

TESI DOCTORAL

WTEA : Millores de la metodologia per al desenvolupament d'auditories energètiques

Autor : Daniel Garcia-Almiñana

Directora de Tesi : Dra. Luisa F. Cabeza

Ponent UPC : Dr. Santiago Gassó

Programa de Doctorat en Enginyeria Ambiental

14/12/2014

SUMARI

SUMARI.....	3
1. AGRAÏMENTS	5
2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENT	7
3. ABREVIATURES	9
4. RESUM - ABSTRACT	11
 BLOC I – OBJECTIUS I ESTAT DE L'ART	 13
5. INTRODUCCIÓ.....	15
5.1. MOTIVACIÓ.....	15
5.2. HIPÒTESI.....	15
5.3. OBJECTIUS.....	15
5.3.1. OBJECTIU PRINCIPAL	15
5.3.2. OBJECTIUS SECUNDARIS	15
5.4. METODOLOGIA DE TREBALL	16
6. NECESSITAT DE LES AUDITORIES ENERGÈTIQUES.....	17
6.1. ANTECEDENTS	17
6.2. DEFINICIÓ D'AUDITORIA ENERGÈTICA.....	19
6.3. UTILITAT DE L'AUDITORIA ENERGÈTICA	20
7. TIPOLOGIES D'AUDITORIA ENERGÈTICA	23
7.1. RESUM DE TIPOLOGIES	23
7.2. AUDITORIA PRELIMINAR.....	25
7.3. AUDITORIA DETALLADA.....	25
 BLOC II – RESULTATS EXPERIMENTALS. <i>CASE STUDIES</i>	 27
8. CASE STUDY 1 – GIMNÀS IRADIER A BARCELONA	29
8.1. RESUM DEL CAS.....	29
8.2. DESCRIPCIÓ DEL PROCEDIMENT EMPRAT	29
8.3. MODIFICACIONS AL PROCEDIMENT	31
9. CASE STUDY 2 – EDIFICI D'OFICINES APA42 A BARCELONA.....	33
9.1. RESUM DEL CAS.....	33
9.2. DESCRIPCIÓ DEL PROCEDIMENT EMPRAT	33

9.3.	MODIFICACIONS AL PROCEDIMENT	34
10.	CASE STUDY 3 – EDIFICI D'OFICINES APA42 A BARCELONA.....	39
10.1.	RESUM DEL CAS.....	39
10.2.	DESCRIPCIÓ DEL PROCEDIMENT EMPRAT	39
10.3.	MODIFICACIONS AL PROCEDIMENT	40
11.	CASE STUDY 4 – EDIFICI D'HABITATGES TIANA A BARCELONA.....	47
11.1.	RESUM DEL CAS.....	47
11.2.	DESCRIPCIÓ DEL PROCEDIMENT EMPRAT	47
11.3.	MODIFICACIONS AL PROCEDIMENT	48
12.	CASE STUDY 5 – EDIFICIS D'HABITATGES LES VORES A BARCELONA	51
12.1.	RESUM DEL CAS.....	51
12.2.	DESCRIPCIÓ DEL PROCEDIMENT EMPRAT	53
12.3.	MODIFICACIONS AL PROCEDIMENT	55
	BLOC III – NOVA METODOLOGIA PROPOSADA.....	61
13.	NOVES PAUTES PROCEDIMENTALS.....	63
13.1.	RECOPIACIÓ DE DADES	63
13.2.	TRACTAMENT DE DADES	64
13.3.	PROPOSTA DE MILLORES.....	64
13.4.	NOVES PAUTES	65
14.	NOVA METODOLOGIA.....	67
14.1.	RECOPIACIÓ I ANÀLISI DE LES DADES.....	67
14.2.	TRACTAMENT DE LES DADES	68
14.3.	IDENTIFICACIÓ I PROPOSTA DE MILLORES.....	68
14.4.	ESTANDARITZACIÓ DE LA METODOLOGIA	70
	BLOC IV – CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR.....	73
15.	CONCLUSIONS.....	75
16.	TREBALL FUTUR.....	77
	BLOC V – BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES.....	79
17.	REFERÈNCIES I BIBLIOGRAFIA.....	81

1. AGRAÏMENTS

El procés de generació d'una tesi doctoral és habitualment llarg i és molta la gent que hi participa. En aquest cas això és doblement cert doncs des del Projecte de Tesi lliurat l'any 2005, fins a la presentació d'aquesta tesi han passat 10 anys.

Vull començar els agraïments per la meua Directora de Tesi, la Lluïsa, la qual va ser capaç de fer-me trobar el camí adient just en el moment que havia decidit deixar de banda el doctorat i centrar la meua activitat a la Universitat exclusivament en la docència. Ella va ser qui va dir "*...suposo que faràs la tesi sobre l'eficiència energètica, oi?*" i jo vaig contestar-li "*...es pot fer una tesi sobre eficiència energètica?*", essent la seva resposta "*...qualsevol avenç sobre el que s'ha escrit pot ser una tesi...*".

No queda aliè a aquest procés el meu Ponent de Tesi i previ Director, el Santi, que ha patit amb mi tot el procés. A ell li vaig dir que havia decidit deixar el doctorat un dia esmorçant al Campus Nord i ell va tenir la lucidesa de no deixar-me continuar amb els meus arguments i directament em va adreçar amb aquestes paraules "*...perquè no ho parles amb aquella amiga teva de Lleida?*" i em va dir també, "*...aquesta tarda la truco i li explico com es faria una tesi UPC des de la UdL...*" dos dies abans de la meua primera visita a Lleida com a doctorand de la Lluïsa.

Segueixo el procés amb el Dr. Baldasano, sempre m'he dirigit a ell així, amb qui vam començar tot el procés del doctorat i de qui recordo les seves paraules "*...a partir de los cuarenta años es muy difícil terminar una tesis pues no dispones de lo más necesario...tiempo...*". Li agraeixo que hagués dit "*muy difícil*" i no "*imposible*" i m'alegra que ho hagi encertat.

La llista d'agraïments la vull continuar amb tota aquella gent que m'ha anat donat ànims quan em calien, empenya quan no la tenia, suport quan el necessitava i, especialment, el sentiment de voler el millor per a mi, sabent que a la Universitat, sense el doctorat, no es pot trobar "el millor".

El primer és l'Emanuele, que sempre i fins i tot sense dir-ho, ha patit la meua lentitud i, per tant, sé que se n'alegrarà molt aquests dies. El Xavi, bon amic i que em va explicar l'estructura de com havia de ser una tesi; tot i que no li he fet gaire cas. La Núria i la Eulàlia, que moltes vegades m'han ofert el seu ajut i m'han comentat les seves pròpies vivències a les seves tesis; i jo també les he anat fent participants de les meves pròpies vivències.

També hi ha tots aquells amics que han anat acabant les seves tesis abans que jo i que, com a veu de la consciència, m'anaven recordant que jo encara no ho havia fet. El Miquel, la Núria, el Martí i molts d'altres estarien en aquest capítol.

Acabo ja esmentant la Sílvia, amb qui vaig viure la duresa del seu procés de doctorat i que em va donar l'empenya per tirar endavant i tancar la part experimental. Al seu costat he vist com vaig poder superar l'equador d'aquesta Tesi i deixar encarrilada la part final metodològica i de tancament del manuscrit.

Hi ha molta més gent que tindria dret a algunes línies en aquest apartat però no voldria que aquest fos, precisament, el capítol més llarg d'una tesi que ha estat extensa en temps de gestació però curta en redactat.

2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENT

Aquesta tesi es desenvolupa en cinc parts ben diferenciades:

- I - Objectius i estat de l'art – Es desenvolupa als capítols 5 a 7.
- II - Resultats experimentals – Es desenvolupen, com a "*Case Studies*" en els cinc capítols següents, del 8 al 12.
- III - Nova metodologia – És l'aportació principal de la tesi i es desenvolupa als capítols 13 i 14.
- IV - Conclusions i línies futures de treball – Es desenvolupa als capítols 15 i 16.
- V – Bibliografia i referències – Es desenvolupa al capítol 17.

El concepte d'auditoria energètica, les seves tipologies més habituals i el desenvolupament de les metodologies d'auditoria convencionals ha estat un procés que ha nascut, s'ha desenvolupat i madurat durant la segona meitat del segle XX i ha quedat acceptat, amb poca o cap evolució significativa, durant els primers anys de l'inici d'aquest segle.

La nova metodologia aportada en aquesta tesi és fruit del treball dut a terme durant gairebé 10 anys en el camp de les auditories energètiques a edificis i processos industrials i els *Case Studies* presentats són alguns dels exemples que han permès fer la hipòtesi de que és possible modificar el procediment de les auditories energètiques anomenades com "preliminars" per tal d'obtenir resultats equivalents als d'altres auditories més detallades si es duu a terme un plantejament de la presa de dades i tractament d'aquestes d'una forma diferent a la convencional.

Per tant, l'estructura de la tesi reflecteix aquest procés i la nova metodologia es va construir a base dels petits avenços i observacions obtinguts a diferents casos reals.

La confirmació de la idoneïtat de la nova metodologia, a partir de la seva aplicació intensiva i extensiva a diversos sistemes (edificis i/o processos) queda definida com a línia de treball futura amb la que s'espera seguir avançant en la pròpia millora d'aquesta nova metodologia i en la millora de l'eficiència energètica general dels sistemes energètics objecte d'auditories energètiques.

3. ABREVIATURES

CALENER – Qualificació Energètica dels Edificis

CTE – Codi Tècnic de l'Edificació

ECO - Energy Conservation Opportunity

EMO - Energy Management Opportunity

PCI – Poder Calorífic Inferior

PCS – Poder Calorífic Superior

RD – Reial Decret

RITE – Reglament per a les Instal·lacions Tèrmiques als Edificis

UE – Unió Europea

WTEA – Walk-Through Energy Audit

4. RESUM - ABSTRACT

Aquesta tesi presenta els resultats de 10 anys d'auditories energètiques a edificis en forma d'una proposta de millora metodològica en el propi procés d'auditoria energètica. Les principals troballes fan referència als tres punts clau d'una auditoria energètica:

- Presa de dades: aquesta tesi proposa l'ús generalitzat de mesuradors d'energia com a instruments bàsics per a la identificació de la eficiència energètica als edificis.
- Anàlisi de dades: aquesta tesi proposa basar la anàlisi en correlacions demanda/consum i demanda/temperatura com a procediment bàsic per a la identificació dels principals elements de millora de l'eficiència energètica als edificis.
- Proposta de millores: aquesta tesi proposa una nova definició de les EMO (*Energy Management Opportunities*) basada en mesures primàries (actuacions sobre l'envolvent dels edificis i l'aïllament dels sistemes), secundàries (actuacions sobre els sistemes transformadors d'energia) i terciàries (actuacions sobre els sistemes de gestió i control del funcionament del sistema energètic de l'edifici).

Els dos principals avantatges de l'ús d'aquestes modificacions metodològiques són:

- Reducció de costos en el desenvolupament d'auditories bàsiques o detallades donat el menor cost d'aquestes auditories preliminars modificades WTEA (*Walk-Through Energy Audit*) i els resultats comparables.
- Les propostes de millora terciàries resulten fàcilment identificables mitjançant les WTEA, mentre que no ho són tant ni a les auditories bàsiques ni a les detallades.

This PhD thesis shows the results of 10 years of energy audits for buildings as a proposal for a methodological improvement in the energy audit process itself. The main findings are referred to the three key points of any energy audit:

- Data collection: this thesis recommends a widespread use of energy meters as the basic tools for identifying energy efficiency in buildings.
- Data analysis: this thesis recommends both a correlation analysis between demand / consumption and demand / temperature as the basic procedure for the identification of the key elements for improving energy efficiency in buildings.
- Improvement proposals: this thesis recommends a new definition of the Energy Management Opportunities based on primary measures (actions on the building envelope and insulation systems), secondary measures (actions on the energy transformation systems) and tertiary measures (actions on the control and management systems of the building).

The two main advantages of using these methodological changes are:

- Reduced costs in the development of basic or detailed audits given the lower cost of the Walk-Through Energy Audits and its comparable results.
- The tertiary measures improvements are easily identifiable by the WTEA whilst not so easily though basic or detailed energy audits.

BLOC I – OBJECTIUS I ESTAT DE L'ART

5. INTRODUCCIÓ

5.1. MOTIVACIÓ

Sovint, quan es cerca alguna cosa de forma intensa, pot passar que els fets més evidents passin desapercebuts. En el cas d'aquesta tesi es pot afirmar que ha estat talment així doncs, després d'un llarg temps cercant aquella proposta, aquell tema que fos adequat i, al mateix temps, que em permetés sentir-me còmode, finalment la tesi tractarà d'un dels àmbits als que he dedicat més anys de la meua vida professional com és l'eficiència energètica als edificis.

El fet en sí de l'auditoria energètica ha estat durant molt de temps i continua estant-ho un dels camps de treball de molts enginyers i enginyeres i mai m'havia aturat a pensar en el propi procediment de l'auditoria energètica que he estat desenvolupant durant més de 10 anys i en com, de mica en mica, s'ha anat adaptant a una nova metodologia de treball que, avui, es presenta en forma de tesi.

Ha estat un llarg camí per arribar, segons com, al mateix punt del que se sortia però amb un bagatge que confio posar a disposició de la comunitat científica i científica-tècnica.

5.2. HIPÒTESI

La hipòtesi que es vol presentar un cop revisat l'estat de l'art és que la metodologia d'execució i interpretació dels resultats de les auditories energètiques s'ha anat definint i consolidant durant la segona meitat del segle XX i, des de començaments del segle XXI, s'ha anat estenent l'aplicació de les auditories energètiques a tots els sectors d'ús de l'energia però sense constatar avenços metodològics importants.

5.3. OBJECTIUS

5.3.1. OBJECTIU PRINCIPAL

L'objectiu principal empaitat en aquesta tesi és el de desenvolupar una metodologia millorada d'auditories energètiques, que sigui al mateix temps simple (tingui uns baixos requeriments en termes de temps, cost i mitjans) i també fiable (generi resultats coherents amb la realitat que es vol modelitzar). Provisionalment es proposa anomenar aquesta metodologia com a "*Walk-Through Energy Audit*" ó, simplificadament, *WTEA*.

5.3.2. OBJECTIUS SECUNDARIS

Un dels objectius secundaris que permetrien seguir avançant en aquesta línia de recerca és l'aplicació de la metodologia a un conjunt d'edificis per valorar-ne la utilitat i resultats assolits així com investigar noves pautes d'anàlisi i metodològiques que permetrien millorar la aplicabilitat d'aquesta metodologia. També es pretén iniciar el desenvolupament d'un procediment d'anàlisi dels resultats de les auditories fetes amb aquesta metodologia que permeti, fàcilment, orientar les accions que seria recomanable escometre per a la millora de l'eficiència energètica als edificis. Provisionalment es proposa anomenar aquest procediment de millora de l'eficiència energètica als edificis com a "*edifiència*".

Finalment, el tercer dels objectius secundaris marcats és el d'iniciar una línia de recerca en metodologia d'auditories energètiques per a l'edificència, que sigui transversal i multidisciplinària; és a dir que integri coneixements de diferents àmbits de la ciència, la recerca i la tecnologia i, al mateix temps, que tingui un caràcter aplicat; és a dir que sense defugir dels raonaments científics pugui incidir ràpidament en benefici de la societat.

Així doncs es pot expressar una voluntat d'aplicabilitat pràctica de la metodologia a un àmbit extens d'instal·lacions i/o edificis.

5.4. METODOLOGIA DE TREBALL

La metodologia de treball seguida en el desenvolupament de la tesi queda explicada als següents punts:

- En primer lloc s'ha dut a terme una revisió de l'estat de l'art en matèria de metodologia d'auditories energètiques. Com es podrà veure, des d'un inici s'han abordat les auditories energètiques com un procediment tècnic que ha desembocat fins i tot en normes ISO-UNE, però no s'ha desenvolupat un procés científic sobre la metodologia de les auditories energètiques en sí. Com a conseqüència, hi ha molta més bibliografia científica sobre l'ús de les auditories energètiques que sobre la pròpia metodologia.
- En segon lloc s'ha desenvolupat una sèrie de cinc *Case Studies* on, a partir d'un procediment simple d'auditoria energètica, s'han anat extraient conclusions sobre el procediment d'anàlisi i execució d'aquelles auditories.
- El tercer pas ha estat combinar ambdues activitats per tal de desenvolupar una metodologia d'auditoria energètica que permeti treure profit de les observacions dutes a terme als *Case Studies* i, al mateix temps, segueixi encaixant dins els procediments normalitzats ISO-UNE.
- Un quart pas seria una aplicació exhaustiva d'aquesta nova metodologia a diversos edificis i sistemes energètics per tal de:
 - Millorar els nous procediments desenvolupats.
 - Desenvolupar noves sistemàtiques de tractament i anàlisi de les dades per tal de millorar la utilitat dels resultats obtinguts.
 - Desenvolupar nous equipaments de recollida de dades que permetin treure major profit de la nova metodologia.
 - Desenvolupar un sistema expert de tractament de dades que sigui capaç de generar propostes de millora en el funcionament i eficiència de l'equipament energètic dels edificis.
- La magnitud i abast d'aquesta quarta fase es consideren suficients com per endegar una nova línia de recerca dins l'àmbit de l'eficiència energètica als edificis i sistemes energètics i ha quedat fora d'aquesta fase inicial de recerca i proposta de tesi doctoral.

6. NECESSITAT DE LES AUDITORIES ENERGÈTIQUES

6.1. ANTECEDENTS

L'escenari energètic mundial està caracteritzat per dos grans elements (o preocupacions):

- Seguretat del subministrament energètic a llarg termini (esgotament dels recursos tradicionals i el paper que han de jugar les energies renovables i la nuclear).
- Preocupació ambiental per a la utilització de l'energia (escalfament global i efecte hivernacle).

El portal de la Unió Europea per a la política energètica (http://europa.eu/pol/ener/index_en.htm) declara precisament aquesta preocupació ambiental pels efectes de la utilització de l'energia i l'esgotament dels recursos energètics *"Energy is central to our lives. We rely on it for transport, for heating and cooling our homes, and running our factories, farms and offices. However, fossil fuel is a finite resource and is a major cause of global warming. So we can no longer take energy from fossil fuels for granted. We must create an integrated energy and environment policy based on clear targets and timetables for moving to a low-carbon economy and saving energy"*.

Són diversos els programes vigents actualment a la Unió Europea en matèria d'energia i aquests tenen clarament una vocació per l'eficiència energètica i els edificis (el que prèviament s'ha anomenat com a *edificiència*):

- Programa *"Build-UP"* - *Energy solutions for better buildings - Launched in 2009, BUILD UP is a new environment for building professionals, local authorities and building occupants willing to share their experience on how to cut energy consumption in buildings.*
- Programa *"Covenant of Majors"* - *Committed to local sustainable energy - The Covenant of Majors is a commitment by signatory towns and cities to go beyond the objectives of EU energy policy in terms of reduction in CO₂ emissions through enhanced energy efficiency and cleaner energy production and use.*
- Programa *Managenergy* - *Energy efficiency and renewable energies at local and regional level - Launched in 2002, the ManagEnergy initiative supports the work of actors working on energy efficiency and renewable energies at the local and regional level. ManagEnergy provides training, workshops and online events targeting energy professionals and managers of energy agencies.*
- Programa *Intelligent Energy Europe* - *The Intelligent Energy – Europe (IEE) programme helps deliver on the ambitious targets that the EU has set for itself to sustain the competitiveness of its economy while fighting climate change. It does so by supporting concrete projects and real people doing real things.* L'objectiu global del programa és l'anomenat 20/20/20, significant un 20% de reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle, un 20% de millora a l'eficiència energètica, un 20% de participació de les energies renovables al balanç energètic de la EU i tot això amb l'horitzó fixat a l'any 2020.

