

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

Enginyeria Tècnica Industrial: Especialitat Mecànica

**TERMOGRAFIA APLICADA A L'ANÀLISI DE LA SOSTENIBILITAT
ENERGÈTICA D'EDIFICIS**

Memòria

**GUILLEM FÀBREGAS BUSQUETS
PONENT: XAVIER FONT**

PRIMAVERA 2014



TecnoCampus
Mataró-Maresme

Dedicatòria

Per a la família que no es tria, i per a la que es tria, també.

Resum

En aquest projecte es pretén donar a conèixer la tecnologia de la termografia. Les seves aplicacions, eines que utilitza, principis fonamentals en que es basa i altres informacions rellevants. Per relacionar aquest estudi amb l'anàlisi energètic d'edificis, que és des de el principi l'objectiu principal del projecte, s'optarà per lligar-lo amb la normativa que exigeix una certificació energètic a tots els edificis que es vulguin llogar o vendre. D'aquesta manera, es vol millorar aquest procés actual mitjançant la tecnologia de la termografia.

Resumen

En este proyecto de pretende dar a conocer la tecnología de la termografía. Sus aplicaciones, herramientas que utiliza, principios fundamentales en que se basa y otras informaciones relevantes. Para relacionar este estudio con el análisis energético de edificios, que es desde el principio el objetivo principal del proyecto, se optara por atarlo con la normativa que exige una certificación energética a todos los edificios que se quieran alquilar o vender. De esta manera, se quiere mejorar este proceso actual mediante la tecnología de la termografía.

Abstract

This project aims to understand the technology of thermography. Its applications, tools used, fundamental principles on which is based and other relevant information. To relate this study to the energetic analysis of buildings, which is from the beginning the main objective of the project, chose to tie with regulations requiring energy certification of all buildings that want to rent or sell. Thus, we want to improve the current process using thermal imaging technology.

Índex

Índex de figures.....	V
Índex de taules.....	VII
Glossari de termes.....	IX
1. Objectius.....	1
1.1. Propòsit.....	1
1.2. Finalitat.....	1
1.3. Objecte.....	1
1.4. Abast.....	1
2. Estat de l'art.....	3
2.1. Els orígens.....	3
2.2. Camps d'aplicació.....	7
2.2.1. Sector elèctric.....	8
2.2.1.1. Introducció.....	8
2.2.1.2. Línies de distribució.....	9
2.2.1.3. Subestacions.....	10
2.2.1.4. Centres de transformació.....	11
2.2.1.5. Baixa tensió.....	12
2.2.2. Sector mecànic.....	13
2.2.3. Sector de l'edificació.....	14
2.2.3.1. Pèrdues d'energia.....	15
2.2.3.2. Detecció d'humitats.....	15
2.2.3.3. Ponts tèrmics.....	16
2.2.3.4. Canonades.....	17
2.2.4. Sector de forces de seguretat.....	17
2.2.5. Sector mèdic.....	19
2.2.6. Altres aplicacions destacables.....	20
3. Principis fonamentals.....	23
3.1. Radiació tèrmica.....	24
3.1.1. Llei de Stefan-Boltzmann.....	24
3.1.2. Llei de Wien.....	25
3.1.3. Llei de radiació de Kirchhoff's.....	26
4. Tecnologia dels aparells de mesura.....	27

4.1.	Història de la càmera.....	27
4.2.	Funcionament.....	27
4.3.	Components d'una càmera termogràfica.....	28
4.3.1.	Sistema òptic.....	28
4.3.2.	Sensors.....	29
4.3.2.1.	Detectors d'estat sòlid refrigerats.....	31
4.3.2.2.	Bolòmetres no refrigerats.....	32
4.3.3.	Software de processament d'imatges.....	33
4.3.4.	Interfície d'usuari.....	34
5.	Procediments per a una correcta mesura.....	35
5.1.	Temperatura aparent.....	35
5.2.	Compensació de valors.....	35
5.3.	Eines de les càmeres i softwares.....	36
5.4.	Les condicions de l'entorn.....	36
5.5.	Els reflexes.....	37
5.6.	Conclusions.....	38
6.	Anàlisi de la normativa de certificació energètica.....	39
6.1.	Real Decret 235/2013.....	39
6.1.1.	Àmbit d'aplicació.....	40
6.2.	Procediments de certificació segons normativa.....	40
6.2.1.	Mètodes d'obtenció.....	41
6.2.2.	Contingut.....	42
6.2.3.	Metodologia de càlcul.....	43
6.2.4.	Dades de softwares.....	43
6.2.5.	Etiqueta normalitzada.....	44
6.2.6.	Qualificació d'eficiència energètica.....	46
6.3.	Codi Tècnic d'Edificació.....	49
6.4.	Conclusions.....	49
7.	Auditories energètiques.....	51
7.1.	Serveis d'auditories.....	52
7.1.1.	Diagnòstics energètics.....	52
7.1.2.	Auditories energètiques.....	52
7.1.3.	Auditories energètiques d'inversió.....	52
7.2.	Tècnics auditors.....	53

8. Estudi d'eficiència tèrmica d'una vivenda. Sistema general.....	55
8.1. Identificació de l'edifici.....	55
8.2. Característiques de l'edifici.....	56
8.2.1. 1r pis.....	56
8.2.2. 2n pis.....	58
8.2.3. 3r pis.....	58
8.2.4. Sostres i teulada.....	59
8.3. Construcció de l'edifici.....	60
8.4. Resultats.....	63
8.4.1. Interpretació de resultats.....	63
8.5. Conclusions.....	65
9. Sistema alternatiu.....	67
9.1. La presa de dades.....	67
9.2. Resultats.....	70
9.2.1. Anàlisi de mesures.....	70
9.2.2. Càlculs.....	74
9.3. Conclusions.....	76
10. Impacte mediambiental.....	79
10.1. Introducció.....	79
10.2. L'efecte hivernacle.....	79
10.3. Conclusions.....	80
11. Conclusions.....	83
11.1. Desviacions de la planificació.....	83
11.2. Desviacions al pressupost.....	83
11.3. Punt forts i punts febles.....	84
11.4. Grau d'assoliment d'objectius.....	84
12. Referències.....	87
13. Bibliografia.....	89

Índex de figures.

Fig. 2.1 Espectre electromagnètic	4
Fig. 2.2 William Herschel	4
Fig. 2.3 Experiment espectre electromagnètic.....	5
Fig. 2.4 Termografia a línia de distribució	10
Fig. 2.5 Termografia a línia de distribució	10
Fig. 2.6 Termografia a subestació transformadora	11
Fig. 2.7 Termografia a fusibles.....	12
Fig. 2.8 Termografia a rodament	13
Fig. 2.9 Termografia a façana d'edifici	15
Fig. 2.10 Termografia d'humitat	16
Fig. 2.11 Termografia de façana d'edifici mostrant ponts tèrmics.....	17
Fig. 2.12 Termografia de canonades de calefacció de terra radiant	17
Fig. 2.13 Termografia d'operació policial nocturna.....	18
Fig. 2.14 Termografia per a la detecció de càncer de mama	20
Fig. 3.1 Demostració de diferències d'emissivitat	25
Fig. 4.1 Esquema de components de càmera termogràfica	28
Fig. 4.2 Esquema de detector d'estat sòlid refrigerat	32
Fig. 4.4 Microbolòmetre.....	33
Fig. 4.3 Esquema i ampliació de sensor individual de microbolòmetre.....	33
Fig. 4.5 Interfície d'usuari de càmera termogràfica	34
Fig. 5.1 Exemple de reflex d'un edifici i el cel en una finestra.....	37
Fig. 6.1 Esquema dels possibles processos d'obtenció de la qualificació energètica. ...	42
Fig. 6.2 Etiqueta normalitzada d'eficiència energètica d'edifici.	45
Fig. 6.3 Mostra d'etiqueta normalitzada d'eficiència energètica de vivenda.....	46
Fig. 8.1 Emplaçament de la vivenda analitzada.	56
Fig. 8.2 Façana principal. Fig.8.3Façanaposterior.	61

Fig. 8.4 Lateral dret.	61
Fig. 8.5 Lateral esquerra.	62
Fig. 8.6 Vista de planta.	62
Fig. 8.7 Vista isomètrica.	63
Fig. 8.8 Comparació gràfica de demandes.	64
Fig. 9.1 Exemple de termografia Finestra 1.	71
Fig. 9.2 Exemple de termografia modificada.	72
Fig. 9.3 Exemple d'histograma del vidre de la fotografia 9.2.	73
Fig. 9.4 Exemple d'isoterma de la finestra 1.	74

Índex de taules.

Taula 6.1 Relació índex de qualificació i qualificacions per a vivendes.	47
Taula 6.2 Relació índex de qualificació i qualificacions per a edificis.	48
Taula 8.1 Composició parets de 1r pis.	57
Taula 8.2 Composició finestres de 1r pis.	57
Taula 8.3 Composició parets de 2n pis.	58
Taula 8.4 Composició finestres de 2n pis.	58
Taula 8.5 Composició terres/sostres.	59
Taula 8.6 Composició teulada.	60
Taula 8.7 Comparació percentual de demandes.	64
Taula 8.8 Resultats per espais.	65
Taula 9.1 Relació de fotografia amb breu descripció.	70
Taula 9.2 Taula de potències emeses per finestres.	75

Glossari de termes.

Nm	Nanòmetre
THz	Terahertz
μm	micròmetre
NaCl	Clorur sòdic
P	Potència
I	Intensitat elèctrica
R	Resistència elèctrica
SRAS	Síndrome Respiratori Agut Sever
W	Watt
m	metre
K	Kelvin
J	Joule
s	segon
τ	transmissió
ρ	reflexió
ε	emissivitat
$^{\circ}\text{C}$	Graus centígrads
mK	miliKelvin
LCD	Liquid Crystal Display
B.O.E.	Butlletí Oficial de l'Estat
CTE	Codi Tècnic de l'Edificació
k	kilogram

h	hora
m ²	metre quadrat
CO ₂	diòxid de carboni
TIR	Taxa Interna de Rendibilitat
VAN	Valor Actual Net
EUPMT	Escola Universitària Politècnica de Mataró – Tenocampus
BH	Bloc de formigó
LH	Maó buit

1. Objectius.

1.1. Propòsit.

Investigar, estudiar, analitzar i presentar a fons el camp de la termografia i la seva tecnologia. Presentar el desenvolupament de la termografia aplicable a l'anàlisi d'eficiència energètica en el camp de l'edificació.

1.2. Finalitat.

Assolir tota la informació necessària per a conèixer en profunditat la tecnologia de la termografia. Assolir tota la informació necessària per a l'anàlisi d'eficiència energètica en el sector de l'edificació. Relacionar el camp de la termografia i el camp de la sostenibilitat energètica en l'edificació mitjançant una millora en els processos de certificació d'eficiència energètica actuals gràcies a la termografia.

1.3. Objecte.

Memòria de Treball Final de Carrera, consistent en tres documents, memòria, estudi econòmic i annexos, corresponents al projecte Termografia aplicada a l'anàlisi de la sostenibilitat energètica d'edificis.

1.4. Abast.

Estudiar l'estat de l'art i els camps d'aplicació de la tecnologia de la termografia. Analitzar-ne els aparells de mesura emprats a les mesures i la tecnologia que utilitzen, així com el procediment per a executar correctament aquestes mesures.

Estudiar la normativa vigent que obliga a totes les obres de nova construcció a obtenir una certificació energètica. També s'estudiarà el sector de les auditories, quins procediments fan servir per a la certificació dels edificis, quins serveis ofereixen per a millorar-ne el rendiment energètic d'aquests i quins costos involucren aquests estudis energètics. Amb aquest estudi i amb el propòsit d'innovar en el sector, es vol aconseguir implementar la tecnologia de la termografia per a la certificació d'edificis, descrivint-ne els principals avantatges i inconvenients respecte els sistemes actuals.

Es desenvoluparà un exemple pràctic de com una auditoria certificadora avaluarà l'edifici usant aquesta tecnologia. Es mostrarà la generació dels informes i quin procés

es seguirà per elaborar-los. La informació i les dades que hi constaran, i les conclusions que se'n podran extreure juntament amb les millores que es podran realitzar a cada edificació.

2. Estat de l'art.

2.1. Els orígens.

L'ull humà és un òrgan compost d'un sistema de nervis capaços de transformar els canvis de llum en impulsos neuronals. Aquests impulsos neuronals són processats pel cervell, que és l'encarregat de crear una imatge segons les ones lumíniques que entren per l'ull.

Aquestes ones lumíniques que l'ull humà és capaç de percebre s'anomena espectre visible, i és la regió de l'espectre electromagnètic que podem detectar els humans. La llum viatja a una certa freqüència, és per això que l'anomenem ones lumíniques. Depenent de la freqüència o de la longitud d'ona en que és propaga podem distingir els diferents colors. La longitud d'ona i la freqüència de l'espectre visible va des de aproximadament uns 380 nanòmetres¹, 668 THz², que correspondria al color violeta, fins a uns 780 nanòmetres, 380 THz, color vermell [1].

Tot i això, podem acotar la longitud d'ona de l'espectre electromagnètic entre uns 10^{-15} metres fins a uns 10^7 metres. Aquest fet apunta clarament a que hi ha un gran rang de longituds d'ona invisibles per l'ull humà. Aquestes ones que es propaguen a tant alta freqüència, o a tant baixa, que l'ull humà no pot percebre, no vol dir que no siguin útils. Ans el contrari. Hi ha multitud d'usos per a la regió de l'espectre que no podem percebre els humans. Per exemple, per sota de la longitud d'ona que nosaltres podem veure, hi trobem els ultravioleta, o els rajos X tant útils a la medicina. Per sobre de la longitud d'ona perceptible per l'humà hi trobem els infrarojos, les microones tant útils a les cuines de molta gent, les ones de ràdio, de radar, i d'altres.

¹ 1 nanòmetre = 10^{-9} metres.

² 1 THz = 10^{12} cicles per segon.

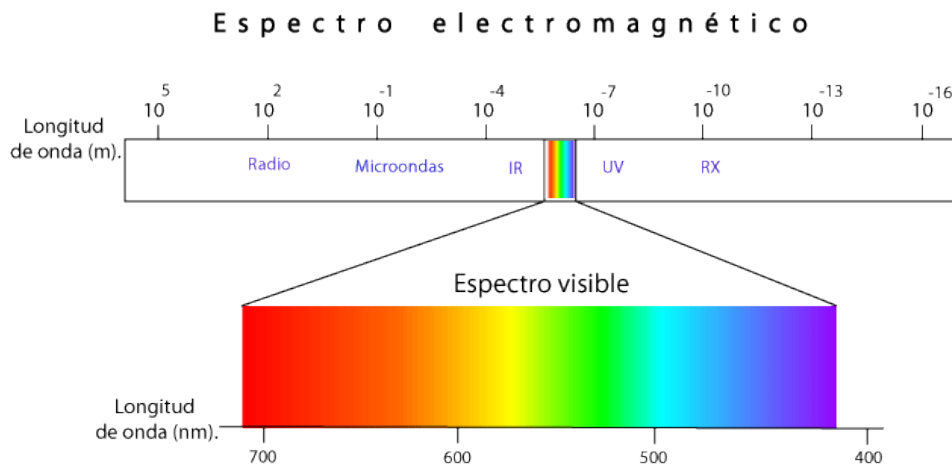


Fig. 2.1 Espectre electromagnètic (Font: Aula Clic)

En aquest punt és on entre el gran paper de la radiació infraroja. Aquesta radiació, invisible per l'ull humà, es troba immediatament per sobre de la màxima longitud d'ona que podem percebre en el espectre electromagnètic. El seu rang va aproximadament des d'uns 800 nm de longitud d'ona (infraroig proper) fins a uns $1000 \mu\text{m}^3$ (infraroig llunyà).

Aquests rajos van ser descoberts accidentalment al 1800 per William Herschel. Sir William, astrònom de professió i ja conegut anteriorment per haver descobert el planeta Urà, estava investigant com podia reduir la brillantor del sol mentre feia les seves observacions solars amb els telescopis. Això el va portar a investigar una sèrie de materials que faria servir com a filtre per atenuar els rajos solars. Al provar diferents vidres de colors que reduïen de manera similar la brillantor del sol, va descobrir que alguns vidres deixaven passar molt poca calor solar, mentre que d'altres en deixaven passar en excés, tanta que era infactible observar-los per perill de lesions oculars. Herschel es va adonar que calia un filtre que atenués la brillantor fins que es pogués observar l'astre, però a



Fig. 2.2 William Herschel (Font: Gutenberg Ebook)

³ $1 \mu\text{m} = 10^{-6}$ metres.

l'hora que reduís al màxim la calor transmesa. És per això que va procedir amb un experiment similar al de prismes de Newton. L'experiment de Herschel es tractava de col·locar un prisma de cristall a través del qual hi faria passar rajos solars. Gràcies al prisma, el raios es descompondrien en la gama de colors visible per l'ull humà. Primerament va enfosquir el bulb d'un termòmetre de mercuri amb tinta, que aniria passant per l'espectre visible projectat sobre la seva taula gràcies al prisma i als rajos solars. Va observar que a mesura que passava el termòmetre des de l'extrem violeta fins al vermell, la temperatura s'anava incrementant proporcionalment. Això no era cap novetat ja que l'investigador italià Landriani havia observat exactament el mateix en un experiment similar l'any 1777. No obstant, Herschel va observar que, més enllà de l'extrem vermell de l'espectre visible, la temperatura seguia augmentant en el seu termòmetre. Va trobar el punt màxim de temperatura molt més enllà del color vermell, on ell mateix creia que el trobaria, dins de la regió que ara coneixem com a longituds d'ona infraroja.

Quan l'astrònom va revelar el seu descobriment, va anomenar aquesta nova regió de l'espectre electromagnètic "espectre termomètric" [2].

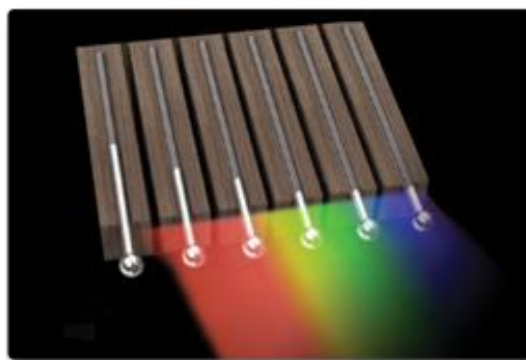


Fig. 2.3 Experiment espectre electromagnètic (Font: Blog Primeras necesidades)

Posteriorment varis investigadors, intentant confirmar l'experiment de Herschel, van utilitzar prismes de cristall de formes variades, fet que va crear errors de mesures i discrepància d'opinions en la creença d'aquest espectre termomètric. Amb experiments posteriors, Herschel va concloure, erròniament com es veurà més endavant, que les lents dels prismes havien de ser elements reflectants, es a dir, miralls corbats i llisos. L'any

1830 l'investigador Melloni, italià, va descobrir que aquesta afirmació no era correcta ja que va observar que la sal de roca (NaCl) que es trobava en cristalls suficientment grans per a fer lents i prismes, era considerablement transparent als infrarojos. A conseqüència d'aquest gran descobriment, la sal de roca va esdevenir el principal material òptic per a infrarojos, fins a la creació de cristall sintètic 100 anys després.

La primera "imatge de calor" va ser capturada l'any 1840 per Sir John Herschel, fill del descobridor dels infrarojos. Basant-se en la diferent evaporació d'una fina capa d'oli al exposar-la a un patró de calor enfocat cap a ella, la imatge tèrmica podia veure's gràcies a la llum reflectida en els llocs en els que els efectes de interferència de la capa d'oli feien que la imatge fos visible per l'ull humà. Sir John també va aconseguir obtenir una imatge tèrmica en paper, que va anomenar "termografia".

La sensibilitat dels detectors d'infrarojos va anar augmentant mica en mica i a través de proves i experiments.

Entre els anys 1900 i 1920, els inventors d'arreu del món van començar a ser coneixedors dels rajos infrarojos, i es van començar a crear dispositius i patents que utilitzaven la radiació infraroja dels cossos per a detectar persones, artilleria, avions, vaixells, icebergs, etc.

Les guerres, com sempre a la història de la humanitat, han estat les pioneres en la utilització de la més moderna tecnologia, i han servir a l'hora per al seu desenvolupament. Això fou exactament el que passà durant la guerra de 1914 a 1918, quan ambdós bàndols tenien programes d'investigació dedicats a les aplicacions militars dels infrarojos. Aquestes investigacions incloïen sistemes experimentals per a la detecció d'incursions enemigues, sensors de temperatura remots, comunicacions segures i míssils guiats.

Els sistemes més sensibles fins al moment estaven basats en variacions sobre el bolòmetre, però quan va acabar la guerra les investigacions van continuar en aquesta tecnologia, i van proporcionar dos grans invents revolucionaris. Es tractava de dos nous detectors de infrarojos: el convertidor d'imatges i el detector de fotons. El convertidor d'imatges fou, al principi, el més usat en el camp militar ja que permetia als soldats veure-hi a la foscor.

Entre 1939 i 1945 les normatives sobre els secrets militars evitaven que es revelés l'estat de la tecnologia de imatges infraroges. Aquest secretisme, però, va començar a desaparèixer a mitjans dels anys 50. Des de aquell moment la ciència i la indústria civil van començar a incorporar les imatges tèrmiques per a usos adequats a les necessitats de la societat.

