Tesi Doctoral

—

DISSENY I OPTIMITZACIÓ ENERGÈTICA D'UNA CASA SOLAR A L'ALT PIRINEU

Jordi Llovera Massana
Doctorand

Luisa F. Cabeza Fabra
Tutor i director

Universitat de Lleida
Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial
Andorra, Març 2009

DISSENY I OPTIMITZACIÓ D'UNA CASA BIOCLIMÀTICA ALPINA

Jordi Llovera Massana

Doctorand

Luisa F. Cabeza Fabra

Tutor i director

Universitat de Lleida

Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial

Andorra, Març del 2009

INDEX

INDEX 4
INDEX DE FIGURES 7
INDEX DE TAULES 11
AGRAÏMENTS 14
1. RESUM DE LA TESI DOCTORAL 15
1.1 RESUM EN CATALÀ 15
1.2 RESUMEN EN ESPAÑOL 15
1.3 RÉSUMÉ EN FRANÇAIS 16
1.4 SUMMARY IN ENGLISH 17
2. OBJECTIU 19
3. MOTIVACIÓ 21
4. ESTAT DE L'ART 23
4.1 INTRODUCCIÓ 23
4.2 HISTÒRIA 23
4.3 CONSTRUCCIÓ SOSTENIBLE 24
4.4 ARQUITECTURA BIOCLIMÀTICA 25
4.5 EDIFICI DE BAIXA ENERGIA 26
4.6 EDIFICI ENERGIA ZERO 27
4.7 EDIFICI ENERGIA PLUS 28
4.8 CASA AUTOSUFICIENT 29
4.9 CASA SOLAR 29
4.9.1. Energia solar passiva *29*
4.9.2. Energia solar activa *32*
4.10 ESTAT ACTUAL DE LES CASES BIOCLIMÀTIQUES 32
4.11 ALGUNS EXEMPLES DE CASES BIOCLIMÀTIQUES 35
4.11.1. Magic Box *36*
4.11.1.1. Descripció 36
4.11.1.2. Energia Solar 38
4.11.1.3. Sistemes i tecnologies innovadores 39
4.11.2. Kingspan house *39*
4.11.3. Hanson Ecohouse *42*
4.11.4. Casa solar Cracker *43*
4.11.4.1. Ventilació 46
4.11.4.2. Calefacció 47
4.11.5. Casa solar Brisbane *47*
4.11.6. Casa solar de Maine *50*
4.11.6.1. Energia Tèrmica 51
4.11.6.2. Energia Elèctrica 51
5. LA CASA SOLAR INTEL·LIGENT D'ANDORRA 53
5.1 INTRODUCCIÓ 53
5.2 DISTRIBUCIÓ DELS ESPAIS 54
5.3 ESPECIFICACIONS DE LA CASA 57
5.4 INTEGRACIÓ ARQUITECTÒNICA 57
5.5 DISSENY DEL SISTEMA DE CLIMATITZACIÓ 59
5.5.1. Objectius *59*
5.5.2. Sistema Passiu *60*
5.5.3. Sistema Actiu *62*
5.5.3.1. Col·lectors d'aire de calefacció 62

5.5.3.2. Recuperador de calor 65
5.6 DISSENY DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓ D'ACS 65
5.6.1. Descripció del procés de càlcul del sistema solar d'ACS 66
5.7 ALTRES MESURES DE SOSTENIBILITAT 67
5.7.1. Aigua de reg 67
5.7.2. Reciclatge dels materials utilitzats en la construcció 68
5.8 SIMULACIÓ TÈRMICA ANUAL DE L'EDIFICI 68
5.8.1. Introducció 68
5.8.2. Descripció de la simulació tèrmica 68
5.8.3. Càlcul dels guanys solars 69
5.8.4. Optimització del tamany de finestres 71
5.8.5. Optimització del tipus de vidre 72
5.8.6. Optimització de l'aïllament de la teulada 72
5.8.7. Optimització del mur exterior 73
5.8.8. Optimització del forjat del garatge 73
5.8.9. Optimització de la inèrcia tèrmica de l'edifici 73
5.8.10. Càrregues de calefacció 74
5.8.10.1. Dades prèvies 74
5.8.10.2. Determinació de la zona climàtica 74
5.8.10.3. Coeficient de transmissió dels tancaments de la casa 75
5.8.10.4. Coeficient global del edifici (K_G) 83
5.8.11. Càrrega a través de parets, sostres i terres 85
5.8.12. Transmissió de calor a través de superfícies de vidre 87
5.8.13. Càrrega deguda a ventilació 87
5.8.13.1. Càlcul de la càrrega deguda a ventilació 87
5.8.13.2. Cabal volumètric de ventilació segons la legislació espanyola 88
5.8.14. Càrrega deguda a infiltracions 89
5.8.14.1. Cabal d'aire infiltrat per efecte del vent 89
5.8.15. Càrrega deguda a ocupants 90
5.8.16. Coeficient de seguretat 90
5.8.17. Càlcul de la càrrega tèrmica del edifici 90
5.9 SISTEMA DOMÒTIC DE CONTROL 91
5.9.1. Pantalles d'estat i control 91
5.9.2. Pantalles de control del consum 95
5.9.3. Pantalles de gràfics de seguiment 96
5.9.4. Descripció del control 98
5.9.4.1. Prioritats de calefacció 99
5.9.4.2. Prioritat dels toldos 99
5.9.4.3. Prioritats de les persianes 100
5.9.4.4. Funcionament del terra radiant 101
5.9.4.5. Descripció del funcionament 101
5.9.5. Conclusions del sistema domòtic 111

6. COMPLIMENT DE LA NORMATIVA VIGENT A ESPANYA 113

6.1 COMPLIMENT DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. VERIFICACIÓ DEL LIDER 113
6.1.1. Anàlisi de resultats 115
6.2 COMPLIMENT DE LA NORMATIVA ESPANYOLA VIGENT. DISSENY DE LA INSTAL·LACIÓ SOLAR DE PRODUCCIÓ D'AIGUA CALENTA 115
6.2.1. Càlcul de la radiació solar incident 115
6.2.1.1. Angles solars relatius a superfícies inclinades 115
6.2.1.2. Mitjana mensual de radiació solar extraterrestre 116
6.2.1.3. Mitjana diària mensual de radiació solar terrestre sobre un captador 116
6.2.1.4. Resultats 118
6.2.1.5. Càlcul de les pèrdues per inclinació i orientació 120
6.2.1.6. Càlcul de les pèrdues de radiació solar per ombres 123
6.2.2. Càlcul de la irradiació solar 125

6.2.3. Càlcul de l'energia necessària per la producció d'aigua calenta *125*
6.2.3.1. Contribució solar mínima d'aigua calenta sanitària 127
6.2.3.2. Determinació de la zona climàtica 128
6.2.3.3. Càlcul de la contribució solar mínima 128
6.2.4. Quantitat d'anticongelant en el circuit primari *129*
6.2.5. Cabal del circuit primari *132*
6.2.6. Rendiment del col·lector *132*
6.2.7. Factor captador-bescanviador *134*
6.2.8. Càlcul de la superfície col·lectora necessària *136*

7. RESULTATS EXPERIMENTALS. ESTUDI TERMOGRÀFIC 139

7.1 INTRODUCCIÓ 139
7.2 ESTUDI TERMOGRÀFIC DE LA CUINA 140
7.3 ESTUDI TERMOGRÀFIC DEL MENJADOR 142
7.4 ESTUDI TERMOGRÀFIC DEL RENTADOR 143
7.5 ESTUDI TERMOGRÀFIC DE LA ESCALA A LA PLANTA 1 144
7.6 ESTUDI TERMOGRÀFIC DEL BANY 1 145
7.7 ESTUDI TERMOGRÀFIC HABITACIÓ 2 146
7.8 ESTUDI TERMOGRÀFIC HABITACIÓ 3 147
7.9 ESTUDI TERMOGRÀFIC HABITACIÓ 4 147
7.10 ESTUDI TERMOGRÀFIC DEL PASSADÍS 148
7.11 ESTUDI TERMOGRÀFIC DE LA CAIXA DE L'ASCENSOR 149
7.12 ESTUDI TERMOGRÀFIC DEL DESPATX 149
7.13 ESTUDI TERMOGRÀFIC HABITACIÓ PRINCIPAL 150
7.14 ESTUDI TERMOGRÀFIC DEL PASSADÍS 2 151
7.15 ESTUDI TERMOGRÀFIC DEL VESTIDOR 152
7.16 ESTUDI TERMOGRÀFIC DE LA INSTAL·LACIÓ D'AIGUA CALENTA 153
7.17 ESTUDI TERMOGRÀFIC DE L'AÏLLAMENT DELS CONDUCTES DE FAÇANA 154
7.18 ESTUDI TERMOGRÀFIC DE L'AÏLLAMENT DELS APARELLS 156
7.19 ESTUDI TERMOGRÀFIC DELS DIPÒSITS D'AIGUA CALENTA SANITÀRIA 156
7.20 ESTUDI TERMOGRÀFIC DE LA FAÇANA EST I OEST 157
7.21 ESTUDI TERMOGRÀFIC DE LA FAÇANA NORD I SUD 158
7.22 ESTUDI TERMOGRÀFIC DEL SOLAR CLOSET 160
7.23 PONTS TÈRMICS A LES CAIXES DE PERSIANA 161

8. RESULTATS EXPERIMENTALS. CONSUM ENERGÈTIC I COMPORTAMENT TÈRMIC 162

8.1 CONSUM DE CALEFACCIÓ TÍPIC A ANDORRA 162
8.2 CLIMATOLOGIA DELS ANYS EN QUE ES COMPAREN ELS CONSUMS 163
8.3 CONSUMS A L'HIVERN 164
8.4 CONSUMS A L'ESTIU 169
8.5 COMPORTAMENT TÈRMIC AL HIVERN 170
8.6 COMPORTAMENT TÈRMIC A L'ESTIU 172
8.7 ETIQUETA ENERGÈTICA SEGONS NORMATIVA ESPANYOLA 174
8.8 ETIQUETA ENERGÈTICA SEGONS NORMATIVA FRANCESA RT 2005 175

9. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS 176

10. BIBLIOGRAFIA 178

11. ANNEX FOTOGRÀFIC 179

11.1 SEQÜÈNCIA DE CONSTRUCCIÓ DE LA FAÇANA SUD DE LA CASA 179
11.2 SEQÜÈNCIA DE CONSTRUCCIÓ DE LA FAÇANA OEST DE LA CASA 182
11.3 FOTOGRAFIES GENERALS DE LA CASA 185
11.4 FOTOGRAFIES DE DETALLS DE LA CASA 189

INDEX DE FIGURES

Figura 1. Casa bioclimàtica objecte de la present tesi doctoral 19
Figura 2. Fites de la construcció sostenible 23
Figura 3. Cicle energia - matèria en el procés constructiu. 25
Figura 4. Sistema de guany solar directe 30
Figura 5. Sistema de guany solar indirecte 31
Figura 6. Evolució de les superfícies anuals instal·lades a la Unió Europea 34
Figura 7. Comparació de la tendència actual amb els objectius del llibre blanc (en milions de m^2) 35
Figura 8. Casa Solar dissenyada per la Universitat Politècnica de Madrid 36
Figura 9. Façana Sud de la casa solar Magic Box 36
Figura 10. Façana Nord de la casa solar Magic Box 37
Figura 11. Façana Oest de la casa solar Magic Box 38
Figura 12. Disseny i secció de la casa d'energia zero dissenyada per Kingspan 40
Figura 13. Elements que disposa la casa de Kingspan 41
Figura 14. Disseny de la Hanson Ecohouse 42
Figura 15. Prototip construït de la Hanson Ecohouse 43
Figura 16. Vista façana sud de la casa solar Cracker 44
Figura 17. Dibuix isomètric de la casa solar Cracker 44
Figura 18. Plànol de la casa solar Cracker 45
Figura 19. Vista dels seguidors solars amb les plaques fotovoltaiques 46
Figura 20. Vista de la cúpula amb finestres i els ventiladors del sostre 47
Figura 21. Vista de la casa solar Brisbane 48
Figura 22. Ventilació natural per refrigerar la casa a l'estiu 48
Figura 23. Ventilació natural per escalfar la casa al hivern 49
Figura 24. Vista de la casa solar de Maine 50
Figura 25. Plànol de la distribució de la casa solar de Maine 51
Figura 26. Vista de la casa, amb rigorosa climatologia d'hivern. 53
Figura 27. Façanes Est i Nord de la casa. 54
Figura 28. Distribució de la casa, planta soterrani. 56
Figura 29. Distribució final de la casa, planta baixa. 56
Figura 30. Distribució final de la casa, planta primera. 56
Figura 31. Distribució final de la casa, planta segona. 57
Figura 32. Integració dels captadors solars en la façana Sud. Vista general i detall dels col·lectors d'aigua calenta 59
Figura 33. Detall d'integració dels col·lectors d'aire de calefacció en la façana Sud. 59
Figura 34. Projecció del sol al terra i murs interiors, el mes de juny. 61
Figura 35. Projecció del sol al terra i murs interiors, el mes de desembre. 61
Figura 36. Façana sud al hivern 62
Figura 37. Secció transversal del col·lector d'aire de calefacció i l'espai del Solar Closet. 63
Figura 38. dipòsits d'acumulació tèrmica del Solar Closet. 64
Figura 39. Imatge dels dipòsit d'aigua i dels conductes que comuniquen el solar closet amb els col·lectors solars d'aire de calefacció 64
Figura 40. Diagrama d'enginyeria de la instal·lació de captadors solars de producció d'aigua calenta. 66
Figura 41. Estudi de les hores de sortida i posta de sol tenint en compte les muntanyes i ombres projectades sobre la casa. 67
Figura 42. Vista del perfil de l'horitzó de les muntanyes 67
Figura 43. Origen de l'energia necessària per la calefacció de l'edifici 69
Figura 44. Sistema constructiu de l'edifici i materials de construcció utilitzats 81
Figura 45. Mapa de la temperatura del terreny en funció de la zona climàtica 85
Figura 46. Armari de control 91
domòtic de la casa Figura 47. Pantalla d'inici 91
Figura 48. Pantalla de control del sistema de producció d'aigua calenta 92
Figura 49. Pantalles de la planta soterrani i baixa de l'edifici 92
Figura 50. Pantalles de les plantes primera i segona de l'edifici 93
Figura 51. Pantalla de control dels ventiladors de calefacció i renovació d'aire 93
Figura 52. Pantalla de control del rec 94

Figura 53. Pantalla de control de funcionament dels electrodomèstics per aprofitar la tarifa nocturna, paràmetres de calefacció, de persianes, de ventilació i de la funció “free cooling”. 94
Figura 54. Pantalles de control de ventiladors i terra radiant, amb funció manual/automàtic, control d’hores de funcionament i de paràmetres que fan que es connectin i desconnectin. 94
Figura 55. Pantalles de control de les persianes i de les sondes de temperatura de cada habitació, amb indicació d’horaris, punts de consigna de calefacció i de refrigeració (pel control dels guanys solars per les persianes). 95
Figura 56. Pantalla de control del rec del jardí i de l’hort i pantalla típica d’horaris setmanals, amb possibilitat d’entrar excepcions diàries. 95
Figura 57. Pantalles de consum dels ventiladors de calefacció i ventilació 95
Figura 58. Pantalla de control de consum en calefacció 96
Figura 59. pantalla del consum total de calefacció (terra radiant més ventiladors) i pantalla de producció i consum d’aigua calenta 96
Figura 60. Pantalla gràfica que permet estudiar l’evolució dels paràmetres i la seva interrelació 97
Figura 61. Pantalla de control gràfic d’evolució de paràmetres (cas concret del terra radiant) 97
Figura 62. Vista façana Sud de la casa modelitzada 114
Figura 63. Vista façana Nord de la casa modelitzada 114
Figura 64. Resultats del programa LIDER 115
Figura 65. Gràfica de la radiació solar incident respecte la inclinació 120
Figura 66. Col·lectors solars d’aigua calenta integrats arquitectònicament 121
Figura 67. Inclinació dels mòduls 121
Figura 68. Orientació dels mòduls 122
Figura 69. Percentatge d’energia respecte al màxim de pèrdues 122
Figura 70. Perfil d’ombres que afecten a la casa 123
Figura 71. Diagrama de trajectòries del Sol 123
Figura 72. Zones climàtiques 128
Figura 73. Temperatura de congelació en funció del percentatge 130
Figura 74. Viscositat dinàmica de les mescles aigua-propilenglicol en funció de la temperatura. 132
Figura 75. Recta de rendiment del col·lector C2 de Jacques Giordano Industries. 133
Figura 76. Potència necessària i subministrada pels col·lectors C2 de Jacques Giordano Industries. 137
Figura 77. Termografia de la finestra de la cuina 140
Figura 78.Termografia del terra radiant de la cuina 141
Figura 79.Termografia portes del menjador 142
Figura 80. Termografia d’una cantonada del menjador 143
Figura 81.Termografia del terra radiant del rentador 143
Figura 82.Termografia d’una cantonada del rentador 144
Figura 83.Termografia del terra del rentador amb el terra radiant desconnectat 144
Figura 84.Termografia de l’escala i finestra 145
Figura 85. Termografia del bany planta 1 145
Figura 86.Termografia terra radiant bany planta 1 146
Figura 87. Termografia de les portes balconeres de l’habitació 2 146
Figura 88. Fotografia de les portes balconeres de l’habitació 2 147
Figura 89. Termografia de les portes balconeres habitació 3 147
Figura 90. Termografia portes balconeres habitació 4 147
Figura 91. Termografia portes balconeres habitació 4 148
Figura 92. Termografia parets habitació 4 148
Figura 93. Termografia finestra del passadís planta 1 (orientació nord) 149
Figura 94.Termografia de les parets de l’ascensor 149
Figura 95. Termografia de les finestres del despatx 150
Figura 96. Termografia del terra radiant del despatx 150
Figura 97. Termografia de la finestra de l’habitació principal 151
Figura 98. Fotografia de la finestra de l’habitació principal 151
Figura 99. Termografia dels murs exteriors del passadís 151
Figura 100. Termografia del terra radiant del passadís de la planta 2 152
Figura 101. Termografia de les parets i finestra del vestidor 152
Figura 102. Termografia dels col·lectors solars 153
Figura 103. Termografia dels tubs d’aigua calenta i retorn 153

Figura 104. Termografia dels tubs d'aigua calenta solar 154
Figura 105. Sistema constructiu dels conductes d'impulsió d'aire dels col·lectors solars 155
Figura 106. Detall del sistema constructius de tubs i conductes a la façana 155
Figura 107. Termografía dels conductes d'aire de la part alta de la façana sud 155
Figura 108. Termografia dels conductes d'aire de la part baixa de la façana sud 156
Figura 109. Termografia del rentaplats en funcionament 156
Figura 110. Termografia dels termo elèctric 156
Figura 111. Termografia de la façana est 157
Figura 112. Fotografia del sistema constructiu de la façana est 157
Figura 113. Termografia dels conductes d'aire de la façana oest 157
Figura 114. Fotografia del sistema constructiu de la façana oest 158
Figura 115. Termografia de la façana sud 158
Figura 116. Fotografia de la façana sud 158
Figura 117. Termografia de la façana nord 159
Figura 118. Fotografia del sistema constructiu de la façana nord 159
Figura 119. Termografia de la façana sud escalfada pel sol 159
Figura 120. Termografia dels col·lectors solars de calefacció 160
Figura 121. Termografia de l'interior del solar closet. Comportes altes i baixes 160
Figura 122. Caixa de persiana amb l'aïllament inicial de l'obra, només a la cara inferior i la tapa (2 cm de poliestirè). L'aïllament que es veu a la cara exterior, darrera de la persiana es va posar posteriorment. 161
Figura 123. Caixa de persiana aïllada amb 6 cm de poliestirè en totes les cares interiors. 161
Figura 124. Pantalla del consum de calefacció per terra radiant temporada 2003-04 165
Figura 125. Pantalla del consum de calefacció per terra radiant temporada 2004-05 165
Figura 126. Pantalla del consum de calefacció per terra radiant temporada 2005-06 166
Figura 127. Pantalla del consum de calefacció per terra radiant temporada 2006-07 166
Figura 128. Pantalla del consum de calefacció per terra radiant temporada 2007-08 167
Figura 129. Evolució dels graus dia 18 i dels consum de calefacció de la casa des del 2003 al 2008 169
Figura 130. Gràfic d'evolució de les temperatures interior, exterior, solar closet i radiació solar en una setmana típica d'hivern al menjador 170
Un darrer exemple d'hivern, amb temperatures negatives i varis dies sense sol, es pot veure en el gràfic de la Figura 132. Correspon als dies 23 al 28 de gener del 2005. Es pot veure: 171
Figura 132. Gràfic d'evolució de les temperatures de l'interior del menjador, exterior, solar closet i radiació solar en una setmana d'hivern molt freda 172
Figura 133. Gràfic d'evolució de les temperatures interiors del menjador, exterior i radiació solar en una setmana calorosa d'estiu 173
Figura 134. Gràfic d'evolució de les temperatures interiors de l'habitació 2, exterior i radiació solar en una setmana calorosa d'estiu 173
Figura 135. Construcció de l'estructura de formigó de la façana sud 179
Figura 136. Folrat de la façana amb alumini plastificat i instal·lació de tubs i conductes d'aire 179
Figura 137. Instal·lació d'aïllament tèrmic 2x7,5cm de poliestirè. Juntes amb escuma de poliuretà 180
Figura 138. Folrat de la façana sud amb pedra 180
Figura 139. Col·locació de fusteria de finestres 181
Figura 140. Col·locació de vidres i acabats 181
Figura 141. Façana sud acabada inclosos col·lectors solars d'aigua calenta i d'aire de calefacció 182
Figura 142. Construcció de l'estructura de formigó de la façana oest 182
Figura 143. Folrat de la façana amb alumini plastificat i instal·lació de tubs, conductes d'aire i tubs elèctrics 183
Figura 144. Col·locació de poliestirè 2x7,5cm i rejuntat amb escuma de poliuretà dels tubs i cables 183
Figura 145. Folrat de la façana amb pedra 184
Figura 146. Façana oest acabada inclosos col·lectors solars d'aire de calefacció 184
Figura 147. Imatge general de la façana oest i el seu context 185
Figura 148. Imatge de detall de la casa amb la seva climatologia adversa 185
Figura 149. Imatge de la casa amb la vall d'Andorra la Vella al fons 186
Figura 150. Façana est i nord de la casa 186
Figura 151. Vista de la casa cap a l'oest. Pic de Carroi 187
Figura 152. Vista de la casa cap a l'est. Vall del Madriu 187