Per altra banda, algunes de les conclusions mostrades per l'Agència Internacional de l'Energia, al seu *"World Energy Outlook" [IEA 2009]* són:

- *"Limiting temperature rise to 2°C requires a low-carbon energy revolution"*. El paper que pot jugar l'eficiència energètica (la font d'energia amb menor càrrega de carboni) pot ser determinant.
- *"Energy efficiency offers the biggest scope for cutting emissions"*. La contribució de l'eficiència energètica en les previsions de reducció de les emissions de CO₂ el 2030 pot arribar a ser superior al 50%.
- Les inversions previstes en matèria d'eficiència energètica al sector dels edificis, per tal de no sobrepassar l'escenari "450 ppm" (concentració límit de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera), puguen a 2,5 trilions de dòlars en comparació amb l'escenari de referència.

Centrant-se només dins l'àmbit de la Unió Europea (UE), hi ha tot un seguit de legislació al voltant de l'eficiència energètica als edificis que s'ha anat desenvolupant durant els darrers anys:

- Comunicació de la Comissió (13 de Novembre de 2008), *"Eficiència energètica: arribar a l'objectiu del 20%"* [COM 2008/772 final] – A partir de l'afirmació que el 40% del consum total d'energia final a la UE així com el 36% de les emissions de CO₂ s'esdevenen als edificis, proposa simplificar la Directiva 2002/91/CE sobre el rendiment energètic als edificis.
- Comunicació de la Comissió (23 de Gener de 2008), *"20 20 al 2020. La oportunitat europea al canvi climàtic"* [COM 2008/20 final] – Marca la fita d'assolir un 20% de participació de les energies renovables al balanç energètic europeu així com una reducció del 20% a les emissions de gasos d'efecte hivernacle.
- Comunicació de la Comissió (19 d'Octubre de 2006), *"Pla d'Acció per a l'Eficiència Energètica : Assolir el potencial"* [COM 2006/545 final] – Es marca l'objectiu de reduir un 20% el consum d'energia primària de cara al 2020. Al sector dels edificis se li assigna el major potencial de reducció, d'entre el 27 i el 30%. És un document que desenvolupa el Llibre Verd sobre eficiència energètica, de 22 de Juny de 2005 [COM 2005/265 final].
- Directiva 2006/32/CE (5 d'Abril de 2006) sobre l'eficiència de l'ús final de l'energia i els serveis energètics. Dóna cobertura al desenvolupament d'empreses de serveis energètics, certificació energètica i pretén eliminar les barreres i obstacles al seu desenvolupament.
- Directiva 2004/8/CE (11 de Febrer de 2004) sobre la cogeneració d'alta eficiència. Element per a la promoció de la cogeneració al sector edificis (sector on la seva implantació ha estat sempre molt reduïda). La directiva ha estat desenvolupada a Espanya al RD616/2007, i s'ha estimat un potencial tecnològic als edificis de 6414 MW en front dels 175 MW instal·lats (menys del 3% del potencial). Com a referència, al sector industrial, el potencial desenvolupat és el 52% del potencial tecnològic calculat.
- Directiva 2002/91/CE (16 de Desembre de 2002) sobre el rendiment energètic als edificis. Pretén una metodologia comuna de determinació del rendiment energètic dels edificis així com uns valors mínims per als nous edificis. Estableix també una metodologia de certificació energètica d'edificis nous i garantir uns processos de manteniment de les instal·lacions energètiques als edificis. A Espanya es va desenvolupar en forma del RD314/2006 (CTE - Codi Tècnic de l'Edificació), RD47/2007 (CALENER - Certificació Energètica d'Edificis), així com al RD1027/2007 i RD1826/2009 (RITE - Reglament per a les Instal·lacions Tèrmiques als Edificis). La Comunicació de la

Comissió (13 de Novembre de 2008), "*Proposta de Directiva relativa al rendiment energètic dels edificis*" [COM 2008/780 final] proposa algunes modificacions i simplificacions que donarien entrada a un elevat nombre d'edificis existents. Aquestes modificacions queden integrades a la Directiva 2010/31/UE (19 de Maig de 2010).

Resulta evident doncs que el potencial de millora a les instal·lacions energètiques dels edificis és un punt d'especial interès dins l'àmbit europeu. La xifra que es presenta a [COM 2008/772 final] és d'uns 150 milions de TEP (1600 TWh), el 30% del consum previst al sector l'any 2020, i això genera unes expectatives importants a tots els nivells.

El procés d'auditoria energètica (o diagnosi energètica) pot ser considerat el punt d'inici per a la millora de l'eficiència energètica als edificis. Existeix abundant bibliografia sobre els resultats i beneficis de l'aplicació de les auditories energètiques als edificis [Masoso 2010], [Chirarattananon 2010], [Ma 2009], [Li 2008], [Yu 2007], [Santamouris 2007], [Ghiaus 2006] però, recentment, no tanta en relació als procediments aplicables [Botsaris 2004], [Poel 2007], [Cagno 2010], [Dall'O' 2012].

Beggs [Beggs 2002] indica que "*There is a strong analogy between the medical profession and the field of energy management. If a patient with a medical complaint presents him or herself before a doctor, the doctor must first accurately diagnose the condition before taking further steps. The doctor should obtain information from the patient by asking informed questions, possibly carrying out tests, use knowledge and expertise in order to diagnose the complaint and ultimately prescribe treatment. In a similar manner, before any energy 'problems' can be treated it is first necessary to determine the current state of a facility's, or organization's energy consumption and thus diagnose any problems that exist. In order to do this, an energy audit must be undertaken and analysis performed on the data collected.*"

Aquest és un plantejament raonable i, seguint amb l'exemple mèdic, es podria dir que no tots els pacients requereixen el mateix procediment de diagnosi i, per tant, caldria definir diferents tipologies d'auditoria energètica segons les necessitats.

Donat que el punt inicial per treballar en la millora de l'eficiència energètica als edificis són les auditories energètiques, s'ha volgut enfocar aquesta tesi precisament cap a la manera més eficient de dur a terme aquelles auditories, en termes de cost i temps, sense sacrificar la qualitat dels resultats obtinguts, en base al desenvolupament de millores a la metodologia, anomenada WTEA (Walk-Through Energy Audit), la qual s'ha aplicat a un seguit d'instal·lacions a edificis.

6.2. DEFINICIÓ D'AUDITORIA ENERGÈTICA

De les diverses definicions d'auditoria energètica, la que es podria considerar més completa és la trobada a *The New Jersey Sustainable State Institute* [NJSSI 2008].

"An energy audit establishes where and how energy is being used in your buildings and facilities. It identifies opportunities and provides recommendations for energy and cost savings. Recommendations can range from improved energy data management to appropriate energy-

saving technologies, structural improvements, and system retrofits to energy conservation behaviour changes among building occupants."

Altres definicions trobades a la bibliografia matisen algun o altre element característic de les auditories energètiques:

"An energy audit is a comprehensive assessment of a company's energy use throughout its operations. An energy audit will identify the most cost-effective opportunities for energy savings" [OEC]. En aquest cas es fa referència a la viabilitat econòmica de les solucions proposades.

"Energy audit means any process which identifies and specifies the energy and cost savings which are likely to be realized through the purchase and installation of particular energy efficiency measures or renewable energy measures" [US Laws]. En aquest cas es fa referència a la viabilitat tècnica de les solucions proposades.

La definició més procedimental és la que incorpora la norma UNE 216501:2009 *"Auditoria Energética. Requisitos" [UNE 216501]:*

Procés sistemàtic, independent i documentat per a l'obtenció de dades i la seva avaluació objectiva a una organització o a una part, amb l'objectiu de:

- Obtenir un coneixement fiable del consum energètic i del seu cost associat.
- Identificar i caracteritzar els factors que afecten al consum d'energia.
- Detectar i avaluar oportunitats d'estalvi, i diversificació d'energia i la seva repercussió en el cost energètic i de manteniment, així com d'altres beneficis, costos associats i rendibilitat.

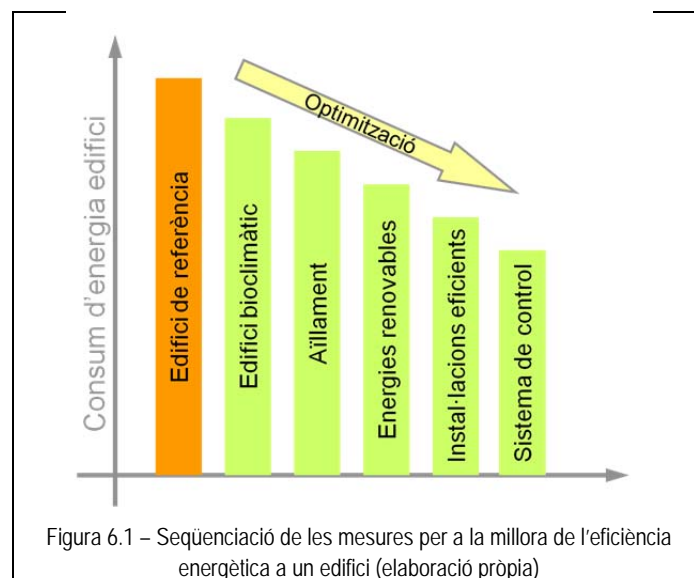
Així doncs els elements fonamentals de les definicions d'auditoria energètica fan referència a:

- Model per conèixer els fluxos d'energia a la instal·lació o edifici.
- Identificació i proposta de possibilitats de millora.
- Valoració tècnica, econòmica i ambiental d'aquelles millores.

6.3. UTILITAT DE L'AUDITORIA ENERGÈTICA

Tornant a l'àmbit dels edificis dins la Unió Europea, el programa *"Greenbuilding"*, de l'Institut de l'Energia del Joint Research Center (JRC) de la Comissió Europea, va publicar el 2005 una guia per al desenvolupament d'auditories energètiques que és molt entenedora [JRC 2005]. Ara bé, aquesta guia així com la majoria de guies consultades centren l'èmfasi del treball en el desenvolupament de la auditoria i no en la interpretació dels resultats obtinguts aplicant aquella metodologia.

La seqüenciació de les mesures que es poden aplicar, en general, per a la millora de l'eficiència energètica a un edifici segueix l'esquema indicat a la *figura 2.1*.



Les dues primeres (disseny bioclimàtic i millora de l'aïllament) serien anomenades *mesures primàries* (pretenen la reducció de la demanda energètica de l'edifici); les dues següents (aplicació d'energies renovables i disseny eficient d'instal·lacions) serien anomenades *mesures secundàries* (pretenen la reducció en les necessitats d'energia convencional a l'edifici) i la darrera (sistema de control) seria anomenada *mesura terciària* (es pretén la reducció del consum d'energia a l'edifici).

Aquesta tesi vol, a més, presentar la forma de interpretar els resultats de la WTEA de forma que sigui fàcil identificar i valorar, en termes energètics, les mesures d'estalvi i eficiència energètica, classificant-les en tres grans categories:

- *Mesures passives – Mesures primàries*
- *Mesures tecnològiques – Mesures secundàries.*
- *Mesures de gestió – Mesures terciàries.*

7. TIPOLOGIES D'AUDITORIA ENERGÈTICA

7.1. RESUM DE TIPOLOGIES

Dins el treball desenvolupat a *The New Jersey Sustainable State Institute [NJSSI 2008]*, s'identifiquen tres tipologies d'auditories energètiques:

- *A Walk-through audit includes a visual inspection of a building's energy systems, and a review of energy usage data. Findings are compared to industry averages. This audit can identify simple operation and maintenance improvements and also helps determine if a more comprehensive audit is needed.*
- *A Standard Audit assesses all equipment and operational systems, and creates a more detailed calculation of energy use. This audit identifies potential technical improvements, and makes recommendations based on their projected energy and cost savings.*
- *A Computer Simulation predicts system performance and takes external factors (such as weather) into account. This audit is recommended for more complicated systems and facilities, and new construction design.*

Així doncs, segons aquell document, al nivell bàsic d'auditoria se li atribueix una utilitat acotada sent la seva funció principal el servir per valorar la necessitat de procedir o no a una tipologia superior d'auditories. Ara bé, també s'ha trobat nombrosa bibliografia que exposa com el nivell bàsic d'auditoria s'utilitza com a eina per a la recopilació de dades per a estudis de benchmarking o de caracterització genèrica d'edificis [*Xuchao 2010*], [*Dascalaki 2010*].

El segon nivell, el anomenat estàndard, és el procediment més habitual d'auditoria energètica per a instal·lacions o edificis existents mentre que el tercer nivell entroncaria amb el que seria el camp de la simulació i certificació energètica i estaria orientat especialment a instal·lacions o edificis en projecte.

Aquesta tesi vol presentar una metodologia simple (WTEA) equivalent al nivell bàsic d'auditoria esmentat, que sigui compatible amb els resultats assolits en un nivell estàndard d'auditories i que, de forma similar a com ho fa la simulació per ordinador, permeti fer previsions de comportament de la instal·lació o edifici en funció de paràmetres fàcilment configurables e identificables.

El treball de caracterització que es desenvoluparà en aquest capítol està basat en la classificació d'auditories energètiques de la Societat Americana d'Enginyers en Calefacció, Refrigeració i Condicionament d'Aire [*ASHRAE 2007*]. Al seu capítol 35 s'identifiquen tres nivells, segons el grau de complexitat de les mateixes, corresponents a:

- Nivell 1 : Auditoria preliminar.
- Nivell 2 : Estudi bàsic d'alternatives.
- Nivell 3 : Estudi de detall de modificacions, intensives en capital.

S'han identificat, especialment als Estats Units, altres procediments elaborats amb posterioritat al [ASHRAE 2007] tot i que es pot afirmar que són equivalents (p.e. [NJSSI 2008]).

A Europa, ja s'ha esmentat el programa *Greenbuilding* i el procediment associat per al desenvolupament d'auditories energètiques [JRC 2005]. Aquest identifica dos nivells d'auditoria, corresponents a:

- Nivell 1 : Auditoria preliminar.
- Nivell 2 : Auditoria detallada.

Per altra banda, a l'àmbit de les petites i mitjanes empreses del sector industrial s'ha desenvolupat recentment [Cagno 2010] una metodologia d'auditoria que, en certa manera, incorpora objectius similars als plantejats en aquest document.

Una recent i extensa *Review* duta a terme per la Universitat Politècnica de Hong Kong [Ma 2009], en relació a energia i edificis confirma que la metodologia [ASHRAE 2007] és la que s'adopta de forma habitual en aquella part del planeta. Un altre estudi recent, de la Universitat Tecnològica King's Mongkut's [Chirarattananon 2010], vindria també a confirmar-ho.

Altra bibliografia especialitzada que tracti el desenvolupament d'auditories energètiques és relativament més antiga (prèvia a l'any 2000) i es podria afirmar doncs que aquest camp (el procedimental d'auditories energètiques) ha estat poc tractat durant els darrers anys. Un document interessant sobre aquesta temàtica és de la Comissió Europea [Helcke 1990] on s'explica com es van dur a terme un seguit d'auditories energètiques al mateix conjunt d'edificis, per part de diferents empreses especialitzades en l'àmbit energètic i es fan algunes recomanacions sobre la metodologia de les auditories en base a les conclusions que s'hi van extreure. És des d'aquest referent [Helcke 1990] que s'ha localitzat, presumiblement, un dels primers document on, per part de l'Agència Internacional de l'Energia, es fa una primera definició i estructuració metodològica de les auditories energètiques [IEA 1987].

A [IEA 1987] s'exposa : "*Energy auditing is a new term and as such without a precise definition. The term is used by some to define a specific activity and by others to encompass a wide range of activities in the accounting of energy usage. In this work 'Energy Auditing' is taken to entail a series of actions aimed at the evaluation of the energy saving potential of a building and the identification and evaluation of energy conservation opportunities (ECOs). Many complement the term 'energy auditing' with adjectives to better describe some particular characteristic of the audit. For example, the term 'walk through audit' is used to describe a brief audit carried out during a simple inspection of a building*". Més endavant també diu : "*In this work, previously adopted audit descriptors have been avoided, since their use is not consistent. Consequently we have found it necessary to define and, in some cases, re-define many terms. Inevitably some of the terminology used will not coincide with the reader's current understanding. To facilitate the reading, a Glossary of Terms is provided*".

El document més antic localitzat a on s'ha tractat sobre els procediments per dur a terme una auditoria energètica està datat el 1975, tot just quan s'estaven prenent mesures per la primera crisi del petroli del 1973. L'autor és *Michael E. Hora*, l'article que surt a la revista *Business Horizons?* es va titular "*Getting on Top of the Firm's Energy Situation*" i el resum és prou suggerent: "*The energy problem remains unsolved, and a manager must continue to make*

energy-related decisions. To help minimize risk, the author suggests an energy audit consisting of six steps".

7.2. AUDITORIA PRELIMINAR

Algunes definicions trobades a la bibliografia:

1. [NJSI 2008]: Una auditoria preliminar inclou una inspecció visual dels sistemes energètics de l'edifici i una revisió de les dades sobre consums d'energia. Aquesta auditoria pot identificar millores simples sobre l'operació i el manteniment i pot ajudar a valorar si cal una auditoria més detallada.
2. [JRC 2005]: La auditoria es duu a terme caminant per l'edifici i concentrant-se en els sistemes o equips de major consum energètic com ara les refredadores, grans climatitzadores o aquells equips amb EMO¹'s fàcilment identificables (com ara espais sobre climatitzats o tubs fluorescents de gran diàmetre). Resulta molt útil disposar de les prestacions nominals dels equips, els seus catàlegs tècnics o manuals d'operació i manteniment, per identificar fàcilment si els equips o sistemes estan operant eficientment. Els càlculs solen ser simples i serveixen per quantificar els estalvis assolibles en base a les EMO's identificades. L'auditoria s'ha de dur a terme en un dia per part d'un auditor o un equip d'auditors, en funció de la grandària i complexitat de l'edifici. Habitualment s'utilitzen instruments simples com ara termòmetres, multímetres i luxòmetres. L'objectiu de l'auditoria és també donar una visió global sobre altres àrees amb EMO's potencials.
3. [Cagno 2010]: És el tipus més simple i ràpid d'auditoria; suposa el mínim de intervenció amb els operaris de la indústria, una breu revisió de les factures energètiques i altres dades operatives i una visita a l'empresa per tal d'identificar les àrees on pugui existir-hi ineficiències o pèrdues d'energia.

El factor comú de les definicions anteriors és la aparent poca utilitat tècnica de les auditories preliminars (altrament anomenades també com a *walk-through audit*, *preliminary audit*, *preliminary survey*); aquesta utilitat està bàsicament orientada a decidir si convé o no dur a terme una auditoria energètica més detallada.