La termografia és, doncs, la tècnica que permet captar mitjançant càmeres especials la radiació infraroja de l'espectre electromagnètic. Coneixent algunes condicions de l'entorn com la temperatura de l'aire, la humitat, la distància de l'objecte que estem mesurant, la emissivitat de la superfície, etc., aquestes càmeres anomenades càmeres termogràfiques o de termovisió, són capaces de transformar l'energia radiada pels infrarojos en imatges de colors distingibles per l'ull humà. Cada color representat a la imatge representa un valor de temperatura. El més habitual en aquestes imatges es seguir una escala cromàtica per a l'escala de temperatura, de manera que els colors van des de blau marí per a la temperatura més baixa, fins a vermell o blanc per a la més alta, passant per blau clar, verds i grocs. Altres imatges però fan servir diferents escales com per exemple de negre a blanc, passant per lila fort, rosat, taronja i groc, o simplement d'altres que utilitzen una escala de grisos.

A aquestes imatges se les anomena radiomètriques i en elles cada píxel és representat per un color, per tant cada píxel representa un valor de temperatura. És per això que la termografia pot arribar a ser tant potent, ja que es poden enregistrar imatges de manera global i general, però obtenir mesures de temperatura tant concretes i precises com un píxel, depenent de la resolució de la càmera.

2.2. Camps d'aplicació.

Les utilitats que se li pot donar a una tecnologia com aquesta són extremadament variades i pot estar present a molts camps de tipologia molt diferent.

En general és pot aplicar en qualsevol cas on la temperatura ens pugui proporcionar una informació útil per a un anàlisi, o simplement que una diferència de temperatura respecte la temperatura habitual d'un cos ens pugui proporcionar informació.

Com ja s'ha comentat, hi ha infinitat d'aplicacions on la termografia hi pot jugar un paper clau, però en el present projecte les agruparem en grans grups per tal de resumir en general les aplicacions que té aquesta tecnologia.

Actualment els grans sectors on s'utilitza la termografia són el elèctric, el mecànic, el d'edificació, el de les forces de seguretat, en medicina i d'altres que també es comentaran.

2.2.1. Sector elèctric.

2.2.1.1. Introducció.

Una de les principals conseqüències del desenvolupament de la societat és l'augment del consum d'energia, i en particular d'energia elèctrica. En els últims temps s'ha detectat un augment considerable del consum elèctric en els països desenvolupats o en fase d'expansió. Aquest increment de demanda es converteix en un augment, també, de les instal·lacions de distribució, de les capacitats d'aquestes i de la càrrega que han de transportar. A l'hora, els consumidors exigeixen un servei i un subministrament de màxima qualitat. L'augment de demanda i, per tant, de càrrega, pot suposar problemes per línies de tensió o sistemes de transformació que quedin una mica obsolets, antics, o que simplement fa certa temporada que no es revisen. Aquest fet sumat al creixent nombre d'instal·lacions de transport i transformació d'energia elèctrica, fa que la seva inspecció sigui molt costosa, tant en personal com en temps, el que es tradueix immediatament en diners.

En aquest punt és on entre amb força el paper de la termografia. Aquesta tecnologia és capaç d'inspeccionar els sistemes de distribució elèctrica, ajudant a detectar de forma anticipada possibles averies i fallades, disminuint d'aquesta manera possibles averies en un futur. L'objectiu serà la detecció de punts calents que surtin de la normalitat

A l'hora, a més de detectar possibles fallades que un inspector no podria veure a simple vista, permet fer un anàlisi general de tota la instal·lació, però amb la precisió de les imatges termogràfiques. D'aquesta manera els operadors poden identificar ràpidament el problema, amb el conseqüent estalvi de temps, recursos i per tant diners en la inspecció.

El principi fonamental que utilitza la termografia per detectar aquests punts calents que surten de la normalitat és el conegut efecte Joule. Segons ens diu aquesta llei:

$$P = I^2 \times R \quad (2.1)$$

On sabem que P és la potència dissipada per un conductor, I és la intensitat del corrent que el travessa i R la resistència elèctrica que ofereix el sistema al pas de la electricitat.

Com podem deduir a partir d'aquesta expressió, un augment de la resistència elèctrica del conductor es tradueix en un augment de la potència dissipada el que, en condicions normals, es tradueix a l'hora en un augment de la temperatura en aquell punt. Aquest increment de la resistència pot ser degut a una oxidació o corrosió, connexions que s'afluixen, cables segats o en mal estat, corrents de fuga en sistemes d'aïllament, fallades en els sistemes de refrigeració de transformadors, etc.

Per tant, el tècnic podrà, amb una sola imatge, buscar punts calents en les instal·lacions que puguin esdevenir un problema en un futur, amb la possibilitat de reparar-lo abans que el sistema falli.

Actualment les inspeccions en aquest sector les podem agrupar principalment en dues grans àrees: inspeccions d'alta tensió i inspeccions de baixa tensió. En el cas de l'alta tensió podem fer-ne subdivisió per tal d'agrupar les àrees on es duen a terme inspeccions termogràfiques, que són: en línies de distribució, en subestacions i en centres de transformació.

2.2.1.2. Línies de distribució.

Les encarregades de transportar l'electricitat entre el punt de producció i el punt de consum, a través de subestacions i centres de transformació. Per a reduir al màxim les pèrdues elèctriques degut a l'efecte Joule i a les grans distàncies que han de recórrer fins al punt de consum, se n'augmenta molt la tensió en les subestacions nombrades anteriorment. Al circular en aquestes línies corrent a alta tensió, és fàcil detectar punts en mal estat o possibles fallades, ja que de seguida la elevada tensió provocarà un augment considerable de la temperatura del punt concret.

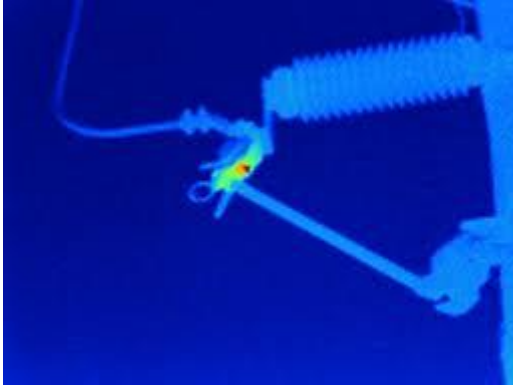


Fig. 2.4 Termografia a línia de distribució (Font: Fluke)

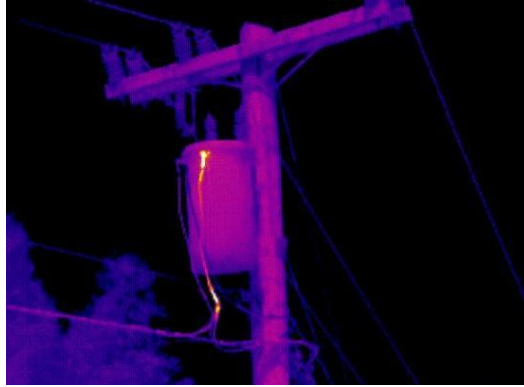


Fig. 2.5 Termografia a línia de distribució (Font: Afinidad Eléctrica)

Les inspeccions es duen a terme a través del medi terrestre, però actualment també s'estan duent a terme inspeccions aèries, depenent de l'accessibilitat de la instal·lació i de les proporcions d'aquestes.

En les inspeccions de línies de distribució, el que es vol inspeccionar principalment són els punts de unió, els sistemes d'aïllament i el cablejat en general, que és on hi acostuma a haver-hi més fallades.

A l'hora de mesurar, però, s'ha de tenir una sèrie d'aspectes en compte. En l'apartat de *Procediments per a una correcta mesura* d'aquest mateix projecte s'ampliarà aquestes consideracions. A grans trets, però, s'ha de tenir en compte que a l'hora de mesurar a l'aire lliure hem de considerar les condicions ambientals com la pluja, el vent, la humitat, i d'altres que ens poden fer variar els valors de temperatura dels elements mesurats. S'ha de considerar, doncs, l'efecte contrari també i evitar les reflexions del sol que ens puguin proporcionar punts calents falsos. Així doncs s'ha de tenir en compte també l'hora del dia en que es fa la mesura, i inclús l'estació de l'any.

2.2.1.3. Subestacions.

Són les encarregades d'augmentar la tensió per a optimitzar-ne el transport mitjançant les línies de distribució citades anteriorment. També proporcionen elements de control i seguretat, com per exemple tallar el corrent d'una línia per al seu manteniment. És per això, per totes aquestes funcions que realitza, que es tracten d'instal·lacions amb més

elements i més complexos que les línies de distribució, cosa que fa que puguin tenir més punts crítics.

Els punts a inspeccionar en aquestes estacions són, com en el cas anterior, els punts de contacte i elements d'aïllament. Tot i això, donat que són instal·lacions més complexes on s'hi realitzen altres tasques, no només el transport, compten amb un seguit d'elements que també s'haurien de

sotmetre a una exhaustiva inspecció termogràfica. Aquests elements poden ser sistemes de refrigeració de transformadors de potència, bateries de condensadors, motors, etc.



Fig. 2.6 Termografia a subestació transformadora (Font: Blog Termografias Marton)

Com en el cas de les línies de distribució, aquestes estacions es troben generalment a l'aire lliure. És per això que s'ha de tenir en compte les mateixes consideracions de les condicions de l'entorn a l'hora de realitzar les mesures.

2.2.1.4. Centres de transformació.

Són les instal·lacions encarregades de transformar en baixa tensió l'alta tensió provinent de les línies de distribució, per a la seva utilització per part del consumidor final. En aquestes estacions, a més d'inspeccionar en general, com en els dos casos anteriors, els punts de unió i els sistemes d'aïllament, aquí s'afegeixen elements importants a ser inspeccionats com per exemple interruptors, fusibles limitadors, i posar-hi especial èmfasi en els elements d'aïllament. Aquest control especial dels elements aïllants és degut a que aquestes estacions es troben a l'interior de les ciutats. Això vol dir que el pas de persones a prop d'aquests centres és molt més habitual que en una subestació o que en una torre d'alta tensió. Degut a la seva funció, transformar alta tensió en baixa tensió, suposa un perill per a les persones ja que compte amb elements per on hi circula alta tensió, letal per a qualsevol persona que rebi en rebi una descarrega. És per això que s'ha de posar especial atenció en aquests elements aïllants, ja no per al correcte funcionament dels aparells, si no per a la seguretat de les persones.

Hi ha centres de transformació a la intempèrie, el que significa que a l'hora de realitzar les mesures s'ha de tenir en compte els mateixos aspectes sobre les condicions de l'entorn comentats en els casos anteriors. També existeixen transformadors dins els mateixos edificis. Acostumen a ser edificis grans o amb gran consum d'energia elèctrica, i en aquests casos òbviament no s'ha de tenir en compte aspectes climàtics externs a l'hora de mesurar.

2.2.1.5. Baixa tensió.

Gràcies a la precisió de les mesures mitjançant la termografia, a part de l'alta tensió, es poden inspeccionar components, elements i sistemes elèctrics de baixa tensió i de mida reduïda com per exemple quadres elèctrics i centres de control de motors.

Al tractar-se d'instal·lacions de mides reduïdes, un augment significatiu de la temperatura en certs punts podria fondre els elements provocant fallades de sistema o inclús incendis.

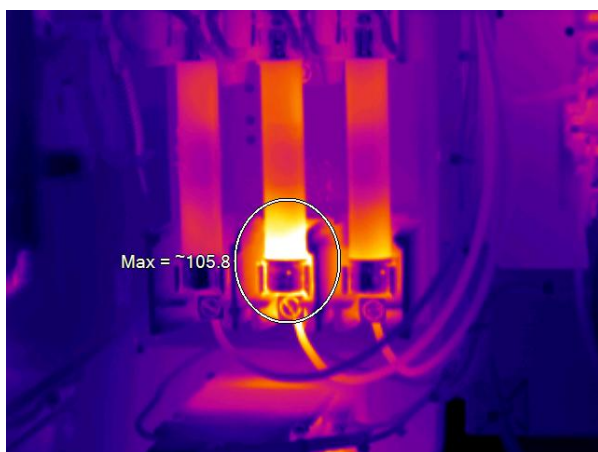


Fig. 2.7 Termografia a fusibles (Font: E-nova)

En les inspeccions d'aquests elements, el que es busca principalment són connexions rovellades, connexions que ofereixin una resistència elèctrica massa elevada ja sigui per que es troben en mal estat o s'ha realitzat malament. També es busca danys interns en fusibles, i el mal estat de petits elements aïllants.

2.2.2. Sector mecànic.

Un altre sector on hi pot jugar un paper important la tecnologia de la termografia és en els elements mecànics. En la majoria de sectors de producció, els sistemes en moviment i, en general, la mecànica acaba sent l'ànima de tota planta productora. És per això que cada vegada es destinen més diners per optimitzar aquests sistemes mecànics i que siguin capaços de produir amb major eficiència. El fet de que s'hi destinin tants recursos fa que siguin elements de gran valor dins els sectors productius, cosa que fa que en sigui molt important el seu control, manteniment i millora.

Els elements mecànics que es poden sotmetre a una inspecció termogràfica són principalment components que treballen en moviment. Això és degut al principi en el que es basa la termografia per analitzar aquests elements. En tot element en moviment hi apareix una força de fregament entre les dues Superfícies que es troben en contacte. Aquesta força s'oposa al moviment entre ambdues superfícies i per tant redueix la eficàcia de la força útil. Degut a aquesta fricció entre superfícies, es produeix una dissipació de potència en forma de temperatura, que n'escalfarà la zona i serà detectable per les imatges tèrmiques.

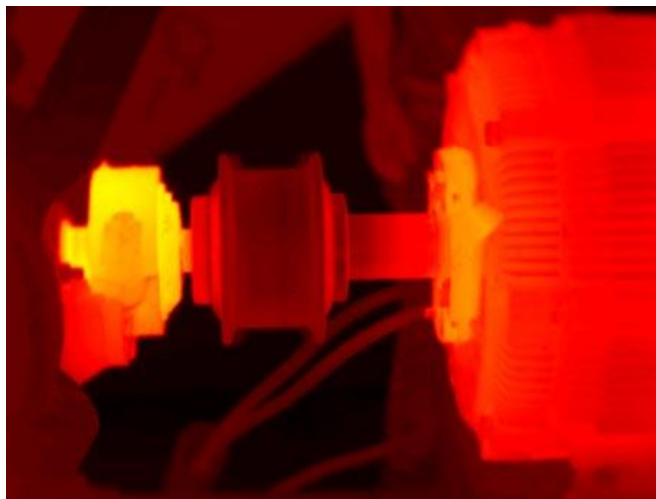


Fig. 2.8 Termografia a rodament (Font: Interempresas)

Per tant, el que busca la inspecció termogràfica d'elements mecànics és identificar punts de fregament crítics i dur a terme el manteniment oportú o la millora d'aquests abans

que es produeixi la fallada del sistema, la qual cosa es traduirà en reparacions més costoses, parades de maquinària imprevistes, i en definitiva costos econòmics excessius.

Més concretament els aspectes que s'analitzen en aquest sector són problemes de lubricació, errors d'alineació, rodament i eixos sobreescalfats per fricció, i també bombes i motors sobrecarregats i sobreescalfats.

2.2.3. Sector de l'edificació.

L'anàlisi de l'eficiència energètica d'edificis o habitatges és un estudi cada vegada més demanat i obligatori en el cas d'obres noves. Aquests processos d'anàlisi han de ser el màxim exhaustius possible, a l'hora que precisos. Aquest fet fa que les inspeccions actuals requereixin molt temps per a analitzar tots els punts d'un habitatge. Gràcies a la termografia podem analitzar grans superfícies com façanes senceres, teulades, sòls, i un llarg etcètera, amb una sola mesura. A l'hora, però, ens proporciona una gran precisió ja que, com s'ha comentat anteriorment, cada píxel de la imatge ens proporciona un valor de temperatura, el que ens proporcionarà informació molt concreta del comportament tèrmic de zones molt concretes de l'habitatge. Com en els casos elèctrics i mecànics, la termografia ens pot proporcionar fallades de l'habitatge o l'edifici abans que el problema esdevingui major i suposi una fallada més greu o un cost econòmic molt major a la reparació.

Amb una inspecció termogràfica, en el sector de l'edificació, principalment pot ajudar a detectar casos de pèrdues d'energia (serà el àmbit en el qual es centrarà el present projecte) ja sigui per falta d'aïllament o aïllament defectuós i fugues d'aire. També ajuda a trobar humitats en els aïllaments, en els sostres o a les parets, localitzar ponts tèrmics, filtracions d'aigua, ruptures de canonades d'aigua calenta, errors de construcció, supervisar el secat d'edificis en el procés de construcció i detectar fallades elèctriques i de calefacció.

Tot i aquesta enumeració de principals aplicacions, la termografia és una tecnologia tant nova i versàtil que resulta impossible enumerar totes les seves aplicacions, ja que cada dia es desenvolupen innovadores maneres d'aplicar aquesta tecnologia. Tot i això, es farà una petita descripció dels punts d'aplicació més rellevants per al present projecte citats anteriorment.

2.2.3.1. Pèrdues d'energia.

Les pèrdues d'energia d'un habitatge venen donades principalment per defectes d'aïllament o per punts en contacte directe amb l'exterior, el que suposarà una fuga de l'aire calent de l'interior de l'edifici o de l'aire fred de climatització depenent de l'època de l'any.

En aquest aspecte, la termografia és especialment vàlida ja que podem fotografiar grans superfícies com façanes senceres, parets, teulades, etc., per tenir una imatge global del comportament de l'edificació. Per a realitzar aquestes mesures correctament s'ha de tenir en compte les condicions de l'entorn, les quals es descriuran més endavant.



Fig. 2.9 Termografia a façana d'edifici (Font: Testo AG)

Per a detectar fugues d'aire amb una càmera termogràfica, es necessita una diferència de temperatura.

Les fugues d'aire suposen un augment considerable de consum d'energia i normalment provoquen problemes amb el sistema de ventilació. Gràcies a les imatges tèrmiques es podrà detectar quan l'aire fred entra per una fuga de la construcció.

2.2.3.2. Detecció d'humitats.

Les humitats són el principal factor detonant de deteriorament d'edificis. Les males instal·lacions de malles impermeables en terrats o teulades planes, o també fugues d'aire que provoquen condensació a dins de parets i sostres, són les principals causes de creació d'humitats. A més, a part del problema que suposa tenir humitats, aquestes

normalment triguen molt a assecar-se, el que esdevé com un punt crític en la creació de fongs i floridures. Una correcta exploració amb una càmera termogràfica pot detectar les humitats abans que aquests fongs facin la seva aparició, podent prevenir greus problemes en la salut de les persones que habiten aquella zona.

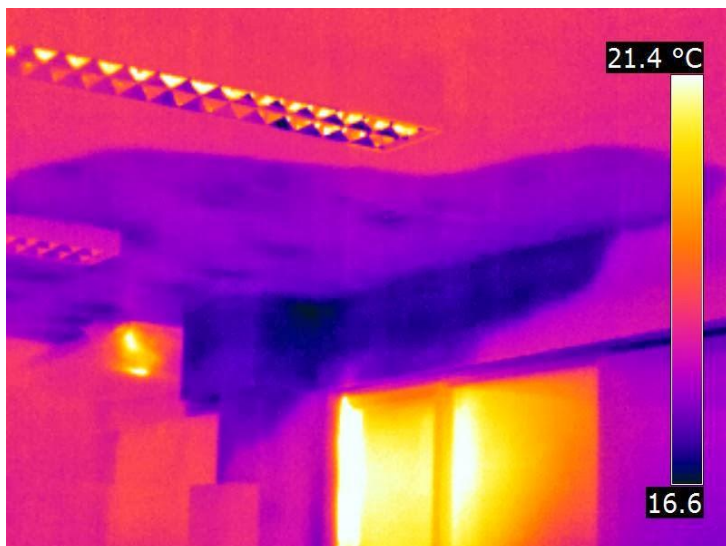


Fig. 2.10 Termografia d'humitat (Font: Intermal)

Per a la detecció de humitats ha d'existir una variació de temperatura entre les parts fotografiades i la humitat, ja que si la part que fotografiem i la humitat es troben a la mateixa temperatura, lògicament obtindrem una imatge tota del mateix color, la qual no ens proporcionarà informació útil. Per tant, escalfarem l'habitació o secció de la zona crítica on poden aparèixer humitats. Els materials humits canvien de temperatura amb molta més lentitud que els materials secs, llavors serà fàcil detectar la humitat.

2.2.3.3. Ponts tèrmics.

Un pont tèrmic es una zona on es transmet més fàcilment l'energia tèrmica que en les zones veïnes. Aquest fet pot ser degut a una diferència de conductivitat entre materials, un diferent gruix de materials o qüestions geomètriques. El calor, com l'electricitat, seguirà la ruta amb menys resistència tèrmica des de l'espai calent al més fred. Aquest fet suposarà doncs una gran pèrdua tèrmica a l'interior de l'edifici.