Figura 153. Gruix de neu considerable a la terrassa de la façana est 188
Figura 154. Gruix de neu acumulada a la finestra de la planta 2 188
Figura 155. Detall dels conductes d'aire de calefacció al sostre del garatge 189
Figura 156. Detall dels ventiladors d'aire de calefacció a la paret del "solar closet" 189
Figura 157. Detall de l'aïllament de la teulada, 20cm de llana de roca volcànica 190
Figura 158. Detall d'aïllament de la paret del "solar closet" amb el garatge, 10cm de llana de roca volcànica 190
Figura 159. Detall comporta d'aire alta del col·lector solar al "solar closet" 191
Figura 160. Detall de comportes altes i baixes del col·lector solar al "solar closet" 191
Figura 161. Vista del "solar closet" equipat amb l'aigua 192
Figura 162. Vista del "solar closet" acabat 192
Figura 163. Detall de la integració arquitectònica dels col·lectors solars d'aigua calenta 193
Figura 164. Quadre elèctric domòtic de la casa 193
Figura 165. Detall d'una finestra amb els difusors d'aire de calefacció i renovació a cada banda, i la caixa de persiana per la part interior de la casa 194
Figura 166. Detall de l'aïllament interior de la caixa de persiana de 6 a 9cm de poliestirè en totes les cares que donen a l'interior de la casa 194
Figura 167. Vista general del menjador acabat 195
Figura 168. Vista general del menjador acabat 195
Figura 169. Vista general del menjador 196
Figura 170. Vista general del menjador 196

INDEX DE TAULES

Taula 1. Superfícies útils de la casa. 55
Taula 2.- Especificacions principals de les instal·lacions de calefacció i producció d'ACS 58
Taula 3. Zones climàtiques 74
Taula 4. Valors límits dels paràmetres característics de la zona E1 75
Taula 5. Resistències tèrmiques [m^2·ºC/W] 76
Taula 6. Resistències tèrmiques per totxos [h·m^2·ºC/kCal (m^2·ºC/W)]. 76
Taula 7. Coeficient de transmissió tèrmica en vidres U [kcal/h·m^2·ºC (W/m^2·ºC)]. 77
Taula 8. Coeficient de transmissió tèrmica en portes U [kcal/h·m^2·ºC (W/m^2·ºC)]. 77
Taula 9. conductivitat tèrmica, densitat i calor específic dels materials d'acabats més corrents utilitzats en la construcció 78
Taula 10. conductivitat tèrmica, densitat i calor específic dels materials més corrents utilitzats en la construcció 79
Taula 11. conductivitat tèrmica, densitat i calor específic dels aïllaments més corrents utilitzats en la construcció 80
Taula 12. conductivitat tèrmica i factor solar de diferents tipus de vidre 80
Taula 13. Coeficient de transmissió de les parets exteriors 81
Taula 14. Coeficient de transmissió de la teulada 81
Taula 15. Coeficient de transmissió de les finestres 82
Taula 16. Coeficient de transmissió de la solera 82
Taula 17. Coeficient de transmissió dels forjats interiors 82
Taula 18. Coeficient de transmissió de les parets interiors 82
Taula 19. Valors límits dels paràmetres característics de la zona E1 83
Taula 20. Càlcul de les àrees dels tancaments 84
Taula 21. Coeficient CZC en [kCal/ h·m2·ºC (W/ m2·ºC)]. 84
Taula 22. Condicions interiors. Confort. 85
Taula 23. Condicions climàtiques per hivern 86
Taula 24. Cabals de ventilació mínims exigits 88
Taula 25. Cabal volumètric infiltrat per metre d'escletxa per portes [m3/h·m]. 89
Taula 26. Cabal volumètric infiltrat per metre d'escletxa per finestres [m3/h·m]. 89
Taula 27. Resum dels càlculs de càrregues tèrmiques 90
Taula 28. Coeficients tèrmics del menjador 102
Taula 29. Coeficients tèrmics de la cuina 102
Taula 30. Coeficients tèrmics del rentador 103
Taula 31. Coeficients tèrmics de l'aseo PB 104
Taula 32. Coeficients tèrmics de l'habitació 1 104
Taula 33. Coeficients tèrmics de l'habitació 2 105
Taula 34. Coeficients tèrmics de l'habitació 3 105
Taula 35. Coeficients tèrmics de l'habitació 4 105
Taula 36. Coeficients tèrmics del bany planta 1 106
Taula 37. Coeficients tèrmics del passadís planta 1 106
Taula 38. Coeficients tèrmics de l'habitació principal 107
Taula 39. Coeficients tèrmics del despatx 107
Taula 40. Coeficients tèrmics del bany planta 2 108
Taula 41. Coeficients tèrmics del passadís planta 2 108
Taula 42. Coeficients tèrmics del vestidor 109
Taula 43. Dia característic de cada mes 116
Taula 44. Radiació solar sobre superfície horitzontal a Pamplona 117
Taula 45. Índex de nuvolositat per a cada mes a la localitat de Pamplona. 118
Taula 46. Dades de latitud, azimut i reflectància del terreny a l'edifici d'estudi 118
Taula 47. Càlcul de la mitjana de radiació solar per diferents inclinacions 119
Taula 48. Pèrdues límit 121
Taula 49. Taula de referència de pèrdues anuals segons CTE 124

Taula 50. Càlcul del percentatge de radiació no interceptada per ombres 124
Taula 51. Nombre d'hores de sol de cada mes i irradiació solar mitja sobre la superfície de la casa 126
Taula 52. Demanda d'aigua calenta de referència a 60ºC 126
Taula 53. Temperatura estimada de l'aigua de la xarxa a Engordany 127
Taula 54. Resultats de la carrega mensual d'ACS 127
Taula 55. Radiació solar global 128
Taula 56. Contribució solar mínima en %. Cas efecte Joule. 129
Taula 57. Dades reals de consum d'aigua calenta en litres i energia d'escalfament + pèrdues d'energia en la recirculació 129
Taula 58. Temperatura mínima absoluta registrada a Engordany entre 1996 i 2006. 130
Taula 59. Densitat de les mescles propilenglicol-aigua. 131
Taula 60. Calor específic de les mescles propilenglicol-aigua. 131
Taula 61. Temperatura ebullició de les mescles aigua-propilenglicol. 132
Taula 62. Resum de les propietats del fluid caloportador del circuit primari. 133
Taula 63. Rendiment mensual del col·lector C2 de Jacques Giordano Industries 134
Taula 64. Resultats del càlcul de l'àrea per ACS. 136
Taula 65. Percentatge de contribució solar amb els col·lectors C2 de Jacques Giordano Industries. 137
Taula 65. Dades d'importació de gasoil de calefacció a Andorra. Font Departament d'Estadística del Govern d'Andorra 162
Taula 66. Temperatures mitjanes mensuals. Font FEDA 163
Taula 67. Evolució dels graus dia 18 cada hivern 164
Taula 68.- Comparatiu de l'evolució dels graus dia d'hivern 18 i del consum 169
Taula 69.- Etiqueta, consum energètic i emissions de CO2 de la casa segons normativa espanyola 175
Taula 70.- Etiqueta i consum energètic de la casa segons normativa francesa 175

Dedicat a la Pili
i a les nostres filles
Carlota, Alèxia i Margot

AGRAÏMENTS

Vull agrair a la directora de la tesi Luisa Fernanda Cabeza Fabra, el seu recolzament i orientació rebuda durant la realització del present treball.

Al Grup de Recerca en Energia Aplicada de la Universitat de Lleida i als seus enginyers i científics dedicats a la recerca en aquest àmbit.

Al Govern d'Andorra per creure i recolzar aquest tipus de projectes i al seu esforç per que deixin de ser edificis excepcionals per transformar-se en habituals.

Vull agrair de forma especial a Manel Salas Martinez tot el recolzament i la gran quantitat de coses que m'ha ensenyat. Sense ell no hagués vist mai la llum aquesta tesi doctoral.

A Xavier Potau i Eduard Quadrat per l'ajuda rebuda quan ha estat menester.

Al companys d'Enginesa i Energètic R+D.

I a tots els familiars i amics que no mencionaré de forma individual però que m'han recolzat i ajudat durant tot el temps de realització de la tesi.

1. RESUM DE LA TESI DOCTORAL

1.1 *Resum en català*

La present tesi doctoral correspon a l'estudi i optimització energètica d'una casa solar i bioclimàtica situada en una zona amb clima alpí, on la temperatura mínima exterior és de -12ºC. Es tracta d'un habitatge unifamiliar, situat a la població d'Engordany, al Principat d'Andorra, a 1260 metres sobre el nivell del mar.
L'habitatge es va construir els anys 1999 – 2000 amb tots els criteris de sostenibilitat del moment, i s'ha habitat des de llavors.
Es tracta d'un edifici solar passiu i actiu, amb col·lectors solars d'aire calent per calefacció i un sistema de terra radiant elèctric de recolzament. No te sistema de refrigeració a l'estiu ja que el propi comportament passiu i el control domòtic de les persianes en funció de la temperatura interior i de la insolació fan que no sigui necessari. La producció d'aigua calenta es fa també amb un sistema solar. S'ha tingut especial sensibilitat en la integració arquitectònica de tots aquests col·lectors.
Els càlculs pel disseny passiu de l'edifici s'han fet per simulació tèrmica hora per hora de tot un any amb dades climatològiques reals de la zona.
La casa té un sistema domòtic de control, que recull els paràmetres de temperatures internes i externes, funcionament de persianes, equips, enllumenat, etc. Aquestes dades són les que s'han analitzat en la present tesi doctoral per tal d'extreure'n conclusions.
S'ha completat amb un estudi termogràfic fet a l'hivern, per tal de veure on hi ha pèrdues tèrmiques, confirmant els resultats de l'estudi teòric.
El comportament tèrmic tant a l'estiu com a l'hivern és d'una estabilitat de temperatura interna molt gran, tot i que només funciona la calefacció en hores nocturnes (utilitza tarifa elèctrica nocturna), el que dona un confort elevat.
El resultat mesurat realment dóna un consum de calefacció en línia amb l'etiqueta energètica A, de 28,8 kWh/m^2·any, que traduït en termes econòmics correspon a 1,35 €/m^2·any (dades reals hivern 2007-08).
La tesi doctoral posa en relleu els punts energèticament millorables, com són sobretot la perfileria de les finestres i les caixes de persiana.
Els bons resultats de la casa ens han animat a fer un software de simulació tèrmica d'edificis que faciliti aquesta tasca, per que deixi de ser un treball excepcional per convertir-se en habitual, amb un cost d'enginyeria raonable. Aquest programari es diu www.bioclim.com.

1.2 *Resumen en español*

La presente tesis doctoral, corresponde al estudio y optimización energética de una casa solar i bioclimática construida en una zona alpina con temperaturas exteriores de -12ºC. Se trata de una vivienda unifamiliar, situada en la población de Engordany, en el Principado de Andorra, a 1260 metros sobre el nivel del mar.

La vivienda se construyó entre los años 1999 y 2000 con todos los criterios de sostenibilidad y ha estada habitada desde entonces.
Es una casa solar pasiva y activa, con paneles solares de aire caliente para calefacción y un sistema de suelo radiante eléctrico de apoyo. No tiene sistema de refrigeración para el verano ya que el propio comportamiento pasivo y el control domótico de la persianas en función de la temperatura interior e insolación lo hace innecesario. La producción de agua caliente se hace también a través de energía solar. Se tuvo especial interés en la integración arquitectónica de todos los colectores solares.
Los cálculos para el diseño pasivo de la casa se han hecho por simulación térmica hora por hora de todo un año, utilizando datos climatológicos reales de la zona.
Dispone de un sistema domótico de control que además recoge los valores de todos los parámetros utilizados de temperaturas internas y externas, funcionamiento de persianas y equipos, iluminación, etc. Estos datos son los que se han utilizado y explotado para realizar la presente tesis doctoral y sacar las debidas conclusiones.
Se completó con un estudio termográfico en invierno, que confirma los resultados del estudio teórico.
El comportamiento térmico tanto en verano como en invierno es de una estabilidad de la temperatura interna muy grande, teniendo en cuenta que la calefacción solo funciona en horas nocturnas (usa tarifa eléctrica horaria), cosa que da un elevado confort.
El resultado según mediciones reales, da un consumo de calefacción en línea con los edificios de etiqueta energética A, de 28,8 kWh/m^2·año, que en términos económicos representa 1,35 €/m^2·año (datos reales del invierno 2007-08).
La tesis doctoral pone en relieve los puntos mejorables energéticamente, como son sobretodo los perfiles de las ventanas y las cajas de persiana.
Los buenos resultados de la casa nos animaron a desarrollar un software de simulación térmica de edificios, www.bioclim.com, que facilite el trabajo, con el objetivo que deje de ser una tarea excepcional para convertirse en habitual con costos de ingeniería reducidos.

1.3 ***Résumé en français***

La présente thèse doctorale correspond a l'étude d'optimisation énergétique d'une maison solaire et bioclimatique située dans une zone de climat alpin, où la température minimale extérieure est de –12ºC. Il s'agit d'une maison individuelle, située à la ville d'Engordany, dans la Principauté d'Andorre, à 1260 mètres d'altitude.
La maison a été construite dans les années 1999-2000 avec tous les critères de durabilité du moment. Depuis, elle est habitée.
Il s'agit d'un bâtiment solaire passif et actif, avec des collecteurs solaires d'air chaud pour chauffage et un système de plancher chauffant électrique à l'appui.
A l'été, il n'y a pas de système de réfrigération puisque le propre comportement passif et le contrôle domotique des persiennes en fonction de la température intérieure et de l'insolation, font que cela ne soit pas

nécessaire. La production d'eau chaude se fait aussi avec un système solaire. On a eu une sensibilité spéciale dans l'intégration architectonique de tous ces collecteurs.
Les calculs pour la conception passive du bâtiment ont été faits par simulation thermique dynamique avec des données climatologiques réelles de la zone.
La maison a un système domotique de contrôle, qui intègre: les températures internes et externes, le fonctionnement des persiennes, des équipes, de la mise en marche, etc. Ces données sont celles qui ont été analysées dans la thèse doctorale pour en tirer des conclusions.
Il a été complété avec une étude thermographique, réalisée pendant l'hiver, pour repérer les déperditions thermiques, et confirmant les résultats de l'étude théorique.
Le comportement thermique, aussi bien a l'été qu'à l'hiver, est caractérisé par une grande stabilité de température interne, faisant que le chauffage ne fonctionne que pendant des heures nocturnes (utilisation du tarif électrique nocturne), ce qui donne un confort élevé.
Le résultat réellement mesuré donne une consommation de chauffage en ligne avec l'étiquette énergétique A, de 28,8 kWh/m^2·année, ce qui transcrit en termes économiques correspond à 1,35 €/m^2·année (données réelles hiver 2007-08)
La thèse doctorale met en relief les points énergétiques à améliorer, comme le sont surtout le bâti des fenêtres et les caissons d'enroulement. Les bons résultats de la maison nous ont encouragé à développer un logiciel de simulation thermique de bâtiment qui facilite cette tâche, afin qu'elle cesse d'être un travail exceptionnel pour devenir habituel, sans un coût d'ingénierie élevé. Le logiciel s'appelle www.bioclim.com

1.4 ***Summary in english***

This doctorate thesis is a study of getting the best out and improving of a bioclimatic, solar energy house situated in a mountain climate where the minimum outside temperature is -12ºC. It's a house situated in village called Engordany, in the Principality of Andorra, 1260 metres above the sea-level.
The house was built between 1999 and 2000 with all the criterion of self maintenance available at the time and has been lived in ever since.
It is a solar building that is both active and passive, with hot air collectors and a backup system of under floor heating in the form of electric wiring. In the summer, a cooling system in the form of air conditioning is totally unnecessary due to the passive action of the system. External blinds acting as shutters are automatically controlled according to sunshine and interior temperatures. The hot water production is also made by solar energy. Special care has been taken in the architectural integration of all this energy collectors.
The research contributing to the passive design of the building was to use actual climatological information of the area to create a simulation of the hourly heat gains and losses during a whole year.

Finalised with a thermografic study to discover where the heat losses are found, confirming the results of the theoretical study.
The house has domòtic control which measures and collect internal and external temperatures, works blinds, shutters, control all electrical devices and lighting, …
These are the facts that have been analyzed in this doctoral thesis to come to the following conclusions.
The thermal performance both in summer and winter means that even though the traditional heating system only works during the night hours (using the nocturnal electricity rates), the stability of the temperature interior is enormous and of great comfort.
The results taken are in line with the A Energetic Label, with a consumption of 28,8 kWh/m^2 a year, converted into economic terms means 1,35 € per m^2 a year, real figures from winter 2007-08.
This doctorate thesis reveals where improvements can be made to save energy, especially windows frames and shutters (boxes of shutters).
The positive results from the house have encouraged us to make software to simulate thermal buildings which make this task easier. It will no longer be an exceptional task but a usual one without the high engineering costs. This software is called www.bioclim.com.

2. OBJECTIU

La present tesi doctoral demostra que un edifici pot reduir el seu consum d'energia en percentatges elevadíssims a condició de tenir un disseny adequat que aprofiti el recurs natural de l'energia solar, inclús en climes extremadament freds.

L'edifici que aquí es presenta, Figura 1, correspon a una casa unifamiliar i està situada en un rigorós clima alpí, al Principat d'Andorra, a una cota de 1260 metres sobre el nivell del mar i amb temperatures extremes al hivern de -12ºC.

El sistema domòtic de la casa ha permès recollir tota la informació sobre el seu funcionament durant varis anys, amb la qual s'ha pogut fer la present tesi doctoral.

Figura 1. Casa bioclimàtica objecte de la present tesi doctoral

3. MOTIVACIÓ

La motivació de la present tesi va tenir els seus inicis fa dotze anys, el 1997, quan vaig decidir-me a construir la meva pròpia casa. La premissa principal fou que havia de complir amb tots els criteris de sostenibilitat possibles.

El fet construir-la en un clima molt rigorós fou un repte que només ajudà a incentivar el projecte.

Després de dos anys de càlculs i de disseny acurat de cada detall, es construí durant els anys 1999 i 2000, i està habitada des del setembre del 2000.

Durant set hiverns s'ha fet el seguiment del funcionament a traves del sistema domòtic analitzant el comportament tèrmic i el consum de cada racó de la casa, intentant verificar si els càlculs d'origen eren correctes, i intentant millorar el disseny en els punts on s'ha pogut veure que era possible.

Tot plegat ha estat un recull de dades i de resultats que mereixien estar dins una tesi doctoral per posar-les a l'abast de la comunitat d'enginyers i científics interessats en aquest tema.

És una modesta contribució a la lluita contra el canvi climàtic.

Els resultats tan bons obtinguts en aquesta casa ens ha motivat als companys de feina a desenvolupar un software de simulació tèrmica d'edificis, que a partir d'ara es comercialitza amb el nom de BIOCLIM ®, *www.bioclim.com* i que simplifica el treball de disseny i simulació tèrmica d'un edifici, de varies setmanes d'enginyer a unes poques hores.

4. ESTAT DE L'ART

4.1 *Introducció*

El sector de la construcció ocupa la segona posició quant a importància econòmica es refereix a Espanya.

Addicionalment, el sector de la construcció, amb tots els altres sectors en els quals influeix, és un dels que consumeix major quantitat d'energia i major impacte ambiental. Existeixen dades que corroboren que els edificis consumeixen entre el 20% i el 50% dels recursos naturals, contribueixen en gran manera a l'augment de les emissions i la contaminació, tant durant el procés constructiu com al llarg de la seva vida útil una vegada acabats.

També resulta evident l'elevat impacte del seu emplaçament sobre el territori, entorn del 80% de les persones resideix en zones urbanes, amb influència negativa en altres sectors com el del transport i l'energia. Altre tema fonamental és la important generació de residus, constructius, de manteniment i d'enderrocament dels edificis, amb perspectives d'augment i dificultats per a la seva reutilització o reciclatge.

4.2 *Història*

El primer informe del Club de Roma de 1971 sobre els límits del creixement ja plantejava dubtes sobre la viabilitat del creixement econòmic a nivell mundial (Figura 2). És en aquest context també quan apareix el terme "ecodesenvolupament" que mai va arribar a encaixar realment en els cercles econòmics convencionals encara que va contribuir a l'augment de la consciència social. Amb la crisi del petroli de 1973 es comença a plantejar la necessitat de l'estalvi energètic, al mateix temps que comencen les crítiques cap a la denominada societat "d'usar i llençar".

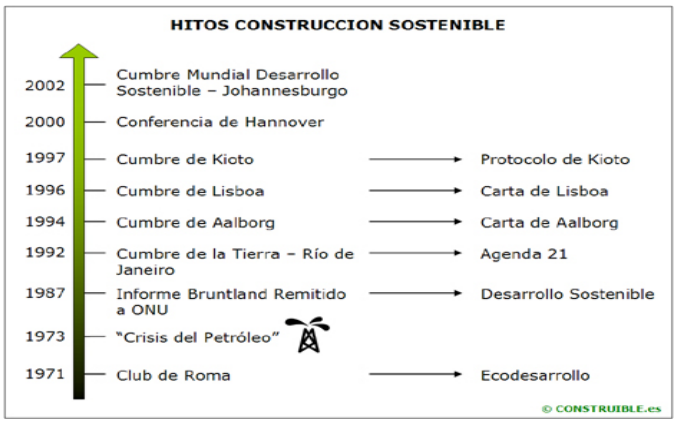


Figura 2. Fites de la construcció sostenible

Durant aquests anys paraules com ecologia o medi ambient es troben presents en tots els àmbits i és en els vuitanta quan sorgeix l'ús del concepte de desenvolupament "sostenible" aparegut dintre del marc de les

Nacions Unides i actualment referent obligatori en totes les polítiques de desenvolupament econòmic.

Aquest terme va plantejar, dintre de l'Informe Brundtland "Nostre futur comú" en l'any 1987 "satisfer les nostres necessitats actuals sense comprometre la capacitat de les generacions futures de satisfer les seves". És a dir, es proposa la viabilitat d'un desenvolupament amb condicions que permeti a les generacions futures disposar de recursos per al seu desenvolupament futur.

Des de llavors i al llarg dels anys noranta i principis del segle actual s'han realitzat esforços notables en tots els camps amb experimentació en l'ús d'energies renovables, nous materials, esforços en inversió I+D i augment de l'eficiència energètica a tots els nivells, tot això mitjançant la generació de documents i normatives específiques que han permès identificar els temes fonamentals i com abordar-los. Especial esment mereix la denominada Carta de Aalborg, resultat de la Conferència Europea de Ciutats i Pobles Sostenibles realitzada en 1994 a Dinamarca, o el, per tots conegut, Protocol de Kioto, resultat del Conveni sobre el canvi climàtic de l'any 1997.

El Desenvolupament "sostenible" pretén conciliar el creixement econòmic amb la idea de sostenibilitat, vinculant l'abstracte amb el físic per a perseguir un objectiu comú. S'accepten límits mediambientals a la nostra forma de viure però alhora es confia en les possibilitats de creixement o desenvolupament.

Per a això s'estableixen pautes sostenibles a tenir en compte a nivell global:

- Reducció del consum.
- Augment de l'eficiència del sistema.
- Control de la població mundial.

A aquestes pautes generals i relativament ambigües se'ls ha intentat donar un contingut concret recorrent a una relació de paràmetres i recomanacions a aplicar en els diferents sectors econòmics lligats al mitjà físic. Indubtablement el sector de la construcció és un d'ells, considerant a més que el seu creixement es troba intrínsecament relacionat amb el desenvolupament econòmic i que la sostenibilitat és ja un objectiu formalment assumit per tots.

4.3 ***Construcció Sostenible***

L'Arquitectura Sostenible reflexiona sobre el impacte ambiental de tots els processos implicats en un habitatge: la construcció, la seva vida útil i l'enderroc.