7.3. AUDITORIA DETALLADA

Parafraejant els treballs que està duent a terme el *CEN/CENELEC Joint Working Group 1 for Energy Audits* per a la definició d'un estandard europeu d'auditoria energètica, una auditoria detallada contempla un exercici sistemàtic de recollida, interpretació i anàlisi de dades que permeti identificar i quantificar oportunitats de gestió i estalvi d'energia.

El treball d'aquest grup d'estandarització s'està enfocant sobre una part general i tres apartats específics per diferenciar les auditories energètiques als edificis, processos i transport. Es

¹ EMO - Energy Management Opportunity

defineixen cinc fases de treball en el desenvolupament d'una auditoria detallada, amb els següents documents "lliurables" (*deliverables*):

1. Treball preliminar: descripció general de l'organització auditada; descripció dels seus productes i serveis; identificació del consum i factura energètica total; identificació dels estàndards i normatives aplicables i definició dels objectius, abast, límits i calendari de l'auditoria.
2. Auditoria preliminar: descripció tècnica dels edificis, processos i elements de control i mesura d'energia; recopilació de la documentació tècnica disponible; definició dels objectius i mitjans necessaris per a l'auditoria.
3. Campanya de mesures: identificació dels paràmetres que es quantifiquen per mesura i dels que es fan per estimació; identificació dels fluxos d'energia; generació des balanços energètics i del model de referència (*baseline*) i identificació del potencial d'estalvi.
4. Proposta de mesures: identificació de les mesures d'estalvi d'energia, fent un èmfasi especial en les de baix o sense cost.
5. Recomanació de mesures: segons si es tracta d'una auditoria més o menys detallada, aquesta recomanació pot venir justificada a partir de la experiència de l'autor o acompanyada de projectes específics de implementació; en qualsevol cas aquestes recomanacions han de considerar els aspectes de inversió, estalvi econòmic associat, beneficis ambientals (especialment en termes de CO₂) i implicacions en la operació i manteniment.

La proposta de estandardització proposa fins i tot el sumari de continguts del document final:

1. Resum executiu: llista de recomanacions i la seva viabilitat; conclusions.
2. Descripció general: organització, equips i processos transformadors d'energia, normativa i regulacions, equip de treball, abast, especificacions i calendari.
3. Recull de dades: equipaments de mesura existents i calibració.
4. Anàlisi dels consums d'energia.
5. Balanç energètic (Sankey) inicial i final.
6. Equipament i eines de software emprades.
7. Detall de informació mesurada i estimada.
8. Definició de la situació de referència.
9. Proposta de mesures: descripció; paràmetres de viabilitat econòmica de la organització; inversions, costos i estalvis econòmics previstos; estalvi energètic; estalvi de CO₂; suposicions fetes; criteris de prioritització; anàlisi de viabilitat econòmica; anàlisi de implicacions ambientals; conclusions i estalvis creuats amb altres mesures proposades.
10. Pla de implementació i control.

Es pot dir, resumidament, que la principal diferència entre els dos tipus d'afecta al volum de dades disponibles i la profunditat en el seu tractament.

BLOC II – RESULTATS EXPERIMENTALS. *CASE STUDIES*

8. CASE STUDY 1 – GIMNÀS IRADIER A BARCELONA

8.1. RESUM DEL CAS

- Activitat : Gimnàs femení.
- Període : Abril-Maig de 2000.
- Adreça : C/Iradier 18 bis - Barcelona.
- Instal·lacions auditades : Calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària.
- Equips principals : Calderes de gas natural i refredadora per absorció.
- Problemàtica inicialment detectada : Consums energètics superiors als esperats.
- Procediment de treball - Auditoria energètica preliminar* :
 - Recopilació i elaboració prèvia de dades.
 - Visita preliminar de presa de dades.
 - Anàlisi de la informació disponible i informe inicial.
 - Visita de supervisió del sistema de gestió i control de la planta.
 - Informe final de resultats.

(* una auditoria energètica preliminar hauria acabat amb les tres primeres fases però en aquest cas es va voler incidir sobre el sistema de gestió i control, en sospitar que podria ser el principal element causant de la problemàtica detectada).

La diagnosi en aquesta instal·lació va ser que a la visita preliminar de presa de dades no es van identificar elements de millora a les instal·lacions i que no va ser fins que es va analitzar el sistema de gestió i control de les instal·lacions (mesures terciàries, veure apartat 2.3 d'aquesta tesi), que no es van detectar els veritables problemes d'excés de consum a calefacció i refrigeració.

8.2. DESCRIPCIÓ DEL PROCEDIMENT EMPRAT

Prèviament a la primera visita es disposava d'informació sobre la instal·lació en general, equips consumidors d'energia, els consums d'energia previstos (segons procediments de càlcul propis de l'empresa gasNatural Servicios) i els consums d'energia reals a la instal·lació.

La principal discrepància entre ambdues xifres de consums era la que s'indica a la taula 8.1.

	Previsió	Real 1999
Demanda de calefacció	652.437 kWh/a	1.306.211 kWh
Demanda de refrigeració	105.872 kWh/a	342.060 kWh

Taula.8.1 – Comparativa de consums reals i esperats a les instal·lacions de calefacció i refrigeració al gimnàs

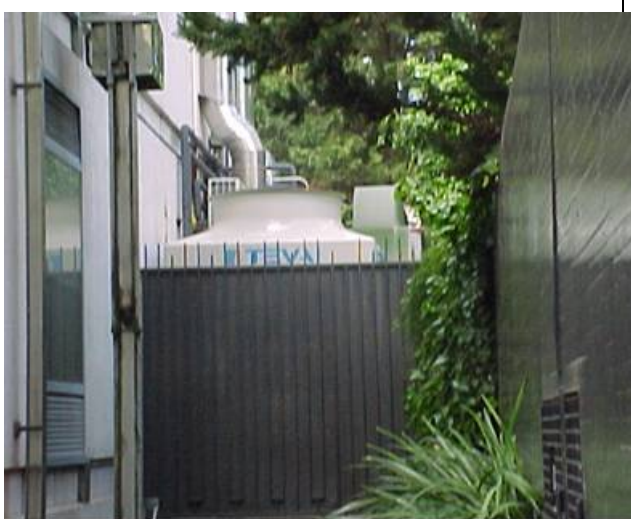
A la visita a la instal·lació es van resseguir els equips de producció, distribució, utilització i instal·lacions auxiliars (torre de refredament d'aigua en aquest cas) i es va deixar constància del seu bon estat de conservació en un reportatge fotogràfic (veure imatges 8.1 a 8.5).



Imatge 8.1 – Equip de refrigeració per absorció



Imatge 8.2 – Comptadors d'energia



Imatge 8.3 – Torre de refredament d'aigua



Imatge 8.4 – Caldera de gas natural



Imatge 8.5 – Connexió a climatitzadors

Es constata un bon estat general de conservació de tots els equips i una bona execució de la instal·lació, excepte en la ubicació de la torre de refredament, la qual, embotida entre la paret i el tancament exterior, limitava l'entrada d'aire exterior, facilitava la presència de matèria orgànica a la bassa de la torre i podia generar recirculacions no desitjades d'aire humit.

No es van identificar, a la visita preliminar, elements que justifiquessin una desviació significativa en els consums i, per tant, farien bones les afirmacions dels diferents autors que esmenten la escassa i limitada utilitat de les auditories preliminars, fent necessari el desenvolupament d'auditories detallades.

8.3. MODIFICACIONS AL PROCEDIMENT

Abans de procedir a una auditoria detallada, com seria el plantejament habitual, es va detectar en el sistema de monitorització del funcionament dels diferents elements (Honeywell), una circumstància sorprenent:

Totes les consignes de temperatura estaven fixades a 23°C

Això per sí sol ja justificaria una major demanda d'energia doncs des de les consignes habituals de 21°C a l'hivern i 25°C a l'estiu, aquesta diferència de 2°C suposaria entre un 12 i un 20% d'increment de consum (la bibliografia identifica xifres d'entre 6 i 10% per cada grau de diferència).

Observant amb més detall el funcionament d'un climatitzador concret d'una sala es va detectar una segona circumstància encara més sorprenent:

Totes les consignes de temperatura estaven mancades de franja d'histèresi

És a dir, tant el sistema de calefacció com el de refrigeració identificaven els 23°C amb una precisió de $\pm 0^\circ\text{C}$ i no de $23+1^\circ\text{C}$ a la refrigeració i $23-1^\circ\text{C}$ a la calefacció, com podria ser habitual si es definís aquella histèresi.

Aquest fet provocava que les vàlvules de regulació de tres vies de cada circuit (veure figura 8.1) anessin movent-se cíclicament entre el 0 i 100% de la seva posició, en intervals d'uns 10 minuts provocant que la major part de la demanda de calefacció fos generada pel funcionament (inadequat) de la refrigeració i la major part de la demanda de refrigeració fos generada pel funcionament (inadequat) de la calefacció.

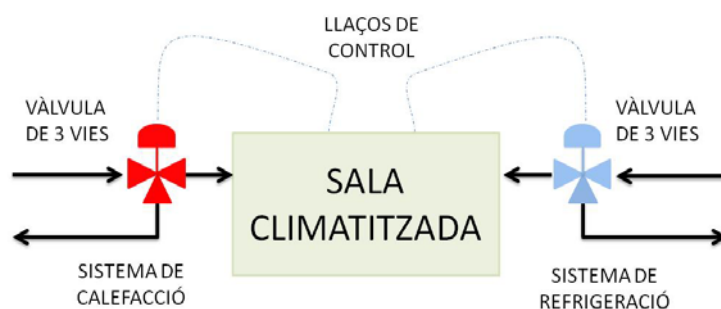


Figura 8.1 – Esquema de funcionament i control

A una temperatura reportada de la sala de 22.5°C, la vàlvula de la calefacció obria al 100% i no començava a tancar fins arribar als 23°C (esquema de funcionament tot-res), moment que obria la vàlvula de la refrigeració. No obstant, la inèrcia tèrmica del circuit de calefacció i la pròpia velocitat de tancament de les vàlvules feia que, tot i tenir oberta la vàlvula de refrigeració, la

temperatura continuava pujant fins a 23.6°C, moment aquest on la vàlvula de refrigeració estava ja oberta al 100%... i així repetitivament.

Un cop havent començat a avaluar les prestacions del sistema de regulació i control del sistema es va detectar una tercera circumstància:

Tots els climatitzadors treballaven 24 h/d, independentment de les consignes d'ocupació d'espais

Això provocava que el sistema estigués consumint totes les hores, aportant calefacció i refrigeració contínuament a espais desocupats bona part del dia.

Aquestes dues darreres circumstàncies sí que justificaven un consum desmesurat d'energia als dos sistemes anteriors en èpoques que no eren plenament ni d'hivern ni d'estiu. La introducció de franges d'histèresi, programadors horaris i adequació de les consignes a l'època de l'any va permetre ajustar els consums als valors esperats per a la tipologia d'ús considerada.

La conclusió principal que s'obté d'aquest Case Study és que es va poder desenvolupar una auditoria preliminar "modificada", centrada en les mesures terciàries (sistema de gestió i control de les instal·lacions) i es van obtenir resultats equivalents als que es podrien haver aconseguit amb una auditoria detallada.

La dedicació total a l'auditoria, incloent les dues visites i quatre anades puntuals a recollir les dades generades pel software de gestió de les instal·lacions, així com la generació de l'informe d'avaluació, recomanació i millores va ser de 20 hores.

9. CASE STUDY 2 – EDIFICI D'OFICINES APA42 A BARCELONA

9.1. RESUM DEL CAS

- Activitat : Edifici d'oficines (6 plantes i 2 oficines per planta).
- Període : Març de 2001.
- Adreça : Avda. Portal de l'Àngel 42 - Barcelona.
- Instal·lacions auditades : Calefacció.
- Equips principals : Refredadora per absorció (que actua com a caldera a l'hivern).
- Problemàtica inicialment detectada : Baix rendiment energètic de la planta.
- Procediment de treball - Auditoria energètica preliminar* :
 - Recopilació i elaboració prèvia de dades.
 - Visita preliminar de presa de dades.
 - Anàlisi de la informació disponible i informe inicial.
 - Parametrització (simulació simple) del comportament de la planta.
 - Informe final de resultats.

(* una auditoria energètica preliminar hauria acabat amb les tres primeres fases però en aquest cas es va voler analitzar la possibilitat d'establir un model de comportament de l'edifici, sense incórrer en el desenvolupament d'una auditoria detallada).

La diagnosi en aquesta instal·lació va ser que a la visita preliminar de presa de dades es van identificar alguns elements de millora a les instal·lacions però que no va ser fins que es va generar un model simple de comportament de l'edifici, que no es va poder detectar, quantificar i explicar el baix rendiment del sistema de calefacció.

9.2. DESCRIPCIÓ DEL PROCEDIMENT EMPRAT

Prèviament a la primera visita es disposava d'informació sobre la instal·lació en general, equips consumidors d'energia, els consums d'energia i rendiments previstos (segons procediments de càlcul propis de l'empresa gasNatural Servicios), així com els consums d'energia i rendiments reals a la instal·lació.

Les principals discrepàncies entre previsions i realitat eren les que s'indiquen a la taula 9.1.

	Previsió	Real 2000
REA en calefacció	69% s.PCS	29% s.PCS

Taula 9.1 – Comparativa de rendiments (REA – Rendiment d'Explotació Anual, mesurats sobre el Poder Calorífic Superior (PCS) , reals i esperats, a les instal·lacions de calefacció de l'edifici

A la visita a la instal·lació es van resseguir els equips de producció, distribució, utilització (fancoils de sostre, dos a cada oficina, 24 en total) i es va deixar constància tant del seu bon estat de conservació (la instal·lació portava un any en operació) com d'una implementació diferent en alguns aspectes a la que indicava el projecte:

- By-pass entre els circuits d'impulsió i retorn de la refredadora, sense vàlvula de regulació.
- Impulsió al sistema amb dues bombes en sèrie, en comptes d'una.
- Col·lector comú entre impulsió i retorn de la xarxa de distribució, amb una vàlvula de seient, per connectar ambdós circuits (no previst al disseny inicial).

Analizant les característiques dels equips de producció i utilització es va concloure que el dimensionat d'aquestos era, aparentment, raonable:

- Cada fancoil (24 en total) tenia una potència nominal de 15.1 kW en calefacció i 17.4 kW en refrigeració. Potència màxima de 362 kW en calefacció i 418 kW en refrigeració.
- L'equip d'absorció tenia una potència nominal de 292 kW en refrigeració i 352 kW en calefacció, donant unes xifres de simultaneïtat màximes del 80% en calefacció i 84% en refrigeració).

El únic element al que va detectar-se un funcionament anòmal era a les bombes, doncs aquestes estaven en servei contínuament, independentment del funcionament de l'equip d'absorció. Això faria, juntament amb el by-pass de final de recorregut, que part del consum de combustible necessari per separar les temperatures dels circuits d'impulsió i retorn finalment es perdés donat que ambdós circuits a final del dia s'acabarien barrejant pel by-pass. A l'informe inicial es va estimar que aquest fet podria suposar unes pèrdues de fins el 40%, basant-se en dades de la bibliografia.

No es van identificar doncs, a la visita preliminar, elements que justificassin una desviació prou significativa en els consums i rendiments i, per tant, farien bones les afirmacions dels diferents autors que esmenten la escassa i limitada utilitat de les auditories preliminars, fent necessari el desenvolupament d'auditories detallades.

9.3. MODIFICACIONS AL PROCEDIMENT

Abans de procedir a una auditoria detallada, com seria el plantejament habitual, es va decidir treballar sobre el conjunt de registres que permetia el sistema de *data logging* de la planta (sistema ClipTool, de l'empresa Distec). Concretament es van analitzar els registres de consum de combustible, el consum de calefacció a les oficines i l'evolució de les temperatura exterior, impulsió i retorn (com a element determinant del funcionament de la calefacció).

Es va treballar sobre les dades diàries de 3 setmanes (3 a 25 de Març de 2001) i es van poder generar les correlacions mostrades als gràfics 9.1 a 4):

- Figura 9.1 : Consum de gas en front de temperatura exterior.
- Figura 9.2 : Perfils de temperatura exterior, impulsió i retorn.
- Figura 9.3 : Correlació entre el consum setmanal de gas i la demanda de calefacció.
- Figura 9.4 : Correlació entre el consum diari de gas i la demanda de calefacció.

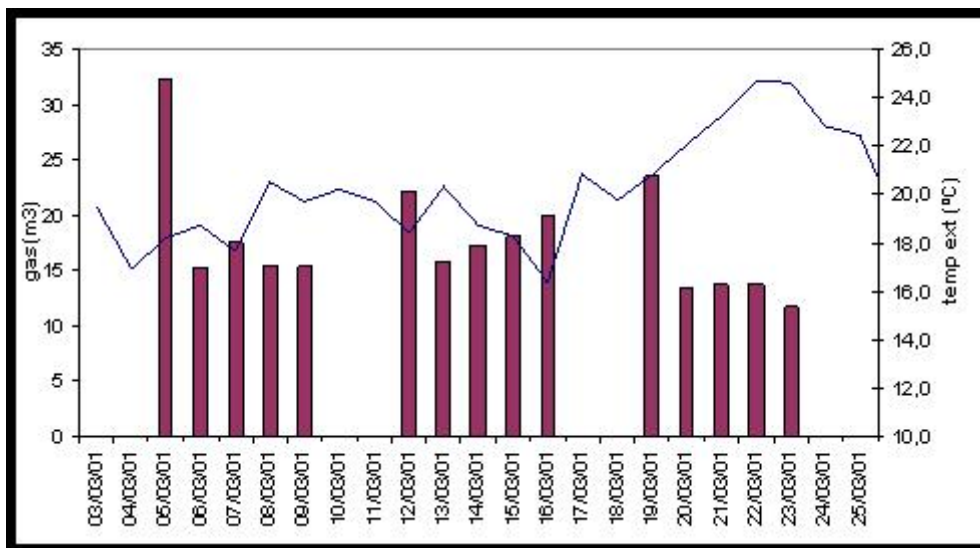


Figura 9.1 – Consum diari de gas natural (barra vertical, en m³/dia) i temperatura mitjana exterior (°C) per al període analitzat

El gràfic 9.1 mostra clarament tres característiques (esperables) del funcionament de la instal·lació:

- El consum de gas només és present durant els dies laborables.
- Existeix una certa correspondència entre el consum de gas i la temperatura exterior (això es veu més clarament en el funcionament de la darrera setmana, quan les temperatures exteriors van començar a pujar i la demanda de gas va baixar).
- Existeix un consum associat a l'aturada del cap de setmana (que és mesurable, d'entre 5 i 15 m³/d de consum addicional en relació al promig de la resta de la setmana). Aquest consum extra (dels dilluns), a més, es relaciona també amb la temperatura mitjana del diumenge (com més baixa és la temperatura, més consum d'arrencada existeix).