Fig. 2.11 Termografia de façana d'edifici mostrant ponts tèrmics (Font: Enrique Alario)

2.2.3.4. Canonades.

La termografia permet inspeccionar fugues, ruptures o bloquejos en canonades i conductes de calefacció sense necessitat de rebentar tot el terra o paret per trobar el punt concret del problema. Això és gràcies a que el calor de les canonades s'irradia a través de la superfície, i el patró es visible per a les càmeres tèrmiques.



Fig. 2.12 Termografia de canonades de calefacció de terra radiant (Font: TermaGraf)

2.2.4. Sector de forces de seguretat.

Com s'ha comentat anteriorment on s'ha introduït la història de la termografia, el sector militar sempre ha estat el més punter en la investigació, desenvolupament i introducció de la tecnologia més moderna i innovadora. No n'és una excepció la termografia.

La primera càmera tèrmica destinada a aplicacions militars era capaç de produir una imatge clara en fosc total, i per tant de veure i detectar amenaces durant la nit, a través de la boira, de la pluja, de la neu i també del fum del camp de batalla.

Ja més endavant, el sector militar va trobar una altre aplicació que va impulsar el desenvolupament de la termografia. Aquesta aplicació es tractava de petits avions no tripulats, es a dir que es controlaven per radio, i dissenyats per volar a baixa altitud. Aquests avions equipen càmeres termogràfiques i son extremadament eficients per a la realització d'operacions de reconeixement o seguiment de tropes. També permetia volar de nit o a través del fum.



Fig. 2.13 Termografia d'operació policial nocturna (Font: Flir)

Tot i que el camp militar és on va començar a incorporar-se aquesta tecnologia, no només és en aquest sector de la seguretat on s'incorpora. Els bombers també utilitzen càmeres tèrmiques per veure-hi a la foscor i a través del fum, així com per detectar punts calents en terres, parets i sostres que puguin suposar perills per als encarregats de l'extinció. El fum està ple de partícules de carbó de la mida d'un micròmetre, el que el converteix en una font molt absorbent de llum visible. No obstant, quan la mida de les partícules és força més petita que la longitud d'ona de llum utilitzada per un sensor, la dispersió de la radiació es redueix enormement, fent possible la visió a través del fum. Així doncs, es poden detectar fàcilment persones en habitacions plenes de fum.

La capacitat per detectar diferències de temperatures d'objectes és vital per als bombers, que han d'obrir-se pas a través de portes tancades, a l'altre banda de les quals és poden trobar amb flames de cara.

També són aplicables per a la prevenció d'incendis forestals, utilitzant-les en avions no tripulats com en el cas militar, o en helicòpters de reconeixement dels bombers. Aquestes càmeres permeten analitzar una gran superfície en molt poc temps, sobrevolant ràpidament moltes hectàrees de bosc, o proporcionant informació de zones on hi ha punts rarament calents, podent actuar molt abans que s'origini un gran incendi forestal.

Fins hi tot s'està aplicant aquesta tecnologia tant en sectors de vigilància d'organismes governamentals com per exemple fronteres, ambaixades o altres, com en sectors privats. Cada cop més les instal·lacions industrials utilitzen la potència de les càmeres tèrmiques per a protegir els seus valuosos actius i el seu personal. Centrals nuclears, petroquímiques, ports, aeroports, etc., són vulnerables a robatoris i inclús a atacs terroristes, i es protegeixen mitjançant aquesta tecnologia.

Finalment, en aquest sector de la seguretat, també s'incorpora en el camp de cerca i rescat, per als professionals encarregats de trobar persones que es troben perdudes o ferides en llocs de difícil accés o grans superfícies on es trigaria moltíssim temps en rastrejar i molts recursos, com boscos, deserts, muntanyes o en el mar. Mitjançant un helicòpter que equipi una càmera tèrmica pot sobrevolar una gran superfície terrestre en molt poc temps, i fàcilment detectar activitat humana degut a la pròpia temperatura corporal de la víctima.

2.2.5. Sector mèdic.

Els humans som homeotermes, que vol dir que el cos, mitjançant uns processos químics on es transforma energia química procedent dels aliments en energia tèrmica, manté la seva temperatura corporal dins uns límits independentment de la temperatura exterior al cos. La interfície de contacte entre aquesta producció de calor i el medi ambient és la pell. Aquest òrgan dinàmic s'ajusta constantment per equilibrar les condicions internes i externes, satisfent a la vegada les demandes fisiològiques de l'organisme.

Els canvis en la conductivitat tèrmica de la pell provocats per cremades, úlceres cutànies o empelts és poden detectar i supervisar fàcilment. També pot ajudar a la detecció prematura de diferents càncers, el tractament del dolor, l'avaluació de la profunditat de les cremades, la detecció de febre i la cirurgia a cor obert.

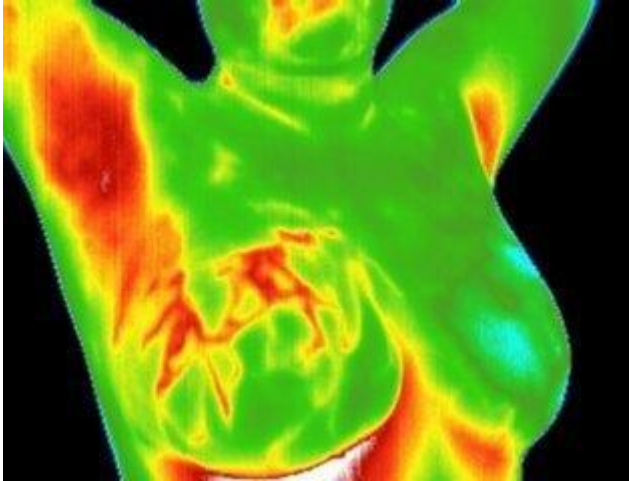


Fig. 2.14 Termografia per a la detecció de càncer de mama (Font: Los medicamentos)

Inclús pot ajudar a la prevenció de l'extensió d'epidèmies instal·lant sistemes termogràfics als aeroports i ports per a detectar passatgers amb una elevada temperatura corporal que pugui indicar que són portadors de la malaltia. Aquest cas és real i va servir per identificar molts casos de passatgers amb SRAS, una epidèmia que es tractava d'una pneumònia atípica, instal·lant càmeres tèrmiques als aeroports de diversos països. Va servir per evitar-ne una mica la ràpida propagació arreu del món.

2.2.6. Altres aplicacions destacables.

La termografia, com ja s'ha mencionat, és una tecnologia relativament nova. Aquest fet fa que cada dia sorgeixin aplicacions innovadores on les imatges tèrmiques poden jugar-hi un paper important.

Cada vegada s'està desenvolupant més aquesta tecnologia a l'hora que se'n redueixen els preus dels seus instruments, antigament molt cars degut a la seva exclusivitat. Això suposa un augment de l'ús de la termografia en un àmbit cada vegada més particular. Actualment, per exemple, s'estan incorporant càmeres de visió tèrmica a cotxes particulars de gama alta per millorar la visió dels conductors en entorns foscos, nocturns

o de poca visibilitat. Al permetre als conductors veure imatges tèrmiques, amb un abast molt més gran que el dels focus del propi cotxe, el conductor pot detectar obstacles o inclús corbes amb molta antelació, poden així anticipar els seus moviments i evitar accidents. És especialment útil, en aquesta aplicació, per a entorns nocturns, de boira, de pluja, o amb fum i pols.

Però no només els cotxes incorporen aquest tipus de càmeres. Alguns camions, autobusos, trens i metros també estan començant a incorporar càmeres tèrmiques.

3. Principis fonamentals.

S'ha comprovat que qualsevol cos amb una temperatura major que 0 Kelvin, es a dir -273,15 graus Celsius, emet una radiació infraroja. Per tant podem afirmar que, si l'ull humà pogués percebre la radiació infraroja, podria percebre, a més de colors, espectres lumínics associables a temperatura. I aquest és el principi fonamental en que es basa la termografia.

El calor, com a definició, és la forma d'energia que es transfereix entre cossos diferents o diferents zones d'un mateix cos que es troben a diferents temperatures. La temperatura que té un cos és degut a l'energia cinètica de les seves molècules. En un cos més temperatura, les seves molècules vibren i es mouen més que no pas en un cos a baixa temperatura, on les molècules es mouen més lentament. Aquest és el motiu pel qual un cos està calent o fred.

La transferència de calor entre cossos o zones del mateix cos que hem citat anteriorment sempre es produeix del cos que té més temperatura cap al cos que en té menys, fins que ambdós cossos o zones es troben en equilibri, es a dir, a la mateixa temperatura. Aquesta calor, energia tèrmica, pot ser transferida per tres mecanismes diferents: la radiació, la conducció i la convecció.

La convecció es la transferència de calor entre zones a diferents temperatures en un líquid o gas. Degut a una diferència de densitats entre el fluid calent i el fred es produeix un moviment de corrents dins el mateix fluid. El fluid més calent puja ja que és menys dens, i el fred baixa. Amb aquest intercanvi s'anirà escalfant tot el fluid, mitjançant la convecció.

La conducció és el procés de transmissió de calor basat en el contacte directe entre cossos, però sense intercanvi de matèria.

Però el mecanisme de transferència que realment interessa per a la termografia és la radiació. Aquesta consisteix en la propagació d'energia en forma d'ones electromagnètiques o partícules subatòmiques a través del buit o d'un mitjà material. I la radiació realment mesurable per a la aplicació de la termografia és la propagada en forma d'ones electromagnètiques.

En els casos reals, quan s'efectua un intercanvi d'energia tèrmica entre cossos, hi actuen tots tres mecanismes alhora. Degut a la física que s'acaba de descriure de cada tipus de transferència, l'únic mecanisme que ens permet mesurar temperatures sense un contacte directe i a través d'una càmera és el de radiació. Aquesta radiació, com totes les lleis físiques que regeixen l'univers, dependrà de certes variables. A partir de les lleis que es descriuran a continuació es pot comprendre de manera teòrica les lleis que regeixen la radiació, i que seran de vital importància per entendre el bon funcionament de la termografia.

3.1. Radiació tèrmica.

3.1.1. Llei de Stefan-Boltzmann.

Com s'ha comentat anteriorment, quan un cos està més calent que el seu entorn perd energia tèrmica fins arribar a un equilibri amb aquest entorn. Llavors es pot deduir que aquest cos calent emetrà energia en forma d'ones electromagnètiques a l'entorn. La quantitat d'energia radiant emesa o calor radiat ve donat per la Llei de Stefan-Boltzmann. Aquesta llei ens diu que tota matèria que no es trobi a una temperatura infinita emet una potència emissiva. La velocitat a la que s'allibera energia per unitat d'àrea es denomina potència emissiva superficial i depèn de la quarta potència de la temperatura [3]:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (3.1)$$

on

E és la potència emissiva superficial (W/m^2).

ε és una propietat radioactiva de la superfície denominada emissivitat.

σ és la constant de Stefan-Boltzmann, que té un valor de $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$

T és la temperatura absoluta de la superfície (K).

La emissivitat, ε , és un número adimensional i s'obté dividint l'habilitat de l'objecte en qüestió per irradiar energia tèrmica, entre la habilitat d'irradiar si fos un cos negre.

Un cos negre és tracte d'un cos teòric ideal, el qual la seva emissivitat val 1. La variable d'un cos real agafa valors entre 0 i 1 i depèn del material de la superfície, del seu acabat, de la longitud d'ona i de la temperatura de la superfície.

Es dir, la quantitat d'energia emesa per un objecte depèn de la seva temperatura. Però aquest no és l'únic factor, ja que s'ha de considerar també la eficiència amb la qual s'irradia l'energia des de la superfície de l'objecte. Aquest factor és la emissivitat.

És la variable més important a tenir en compte a l'hora de prendre mesures amb càmeres termogràfiques, ja que és una variable que ens pot afectar molt a la mesura, i si no es coneixen els diferents valors d'emissivitat que poden tenir els objectes fotografiats es poden cometre errors greus d'adquisició de dades.

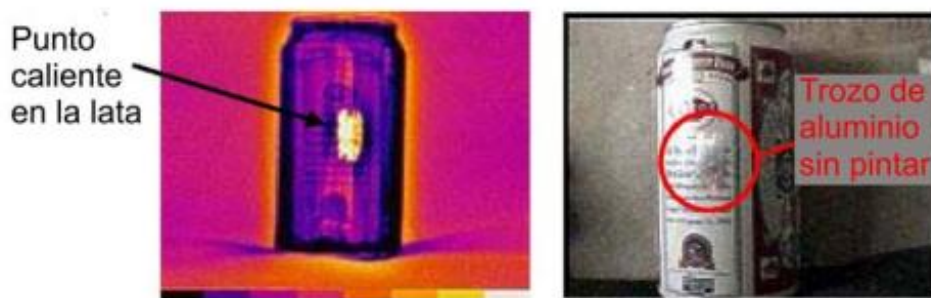


Fig. 3.1 Demostració de diferències d'emissivitat (Font: Rnds)

3.1.2. Llei de Wien.

Només a nivell descriptiu, tot i que és important comprendre aquest fenomen en relació amb la termografia, es descriurà breument la llei de Wien.

Es pot observar que, quan s'escalfa un cos metàl·lic a altes temperatures, comença a envermellir i diem que està al vermell viu. Si es segueix escalfant aquest cos, va perdent aquesta tonalitat vermellosa i passa a un color blanc. Aquesta característica de la radiació tèrmica és descrita per la llei de Wien.

Aquesta llei especifica que hi ha una relació inversa entre la longitud d'ona en què es produeix el pic d'emissió d'un cos negre i la seva temperatura. Ve donada per l'expressió [4]:

$$\lambda_{m\grave{a}x} = \frac{0,0028976m \cdot K}{T} \quad (3.3)$$

on

$\lambda_{\text{màx}}$ és la longitud d'ona del pic d'emissió (m).

T és la temperatura del cos negre (K).

Les conseqüències de la llei de Wien són que quan més gran sigui la temperatura d'un cos negre, menor es la longitud d'ona en la qual emet. Això comporta el fet de que la radiació pugui agafar tonalitats lleugerament diferents entre elles.

3.1.3. Llei de radiació de Kirchhoff's.

La radiació infraroja registrada per una càmera termogràfica consisteix en la radiació emesa per l'objecte analitzat, la reflexió de la radiació ambient i la transmissió de radiació a través de l'objecte en qüestió. Aquests tres factors es descriuran més àmpliament al capítol següent.

Els resultats de la suma d'aquests factors òbviament sempre és el 100% de la radiació enregistrada per les càmeres, és a dir, 1 [5]:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (3.4)$$

Ja que la transmissió, a la pràctica, és gairebé sempre inapreciable, podem simplificar:

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad (3.5)$$

A partir d'aquesta llei podem deduir doncs que, a menor emissivitat, major proporció de radiació infraroja reflectida. Aquest fet implicarà una major dificultat a l'hora de prendre mesures precises de temperatura, cosa que farà necessària una configuració a la càmera que compensi la temperatura reflectida. Tot aquests aspectes de medició seran explicats més àmpliament a l'apartat de *Procediments per a una correcte mesura*.

4. Tecnologia dels aparells de mesura.

4.1. Història de la càmera.

No va ser fins als voltants de 1920, forces anys després de que Herschel descobrís la radiació infraroja, que es van produir els primers avanços tecnològics que permetrien la medició d'aquesta radiació. Però no va ser fins un temps després que es van associar els infrarojos als mesuraments de temperatura.

Com s'ha comentat a l'apartat d'història dels infrarojos, durant la Segona Guerra Mundial, les propietats de la radiació infraroja es van utilitzar per visions nocturnes, míssils guiats per infrarojos i altres aplicacions militars. El secretisme sobre aquesta tecnologia per part del sector militar va desaparèixer un cop acabada la guerra, i el seu desenvolupament va avançar ràpidament.

La empresa sueca AGA va llençar al mercat la primera càmera termogràfica per a propòsits civils i comercials l'any 1960 [6]. Òbviament, aquestes primeres càmeres eren grosses, pesades i poc manejables. No va ser fins als anys 80 que van aparèixer les primeres càmeres manejables i de mida reduïda. Gràcies també a grans avenços tècnics i en el camp de la tecnologia de la informàtica, van proporcionar una ràpida evolució de les càmeres.

4.2. Funcionament.

Com ja s'ha esmentat, tots els cossos emeten certa quantitat de radiació, de forma infraroja, en funció de la seva temperatura i altres variables. I, a més, podem afegir que quan més elevada és la temperatura del cos, més radiació infraroja emet. Per tant, aquestes càmeres tenen com a objectiu captar aquesta radiació, que emet qualsevol cos per sobre del zero absolut, com ho faria una càmera convencional amb les ones lumíniques de colors. A diferència de les càmeres convencionals, però, els rajos de l'espectre electromagnètic que han de captar les termogràfiques no són invisibles a l'ull humà i hauran d'utilitzar uns sistemes de sensors diferents als de les convencionals.

La radiació que registra la càmera termogràfica consisteix en la radiació d'ona llarga emesa, reflectida i transmesa que sorgeixen dels objectes presents en el camp de visió de la càmera.

La emissivitat (ϵ), com ja s'ha comentat a l'apartat anterior, és la mesura de la capacitat d'un material d'emetre radiació infraroja. Agafa valors de entre 0 i 1, on 1 seria l'emissivitat màxima, creada per un cos negre. En cossos reals, la emissivitat és sempre inferior a 1.

La reflexió (ρ) és la mesura de la capacitat d'un objecte de reflectir la radiació infraroja. Depèn de la superfície, la temperatura i el tipus de material. Generalment, i com es lògic, les superfícies llises, polides i brillants reflecteixen molt més que les irregulars, sense polir i opaques del mateix material.

La transmissió (τ), seguint la mateixa lògica que en els casos anteriors, és la mesura de la capacitat d'un material de transmetre la radiació infraroja, es a dir permetre-li el pas a través de ell mateix. Depèn del tipus de material i del seu grossor, tot i que molts materials són no transmissors, es a dir, impermeables a la radiació infraroja.

4.3. Components d'una càmera termogràfica.

Principalment els components d'aquests aparells de mesura es poden agrupar en: sistema òptic, detectors, software de processament d'imatges i interfície d'usuari.

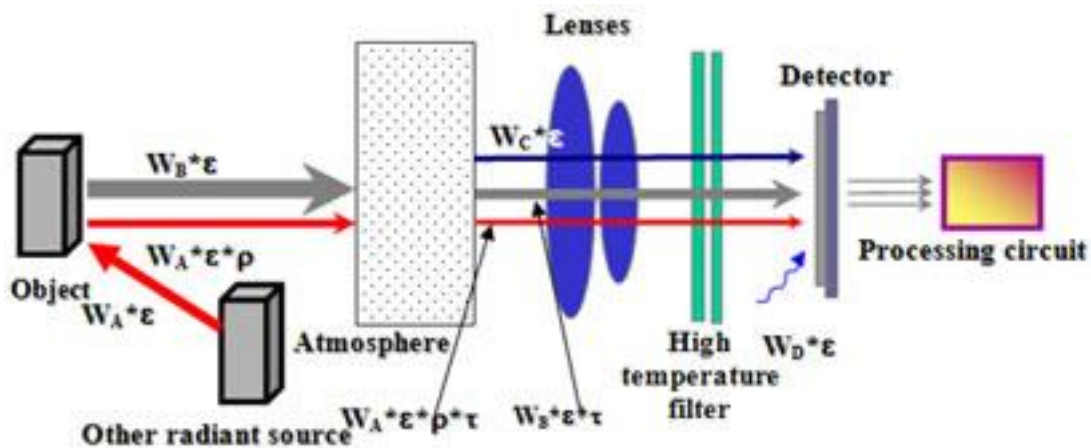


Fig. 4.1 Esquema de components de càmera termogràfica (Font: Amperis)

4.3.1. Sistema òptic.

L'objectiu d'una càmera termogràfica és un sistema òptic format per varies lents individuals. Aquestes lents determinen el camp de visió en el que la càmera pot detectar

radiació infraroja, i també actua com a un primer filtre, deixant passar la quantitat adequada d'infrarojos als sensors.

Els objectius de les càmeres termogràfiques poden ser classificats, normalment, en angulars i teleobjectius. Els primers són més eficaços per mesurar objectes o superfícies grans, ja que amb una sola passada es pot obtenir una imatge de gran abast. Els teleobjectius, en canvi, tenen un camp de visió molt més reduïts, per tant són uns objectius més hàbils per al mesurament de petits cossos i objectes. Com a punt forts conta amb una visió molt més detallada i precisa que un objectiu angular. Inclús es poden mesurar imatges molt precises a grans distàncies.

Els materials amb els que es fabriquen les lents d'aquests equips han de ser transparents, és a dir permeables, als infrarojos. Com que el vidre és força opac per a aquesta longitud d'ona, s'utilitzen materials com el germani, el silici o el seleniür de zinc. Com a punt feble però, hi trobem la seva duresa. És tracten d'uns materials força tous, pel que s'acostumen a ratllar amb facilitat. Per tant aquests tipus de lents requereixen una cura especial comparats amb els objectius de càmeres convencionals.

A part, normalment les càmeres incorporen una sèrie de filtres per a un òptim funcionament de tots els components. Incorporen un filtre més dur que la superfície de les lents, que proporciona seguretat contra les rallades i la brutícia. Aquest filtre, però, ha de ser capaç de deixar passar la radiació infraroja sense cap alteració. També s'instal·len filtres posteriors a les lents de l'objectiu. La missió d'aquests és atenuar temperatures molt elevades que puguin danyar els sensibles sensors amb un excés de temperatura. D'aquesta manera aquests filtres rebaixen els pics excessius de temperatura a la vegada que proporcionen als detectors una lectura clara i homogènia.