Des dels materials de fabricació (obtenció que no produeixi residus tòxics i no consumeixi molta energia), les tècniques de construcció que suposin una mínima contaminació ambiental, la ubicació de l'habitatge i el seu impacte amb l'entorn, el consum d'energia i el seu impacte, i el reciclatge dels materials quan la casa ha complert la seva funció i s'enderroca (Figura 3).

L'Arquitectura sostenible es basa en 5 pilars bàsics:

L'ecosistema sobre el qual s'assenta l'edifici

Els sistemes energètics

Els materials de construcció

El reciclatge i la reutilització dels residus

La mobilitat

Quan es parla d'edificació ecològica no solament es refereix a l'estalvi en el consum energètic, sinó que a més, s'inclou tots els processos de fabricació com l'elaboració dels materials, el transport d'aquests, l'execució de l'obra, la utilització de l'edifici o enderrocament i la possibilitat de recuperació dels materials.

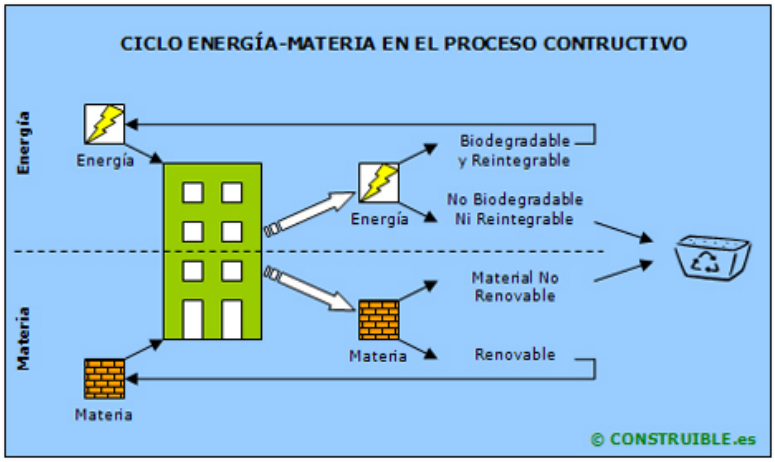


Figura 3. Cicle energia - matèria en el procés constructiu.

El terme Arquitectura Sostenible és un terme molt genèric, dintre del qual es pot enquadrar el concepte d'Arquitectura Bioclimàtica com a mitjà per reduir el consum energètic de l'habitatge.

4.4 *Arquitectura Bioclimàtica*

És un tipus d'arquitectura on l'equilibri i l'harmonia són aliats del medi ambient. Busca assolir un gran nivell de confort tèrmic i té en compte el clima i les condicions de l'entorn per ajudar a aconseguir el confort tèrmic interior mitjançant l'adequació del disseny, la geometria, l'orientació i la construcció de l'edifici adaptat a les condicions climàtiques del seu entorn. Es contraposa a l'arquitectura tradicional que es caracteritza per lluitar frontalment contra les condicions climatològiques exteriors dimensionant les instal·lacions interiors de climatització de forma suficientment important per poder salvar els errors del disseny.

Juga exclusivament amb el disseny i els elements arquitectònics, sense utilitzar sistemes mecànics, que més aviat es consideren com sistemes de suport. No hem d'oblidar, que una gran part de l'arquitectura tradicional ja funcionava segons els principis bioclimàtics: finestrals orientats al sud, l'ús de certs materials amb determinades propietats tèrmiques, com la fusta, l'abric del sòl, l'emblanquinat en les cases andaluses, la ubicació dels pobles...

L'arquitectura Bioclimàtica és en definitiva, una arquitectura adaptada al medi ambient, sensible al impacte que provoca en la natura, i que intenta minimitzar el consum energètic i amb ell, la contaminació ambiental.

Però una casa bioclimàtica no té perquè ser més cara o més barata que una convencional. El increment de preu en aïllament tèrmic i vidres de millors característiques es compensa sovint amb les instal·lacions de calefacció i/o aire condicionat menys potents i per tant amb un cost inferior. Juga amb els elements arquitectònics de sempre per a incrementar el rendiment energètic i aconseguir el confort de la forma més natural possible.

L'arquitectura bioclimàtica té en compte les condicions del terreny, el recorregut del Sol, els corrents d'aire, etc., aplicant aquests aspectes a la distribució dels espais, l'obertura i orientació de les finestres, etc., amb la finalitat d'aconseguir una eficiència energètica i saber treure el màxim profit als recursos naturals que brinda l'entorn.

Això no té perquè condicionar l'aspecte de la construcció, que és completament variable i perfectament d'acord amb les tendències i el disseny d'una bona arquitectura.

En l'abast d'aquesta interacció entre arquitectura i ambient es poden establir els diferents nivells on es mouen actualment els arquitectes que treballen en aquest camp. Així, i depenent de l'extensió del balanç energètic global al que es refereix l'adequació climàtica i ambiental de l'arquitectura, es podrien anar catalogant els diferents tipus d'edificacions bioclimàtiques segons el sistema de control aplicat, que pot ser passiu o actiu, encara que cada cop és més usual trobar edificis on s'hagi utilitzat una combinació dels dos.

Els sistemes passius es fonamenten en el control de les variables climàtiques en l'interior de les edificacions mitjançant l'ús racional de les formes i dels materials utilitzats en arquitectura, incidint fonamentalment en la radiació solar, facilitant o limitant la seva incidència i utilitzant els aïllaments i la inèrcia tèrmica dels materials com sistemes de control i recolzament tèrmic. L'elecció dels vidres i del material de construcció dels forjats, tancaments, envans i estructures es condicionen a l'obtenció dels resultats prefixats.

Els sistemes actius, per contra, apliquen directament les instal·lacions tradicionals o les noves tecnologies d'aprofitament de les energies renovables, com la solar (per a producció d'aigua calenta sanitària, calefacció o energia elèctrica), l'energia eòlica o la biomassa. També entra en aquest apartat tots aquells sistemes de recuperació d'energia d'equips tradicionals, com els quals suposen les centrals de cogeneració i tots aquells altres sistemes de control ambiental que necessiten una despesa inicial d'energia per al seu correcte funcionament: sistemes mòbils de para-sols, domòtica, sistemes variables d'il·luminació, etc.

4.5 ***Edifici de Baixa Energia***

En general l'ús i significat del terme "edifici o casa de baixa energia" es va modificant en el temps i probablement canviarà en el futur.

En l'actualitat per a accedir a aquesta categoria és usual que l'edifici o casa hagi de consumir la meitat de l'energia que un edifici o habitatge convencional.

Amb freqüència és possible aplicar el terme a un edifici on els nivells de consum d'energia es trobin per sota dels estàndards exigits per normes o codis d'edificació del país on es localitzi. Atès que els estàndards nacionals varien significativament d'un país a un altre, el que en un pot considerar-se de "baixa energia", en un altre pot ser pràctica normal.

En general el que es busca és limitar l'energia utilitzada en calefacció i refrigeració degut al fet que es troben en zones climàtiques rigoroses ja sigui per clima fred o càlid.

Els edificis de baixa energia utilitzen típicament alts nivells d'aïllament tèrmic, finestres amb doble o triple vidre de baixa emissivitat (DVH), baixos nivells d'infiltració d'aire, ús de sistemes de recuperació de calor, entre altres estratègies.

Si volem anar més enllà d'aquest concepte, per sota d'aquests valors és usual utilitzar el terme edifici energia zero.

4.6 *Edifici Energia Zero*

Un edifici energia zero (EEZ) o edifici energia neta zero és un terme aplicat a edificis amb un consum d'energia neta propera a zero en un any típic. En altres paraules, l'energia prové del propi edifici mitjançant fonts d'energies renovables que haurà de ser igual a l'energia demandada per l'edifici:

DEMANDA ENERGIA = GENERACIÓ ENERGIA

Un edifici que s'acosti a un ús de l'energia pròxim a zero es denomina edifici energia zero o edifici energia ultra-baixa.

Els edificis que tenen un balanç energètic anual positiu es coneixen com edificis energia plus.

Encara que els edificis energia zero segueixen sent infreqüents en els països desenvolupats, estan guanyant en importància i popularitat. La proximitat de fer massius els edificis energia zero implica una solució potencial a una gamma de problemes socials i ambientals, incloent la reducció de les emissions de CO_2 (diòxid de carboni), la reducció de dependència de l'energia fòssil per al funcionament dels sistemes de climatització, les importacions de petroli i derivats, i l'ús racional de combustible fòssil per a altres usos millorant els problemes de proveïment en un escenari de crisi energètica, preus creixents i esgotament del recursos fòssils.

Per a arribar a un ús mínim de l'energia, el disseny i la construcció dels edificis energia zero es diferencien significativament en la seva imatge formal dels edificis convencionals. En els edificis de disseny convencional l'èmfasi està normalment en la reducció del cost de construcció inicial al mínim. Els dissenyadors no consideren els costos de manteniment, funcionament, climatització, anàlisi del cicle de vida de l'energia;

acontentant-se amb complir al límit establert en els codis d'edificació del lloc.

A la postura EEZ, cada decisió sobre la selecció important de cada subsistema idíl·lic, s'avalua en termes de les seves conseqüències futures respecte de la seva demanda energètica, per a això s'utilitza la tècnica d'anàlisi energètica del cicle de vida. Els dissenyadors d'EEZ admeten un augment del cost inicial de construcció si amb això assoleixen reduir la demanda energètica i les despeses de funcionament.

A més d'usar energies renovables, els edificis energia zero també es dissenyen per a fer ús de l'energia guanyada d'altres fonts, incloent electrodomèstics, il·luminació eficient i aprofitament de la calor metabòlica (persones).

Els edificis s'optimitzen per a aprofitar l'energia del sol (casa passiva), ús de la massa tèrmica amb la finalitat de mantenir constant la temperatura interior independentment de les variacions externes de temperatura, elevant a més la temperatura mitja interior en diversos graus amb la finalitat d'arribar al confort higrotèrmic amb l'ajuda de l'aïllament tèrmic o el superaïllament. En l'actualitat existeix el suficient coneixement i tecnologia per a construir un EEZ.

Els dissenyadors utilitzen eines sofisticades de simulació numèrica que permeten considerar una àmplia gamma de variables de disseny tals com orientació de l'edifici (respecte del Sol), el tipus, superfície i ubicació de finestres, les ombres projectades per altres edificis o pel propi edifici sobre si mateix, la profunditat del vidre respecte de la superfície exterior del mur, els valors de l'aïllament tèrmic a casa, contingut de calor sensible i calor latent de l'aire, l'eficiència de la calefacció, la il·luminació i altres equipaments així com el clima local. Aquestes simulacions ajuden als dissenyadors a saber com es comportarà l'edifici abans que es construeixi, i els permetrà modelar les implicacions financeres i costos de construcció.

L'arquitecte o estudi d'arquitectura usualment contracta a un consultor ambiental o bioclimàtic perquè assessori i marqui les pautes inicials de disseny que després s'aniran ajustant en l'etapa d'avantprojecte i projecte. Usualment el consultor ambiental està format per un equip interdisciplinari en el qual participen arquitectes i enginyers treballant obligatòriament en perfecta coordinació. Això en funció de la magnitud i complexitat de l'edifici.

4.7 *Edifici Energia Plus*

Una casa energia plus produeix més energia que la que consumeix. Està generada per fonts renovables. Per a això es requereix una combinació de tecnologia de microgeneració i un edifici de baixa energia mitjançant la implementació de tècniques de disseny solar passiu, aïllament tèrmic al costat d'una curosa elecció del lloc i l'emplaçament.

Pot implicar un cert minimalisme postmodern que utilitzi un mínim d'equipaments moderns, que requereixen poca energia per a funcionar. No obstant això moltes cases energia plus són indistingibles d'una llar tradicional, quant a imatge formal, ja que utilitzen simplement les solucions

de major eficiència energètica (per exemple: electrodomèstics; il·luminació sota consum; portes i finestres; bescanviadors de calor en el sistema de calefacció i ventilació; aïllament en parets, sostres i instal·lacions, etc); a través de tota la casa o edifici.

Un edifici d'aquests es caracteritza llavors per gastar molt poca energia i l'energia generada sigui en un any major que la consumida.

Això no assegura que l'habitatge sigui confortable des d'un punt de vista higrotèrmic, ja que podrà ser calorosa a l'estiu o refredar-se molt ràpidament al hivern o fins a sobrecalentar-se si no existeix un balanç tèrmic optimitzat.

4.8 *Casa autosuficient*

Fa referència a les tècniques per a assolir una certa independència de l'habitatge respecte a les xarxes de subministrament centralitzades (electricitat, gas, aigua, i fins i tot aliments), aprofitant els recursos de l'entorn immediat (aigua de pous, de rierols o de pluja, energia del sol o del vent, panells fotovoltaics, horts, etc.). L'arquitectura bioclimàtica pot col·laborar amb l'autosuficiència pel que fa a l'estalvi d'energia de climatització.

4.9 *Casa Solar*

La casa solar és aquell habitatge que es caracteritza per la utilització activa i passiva d'energia solar. La construcció consta d'un bon aïllament el qual permet l'estalvi d'energia. Una casa solar pot ser totalment independent d'altres energies. Aquest mètode de construcció demostra que, independentment del percentatge d'energia solar del consum complet de la casa, es pot reemplaçar les energies convencionals amb energies renovables sense pèrdua de confort.

4.9.1. Energia solar passiva

L'arquitectura solar passiva basa el seu disseny en la consideració del clima i el microclima de l'emplaçament on es situa.

Les seves eines fonamentals són:

- la bona orientació per a l'assolellament,
- els paràmetres de forma i volum de l'edifici,
- la utilització del propi edifici com a acumulador i captador - dissipador de calor,
- els sistemes de control solar,
- el tractament de les perforacions,
- el bon aïllament,
- la consideració dels fluxos interiors de l'edifici i de la seva ventilació,
- el tractament dels seves superfícies exteriors.

Malgrat que el seu origen sigui els arquitectures vernacles, cal fugir de mantenir-les permanentment presents, ja que, tot i sent un punt de referència obligat, són les noves tecnologies, els nous processos de càlcul i simulació, i els nous materials, els que juntament amb el coneixement del lloc i del clima, fan evolucionar l'arquitectura cap al respecte pel medi ambient, sense renunciar a formalitzacions i llenguatges actuals.

La casa solar passiva té un increment del cost entre un 5 i un 10% sobre el cost habitual, a causa de la major qualitat tèrmica i sanitària dels materials i a una major estanquitat i aïllament de l'habitatge, però permetrà estalvis d'un 80% en calefacció, refrigeració i il·luminació, fent l'habitatge més sa i agradable a més de més respectuós amb la natura.

El disseny solar passiu de l'edifici implica modelar, la selecció i l'ús de tecnologies solars passives apropiades per a mantenir l'ambient de l'edifici en una gamma de temperatures desitjada (basada generalment al voltant de comoditat tèrmica humana) a través del cicle diari i dels cicles anuals del Sol. Conseqüentment redueix al mínim l'ús de l'energia solar activa i especialment les tecnologies del combustible fòssil.

El disseny solar passiu de l'edifici és una porció del disseny tèrmic eficient de l'edifici, que a la vegada és una porció del disseny sostenible, encara que els termes són d'ús freqüent erròniament com sinònims.

Hi ha quatre estratègies passives bàsiques de l'energia solar:

Guany solar directe.

Guany solar indirecte.

Guany solar mixt.

Guany solar aïllat.

a) Guany solar directe

El guany directe (Figura 4) implica l'ús de la col·locació de finestres, les claraboies i els obertures per a controlar la quantitat de radiació solar directa que arriba a l'interior, i per a escalfar l'aire i les superfícies dintre de l'edifici.

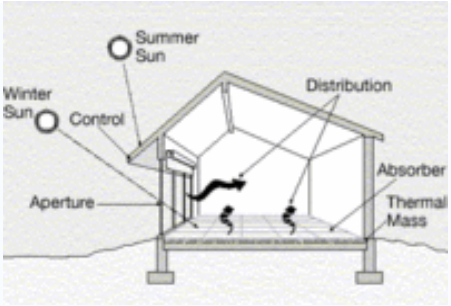


Figura 4. Sistema de guany solar directe

El sistema consisteix en un espai amb envidrat i ha d'estar acompanyat en l'interior amb materials capaços d'emmagatzemar energia (morter, aigua, etc.) que es situen en el terra, les parets i el sostre.

Aquests sistemes són molt simples i econòmics, però és difícil de controlar el seu funcionament.

b) Guany solar indirecte

Aquests sistemes són les parets i els sostres d'emmagatzematge en funció de la situació de la massa tèrmica. Es denominen indirecte per què la radiació incideix primer en la massa tèrmica situada entre el sol i l'espai habitable (Figura 5).

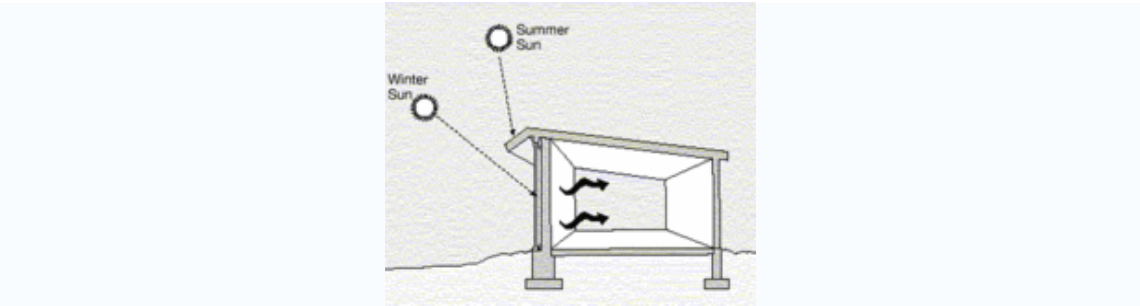


Figura 5. Sistema de guany solar indirecte

En les parets d'emmagatzematge o d'inèrcia (anomenades mur Trombe), la radiació penetra a través d'un vidre i la calor s'emmagatzema en la paret absorbent d'escalfor. Aquesta calor posteriorment s'irradia per tot l'edifici durant la nit o durant dies amb núvols, atenuant les diferències de temperatura.

Els sostres d'emmagatzematge consisteix en una instal·lació de dipòsits en la coberta de l'edifici, en contacte amb el sostre que ha de ser d'elevada conductivitat tèrmica. Durant el hivern el sistema captador s'exposa a la radiació solar durant el dia i s'aïlla durant la nit. A l'estiu l'aïllament cobreix el sistema durant el dia i es retira durant la nit per permetre el refredament de l'aigua.

c) Guany solar mixt

Aquest sistema és una combinació dels dos sistemes anteriors i pot estar format per un hivernacle envidrat i orientat cap al Sud separat de la vivenda amb una paret amb gran massa tèrmica. Per efecte de la radiació, la temperatura interna del hivernacle augmenta i es produeix transferència d'escalfor a l'habitació continua.

d) Guany solar aïllat

Utilitza una superfície d'absorció no integrada pròpiament en la vivenda per captar la radiació i conduir-la amb convecció natural per aire o aigua fins

l'interior de la vivenda. L'aplicació més corrent d'aquest concepte és el circuit de circulació natural per termosifó que consta d'un captador pla i un tanc d'emmagatzematge.

e) Altres tècniques de disseny solar passiu

- La posició de l'edifici: basat en el clima local i la posició del Sol, l'edifici es pot orientar o no cap el sol i les ombres d'altres estructures o característiques naturals es poden evitar o utilitzar, segons si la preocupació primària és escalfar o refrescar.

- Característiques de l'edifici: la forma (i per tant l'àrea superficial) de l'edifici es poden controlar per a reduir la calefacció o la refrigeració, i l'ús de les característiques dels materials de reflectir, d'absorbir, o de transmetre energia (per exemple amb color visible) és també una consideració.

- Ambient extern: l'ús d'arbres i de plantes es poden seleccionar per a reflectir o per a absorbir calor, per a crear l'estiu que ombreja (particularment en el cas de les plantes de fulles caduques), i per a crear l'abric del vent.

4.9.2. Energia solar activa

Fa referència a l'aprofitament de l'energia solar mitjançant sistemes mecànics i/o elèctrics, bàsicament, és pot obtenir calor i electricitat. La calor s'aconsegueix mitjançant captadors o col·lectors tèrmics, i l'electricitat, a través dels mòduls fotovoltaics.

La tecnologia solar passiva no requereix energia addicional per a funcionar i, per tant, cost d'operació zero, no emet gasos d'efecte hivernacle i els costos de manteniment són molt baixos. En canvi, els sistemes solars tèrmics actius, solen usar ventiladors i bombes, i ofereixen una fracció solar major que els sistemes passius, a causa de les millores en les transferències i el transport de la calor. El desavantatge és que els costos inicials de la instal·lació són molt més alts.

4.10 *Estat actual de les cases bioclimàtiques*

En l'actualitat, es pot dir que s'han dissenyat, construït i avaluat suficients exemples d'arquitectura bioclimàtica capaces de confirmar la bondat i qualitat ambiental de les construccions realitzades tenint en compte els principis bàsics de "construir amb el clima", i s'ha demostrat sobradament la seva viabilitat econòmica.

No obstant això, l'arquitectura bioclimàtica, encara que amb un impacte mediàtic cada vegada més estès, segueix tenint un pes real insignificant dintre de la producció arquitectònica mundial, i el seu desenvolupament és troba limitat a les escasses iniciatives de promoció pública i a sectors molt aïllats i conscienciats de la iniciativa privada. Diferents estudis avalen la capacitat d'estalvi d'energia de fins a un 70% en les solucions arquitectòniques pensades des d'un lògica d'adaptació i adequació al clima, en comparació als usuals procediments de construcció tradicional, potser

d'acord amb les normatives d'aïllament, però absurds molts d'ells si s'observen des d'una lògica ambiental més àmplia.

Es podria argumentar que, en qualsevol procés de producció científica, el desenvolupament teòric sempre es situa per davant de la producció industrial, i que és necessari un cert temps de desfasament entre ambdós, destinat a avaluar i reajustar les noves propostes. Encara que en certa manera aquest argument pot ser vàlid (determinats sistemes encara requereixen cert grau de desenvolupament), el problema de base resideix, segurament, en com es quantifiquen els estalvis energètics, i en el trasllat d'aquestes quantificacions al mercat i al procés de producció.

El desfasament existent entre una avaluació econòmica del consum energètic i del seu impacte ambiental a llarg termini, i l'actual sistema d'avaluació del cost de producció en el sector de la construcció, pensat en termes de rendibilitat a curt termini (obviant el manteniment energètic de l'edifici) dificulta una avaluació objectiva dels avantatges que aporta una arquitectura entesa des de l'adequació al mitjà natural. Caldrà esperar a la progressiva introducció de les normatives d'àmbit nacional i internacional d'avaluació de la despesa energètica en funció de la seva equivalència en gasos contaminants d'efecte hivernacle (CO_2), perquè es comenci a produir una conscienciació real sobre la necessitat d'entendre la construcció com una part fonamental en el problema del desenvolupament sostenible. En aquest sentit l'actual Código Técnico de la Construcción és un primer pas juntament amb l'aplicació de les etiquetes energètiques dels edificis.

L'aplicació real de les directrius de reducció de les emissions de diòxid de carboni (93/76/CEE) portada al sector de la construcció, produirà segurament els ajustaments necessaris per a promocionar de forma estable i sostinguda els edificis concebuts per a aconseguir una alta eficiència energètica. Cal pensar, en aquest sentit, que l'edificació suposa ja, en els països industrialitzats, el 50% de l'energia consumida, i el 25% de la contaminació emesa. El balanç també resulta positiu a l'hora de realitzar un compte global.