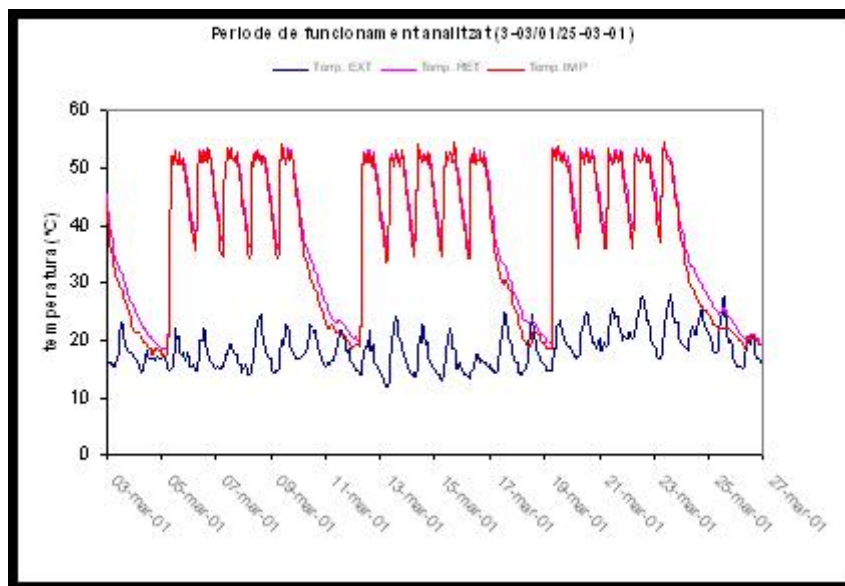


Figura 9.2 – Perfils de temperatures (impulsió i retorn del circuit de calefacció, en °C) i evolució de la temperatura exterior.

Novament el gràfic 9.2 mostra un patró de funcionament esperable però també aporta dades quantitatives addicionals, que permetrien millorar el coneixement del funcionament de la instal·lació :

- La pèrdua d'energia per interrupció setmanal es pot valorar en l'equivalent a un refredament del circuit de calefacció d'uns 30°C.
- Existeix també un refredament per interrupció diària equivalent a uns 15°C (la meitat que la interrupció setmanal).
- Es comença a intuir que aquest fet, no detectable a una auditoria preliminar, pot justificar una reducció notable en els rendiments d'explotació de la instal·lació (que és el símptoma inicial que es pretén detectar, explicar i corregir).

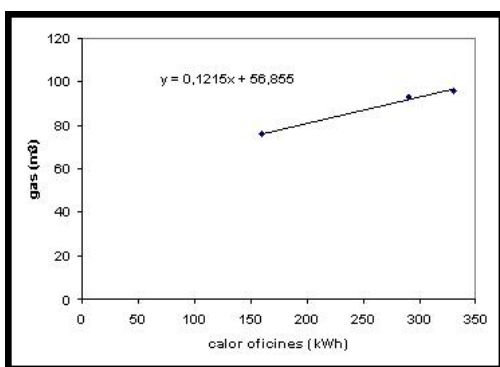


Figura 9.3 (esquerra) – Consum setmanal de gas (en m³ PCS) en front de la demanda setmanal de calefacció a les oficines (expressada en kWh)

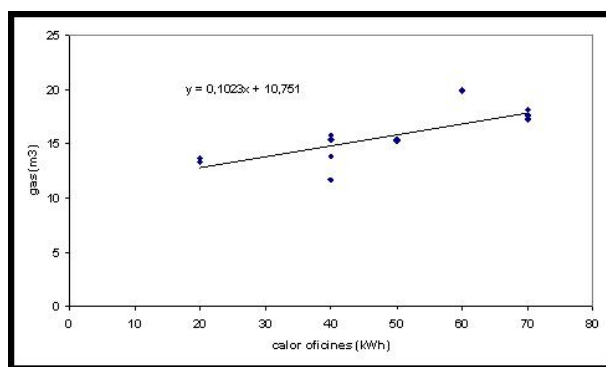


Figura 9.4 (dreta) – Consum diari de gas (en m³ PCS, descomptant els dilluns) en front de la demanda diària de calefacció a les oficines (expressada en kWh)

La darrera correlació de paràmetres correspon a la que es mostra als gràfics 9.3 i 9.4. Es detectaria una tendència lineal entre consum de gas i demanda de calefacció. La quantificació que indicaria la correlació no es pot considerar excessivament precisa doncs hi manquen alguns elements bàsics com serien:

- Limitat nombre de punts a correlacionar.
- Poca discriminació en les demandes d'energia (el sistema integra grups de 10 kWh), cosa que suposa poca precisió de les dades.

No obstant, l'element important és una certa tendència lineal (en el sentit esperable) així com la possibilitat d'interpretar aquelles dades (cosa que habitualment no seria possible a una auditoria preliminar):

- L'ordenada en el origen seria una mesura del conjunt global de pèrdues de funcionament fixes (fruit d'una mala gestió de la instal·lació (mesures terciàries) i d'una deficient execució de les instal·lacions de distribució (mesures primàries)). Es mesuraria, en aquest cas, en kWh setmanals o kWh diaris.
- El pendent de la recta seria una mesura indirecta del rendiment real de producció (mesures secundàries). Concretament seria l'invers del rendiment, expressat en les unitats utilitzades al gràfic (en aquest cas kWh de calefacció per m³ de gas natural).

En aquest cas, les pèrdues setmanals suposarien l'equivalent d'uns 57 m³ de gas natural, que davant de consums globals setmanals d'entre 76 i 96 m³, suposarien unes pèrdues de rendiment que sí justificarien les observacions inicials que van motivar l'auditoria.

Analitzant els rendiments, el valor promig setmanal seria de 1/0.122 (m³/kWh), equivalent al 67% s.PCS, molt proper al valor esperat del 69% (veure taula 9.1), mentre que la estimació diària (dels dies diferents a dilluns, seria de 1/0.102 (m³/kWh), equivalent al 79% s.PCS, molt proper al valor nominal de l'equip (que és del 81%).

Per tant, de l'observació de les primeres gràfiques de comportament de la planta es va detectar la possibilitat de generar els darrers gràfics (de caracterització de la planta), els quals van permetre, tot i les poques dades disponibles i la limitada fiabilitat d'aquestes, avaluar i quantificar dins una auditoria preliminar "modificada" uns nivells de pèrdues que eren, per una banda, coherents amb les xifres esperades i, per altra banda, impossibles de detectar si no es dugués a terme una auditoria detallada.

La conclusió principal que s'obté d'aquest Case Study és que es va poder començar a desenvolupar una metodologia d'auditoria preliminar "modificada", on la representació en una escala lineal dels consums d'energia en front d'un paràmetre de funcionament de la instal·lació (en aquest cas la demanda de calefacció), permetia fer una valoració quantificada de l'eficiència de les mesures primàries, secundàries i terciàries de l'edifici.

Novament es van obtenir resultats equivalents als que es podrien haver aconseguit amb una auditoria detallada amb una dedicació però força inferior. La dedicació total a l'auditoria, incloent les visites i la generació de l'informe d'avaluació, recomanació i millores va ser de 30 hores.

10. CASE STUDY 3 – EDIFICI D'OFICINES APA42 A BARCELONA

10.1. RESUM DEL CAS

- Activitat : Edifici d'oficines (6 plantes i 2 oficines per planta).
- Període : Maig i Juliol de 2001 / Setembre de 2002.
- Adreça : Avda. Portal de l'Àngel 42 - Barcelona.
- Instal·lacions auditades : Refrigeració.
- Equips principals : Refredadora per absorció.
- Problemàtica inicialment detectada : Baixa demanda de refrigeració.
- Procediment de treball - Auditoria energètica preliminar* :
 - Recopilació i elaboració prèvia de dades.
 - Visita preliminar de presa de dades.
 - Anàlisi de la informació disponible i informe inicial.
 - Parametrització (simulació simple) del comportament de la planta.
 - Informe final de resultats.

(* una auditoria energètica preliminar hauria acabat amb les tres primeres fases però en aquest cas es va voler analitzar la possibilitat d'establir un model de comportament de l'edifici, sense incórrer en el desenvolupament d'una auditoria detallada).

La diagnosi en aquesta instal·lació va ser que a la visita preliminar de presa de dades es van identificar alguns elements de millora a les instal·lacions però que no va ser fins que es va generar un model simple de comportament de l'edifici, que no es va poder detectar, quantificar i explicar la baixa demanda del sistema de refrigeració.

10.2. DESCRIPCIÓ DEL PROCEDIMENT EMPRAT

Prèviament a la primera visita es disposava d'informació sobre la instal·lació en general, equips consumidors d'energia, els consums d'energia i rendiments previstos (segons procediments de càlcul propis de l'empresa gasNatural Servicios), així com els consums d'energia i rendiments reals a la instal·lació.

També es disposava dels resultats d'una auditoria prèvia desenvolupada sobre la instal·lació de calefacció, desenvolupada el mes de Març d'aquell mateix any (*Case Study 2*).

Les principals discrepàncies entre previsions i realitat eren les que s'indiquen a la taula 10.1.

	Previsió	Real 2000
Consum de combustible (gas natural)	47.400 m ³ /a	14.700 m ³ /a

Taula 10.1 – Comparativa de consums, reals i esperats, a l'edifici

Mitjançant la metodologia adaptada de l'auditoria preliminar desenvolupada a l'hivern es va abordar una nova auditoria preliminar "modificada" per tal de intentar justificar la baixa demanda de refrigeració de l'edifici en comparació amb l'esperada.

En aquest cas es va sospitar d'un sobredimensionament dels sistemes de producció i utilització de refrigeració a l'edifici. La possibilitat però de identificar aquest fet es reserva als treballs que es durien a terme dins una auditoria energètica detallada i no a una auditoria preliminar.

10.3. MODIFICACIONS AL PROCEDIMENT

L'element que es va incloure, com a modificació d'un procediment preliminar d'auditoria, va ser una correlació addicional entre temperatura exterior i demanda de refrigeració. D'aquesta manera es pretenia valorar quina seria la potència frigorífica necessària com a punta a l'edifici i es podria comparar aquest valor amb la de l'equip instal·lat (352 kW frigorífics).

Es va treballar sobre les dades diàries de 2 períodes (15 a 25 de Maig i 2 a 13 de Juliol de 2001) i es van poder generar les correlacions mostrades als gràfics 10.1 a 4):

- Figura 10.1 : Consum de gas en front de temperatura exterior.
- Figura 10.2 : Perfils de temperatura exterior, impulsió i retorn.
- Figura 10.3 : Correlació entre la demanda de fred i la temperatura exterior.
- Figura 10.4 : Correlació entre el consum diari de gas i la demanda de refrigeració.
- Figura 10.5 : Correlació entre la demanda de refrigeració i el rendiment de l'equip.

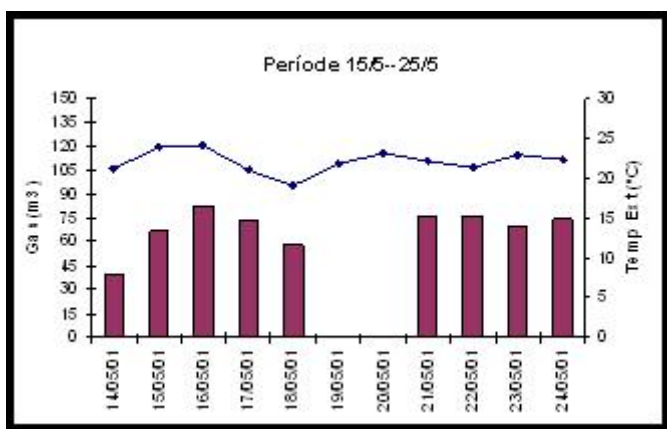
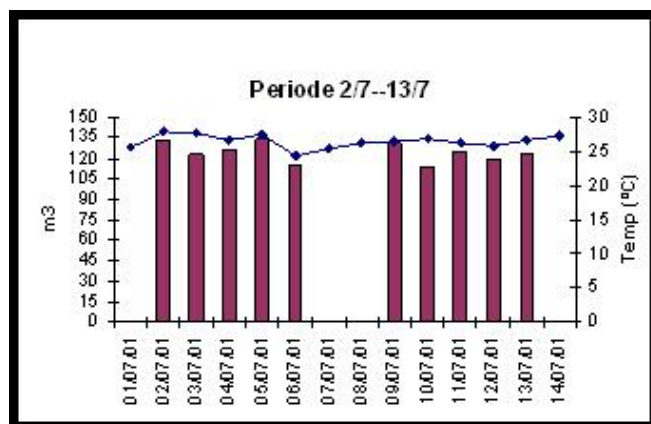


Figura 10.1a – Consum diari de gas natural (barra vertical, en m³/dia) i temperatura mitjana exterior (°C) per al període analitzat (Maig 2001)

Figura 10.1b – Consum diari de gas natural (barra vertical, en m³/dia) i temperatura mitjana exterior (°C) per al període analitzat (Juliol 2001)



Els gràfics 10.1a i 10.1b mostren clarament algunes característiques del seu funcionament:

- El consum de gas només és present durant els dies laborables (esperable).
- Existeix una certa correspondència entre el consum de gas i la temperatura exterior (això es veu més clarament en el funcionament del Juliol comparat amb el Maig, quan les temperatures exteriors van eren força més altes (entre 20 i 25°C al Maig i entre 25 i 30°C al Juliol)).
- A diferència del que succeeix a l'hivern, no es detecta un consum associat a l'aturada del sistema durant cap de setmana. Aquest fet s'interpreta com a conseqüència de que la demanda de refrigeració assoleix els seus màxims al migdia i, a començament del dia encara es pot aprofitar la frescor (relativa) de la nit.

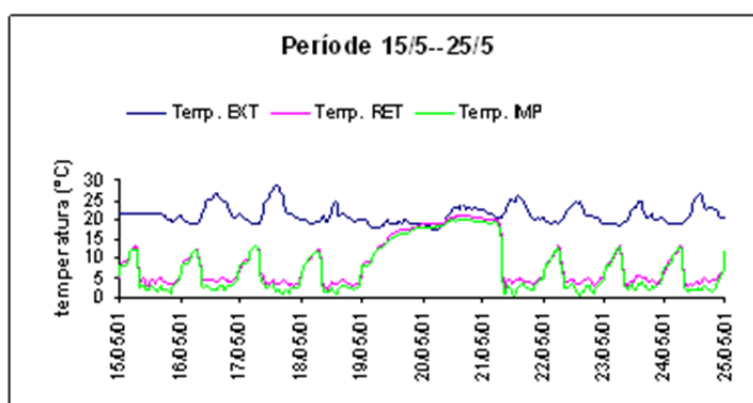


Figura 10.2a – Perfils de temperatures (impulsió i retorn del circuit de refrigeració, en °C) i evolució de la temperatura exterior.

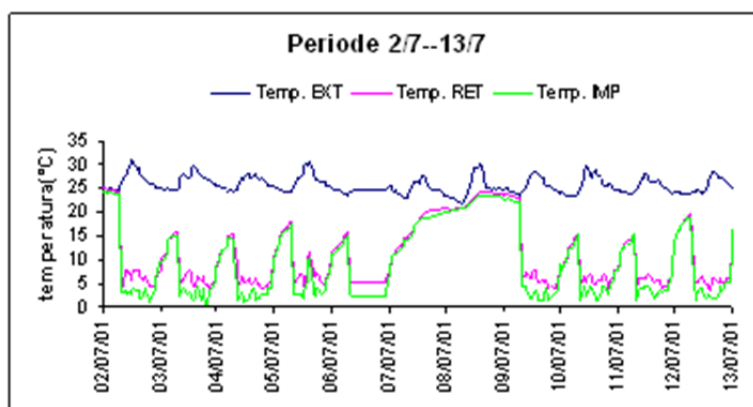


Figura 10.2b – Perfils de temperatures (impulsió i retorn del circuit de refrigeració, en °C) i evolució de la temperatura exterior.

Novament als gràfics 10.2a i 10.2b es veu un patró de funcionament esperable que també aporta dades quantitatives addicionals sobre el funcionament de la instal·lació :

- La pèrdua d'energia per interrupció setmanal es pot valorar en l'equivalent a un escalfament del circuit de refrigeració d'uns 20°C mentre que la interrupció diària suposaria uns 10°C d'escalfament.
- Aquesta constatació hauria de permetre avaluar, igual com es va fer a l'hivern, el nivell de pèrdues fixes de la instal·lació.

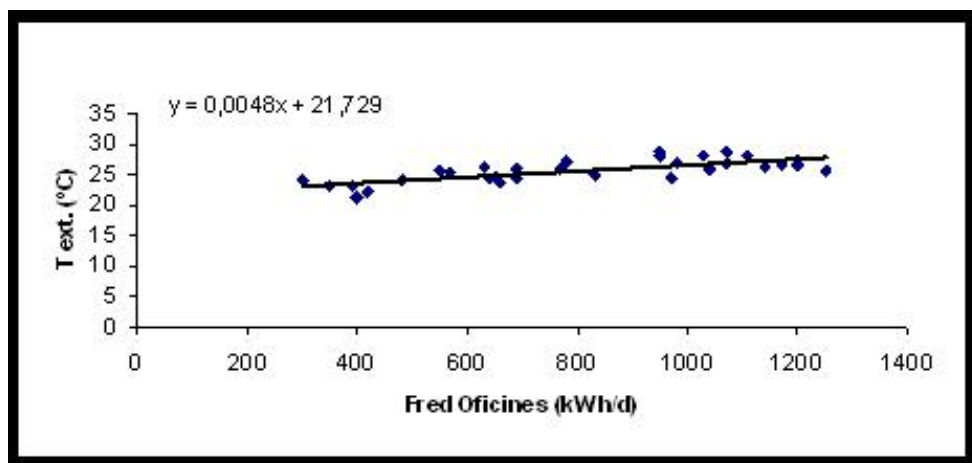


Figura 10.3 – Demanda diària de refrigeració a les oficines (expressada en kWh) en front de la temperatura mitjana exterior

L'observació del gràfic 10.3 permetria obtenir nova informació numèrica i quantificable del comportament de la instal·lació a l'edifici :

- La temperatura de "tall" del sistema de refrigeració per a aquest edifici semblaria estar situada a temperatures mitjanes diürnes d'entre 21 i 22°C (coherent amb un inici de la demanda de refrigeració a partir dels 18 a 20°C de temperatura exterior).
- L'increment de la demanda de fred vindria a suposar 208 kWh diaris per cada variació d'1°C a la temperatura mitjana exterior. Donat que la instal·lació funciona unes 13 hores diàries, això suposaria un diferencial de 16kW/°C i aplicant aquesta potència específica a la diferència entre la temperatura de tall (21.7°C) i la de disseny de les instal·lacions a Barcelona (31°C), s'obtidria una demanda punta de 149 kW (menys de la meitat de la potència nominal de l'equip).
- També es va poder fer una comparativa de consums energètics : per a una potència punta de 352 kW es va estimar un consum anual de 47.400 m³ de gas natural; per a una potència recalculada de 149 kW li correspondrien 20.100 m³ anuals de gas natural, més proper als 14.700 m³ reals.

Per tant es pot veure com ha estat possible, a partir d'informació obtinguda a una auditoria preliminar, fer una avaluació raonable de paràmetres que habitualment només haurien estat possibles a una auditoria energètica detallada.