4.3.2. Sensors.

Es diu que un sensor, de qualsevol tipus, és un dispositiu capaç de detectar magnituds físiques o químiques i transformar-les en variables elèctriques. Aquestes variables elèctriques poden ser una resistència elèctrica, una tensió elèctrica, una corrent elèctrica, etc. Per tant, el que ens permeten aquests dispositius és transformar una magnitud que es vol mesurar o controlar, en una altre, que en facilita la seva mesura.

Així doncs, seguint aquestes definicions i aplicant-les a les característiques de la termografia, els sistemes de sensors que incorporen els equips termogràfics són

elements encarregats de convertir el flux de llum infraroja en una senyal elèctrica que pot ser mesurada i quantificada. Més endavant es detallarà el procés físic que succeeix en els sensors per que siguin capaços de detectar aquests rajos de llum invisibles per a l'ull humà.

Les càmeres infraroges poden utilitzar dos tipus de sensors o detectors: de estat sòlid refredat i bolòmetre no refredat.

Al principi, quan sorgiren els primers sistemes, els detectors havien de ser refredats a temperatures criogèniques (uns $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$). Per tant eren equips enormes, molt complexos i poc còmodes ja que aquestes temperatures s'assolien gràcies a un operador que anava carregant la càmera amb nitrogen líquid periòdicament. La tecnologia de medició per infrarojos va anar evolucionant i es va aconseguir augmentar una mica aquesta temperatura de refrigeració. Gràcies a aquest fet es van crear sistemes de refrigeració cíclics i tancats, fet que va permetre una reducció de les mides i un augment de la comoditat dels equips de mesura. Més endavant, al voltant dels anys 90, van aparèixer els detectors no refrigerats. Els més usats van ser els microbolòmetres, tot i que eren molt limitats en quan a distàncies de mesura. A partir d'aquests microbolòmetres es van basar els següents sistemes, aconseguint càmeres de bona resolució i precisió, molt més compactes i de baix consum.

Tornant a l'actualitat, les càmeres refrigerades utilitzen semiconductors exòtics per als seus detectors, i es troben al buit i refrigerats, fet que n'incrementa la seva sensibilitat. Les no refrigerades en canvi, poden treballar a temperatura ambient. Es sacrifica sensibilitat i precisió de mesura, a canvi d'obtenir equips més barats i de menor consum.

Els materials utilitzats per als detectors poden ser: Antimonur d'Indi, Arseni d'Indi i Gal·li, Siliciür de Platí, Tel·lur de Mercuri i Cadmi, Òxid de Vanadi i Silici Amorfi. Cadascun d'aquests materials s'utilitza segons la longitud d'ona dels infrarojos que millor detecta. Per tant, per a cada aplicació concreta hi anirà millor un tipus de detector, que s'haurà de determinar considerant la longitud d'ona que es vol mesurar i la sensibilitat que es vol aconseguir.

Aquests detectors estan formats per un seguit de petits detectors individuals. La majoria de càmeres comercials tenen entre uns 60.000 a 1.000.000 d'aquests petits detectors, i és el que en determina la resolució de l'equip. A cada un d'aquests sensors individuals

se'ls assigna un píxel, fet que proporciona unes resolucions de entre 160 x 120 a 640 x 480 píxels.

Un altre de les magnituds a tenir en compte a l'hora de definir aquests sensors és la sensibilitat tèrmica. Aquesta magnitud defineix la diferència mínima de temperatura que la càmera pot detectar. Normalment s'expressa en °C o mK, i les càmeres domèstiques de més alta gama, que precisament són les destinades a l'edificació, arriben a oferir sensibilitats tèrmiques de 0,03 °C (30 mK).

4.3.2.1. Detectores d'estat sòlid refrigerats.

Basats en l'efecte fotoelèctric, són semiconductors que exposats a la llum infraroja produeixen variació de corrent proporcional a la quantitat de llum rebuda.

El efecte fotoelèctric consisteix en l'emissió d'electrons per un material quan es fa incidir sobre ell una radiació electromagnètica. Aquesta expulsió d'electrons es deguda a que un àtom absorbeix energia d'un fotó, que són les partícules portadores de totes les formes de radiació electromagnètica i tenen una energia característica determinada per la freqüència de la ona de llum. Si el fotó absorbit té més energia que la funció de treball de l'àtom, aquest àtom de material tindrà més energia que la necessària per expulsar un electró, i el electró serà arrencat del material.

Aquests electrons arrencats passen a la banda de conducció, i són els encarregats de generar un canvi a la conductivitat voltatge o corrent elèctrica en el circuit. Depenent doncs de la quantitat de fotons que incideixin al semiconductor, es a dir depenent de la freqüència dels infrarojos, seran arrencats més o menys electrons del material semiconductor. Quan més electrons siguin arrencats i passin a la banda conductora del semiconductor, més variació de corrent causaran, i serà el fet que permetrà mesurar la intensitat de l'infraroig.

I per què aquests detectors necessiten ser refrigerats? Molt senzill. A temperatura ambient els electrons no necessiten gaire energia per ser arrencats del material, fet que podria fer que rajos de llum visible els excitessin prou perquè passessin a la banda conductora i generessin soroll a les mesures. Aquest fet es soluciona refredant el material del sensor a temperatures criogèniques, entre 4K a 110K normalment, fent necessària més energia fotoelèctrica per arrencar els electrons del material.

El conjunt de detectors es fixat al costat fred del refrigerant de tal manera que permeti un intercanvi eficient de calor. Aquestes càmeres necessiten un temps de refredament abans d'enregistrar imatges, són més cares però ofereixen una sensibilitat de mesura superior respecte a les càmeres no refrigerades.

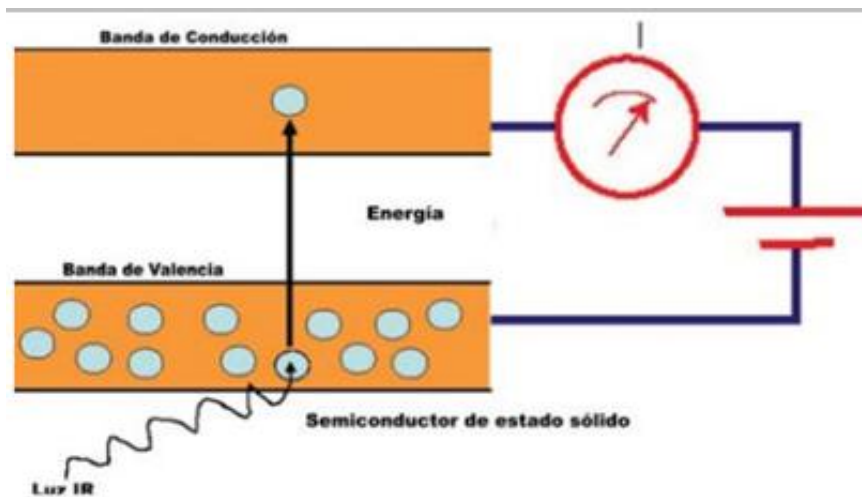


Fig. 4.2 Esquema de detector d'estat sòlid refrigerat (Font: Rnds)

Cal destacar també el fet de la resposta de cada un dels petits sensors. Cada un d'ells pot proporcionar una petita variació de resposta a una mateixa radiació infraroja. Aquestes desviacions han de ser compensades pel software per a obtenir una imatge coherent i vàlida per l'anàlisi.

4.3.2.2. Bolòmetres no refrigerats.

Com en el cas dels detectors d'estat sòlid refrigerats, els bolòmetres són unes plaques formades per molts sensors més petits. Aquests sensors són petits rectangles que s'eleven de la placa principal mitjançant dues petites potes que els aïllen tèrmicament. Estan construïts d'òxid de vanadi o silici amorf. La particularitat d'aquest material és la variació de la resistència elèctrica degut a la variació de temperatura. Aquests petits rectangles són escalfats directament per l'energia dels rajos infrarojos, el que provoca una variació de la resistència elèctrica en ells, proporcional a la energia infraroja rebuda. Aquestes variacions són mesurades pel software i processades per formar la imatge termogràfica.

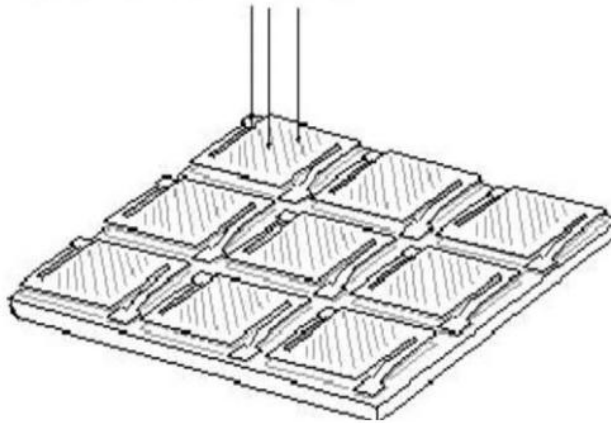


Fig. 4.4 Microbolòmetre (Font: Rnds)

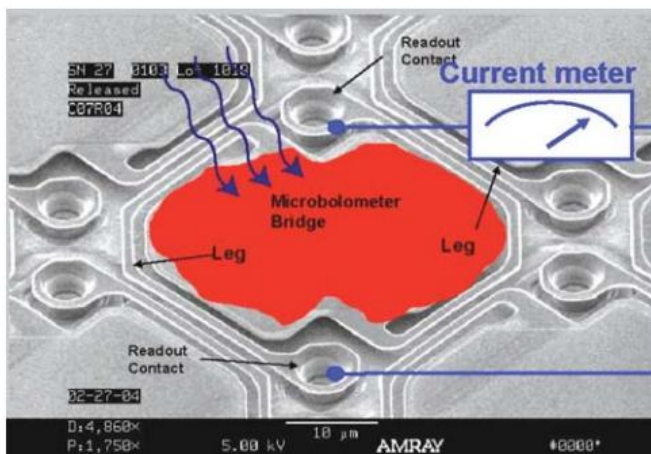


Fig. 4.3 Esquema i ampliació de sensor individual de microbolòmetre (Font: Rnds)

La majoria de càmeres actuals utilitzen microbolòmetres ja que són sistemes molt més barats. A més, com que no necessiten ser refrigerats, permet construir equips més compactes i còmodes per a aplicacions civils, a l'hora que se'n facilita la construcció, fet que repercuteix a disminuir el cost final del producte.

4.3.3. Software de processament d'imatges.

Un cop cada diminut sensor individual proporciona una petita senyal elèctrica mesurable, un software associa aquest valor elèctric a un color. Aquesta senyal elèctrica que proporciona cada sensor individual, el software l'associa a un píxel de la pantalla integrada a les càmeres. Per tant, resumint, el procés és força senzill: un detector format per molts sensors diminuts proporciona un seguit de senyals elèctriques, tantes com petits sensors tingui el detector. Aquestes senyals elèctriques són conduïdes a un conjunt sensor electrònic. Aquest conjunt electrònic associa cada una de les senyals

elèctriques que li arriben a un píxel, que un software s'encarregarà de transformar a un color visible, depenent de la intensitat del senyal elèctric ja que, com s'ha mencionat anteriorment, la intensitat del senyal dependrà de la intensitat del propi raig infraroig. Per tant, a més intensitat de senyal elèctrica més intensitat infraroja, el que significa més temperatura radiada. El color en el que el software transformarà la senyal elèctrica també dependrà de la paleta de colors que utilitzem, o que utilitzi l'equip escollit.

4.3.4. Interfície d'usuari.

Actualment la majoria de càmeres utilitzades per aplicacions civils, que són en les que es centrarà el present projecte, compten amb una interfície senzilla i intuïtiva accessible per a qualsevol perfil d'usuari.

Totes incorporen una pantalla LCD encarregada de mostrar en temps real la imatge en escala cromàtica per apreciar les diferents temperatures del que es vol mesurar. També ens mostra els valors en temperatura de l'escala de colors, per tenir una referència i saber a quina temperatura es troben els cossos que estem veient a través de la càmera. Mentre no s'està mesurant res, la pantalla ens pot mostrar la galeria d'imatges que hem enregistrat i guardat, el menú del software amb la configuració, i altres aplicacions depenent de tipus d'equip.

Els equips més moderns incorporen la mateixa pantalla LCD amb funcions tàctils, per facilitar-ne la navegació pels menús i fer-la més intuïtiva. Si no, trobem un sistema de botons simples a la mateixa carcassa de la càmera. Aquests botons ens permeten navegar pel menú i realitzar totes les funcions que pugui incorporar la càmera, ja sigui zoom, disparar fotografies, i altres.



Fig. 4.5 Interfície d'usuari de càmera termogràfica (Font: PCE Ibérica)

5. Procediments per a una correcta mesura.

Aquest capítol és un dels més importants a l'hora de poder avaluar eficiències energètiques, ja sigui en edificis en aquest cas, o en qualsevol altre camp. L'únic amb què es comptarà per a fer els anàlisis corresponents seran les pròpies imatges tèrmiques. Per tant han de comptar amb tota la objectivitat que sigui possible, i aquest fet passa per a fer una correcta medicació o captura d'imatges.

5.1. Temperatura aparent.

Un dels punts més clau a tenir en compte va estretament relacionat amb la emissivitat, que ja s'ha tractat anteriorment. Un fet molt important que s'ha de comprendre és que, a diferència del que s'acostuma a pensar, una càmera termogràfica no capta la temperatura a la que està un cos. Si no que el que pot percebre la càmera és la intensitat de radiació tèrmica que desprèn l'objecte. Per tant, hi juga un paper clau la emissivitat dels cossos. Com em vist a la Fig. 3.1 diferències d'emissivitat a un cos pot donar una percepció de diferència tèrmica a la imatge termogràfica. Però el que realment és, és una diferència d'emissivitat d'una part de l'objecte.

El que mesura la càmera doncs, com que no és la temperatura real si no que depèn de la emissivitat, se'n diu temperatura aparent, i ens mostra la intensitat de radiació del cos. És molt important apuntar que, si el cos que s'està mesurant té una alta emissivitat, la temperatura aparent s'aproximarà molt a la temperatura real d'aquest. Mentre que si és de baixa emissivitat, la temperatura aparent és molt semblant a la temperatura aparent dels cossos del seu voltant.

És per tot això que totes les càmeres termogràfiques disposen d'uns valors d'emissivitat predeterminats per a diferents tipus de materials, que s'hauran d'ajustar depenent de la mesura que s'estigui realitzant.

5.2. Compensació de valors.

El fet que s'ha tractat en el capítol anterior ens porta a parlar de la compensació de la temperatura enregistrada. Totes les càmeres poden modificar els paràmetres de temperatura aparent, la emissivitat dels objectes, la distància a que es mesura, la temperatura exterior i la humitat. Aquestes modificacions es poden fer a la mateixa càmera, mentre es prenen les imatges, o posteriorment mitjançant un software d'anàlisis

de termografies. Això permet modificar una mica la temperatura aparent per aproximar-la tant com sigui possible a la temperatura real.

5.3. Eines de les càmeres i softwares.

A la pantalla de les càmeres, i també amb els softwares d'anàlisi de termografies per a ordinador, hi ha eines que permeten mesurar temperatures de manera molt àgil. El primer mètode es tracte del punter. Consisteix en posar punts de mesura a la pantalla, i aquell punt proporcionarà el valor de temperatura que està enregistrat en aquell píxel concret. L'altre eina és el de àrea, especialment útil per a edificació. Consisteix en dibuixar una forma poligonal a la imatge tèrmica, el qual proporcionarà la temperatura màxima, la mínima i la mitjana enregistrada en aquella secció.

Gràcies a aquesta eina de confeccionar àrees de mesura, apareix una altre eina d'anàlisi molt útil. Es tracta d'un histograma i és un gràfic en forma de barres que ens mostrarà el percentatge de cada temperatura que hi ha en l'àrea marcada respecte el total de la mateixa àrea.

També podem contar amb la isoterma. Una eina capaç de identificar zones a una determinada temperatura. Consisteix en canviar el color de la paleta de colors d'una certa temperatura (o interval de temperatures) per un color fixa i més visible. D'aquesta manera, tots els punts de la imatge que estiguin a la temperatura fixada, es representaran del color escollit i seran ràpidament identificables.

L'ajustament tèrmic és també una eina important, ja que permet ajustar el rang de temperatures de la paleta de colors, de manera que es puguin apreciar correctament les diferències de temperatura. Aquests paràmetres, igual que el factor emissivitat, es poden introduir i variar mentre s'estan fent les captures. D'aquesta manera es podran minimitzar aquests efectes de distorsió.

5.4. Les condicions de l'entorn.

Tal i com s'ha mostrat a les equacions (3.4) i (3.5) la radiació total que s'enregistre és igual a 1. Però aquest fet només es produeix a la teoria, en un hipotètic cas ideal. A la realitat, la radiació rebuda no arriba mai a 1 ja que una petita part d'aquesta radiació l'absorbeix l'atmosfera, depenent de quina quantitat d'aire hi hagi entre la càmera i l'objecte a mesurar, la qualitat de l'aire, si hi ha moltes partícules en suspensió, etc. Per

a controlar aquestes variables s'ha de tenir en compte tres factors: la distància entre la càmera i el cos a mesurar, la temperatura d'aquest aire i la seva humitat.

5.5. Els reflexes.

Els reflexes són un fenomen que mereixen un capítol a part. Poden afectar greument als valors de mesura, i és per això que s'han de saber identificar. Tenen especial incidència en superfícies llistes, polides, i reflectants en general. En el camp de l'edificació, al que va destinat aquest projecte, els elements més crítics són les finestres. En una finestra, igual que en un mirall amb la llum visible, podem veure reflectida la nostre pròpia silueta en emissions d'infraroig, mentre s'efectua la captura de la fotografia. Aquests fets s'han d'intentar evitar si es vol una mesura correcta. Per això podem adoptar diferents mesures:

- Fer la fotografia amb un cert angle respecte la finestra. Si s'efectua la foto completament perpendicular a la finestra, la càmera estarà fotografiant el nostre propi reflex en el vidre, mostrant una temperatura lleugerament més elevada de la real.
- Els reflexos són fàcilment identificables. Doncs no mostren un gradient tèrmic, si no que té una silueta molt marcada.
- Evitar els reflexes del sol en el objectes. Aquest fet ens proporcionarà una temperatura aparent molt més elevada degut als rajos del sol.

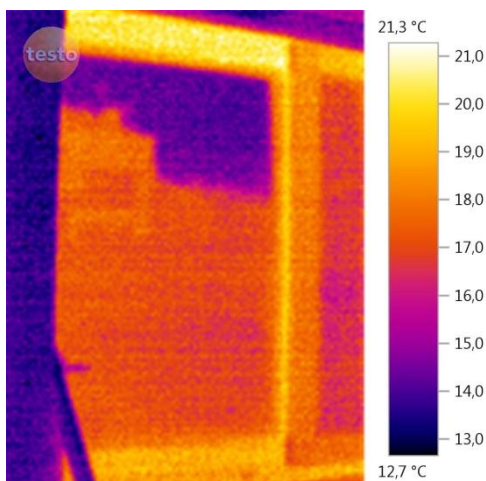


Fig. 5.1 Exemple de reflex d'un edifici i el cel en una finestra (Font: Pròpia)

En definitiva, evitar qualsevol tipus de reflex de la llum solar, o d'altres fonts de calor, especialment en superfícies molt reflectants com vidres.

5.6. Conclusions

Per interpretar les termografies correctament, el tècnic encarregat de les mesures necessita conèixer els fets que influeixen als resultats de les mesures i que en poden variar els seus valors. També s'han de tenir en compte les condicions meteorològiques ja que la temperatura ambient i humitat poden tenir una gran influència en les lectures. Com ja s'ha comentat, també s'ha de tenir en compte la incidència de llum solar directe en alguns punts ja que n'eleva la temperatura, així com ombres que en refredin la superfície.

La majoria de càmeres actuals realitzen automàticament les compensacions de les radiacions reflectides de diferents fonts provinents de l'entorn, hi ha una sèrie de paràmetres que s'han de proporcionar als equips termogràfics abans de procedir amb la mesura. Aquestes dades són: l'emissivitat de l'objecte, la temperatura reflectida, la distància entre l'objecte i la càmera, la humitat i la temperatura de l'atmosfera.

6. Anàlisi de la normativa de certificació energètica.

El dia 14 d'abril de l'any 2013 entrava en vigor a nivell Nacional el "Procediment Bàsic per a la Certificació de la Eficiència Energètica dels Edificis". Aquest procediment va ser publicat en el Butlletí Oficial de l'Estat nº 89 del 13 d'abril del mateix any, i en feia voluntària la seva aplicació fins el dia 1 de juny del 2013. A partir de l'1 de juny, però, podia ser exigible la presentació d'aquest document certificador d'eficiència energètica per als contractes de compra-venta o lloguer.

Tot aquest procés començava l'any 2002 al Parlament Europeu i del Consell, on s'establien les exigències relatives a la certificació energètica d'edificis en la Directiva 2002/91/CE, el 16 de desembre. Aquestes exigències es van traslladar al Real Decret 47/2007 al 19 de gener, mitjançant el qual es va aprovar el Procediment bàsic per a la certificació de la eficiència energètica d'edificis de nova construcció, quedant pendent de regulació la certificació energètica dels edificis existents.