No és d'estranyar, per això, que hi ha una fase inicial de desconfiança i de recel davant la introducció d'una nova lògica constructiva, ja que la qualificació de "arquitectura ecològica", "arquitectura bioclimàtica", "arquitectura energèticament eficient", "arquitectura ambiental", etc.. hagin proliferat de forma espectacular, fins a un punt en el qual és difícil destriar les bondats o defectes d'unes i les altres, i on la "ecomoda" s'ha introduït com un factor més a l'hora de promocionar l'arquitectura.

Aquest tipus d'edificis existeixen per tot arreu del món, però el seu desenvolupament no és massa important ja que la majoria d'aquestes instal·lacions estan realitzades per a la investigació, encara que no són rars els casos d'habitatges adossats o aïllats que utilitzen energia solar passiva i/o activa. A Espanya es calcula que hi ha entre 500 i 1.000 edificis d'aquest tipus, segons dades del Centre d'Investigacions Energètiques, Mediambientals i Tecnològiques (CIEMAT).

Encara que l'arquitectura bioclimàtica no comporta cap efecte negatiu, troba en la nostra societat una sèrie d'obstacles que dificulten la seva extensió. El primer argument que s'addueix en contra és el possible augment del cost en la construcció. El CIEMAT assenyala que el preu d'un habitatge bioclimàtic

pot ser el mateix que es paga per una convencional amb un màxim de fins al 10 o 12% més, en aquest cas s'ha d'amortitzar en menys de 10 anys d'ús, segons exigeix la Unió Europea.

Un altre inconvenient es centra en la dificultat de trobar l'orientació adequada (nord - sud) en les ciutats. Mentre que en nuclis amb poca densitat de població, el consumidor pot actuar de forma individual, en la ciutat depèn de les empreses promotores d'habitatges que solen ser escasses en aquest tipus de construccions.

A pesar d'aquests inconvenients, la situació actual és molt favorable per a la continuació del creixement ràpid en el mercat europeu (Figura 6). Aquest creixement és assegurat no tan sol pels països principals com Alemanya, Grècia, Àustria, sinó pels països com França, Itàlia, Espanya, Portugal i Andorra.

Aquests països han organitzat les condicions favorables per a un desenvolupament ràpid dels seus mercats, al mateix temps reforçant els sistemes de l'ajuda financera per a les inversions i introduint les noves legislacions que requereixen o inciten la instal·lació de sistemes solars en els edificis que són de nova construcció o es renoven completament. Aquesta noció d'una obligació d'integrar energia solar (o altres energies renovables) per a tots els edificis nous està guanyant importància en els països de la Unió Europea.

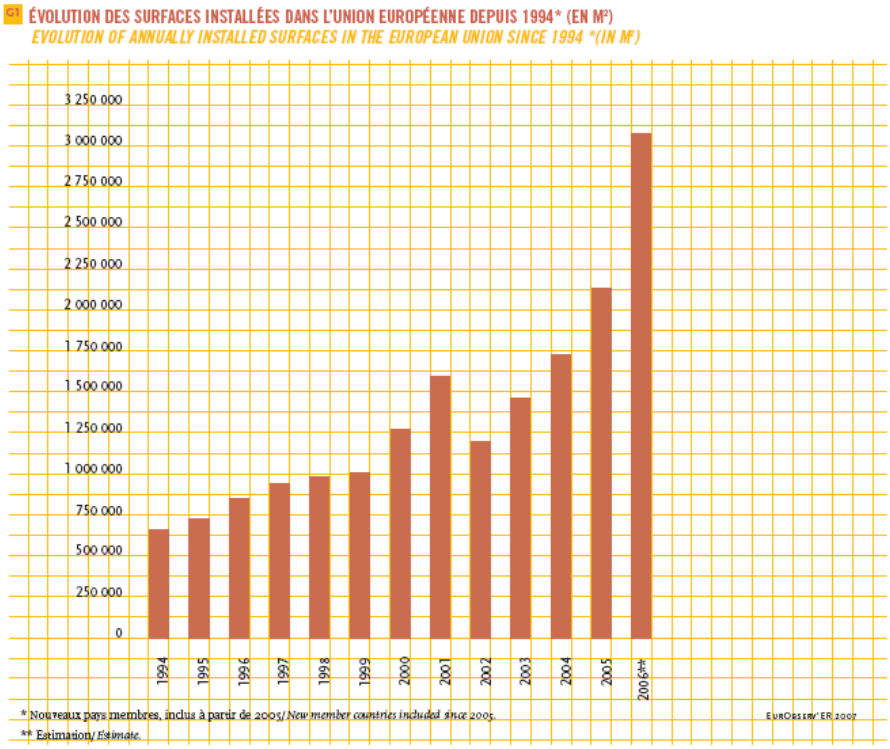


Figura 6. Evolució de les superfícies anuals instal·lades a la Unió Europea

Aquest creixement del mercat europeu és reforçat pel fet que els mercats madurs d'Alemanya i d'Àustria continuen prosperant. En aquests, les perspectives favorables han conduït a refer els pronòstics per a 2010 en 41,1 milions de m^2 instal·lats. Aquesta estimació, basada en els pronòstics

d'experts nacionals i en el dinamisme actual dels mercats, encara representa menys de la meitat del 100 milions de m^2 d'objectius inicial del document blanc de la Comissió de les Comunitats Europees sobre l'energia (Figura 7).

En l'objectiu a més llarg termini, la ESTIF (Federació de la Indústria Solar Tèrmica Europea) va publicar un pla d'acció termal solar al Gener de 2007 en el qual defineix dos nous objectius per a 2020, un objectiu ambiciós i un objectiu mínim.

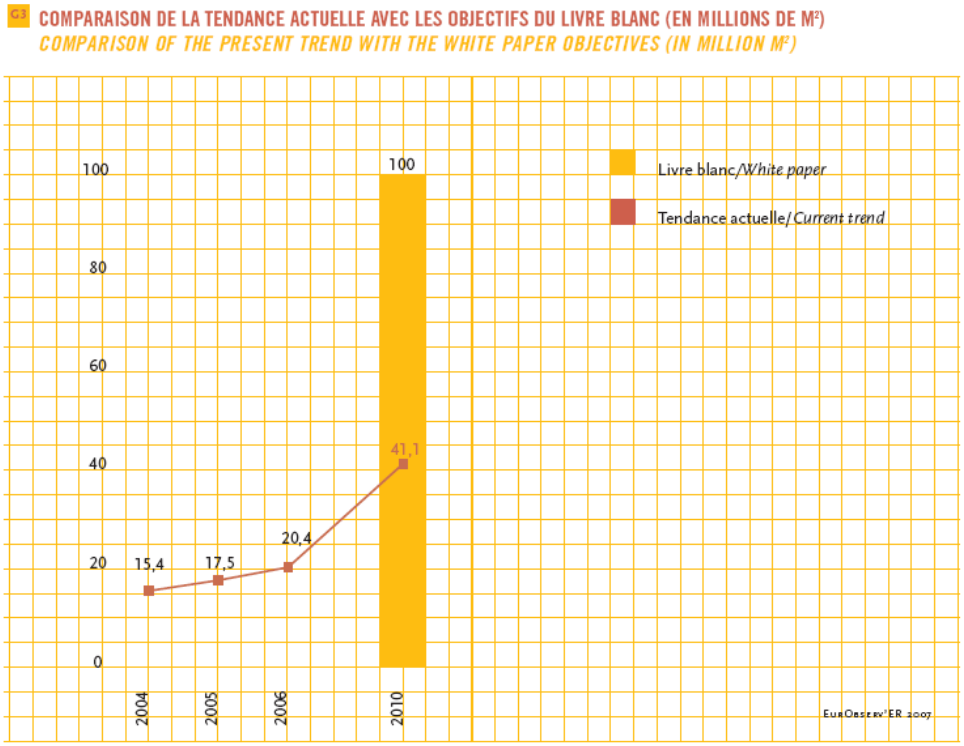


Figura 7. Comparació de la tendència actual amb els objectius del llibre blanc (en milions de m^2)

L'objectiu mínim, es arribar a 130 milions de m^2, calculat en base de la situació d'Àustria en el 2005 on el 15% de cases aïllades disposaven d'equip solar, i l'objectiu ambiciós és arribar a una capacitat de 457 milions de m^2 en la unió europea, és a dir, 1 m^2 de col·lectors per habitant.

Per a arribar a aquests objectius, la ESTIF precisa que l'energia solar instal·lada haurà de ser àmpliament utilitzada per a la calefacció i la refrigeració.

4.11 *Alguns exemples de cases bioclimàtiques*

Cada dia, arreu del món, hi ha més gent conscienciada amb l'estalvi energètic i l'aplicació d'energies renovables en els edificis. A més, d'un gran nombre de dissenys de cases bioclimàtiques i diverses empreses constructores especialitzades en la construcció d'aquestes.

4.11.1. Magic Box

El projecte de la casa solar, dirigit pel catedràtic Sergio Vega i amb la col·laboració de professors i alumnes de la Universitat Politècnica de Madrid (UPM), és un prototip d'habitatge dotat amb tecnologies que li permeten la màxima eficiència energètica, amb prestacions de confort molt superiors a les convencionals i amb un cost energètic mínim (Figura 8).

Figura 8. Casa Solar dissenyada per la Universitat Politècnica de Madrid

La casa està destinada a participar en el concurs Solar Decathlon, organitzat pel departament d'Energia dels Estats Units per a universitats de tot el món, que consisteix a dissenyar i construir un prototip d'habitatge autosuficient energèticament, i dotat de totes les tecnologies que permetin la màxima eficiència energètica.

4.11.1.1. Descripció

La configuració general consisteix en una caixa que es tanca al nord i s'obre al sud, amb diferents tractaments de buits de façana en funció de l'orientació, la caixa es cobreix amb un plànol inclinat 30º respecte a l'horitzontal, orientat a sud en el qual s'integren els panells fotovoltaics i que té petits vols respecte a la caixa en les orientacions aquest, oest i sud. L'accés a la casa es realitza per la façana nord a través d'una plataforma que mitjançant una rampa molt estesa condueix al visitant a l'habitatge, està plataforma crea un espai entorn de l'habitatge, ampliant el seu domini fins a l'exterior.

Figura 9. Façana Sud de la casa solar Magic Box

La façana Sud (Figura 9) s'obre en 4 de les seves 6 parts amb 4 grans corredisses al Sud, aquestes quatre finestres es llisquen solapant-se,

donant lloc a versatilitat en la connexió entre interior i exterior. Aquestes finestres corredisses donen accés a la plataforma i estan protegides de la radiació directa per panells fotovoltaics lliscants evitant l'enlluernament i captant aquesta radiació, augmentant l'obtenció d'energia, podent-la utilitzar, en cas necessari, per a refrigerar.

En la façana Nord (Figura 10) s'adossen volums amb diverses funcions i particularitats:

- El volum d'instal·lacions, "motxilla tecnològica" que actua com amortidor tèrmic en la zona més freda de la casa, aquest volum té en la coberta panells de captació solar de tubs de buit que s'utilitzaran per a escalfar l'aigua sanitària.

- El volum d'accés que genera una zona de tallavents entre habitatge i exterior.

- El volum que conté el sistema de reciclatge, on els contenidors dels diferents tipus de residus es situen a l'exterior de l'habitatge comunicant amb l'interior mitjançant una comporta convenientment aïllada i segellada per a evitar el pont tèrmic i les filtracions d'aire.

La façana Est queda totalment cega, d'aquesta forma evita les càrregues de la radiació solar directa del matí a més de dotar de privacitat a l'àrea de descans.

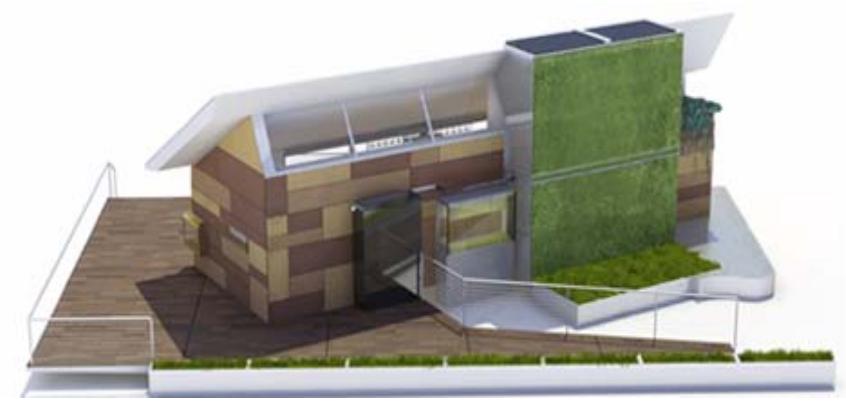


Figura 10. Façana Nord de la casa solar Magic Box

En la façana Oest (Figura 11) s'obre una fissura horitzontal a l'altura dels ulls, que permet emmarcar el capitoli en l'horitzó al començament del recorregut de la casa. Amb aquesta cantonada, també hi ha una finestra mirador, d'aquesta forma hi ha diferents escenaris connectant interior - exterior.

Per al confort dels usuaris, i adequació a les necessitats energètiques de la casa, les obertures tenen elements que controlen la intensitat de la llum i de la radiació solar. Les finestres cap a Nord i Sud són practicables, permetent així la ventilació creuada.

Els elements de tancament de la coberta són metàl·lics, integrant els panells fotovoltaics en la seva configuració.

Els materials naturals contrasten amb les superfícies de vidre i metall donant lloc a una interessant barreja de trobades subtils entre tecnologia i naturalesa. L'acabat exterior de la casa és de fusta i el volum

d'instal·lacions esta tancat amb panells vegetals verticals donant lloc a un conjunt intencionadament càlid que contrasta amb la sofisticada coberta.

Figura 11. Façana Oest de la casa solar Magic Box

L'interior de l'habitatge consisteix és un espai únic de 12,5 m de llarg per 3,60 m d'ample que és un concepte d'un àmbit versàtil en el qual les possibilitats d'ús són múltiples. Això s'aconsegueix situant en la façana Nord una banda de 60 cm que alberga tots els espais destinats a serveis, instal·lacions, magatzematge i reciclatge. Aquesta banda de serveis s'amplia en tres punts mitjançant els tres volums que s'adossen des de l'exterior per la façana Nord, un volum de majors dimensions denominat "motxilla tecnològica" alberga inodor i dutxa juntament amb tots els elements d'instal·lacions que doten d'autonomia a la casa (bateries, dipòsits d'aigua, etc…).

Aquesta banda queda tancada cap a l'interior mitjançant un plànol vertical únic format per portes corredisses, d'aquesta forma en el moment que les portes estan tancades es té un alçat interior homogeni que acompanya a l'espai interior continu i versàtil de l'habitatge.

4.11.1.2. Energia Solar

La casa disposa d'un sistema de captació solar fotovoltaica del que s'obté energia elèctrica. Disposa igualment, d'un sistema de captació solar tèrmica amb tubs de buit, que al seu torn té diferents usos:

Escalfa tota l'aigua calenta sanitària, inclosa la dels electrodomèstics.

Serveix per a generar una xemeneia solar que escalfa aire, de manera que indueix convecció i ventilació creuada dintre de l'habitatge.

Alimenta una màquina d'absorció que genera fred com complement per a l'habitatge.

Incorpora un sistema radiant en la qual hi ha una sèrie de conductes alimentats amb l'aigua calenta dels tubs de buit que activen, o acumulen la calor en el sistema de gels de canvi de fase.

4.11.1.3. Sistemes i tecnologies innovadores

El prototip inclou algunes innovacions interessants, entre les quals es destaquen:

Sistema de fonamentació intel·ligent.

Sistema de tancament de doble pell que permet controlar de manera intel·ligent l'aportació energètica del tancament. Disposa, a més, un sistema de cortines o estores, per a evitar la pèrdua d'energia acumulada interiorment, a la nit, així com de sistemes d'aïllament complementaris locals.

Sistemes de tancaments lleugers multicapa basats en panells steel frame, que incorpora un excepcional nivell d'aïllament tèrmic i acústic, i que permet la incorporació de sistemes d'inèrcia variable, sistemes de ventilació de l'habitatge amb recuperadores de calor, sistemes de geotèrmia solar…

Disposa d'una passarel·la domòtica que monitoritza els sistemes energètics, buscant l'equilibri òptim entre generació i consum. A més el sistema d'intel·ligència ambiental controla tots els paràmetres de confort de l'habitatge, controla les funcions de seguretat, control d'accessos, control d'intrusos, control estructural per detectar quan es produeixen seients o tensions excessives de determinats elements sobre la fonamentació i sobre l'estructura.

El control de la il·luminació utilitza fonts de llum d'estat sòlid (LEDs) també s'inclouen en el prototip.

Pel seu avançant disseny arquitectònic i tecnològic, Magic Box ha rebut nombrosos premis internacionals, entre uns altres, el European Solar Prize 2006 en la categoria d'Arquitectura Solar, o el "Encouragement Award "de Holcim Foundation.

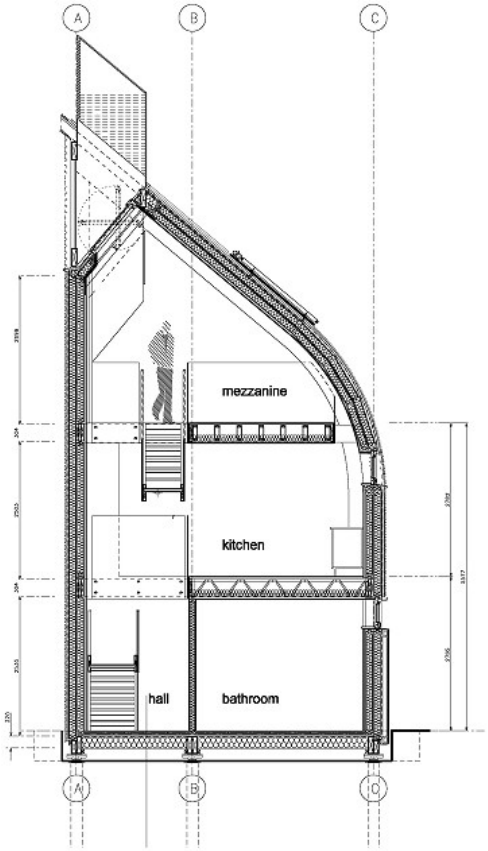
4.11.2. Kingspan house

La multinacional Kingspan ha realitzat el disseny més avançat de la casa d'energia zero per al Regne Unit (Figura 12), ja que resol els estàndards ambientals obligatoris per a tots les noves llars en el futur i és la primera que compleix el nou codi per a les cases sostenibles.

Aquest codi és el nou esquema obligatori per a totes les noves cases al Regne Unit, aplica graus en sis nivells diferents i s'espera que el nivell 6 sigui obligatori abans de 2016.

La casa arriba al nivell 6 ja que perd un 60% menys de calor que una llar normal, a més té compte l'augment predit de temperatura a causa del canvi del clima. A això s'arriba amb la incorporació d'un embut lleuger que proporciona refrigeració, ventilació i aportació de llum de dia i llum del sol reflectida en el cor de la llar, amb l'ajuda de les obertures de finestra en les elevacions de l'est i de l'oest, ombrejades pels balcons i els obturadors per a restringir l'augment directe de la llum del sol i de la calor.

La casa s'ha dissenyat d'acord amb Lifetime Homes and Scheme Development Standards (SDS) i cada material de construcció i component utilitzats són específics per optimitzar el disseny de la casa.



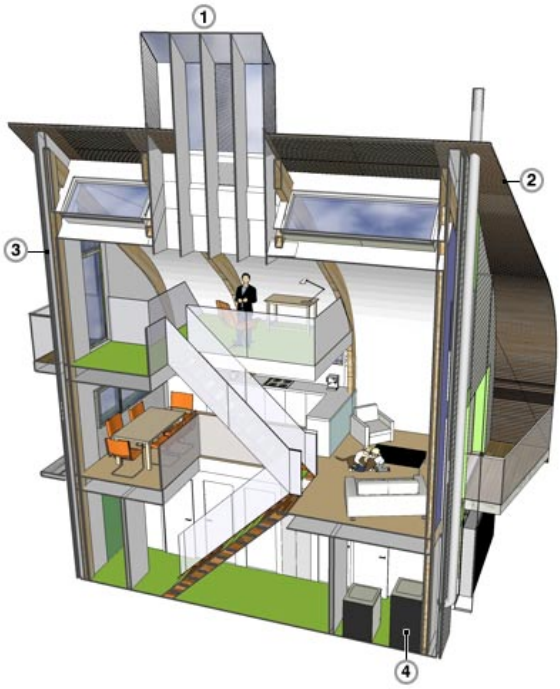


Figura 12. Disseny i secció de la casa d'energia zero dissenyada per Kingspan

Disposa de 93,3 m^2 repartits en dos plantes i mitja, té dos dormitoris i una superfície de coberta al voltant de 100 m^2. La teulada corbada cap a baix, a més de les funcions típiques, fa sentir l'usuari com en una casa oberta, encobrint la geometria compacta i atapeïda de la casa.

Els tancaments de l'edifici s'han dissenyat per aprofitar la llum del dia i realitzar un control solar eficaç, juntament amb els serveis integrats de l'edifici basats al voltant d'una plataforma de tecnologies renovables i sostenibles. Aquests, inclouen tècniques d'eficàcia d'aigua, tecnologies d'energia renovable, refrigeració passiva i ventilació, així com ventilació mecànica amb recuperador de calor (MVHR).

La construcció disposa de panells solars per produir aigua calenta i electricitat, una planta de biomassa lliura calefacció i aigua calenta, i un sistema de recol·lecció d'aigua de pluja (Figura 13).

Els propietaris d'una casa normal d'aquesta grandària s'haurien de gastar al voltant de 740 € anuals en electricitat, mentre que els habitants d'aquesta casa ecològica només 46 €. A més la casa és solidària, ja que l'energia elèctrica que no usa, per exemple si no es consumeix, la deriva a la xarxa general.