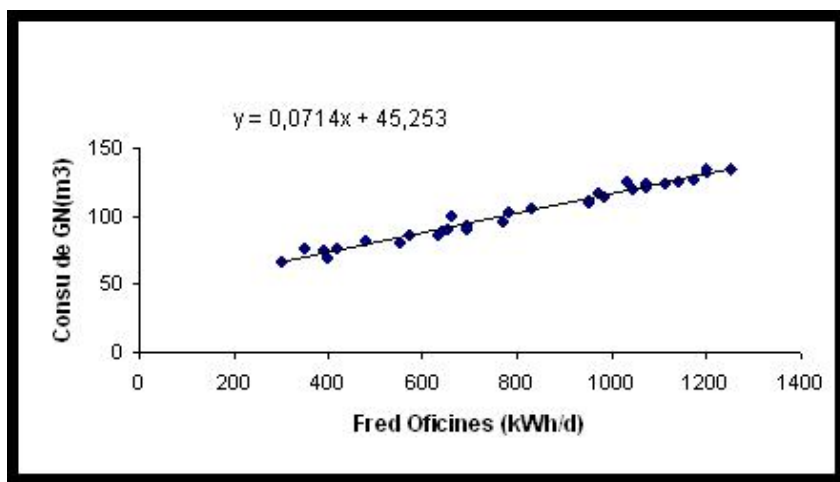


Figura 10.4 – Demanda diària de refrigeració a les oficines (en kWh) en front del consum d'energia a la refredadora (en m³ de gas natural) – Any 2001

Al gràfic 10.4, es pot veure l'efecte de les interrupcions diàries de funcionament, en forma de pèrdues d'energia. Els resultats són una mica més baixos que a l'hivern, degut a l'efecte esmentat de menor temperatura nocturna i, per tant, menor demanda inicial de refrigeració. També es pot indicar una menor diferència entre les temperatures ambient i de refrigeració (a uns 7°C) que en el cas de l'hivern entre temperatura exterior i calefacció (a uns 50°C). Altres observacions del gràfic:

- Es confirma l'elevada linealitat i proporcionalitat a l'evolució d'ambdós paràmetres.
- L'ordenada en el origen seria una mesura del conjunt global de pèrdues de funcionament fixes i tindria un valor equivalent a 45 m³ diaris de gas natural (lleugerament inferior a la de l'hivern).
- El pendent de la recta seria una mesura indirecta del rendiment real de producció i tindria un valor al voltant de 1/0.071 (m³/kWh), equivalent a un REA de 1.1 (que coincideix amb el valor nominal de l'equip).

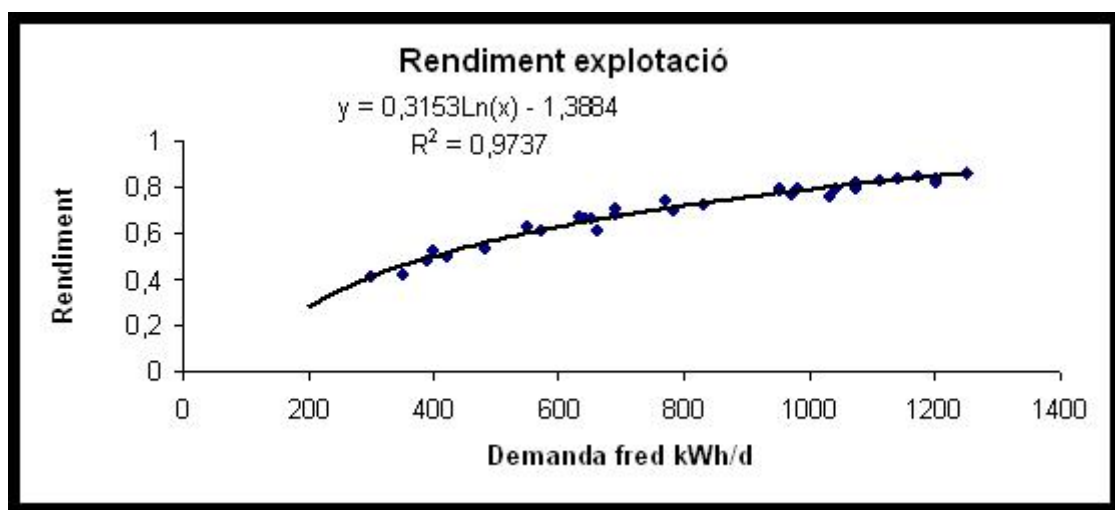


Figura 10.5 – Rendiment global de la instal·lació en front de la demanda diària de refrigeració a les oficines (expressada en kWh) – Any 2001

Al gràfic 10.5, es pot veure de forma força visual l'efecte de les pèrdues fixes sobre el rendiment diari de la refredadora. En aquest cas s'ha ajustat força bé a una correlació logarítmica que pràcticament passa pel punt (0,0), essent aquest el que donaria un rendiment del 0% quan la demanda fos nul·la.

Es pot observar com el REA decau ràpidament per sota del 60% quan la demanda de fred és baixa (inferior a 600 kWh/d - menys de 2 hores equivalents) i tendria a establir-se cap al 90-100% a elevades demandes (superiors a 2000 kWh/d - 6 hores equivalents). No obstant, com que la demanda realment registrada a les oficines no arriba ni a 1300 kWh/d (menys de 4 hores equivalents), la planta treballa, en el seu conjunt, a un baix règim d'operació i justificant, per partida doble, aquella detecció d'un elevat grau de sobredimensionat de la planta.

Posteriorment, el Setembre del 2002 es va fer un nou anàlisi per detectar com :

- Els resultats de l'auditoria del 2001 no s'havien utilitzat per millorar l'eficiència de la instal·lació (corroborant la percepció que les auditories sovint són només un document informatiu que no serveix per a la presa de decisions).
- Els resultats del 2002 suposen un empitjorament dels resultats del 2001.

Als gràfics 10.6 i 10.7 es pot veure el deteriorament del funcionament de la instal·lació (pèrdues fixes i rendiment puntual) així com la reducció del rendiment global promig.

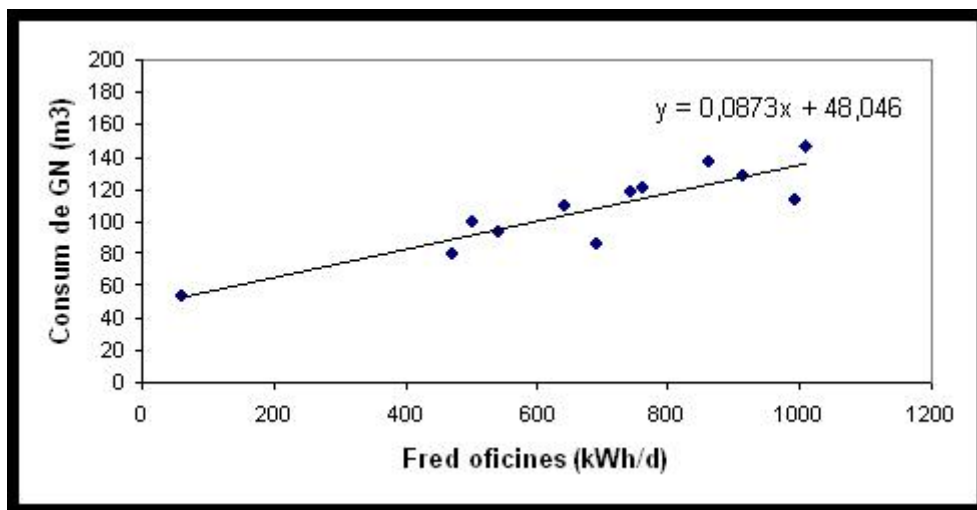


Figura 10.6 – Demana diària de refrigeració a les oficines (expressada en kWh) en front del consum d'energia a la refredadora (expressat en m³ de gas natural) – Any 2002

Comparativament amb el gràfic 10.4, les pèrdues fixes diàries han passat de l'equivalent a 45 m³ a un valor de 48 m³. Similarment, el REA ha passat d'una xifra de 1.1 a una de 0.9. Aquest deteriorament es pot veure, globalment, al gràfic 10.7, amb els nous rendiments globals.

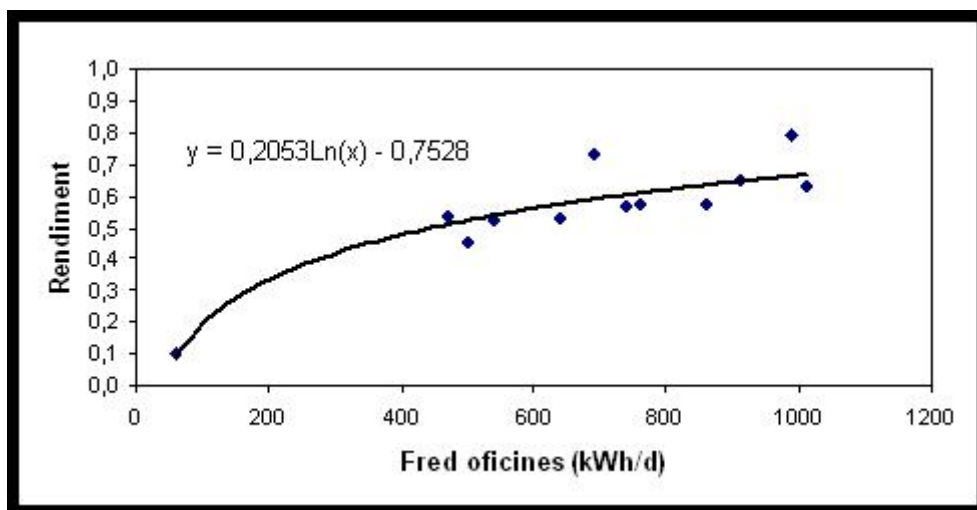


Figura 10.7 – Rendiment global de la instal·lació en front de la demanda diària de refrigeració a les oficines (expressada en kWh) – Any 2002

Per tant, a partir del plantejament detectat a l'hivern a aquesta mateixa instal·lació, s'han generat gràfics equivalents i que aporten conclusions similars a les esperades. A més, ha estat possible també identificar tant la potència màxima demandable per l'edifici com un factor de sobredimensionat de la instal·lació al voltant del 100%.

Valorar clàssicament aquest sobredimensionament hauria portat, per una banda, a una simulació del comportament tèrmic de l'edifici i, per altra banda, a una auditoria energètica detallada per confirmar les dades de rendiment. Ambdós paràmetres s'han pogut establir amb un elevat grau de coherència a partir dels resultats d'una auditoria energètica preliminar "modificada".

El resultat obtingut (amb una potència de refrigeració menor a la meitat de la potència instal·lada), confirmaria i justificaria l'elevat sobredimensionat de la instal·lació i, indirectament també confirmaria els baixos consums energètics assolits doncs el mètode d'estimació de consums aplicat es basa en el valor de la potència màxima demandada.

Finalment, una característica que és relativament comuna a aquests estudis és la poca utilitat real com a eina de presa de decisions que comportin inversions o millores a les instal·lacions.

La dedicació total a l'auditoria, incloent les visites i la generació de l'informe d'avaluació, recomanació i millores va ser de 40 hores el 2001 i 15 hores el 2002.

11. CASE STUDY 4 – EDIFICI D'HABITATGES TIANA A BARCELONA

11.1. RESUM DEL CAS

- Activitat : Edifici d'habitatges (49 habitatges a l'edifici).
- Període : Gener a Març de 2002.
- Adreça : Ronda de Dalt Carrer Tiana 12-22 - Barcelona.
- Instal·lacions auditades : Calefacció.
- Equips principals : 5 calderes modulars de gas natural.
- Problemàtica inicialment detectada : Baix rendiment de les instal·lacions.
- Procediment de treball - Auditoria energètica preliminar* :
 - Recopilació i elaboració prèvia de dades.
 - Visita preliminar de presa de dades.
 - Anàlisi de la informació disponible i informe inicial.
 - Parametrització (simulació simple) del comportament de la planta.
 - Informe final de resultats.

(* una auditoria energètica preliminar hauria acabat amb les tres primeres fases però en aquest cas es va voler analitzar la possibilitat d'establir un model de comportament de l'edifici, sense incórrer en el desenvolupament d'una auditoria detallada).

La diagnosi en aquesta instal·lació va ser que abans de la visita preliminar de presa de dades es va generar un model simple de comportament de l'edifici mitjançant el qual es va detectar un comportament compatible amb un baix rendiment de combustió a les calderes. Va ser llavors quan es va procedir a una anàlisi de combustió de les calderes i es va detectar una elevada proporció d'incrementats en els productes de combustió i es va corroborar el que el model simple apuntava.

11.2. DESCRIPCIÓ DEL PROCEDIMENT EMPRAT

En l'estudi de caracterització simple de l'edifici es va detectar una proporcionalitat important entre els consums de combustible a la planta i la producció d'energia útil. El gràfic **XX.1** mostra aquesta proporcionalitat.

S'observa una elevada linealitat i correlació, podent-se determinar mitjançant regressió per mínims quadrats una ordenada a l'origen equivalent a 110 kWh/dia i un pendent de 1.37 kWh GN/kWh CAL. Aquest elevat pendent seria indicatiu d'un rendiment aparent del sistema de calefacció de $1 / 1.37 = 73\%$, xifra molt allunyada del 90-93% esperable per a aquest tipus de instal·lacions.

Així doncs preventivament es va procedir a encarregar una anàlisi de combustió de les calderes de l'edifici i es va constatar com a dues d'elles el nivell d'incrementats era superior a l'escala de

l'analitzador (4000 ppmv) i, per tant, efectivament hi havia uns baixos rendiments de combustió que justificaven un baix rendiment de generació de calefacció.

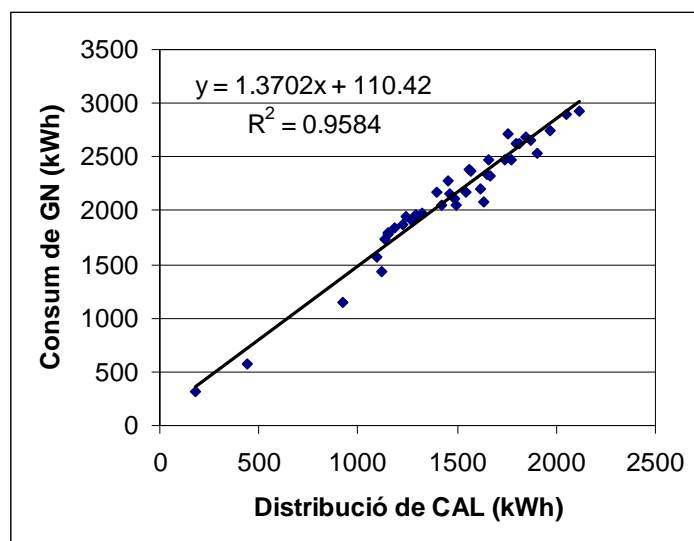


Figura 11.1 – Correlació entre els consums diaris de combustible (GN) i la distribució diària de calefacció (CAL).

Aquest cas es diferencia dels altres en el sentit de que la problemàtica energètica es va detectar mitjançant l'anàlisi d'un conjunt de dades específiques, simples, i abans que es notifiqués l'existència de problemes.

Aquesta tipologia d'anàlisi de dades es va considerar que podria incorporar-se com un dels elements bàsics per a la interpretació de dades en noves auditories energètiques preliminars modificades.

11.3. MODIFICACIONS AL PROCEDIMENT

La modificació principal en el procediment de les auditories és doncs la d'incorporar un sistema de mesura de l'energia útil generada a la sala de producció d'energia, així com un sistema de registre d'aquesta informació juntament amb la dels sistemes de comptatge d'energia per a facturació. A continuació es grafiquen els ratis diaris durant un període de temps suficient com per disposar d'una correlació lineal entre ambdues variables (energia consumida i energia transformada).

L'element principal del mètode és que s'estableixen comparatives entre una mateixa instal·lació a diferents períodes (benchmarking) i, del conjunt de dades s'estableix el model de comportament del sistema.

A més, com s'ha vist, el pendent del model és inversament proporcional al rendiment de transformació d'energia del sistema i l'ordenada en el origen és una mesura de les pèrdues fixes del sistema (és el consum d'energia quan no hi ha producció energètica útil).

La incorporació d'aquest nou element de mesura d'energia útil, que per altra banda acostuma a ser cada cop més habitual a les plantes productores d'energia, permet una nova metodologia d'anàlisi de resultats que permet interpretar informacions i arribar a conclusions que altrament no seria possible sense el desenvolupament d'una auditoria energètica detallada.

12. CASE STUDY 5 – EDIFICIS D'HABITATGES LES VORES A BARCELONA

12.1. RESUM DEL CAS

- Activitat : Edificis d'habitatges (24, 36 i 76 habitatges).
- Període : Desembre de 2001 a Març de 2002.
- Adreça : Ronda de Dalt, Carrers Vall Hebron, Veciana i Gomis - Barcelona.
- Instal·lacions auditades : Calefacció.
- Equips principals : Calderes modulares de gas natural (respectivament 3, 4 i 8 equips).
L'esquema de funcionament de les plantes de generació d'energia als edificis és el mateix (vegis figura 12.1).
- Problemàtica inicialment detectada : Baix rendiment de les instal·lacions.
- Procediment de treball - Auditoria energètica preliminar* :
 - Recopilació i elaboració prèvia de dades.
 - Visita preliminar de presa de dades.
 - Anàlisi de la informació disponible i informe inicial.
 - Parametrització (simulació simple) del comportament de la planta.
 - Informe final de resultats.

(* una auditoria energètica preliminar hauria acabat amb les tres primeres fases però en aquest cas es va voler analitzar la possibilitat d'establir un model de comportament de l'edifici, sense incórrer en el desenvolupament d'una auditoria detallada).

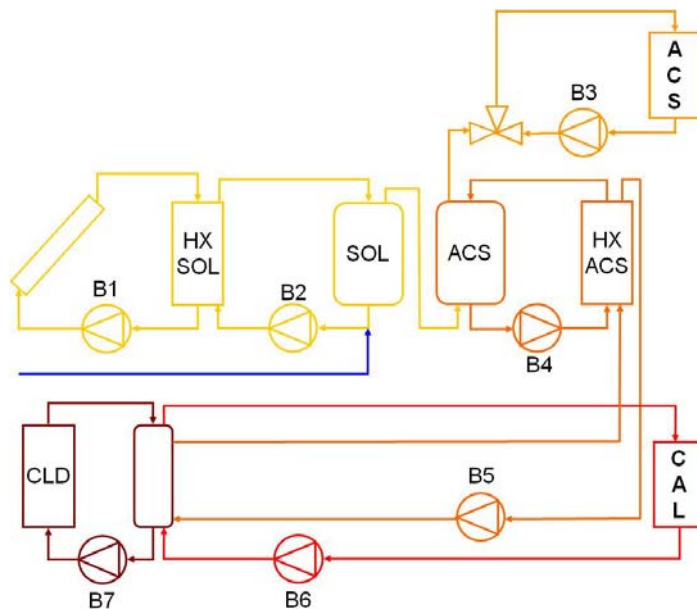


Figura 12.1 – Esquema de principi de funcionament de les instal·lacions.

