota la

jornada i ha fet necessari instal·lar climatització, augmentant el consum energètic de l'edifici.

- Les obertures instal·lades a la façana de l'avinguda Diagonal, en el sector proper a la cantonada de Pascual i Vila, es troben bloquejades, i a les termografies no es detecta que exerceixin la seva funció de ventilació per convecció. La climatització dels laboratoris es fa, per tant, amb aire condicionat en comptes de ventilació natural.
- Es detecta un aparell d'aire condicionat a la 6a planta de la façana de l'avinguda Diagonal que assoleix una temperatura de 54°C i podria indicar un funcionament ineficient.
- Es detecta un 'patró mosaic' en diversos punts de la instal·lació fotovoltaica de l'Atri Solar, que podria ser indicatiu d'un mal funcionament dels díodes de distribució. Tanmateix, les termografies que es van prendre no són prou detallades per identificar els punts afectats i establir una valoració detallada de les anomalies de la instal·lació. Es recomana fer un estudi específic d'aquest problema.

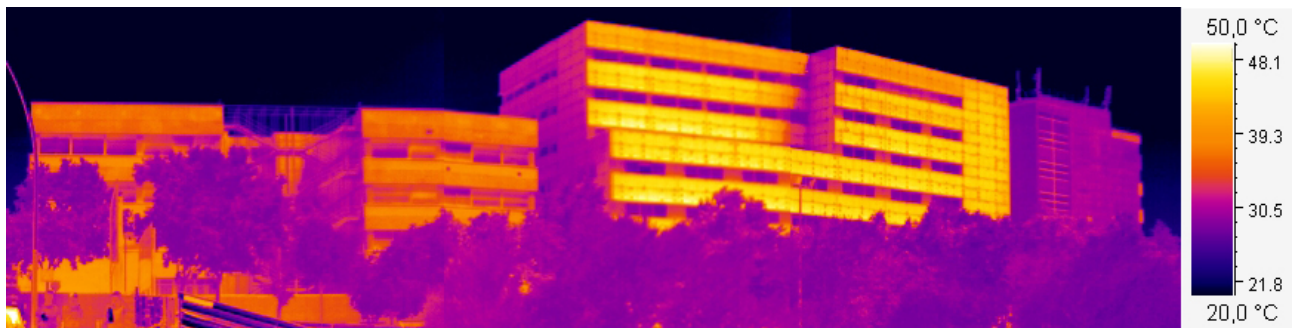


Figura 24. Imatge infraroja de la façana del carrer de Pau Gargallo de l'edifici de les facultats de Física i de Química. Font: Banc d'imatges OSSMA (12/07/2013).

Com a recomanació per als propers estudis per termografia que es realitzin sobre aquest o altres edificis de la UB, caldrà prestar més atenció a problemes específics i anomalies de l'envolupant, analitzant de forma combinada tant des de l'exterior com des de l'interior per identificar els problemes i les seves causes, i desenvolupar propostes de millora adients.