1. Col·lector de vent, per la ventilació a l'estiu
3. Paret d'alt aïllament
2. Equip solar per l'aigua calenta i l'electricitat
4. Caldera de biomassa

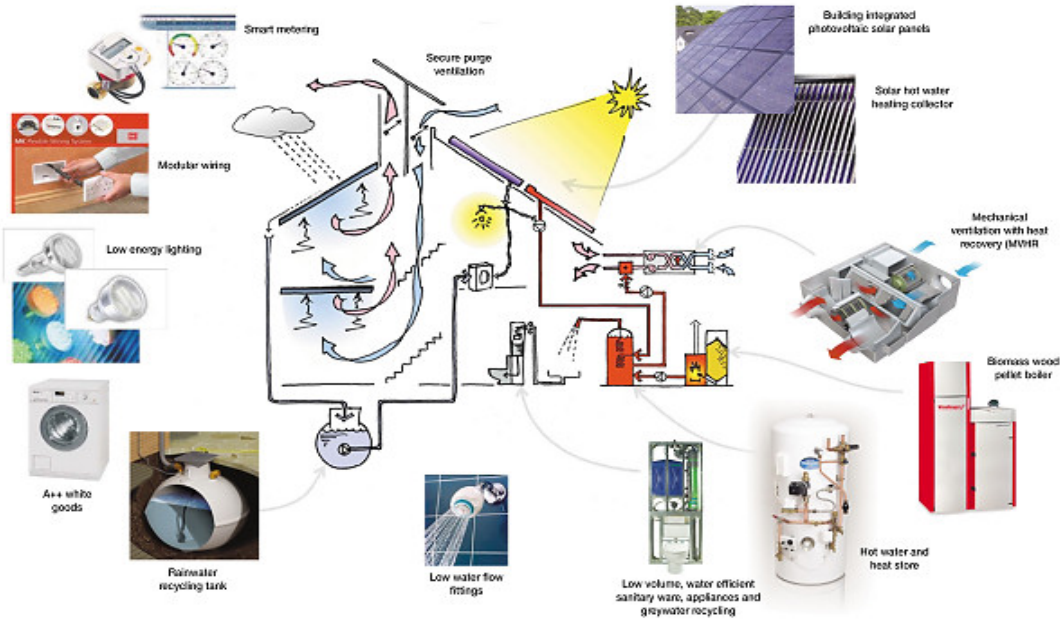


Figura 13. Elements que disposa la casa de Kingspan

Entre les característiques de la casa es troba una caldera de biomassa, que funciona amb combustibles orgànics com residus de fusta. Comptabilitza com "energia zero" perquè el diòxid de carboni que emet durant el procés ardent és compensat per la quantitat de diòxid absorbit durant el creixement del combustible (arbre). També té un sistema útil de separació d'escombreries que permet el seu cremat per a proporcionar energia.

Els serveis de l'edifici s'han integrat amb la mesura i la supervisió elegants, que registra el consum d'energia i permet als inquilins identificar si s'està

excedint el consum previst, ajudant a ser una consum d'energia més conscient. També es proporciona una guia de l'usuari, que dóna consell sobre com funciona la casa i una ajuda per a promoure més formes de vida respectant el medi ambient.

Aquestes característiques de l'energia renovable han reduït els costos de combustible de l'energia per a l'espai i l'escalfament d'aigua i com tota l'electricitat es proveeix via tecnologia solar, el cost de l'electricitat s'elimina totalment. El cost anual total del combustible ha estat reduït prop del 94%.

L'estalvi econòmic a llarg termini és evident amb la reducció del 60% de pèrdues, però Kingspan, admet que el cost de l'edifici és un 40% més que una llar estàndard, i la única manera d'abaratir costos es construint moltes cases.

4.11.3. Hanson Ecohouse

Un altre prototip de casa d'energia zero, és la Hanson Ecohouse, la qual se li ha concedit un nivell 4 segons el nou codi per a les llars sostenibles (Figura 14).

La construcció de la casa té com objectiu el proporcionar el concepte d'un habitatge que reuneixi molts dels últims progressos de la construcció sostenible usant els materials moderns de la construcció.

Figura 14. Disseny de la Hanson Ecohouse

L'arquitecte va optar per un disseny en el qual una llanterna del terrat que ventilava s'utilitza per a realçar els corrents d'aire naturals per mitjà de "l'efecte de termosifó".

Per a prendre l'avantatge complet d'això, els dormitoris i la sala d'estar es situen en la planta més fresca, el menjador i la cuina en la primera planta més calenta.

La llanterna del terrat que ventila funciona obrint i tancant segons la necessitat dels patrons del temps i així regular la temperatura de l'aire intern. La forma una mica inusual del terrat és accentuada més a fons per afavorir la ventilació i donar un aspecte distintiu a l'edifici.

L'edifici s'aprofita dels avantatges de la construcció tradicional del formigó amb la seva alta massa tèrmica. L'estructura creada iguala cap a fora els extrems de la temperatura de la calor d'augment de l'estiu, mentre que resta fresc i còmode, sent altament aïllat, també seguirà sent més calent al llarg dels mesos més freds del hivern.

La casa es construeix en un ambient controlat d'una fabrica, amb els avantatges que comporta d'alta qualitat i velocitat de la construcció amb poc o gens d'escombraries (Figura 15). També ofereix una gamma dels productes sostenibles de la vora principal incloent:

finestres i portes externes d'alt rendiment,

capes sofisticades de paret,

panells solars, i

una plataforma d'elevació.

La casa també conté el més últim en la tecnologia "elegant" de les solucions de l'edifici que permet l'operació a distància de la calefacció, de la il·luminació, de la supervisió de l'energia i de la disposició de la seguretat que permet l'ajuda completa de la comunitat per a la salut, l'educació, el benestar i l'oci.

Figura 15. Prototip construït de la Hanson Ecohouse

4.11.4. Casa solar Cracker

Randy Cullom i la seva dona Elizabeth Seiberling, viuen en una casa solar construïda prop de Interlachen (Florida), el seu pla original era no utilitzar cap combustible fòssil, però al final, van decidir tenir algunes aplicacions de propà com sistema de reserva.

Van decidir construir aquest tipus de casa (Figura 16) per a demostrar que els éssers humans poden viure en una llar còmoda i agradable mentre procurin reduir al mínim el seu impacte negatiu en el medi ambient.

Figura 16. Vista façana sud de la casa solar Cracker

El disseny de la casa es basa en l'estil arquitectònic del Cracker típic dels antics colons de Florida, i incorpora moltes característiques de la conservació d'energia que s'adapten al clima calent i humit trobat en el sud-est dels Estats Units. Aquests inclouen les cúpules, les projeccions grans del terrat, els pòrtics en els costats de l'est i de l'oest, ventilació sota la casa, una cuina i una cambra de bany aïllats de la sala d'estar i el dormitori i molts altres (Figura 17).

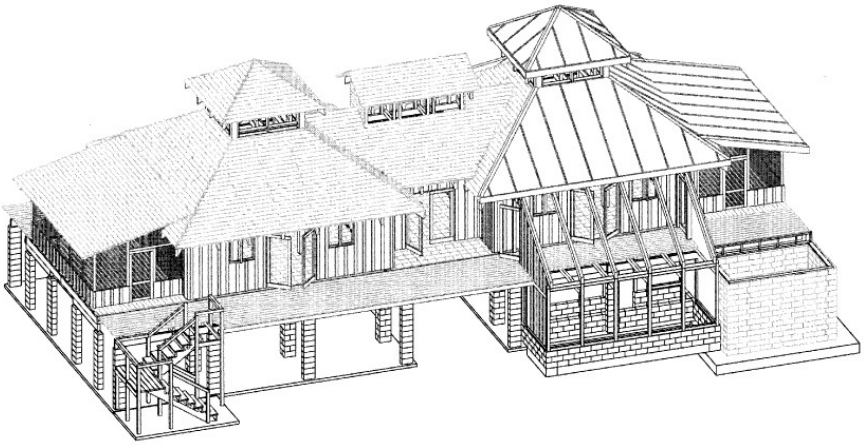


Figura 17. Dibuix isomètric de la casa solar Cracker

Com s'observa en el dibuix isomètric i el plànol (Figura 17 i el plànol de la Figura 18), la casa es divideix en tres unitats. En els extrems de l'est i de l'oest està la cuina, la cambra de bany, la sala d'estar i el dormitori, respectivament, i aquestes unitats són distribuïdes per una cambra en el centre, el menjador. La funció és aïllar la cuina i el bany de la resta de la casa.

El hivernacle comparteix una paret amb la cisterna, que proporciona una massa tèrmica de temperatura (calefacció solar passiva al hivern), però la funció més important del hivernacle estarà per a la producció de l'aliment. Juntament amb un jardí orgànic de 230 m^2, i molts arbres fruiters perennes nadius.

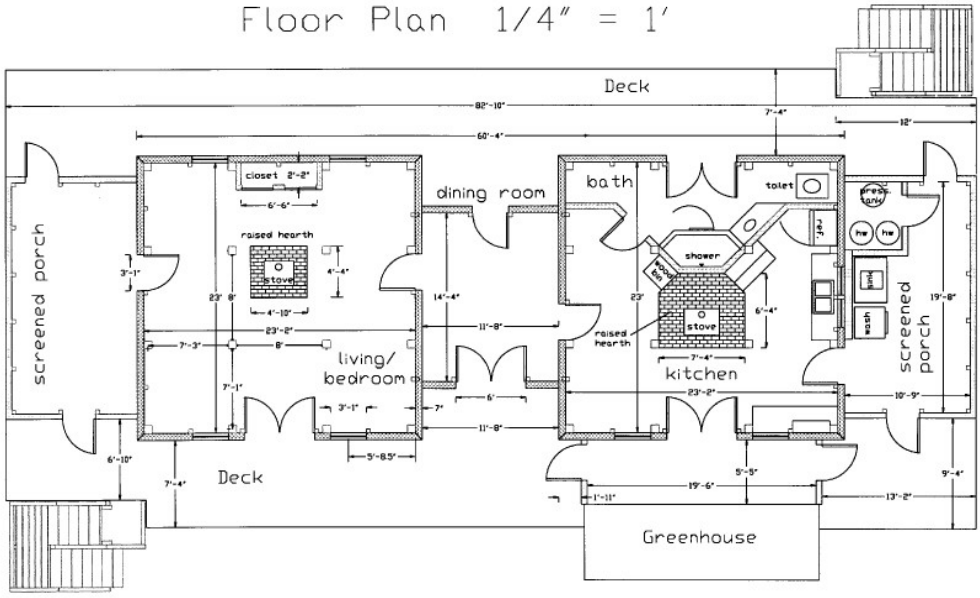


Figura 18. Plànol de la casa solar Cracker

L'estructura de bloc de formigó prominent en el costat sud-oest de la casa és una cisterna, té una capacitat de 11 m^3, que s'utilitza per a recollir l'aigua de pluja. Aquesta aigua serà filtrada, purificada i bombada a través de la casa i essent la única font d'aigua per a tota la casa, per al jardí i la irrigació s'utilitza una cisterna separada.

La casa no disposa d'un sistema d'embornal o una fossa sèptica ja que disposa d'un bany d'adob, que converteix tots els residus del bany en fem vegetal inofensiu, eliminant així el tractament de les aigües residuals. La resta de l'aigua de la casa es pot considerar aigües grises.

Finalment, per a la construcció de la casa, es van utilitzat materials de construcció reutilitzables, que la seva producció fos local i tan natural com sigui possible.

Les necessitats energètiques de la casa són prop de 4 kWh/dia per al hivern i a 4,5 kWh/dia a l'estiu (no inclou l'aire condicionat). Com la casa no està connectada a la xarxa elèctrica, l'energia és proporcionada totalment per les plaques fotovoltaiques. Tenen 1,2 kW dels mòduls de Siemens amb tres seguidors de Zomeworks (Figura 19).

Els dos problemes més difícils de resoldre a l'hora de dissenyar la llar amb dependència mínima de combustibles fòssils han estat l'aire condicionat i la cuina.

La zona on es troba la casa, és calenta i humida, l'aire condicionat es necessita més per a la deshumidificació que per a refrescar-se. Sense una

certa forma de deshumidificació, la floridura pot convertir-se en un problema seriós.

Figura 19. Vista dels seguidors solars amb les plaques fotovoltaiques

La casa s'ha dissenyat per a reduir al mínim problemes de floridura amb l'ús de la ventilació. Un altre desafiament important és cuinar, que pràcticament no utilitza combustibles fòssils. La solució que Randy Cullom i la seva dona Elizabeth Seiberling utilitzen és una varietat de cuines:

Un forn solar per als plats que requereixen coure al vapor o bullir. Arriba a 170ºC, i pot ser utilitzat com a forn.

Una estufa de llenya ben aïllada és l'opció per als mesos més freds, però es pot també utilitzar a l'estiu si es necessita.

Disposen d'una cuina de propà (que utilitzen poques vegades) com sistema de reserva.

4.11.4.1. Ventilació

La casa solar Florida s'ha dissenyat amb la bona circulació d'aire. No hi ha sostres plans per a no permetre que l'aire s'estanqui. El sostre segueix el perfil del terrat en l'interior de la casa, i en la punta, la cúpula amb les finestres obertes s'utilitza per a expulsar l'aire humit calent a l'exterior. També ajuda molt a la ventilació, els cinc ventiladors del sostre de la casa (Figura 20).

Les dues parts de la casa estan molt obertes, amb la única paret interior sent la paret de la cambra de bany. Les cúpules també ajuden a mantenir la casa fresca i còmoda reduint la necessitat de llums elèctriques. Les seves finestres i projeccions verticals del terrat, proveeix de manera eficient portar llum natural dins sense permetre que la radiació directa entre en la casa.

Per al període de calor, totes les finestres i portes es mantenen tancades durant el dia i obertes en la nit, durant la temporada amb el clima més suau (prop de 6 mesos de l'any en la Florida del nord), les finestres o les portes poden estar obertes. Hi ha finestres o portes en cada paret per a la bona ventilació.

Figura 20. Vista de la cúpula amb finestres i els ventiladors del sostre

4.11.4.2. Calefacció

En el clima de la Florida, la calefacció no és realment un problema, però estar fresc i sec durant l'estiu si que ho és.

La calefacció solar passiva és significativa en hivern a causa de la llum del sol que entra a través de les finestres i de les portes de la part sud, per calefactar la resta de dependències quan la radiació és baixa, la casa disposa d'una estufa de fusta i alguna de propà com reserva. La idea original era no utilitzar cap combustible fòssil, però com a suport hi ha un tanc de 230 litres. L'ús anual és prop de 130 litres, amb un cost al voltant de 55 €, incloent el lliurament.

L'aigua calenta per a l'ús de la casa és proporcionada principalment per un col·lector solar (Figura 16). Com a recolzament, l'aigua calenta també es pot obtenir per mitjà d'una estufa de llenya, que s'equipa amb un dipòsit d'aigua calenta en la caixa de foc. Aquest dipòsit connecta amb els tancs d'emmagatzematge de l'aigua calenta de la casa.

4.11.5. Casa solar Brisbane

Bligh Voller Nield ha dissenyat una casa elegant i contemporània en l'estat australià de Queenslander, que ofereix bones vistes, orientació, i característiques ecològiques, que es troben reflectides en el clima subtropical de la regió.

La Casa Sostenible Brisbane (Figura 21) disposa de 347 m^2, distribuïts en dues plantes que alberguen 4 habitacions i 3 cambres de bany col·locats cuidadosament. Un pas elevat per als vianants del carrer permet l'accés fàcilment a la primera planta.

El disseny té uns detalls mínims ecològics i intenta respectar valors ambientals del lloc com fluxos de drenatges naturals per a la pluja i la vegetació, que ha estat conservada per a mantenir la diversitat biològica de la zona.

Figura 21. Vista de la casa solar Brisbane

El sistema de recollida d'aigua de pluja ha estat incorporat amb una capacitat d'emmagatzematge per a 22.000 litres. L'aigua i els dispositius d'estalvi d'energia han estat instal·lats a tot arreu.

El terreny inclou espècies natives de plantes, plantes comestibles, resistents a la sequera i espècies exòtiques que atreuen als ocells.

Un tret important és el seu terrat i el disseny del sostre que promouen els avantatges de la ventilació natural per a refrigerar la temperatura en l'estiu (Figura 22), i en conjunt amb la massa tèrmica, per a escalfar-se durant el hivern (Figura 23).

A l'estiu l'aire fresc es dibuixa a través de les finestres i de les portes. La massa tèrmica de les escales de formigó centrals, de les parets de maó i de la llosa de formigó estabilitza la temperatura interna.

Els forats del forjat permeten a l'aire calent aixecar-se per a dalt a través del sostre. L'aire calent surt cap a l'exterior a través de respiradors del sostre i a través de les claraboies obertes.

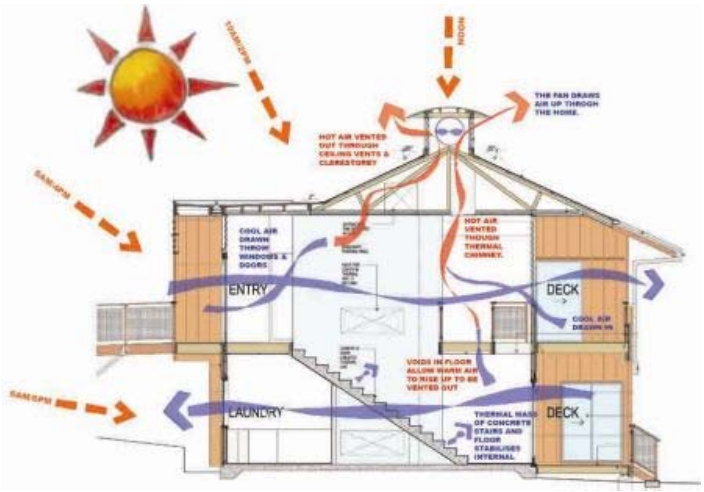


Figura 22. Ventilació natural per refrigerar la casa a l'estiu

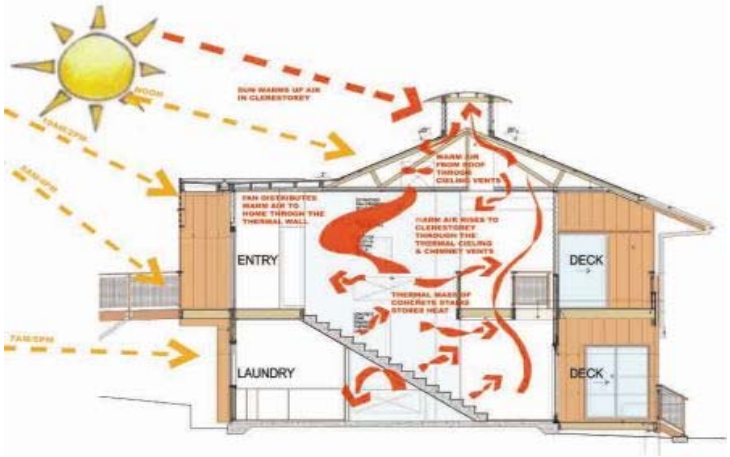


Figura 23. Ventilació natural per escalfar la casa al hivern

Al hivern l'aire calent del terrat circula a través dels respiradors del sostre per escalfar la casa que esta més freda. Els ventiladors distribueixen l'aire calent a la casa a través de la paret. La massa tèrmica de les escales i dels maons absorbeix la calor, i la fan servir per escalfar la casa.

L'aire calent s'aixeca a través dels respiradors del sostre i de la xemeneia. Perquè les claraboies estan tancades al hivern, l'aire calent en el terrat circula novament dintre de la casa per circulació natural.

Els materials utilitzats són part del bon disseny de la casa, són duradors i fàcils de mantenir. Contenen molt pocs o cap element tòxic, com compostos orgànics volàtils que poden perjudicar la qualitat de l'aire de l'interior i de l'ambient.

En la construcció de la casa s'han utilitzat materials amb baixa energia afegida (energia utilitzada per aconseguir les matèries primeres i fabricar els productes) com la fusta reciclada i el formigó reciclat per al paviment.

Exemples de materials renovables utilitzats aquí, inclouen l'aïllament amb palla, sòl de bambú, revestiment xapat extern, marcs de portes i finestres de fusta.

La constructora Maunsell Austràlia va desenvolupar un pla de la gestió de deixalles per a la construcció de la casa. Les escombraries de la construcció va ser separada i reciclada per a reduir al mínim conseqüències per al medi ambient.

Dintre de les característiques del disseny passiu interior es troben:

- o Disseny respectuós amb el medi ambient.
- o Orientació Nord - Sud .
- o Aïllament apropiat dels tancaments.
- o Finestres i entrades protegides de la llum del sol a l'estiu.
- o Habitacions dissenyades per a la ventilació creuada i directa natural.
- o Zones exteriors cobertes permanentment.
- o Sistema de ventilació del terrat.
- o Ventiladors de sostre en cada habitació.
- o Colors del terrat frescos per a assolir la reflexió de la calor.
- o Sostres alts per a millorar la ventilació.

Mínima energia per a fer funcionar la casa:

- o Catalogada amb 4 estrelles en l'eficiència d'energia.
- o Llums de baix consum.
- o Òptim ús de la llum natura.
- o Sistema d'aigua calenta solar.
- o Panells fotovoltaics solars.
- o Sistema de control de l'ús d'aigua i energia.

Característiques d'estalvi d'aigua:

- o Catalogada amb 4 estrelles per la seva eficiència en l'estalvi d'aigua.
- o Banys dobles catalogats amb 4 estrelles (sistemes de 4,5/3 litres, no de 6/3 litres).
- o L'aigua de pluja emmagatzemat està connectat al bany i a la bugaderia.
- o Controladors d'aigua en tots els banys.
- o Comptadors de consum.

Administració de l'aigua exterior emmagatzemada:

- o Tanc de 22.000 litres de capacitat.
- o Plantes natives (no requereixen aportació d'aigua de reg).
- o Zones del jardí ben esponjoses per a prevenir la pèrdua d'humitat del sòl.
- o Aigua bruta reciclada per a ser utilitzada per regar el jardí.
- o Mesurador instal·lat per a controlar el reg del jardí.

4.11.6. Casa solar de Maine

En la zona de Nova Anglaterra (nord-est d'Estats Units), més exactament en l'estat de Maine, es troba la casa solar de William i Deborah Lord (Figura 24). Es tracta d'una casa de 270 m^2 repartida en dos plantes (Figura 25).

Les parets disposen d'una barrera de vapor per segellar l'interior i s'ha tingut en compte les pèrdues per les finestres i les portes, ja que estan tapades amb espuma aïllant. A més utilitzen un vidre solar de baixa emissivitat, exactament el R-8 Hurd, que és un dels R més alts del mercat.

Figura 24. Vista de la casa solar de Maine

La part sud de la teulada, és on el sol fa el seu treball. Hi ha dues àrees de costat a costat, la meitat esquerra del terrat es dedica a generar l'aigua calenta (36 m^2) i l'altra meitat és la planta d'energia elèctrica (24 m^2).

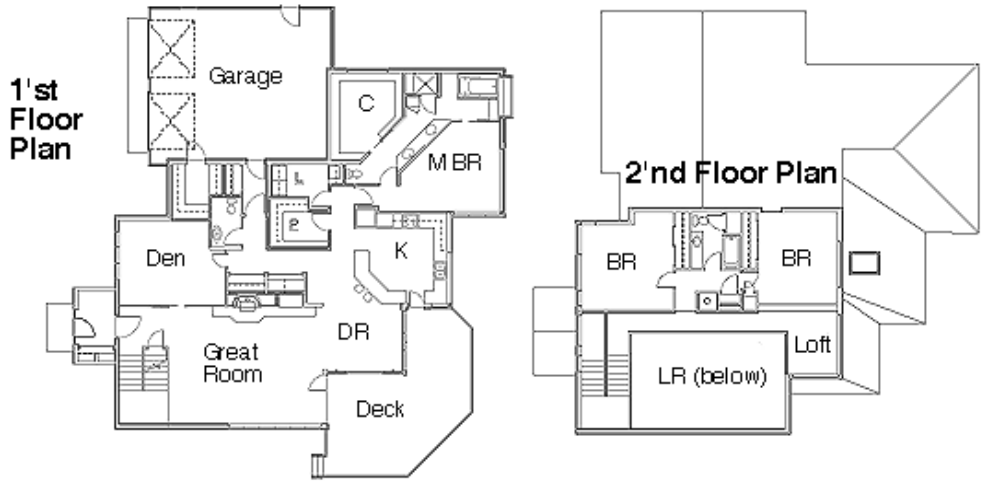


Figura 25. Plànol de la distribució de la casa solar de Maine

4.11.6.1. Energia Tèrmica

L'aigua escalfada pel sol s'emmagatzema en dos tancs de 2.000 litres en el soterrani, i proporciona l'aigua calenta sanitària necessària per al consum.