Posteriorment la Directiva 2002/91/CE va ser modificada mitjançant la Directiva 2010/31/UE del Parlament Europeu i del Consell, el dia 19 de maig del 2010, fet que va fer necessària una nova transposició al ordenament jurídic espanyol. Aquestes modificacions s'executaven tornant a difondre, mitjançant una única disposició, el vàlid de la Directiva 47/2007 completant-la amb les novetats que incorpora la nova directiva i ampliant el seu àmbit a tots els edificis, inclosos els existents.

Finalment s'aprova el procediment bàsic per la certificació de l'eficiència energètica dels edificis amb el Real Decret 235/2013, que va entrar en vigor el passat 14 d'abril del 2013.

6.1. Real Decret 235/2013.

El Real Decret 235/2013 publicat el dissabte 13 d'abril del 2013 en el B.O.E. número 89, conté el dret que tenen els compradors o usuaris d'edificis de disposar d'un document que en certifiqui l'eficiència energètica. Aquest document haurà d'incloure informació objectiva de l'eficiència energètica, juntament amb valors de referència, perquè els compradors o usuaris en puguin comparar els resultats i puguin avaluar-ne la seva eficiència. Aquests valors de referència, els requisits mínims d'eficiència

energètica, es poden trobar en el “Código Técnico de Edificación”, que més endavant se n’especificarà el contingut.

L’objectiu principal que vol aconseguir aquest decret és informar de les emissions de CO₂ per l’ús d’energia en el sector residencial, fet que facilitarà adoptar mesures al respecte a l’hora d’intentar reduir el consum energètic global, les emissions a l’atmosfera, etc. A més, la valoració dels edificis farà que siguin comparables. Els millors en eficiència comptaran amb un valor afegit per als compradors o usuaris, facilitant-ne la promoció i prometent un estalvi econòmic considerable a llarg termini amb l’estalvi d’energia.

Aquest decret també anuncia una obligació a llarg termini, i és que a partir del 31 de desembre del 2020 els edificis de nova construcció (els que es construeixin a partir d’aquesta data) tinguin un consum d’energia gairebé nul. Això vol dir que els edificis s’hauran de valer per ells mateixos a l’hora de il·luminar, calefactar, refrigerar, etc. A partir del 2021, els edificis hauran de ser, en gran mesura, autosuficients.

S’estableixen també els terminis per la adaptació del procediment de certificació per als edificis existents i per la obtenció del certificat.

6.1.1. Àmbit d’aplicació.

Aquest procediment bàsic per a la certificació energètica serà aplicable a:

- Edificis de nova construcció.
- Edificis o parts d’edificis que es venguin o es lloguin i que no disposin d’un certificat en vigor.
- Edificis o parts d’edificis en els que una autoritat pública ocupi una superfície útil total o superior a 250 m² i hi hagi trànsit de públic considerable.

També es mostren en el mateix document els edificis que queden exclosos del procediment de certificació.

6.2. Procediments de certificació segons normativa.

A continuació es mostrarà, com descriu el Real Decret 47/2007, que és al que fa referència el 235/2013 vigent fins a la data d’elaboració del present projecte, la metodologia de càlcul per a la qualificació d’eficiència energètica en edificis.

Primer de tot cal citar l'article 3 del Real Decret esmentat anteriorment, on fa una citació de documents que poden ser reconeguts per a la certificació d'eficiència energètica. Es tracte de documents tècnics que han de ser reconeguts tant per el Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç com per el Ministeri de Vivenda.

Aquests documents reconeguts poden ser:

- Programes informàtics de qualificació energètica
- Especificacions i guies tècniques de certificació energètica
- Qualsevol altre document que en faciliti la certificació, exclosos els que es refereixin a la utilització d'un producte o sistema particular o sota patent.

6.2.1. Mètodes d'obtenció.

Segons l'article 4 del Real Decret esmentat, l'obtenció de la qualificació energètica es pot realitzar mitjançant dues opcions diferents:

- A través d'un programa informàtic que desenvoluparà els càlculs necessaris de manera automàtica. Aquest mètode s'anomena sistema general.

Si s'opta per aquesta via, hi ha dues possibilitats més: el software LIDER o el CALENER, que és una simple actualització del primer, o bé utilitzar un programa informàtic alternatiu.

El primer cas, el LIDER o CALENER, és tracte d'un software reconegut i oficial a tot l'estat Espanyol, amb el qual una correcte aplicació és suficient per complir els requisits establerts de càlcul. És un software de lliure obtenció per a tothom.

En el cas de voler utilitzar un programa alternatiu, ha de complir les especificacions tècniques de la metodologia de càlcul que més endavant es descriuran, i ha d'estar reconegut tal i com explica l'article 3 que hem citat anteriorment.

- O bé es pot optar per un sistema simplificat on es desenvolupen les mateixes metodologies de càlcul que en el cas anterior però de manera indirecte i sense programa informàtic.

A mode de fer més entenedor els possibles processos, observar l'esquema:

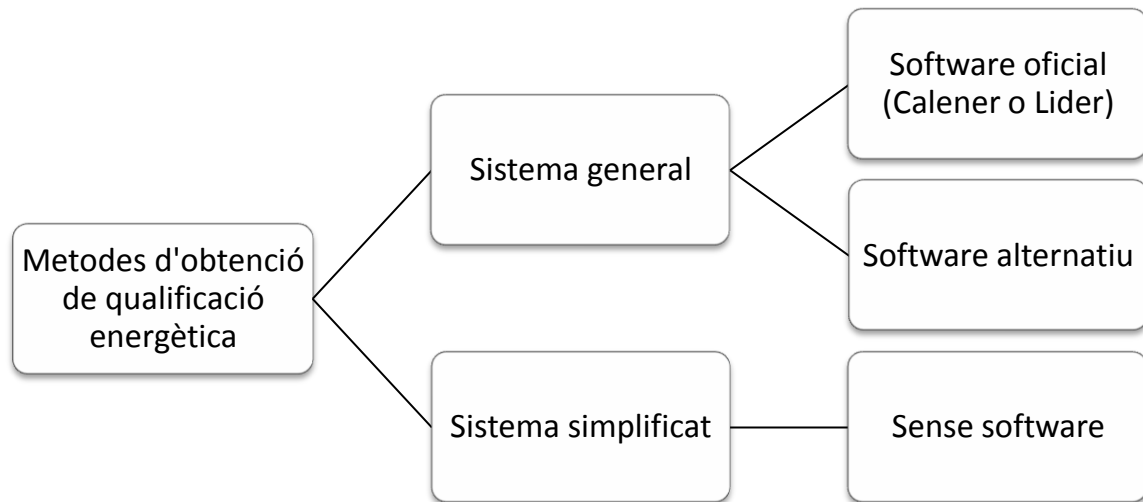


Fig. 6.1 Esquema dels possibles processos d'obtenció de la qualificació energètica. (Font: Pròpia)

6.2.2. Contingut.

Tal i com descriu l'article 5 del Real Decret 47/2007, els certificats d'eficiència energètica hauran de contenir, com a mínim, la següent informació:

- Identificació de l'edifici
- Indicació de quina normativa energètica li es aplicada en el moment de construcció.
- Indicació del mètode triat, general o simplificada, i el software usat en cas de mètode general.
- Descripció exhaustiva de les característiques de l'edifici: característiques tèrmiques, condicions de l'entorn, condicions de funcionament i ocupació, instal·lacions, etc.
- Etiqueta d'eficiència energètica normalitzada.
- Descripció de inspeccions, proves i comprovacions dutes a terme durant la construcció de l'edifici.

6.2.3. Metodologia de càlcul.

Com descriu l'annex I del Real Decret 47/2007, el mètode per calcular els índexs de qualificació, que més endavant es descriuran i que serviran finalment per associar-los a un valor d'eficiència, s'anomena "auto-referent". Aquest sistema es basa en la comparació de dos edificis: el edifici a certificar i el de referència. Aquest edifici de referència ha de complir una sèrie de condicions segons normativa, mentre l'edifici a certificar es considera tal i com està: forma, mides, orientació i instal·lacions.

Les característiques a complir per l'edifici de referència són:

- Mateixes mides i forma que l'edifici a certificar.
- Mateixa distribució interior i us de les zones interiors.
- Qualitats constructives que compleixin els requisits mínims d'eficiència energètica segons la secció HE1 del Codi Tècnic de l'Edificació.
- Sistema d'il·luminació que compleixi els requisits mínims d'eficiència energètica segons la secció HE3 del Codi Tècnic de l'Edificació.
- Instal·lacions tèrmiques que compleixi els requisits mínims d'eficiència energètica segons la secció HE2 del Codi Tècnic de l'Edificació.

La certificació de l'edifici en qüestió s'haurà de fer en condicions normals de funcionament i ocupació, depenent de l'ús de l'edifici.

6.2.4. Dades de softwares.

Com descriu el mateix apartat del Real Decret 47/2007 que el capítol anterior, els softwares utilitzats per a certificar se'ls hi exigeix, per normativa, una sèrie de dades a calcular:

- El consum horari de tots els equips que intervinguin a les necessitats energètiques: calderes, refrigeradors, ventiladors, il·luminació, etc.
- Consum horari dels equips anteriors, tenint en compte el seu comportament a carrega parcial.
- Consum horari dels equips anteriors, tenint en compte el moment en que s'utilitzen i com pot afectar aquest moment en les condicions de l'entorn: temperatura de l'aire exterior, humitat, etc.

A part d'aquestes dades a calcular, els softwares hauran d'incorporar una sèrie d'aspectes per assegurar uns resultats òptims:

- Situació i orientació de l'edifici.
- Condicions ambientals interiors.
- Condicions climàtiques exteriors.
- Característiques tèrmiques dels tancaments.
- Sistemes solars passius i protecció solar.
- Instal·lacions tèrmiques dels edificis, tant individuals com col·lectives, incloent les característiques d'aïllament dels conductes.
- Ventilació natural.
- Instal·lació de il·luminació interior artificial.
- Il·luminació natural.
- Sistemes de calefacció o producció d'electricitat basats en fons d'energia renovable.
- Electricitat produïda per cogeneració.

6.2.5. Etiqueta normalitzada.

Com mostra l'annex II del Real Decret 47/2007, l'etiqueta d'eficiència energètica dels edificis dins el territori espanyol haurà d'incloure, com a mínim, la següent informació:

- Zona climàtica de l'edifici, segons ordena el HE1 del Codi Tècnic d'Edificació, la localitat i l'ús.
- Consum d'energia expressat en kWh/any i kWh/m² any.
- Emissions de diòxid de carboni expressat en kgCO₂/any i kgCO₂/m² any.
- Programa informàtic utilitzat en cas d'optar per mètode general.
- Data de validesa del certificat. Cal apuntar que el certificat d'eficiència energètica té una validesa màxima de 10 anys.

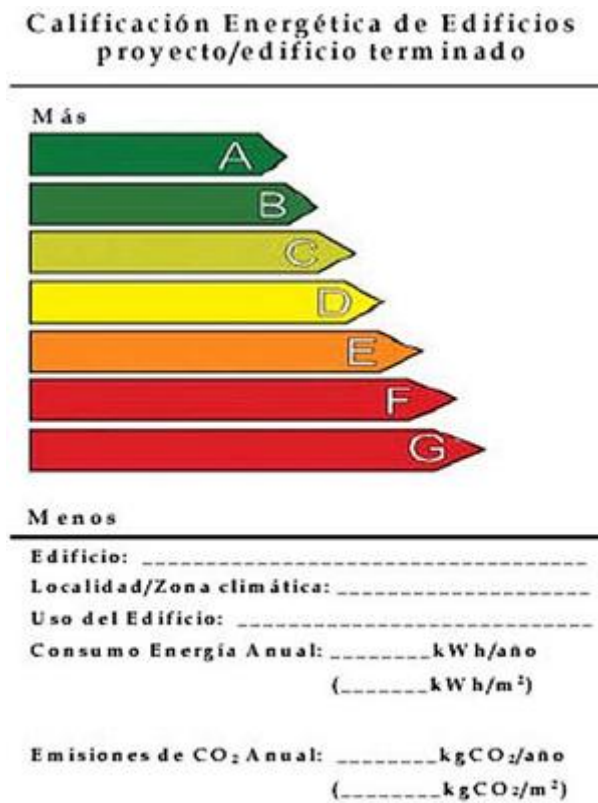


Fig. 6.2 Etiqueta normalitzada d'eficiència energètica d'edifici. (Font: Gobierno de España).

Aquestes etiquetes acabades de descriure són les referents a les de certificació d'edificis. Les referents a vivendes varien lleugerament, i han d'incloure:

- Normativa vigent quan es va construir la vivenda.
- Referència cadastral.
- Tipus d'edifici.
- Localització de la vivenda.
- Consum d'energia expressat en kWh/m² any.
- Emissions de diòxid de carboni expressat kgCO₂/m² any.
- Registre.
- Data de valides.

QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA DE L'EDIFICI ACABAT ETIQUETA

QR CODE

DADES DE L'EDIFICI

Normativa vigent construcció/rehabilitació:

Tipus edifici:

Adreça:

Municipi:

Referència cadastral:

C.P.:

C. Autònoma:

ESCALA DE LA QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA

	CONSUM D'ENERGIA kWh/m ² any	Emissions kg CO ₂ / m ² any
A	20	13
B		
C		
D		
E		
F		
G		

REGISTRE

Vàlid fins dd/mm/aaaa

ESPAÑA
Directiva 2010 / 31 / UE




Fig. 6.3 Mostra d'etiqueta normalitzada d'eficiència energètica de vivenda. (Font: Gobierno de España).

6.2.6. Qualificació d'eficiència energètica.

La qualificació d'eficiència energètica assignada a un edifici es valora a partir d'una escala de set lletres, on A representa l'edifici més eficient, i G el menys eficient. La qualificació es determinarà a partir d'uns índexs de qualificació, determinats per unes formules matemàtiques.

La relació entre aquests índex de qualificació i l'escala de set lletres ve donada, en el cas de l'eficiència d'edificis destinats a vivendes, per la següent taula:

Qualificació d'eficiència energètica de l'edifici	Índex de qualificació d'eficiència energètica
A	$C1 < 0,15$
B	$0,15 \leq C1 < 0,50$
C	$0,50 \leq C1 < 1,00$
D	$1,00 \leq C1 < 1,75$
E	$C1 > 1,75$ i $C2 < 1,00$
F	$C1 > 1,75$ i $1,00 \leq C2 < 1,5$
G	$C1 > 1,75$ i $1,50 \leq C2$

Taula 6.1 Relació índex de qualificació i qualificacions per a vivendes (Font: Gobierno de España).

Aquests índexs que serviran per qualificar l'eficiència de la vivenda, es calcularan a partir de les formules matemàtiques següents:

$$C1 = \frac{\left(\frac{I_o}{I_r} \cdot R\right) - 1}{2(R-1)} + 0,6 \quad (6.1)$$

$$C2 = \frac{\left(\frac{I_o}{I_s} \cdot R'\right) - 1}{2(R'-1)} + 0,5 \quad (6.2)$$

on:

I_o = són les emissions de CO_2 de l'edifici degudes només a la calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària.

I_r = valor mig d'emissions de CO_2 degudes a calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària dels edificis de nova construcció que compleixin la secció d'Estalvi Energètic del Codi Tècnic d'Edificació.

R = rati entre el valor I_r i el valor d'emissions de CO₂ de calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària, corresponent al percentil del 10% d'edificis de nova construcció que compleixin els mateixos requisits que I_r .

I_s = valor mig d'emissions de CO₂ degudes a calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària, de tots els edificis de vivendes l'any 2006.

R' = rati entre el valor I_s i el valor d'emissions de CO₂ de calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària, corresponent al percentil del 10% de tots els edificis de vivendes l'any 2006.

Aquests valors, I_r , I_s , R i R', són valors complexos de calcular i es poden trobar en un document oficial.

Per a edificis no destinats a vivendes les taules d'índexs de qualificació varia, quedant de la següent manera:

Qualificació d'eficiència energètica de l'edifici	Índex de qualificació d'eficiència energètica
A	$C < 0,40$
B	$0,40 \leq C < 0,65$
C	$0,65 \leq C < 1,00$
D	$1,00 \leq C < 1,3$
E	$1,3 \leq C < 1,6$
F	$1,6 \leq C < 2$
G	$2 \leq C$

Taula 6.2 Relació índex de qualificació i qualificacions per a edificis (Font: Gobierno de España).

En aquest cas l'índex C es calcula dividint les emissions de CO₂ de l'edifici a certificar entre les emissions de CO₂ de l'edifici de referència.

6.3. Codi Tècnic d'Edificació.

El Codi Tècnic de l'Edificació és un document extens on hi consten totes les exigències imposables en la construcció de qualsevol edifici. Des de la seguretat estructural fins a l'estalvi d'energia, aspecte en el que es centrarà aquest apartat, passant per seguretat en cas d'incendi, seguretat d'utilització i accessibilitat, salubritat, protecció contra el soroll i disposicions legislatives.

El document més rellevant a tenir en compte en relació amb el present projecte és el Document Bàsic HE. Aquest document del CTE és el dedicat a l'estalvi energètic, i s'hi poden trobar els valors i requisits de referència que han de complir els edificis que es construeixen a partir de la seva posada en vigor. Els aspectes més interessants del Codi Tècnic de l'Edificació per a aquest projecte seran els capítols destinats a la limitació del consum energètic (HE0) i el de rendiment de les instal·lacions tèrmiques (HE2).

Només a nivell descriptiu (si és vol ampliar la informació amb valors i dades concretes consultar els corresponents capítols del CTE HE) el capítol destinat a la limitació del consum energètic pretén aconseguir un ús racional de la energia, reduint a límits sostenibles el seu consum. També se n'observa la procedència, i es procura que una part del consum procedeixi de fonts d'energia renovables. Així doncs els edificis hauran de complir una sèrie d'exigències descrites en aquest mateix document com la limitació de la demanda energètica, el mateix rendiment de les instal·lacions tèrmiques, la eficiència de l'enllumenat, i una contribució d'energia solar mínima.

Respecte al capítol HE2, corresponent al rendiment de les instal·lacions tèrmiques, s'especifica que les instal·lacions tèrmiques hauran de proporcionar un benestar tèrmic als ocupants de l'edifici. Actualment, però, aquesta exigència es descriu en el Reglament de Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis (RITE).

6.4. Conclusions

Aferrant-se a la normativa descrita, es pot concloure que la termografia és una eina apta per a la certificació energètica. S'hauria d'optar per un sistema alternatiu si es volgués confeccionar l'informe sense l'ajuda de cap software. Si es volgués fer l'informe a partir de les termografies, com fan alguns programes, s'haurà de passar per reconèixer el software, incloent-hi totes les eines que obligatòriament ha de tenir.

Un cop elegit el mètode i realitzades les mesures, s'haurà de confeccionar un informe afegint-hi tota la informació addicional obligatòria segons la normativa que una termografia no pot proporcionar, com per exemple la zona climàtica de l'edifici, ocupació, instal·lacions, etc.

Finalment, gràcies a les termografies i la informació, s'hauran de fer els càlculs oportuns per a omplir la informació obligatòria de la etiqueta normalitzada. Com per exemple el consum energètic en kWh/m² any i les emissions de CO₂ en kgCO₂/m² any.

7. Auditories energètiques.

Les primeres auditories energètiques van sorgir com a seqüela de la crisi del petroli durant els anys 70s i inicis dels 80s. Un gran nombre d'empreses havia basat la seva estructura productiva en un consum intensiu d'energia, fins a la data molt barata. A conseqüència d'aquesta crisi, Espanya va notar la gran dependència energètica que patia i la Administració va incentivar la racionalització del seu consum. Aquesta reducció es va anar produint, molt lentament, gràcies a varis processos duts a terme com per exemple el d'auditories energètiques. Aquestes es van efectuar principalment en grans i mitjanes empreses, i en sectors on la demanda d'energia era considerable.

Tot i aquests inicis prometedors, creixements econòmic, desenvolupament tecnològic, creixement de la població i noves exigències han frenat la millora. És per això que s'ha de buscar nous sectors, individualment menys pesants a la balança del consum energètic però molt presents en la suma total, com els sectors de petites empreses i, evidentment, les vivendes.

Així doncs la certificació d'eficiència energètica és necessària, com ja s'ha comentat, per a llogar o vendre la gran majoria d'immobles des de l'any 2013. Per a fer possible aquesta certificació s'han creat una sèrie de processos per inspeccionar, estudiar i analitzar els fluxos d'energia en un edifici. S'anomenen auditories energètiques i té com a objectiu mostrar si el consum d'energia de l'immoble en qüestió està optimitzat. D'aquesta manera el client, llogater o comprador, pot saber si la unitat és millor en aspectes d'estalvi energètic comparat amb d'altres. També tenen com a objectiu poder recomanar millores per minimitzar les costos energètics sense disminuir el confort climàtic dins l'habitatge.

Aquesta necessitat ha promogut la creació d'un nou negoci, el de les auditories energètiques. La gran majoria d'aquestes empreses són empreses creades específicament per a la certificació d'edificacions o bé enginyeries que s'han sabut adaptar i han incorporat aquest servei al seu negoci.