B1 – Primari solar
B2 – Secundari solar
B3 – Distribució d'ACS
B4 – Secundari ACS
B5 – Primari ACS

B6 – Primari Calefacció
B7 – Primari Caldera
HX SOL – Bescanviador solar
SOL – Acumulador solar

ACS – Acumulador ACS /
Distribució ACS
XH ACS – Bescanviador ACS
CLD – Grup de calderes
CAL – Distribució Calefacció

La diagnosi en aquesta instal·lació va ser que a la visita preliminar de presa de dades es van identificar alguns, pocs, elements de millora a les instal·lacions i no va ser fins que es va generar un model de comportament de l'edifici, que no es va poder detectar, quantificar i explicar els baixos rendiments globals del sistema.

Vegis a les figures 12.2, 12.3a, 12.3b i 12.3c algunes imatges dels edificis i la distribució dels elements indicats a la figura 12.1.




Gomis	Vall de Hebron	Veciana
76 habitatges	24 habitatges	36 habitatges
		

Figura 12.2 – Imatges dels edificis.

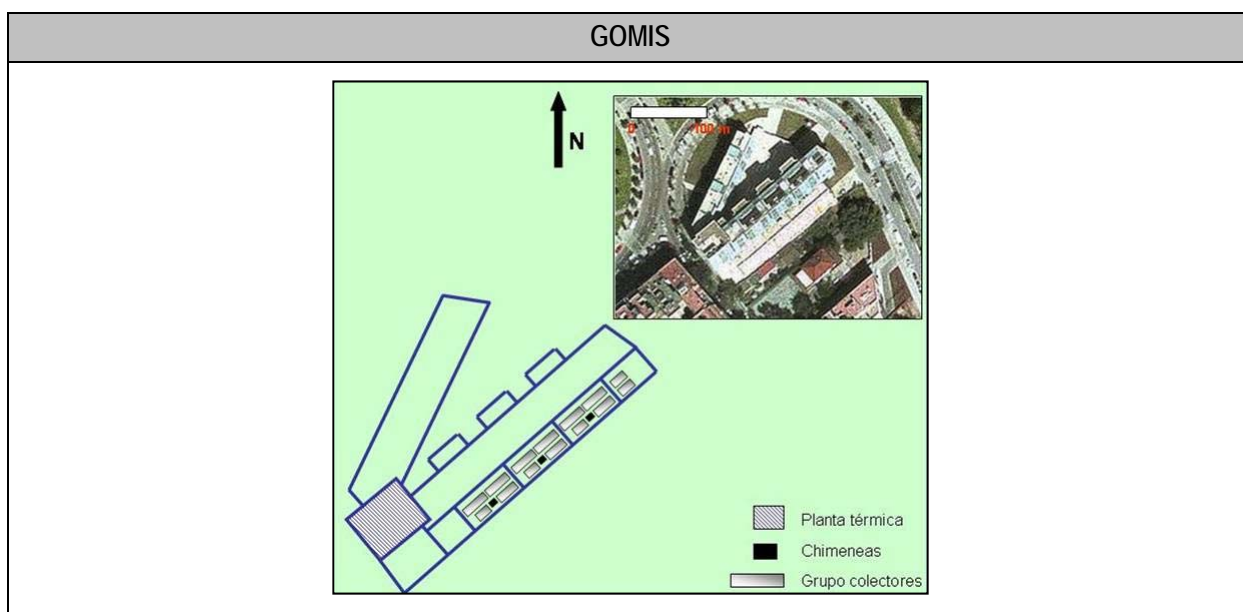


Figura 12.3a – Distribució d'elements a Gomis.

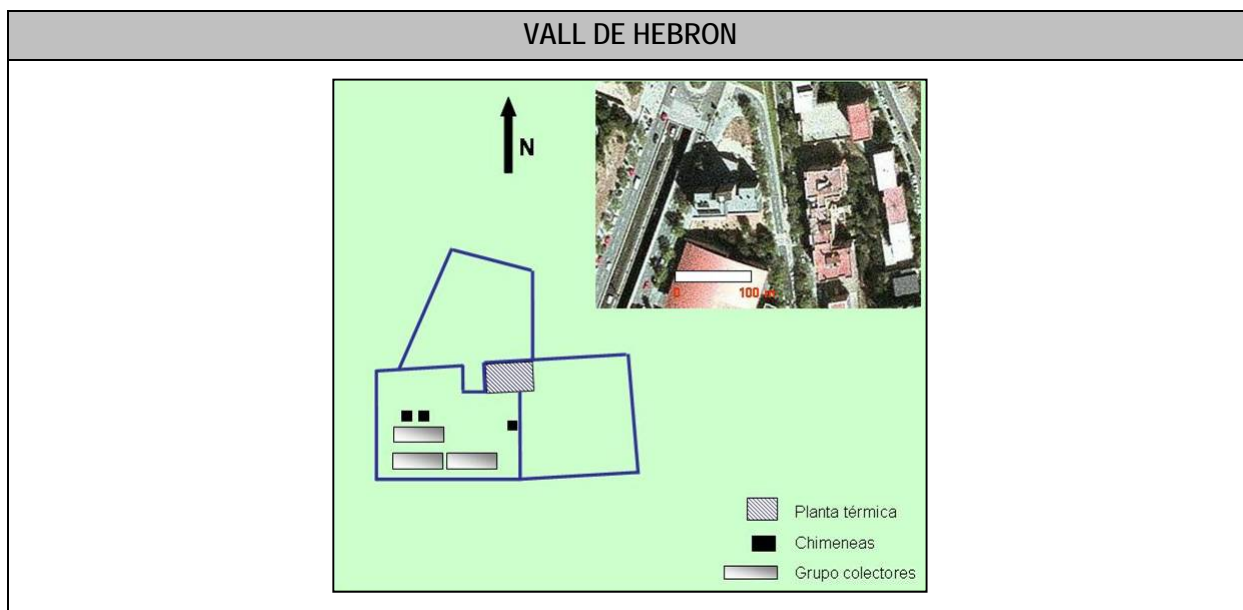


Figura 12.3b – Distribució d'elements a Vall d'Hebron.

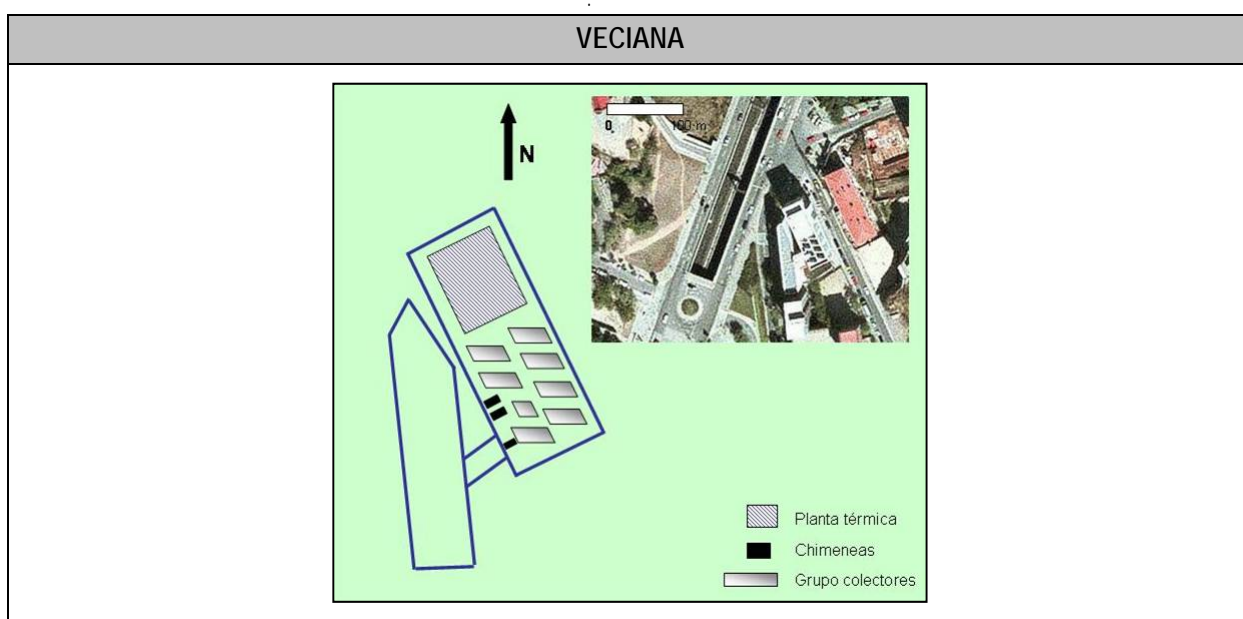


Figura 12.3c – Distribució d'elements a Veciana.

12.2. DESCRIPCIÓ DEL PROCEDIMENT EMPRAT

Prèviament a la primera visita es disposava d'informació sobre la instal·lació en general, equips consumidors d'energia, els consums d'energia i rendiments reals a la instal·lació. També s'havia procedit a verificar la calibració dels sistemes d'instrumentació a la planta i s'havia activat la generació de registres històrics d'aquells paràmetres.

Inicialment es van graficar els registres de rendiment global diari de la planta en funció de la producció diària d'energia, tal com es pot veure a les figures 12.4a, 12.4b i 12.4c.

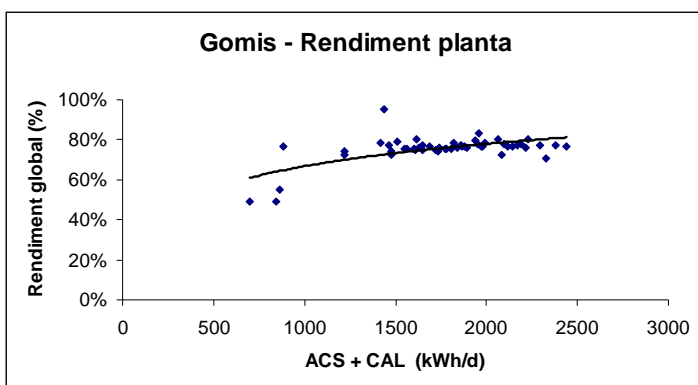


Figura 12.4a – Rendiment promig diari en funció de la producció d'energia a Gomis (hivern 2001-2002)

Figura 12.4b – Rendiment promig diari en funció de la producció d'energia a Vall Hebron (hivern 2001-2002)

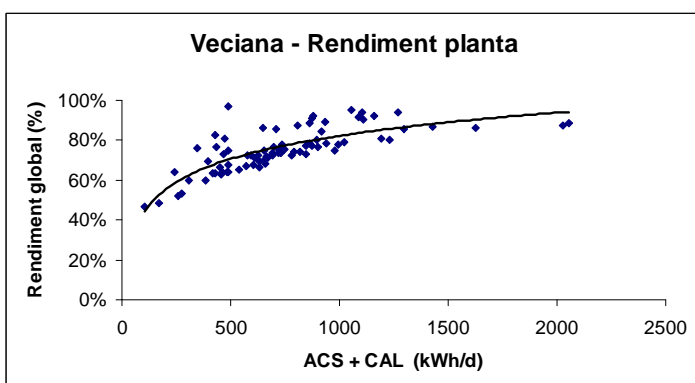
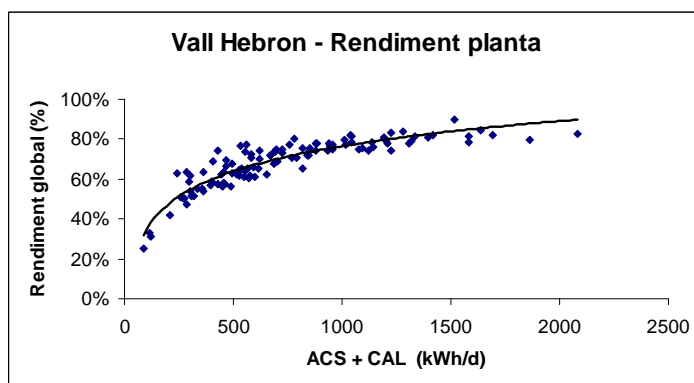


Figura 12.4c – Rendiment promig diari en funció de la producció d'energia a Veciana (hivern 2001-2002)

Una primera observació de les dades permet afirmar que:

- Bona part dels punts indiquen rendiments globals per sota del 60-70% i només quan la producció d'energia és elevada s'arriba a xifres al voltant del 80%. La taula 12.1 mostra els rendiments globals anuals dels anys 2000-2001.
- La justificació d'aquestes xifres resulta difícil de fer sense procedir a una anàlisi més detallada i les anàlisis de combustió de les calderes indicaven que el funcionament d'aquestes era normal.
- Val a dir que a la instal·lació de Gomis, el registre de dades no va quedar activat fins a meitat de Gener, no havent-se registrat dades dels dies més freds d'aquell hivern. La taula 12.2 permet mostrar aquest efecte.

	Gomis	Vall Hebron	Veciana
Rendiment promig (5)	54	53	55

Taula 12.1 – Rendiment promig de les instal·lacions als edificis en els anys 2000-2001.

	Gomis	Vall Hebron	Veciana
Temperatura màxima	25.8°C	29.3°C	27.8°C
Temperatura mínima	5.2°C	0.3°C	0.9°C
Temperatura mitjana	13.8°C	12.2°C	12.7°C

Taula 12.2 – Condicions ambientals durant el període de registre de dades als diferents edificis.

- S'observa clarament com a Gomis no es van registrar les temperatures properes a 0°C que es van recollir a Barcelona aquell hivern.
- Indirectament això també es veu a partir de la temperatura mitjana registrada, més elevada que als altres dos edificis.

Es va decidir abordar un tractament diferent de la informació dins aquesta auditoria preliminar "modificada" per tal de intentar trobar les causes dels baixos rendiments sense procedir a una auditoria energètica detallada.

12.3. MODIFICACIONS AL PROCEDIMENT

Un primer element que es va incloure (de forma similar a com es va fer al *Case Study 3*), com a modificació d'un procediment preliminar d'auditoria, va ser una correlació addicional entre temperatura exterior i demanda de calefacció. D'aquesta manera es pretenia valorar quina seria la potència tèrmica necessària com a punta a l'edifici i es podria comparar aquest valor amb la de les instal·lacions.

El segon element que es va incloure va ser representar directament consums diaris de combustible i produccions diàries d'energia per tal d'analitzar els rendiments instantanis de producció, tal com es va fer al *Case Study 4*.

Es va treballar sobre les dades diàries d'aquell hivern i es van poder generar les correlacions mostrades als gràfics 12.5 i 12.6):

- Figures 12.5 : Correlació entre la demanda de calefacció i la temperatura exterior.
- Figures 12.6 : Correlació entre la producció d'energia i consum de combustible.

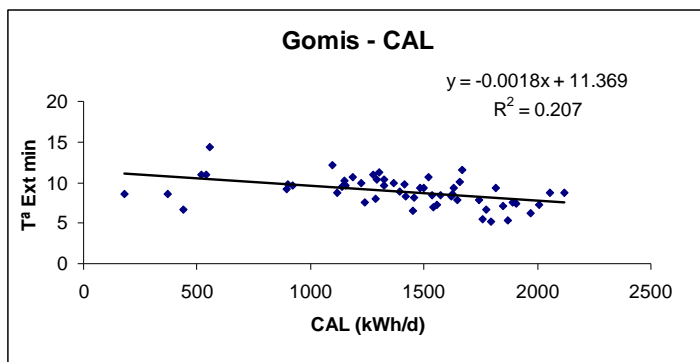


Figura 12.5a – Producció diària de calefacció en funció de la temperatura mitjana exterior a Gomis (hivern 2001-2002).

Figura 12.5b – Producció diària de calefacció en funció de la temperatura mitjana exterior a Vall Hebron (hivern 2001-2002).

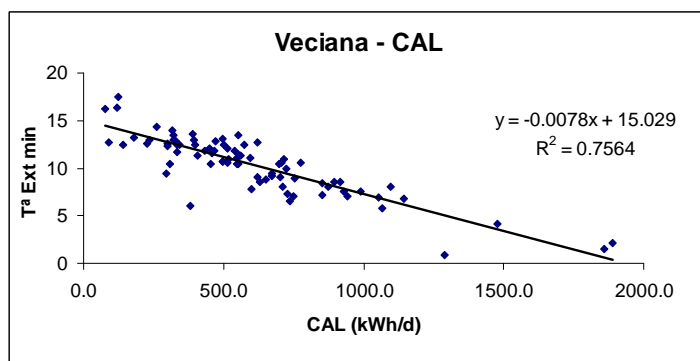
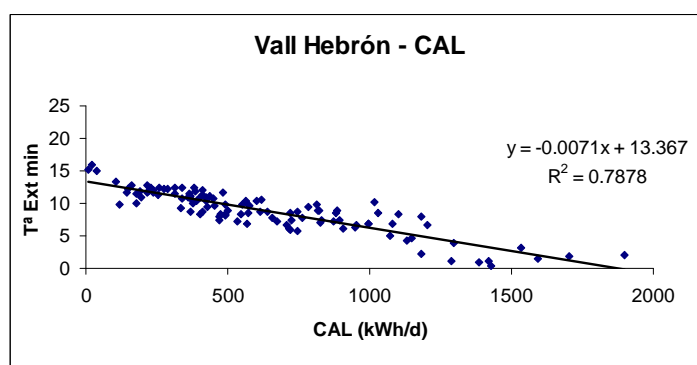


Figura 12.5c – Producció diària de calefacció en funció de la temperatura mitjana exterior a Veciana (hivern 2001-2002).

Els gràfics 12.5a a 12.5c mostren clarament algunes característiques del funcionament de la instal·lació:

- Les correlacions mostren uns valors per a la temperatura de tall de calefacció (temperatura mitjana diària a partir de la qual no hi ha demanda de calefacció) que es mou entre els 15°C de Veciana, els 11.5°C de Gomis i els 13.5°C de Vall Hebron.
- Aquestes temperatures de tall són coherents amb els criteris habituals d'estimació de demandes de calefacció en base als graus dia base 15 excepte en el cas de Gomis doncs, en no detectar-se les temperatures més baixes del període, la correlació és menys precisa.

- Els pendents de les gràfiques són representatius de les potències necessàries per vèncer el diferencial de temperatures entre la temperatura de tall i la temperatura exterior. La taula 12.3 permet mostrar aquest efecte.

	Gomis	Vall Hebron	Veciana
Gradient demanda/temperatura (kWh/°C)	1/0.0018	1/0.0071	1/0.0078
Potència aparent (kW)	392	117	120
Potència instal·lada (kW)	498	209	249
Sobredimensionat aparent (%)	27	79	107

Taula 12.3 – Potències tèrmiques màximes aparents (a una temperatura de disseny de 0°C) i instal·lades als edificis.

Novament es confirma que a partir de poques dades i sense disposar d'una elevada precisió en els resultats, és possible determinar mitjançant una auditoria energètica preliminar modificada un sobredimensionament d'instal·lacions que en sí ja és un element que pot justificar parcialment els baixos rendiments energètics identificats.

Als gràfics 12.6a a 12.6c es representa linealment la relació existent entre consum de combustible i producció d'energia a les diferents instal·lacions.