A més, en els períodes freds, proporciona la calefacció de la casa distribuint la calor de manera uniforme mitjançant el terra radiant. Per als dies en que l'energia solar no és suficient, la casa té d'un dipòsit de propà com a reserva per cuinar i calefactar.

4.11.6.2. Energia Elèctrica

Setze panells fotovoltaics, un total de 24 m^2, proporcionen 4200 W de potència en CC a 48 volts en un inversor en el soterrani, la sortida d'aquest és a 240 volts en CA, obtenint una generació superior a 4 MWh anuals.

La central d'energia de Maine va instal·lar dos comptadors elèctrics, un per a mesurar el consum d'energia de la xarxa i l'altre l'excés de producció. El comptador del consum redueix la tarifa en part o totalment. Maine és un "estat de mesura anual de la xarxa" que significa que qualsevol excés generat en una base mensual entra en un "banc", i aquest es pot utilitzar durant els mesos més freds del hivern.

En 2001, el "banc" tenia més de 500 kWh disponible per a l'últim ús del hivern. Tot just van pagar d'electricitat, una càrrega mensual de aproximadament 6 €.

Els propietaris, han plantejat l'opció d'ampliar la capacitat de generació, i han localitzat un lloc per a un generador de vent, ja que durant el hivern, hi ha un vent del nord que pot compensar l'energia solar reduïda d'aquesta estació.

5. LA CASA SOLAR INTEL·LIGENT D'ANDORRA

5.1 *Introducció*

Par tal de demostrar que en un rigorós clima alpí també són possibles les cases bioclimàtiques, s'ha dissenyat, calculat i construït aquesta casa a Principat d'Andorra.

És una casa unifamiliar, de tipus tradicional de muntanya, amb murs de pedra i teulada de llosa de pissarra. Inclou molts detalls arquitectònics autòctons que ja tenien en compte la climatologia local, però aportant-hi les noves tecnologies a nivell de càlcul i control del comportament tèrmic de l'edifici. S'ha tingut en compte també les teories més actualitzades de la sostenibilitat en l'àmbit de la construcció. Es pot veure una fotografia de la façana oest de la casa en la Figura 26.

Figura 26. Vista de la casa, amb rigorosa climatologia d'hivern.

Els criteris que s'han tingut en compte en el disseny de la casa han estat:

El confort tèrmic interior, tant al hivern com a l'estiu.

L'estètica i la integració a l'arquitectura de muntanya on es troba.

La reducció de les despeses anuals de manteniment.

El cost de la construcció.

L'impacte de la casa en el medi ambient i la sostenibilitat.

La possibilitat de reciclatge dels materials de construcció el dia de demà quan s'enderroqui la casa.

5.2 *Distribució dels espais*

La casa té una superfície habitada d'uns 300 m^2 i està dividida en quatre plantes: soterrani, baixa, primera i segona. La planta soterrani s'ha construït de forma que aprofiti el màxim espai edificable seguint la forma de la parcel·la i s'hi ha fet el garatge. Per a la zona habitable de la casa s'ha escollit un disseny en planta rectangular de 100 m^2 amb 3 plantes, amb les zones de pas, escales i passadissos situades a la part Nord i les habitacions i espais principals situats a la part Sud.

Per tal d'aprofitar el màxim guany solar i minimitzar les pèrdues de calor les finestres i superfícies envidrades es situen principalment a la façana Sud, deixant les façanes Nord i Est pràcticament lliures de finestres tal com es veu a la Figura 27.

Figura 27. Façanes Est i Nord de la casa.

En la Taula 1 es pot veure la superfície de cada espai de la casa.

La distribució dels espais en que es divideix la casa es poden veure a la Figura 28 (planta soterrani), Figura 29 (planta baixa), Figura 30 (planta primera) i Figura 31 (planta segona).

Planta	Espai	Superfície [m^2]
Planta Soterrani		
	Pàrquing	**270,8**
	Cisterna de pluja	**14,8**
	Solar Closet	**33,9**
	Ascensor i escala	**32,12**
	Total Planta Soterrani	**351,62**
Planta baixa		
	Menjador	**56,82**
	Cuina	**17,78**
	WC	**4,43**
	Assecador	**12,25**
	Passadís	**4,1**
	Ascensor	**2,04**
	Escala	**6**
	Total Planta Baixa	**103,42**
Planta Primera		
	Habitació 1	**12,43**
	Habitació 2	**9,75**
	Habitació 3	**9,75**
	Habitació 4	**23,95**
	WC	**8,73**
	Ascensor	**2,04**
	Escala	**6,09**
	Passadís	**22,09**
	Total Planta Primera	**94,83**
Planta Segona		
	Habitació Principal	**17,64**
	Passadís	**19,59**
	Vestidor	**15,33**
	Despatx	**21,7**
	Escala	**4,49**
	Passadís	**2,04**
	WC	**10,65**
	Total Planta Segona	**91,44**
Total Casa Solar		**641,31**

Taula 1. Superfícies útils de la casa.

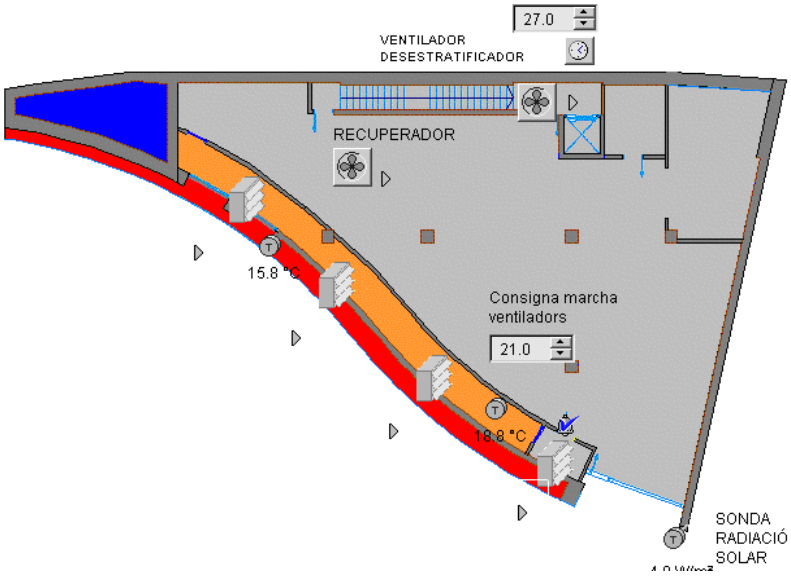


Figura 28. Distribució de la casa, planta soterrani.

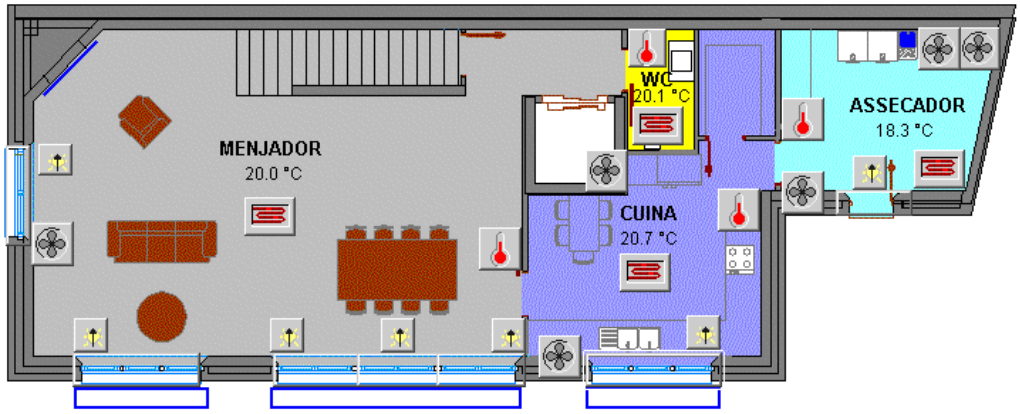


Figura 29. Distribució final de la casa, planta baixa.

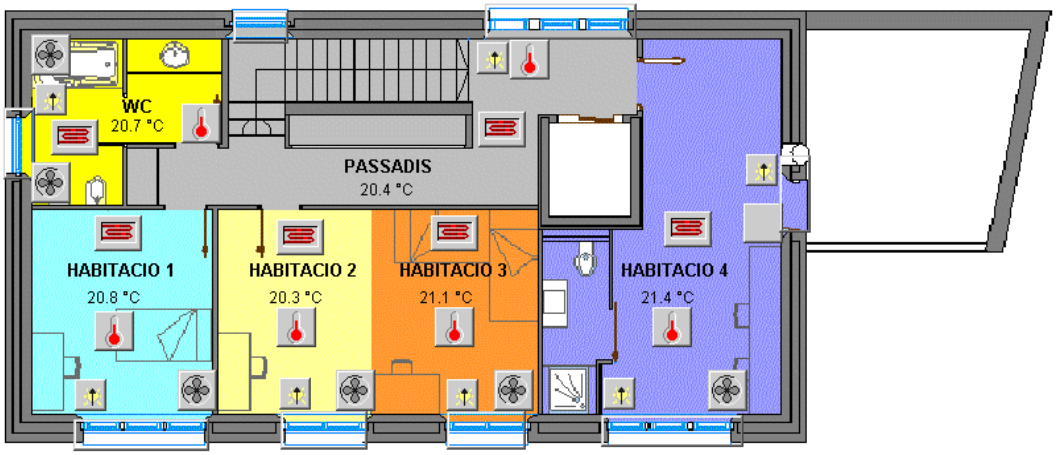


Figura 30. Distribució final de la casa, planta primera.

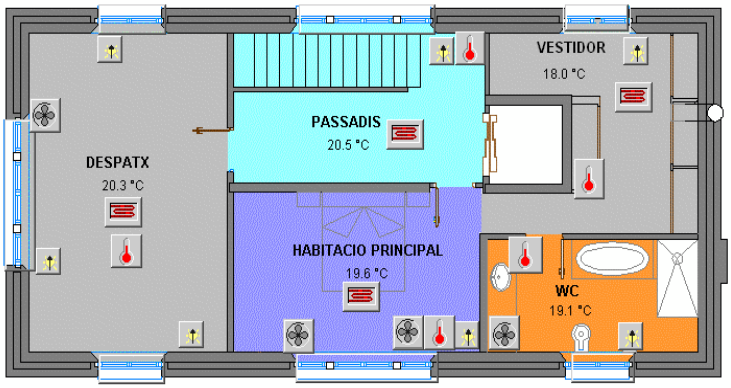


Figura 31. Distribució final de la casa, planta segona.

5.3 *Especificacions de la casa*

La casa està dotada d'un sistema de captació solar tèrmica per a la producció d'aigua calenta sanitària, uns guanys solars directes a través de les finestres, uns col·lectors solars d'aire per la calefacció i un terra radiant elèctric que funciona amb tarifa nocturna. Els col·lectors d'aire capten i emmagatzemen part de l'energia incident sobre la façana Sud de la casa, que la utilitzarà en funció de la demanda.

Les especificacions principals dels equips que fan possible la climatització de la casa es troben en la Taula 2.

5.4 *Integració Arquitectònica*

L'integració arquitectònica dels diferents sistemes que permeten l'aprofitament d'energia del sol és essencial per tal de que entri dins la mentalitat del públic.

D'aquesta manera, sistemes com el mur de captació de calefacció solar o els captadors solars d'aigua calenta no trenquen l'estètica de l'edifici. L'objectiu és que la gent els percebi com un element integrat a la construcció, i no com un afegit estrany.

Pel que fa a la casa objecte del treball s'han aplicat tots aquests criteris d'integració arquitectònica. A més a més, per la seva localització aquestes consideracions són especialment importants ja que també es tracta de preservar la uniformitat arquitectònica tradicional de la zona. Per això les façanes han de ser de pedra natural i les teulades de llosa de pissarra, tal com exigeix l'administració local.

Els captadors solars d'ACS es troben integrats en la façana sud (Figura 32), seguint el contorn de la casa. D'aquesta manera queden fixats a la façana i no sobresurten. Els captadors tenen prou radiació incident en aquesta posició, i no s'han de recórrer a instal·lar-los en la teulada, que sempre tenen un manteniment més difícil, especialment en època hivernal que fan perillós l'accés a la teulada nevada o gelada.

Col·lectors Solars per la producció d'ACS	
Tipus	Col·lectors plans
Àrea	3 m^2 (Total)
Marca / model	Jaques Giordano Industries / C2
Material absorbent	Aletes d'alumini i tubs de coure
Tractament superficial	Níquel negre
Inclinació (respecte l'horitzontal)	40º
Azimut (respecte al Sud, lleugerament a l'oest)	-17,5º
$F_R(\tau\alpha)$	0,77
$F_R U_L$	5,53
Fluid Circulant	Mescla d'aigua i glicol (protecció fins -17ºC)
Cabal Circulant	4500 l/h
Tanc d'aigua solar	
Capacitat	200 l
Marca / model	Lapesa / GX-200-M1
Aïllament	Poliuretà injectat en motlle
Tanc auxiliar ACS	
Capacitat	300 l
Marca / model	Lapesa / GX-300-DEC
Aïllament	Poliuretà injectat en motlle
Potència de la resistència elèctrica	2,5 kW
Terra Radiant	
Potència del terra radiant	13,84 kW
Àrea coberta pel terra radiant	269 m^2 (98,5% del total, excloent soterrani)
Col·lectors d'aire de calefacció	
Àrea d'obertura, part exterior	42,5 m^2 aprox.
Volum de la part interior	85 m^3 aprox.
Volum d'aigua emmagatzemada en tancs	10 m^3 aprox. (401 bidons de 25 l)
Tancaments, conductivitat tèrmica	
Parets exteriors	0,24 $W/m^2.ºC$
Vidres exteriors	1,10 $W/m^2.ºC$
Teulada	0,14 $W/m^2.ºC$

Taula 2.- Especificacions principals de les instal·lacions de calefacció i producció d'ACS

Figura 32. Integració dels captadors solars en la façana Sud. Vista general i detall dels col·lectors d'aigua calenta

En el cas dels captadors solars d'aire calent, en comptes d'escollir un disseny pla i rígid s'ha optat per seguir el contorn de la casa. El resultat és un aprofitament màxim de l'àrea disponible en la façana, sense estructures de suport o elements que sobresurtin i que puguin trencar l'estètica del conjunt (Figura 33).

Figura 33. Detall d'integració dels col·lectors d'aire de calefacció en la façana Sud.

5.5 *Disseny del sistema de climatització*

5.5.1. Objectius

El disseny de la calefacció solar, és una combinació de sistemes passius i actius. La casa s'ha de comportar mantenint la temperatura interior molt estable les 24 hores al dia, podent variar entre els 20 i els 24ºC.

El gran repte de les cases solars és maximitzar els guany al hivern al mateix temps que evita el sobreescalfament a l'estiu. Per aquesta raó, l'ordinador central de l'edifici controlarà les persianes en funció de la temperatura interior i de la radiació solar. Això mantindrà també la temperatura de confort molt estable, tal com es demostrarà en la present tesi doctoral.

A part dels sistemes passius i actius descrits a continuació, la monitorització i control juga un paper molt important en la climatització de la casa. El

sistema de control dóna les prioritats a cadascun dels sistemes, a més de complir els horaris de funcionament especificats pels usuaris de la casa.

5.5.2. Sistema Passiu

El sistema passiu consisteix a adequar el disseny arquitectònic de la casa al seu balanç tèrmic: situació, orientació, mida de les finestres, gruix i tipus d'aïllament tèrmic de murs i teulada, materials de construcció emprats, etc.

Per calcular-lo s'ha fet una simulació tèrmica del balanç energètic de l'edifici hora per hora durant tot un any, utilitzant dades reals de temperatura exterior i radiació solar del lloc.

Aquesta simulació ha permès optimitzar:

- el gruix dels aïllament de les parets i teulada,
- la superfície de les finestres , i
- el tipus de vidre i fusteria de finestra utilitzat.

Els murs exteriors de la casa estan formats per 15 cm de pedra natural, 5 centímetres de morter, aïllament de poliestirè de 15 cm, 20 cm de formigó per la part interior i acabat amb 1,5 cm de guix. En el recorregut dels cablejats s'ha utilitzat un recobriment de poliuretà projectat. Pel que fa a la teulada aquesta està feta amb llosa de pissarra, amb 2 cm de fusta, impermeabilització, 20 cm de llana de roca volcànica i 20 cm de formigó.

Un element que sol causar problemes en l'aïllament dels edificis són les finestres, ja que sovint suposen un pont tèrmic important. Per evitar aquest efecte s'han utilitzat finestres amb un marc d'alumini amb trencament de pont tèrmic. Les finestres disposen de doble vidre amb tractament de baixa emissivitat i cambra de gas argó. La seva composició és 4+12+6 mm. El coeficient de pèrdues tèrmiques del doble vidre és de 1,1 $W/m^2.ºC$, el més baix del mercat en vidres dobles.

A més a més s'ha reduït al màxim l'infiltració d'aire a través de portes i finestres utilitzant un disseny especial en les caixes de persiana. S'ha pogut comprovar experimentalment que si s'aïllen correctament les caixes de persiana es minimitza el pont tèrmic provocat per l'alumini dels tancaments. S'han utilitzat planxes de poliestirè de 6 cm i de 12 cm de gruix per aïllar les caixes de persiana per l'interior. Aquesta modificació, que ha estat introduïda a inicis de l'any 2006, repercuteix en una reducció considerable de la demanda de calefacció de la casa amb un estalvi de 100 € anuals amb una inversió econòmica molt baixa.

El guany de calor solar a través de les finestres està controlat per l'ordinador central, de forma que dins dels horaris establerts de persianes pujades, si hi ha demanda de calefacció (sonda de temperatura de l'habitació amb un valor inferior a la temperatura de consigna) i hi ha sol (sonda solar) la persiana puja automàticament uns centímetres cada 10 minuts per augmentar els guanys. Quan hi ha excés de calor a l'interior la persiana baixa uns centímetres cada 10 minuts per tal de mantenir la temperatura de consigna. La primera funció és habitual els mesos de calefacció, és a dir d'octubre a juny, mentre que la segona ho sol fer la resta de l'any, tot i que les dues estan a punt d'accionar-se en qualsevol moment.

Aquest automatisme es pot anular manualment a través d'un interruptor situat a cada habitació, per si no es vol que la persiana pugi encara que l'aprofitament solar ho demani.

Tot això obté un aprofitament màxim dels guanys solars a l'interior, independentment de l'actuació dels seus habitants, al mateix temps que s'evita sobreescalfaments molestos en alguns moments. En la Figura 34 i Figura 35 mostren la projecció del sol a l'interior de la casa les diferents hores del dia el mes de juny (solstici d'estiu) i de desembre (solstici d'hivern). Això ha estat útil per escollir els materials banyats pel sol, ja que han d'absorbir aquesta calor.

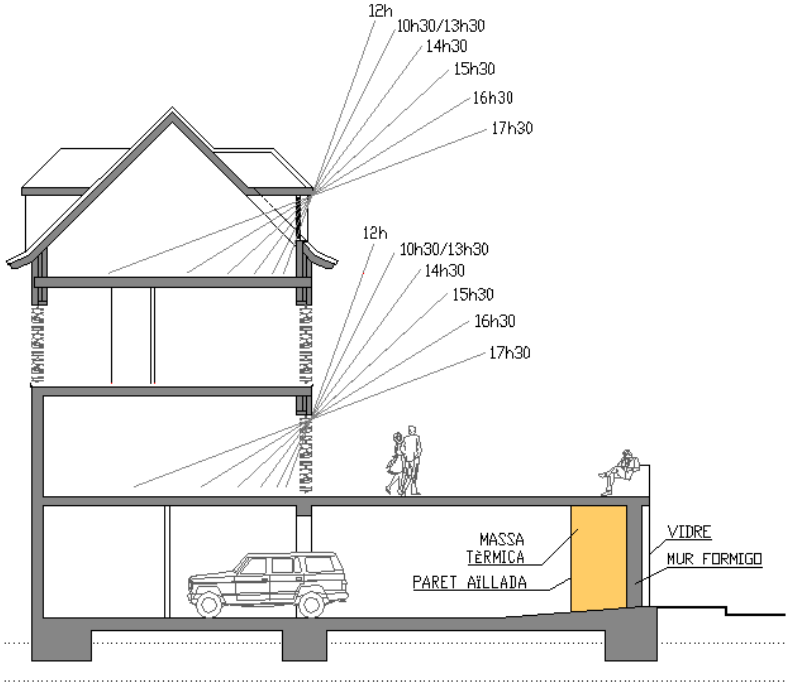


Figura 34. Projecció del sol al terra i murs interiors, el mes de juny.

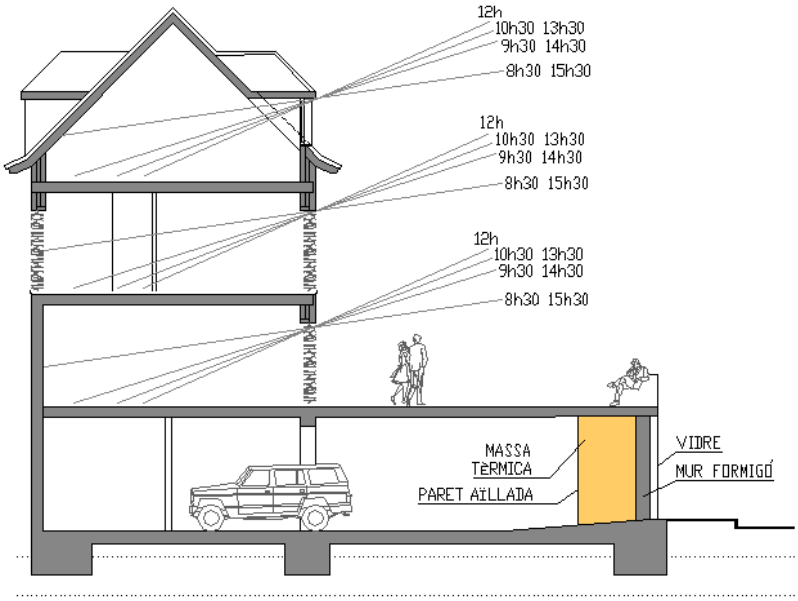


Figura 35. Projecció del sol al terra i murs interiors, el mes de desembre.

La Figura 36 mostra la façana sud de la casa durant els mesos d'hivern, on s'observa la duresa del clima.

Figura 36. Façana sud al hivern

5.5.3. Sistema Actiu

5.5.3.1. Col·lectors d'aire de calefacció

El principi del col·lector d'aire de calefacció consisteix en captar i acumular l'energia solar en un espai tancat amb gran inèrcia tèrmica, que es transfereix a l'interior de la casa en el moment que es necessita.

L'energia es capta mitjançant un col·lector d'aire, que és una superfície de vidre col·locada davant d'una paret exterior destinada a acumular calor. Per tal d'afavorir l'acció solar, la paret està orientada al sud i pintada de negre. El sistema té unes obertures, a dalt i a baix, per on hi circularà un cabal d'aire impulsat per uns ventiladors.