La seva labor consisteix en realitzar estudis que analitzin l'eficiència energètica. Aquesta tasca és vital ja que la forma més rentable de reduir-ne el consum, mantenint a la vegada el nivell d'activitat i confort, és augmentant-ne aquesta eficiència ja sigui dels aparells, màquines, processos, aïllaments, etc. Per aconseguir-ho s'estudien aquests

elements, les condicions de l'entorn, la facturació d'energia, etc. Tots aquests estudis tenen com a objectiu final poder detectar mesures d'estalvi i eficiència energètica, establint possibles solucions.

7.1. Serveis d'auditories.

Tot i que habitualment s'anomenen auditories energètiques, darrera aquest nom les empreses auditories, o enginyeries, diferencien clarament entre tres serveix: els diagnòstics energètics, les auditories energètiques i les auditories energètiques d'inversió [7].

7.1.1. Diagnòstics energètics.

Per a poder optimitzar el consum energètic, s'ha de conèixer. Conèixer el consum energètic no es tasca senzilla, i vol dir que s'ha de saber quina quantitat d'energia es consumeix, a quins aparells, màquines o processos es destina i finalment avaluar com es pot reduir o optimitzar-ne el consum. Aquest és l'objectiu d'un diagnòstic energètic.

Aquesta classe d'estudis va més destinada a la indústria, a comerços amb gran demanda d'energia, o a sectors en general dels que se'n vol analitzar el seu consum global, com per exemple el sector hotelier, el sector metal·lúrgic, el sector automobilístic, etc.

7.1.2. Auditories energètiques.

Com ja s'ha comentat, són estudis centrats en una unitat concreta, ja sigui un habitatge, un comerç, una empresa, oficines, etc., en que un tècnic analitzarà els principals punts de consum d'energia, l'aïllament de l'edifici, la facturació energètica d'aquest, etc. Tot això amb l'objectiu de determinar si el consum energètic és òptim, si pot millorar i, en aquest cas, proporcionar accions a dur a terme per reduir el consum.

7.1.3. Auditories energètiques d'inversió.

També anomenades auditories energètiques ESE, són estudis més exhaustius en que s'analitzen, igual que en els casos anteriors, els aparells i processos de consum energètic, la facturació, les condicions de l'entorn, etc. Però, a diferència de les auditories energètiques corrents, les ESE tenen com a objectiu proporcionar mesures per reduir el consum energètic acompanyades d'un estudi financer (TIR, VAN, etc.). Gràcies a aquest estudi el client obtindrà informació sobre quines mesures adoptar si es vol reduir el consum, quina serà la inversió a destinar-hi, quin rendiment li traurà, quin

serà el període de retorn, etc. Per tant, degut a la seva finalitat, aquestes auditories es destinen majoritàriament al sector secundari, i també en menys mesura al terciari.

7.2. Tècnics auditors.

El Real Decret sobre certificació energètica no concreta quins tècnics poden realitzar la certificació energètica. Tant sols especifica que aquestes certificacions les haurà de realitzar un tècnic competent, i el mateix Real Decret defineix com a tècnic competent “el tècnic que estigui en possessió de qualsevol de les titulacions acadèmiques i professional habilitant per la redacció de projectes o direcció d’obres i direcció d’execució d’obres d’edificació o per a la realització de projectes de les seves instal·lacions tèrmiques, o que hagi acreditat la qualificació professional necessària per subscriure certificats d’eficiència energètica”.

Així doncs, les formacions acadèmiques que habiliten per firmar aquest tipus de certificacions són les de enginyer, enginyers tècnics, arquitectes i arquitectes tècnics, sense necessitat de que estiguin col·legiats. Degut a la gran demanda de certificacions però, empreses ofereixen cursos de formació de certificació energètica que permeten a qui els cursen poder firmar oficialment aquests tipus de documents.

8. Estudi d'eficiència tèrmica d'una vivenda. Sistema general.

Ja finalitzat el bloc 1 del projecte, amb una basant més d'investigació, anàlisi i obtenció de coneixement, amb aquest capítol s'inicia la part pràctica del projecte. En aquest segon bloc doncs, s'hi podrà trobar la certificació real d'una vivenda real, situada a la ciutat de Mataró. S'analitzarà la mateixa vivenda utilitzant dos mètodes diferents: el sistema general, utilitzant el software oficial LIDER, tal i com regeix el Real Decret 235/2013, i un mètode alternatiu utilitzant la tecnologia de la termografia. Se n'analitzaran les dades obtingudes en cada mètode, se'n farà una comparativa apuntant quines avantatges i quins inconvenients té cada sistema. Finalment és generarà un petit informe dels dos estudis realitzats.

8.1. Identificació de l'edifici.

Per a l'assoliment d'aquest estudi s'han valorat varies vivendes. Finalment s'ha optat per a una edificació que proporcionï diferents comportaments d'aïllament tèrmic, a fi de fer-ne més riques les comparacions i el mateix anàlisi de dades.

Es tracta d'una antiga casa de cos de la zona de Mataró centre, com es pot observar a la imatge 8.1.

És una edificació antiga, data de finals de 1800, a la qual s'hi van fer unes reformes per afegir-hi dues plantes superiors. La gran avantatge, i de fet el principal motiu pel qual s'ha triat aquesta vivenda, és que es podran analitzar els comportaments tèrmics d'elements de construcció força antics, i comparar-los amb els elements relativament moderns de les plantes superiors.

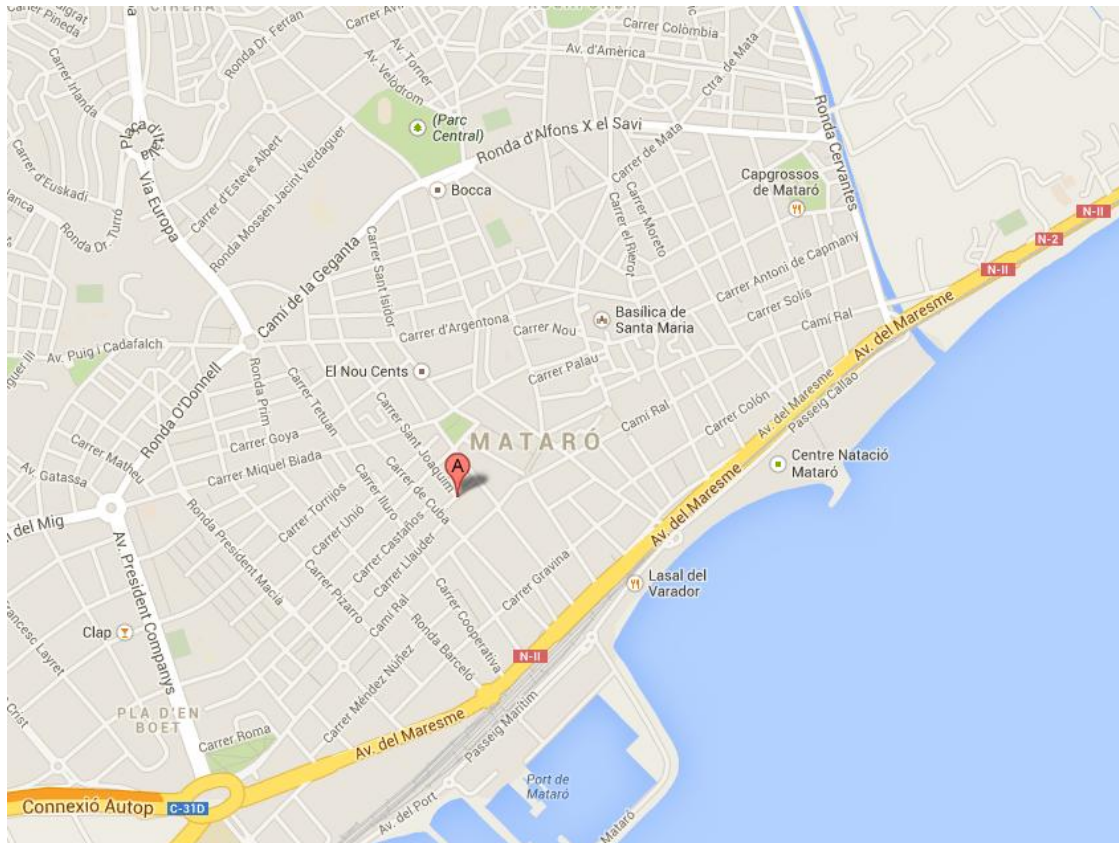


Fig. 8.1 Emplaçament de la vivenda analitzada (Font: Google maps).

8.2. Característiques de l'edifici.

Segons el Codi Tècnic de l'edificació, Barcelona i les seves rodalies, en aquest cas Mataró, es troben en una zona climàtica C2.

La casa és una construcció de tres pisos, tots tres en contacte lateral amb altres vivendes. La ocupació normal és de quatre habitants, amb unes condicions de funcionament i ús estàndards per a un habitatge. La façana principal està orientada a 40° respecte la horitzontal del nord. Finalment, les condicions de higrometria de l'edifici, segons expressa la norma EN ISO 13788: 2002, es tracta d'una classe 3 o inferior.

Amb totes aquestes dades de descripció de l'edifici introduïdes al programa, ja permet començar a elaborar els elements constructius d'aquest.

8.2.1. 1r pis.

El primer pis es tracta de la part de l'edifici més antiga, aproximadament de l'any 1890, amb unes parets exteriors gruixudes de fang i pedra de l'època. El software però, no

contempla aquest tipus de material a la seva base de dades. Per tant s'ha hagut d'agafar un material semblant que si que hi constes. A continuació en descriurem la composició per capes (de fora a dins) de les façanes i les parets laterals del primer pis:

Paret	Material	Gruix (m)
Façana principal / Façana posterior (1r pis).	Arrebossat de morter	0,010
	Mur de càrrega massís de BH.	0,300
Parets laterals (1r pis).	Mur de càrrega massís de BH.	0,300

Taula 8.1 Composició parets de 1r pis (Font: Pròpia).

En quan a les finestres del primer pis, totes menys una han estat modificades per garantir un bon aïllament de l'habitatge. Totes han estat reemplaçades per les actuals finestres de doble vidre, amb càmera interior d'aire, i amb marc d'alumini. Només una obertura d'un petit lavabo és mante original. Es tracta d'una petita finestra amb marcs de fusta i un vidre senzill:

Finestra	Marc	Vidres	Nº de finestres (1r pis)
Finestra moderna corredissa.	Alumini.	Doble panell amb càmera d'aire interior.	4
Finestra moderna tancament.	Alumini.	Doble panell amb càmera d'aire interior.	2
Finestra antiga tancament.	Fusta.	Panell simple.	1

Taula 8.2 Composició finestres de 1r pis (Font: Pròpia).

8.2.2. 2n pis.

El 2n i el 3r pis, com ja s'ha comentat, són reformes posteriors que es van fer a l'edifici original, per afegir-hi dues plantes superiors. Aquestes construccions daten de l'any 1996. Les composicions de les seves parts són:

Paret	Material	Gruix (m)
Façana principal / Façana posterior (2n pis).	Arrebossat de morter.	0,010
	Mur de BH convencional.	0,150
	Espuma aïllant de poliuretà.	0,100
	Envà senzill d'LH.	0,050
Parets laterals (2n pis).	Mur de càrrega massís de BH.	0,300

Taula 8.3 Composició parets de 2n pis (Font: Pròpia).

I les finestres:

Finestra	Marc	Vidres	Nº de finestres (1r pis)
Finestra moderna corredissa.	Alumini.	Doble panell amb càmera d'aire interior.	2
Finestra moderna tancament.	Alumini.	Doble panell amb càmera d'aire interior.	2

Taula 8.4 Composició finestres de 2n pis (Font: Pròpia).

8.2.3. 3r pis.

El tercer pis és tracta d'un estudi amb unes petites golfes. De composició exactament igual que el segon pis, i amb una gran finestra corredissa amb marc d'alumini i vidres de doble panell.

8.2.4. Sostres i teulada.

Els terres, que lògicament fan de sostre en el pis inferior, son de igual composició tots tres. Tant sols es diferencien una mica els terres de les terrasses, que fan de sostre en alguna habitació, i s'hi ha hagut de incorporar una tela asfàltica per drenar l'aigua. Les seves composicions (per capes de dalt a baix) són:

Terra / sostre	Material	Gruix (m)
Terres / sostres interiors.	Rajola de gres.	0,005
	Forjat reticulat entrebigat ceràmic.	0,300
	Cambra d'aire sense ventilar.	0,100
	Placa de guix laminat.	0,005
Terres / sostres terrasses.	Rajola de gres.	0,005
	Tela asfàltica.	0,010
	Forjat reticulat entrebigat ceràmic.	0,300
	Cambra d'aire sense ventilar.	0,100
	Placa de guix laminat.	0,005

Taula 8.5 Composició terres/sostres (Font: Pròpia).

I el sostre, en contacte directe amb l'estudi superior, esta compost de:

Teulada	Material	Gruix (m)
Teulada	Teula d'argila cuita.	0,100
	Tela asfàltica.	0,010
	Forjat reticulat entrebigat	0,250

	de formigó lleuger.	
	Cambra d'aire sense ventilar.	0,100 0,005
	Placa de fusta contraxapada.	

Taula 8.6 Composició teulada (Font: Pròpia).

8.3. Construcció de l'edifici.

Un cop creats tots els que el programa anomena tancaments, és hora de determinar-ne la estructura dimensional. Per a aquest apartat, el programa pot incorporar els plànols de la casa a l'apartat de dibuix, per fer-ho més exacte. Però com que el projecte de reformes de la casa es força antic, els plànols no van ser digitalitzats. Es per això que s'ha optat per mesurar els plànols amb la màxima exactitud possible, i dibuixar les diferents plantes amb les eines de dibuix que proporciona el software LIDER.

També s'ha d'instal·lar cadascuna de les finestres a les parets, tenint en compte l'altura i la posició en que es troben, òbviament.

Finalment el disseny obtingut ha estat:

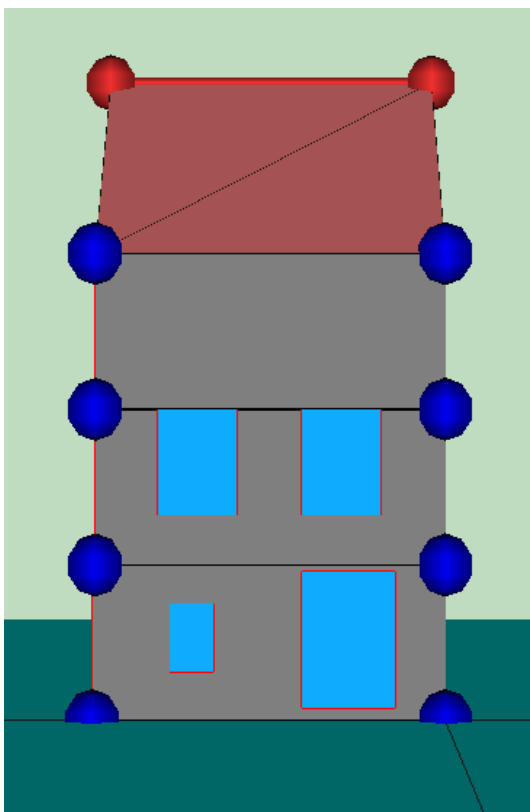


Fig. 8.2 Façana principal (Font: Pròpia).

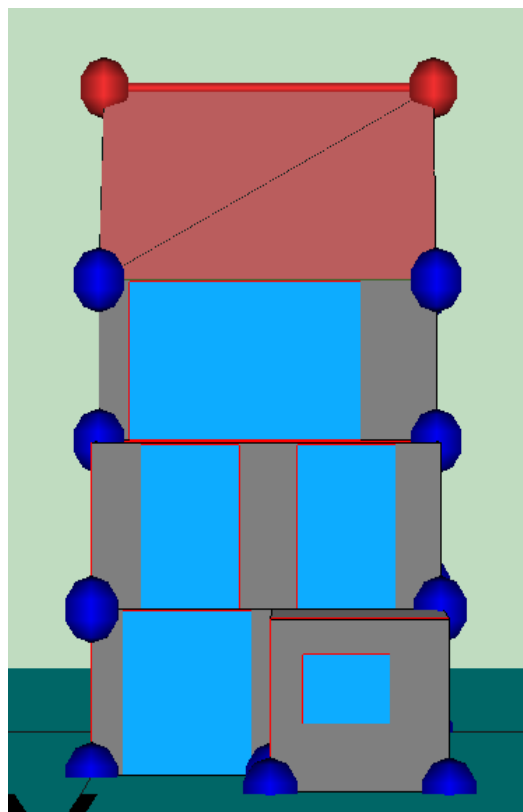


Fig. 8.3 Façana posterior (Font: Pròpia).

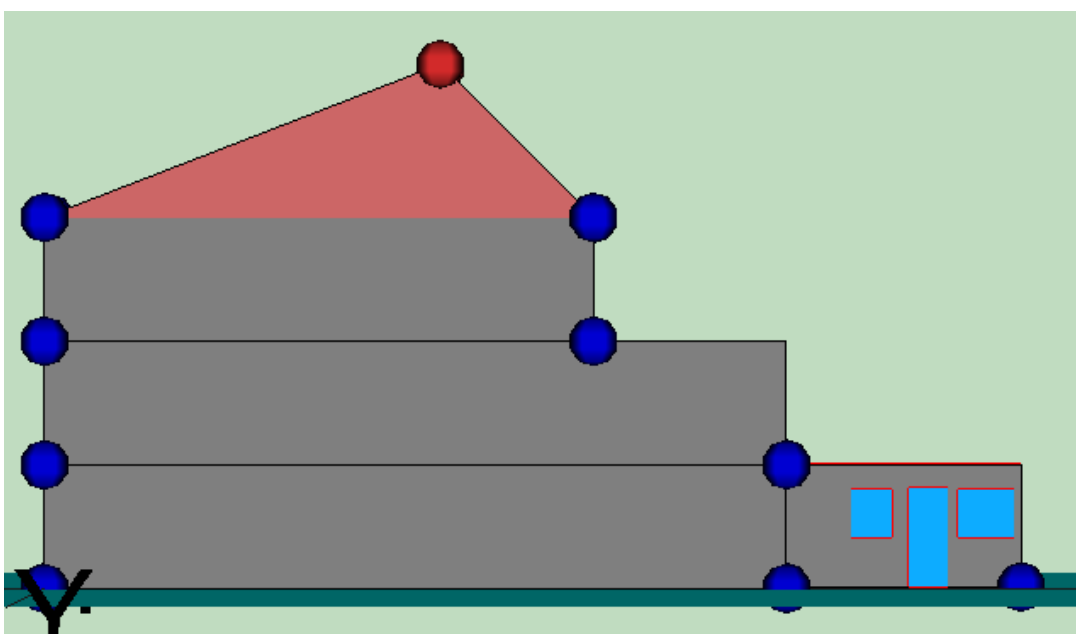


Fig. 8.4 Lateral dret (Font: Pròpia).

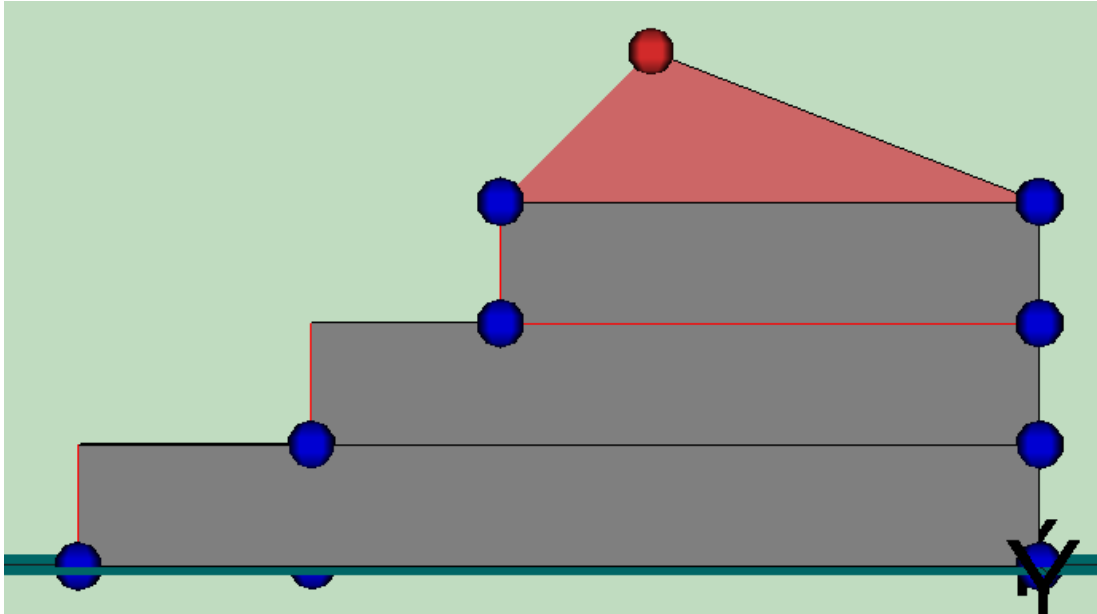


Fig. 8.5 Lateral esquerra (Font: Pròpia).