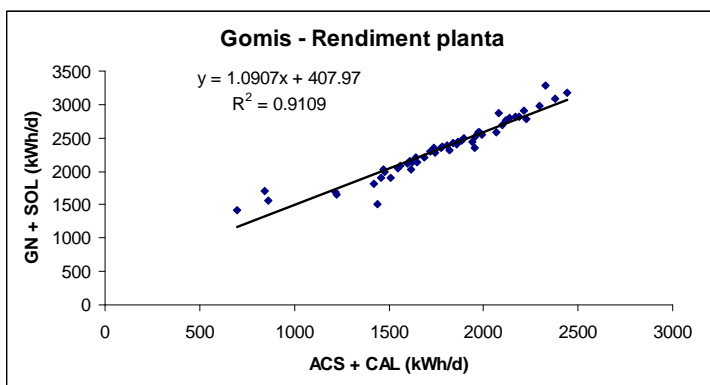
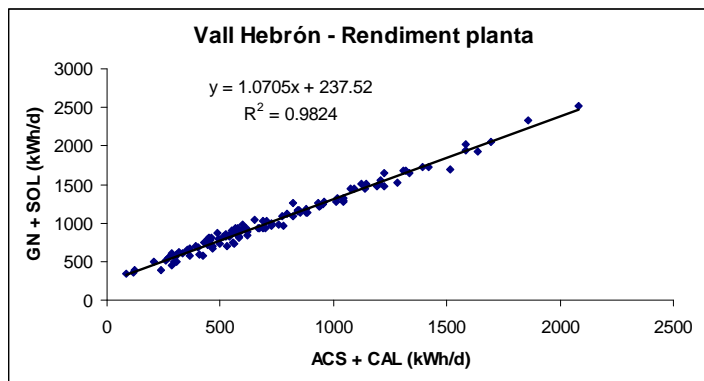


Figura 12.6a – Producció diària de calefacció i ACS en funció del consum de combustible a Gomis (hivern 2001-2002).

Figura 12.6b – Producció diària de calefacció i ACS en funció del consum de combustible a Vall Hebron (hivern 2001-2002).



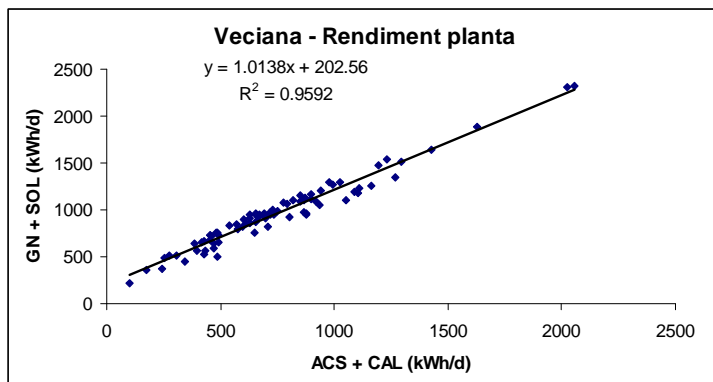


Figura 12.6c – Producció diària de calefacció i ACS en funció del consum de combustible a Veciana (hivern 2001-2002).

Als gràfics es pot novament identificar quin és el rendiment puntual de generació d'energia (l'invers del pendent de la correlació) així com les pèrdues fixes de funcionament. La taula 12.4 mostra els resultats principals.

	Gomis	Vall Hebron	Veciana
Rendiment puntual (%)	92	93	99
Pèrdues fixes d'energia (kWh/d)	408	238	203

Taula 12.4 – Rendiments instantanis de producció i pèrdues fixes d'energia als edificis.

De l'anàlisi de la taula es poden derivar les següents conclusions:

- Els rendiments puntuals són elevats (novament val a dir que no cal buscar precisió en el resultat sinó en l'ordre de magnitud del resultat). Rendiments del 92-93% són possibles en calderes de gas natural ben ajustades però 99% és una xifra elevada (presumiblement com a conseqüència de la manca de registres als moments de màxima demanda tèrmica a l'edifici).
- Les pèrdues fixes d'energia al sistema són molt elevades, equivalent aproximadament a entre una i dues hores diàries de funcionament de les calderes a plena càrrega. L'efecte d'aquestes pèrdues fixes en períodes de baixa demanda tèrmica és l'element principal que justificaria els baixos rendiments globals observats a les instal·lacions.

Per tant la conclusió global és que del conjunt d'aprenentatges desenvolupat en els Case Studies previs ha estat possible anar desenvolupant una metodologia d'auditoria energètica preliminar modificada que permet arribar a conclusions no sols qualitatives sobre la necessitat o no de procedir a una auditoria energètica detallada, tal com repetidament d'indica a la bibliografia especialitzada, sinó que és possible arribar també a conclusions quantitatives sobre l'eficiència energètica de les instal·lacions i sobre els punts de millora a avaluar.

La nova metodologia que s'ha anat desenvolupant permet identificar si la causa de les ineficiències rau en mesures primàries (limitació de demanda als edificis), secundàries (millora de l'eficiència energètica dels sistemes de producció) o terciàries (ajustos al sistema de regulació i control de les instal·lacions).

La instrumentació addicional necessària per a aquestes auditories energètiques modificades és un sistema de comptatge d'energia a nivell de sistema de producció d'energia i el registre d'aquesta informació juntament amb els consums de facturació.

BLOC III – NOVA METODOLOGIA PROPOSADA

13. NOVES PAUTES PROCEDIMENTALS

Aquest capítol resumirà les principals troballes fetes als Case Studies que permeten proposar i justificar un canvi a la metodologia habitual de dur a terme una auditoria energètica preliminar.

L'objectiu del canvi és millorar la precisió dels resultats aconseguits a les auditories energètiques preliminars sense incrementar-ne el cost.

Diu la norma UNE 216501, i la pràctica general del sector, que una auditoria energètica comporta tres fases de treball:

- Recopilació de dades.
- Tractament de dades.
- Proposta de millores.

A continuació s'exposarà quina és la pràctica habitual per tal de dur a terme aquestes fases i s'indicarà i justificarà finalment com la nova metodologia proposada permetria variar algunes d'aquestes pautes de treball.

13.1. RECOPIACIÓ DE DADES

Tal com s'ha indicat a la revisió bibliogràfica sobre els procediments emprats a les auditories energètiques, aquests es basen inicialment en generar un **model de comportament energètic de l'edifici** a partir de tres fonts de informació:

- **Inventari** de l'equipament energètic instal·lat (potències nominals), amb estimació del seu horari i calendari de funcionament.
- Recopilació de **consums** energètics mesurats durant un període llarg de temps (normalment en base a la facturació energètica de companyies de subministrament).
- Campanya de **mesures** puntuals dins les instal·lacions energètiques de l'edifici.

El primer punt (inventari) permet generar un *model de funcionament de les instal·lacions* i els punts segon i tercer (mesures energètiques) permeten transformar aquest model de funcionament en un *model de comportament energètic* (amb estimació dels rendiments i eficiències dels diferents sistemes i subsistemes).

Segons sigui el nivell de complexitat en la generació del model de funcionament de l'equipament i la profunditat de la campanya de mesures, es diferencien els diferents nivells d'auditoria energètica:

- Auditoria preliminar : **Model simple de comportament** dels equips principals i **campanya de mesures limitada** (algunes poques mesures puntuals per ajustar els principals paràmetres del model de comportament de l'edifici; habitualment la campanya de mesures és duu a terme en un parell de dies i aquestes mesures són discontinües).

- Auditoria bàsica : **Model simple de comportament** i **campanya de mesures àmplia** (registre continu dels principals paràmetres energètics; habitualment durant una o dues setmanes).
- Auditoria detallada : **Model ampli (exhaustiu) de comportament**, amb consideració no només dels equips principals sinó de tots (o gairebé tots) els equips consumidors d'energia del sistema i **campanya de mesures àmplia**.

És a dir, la diferència entre els tres nivells d'auditoria energètica no ho és tant en el procediment d'anàlisi dels resultats sinó en la quantitat de dades disponibles i, per tant, en la possibilitat d'ampliar el nombre de mesures de millora proposades a l'edifici... i en el cost associat al procés.

13.2. TRACTAMENT DE DADES

El tractament de la informació resultant habitualment es fa des de tres àmbits diferenciats:

- **Ajust dels consums** energètics modelitzats a la primera etapa de l'auditoria amb els consums reals, mitjançant diversos factors d'ajust (habitualment el concepte de les hores de funcionament a plena càrrega o el factor d'ús de l'equipament). Aquest és un procediment de *simulació matemàtica*.
- **Determinació (estimació o càlcul) de rendiments** dels sistemes i subsistemes energètics de l'edifici. Aquest és un procediment de determinació *instrumental*.
- **Identificació de dissonàncies** en les prestacions energètiques dels sistemes (sobredimensionament o infradimensionament de sistemes, pèrdues d'energia, etc). Habitualment aquest és un procés originat després d'un *càlcul* (càlcul de càrregues, càlcul d'enllumenat, etc) o com a conseqüència d'una *inspecció visual o instrumentada* (termografies, etc) sobre l'estat de l'equipament.

El conjunt dels tres elements anteriors permet disposar de la informació suficient com per generar les propostes de millora.

13.3. PROPOSTA DE MILLORES

Així com per a la recopilació i el tractament de les dades existeix nombrosa bibliografia en forma de manuals d'auditoria energètica així com la pròpia norma ISO-UNE, per a la proposta de millores no es disposa d'una metodologia evident més enllà de la pròpia experiència acumulada, el coneixement dels diferents avenços en matèria de tecnologia energètica i manuals específic per a l'estudi de millores o tecnologies específiques (manuals d'aïllament, manuals d'enllumenat, etc).

La experiència d'aquests més de 10 anys de treball en l'àmbit de les auditories energètiques i especialment els aprenentatges derivats de diversos projectes de caracterització i modelització genèrica d'edificis duts a terme als sectors dels edificis d'oficines, hotels, hospitals, centres comercials, centres esportius i edificis d'habitatges; basats en disposar de centenars d'auditories

energètiques (pròpies i alienes) d'aquells edificis permet concloure que, habitualment, aquesta proposta de millores es fa des de dues vessants:

- Receptari general de mesures aplicades a l'edifici concret: A partir d'una llista genèric de possibles propostes horitzontals (millora d'aïllaments, millora de contractació elèctrica, sectorització de consums, ajust de la combustió a calderes, canvi d'enllumenat, reducció de sobredimensionaments d'equips, ajust de consignes, etc), juntament amb l'estudi d'implantació de tecnologies basades normalment en energies renovables (bàsicament, solar tèrmica, fotovoltaica i, en menor mesura, biomassa), s'estudia una bateria de mesures i es prioritzen i proposen aquelles que presenten les millors perspectives d'aplicabilitat a l'edifici o sistema en qüestió.
- En alguns casos també s'inclouen propostes d'implantació d'un sistema de gestió de l'energia, basada en la UNE 216301 o ISO 500001 o altres mesures verticals (sectorials).

La valoració global que es fa d'aquest procediment, contrastat amb diversos responsables en eficiència energètica d'administracions públiques i instituts d'eficiència energètica, és que les auditories energètiques són un bon element per tal d'obtenir una "fotografia" de la situació energètica d'un sistema o edifici però que, habitualment, el conjunt de mesures estudiades té una aplicabilitat limitada en termes d'execució real (algun responsable de l'Institut Català d'Energia va indicar xifres d'aplicació efectiva inferiors al 30%).

13.4. NOVES PAUTES

Així doncs, essent l'objectiu principal d'escometre una auditoria energètica la d'obtenir una diagnosi que permeti generar propostes de millora en l'eficiència energètica d'un edifici o sistema energètic; la realitat de les auditories energètiques habituals és que s'assoleix l'objectiu d'obtenir una diagnosi de la situació actual de l'edifici o sistema però no és tant evident que la generació de propostes sigui efectiva.

Part de la explicació d'aquesta poca efectivitat és considera que ve motivada per la forma d'executar el procediment de les auditories energètiques. Així, el pas del model de comportament energètic del sistema a les propostes de millora no és directe sinó que cal passar per una estimació puntual o continuada de rendiments, juntament amb una elaboració de propostes basada en la pròpia experiència de l'enginyer encarregat de dur a terme l'auditoria i en la disponibilitat d'un *receptari de mesures* més o menys ampli i complert.

A la part experimental s'han presentat diversos *Case Studies* on el paràmetre comú aplicat ha estat el de **mesurar simultàniament consums d'energia i demandes d'energia útil** i representar gràficament ambdós paràmetres al llarg del temps amb l'objectiu de disposar d'un conjunt de mesures reals dels diversos punts de funcionament de la instal·lació i sempre s'ha obtingut una equació del tipus indicat a la figura 13.1.



Figura 13.1 – Representació dels consums d'energia en front de les produccions d'energia útil d'un sistema energètic

La relació directa entre cada mesura de producció d'energia útil i el consum d'energia és una mesura del rendiment puntual de la instal·lació. Aquest càlcul però incorpora com a pèrdues no només les de l'equip productor (rendiment secundari) sinó també les del sistema (passives i de gestió; rendiment primari i terciari). Les auditories energètiques habituals, en mesurar indirectament el rendiment, no permeten obtenir el gràfic anterior i, per tant, no permeten orientar la proposta de mesures de millora, que és el principal problema que s'ha identificat en les auditories energètiques convencionals.

Així doncs, una transformació en el procediment d'execució de les auditories energètiques, prioritzant la mesura d'energies útils, permetria orientar la proposta de millores de l'eficiència energètica cap a mesures primàries, secundàries o terciàries.

14. NOVA METODOLOGIA

Aquest capítol descriurà un nou procediment, una nova metodologia, per al desenvolupament i interpretació de dades a les auditories energètiques simples. Provisionalment s'ha anomenat aquesta metodologia amb el nom de WTEA - Walk-Through Energy Audit.

Tal com s'ha esmentat al capítol anterior, una auditoria energètica comporta **tres fases** de treball:

- Recopilació de dades.
- Tractament de dades.
- Proposta de millores.

A continuació es descriu una metodologia que incorpora aquelles tres fases de treball però amb un conjunt de diferències respecte a la pràctica habitual que té present els aprenentatges desenvolupats durant aquesta tesi. Tot i haver-se desenvolupat la metodologia en base a treballs d'auditoria sobre edificis, es considera que la metodologia seria extrapolable també a d'altres processos transformadors d'energia.

14.1. RECOPILOC I ANÀLISI DE LES DADES

El procediment consta de dues etapes, corresponents 1) a la recopilació i tractament previ de dades, seguit 2) de la campanya de mesures en camp.

A la **primera etapa** es duria a terme:

- La caracterització del **sistema** energètic (edifici o procés). Si és un edifici cal considerar la envoltant d'aquest (superfícies, volums i tipologia dels tancaments) i si és un procés caldria considerar els paràmetres productius de cada línia de procés.
- L'**inventari** de l'equipament energètic instal·lat, separant-lo segons 1) equips de transformació d'energia, 2) equips de distribució d'energia transformada i 3) equips de utilització de l'energia transformada.
- La recopilació habitual de **consums** energètics en base a la facturació energètica.

A la **segona etapa** es duria a terme:

- La **inspecció** visual (*Walk-Through*) de les instal·lacions, amb l'objectiu de detectar aquelles anomalies visuals, que són les que orientaran cap a les mesures PRIMÀRIES.
- La campanya de **mesures** puntuals dins les instal·lacions energètiques de l'edifici, orientades a desenvolupar corbes que relacionin CONSUMS amb DEMANDA o PRODUCCIÓ.

La durada d'aquesta campanya de mesures hauria de ser la suficient com per poder disposar de dades suficients com per establir una funció de correspondència lineal dels CONSUMS en front de DEMANDA o PRODUCCIÓ (segons on sigui més fàcil fer la mesura), per a cada subsistema del sistema energètic global (edifici o procés).

És a dir, cal desenvolupar la primera fase de forma que faciliti fer una valoració del potencial d'estalvi existent diferenciat segons siguin mesures primàries (Walk-Through), secundàries (pendent de la recta) o terciàries (ordenada a l'origen, corregida per les mesures primàries)..

14.2. TRACTAMENT DE LES DADES

El tractament de la informació recopilada és força més simple que a les auditories convencionals detallades i, en general, es podria dir que es podria fer de forma més orientada a trobar els punts de ineficiència del sistema actual:

- A partir de les funcions de correspondència entre CONSUMS i DEMANDA (o PRODUCCIÓ), s'identificaria el valor del pendent de la funció (invers del rendiment de producció) i l'ordenada a l'origen (pèrdues a demanda nul·la).
- A partir de les observacions i mesures preses durant l'etapa de Walk-Through, es podrien identificar aquells elements que generen pèrdues PRIMÀRIES (aquestes tenen a veure amb els tancaments de l'edifici i aïllaments dels circuits).
- En el cas particular (tot i que molt habitual) d'edificis amb sistema de climatització (calefacció i/o refrigeració), es recomanable també dur a terme, a més, el plotejat de les DEMANDES/PRODUCCIONS d'energia transformada o dels CONSUMS en front de la temperatura mitjana exterior durant el període de servei de la climatització.

A una WTEA no caldria fer cap més tractament de les dades, només avaluar les funcionalitats lineals entre DEMANDA i CONSUM i entre DEMANDA i TEMPERATURA.

14.3. IDENTIFICACIÓ I PROPOSTA DE MILLORES

Havent fet el tractament de dades tal com s'indica al punt anterior, la identificació i posterior proposta de millores resulta força més simple i orientada que a les auditories energètiques habituals:

- L'invers del pendent de la funció entre DEMANDES (o PRODUCCIONS) i CONSUMS és una mesura directa del rendiment del sistema de transformació d'energia d'aquell subsistema. Comparant-lo amb els rendiments nominals esperats del fabricant es pot identificar (i avaluar energètica, econòmica i ambientalment) les possibilitats de millora d'aquest equipament. És a dir, es poden valorar directament les **mesures SECUNDÀRIES**.
- A partir de les deficiències detectades a la *Walk-Through*, i mitjançant els procediments habituals de càlcul de pèrdues per tancaments, conductes o canonades, es pot avaluar quina part de les pèrdues a demanda nul·la identificades a la funció de correspondència entre DEMANDES (o PRODUCCIONS) i CONSUMS són conseqüència del potencial existent per a les **mesures PRIMÀRIES**.

- La diferència entre les pèrdues a demanda nul·la i les pèrdues primàries indiquen (i quantifiquen) el potencial de millora a les **mesures TERCIÀRIES** (aquelles que no sols són difícils de trobar a una auditoria convencional sinó que també costa molt d'avaluar el seu potencial si no és mitjançant la metodologia aquí desenvolupada).

*Com es pot veure, mitjançant la orientació de la campanya de mesures i el tractament de la funcionalitat de les relacions entre DEMANDA i CONSUM, es pot identificar i avaluar **directament** el potencial d'increment de l'eficiència energètica al sistema.*

Adicionalment, a partir de la funcionalitat entre DEMANDA (o CONSUM) i la temperatura exterior, es poden generar gràfics similars al mostrat a la figura 14.1.