La radiació solar escalfa l'aire de la capa situada entre el cristall i la paret. Com que l'aire calent obtingut crea una circulació natural amb l'espai d'acumulació anomenat "solar closet". El moviment d'aquesta massa d'aire crearà un espai buit, d'aire, que per efecte de succió serà a la vegada emplenat per aire fred procedent de les capes més baixes del "solar closet", entrant pels forats inferiors. L'aire fred o menys calent serà escalfat, creant un cicle d'aprofitament de l'energia que incideix sobre el mur.

L'aïllament del solar closet està format per 10-12 cm de llana de roca en les parets. En el terra hi ha 6 cm de poliestirè i en el sostre 30 cm de formigó i

1 m de terra del jardí, que es troba just a sobre. Les reixes d'impulsió estan aïllades amb 5 cm d'elastòmer (Armaflex), així com totes les canonades que entren i surten d'aquest espai.

A les èpoques de més fred, quan la calefacció és més necessària, la radiació és menys intensa però té un angle d'incidència més favorable. La calor obtinguda serà lleugerament inferior a la que s'obté en altres estacions de l'any en què no interessa un sistema de calefacció. Tot i això, per poc sol que faci, el calor obtingut serà considerable i suficient per les necessitats domèstiques. Es donen radiacions incidents sobre superfície vertical de 560 W/m2 a finals de desembre.

A l'estiu només s'ha d'aturar la recirculació d'aire i tancar les comportes per evitar un escalfament no desitjat. Podem obtenir aire fresc, mitjançant les temperatures més fredes a les nits que actuaran refredant l'aire calent de l'interior del compartiment, invertint la circulació del procés de calefacció. Durant les nits fredes s'han de tancar les comportes, i a les nits càlides s'han d'obrir.

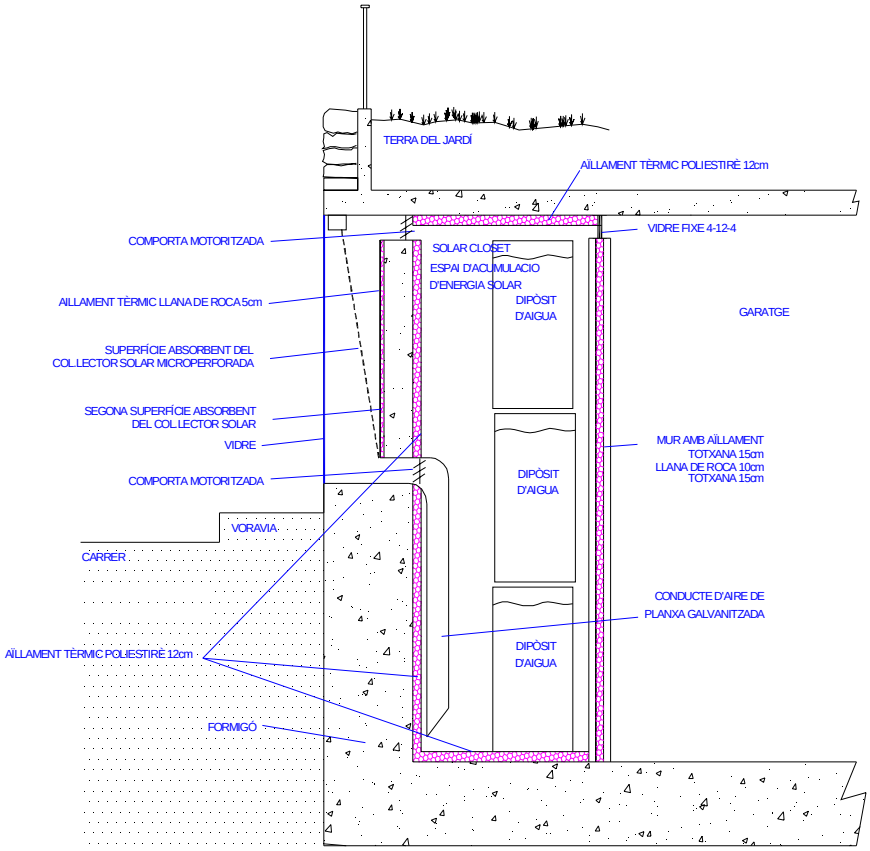


Figura 37. Secció transversal del col·lector d'aire de calefacció i l'espai del Solar Closet.

A les Figura 37, Figura 38 i Figura 39 es pot veure que s'ha introduït aigua en 300 bidons de 25 litres dins de l'espai on s'emmagatzema l'aire calent (el solar closet). Això fa que l'aire calent cedeixi calor a l'aigua dels recipients. Com que el calor específic de l'aigua és molt superior al de l'aire es pot emmagatzemar més energia en el mateix espai, augmentant la capacitat. A més a més, el fet de tenir més inèrcia tèrmica augmenta

l'autonomia del sistema, que segueix cedint calor a la casa encara que el sol no incideixi sobre el mur durant dies. El fet d'escollir bidons de 25 litres és per tenir una bona relació superfície de bescanvi de calor i volum de líquid.

Com a complement actiu del disseny de la calefacció hi ha un sistema de renovació d'aire de tots els locals, amb un sofisticat equip de recuperació de calor rotatiu. L'aire es tractat per introduir-lo en les millors condicions a l'interior de la casa, tant des del punt de vista sanitari com tèrmic. La ventilació és sempre forçada, en tots els espais de la casa, i el recuperador de calor pre-escalfa l'aire nou amb l'aire extret, aprofitant el 80% de l'energia tèrmica d'aquest aire.

Figura 38. dipòsits d'acumulació tèrmica del Solar Closet.

Figura 39. Imatge dels dipòsit d'aigua i dels conductes que comuniquen el solar closet amb els col·lectors solars d'aire de calefacció

5.5.3.2. Recuperador de calor

Independentment del sistema format pels col·lectors d'aire i el solar closet, la casa disposa d'elements que permeten fer les corresponents renovacions d'aire sense haver d'obrir les finestres manualment.

Es disposa d'un sistema d'extracció i ventilació que assegura una qualitat òptima de l'aire en l'interior. Per aquest motiu, un recuperador rotatiu permet pre-escalfar l'aire exterior utilitzant l'aire d'extracció, que esta a la temperatura de confort al provenir de dins de la casa.

El funcionament del recuperador rotatiu s'efectua per termoacumulació a través d'una massa d'alumini, permetent la recuperació total del calor (sensible i latent). Aquests recuperadors tenen la característica de ser els més eficients (al voltant d'un 80%), encara que han de tenir regulació electrònica que varïi el nombre de revolucions del rotor.

5.6 *Disseny del sistema de producció d'ACS*

A la Figura 40 es pot veure el diagrama d'enginyeria de la instal·lació de captadors solars. El muntatge disposa de cinc captadors plans integrats a la façana Sud de la casa i connectats en paral·lel. La radiació solar incideix sobre els captadors augmentant la temperatura del fluid que circula pel seu interior. Aquest primer circuit tancat està dotat dels següents elements:

Vas d'expansió: Amb una capacitat de 50 litres absorbeix la dilatació produïda en el fluid circulant a l'incrementar la seva temperatura.

Dipòsit d'ompliment: És necessari ja que proporciona un sistema de buidat del circuit primari que s'utilitza en operacions de manteniment.

Bomba circuladora.

Dipòsit d'emmagatzematge: Per emmagatzemar l'aigua escalfada mitjançant la instal·lació solar s'ha instal·lat un dipòsit acumulador d'energia solar i un segon dipòsit elèctric, en sèrie amb el primer, per acabar d'escalfar quan el sòl no és suficient. L'aigua potable de xarxa passa primerament pel dipòsit solar i a continuació pel dipòsit elèctric de recolzament.

El fluid que prové dels captadors passa a través de la camisa del primer dipòsit que fa la funció de bescanviador de calor, cedint calor a l'aigua que prové de xarxa. Si la temperatura que hi ha els dipòsits no fos prou elevada per satisfer les necessitats, la resistència elèctrica que hi ha al segon dipòsit l'acaba d'escalfar.

Quan hi ha una demanda d'aigua calenta en algun punt de la casa l'aigua del segon dipòsit és impulsada fins al punt de consum. A més a més, el control de la casa dóna prioritat a la utilització d'energia elèctrica durant la nit, utilitzant tarifa nocturna, meitat de preu de la tarifa normal.

Per disminuir les pèrdues tèrmiques dels dipòsits, s'han instal·lat dins de l'espai d'acumulació tèrmica del col·lector solar d'aire (el solar closet). Com que aquest espai està més calent que la temperatura del garatge, el salt tèrmic entre l'aigua emmagatzemada i l'ambient és menor, minimitzant-se

les pèrdues a l'exterior. A més la calor perduda dels dipòsits serà aprofitada per l'aire del solar closet que es recircula posteriorment per la casa.

Recentment s'han realitzat instal·lat els següents equips:

comptador d'energia captada pels col·lectors de producció d'aigua calenta sanitària,

bomba de recirculació d'aigua entre els dos tancs per homogeneïtzar l'aigua en els moments de molt sol,

diverses sondes de temperatura en els tancs d'aigua calenta, i

comptador de consum d'aigua calenta sanitària.

Tots aquests equips estan connectats a l'ordinador de control de la casa, per tal d'analitzar i optimitzar el seu funcionament.

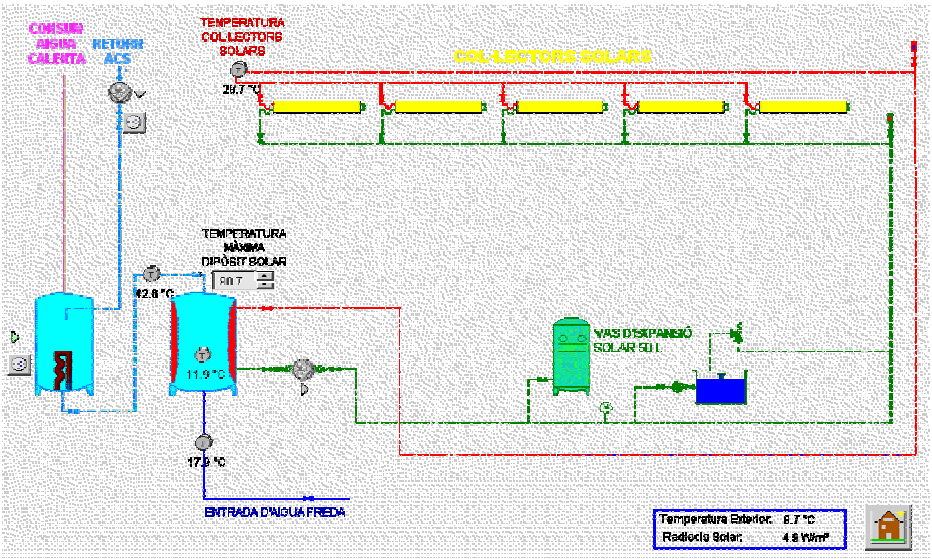


Figura 40. Diagrama d'enginyeria de la instal·lació de captadors solars de producció d'aigua calenta.

5.6.1. Descripció del procés de càlcul del sistema solar d'ACS

Per tal de dissenyar el sistema de producció d'ACS s'ha tingut en compte la radiació incident i la projecció de les ombres de les muntanyes i edificis veïns sobre la casa, establint per cada dia de l'any l'hora de sortida i posta de sol. Es posa sobre plànol (figura 41) el perfil de l'horitzó (Figura 42).

El càlcul s'ha fet en base al Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en Edificis (RITE), per a un consum de 230 l/dia. Concretament s'ha simulat un consum de 150 l a les 8:00 h i consums de 40 l a les 14:00 h i a les 22:00 h. S'ha tingut en compte dades de radiació incident i temperatura exterior d'un any estàndard, realitzant la simulació hora a hora durant tot un any i utilitzant una temperatura de consum de 45ºC per fer els càlculs.

El resultat és que el col·lector tindrà un rendiment mig del 34% durant tot aquest període, proporcionant una cobertura solar del 80% de la demanda energètica per a la producció d'ACS amb energia solar. El 20% restant s'obtindrà consumint energia elèctrica amb tarifa nocturna.

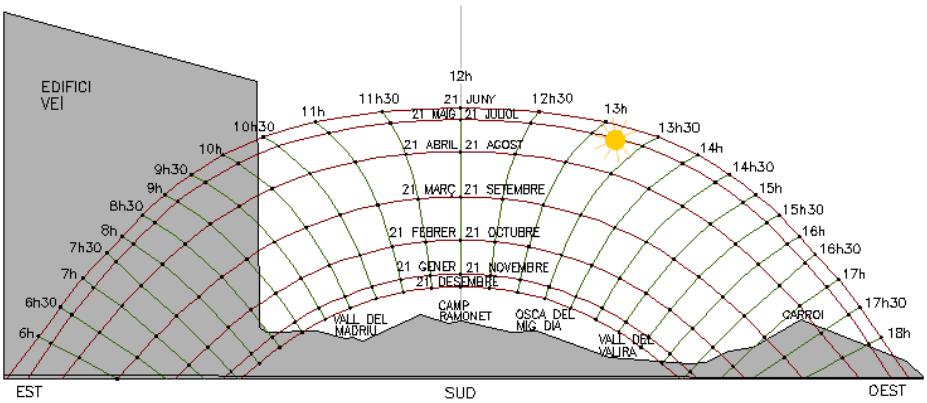


Figura 41. Estudi de les hores de sortida i posta de sol tenint en compte les muntanyes i ombres projectades sobre la casa.

Figura 42. Vista del perfil de l'horitzó de les muntanyes

5.7 *Altres mesures de sostenibilitat*

5.7.1. Aigua de reg

Una cisterna d'aigua soterrada acumula l'aigua de pluja tot l'any, recollida a la teulada. Aquest dipòsit, fet de formigó, està situat al soterrani i té un volum de 35.000 litres, que és el volum d'aigua recollit per la superfície de teulada durant un any amb pluviometria estàndard.

Aquesta aigua s'utilitza per les aplicacions que no requereixen aigua potable, com el rec del jardí i les cisternes dels WC dels banys.

En principi el dipòsit és suficientment gran com per que no es gasti aigua de xarxa, tot i que els anys 2005 i 2006 en que hi havia sequera ha fet que en certs moments de l'any no es disposi de suficient aigua emmagatzemada i s'hagi d'utilitzar la de xarxa.

5.7.2. Reciclatge dels materials utilitzats en la construcció

La casa s'ha dissenyat i construït de manera que els materials utilitzats per a la seva construcció siguin reciclables el dia de demà quan s'enderroqui. Concretament es pot reciclar en més del 95% del seu pes, el que reduirà el impacte futur sobre el medi ambient. La forma com s'ha construït, permetrà també una "desconstrucció" que facilitarà la separació de materials pel seu tractament futur.

Bàsicament es tracta d'una estructura amb forjats i murs de càrrega de formigó armat, amb la major part de les instal·lacions (tubs d'aigua de coure, cables elèctrics de coure, desguassos de PVC i conductes d'aire de planxa galvanitzada) posades per la cara exterior del mur de formigó, es a dir en l'espai on hi ha l'aïllament. Finalment l'exterior s'ha recobert amb pedra del país.

Pràcticament no hi ha instal·lacions embegudes dins del formigó, el que facilitarà la seva separació.

D'aquests materials bàsics utilitzats són tots potencialment reciclables, excepte la petita part que quedi embeguda en formigó.

5.8 *Simulació tèrmica anual de l'edifici*

5.8.1. Introducció

S'entén per càrrega tèrmica d'un local la potència de refrigeració o calefacció que requereix la instal·lació, en un determinat moment, per mantenir unes condicions tèrmiques donades.

En condicions normals, per dimensionar els equips de climatització s'ha d'estimar la màxima càrrega tèrmica de la instal·lació, però aquesta pot ser difícil de determinar. La majoria d'instal·lacions tenen el moment de màxima càrrega sobre les 15 hores solars del 31 de juliol per refrigeració i sobre les 7 hores solars del mes de gener per calefacció (hemisferi nord).

En el cas que ens ocupa no s'ha fet així sinó que s'ha fet una simulació tèrmica hora per hora de tot un any de l'edifici, amb dades reals de temperatura i radiació solar del lloc on s'ha construït.

5.8.2. Descripció de la simulació tèrmica

La simulació consta d'un balanç tèrmic de l'edifici que té en compte:

Els guanys d'energia passius deguts al sol incident sobre cadascuna les finestres.

Els guanys d'energia solar deguts als col·lectors d'aire de calefacció.

Els guanys degut a enllumenat, aparells i ocupació de persones.

Les pèrdues per conducció a través dels tancaments.

Les pèrdues per ventilació.

L'acumulació de calor a l'interior de l'edifici degut a la inèrcia tèrmica dels materials de construcció utilitzats.

Anant fent simulacions s'ha arribat a optimitzar el tamany de les finestres, el tipus de vidre, el tipus i gruix d'aïllament tèrmic a instal·lar a teulada, murs i al forjat de sobre el garatge. És evident que al fer dues simulacions diferents d'un mateix element amb característiques lleugerament diferents, es tenen en compte també la resta de paràmetres i això fa que per tenir la simulació definitiva d'un dels paràmetres, cal fer varies vegades cada simulació ja que canvien alguns de la resta de paràmetres. Per exemple quan s'optimitza el tamany de les finestres, s'ha fet amb un tipus i gruix d'aïllament dels murs exteriors. Una vegada tenim el tamany de les finestres optimitzats i passem a optimitzar l'aïllament dels murs, si aquest surt diferent del que teníem al optimitzar les finestres, caldrà refer la simulació d'aquestes amb el nou aïllament dels murs. Així per aproximacions successives s'arriba a optimitzar tots els elements que influeixen en el balanç tèrmic de l'edifici.

Com a resultat de la simulació es té tant el consum anual com la potència màxima de calefacció, que serveix per dimensionar els equips de recolzament al sistema solar.

El resultat de la simulació es pot veure en la Figura 43 on s'observen l'origen de les energies necessàries de calefacció de l'edifici.

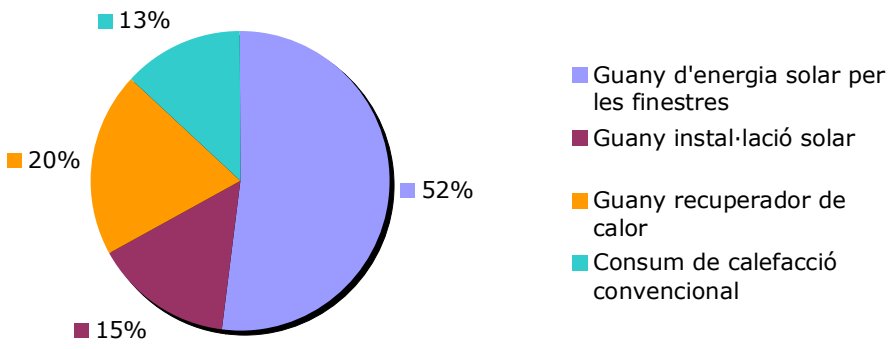


Figura 43. Origen de l'energia necessària per la calefacció de l'edifici

5.8.3. Càlcul dels guanys solars

Els guanys solars per cada finestra es calculen amb l'angle d'incidència solar sobre dita finestra (que varia cada hora de cada dia de l'any), el factor solar del vidre, les ombres de les muntanyes i de persianes i toldos, per tal d'eliminar les hores de sol que no incideixen sobre l'edifici.

Les dades climatològiques disponibles són la quantitat d'energia solar global diària rebuda sobre superfície horitzontal.

El procés de calcular la radiació horària incident sobre cada finestra cada hora de l'any es complex, i cal seguir els següents passos:

càlcul de la declinació solar del dia concret, que és l'angle que formen el pla de l'equador i el pla de l'orbita que descriu la terra al voltant del sol.

declinació= sinus((284+dia de l'any)/365*360)) **Eq 1**

- càlcul de l'angle de sortida i posta de sol a l'horitzó

angle sortida i posta de sol =acos(-tan(declinació solar)*tan(Latitud)) **Eq 2**

l'altura solar, de cada hora del dia, que és l'angle de la vertical del sol amb l'horitzó a dita hora

altura solar = ($\sin^{-1}$(sin(declinació solar) * sin (Latitud) + cos (Latitud) * cos (declinació solar) * cos ((12-hora solar) * 0,2618))) **Eq 3**

l'azimut solar, que és l'angle que forma el sol amb el sud. Varia cada hora.

azimut solar = $\sin^{-1}$(sin((12-hora solar*0,2618)*cos(altura solar)/cos(altura solar)) **Eq 4**

radiació extraterrestre, és la que es rep fora de l'atmosfera cada hora de cada dia de l'any.

radiació extraterrestre = 24*3,6/π*1353*(1+0,033*cos(360*numero de dia de l'any/365))*(cos(Latitud)*cos(declinació solar)*sin(angle de sortida de sol)+2*π/360* angle de sortida de sol *sin(Latitud)*sin(declinació solar)) **Eq 5**

constant de nuvolositat, que és el quocient entre la radiació solar extraterrestre i al radiació real del dia concret mesurada a l'estació meteorològica.

- radiació global horària sobre superfície horitzontal

radiació global horària sobre superfície horitzontal=π/(24*(a+b*cos((12-hora solar)*0,2618)))*(cos((12-hora solar)*0,2618)-cos(angle de sortida de sol))/(sin(angle de sortida de sol)- angle de sortida de sol *cos(angle de sortida de sol))*radiació mitjana diària) **Eq 6**

on a = 0,409+0,5016*sin(angle de sortida del sol-60) **Eq 7**

i b = 0,6609-0,4767*sin(angle de sortida del sol -60) **Eq 8**

Amb tots aquests paràmetres, es pot desglossar la radiació GLOBAL DIÀRIA sobre superfície horitzontal, que dóna l'estació meteorològica en:

- radiació HORÀRIA DIRECTA sobre superfície inclinada
- radiació HORARIA DIFUSA sobre superfície inclinada
- radiació HORARIA REFLEXADA sobre superfície inclinada

i la suma de les 3, radiació HORARIA GLOBAL sobre superfície inclinada

- la radiació DIFUSA DIÀRIA es calcula amb la següent equació:

radiació difusa diària = radiació mitjana diària global*(1,39-4,027*constant de nuvolositat+5,511* constant de nuvolositat ^{2} - 3,108* constant de nuvolositat ^{3}) Eq 9

- Aquest paràmetre s'utilitza per calcular la radiació DIFUSA HORÀRIA, per cada hora:

Radiació diària difusa* π /24*((cos(altura solar)-cos(angle de sortida de sol))/(sin(angle de sortida de sol)-2*π*angle de sortida de sol /360*cos(angle de sortida de sol)))) Eq 10

- Després es calcula la radiació DIRECTA HORÀRIA sobre superfície horitzontal, com a diferència entre la global i la difusa de cada hora concreta.