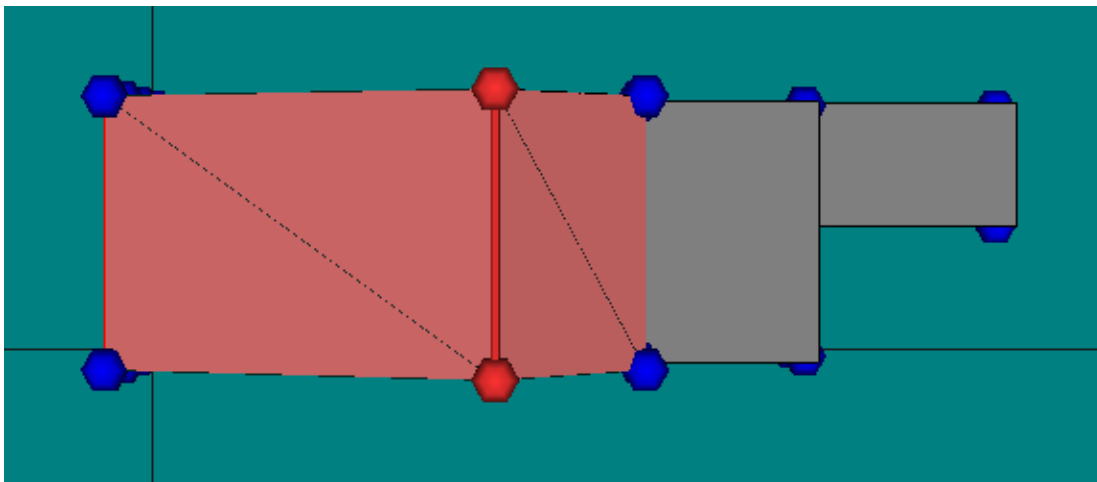


Fig. 8.6 Vista de planta (Font: Pròpia).

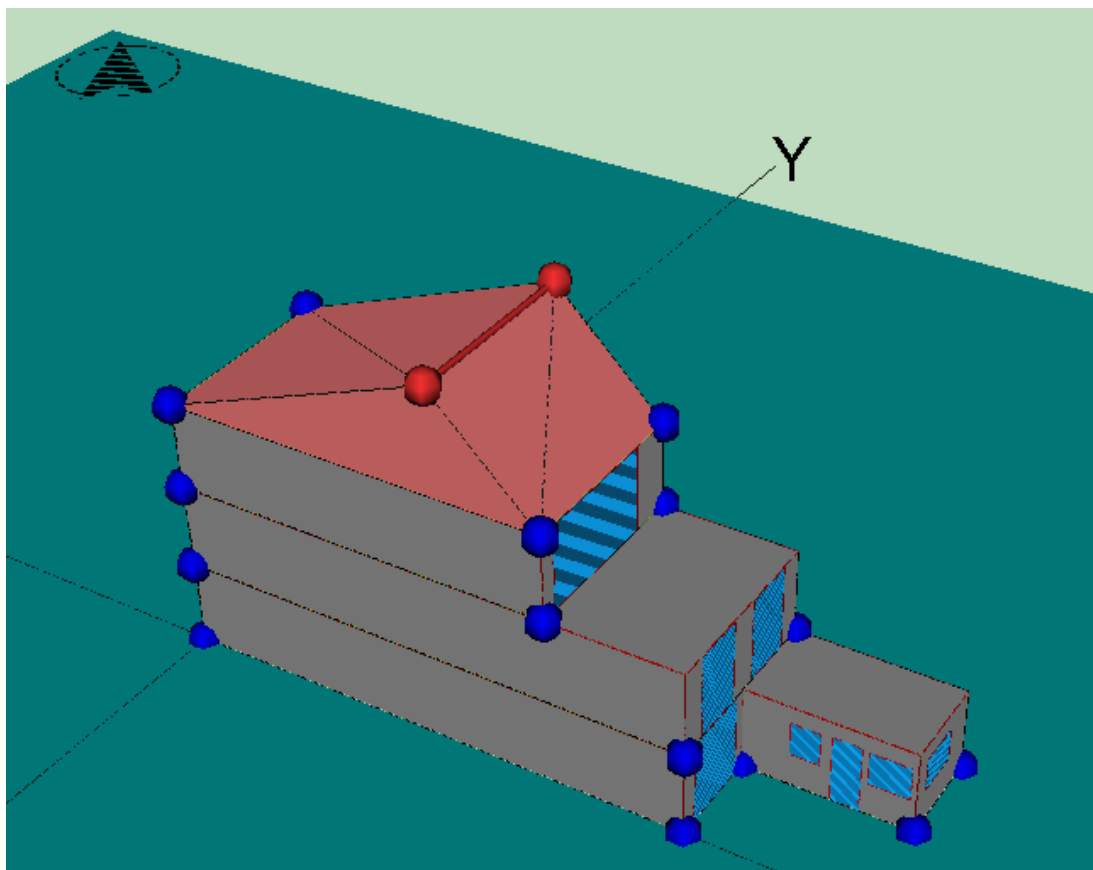


Fig. 8.7 Vista isomètrica (Font: Pròpia).

8.4. Resultats.

Gràcies a la introducció de totes aquestes dades descrites fins ara, el software LIDER compta amb un motor de càlcul el qual calcularà la demanda de calefacció i de refrigeració de l'edifici que s'ha creat. També calcularà les demandes de calefacció i refrigeració per a l'edifici de referència, tal i com s'ha comentat al capítol 6.2.3.

Tots aquests càlculs que realitza el programa generaran un informe⁴, el qual ens mostrarà els valors de demanda de l'habitatge, de cada secció, característiques dels materials usats, etc.

8.4.1. Interpretació de resultats.

Tot i que el software et proporciona un informe, s'han de saber interpretar els resultats correctament, ja que a vegades poden se confusos d'entendre.

⁴ L'informe complet es pot consultar a l'apartat Annex II.

En el cas del present projecte, s'ha obtingut que l'habitatge NO COMPLEIX la reglamentació establerta per l'apartat d'Estalvi d'Energia del CTE.

El primer que ens proporciona l'informe de resultats és una comparativa entre la vivenda a analitzar i la de referència de la demanda de calefacció i refrigeració:

	Calefacció	Refrigeració
% de la demanda de referència.	104,4	108,5

Taula 8.7 Comparació percentual de demandes (Font: Pròpia).



Fig. 8.8 Comparació gràfica de demandes (Font: Pròpia).

A la taula 8.7 s'hi pot observar com es sobrepassa la demanda, tant de calefacció com de refrigeració de l'edifici, respecte l'ideal de referència, ja que la demanda real de calefacció suposa un 104,4% de la de referència, i la de refrigeració un 108,5%.

A la figura 8.8 s'hi observen els mateixos resultats, més intuïtius, i com les dues columnes vermelles (les de la vivenda dissenyada) superen les blau cel (edifici de referència).

I, a part d'un plec de característiques de materials usats, valors, i altres, el programa també mostra una taula molt útil a l'hora d'analitzar el comportament tèrmic de la vivenda. Es tracta d'una taula on hi consten els diferents espais creats, en el cas d'aquest projecte seran les tres plantes. Per a cada planta en mostra el percentatge del valor

màxim trobat tant de demanda de calefacció com de refrigeració. Es a dir, a la planta on hi hagi la demanda màxima hi constarà un 100%, mentre que a les altres hi constarà el percentatge de demanda respecte aquest 100%. I també indica el percentatge de demanda respecte l'edifici de referència en cada zona.

Aquesta taula va molt bé a l'hora de localitzar els espais que reclamen més calefacció o refrigeració, i per tant on es pot actuar primer:

Espais	Àrea (m²)	Calefacció % de màx.	Calefacció % de ref.	Refrigeració % de màx.	Refrigeració % de ref.
1r pis.	98,0	100,0	89,9	42,9	73,6
2n pis.	84,0	96,8	125,7	79,3	114,8
3r pis.	62,2	63,8	110,0	100,0	147,2

Taula 8.8 Resultats per espais (Font: Pròpia).

8.5. Conclusions.

Gràcies a la taula 8.8 es pot saber ràpidament on s'hauria d'actuar per fer que aquesta vivenda complís la normativa.

Els fets més importants a observar són:

- La demanda màxima de calefacció és troba al 1r pis, mentre que la mínima es troba al 3r. Això és un fet lògic si es té en compte que l'aire calent, al ser menys dens, puja. Això farà que tota la escalfor produïda al 1r i 2n pis pugin cap al 3r, acumulant-se a dalt al trobar-se el sostre. Aquest fet doncs permet concloure que si es vol augmentar el nivell d'escalfor a tota la vivenda, serà suficient en fer-ho en el 1r pis, ja que si s'escalfen tots tres pisos s'estarà malbaratant la potència del 3r i part del 2n. També es pot extreure que, si es vol millorar l'aïllament, serà significatiu fer-ho a les parts altes de l'estança.
- El mateix succeeix amb la refrigeració. L'aire fred, al ser més dens, cau des del 3r pis fins al 1r, de manera que la major demanda de refrigeració es troba al pis superior, mentre que la mínima és troba a l'inferior. Les mateixes consideracions

se'n poden extreure: si es vol refrigerar la casa a l'estiu, serà suficient fent-ho al pis de dalt de tot, i se n'haurà de millorar l'aïllament al pis inferior.

9. Sistema alternatiu.

Després d'estudiar el comportament tèrmic de la vivenda objecte a partir del sistema general, a fi de relacionar la tecnologia de la termografia amb l'edificació que, de fet, és l'objectiu principal d'aquest projecte, s'ha volgut analitzar també a partir d'aquests imatges tèrmiques.

Per a la realització d'aquest estudi s'ha analitzat exactament la mateixa vivenda, amb la intenció de poder comparar resultats o complementar els obtinguts anteriorment amb les fotografies tèrmiques. S'ha utilitzat una càmera marca Testo model 880 que ha proporcionat l'EUPMT.

L'objectiu de l'estudi utilitzant aquest mètode alternatiu és observar d'una manera molt més objectiva, real, intuïtiva, precisa, etc. els punts crítics d'aïllament de l'edifici com poden ser finestres (tancaments, marcs, diferents vidres), portes i inclús façanes.

Per a l'assoliment dels objectius proposats en aquest capítol s'han fet un seguit de fotografies a finestres, portes i façanes, i un posterior anàlisi dels resultats obtinguts. A part d'aquest anàlisi, el software oficial de Testo ens confecciona un petit informe⁵ amb totes les fotografies preses a l'estudi.

9.1. La presa de dades.

La presa de dades i de fotografies han estat preses la nit del 23 al 24 de Maig, i la nit del 24 al 25 de Maig del 2014, sobre els volts de la 1 de la matinada. Els motius de fer les fotografies a aquesta hora han sigut, com ja s'ha comentat al capítol *Procediments per a una correcte mesura*, evitar els rajos del sol que poguessin causar errors de mesura.

També s'ha optat per aquesta hora per la diferència tèrmica entre l'interior de la vivenda i l'exterior. La càmera termogràfica, com ja s'ha explicat, capta la radiació tèrmica que emeten els objectes. Si l'interior de l'edifici es troba a la mateixa temperatura que l'exterior, òbviament l'edifici no perdrà calor interior per enlloc, ja que a fora hi ha la mateixa temperatura i no hi haurà intercanvi d'energia tèrmica. És per això que s'ha esperat a la nit, quan l'ambient exterior fos més fred i l'interior de l'edifici més càlid. Tot i això, s'ha d'apuntar que degut a l'època de l'any en que s'ha realitzat aquest projecte, i la zona, la diferència de temperatura no era suficient per a detectar

⁵ L'informe es pot consultar a l'apartat Annex III.

correctament les fugues de calor a l'edifici. És per això que s'ha alterat l'entorn natural de la vivenda a fi de fer més notable aquesta diferència.

Durant la realització de l'estudi, s'ha encès la calefacció de les estances amb finestres a l'exterior fins a assolir una temperatura interior al voltant dels 24°C. Mentre la temperatura exterior voltava els 18°C. De manera que la diferència de temperatura ha sigut d'uns 6°C, fet que proporcionarà una variació prou gran per poder observar-ne les fuges tèrmiques.

Sense més dilació, les termografies preses per analitzar l'habitatge, en el mateix ordre que apareixen a l'informe de l'*Annex III*, han estat:

Data Hora	Temperatura interior.	Humitat interior.	Temperatura exterior.	Humitat exterior.	Descripció de mesura.
23/05/2014 1:10	24,7 °C	44 %	19 °C	68 %	Finestra 1 – Cuina. Vidre doble amb cambra d'aire. Marc d'alumini amb tancament hermètic.
23/05/2014 1:10	24,7 °C	44 %	19 °C	68 %	Porta (part superior) – Cuina. Vidre doble amb cambra d'aire. Marc d'alumini amb tancament hermètic.
23/05/2014 1:10	24,7 °C	44 %	19 °C	68 %	Porta (part inferior) – Cuina.
23/05/2014 1:11	24,7 °C	44 %	19 °C	68 %	Finestra 2 – Cuina. Vidre doble amb cambra d'aire. Marc d'alumini. Corredissa.

23/05/2014 1:12	24,7 °C	44 %	19 °C	68 %	Finestra 3 – Cuina. Vidre doble amb cambra d'aire. Marc d'alumini. Corredissa. Amb cortina.
23/05/2014 1:13	24,7 °C	44 %	19 °C	68 %	Finestra 1 – Cuina. Detall marcs.
23/05/2014 1:14	24,7 °C	44 %	19 °C	68 %	Finestra 2 – Cuina. Detall juntes.
24/05/2014 0:50	23 °C	43 %	17 °C	64 %	Finestra 4 – WC 1. Vidre senzill. Marc de fusta amb tancament.
24/05/2014 0:50	23 °C	43 %	17 °C	64 %	Finestra 5 – Estudi. Vidre doble amb cambra d'aire. Marc d'alumini. Corredissa. Porticons exteriors de fusta.
24/05/2014 0:51	23 °C	43 %	17 °C	64 %	Finestra 6 – WC2. Vidre doble amb cambra d'aire. Marc d'alumini amb tancament hermètic. Amb persiana i cortina.
24/05/2014 0:51	23 °C	43 %	17 °C	64 %	Finestra 7 – Hab4. Vidre doble amb cambra d'aire. Marc d'alumini amb

					tancament hermètic. Amb persiana i cortina.
24/05/2014 0:52	23 °C	43 %	17 °C	64 %	Façana principal – 1r pis.
24/05/2014 0:52	23 °C	43 %	17 °C	64 %	Façana principal – 2r pis.
24/05/2014 0:52	23 °C	43 %	17 °C	64 %	

Taula 9.1 Relació de fotografia amb breu descripció (Font: Pròpia).

9.2. Resultats.

Gràcies al software de processament d'imatges de Testo, es poden editar les fotografies i canviar-ne alguns dels paràmetres clau per extreure'n conclusions més clares i significants, o simplement per fer-ne més entenedors i visibles els resultats. A continuació es mostraran algunes de les mesures a fi d'analitzar-ne els resultats obtinguts.

9.2.1. Anàlisi de mesures.

Les mesures s'han centrat sobretot en els punts que s'han considerat més vulnerables per a la pèrdua de calor o fredor interna de la vivenda. Aquests punts han estat principalment les finestres que donen directament a l'exterior, però també la façana principal de l'edifici, ja que és la que es troba més a la intempèrie.

A continuació es mostraran uns exemples de fotografies tèrmiques preses, la seva edició amb el programa de Testo, els resultats que ens proporcionen les diferents eines del mateix, i la seva correcte interpretació.

Partirem de la imatge tèrmica original, en aquest cas la Finestra 1, detallada a la taula 9.1:

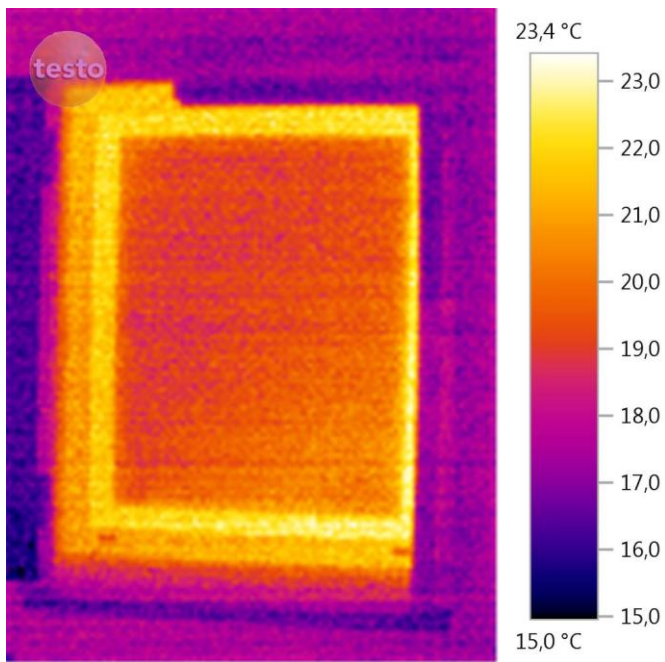


Fig. 9.1 Exemple de termografia Finestra 1 (Font: Pròpia).

En aquesta original s'hi pot observar l'objecte en qüestió, amb els diferents colors associats a la radiació d'energia tèrmica. Al costat d'aquesta, una escala cromàtica per identificar les diferents temperatures a la fotografia.

A partir d'aquesta original, se n'editarà el contingut amb les eines comentades a l'apartat *Eines de les càmeres i softwares*, a fi de poder-ne extreure conclusions més clares.

Primer de tot se'n pot editar l'escala cromàtica per deixar més clara i visible la zona calenta:

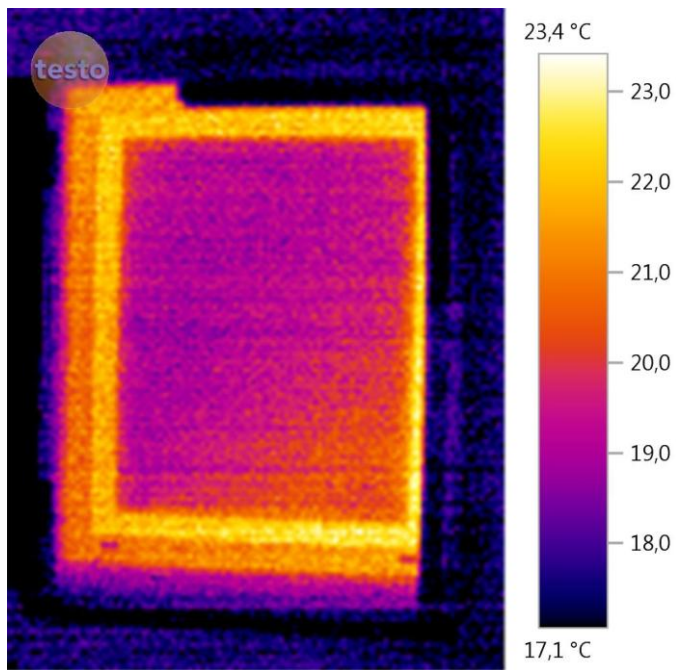


Fig. 9.2 Exemple de termografia modificada (Font: Pròpia).

Un cop més visible la zona calenta, es poden dibuixar àrees de mesura, on el programa ens proporcionarà un histograma de temperatures. Aquesta eina resulta molt útil per analitzar la temperatura que està irradiant el vidre o la finestra completa:

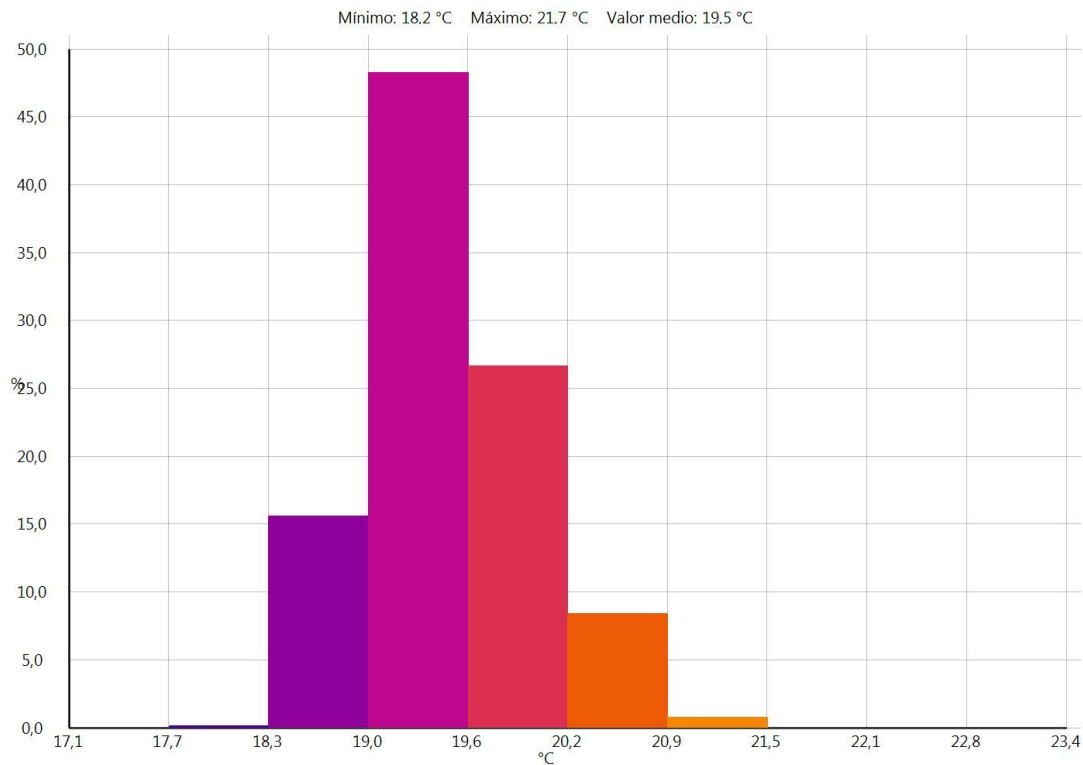


Fig. 9.3 Exemple d'histograma del vidre de la fotografia 9.2 (Font: Pròpia).