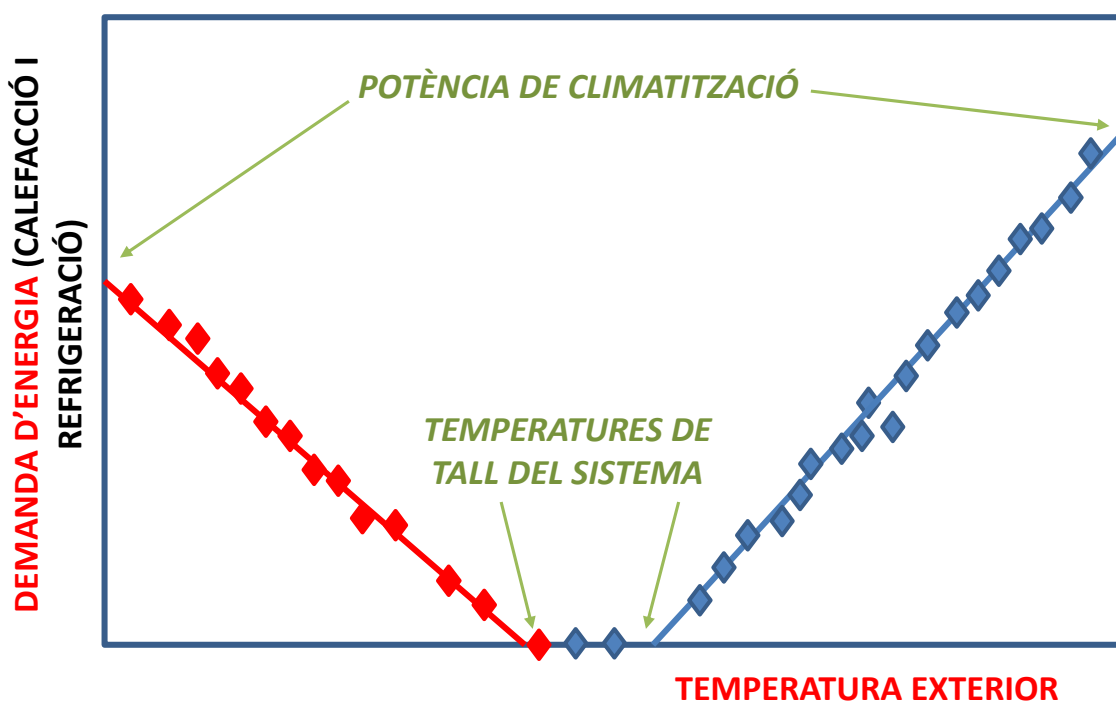


Figura 14.1 – Identificació experimental de les temperatures de tall d'un sistema de climatització i de les càrregues màximes.

A partir de la informació recopilada a la primera etapa es pot desenvolupar el càlcul de càrregues del sistema i comparar-lo amb les dades empíriques extretes del gràfic anterior per tal d'avaluar numèricament possibles sobredimensionaments o infradimensionaments del sistema.

Paral·lelament es pot demostrar [García 2008] la relació entre càrregues latents i sensibles d'un sistema amb les temperatures de tall que indica la equació 14.1 i 14.2.

$$T_{t,REF} = T_{EXT,d} - \frac{(S+L)}{S} \times (T_{EXT,d} - T_{CNF}) \quad \text{Equació 14.1 – Temperatura de tall de refrigeració}$$

$$T_{t,CAL} = T_{EXT,d} + \frac{(L)}{(S+L)} \times (T_{CNF} - T_{EXT,d}) \quad \text{Equació 14.2 – Temperatura de tall de calefacció}$$

On,

$T_{I,REF}$ és la temperatura de tall de refrigeració,

$T_{I,CAL}$ és la temperatura de tall de calefacció,

$T_{EXT,d}$ és la temperatura de disseny (per a calefacció o refrigeració),

T_{CNF} és la temperatura de confort (per a calefacció o refrigeració),

S és la càrrega sensible del sistema (per a calefacció o refrigeració),

L és la càrrega latent del sistema (per a calefacció o refrigeració)

Les diferències entre les temperatures de tall trobades experimentalment i les resultants de les equacions anteriors són, novament, indicacions de possibilitats de millora en forma de mesures PRIMÀRIES (envolvent i aïllaments) i TERCIÀRIES (sistema de gestió de l'energia).

*Novament, mitjançant la adequada recopilació i tractament de dades, es poden identificar **dimensionats** erronis del sistema de climatització i possibilitats de identificació de **mesures PRIMÀRIES i TERCIÀRIES**.*

14.4. ESTANDARITZACIÓ DE LA METODOLOGIA

Aquest capítol farà una verificació de que la nova metodologia és compatible amb la norma UNE 216501 sobre auditories energètiques, entenent que una WTEA és una forma d'auditoria preliminar amb expectatives de resultats similars als d'un auditoria bàsica o, fins i tot, detallada.

Finalment, aquest capítol té com a objectiu mostrar que les variacions proposades en aquesta metodologia són compatibles amb el procediment establert a la norma UNE 216501, sobre els requeriments de les auditories energètiques. Per fer-ho, es detallen tot seguit les modificacions introduïdes en aquesta metodologia per veure a quin apartat de la norma afecten:

- La primera modificació fa referència a la **nomenclatura de les mesures**. Així les Energy Management Opportunities (EMO's) es classifiquen en 1) PRIMÀRIES (fan referència a la reducció de la demanda d'energia del sistema), 2) SECUNDÀRIES (fan referència al consum d'energia del sistema i, per tant, a l'eficiència en la cobertura d'aquella demanda) i 3) TERCIÀRIES (fan referència al sistema de gestió de les instal·lacions i a les pèrdues provocades que una deficient gestió d'aquelles).
- La segona modificació fa referència a la **classificació de l'equipament inventariat** a la fase inicial de recopilació de dades. Així, s'identifica l'equipament de 1) TRANSFORMACIÓ D'ENERGIA (habitualment són els equips productors d'energia), 2) DISTRIBUCIÓ D'ENERGIA TRANSFORMADA (habitualment són els conductes i canonades) i 3) UTILITZACIÓ D'ENERGIA TRANSFORMADA (habitualment són les unitats terminals). Els equips de transformació d'energia donaran origen a les mesures secundàries, els equips de distribució donaran origen tant a les mesures primàries com a les terciàries i els equips de utilització donaran origen a les mesures terciàries.

- La tercera modificació fa referència a l'**inventari del sistema**, fent èmfasi en l'envolvent i els aïllaments, que són els que permetran avaluar les mesures primàries.
- La quarta modificació fa referència a la **instrumentació per a la campanya de mesures**, reduint-la a un 1) PIRÒMETRE ÒPTIC, que permeti durant el *Walk-Through* la identificació d'elements del sistema que puguin ser origen de pèrdues d'energia en tancaments i aïllaments, 2) REGISTRADOR DE TEMPERATURA EXTERIOR, que permeti correlacionar les demandes d'energia del sistema de climatització amb aquella temperatura, 3) REGISTRADOR(S) DE CONSUMS D'ENERGIA, habitualment serà el propi comptador de facturació, al que s'habilitarà la possibilitat de recollir i emmagatzemar dades i 4) REGISTRADOR(S) DE DEMANDES (o PRODUCCIONS) D'ENERGIA TRANSFORMADA, que permetran correlacionar la funcionalitat existent entre consums i demandes i, per tant, quantificar les EMO's primàries, secundàries i terciàries.
- La cinquena diferència fa referència a la forma de **tractament de les dades**, reduint-la a la avaluació de la funcionalitat existent entre demandes i consums i entre demandes i temperatures.
- La sisena i darrera diferència fa referència a la **forma de identificar les EMO's**, a partir de la quantificació de les pèrdues primàries, secundàries i terciàries. La metodologia directament enfoca cap als equips productors, distribuïdors i/o utilitzadors d'energia com a elements susceptibles de millora de l'eficiència energètica del sistema.

Totes aquestes modificacions són compatibles i queden recollides en el que diu la norma:

- La primera modificació (nomenclatura) fa referència al punt 5.1 sobre generalitats.
- La segona modificació (classificació d'equips) fa referència al punt 5.2.1 sobre instal·lacions.
- La tercera modificació (inventari) fa referència al punt 5.2.2 sobre procés.
- La quarta modificació (instrumentació) fa referència al punt 5.2.4 sobre recollida de dades.
- La cinquena modificació (tractament de les dades) fa referència al punt 5.3 sobre comptabilitat energètica.
- La sisena modificació (identificació de les EMO's) fa referència al punt 5.4 sobre propostes de millora.

Cal recordar que la WTEA és comparable en complexitat i dificultat del treball amb una auditoria preliminar, no obstant, tal com s'ha anat exposant, la forma de recollir, tractar i analitzar les dades és la que la fa diferent i permet assolir resultats de major qualitat en tant que permet precisar, de forma quantificada, els àmbits de millora de l'eficiència energètica del sistema.

Resulta implícit a aquest raonament que la WTEA només permet millorar el funcionament del sistema energètic present i, en sí, no permet proposar millores basades en la substitució de l'equipament energètic actual.

BLOC IV – CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR

15. CONCLUSIONS

Són diverses les conclusions i aprenentatges extrets del treball desenvolupat al llarg d'aquests anys en el camp de les auditories energètiques com a eina per a la millora de l'eficiència energètica als edificis:

- S'ha constatat que és possible aplicar noves pautes procedimentals en el desenvolupament de les auditories energètiques simples i que aquestes pautes permeten millorar la qualitat dels resultats assolits en la interpretació del model energètic dels sistemes energètics dels edificis. En aquest sentit es podria dir que s'ha demostrat que el procediment de les auditories energètiques és encara un procés millorable.
- S'ha constatat que la relació entre la producció i el consum d'energia d'un sistema no sols és un indicador del rendiment d'aquella transformació sinó que aporta informació sobre les pèrdues d'energia i ineficiències dels sistemes primari, secundari i terciari de gestió de l'energia a l'edifici.
- Aquesta informació addicional obtinguda permet un nou tractament de les dades que pot fer innecessaris alguns dels elements instrumentals fets servir habitualment a les auditories energètiques (p.e., l'anàlisi del sistema secundari permet avaluar directament el rendiment d'una caldera sense realitzar una anàlisi de combustió, que només és una mesura indirecta d'aquella eficiència) i dóna peu a pensar en la possibilitat de desenvolupar nous instruments adaptats a una millor interpretació del repartiment de les ineficiències del sistema energètic d'un edifici.

Tot i que es considera que hauria estat interessant haver testejat aquesta metodologia, globalment i en el marc d'aquesta tesi, s'ha decidit tancar la tesi amb la proposta i justificació de la nova metodologia, deixant com a treball futur la pròpia validació experimental de la metodologia. Es considera que la part experimental desenvolupada dins d'aquesta tesi ja és prou significativa i validadora de les expectatives obertes amb la nova metodologia.

16. TREBALL FUTUR

Els desenvolupaments proposats dins d'aquesta tesi obren diversos camps de treball futur entre els que es volen esmentar els següents:

- Aplicació de la nova metodologia a un conjunt d'edificis que permeti verificar-la en el seu conjunt i no per parts com s'ha fet fins ara. En aquest sentit cal indicar la possible integració d'aquest treball d'aplicació de la nova metodologia dins el projecte SIRENA de la UPC (*Sistema d'Informació del consum de Recursos Energètics i d'Aigua*) [SIRENA], el qual pretén ser una eina per a la millora de l'eficiència en el consum de recursos dels edificis de la UPC, i de la reducció de les emissions de CO₂ associades.
- Millores en la pròpia metodologia desenvolupada com a conseqüència de la seva aplicació generalitzada. En aquest sentit val la pena posar-hi un èmfasi especial en identificar patrons de comportament als edificis que permetin interpretar fàcilment millores al que s'han anomenat mesures terciàries, és a dir totes aquelles que tenen a veure amb el sistema de gestió i control de les instal·lacions energètiques de l'edifici.
- Desenvolupament de instruments específicament adaptats a la recollida de dades necessàries a les WTEA. Tal com s'ha vist, l'element clau diferencial a les WTEA és la mesura de la producció útil d'energia dels sistemes energètics de l'edifici i la comparació amb els consums d'energia d'aquells. La mesura d'energia útil és un procediment habitualment costós i no exempt d'errors en la pròpia mesura. La proposta que es faria és la de desenvolupar un conjunt d'instruments pensats per a un muntatge no invasiu però amb la suficient precisió com per poder generar dades útils a la WTEA.
- Si s'aconsegueix disposar d'aquesta instrumentació i s'aconsegueix estandarditzar la interpretació de resultats enfocats a la millora de l'eficiència energètica dels sistemes energètics d'un edifici, llavors seria possible dissenyar un sistema expert capaç de plantejar una revolució en el camp de les auditories energètiques en la forma d'un assistent virtual d'eficiència energètica, connectat a l'edifici i generant en continu auditories energètiques tipus WTEA per a la detecció de ineficiències i la generació automàtica de propostes de millora. Aquest assistent permetria canviar la filosofia de les auditories energètiques com a processos discontinus i puntuals.

Com es pot veure, el camp futur de treball obre moltes possibilitats i actualment ja s'està treballant per part de l'autor d'aquesta tesi tant en el desenvolupament d'aquells nous instruments com en el desenvolupament de l'assistent virtual.

BLOC V – BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES

17. REFERÈNCIES I BIBLIOGRAFIA

- [ASHRAE 2007] *ASHRAE Handbook—HVAC Applications*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta (2007)
- [Beggs 2002] C. Beggs. *Energy audits and surveys*. Energy Management and Conservation, 2002, Pages 73-91
- [Botsaris 2004] P.N. Botsaris., S. Prebezanos. *A methodology for a thermal energy building audit*. Building and Environment, Volume 39, Issue 2, February 2004, Pages 195-199
- [Cagno 2010] E. Cagno, P. Trucco, A. Trianni, G. Sala. *Quick-E-scan: A methodology for the energy scan of SMEs*. Energy, Volume 35, Issue 5, May 2010, Pages 1916-1926
- [Chirarattananon 2010] S. Chirarattananon, P. Chaiwiwatworakul, V.D. Hien, P. Rakkwamsuk, K. Kubaha. *Assessment of energy savings from the revised building energy code of Thailand*. Energy, In Press, Corrected Proof, Available online 15 January 2010
- [COM 2005/265 final] Llibre Verd sobre eficiència energètica. 22 de Juny de 2005
- [COM 2006/545 final] Comunicació de la Comissió. "Pla d'Acció per a l'Eficiència Energètica : Assolir el potencial". 19 d'Octubre de 2006
- [COM 2008/20 final] Comunicació de la Comissió. "20 20 al 2020. La oportunitat europea al canvi climàtic". 23 de Gener de 2008
- [COM 2008/772 final] Comunicació de la Comissió. "Eficiència energètica: arribar a l'objectiu del 20%". 13 de Novembre de 2008
- [COM 2008/780 final] Comunicació de la Comissió. "Proposta de Directiva relativa al rendiment energètic dels edificis". 13 de Novembre de 2008
- [Dall'O' 2012] G. Dall'O', A. Speccher, E. Bruni. *The Green Energy Audit, a new procedure for the sustainable auditing of existing buildings integrated with the LEED Protocols*. Sustainable Cities and Society, Volume 3, July 2012, Pages 54-65
- [Dascalakis 2010] E.G. Dascalaki, K. Drousa, A.G. Gaglia, S. Kontoyiannidis, C.A. Balaras. "Data collection and analysis of the building stock and its energy performance—An example for Hellenic buildings". Energy and Buildings, Volume 42, Issue 8, August 2010, Pages 1231-1237
- [DIR 2002/91/CE] Directiva sobre el rendiment energètic als edificis. 16 de Desembre de 2002
- [DIR 2004/8/CE] Directiva sobre la cogeneració d'alta eficiència. 11 de Febrer de 2004
- [DIR 2006/32/CE] Directiva sobre l'eficiència de l'ús final de l'energia i els serveis energètics. 5 d'Abril de 2006
- [DIR 2010/31/UE] Directiva sobre el rendiment energètic als edificis. 19 de Maig de 2010
- [Garcia 2008] D. Garcia-Almiñana. *Instalaciones de refrigeración y acondicionamiento de aire*. Editorial S.A. Marcombo 2006, ISBN 9788426714732

- [Ghiaus 2006] C. Ghiaus. *Experimental estimation of building energy performance by robust regression*. Energy and Buildings, Volume 38, Issue 6, June 2006, Pages 582-587
- [Helcke 1990] G.A. Helcke, F. Conti, B. Daniotti, R.J. Peckham. *A detailed comparison of energy audits carried out by four separate companies on the same set of buildings*. Energy and Buildings, Volume 14, Issue 2, 1990, Pages 153-164
- [IEA 1987] International Energy Agency. *Energy conservation in buildings and community systems, Annex XI: Energy auditing*. In: M. Lyberg, Editor, *A Source Book Energy Auditors*, Swedish Institute for Building Research (1987).
- [IEA 2009] International Energy Agency. "World Energy Outlook 2009". 2009
- [JRC 2005] European commission, Directorate-General JRC. "The European Greenbuilding Programme - Energy Audit Guidelines - Version 1" (on line). Disponible a < <http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/greenbuilding/pdf%20greenbuilding/GBP%20Audit%20Guidelines%20final.pdf> >
- [Li 2008] J.S.M. Li. *A study of energy performance and efficiency improvement procedures of Government Offices in Hong Kong Special Administrative Region*. Energy and Buildings, Volume 40, Issue 10, 2008, Pages 1872-1875
- [Ma 2009] Z. Ma, S. Wang. *Building energy research in Hong Kong: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 13, Issue 8, October 2009, Pages 1870-1883
- [Masoso 2010] O.T. Masoso, L.J. Grobler. *The dark side of occupants' behaviour on building energy use*. Energy and Buildings, Volume 42, Issue 2, February 2010, Pages 173-177
- [NJSSI 2008] The New Jersey Sustainable State Institute. "Green Future Roadmap Energy Audit Tool" (on line). Disponible a < <http://www.njslom.org/EnergyAudit1-25-08.pdf> >
- [OEC] Oregon Environmental Council. "Glossary" (on line). Disponible a < <http://www.oeconline.org/resources/carbon-neutral/glossary> >
- [Poel 2007] B. Poel, G. van Cruchten, C.A. Balaras. *Energy performance assessment of existing dwellings*. Energy and Buildings, Volume 39, Issue 4, April 2007, Pages 393-403
- [Santamouris 2007] M. Santamouris, G. Mihalakakou, P. Patargias, N. Gaitani, K. Sfakianaki, M. Papaglastra, C. Pavlou, P. Doukas, E. Primikiri, V. Geros, M.N. Assimakopoulos, R. Mitoula, S. Zerefos. *Using intelligent clustering techniques to classify the energy performance of school buildings*. Energy and Buildings, Volume 39, Issue 1, January 2007, Pages 45-51
- [SIRENA] Web del projecte SIRENA. Disponible a < <https://www.upc.edu/sostenible2015/menu1/projectes-1/sirena> >
- [UNE 216501] Norma UNE 216501:2009. "Auditorías Energéticas. Requisitos"
- [US Laws] Justia US Laws. "Definitions" (on line). Disponible a < <http://law.justia.com/us/cfr/title10/10-3.0.1.4.15.1.9.2.html> >

[Xuchao 2010] W. Xuchao, R. Priyadarsini, L.S.Eang. *"Benchmarking energy use and greenhouse gas emissions in Singapore's hotel industry"*. Energy Policy, Volume 38, Issue 8, August 2010, Pages 4520-4527

[Yu 2007] P. Yu, W.K. Chow. *A discussion on potentials of saving energy use for commercial buildings in Hong Kong*. Energy, Volume 32, Issue 2, February 2007, Pages 83-94