Aquest exemple es tracta de el histograma de la zona del vidre de la finestra 1. Podem observar a la part superior de la imatge que, en el vidre, hi trobem una temperatura mínima de 18,2 °C, una màxima de 21,7 °C i una mitjana de 19,5°C. En quant al diagrama de barres, podem observar a l'eix de les Y el percentatge de la zona que es troba a la temperatura marcada per l'eix de les X. Més d'un 25% d'aquest vidre, doncs, es troba a una temperatura de entre 19,6 i 20,2 °C, per exemple.

Si es vol fer un histograma de la finestra completa, no s'ha de fer res més que augmentar l'àrea de mesura de manera que englobi tota la finestra, marcs inclosos. El número de barres del histograma també és pot modificar, de manera que s'obtidran intervals de temperatura més petits i per tant més precisió en el gràfic.

També es pot realitzar una isoterma, considerant les temperatures que vulguem visualitzar. Per exemple, es suposa que la zona crítica en que vol millorar l'aïllament és tota aquella que superi els 21 °C:

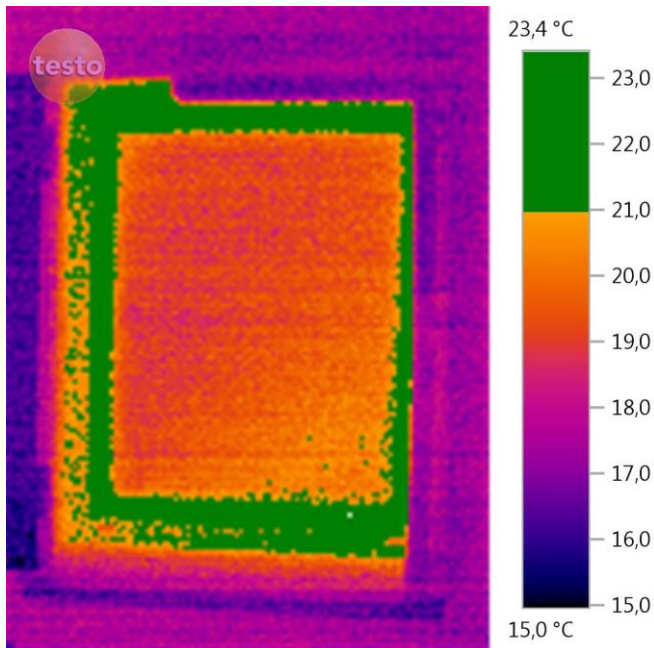


Fig. 9.4 Exemple d'isoterma de la finestra 1 (Font: Pròpia).

Podem observar doncs tota aquella zona que supera els 21 °C d'una manera molt més clara i directe, modificant-ne la escala cromàtica.

9.2.2. Càlculs.

Un cop analitzades tots els punts rellevants, i confeccionats els pertinents histogrames per analitzar-ne la distribució de temperatures superficials, ve el torn de convertir aquestes dades en valors analitzables per a una certificació energètica.

Per a relacionar aquestes imatges amb un valor fidedigne d'analitzar, s'ha utilitzat la fórmula 3.1. Gràcies a aquesta llei física, s'obtindrà un valor numèric en W/m^2 . Aquest valor és summament útil a l'hora d'avaluar l'eficiència energètica i fer els certificats.

En el cas d'aquest projecte s'ha volgut analitzar la potència emesa superficial de varis tipus de tancaments per poder-ne extreure les conclusions pertinents.

S'ha confeccionat doncs la següent taula, utilitzant pel valor d'emissivitat un coeficient de 0,92, que s'ha considerat apropiat gràcies al software de la càmera tèrmica. La constant de Stefan-Boltzmann, amb un valor de $5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$, i la temperatura mitjana de la secció de cada finestra, proporcionada per el histograma del programa de Testo:

Descripció	ϵ	σ (W/m²K⁴)	T⁴ (K)	E (W/m²)
Finestra 1 Doble vidre amb marc d'alumini hermètic.	0,92	5,67E-08	7370050801	384,45
Porta superior Doble vidre amb marc d'alumini hermètic.	0,92	5,67E-08	7299872276	380,79
Porta inferior Doble vidre amb marc d'alumini hermètic.	0,92	5,67E-08	7370050801	384,45
Finestra 2 Doble vidre amb marc d'alumini corredís.	0,92	5,67E-08	7230196134	377,16
Finestra 3 Doble vidre amb marc d'alumini corredís i cortina.	0,92	5,67E-08	7161019972	373,55
Finestra 4 Vidre senzill amb marc de fusta i porticons de fusta exteriors.	0,92	5,67E-08	6870156963	358,37
Finestra 5 Vidre doble amb marc d'alumini corredís i porticons de fusta exteriors.	0,92	5,67E-08	6756328726	352,44

Taula 9.2 Taula de potències emeses per finestres (Font: Pròpia).

9.3. Conclusions.

A simple vista es pot apreciar la diferència de potències emeses segons el tipus de finestra i els seus diferents complements.

Especialment important a tenir en compte és:

- La gran majoria de potència perduda s'emet per la part del marc. El vidre doble amb cambra d'aire és doncs un aïllant força eficient.
- Hi ha una reducció notable de pèrdua d'energia amb unes simples cortines de teixit a l'interior de la vivenda.
- L'ús de persianes, tot i que no se n'ha calculat la potència emesa per les raons que després s'esmentaran, redueix dràsticament les pèrdues d'energia tèrmica a nivells molt òptims.
- El vidre senzill de la finestra 4, tot i l'error de mesura de potència emesa degut als motius que després s'esmentaran, és nefast en funcions d'aïllament tèrmic com es pot apreciar a les fotografies.
- Hi ha aspectes importants a tenir en compte per a certificar la vivenda que no s'aprecien en el sistema d'anàlisi general, ni tampoc en els càlculs realitzats a partir d'aquestes termografies. Com es pot apreciar a les imatges de detall dels marcs d'alumini de tancament hermètic i el corredís, hi ha una diferència notable d'eficiència. Mentre que la de tancament hermètic tanca gràcies a una petita junta de goma, la corredissa ha de permetre el lliscament de la pròpia finestra. Per tant, la junta es molt menys aïllant, fet que permet l'escapament de molta més calor interior. Aquesta diferència no s'aprecia en els càlculs ja que la junta del marc corredís queda tapat pel propi marc a la fotografia frontal de la finestra. Per tant a la temperatura mitjana del histograma no hi fa la seva contribució, ja que no es veu la fuga de calor en aquesta zona.

Els errors de mesura de les finestres 4 i 5 són deguts a l'època de l'any en que s'ha efectuat l'estudi.

Teòricament la pitjor finestra hauria de ser la de vidre senzill i marcs de fusta, en canvi és una de les que menys potència emet. Passa el mateix amb la finestra 5, que està sospitosament per sota la mitjana, i inclús la temperatura mitjana del histograma es troba per sota de la temperatura ambient.

Aquest fet és degut a la poca diferència de temperatura entre la nit i el dia a aquesta època de l'any, i al fet de que la fusta és un material molt poc conductor.

La poca diferència de temperatures diürna i nocturna fa que la façana quedi calenta durant el dia, i a la nit no faci prou fred per refredar-se. Aquest fet, sumat a que la fusta dels porticons exteriors és un material molt poc conductor tèrmic i, per tant, queda força freda i no emet tanta potència com la resta de materials de la façana, fa que el global de la fotografia la fusta apareix-hi molt més freda que la pròpia façana.

10. Impacte mediambiental.

10.1. Introducció.

Des de la creació del Tecnocampus, l'Escola Universitària Politècnica de Mataró ha volgut transmetre un missatge de respecte cap al medi ambient i de entitat conservadora d'aquest. L'objectiu també ha estat transmetre aquest missatge a totes les generacions d'alumnes que es formen en aquest centre i mica en mica conscienciar als futurs empresaris i empresàries, assessores i assessors de màrqueting, infermeres i infermers, enginyeres i enginyers, etc. a preservar el medi ambient i fer-ne una societat sostenible. Aquest missatge s'ha transmès gràcies, entre d'altres iniciatives, a la incorporació de l'assignatura de Sostenibilitat als graus d'enginyeria. També s'ha iniciat un postgrau en bioarquitectura a la mateixa universitat.

És per a tot això, i pel fet de que el present projecte ha estat elaborat en la EUPMT, que el capítol de *Impacte mediambiental* mereix una especial atenció.

10.2. L'efecte hivernacle.

Possiblement el tema ambiental més parlat en els darrers 20 anys, i causant d'altres temes molt comentats com el desglaç dels pols com a conseqüència de l'augment de temperatura global, les emissions de CO₂ a l'atmosfera que causen aquest efecte, el forat a la capa d'ozó, etc.

És un efecte que mereix ser nomenat en aquest capítol, degut a la seva inqüestionable importància per al futur a curt termini del planeta Terra. Però també ho mereix perquè resulta estar estretament lligat amb la física d'aquest projecte.

Com ja s'ha comentat infinitat de vegades durant la memòria del projecte, tots els cossos emeten una determinada quantitat de radiació electromagnètica. Quan l'energia del Sol arriba a la Terra en forma d'aquesta radiació, la Terra s'escalfa. Per tant, la Terra, al estar calenta, emet radiació infraroja de l'energia rebuda de l'astre. Tot i això, aquests rajos infrarojos que emet el planeta no poden escapar tots altre vegada, ja que l'atmosfera n'absorbeix gran part, i els torna a fer incidir contra el planeta Terra.

Aquest procés és el normal, i fa possible la vida a una temperatura habitable, si no fos pels gasos d'efecte hivernacle. El factor que fa que l'atmosfera pugui rebotar més calor

reflectida per la Terra o menys és el fet d'abocar-hi gasos capaços de retenir més l'escalfor. Al tenir una atmosfera plena d'aquests gasos, fa que emmagatzemin calor reflectida, augmentant-ne cada vegada més la temperatura dins la pròpia atmosfera.

10.3. Conclusions.

Com a conseqüència d'aquest devastador efecte, i davant la necessitat d'actuar-hi urgentment, s'ha creat un dels convenis més famosos al llarg de la història. Es tracta del Protocol de Kyoto. Un conveni format per la gran majoria de països de tot el món i que té com a objectiu reduir les emissions de CO₂ un 8% en els països industrialitzats respecte l'any 1990 [8]. Paradoxalment però, grans contaminants com la Xina i l'Índia en queden exempts degut a considerar-se un país en via de desenvolupament i no un país industrialitzat. O Estats Units, que ha firmat el tractat es nega a ratificar-lo.

Tot i aquest conveni, i infinitat de convencions, lleis, normatives, etc., l'augment de població i la potent industrialització de països grans no frenen la tendència creixent de les temperatures globals. És per això que s'ha d'anar més enllà, i inculcar la cultura de la sostenibilitat des de les primeres generacions.

Amb l'objectiu de contribuir a la filosofia de l'Escola Universitària a la que pertany aquest projecte, i per intentar contribuir en accions que puguin allargar la vida del planeta Terra, o si més no l'habitabilitat per part de la raça humana, s'ha enfocat aquest projecte des del inici en la millora de processos obligats per part de la Unió Europea que afavoreixen l'estalvi energètic, com són les certificacions energètiques d'edificis.

La utilització d'una tecnologia relativament nova i potent com és la termografia, pot millorar-ne les certificacions energètiques en edificis, proporcionant dades més objectives i millors recomanacions de modificacions a les instal·lacions que els mètodes emprats actualment.

Només a Espanya, el parc d'habitatges és d'aproximadament 25 milions. Si tant sols s'aconseguís estalviar 100 Watts, que ve a ser una bombeta, s'estalviarien 2.500.000.000 Watts a tot l'estat, i les respectives emissions de gasos contaminants per a produir aquesta enorme quantitat. Amb un estudi termogràfic rigorós, aquesta millora respecte el mètode actual es podria assolir.

Per altre banda, el impacte mediambiental negatiu que suposa la confecció del present projecte es pot considerar de grau baix. L'anàlisi de temperatura mitjançant la termografia és totalment innòcua per el medi ambient, ja que es tracte d'un assaig no destructiu, sense contacte físic amb l'element a mesurar, i ni tant sols és necessari un preescalfament o refredament de l'objecte a mesurar per tal de visualitzar-ne la temperatura correctament.

Finalment, per a la elaboració i impressió del present projecte, serà necessari un nombre força elevat de fulls de paper de procedència nova, ja que la normativa de l'EUPMT no especifica la possibilitat d'utilitzar paper reciclat per a la elaboració del projecte. Tot i això, la possibilitat de reciclar el mateix document no presenta cap dificultat al ser íntegrament de paper.

11. Conclusions.

11.1. Desviacions de la planificació.

La planificació creada a l'Avantprojecte ha patit grans desviacions degut a fets imprevistos quan es va confeccionar.

Primerament, s'ha hagut d'entregar el projecte 8 dies abans del previst degut a que l'autor d'aquest ha estat acceptat per realitzar una beca IAESTE fora del país, de manera que ha estat impossible l'entrega el dia previst. Degut a que l'acceptació d'aquesta beca arribava a mig projecte, s'han hagut de modificar les últimes tasques, concretament la tasca H i I. Aquest fet a propiciat a la retallada de dedicació en hores d'aquestes tasques, tot i que han sigut igualment les tasques on més hores s'hi ha destinat.

A part, la impossibilitat de rebre la càmera termogràfica per part del centre a retardat la presa d'imatges tèrmiques i el seu estudi notablement, fet que ha reduït encara més la tasca I.

11.2. Desviacions al pressupost.

El pressupost no s'ha complert en absolut en cap dels punts planificats.

Si se'm permet, a títol personal, crec que el pressupost no s'ha complert degut a un mal plantejament d'aquest apartat des del inici, i també des de un enfocament erroni per part de la normativa del propi projecte.

A la normativa del centre es demana per aquesta apartat un estudi econòmic del projecte com si fos un projecte portat per una empresa o una enginyeria real. No discuteixo en absolut que la confecció de pressupostos s'hagi de realitzar d'aquesta manera. Tot i això crec que el pressupost d'aquest projecte no es tracta d'un pressupost d'una simulació de projecte per part d'una enginyeria o empresa, si no que es tracta d'un projecte real, dut a terme a un centre d'estudis, que acreditarà a l'autor per a ser enginyer. Com a tal, el pressupost tampoc hauria de ser una simulació de pressupost d'un projecte empresarial, si no que hauria de ser, i torno a dir que es tracta d'una opinió completament personal i pot ser errònia, el pressupost real del projecte real que és.

És per això que el pressupost d'aquest projecte no s'ha complert en absolut, i menys quan parlem de xifres de 30.000 euros.

11.3. Punt forts i punts febles.

La termografia és una eina potent, i relativament nova, fet que fa que encara quedi molt camí per recorre i implantar-la eficientment en el camp de l'anàlisi energètic d'edificis.

La gran fortalesa de la termografia en aquest camp és la objectivitat i la precisió de les seves mesures. Així com en les certificacions actuals, les dades preses per el tècnic poden ser subjectives, mitjançant la termografia no hi ha lloc a dubtes. I la precisió de mesura mai arribarà a ser la assolida per les càmeres tèrmiques.

També hi trobem grans debilitats, però, en la utilització d'aquesta tecnologia. El fet que sigui una eina tant precisa, fa també que les condicions externes hagin de ser molt concretes. Hi ha d'haver una diferència tèrmica notable, s'ha de tenir en compte la emissivitat dels materials i molts altres factors. Això fa que el període en que es poden realitzar aquestes mesures es redueix al hivern en les zones càlides més càlides del planeta. A més, s'ha de fer sense llum solar, que n'afectaria les lectures, per tant queda acotat el període a primera hora del matí o a la nit.

Tenint en compte tots aquests factors, és necessari que el tècnic encarregat de fer les fotografies tingui experiència i estigui qualificat per fer aquestes inspeccions.

Tots aquests fets fa que la termografia no s'hagi incorporat plenament, de moment, en el món de la certificació energètica.

11.4. Grau d'assoliment d'objectius.

El grau d'assoliment de objectius ha estat satisfactori.

El bloc 1, destinat a la investigació de l'estat de l'art de la tecnologia, els seus principis fonamentals, la tecnologia dels aparells de mesura, els procediments a dur a terme per mesurar, l'anàlisi de la normativa corresponent a la certificació energètica i l'estudi del sector de les auditories energètiques s'ha complet integrament.

El bloc 2, destinat a la part més pràctica del projecte, també s'ha assolit en un alt percentatge, tot i que ha sofert algunes modificacions.

El fet d'haver d'entregar el projecte 8 dies abans del previst, i el retard amb l'equip de mesura ha provocat que l'última tasca destinada a l'exemple de certificació mitjançant la termografia quedés una mica més reduït del desitjat. Tot i que s'ha realitzat els informes planejats.

També s'ha incorporat un nou capítol, que ha estat el de certificar una vivenda mitjançant el mètode actual general amb el software oficial.

Per tant, podem concloure finalment, que s'han assolit tots els objectius planificats tant pel bloc 1 com pel bloc 2, amb una petita modificació en aquest últim.

12. Referències.

- [1] es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible, Enciclopedia libre Wikipedia, Espectro Visible. 24 de Maig, 2014
- [2] www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-la-Termografia-Infrarroja-fenercom-2011.pdf, Comunidad de Madrid, Guía de la termografía infrarroja. 2012.
- [3] ca.wikipedia.org/wiki/Llei_de_Stefan-Boltzmann, Enciclopèdia lliure Wikipèdia, Llei de Stefan-Boltzmann. 10 de Març, 2014.
- [4] ca.wikipedia.org/wiki/Llei_de_Wien, Enciclopèdia lliure Wikipèdia, Llei de Wien. 28 de Març, 2014.
- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Kirchhoff, Enciclopedia libre Wikipedia, Ley de Kirchhoff. 26 d'Abril, 2014.
- [6] www.academiatesto.com.ar, Testo Argentina S.A., Historia de la cámara termográfica. 2010.
- [7] www.asociacion3e.org, Asociación de Empresas de Eficiencia Energética, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Eficiencia energética en la edificación. 2012.
- [8] ca.wikipedia.org/wiki/Protocol_de_Kyoto, Enciclopèdia lliure Wikipèdia, Protocol de Kyoto. 6 de Maig, 2014.

13. Bibliografia.

La següent bibliografia ha estat consultada per a l'obtenció d'informació per la elaboració del present projecte, sense una referència concreta:

Radiación infrarroja, Enciclopedia libre Wikipedia, 12 de Maig, 2014.
es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_infrarroja

Termografía, Enciclopedia libre Wikipedia, 20 de Març, 2014.
es.wikipedia.org/wiki/Termograf%C3%ADa

Termografía y sus aplicaciones, Nivelat Equipos de topografía, acústica y termografía, 2008.

www.nivelatermografia.net

Cámara térmica, Enciclopedia libre Wikipedia, 5 d'Abril, 2014.
es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1mara_t%C3%A9rmica

Cámaras termográficas, Amperis Products S.L., 2007.
www.amperis.com/productos/camaras-termograficas/

Efecte hivernacle, Enciclopèdia lliure Wikipèdia, 29 d'Abril, 2014.
ca.wikipedia.org/wiki/Efecte_hivernacle

Manuales i guías de eficiencia energética, Auditor Energético, 2014.
www.auditorenergetico.com/?topic=84

Red de certificadores energéticos, 15 d'Abril del 2013.

www.certificacion-energetica.net

Certer, técnicos en edificación. www.certificadodeeficiencia.es

TCE, Top Certificación Energética, 25 de Gener del 2013.
www.topcertificacionenergetica.com

Testo, Instrumentos Testo S.A., 2013. www.testo.es

“Guía sobre termografía para aplicaciones en edificios y energía renovable”, Flir Systems AB, 2011.

“Termografía en sistemas de distribución eléctrica”, Roberto Poyato, Fluke Ibérica.

“Termografía. Una tecnología preparada para conquistar el mundo”, Flir systems.

“Cámaras térmicas”, Rnds.

“Termografía, guía de bolsillo”, Testo AG. Octubre 2012.

“Guía básica a la termografía”, Land Instruments International, 2004.

Lleis i normatives:

“Real Decreto 47/2007”, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Gobierno de España. 31 de Gener, 2007.

“Real Decreto 235/2013”, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Gobierno de España. 5 d’Abril, 2007.

“Código Técnico de la Edificación”, Ministerio de Fomento, Gobierno de España. 28 de Març, 2006.

Energía y desarrollo sostenible, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Gobierno de España.
www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/certificacionenergetica/normativa

Código Técnico de la Edificación, Ministerio de Fomento, Gobierno de España.
www.codigotecnico.org