- A continuació es calcula el factor de conversió de radiació directa horitzontal a inclinada, amb la següent fórmula:

factor de conversió = (sin(declinació solar)*sin(Latitud)* cos(Inclinació_col·lector_solar)- sin(declinació solar)* cos(Latitud)* sin(Inclinació_col·lector_solar)* cos(azimut_col·lector) +cos(declinació solar)* cos(Latitud)* cos(Inclinació_col·lector_solar)* cos(altura solar) + cos(declinació solar)* sin(Latitud)* sin(Inclinació_col·lector_solar)* cos(azimut col·lector)* cos(altura solar) +cos(declinació solar)* sin(Inclinació_col·lector_solar)* sin(azimut_col·lector)* sin(altura solar)) / (sin(declinació solar)* sin(Latitud)+ cos(declinació solar)* cos(Latitud)* cos(altura solar))) Eq 11

- Finalment es calcula la radiació GLOBAL inclinada HORÀRIA sobre superfície inclinada, que és la que utilitzarem als càlculs de la casa:

radiació GLOBAL inclinada HORÀRIA = (factor de conversió horària de radiació directa horitzontal a inclinada* radiació directa horitzontal horària+ (1+cos(Inclinació_col·lector_solar))* radiació difusa horària/2+reflexió_del_terreny*(1-cos(Inclinació_col·lector_solar))*radiació horària horitzontal global/2)/3,6)) Eq 12

Les equacions Eq1 fins a Eq12 provenen de [10] A. Mitjà, E. Batallla, Manual de Radiacion Solar. Tablas para Catalunya. Volumen I. UPC, Instituto de Técnicas Energéticas - ETSEIB

5.8.4. Optimització del tamany de finestres

Partint d'un disseny de l'edifici, primerament s'han optimitzat el tamany de les finestres de la cara sud, i de la resta de façanes, fent la simulació amb diferents superfícies de finestra fins escollir l'òptima. Cal tenir present que al augmentar aquesta superfície a la façana sud, augmenten els guanys

solars però també augmenten les pèrdues tèrmiques ja que la finestra té un coeficient tèrmic pitjor que la part de mur exterior que hem disminuït. Això fa que els balanç d'energia augmenti al augmentar la superfície de finestra fins arribar a un màxim a partir del qual el balanç és negatiu. Aquest és el tamany òptim que s'ha escollit.

Per fer la simulació s'han tingut en compte que hi ha persianes motoritzades, manades pel control domòtic de la casa, amb uns horaris d'obertura i tancament establerts i a més amb un control de la seva posició en funció de l'energia solar incident sobre la finestra, i de la temperatura interior. Si es necessita calor i fa sol, la persiana puja uns centímetres cada 10 minuts. Si s'està excedint de la temperatura de consigna màxima i segueix havent sol, la persiana baixa uns centímetres cada 10 minuts fins que la temperatura torna a la de consigna. Aquesta posició de la persiana, no només té incidència amb el guany solar, que és proporcional a la part de finestra que està solejada, sinó que a més, quan la persiana està baixada completament, el coeficient tèrmic de la finestra disminueix, ja que a més del vidre, hi ha la cambra d'aire entre vidre i persiana i l'aïllament d'escuma de poliuretà de 0,5 cm que té a l'interior de les lames. El conjunt de finestra (vidre + alumini) té un coeficient tèrmic de 1.74 W/m^2.ºC que amb la persiana baixada passa a 0,85 W/m^2.ºC, aproximadament la meitat. Això s'utilitza per disminuir les pèrdues nocturnes ja que es baixen sempre automàticament totes les persianes de la casa a partir d'una hora establerta en l'equip domòtic.

5.8.5. Optimització del tipus de vidre

El tipus de vidre utilitzat té una influència enorme dins el comportament tèrmic de l'edifici. És evident que cal utilitzar vidre amb cambra en climes freds, però n'hi ha de molts tipus diferents, amb coeficients tèrmics que varien de 4,50 W/m^2.ºC fins a 1,10 W/m^{2}ºC, tractant-se de vidres dobles, i amb o sense tractaments protectors del sol.

Els que han donat millor resultat són els del coeficient 1,1 W/m^2.ºC i sense cap mena de protecció solar, que són vidres de baixa emissivitat amb cambra de gas argó de 12 mm.

El coeficient global del vidre + fusteria l'alumini és de 1,74 W/m^2.ºC .

5.8.6. Optimització de l'aïllament de la teulada

Al tractar-se d'una vivenda unifamiliar aïllada, la relació entre les superfícies de façanes i teulada /superfície de l'habitatge, és molt més elevada que en un edifici d'apartaments, fa que una petita variació en el gruix de l'aïllament tingui una gran repercussió en el comportament tèrmic, i per tant cal optimitzar-los molt bé.

Després de la simulació s'ha arribat a la composició de la teulada següent, de l'exterior cap a l'interior:

llosa de pissarra d'1cm,

llata de fusta de 2 cm,

aïllament de manta de llana de roca volcànica 20 cm,

llosa de formigó armat de 25 cm, i

enguixat projectat dens 1.5 cm.

Això dóna un coeficient tèrmic de 0,15 W/m^{2}ºC, extremadament baix gràcies al gruix d'aïllament tèrmic.

Entre l'aïllament i el forjat de formigó s'ha posat una làmina de polietilè per que faci els funcions de paravapor, evitant les condensacions dins de l'aïllament tèrmic.

5.8.7. Optimització del mur exterior

Després de la simulació tèrmica, el mur exterior ha quedat amb la següent composició, de l'interior cap a l'exterior:

enguixat projectat 1,5 cm,

murs de càrrega de formigó armat de 20 cm,

aïllament tèrmic de poliestirè extruït de 15 cm, i

pedra del país de 20 cm (obligatòria per normes de construcció a la zona de la casa).

Aquí també s'ha deixat una làmina paravapor entre el mur de formigó i l'aïllament tèrmic.

El coeficient tèrmic assolit és de 0,21 W/m^{2}ºC. Difícilment es podia millorar amb el sistema constructiu emprat, sobretot per la obligatorietat de fer l'acabat exterior amb pedra natural, a l'estil de les antigues construccions de la zona sense un preu desorbitat, pel fet d'haver de sostenir la pedra irregular en una façana de 6 m d'altura.

5.8.8. Optimització del forjat del garatge

El forjat del garatge separa aquest, que no té calefacció, de la planta baixa de l'habitatge. No és gens habitual aïllar aquest tancament ja que no dóna directament a l'exterior, però el que s'ha posat de manifest a la simulació tèrmica és que si no s'aïlla les pèrdues són importants. L'aïllament escollit és de placa d'escuma de poliuretà de 6 cm de gruix amb acabat de paper d'alumini, i posat per la part inferior del forjat.

El coeficient tèrmic d'aquest forjat és de 0,38 W/m^{2}ºC.

5.8.9. Optimització de la inèrcia tèrmica de l'edifici

La simulació tèrmica ha posar de manifest la necessitat d'augmentar la inèrcia tèrmica que en un principi estava prevista.

A la inversa del que es fa habitualment, el mur de formigó s'ha deixat a la cara interior de l'aïllament i no a la exterior, tant als murs com a la teulada. Aquest augment de la inèrcia tèrmica de l'edifici fa que la temperatura interior evolucioni d'una forma més suau els dies que hi ha molt sol, permet absorbir els guanys solars dins els materials de construcció per tornar-los quan ja no hi hagi sol, enlloc de deixar que tota aquesta energia l'absorbeixi l'aire interior que faria que aquests es posi a temperatures molt més elevades que de les de confort.

Per tant s'ha deixat tot el formigó a "l'interior" de la vivenda (a la cara interior de l'aïllament tèrmic) a més d'utilitzar acabats interiors que permetin aquesta absorció de calor. Són terres durs, tipus marbre i gres i

les parets amb guix projectat sobre el formigó, fugint del cartró gruix, de parquets i moquetes, que crearien un efecte contrari per la seva baixa inèrcia tèrmica.

5.8.10. Càrregues de calefacció

5.8.10.1. Dades prèvies

Per estimar la potència tèrmica màxima per calefacció, les necessitats no es realitzen a una hora determinada, sinó que s'ha de considerar la pitjor situació, temperatura mínima i pràcticament constant durant tot el dia, radiació solar nul·la, mínima presència de persones, llums i motors, etc.

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de gran canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Taula 3. Zones climàtiques

5.8.10.2. Determinació de la zona climàtica

Segons el Codi Tècnic de l'Edificació espanyol (2006), per la limitació de la demanda energètica s'estableixen 12 zones climàtiques identificades mitjançant una lletra, corresponent a la divisió d'hivern, i un número corresponent a la divisió d'estiu.

En funció de la diferència d'altura que existeixi entre la localitat i l'altura de referència de la capital de província, per aquest projecte s'ha seleccionat com a capital de província Lleida per la seva proximitat a Engordany.
- Alçada Engordany: 1260 m
- Alçada Lleida: 131 m
- Diferència: 1129 m

Per aquestes diferencies d'alçades, l'Engordany es pot englobar en la zona E1. Els valors límits dels paràmetres per aquesta zona es poden veure a la

Taula 4.

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	**U_{Mlim}: 0,57 W/m^2 K**
Transmitancia límite de suelos	**U_{Slim}: 0,48 W/m^2 K**
Transmitancia límite de cubiertas	**U_{Clim}: 0,35 W/m^2 K**
Factor solar modificado límite de lucernarios	**F_{Llim}: 0,36**

	Transmitancia límite de huecos(1) U_{Hlim} W/m^{2}K				**Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}**					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	**N**	E/O	**S**	**SE/SO**	E/O	**S**	**SE/SO**	E/O	**S**	**SE/SO**
de 0 a 10	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,6 (2,9)	3,0 (3,1)	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,2 (2,4)	2,7 (2,8)	3,1	3,1	-	-	-	0,54	-	0,56
de 41 a 50	2,0 (2,2)	2,4 (2,6)	3,1	3,1	-	-	-	0,45	0,60	0,49
de 51 a 60	1,9 (2,0)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	-	-	-	0,40	0,54	0,43

Taula 4. Valors límits dels paràmetres característics de la zona E1

5.8.10.3. Coeficient de transmissió dels tancaments de la casa

Per a un mur multicapa, es calcula amb l'expressió:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hc_i} + \sum_{capes} \frac{L_i}{\lambda_i} + \frac{1}{hc_e}} = \frac{1}{\sum_{capes} Rt_i} \qquad \textbf{Eq 13}$$

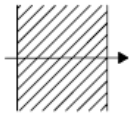
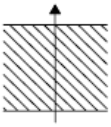
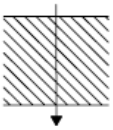
on: L_i és l'espessor de la capa i de material [m],
λ_i és la conductivitat tèrmica de la capa *i* [W/m·ºC],
hc_i és el coeficient de convecció interior [W/m^2·ºC],
hc_e és el coeficient de convecció exterior [W/m^2·ºC], i
Rt_i és la resistència tèrmica de cada capa [m^2·ºC/W].

Font de l'equació Eq13 CTE DB-HE: Ahorro de energia

La

Taula 5 mostra els valors de les resistències tèrmiques de convecció (inversa del coeficient de convecció) dels tancaments amb contacte amb el aire exterior i interior que es troben en el DBHE del CTE.

A l'estiu s'han de comptar els sostres com tancament horitzontals de flux de calor descendent, i al hivern en calefacció, com flux de calor ascendent. En tancaments com terres, només es considera el coeficient de convecció interior.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

Taula 5. Resistències tèrmiques [m²·ºC/W]

Quan es considerin totxos buits, perforats o massissos, es fan servir els valors que es mostren en la Taula 6.

ESPESOR EN cm.	HUECO	PERFORADO	MACIZO
4,0	0,09 (0,07)	0,06 (0,05)	0,05 (0,04)
5,3	0,13 (0,11)	0,08 (0,07)	0,07 (0,06)
6,5	0,15 (0,13)	0,10 (0,09)	0,09 (0,07)
9,0	0,21 (0,18)	0,14 (0,12)	0,12 (0,10)
11,5	0,27 (0,23)	0,18 (0,15)	0,15 (0,13)
14,0	0,33 (0,28)	0,21 (0,18)	0,19 (0,16)
19,0	0,45 (0,39)	0,29 (0,25)	0,25 (0,22)
24,0	0,57 (0,49)	0,37 (0,32)	0,32 (0,27)
29,0	0,69 (0,59)	0,45 (0,39)	0,39 (0,34)
36,0	0,86 (0,74)	0,55 (0,47)	0,48 (0,41)
44,0	1,04 (0,89)	0,68 (0,58)	0,59 (0,50)
49,0	1,17 (1,00)	0,75 (0,65)	0,65 (0,60)

Taula 6. Resistències tèrmiques per totxos [h·m²·ºC/kCal (m²·ºC/W)].

En el cas de finestres, el coeficient global de transmissió d'escalfor s'obté de la Taula 7 i pel cas de portes es fa servir la Taula 8.

Tipo de acristalamiento	Esp. cámara aire en mm.	Tipo de marco	Vertical >60° con / sin persianas con / sin cortinas	Horizontal <60°
Sencillo		Madera	3,4 (4,0) 4,3 (5,0)	4,7 (5,5)
(cualquier espesor)		Metálica	3,9 (4,5) 5,0 (5,8)	5,6 (6,5)
Doble	6	Madera	2,4 (2,8) 2,8 (3,3)	3,0 (3,5)
	6	Metálica	2,8 (3,3) 3,4 (4,0)	3,7 (4,3)
	8	Madera	2,3 (2,7) 2,7 (3,1)	2,8 (3,3)
	8	Metálica	2,8 (3,3) 3,3 (3,9)	3,6 (4,2)
	12	Madera	2,1 (2,5) 2,5 (2,9)	2,7 (3,1)
	12	Metálica	2,7 (3,1) 3,2 (3,7)	3,4 (4,0)
Doble ventana >30		Madera	2,0 (2,3) 2,2 (2,6)	2,3 (2,7)
Hormigón translúcido			2,6 (3,0) 3,0 (3,5)	3,2 (3,7)

Taula 7. Coeficient de transmissió tèrmica en vidres U [kcal/h·m^2·ºC (W/m^2·ºC)].

Separación con :			
TIPO DE PUERTA		**EXTERIOR**	**LOCAL NO ACOND.**
Madera	Opaca	3,0 (3,5)	1,7 (2,0)
	Cristal simple < 30%	3,4 (4,0)	
	Cristal simple 30-60%	3,9 (4,5)	
	Cristal doble	2,8 (3,3)	
Metálica	Opaca	5,0 (5,8)	3,9 (4,5)
	Cristal simple	5,0 (5,8)	
	Cristal doble < 30%	4,7 (5,5)	
	Cristal doble 30-70%	4,1 (4,8)	
Vidrio sin carpintería		5,0 (5,8)	3,9 (4,5)

Taula 8. Coeficient de transmissió tèrmica en portes U [kcal/h·m^2·ºC (W/m^2·ºC)].

A les taules recollides a continuació es recullen les característiques tèrmiques dels materials utilitzats en construcció. La Taula 9 els paràmetres relatius als materials d'acabats de terra i parets, la Taula 10 dels materials propis de construcció de murs i forjats, la Taula 11 dels aïllaments, mentre que a la Taula 12 es recullen les conductivitats i factors solars de diferents tipus de vidres.

MATERIAL	DENSIDAD kg/m³	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA kcal/h m°C (W/m°C)	CALOR ESPECÍFICO J/kg°C
ROCAS Y SUELTOS NATURALES			
Rocas compactas	2500-3000	3,00 (3,50)	820
Rocas porosas	1700-2500	2,00 (2,33)	710
Arena con humedad natural	1700	1,20 (1,40)	
Suelo coherente humedad natural	1800	1,80 (2,10)	
Arcilla	2100	0,80 (0,93)	880
Arena	1500	0,50 (0,58)	
Grava rodada	1700	0,70 (0,81)	
Escoria de carbón	1200	0,16 (0,19)	
Cascote de ladrillo	1300	0,35 (0,41)	
PASTAS MORTEROS Y HORMIGONES. Revestimientos continuos.			
Mortero de cal y bastardos	1600	0,75 (0,87)	
Mortero de cemento	2000	1,20 (1,40)	1050
Enlucido de yeso	800	0,26 (0,30)	920
Enlucido de yeso con perlita	570	0,16 (0,18)	
Hormigones normales y ligeros			
Hormigón armado (normal)	2400	1,40 (1,63)	1050
Hormigón con áridos ligeros	600	0,15 (0,17)	
	1000	0,28 (0,33)	
	1400	0,47 (0,55)	
Hormigón celular con áridos silíceos	600	0,29 (0,34)	
	1000	0,58 (0,67)	
	1400	0,94 (1,09)	
Hormigón celular sin áridos	305	0,08 (0,09)	
Hormigón en masa con grava normal			
. con áridos ligeros	1600	0,63 (0,73)	
. con áridos ordinarios sin vibrar	2000	1,00 (1,16)	
. con áridos ordinarios vibrados	2400	1,40 (1,63)	
Hormigón en masa con arcilla expandida	500	0,10 (0,12)	
	1500	0,47 (0,55)	
Fábrica de bloques de hormigón incluidas juntas			
. con ladrillo silicocalcáreo macizo	1600	0,68 (0,79)	
. " " " perforado	2500	0,48 (0,56)	
. con bloques huecos de hormigón	1000	0,38 (0,44)	
.	1200	0,42 (0,49)	
.	1400	0,48 (0,56)	1050

Taula 9. conductivitat tèrmica, densitat i calor específic dels materials d'acabats més corrents utilitzats en la construcció

. con horm. celular curado al vapor	600	0,30 (0,35)	
.	800	0,35 (0,41)	
.	1000	0,40 (0,47)	
. con horm. celular curado al aire	800	0,38 (0,44)	
.	1000	0,48 (0,56)	
.	1200	0,60 (0,70)	
PLACAS O PANELES			
Cartón yeso	900	0,16 (0,18)	920
Hormigón con fibra de madera	450	0,07 (0,08)	
Placas de escayola	800	0,26 (0,30)	
LADRILLOS macizo	1800	0,75 (0,87)	1380
" perforado	1600	0,65 (0,76)	1135
" hueco	1200	0,42 (0,49)	920
MADERA			
Maderas frondosas	800	0,18 (0,21)	2720
Maderas de coníferas	600	0,12 (0,14)	2810
Contrachapado	600	0,12 (0,14)	
Tablero aglomerado de partículas	650	0,07 (0,08)	
PLASTICOS Y REVESTIMIENTOS DE SUELOS			
Linóleo	1200	0,16 (0,19)	
Moquetas y alfombras	1000	0,04 (0,05)	
MATERIALES BITUMINOSOS			
Asfalto	2100	0,60 (0,70)	
Betún	1050	0,15 (0,17)	
Láminas bituminosas	1100	0,16 (0,19)	
METALES			
Fundición y acero	7850	50 (58)	460
Cobre	8900	330 (384)	383
Bronce	8500	55 (64)	343
Aluminio	2700	175 (204)	896

Taula 10. conductivitat tèrmica, densitat i calor específic dels materials més corrents utilitzats en la construcció

AÏLLAMENTS	conductivitat U	calor especific	densitat	calor acumulat ce x densitat	difusivitat tèrmica U/(ce x densitat)
aïllant ARMAFLEX AF	0,04 W/m.ºC	1.380 J/Kg.ºC	60 Kg/m^3	83 kJ/m^3.ºC	0,00000043
aïllant ESCUMA DE POLIURETÀ	0,03 W/m.ºC	1.260 J/Kg.ºC	30 Kg/m^3	38 kJ/m^3.ºC	0,00000069
aïllant LLANA DE ROCA ALTA DENSITAT	0,04 W/m.ºC	1.000 J/Kg.ºC	130 Kg/m^3	130 kJ/m^3.ºC	0,00000028
aïllant MANTA DE LLANA DE ROCA	0,04 W/m.ºC	1.000 J/Kg.ºC	50 Kg/m^3	50 kJ/m^3.ºC	0,00000078
aïllant MANTA FIBRA DE VIDRE (12kg/m3)	0,04 W/m.ºC	833 J/Kg.ºC	12 Kg/m^3	10 kJ/m^3.ºC	0,000004
aïllant MANTA FIBRA DE VIDRE (200kg/m3)	0,04 W/m.ºC	670 J/Kg.ºC	200 Kg/m^3	134 kJ/m^3.ºC	0,0000003
aïllant POLIESTIRÉ EXPANDIT	0,03 W/m.ºC	1.674 J/Kg.ºC	25 Kg/m^3	42 kJ/m^3.ºC	0,00000083

Taula 11. conductivitat tèrmica, densitat i calor específic dels aïllaments més corrents utilitzats en la construcció

VIDRE AMB CAMBRA D'AIRE	Tipus de vidre	conductivitat U	Factor solar
	vidre climalit PLANILUX 4+6+4	3,37 W/m2.ºC	0,76
	vidre climalit PLANILUX 6+8+6	3,26 W/m2.ºC	0,72
	vidre climalit PLANILUX 8+12+8	3,02 W/m2.ºC	0,68
	vidre climalit PLANITERM 4+6+4	2,56 W/m2.ºC	0,66
	vidre climalit PLANITERM 6+12+6	1,74 W/m2.ºC	0,62
	vidre climalit PLANITERM 6+8+6	2,21 W/m2.ºC	0,62
VIDRE AMB CAMBRA D'AIRE I LAMINATS			
	vidre climalit PLANITERM i STADIP 4+12+4-6	1,74 W/m2.ºC	0,60
	vidre climalit PLANITERM i STADIP 6+12+6-6	1,74 W/m2.ºC	0,57
PERSIANA			
	PERSIANA AÏLLADA AMB POLIURETÀ, inclosa cambra d'aire	1,66 W/m2.ºC	
	PERSIANA SENSE AÏLLAR inclosa cambra d'aire	3,15 W/m2.ºC	
VIDRE SENZILL			
	vidre SENZILL	5,70 W/m2.ºC	0,85

Taula 12. conductivitat tèrmica i factor solar de diferents tipus de vidre

De la Taula 13 fins a la Taula 18 es recullen els coeficients tèrmics de cadascun dels diferents tancaments reals de la casa.

PARET EXTERIOR					
COMPOSICIÓ	Pedra natural	Morter de ciment	Aïllant (PE expandit)	Formigó	Enlluït guix
GRUIX (m)	0,15	0,05	0,15	0,2	0,015
RESISTÈNCIA R ($m^2 \cdot ºC/W$)	0,55	0,40	0,029	2,3	0,57
R interior ($m^2 \cdot ºC/W$)	0,13				
R exterior ($m^2 \cdot ºC/W$)	0,04				
$U_{paret\ exterior}$ = 0,21 $W/m^2 \cdot ºC$					

Taula 13. Coeficient de transmissió de les parets exteriors

Aquesta composició es pot observar a la Figura 44. Sistema constructiu de l'edifici i materials de construcció utilitzats

Figura 44. Sistema constructiu de l'edifici i materials de construcció utilitzats

TEULADA						
COMPOSICIÓ	Pissarra	Fusta	Aïllant (Llana)	Formigó	Impermeabiltizant	Enlluït guix
GRUIX (m)	0,10	0,02	0,2	0,25	0,05	0,015
RESISTÈNCIA R ($m^2 \cdot ºC/W$)	2,2	0,18	0,031	2,3	0,19	0,57
R interior ($m^2 \cdot ºC/W$)	0,1					
R exterior ($m^2 \cdot ºC/W$)	0,04					
$U_{teulada}$ = 0,15$W/m^2 \cdot ºC$						

Taula 14. Coeficient de transmissió de la teulada

FINESTRES	
COMPOSICIO	Doble vidre amb càmara aire (4-12-6) Marc alumini amb trencament de pont tèrmic
RESISTÈNCIA ($m^2 \cdot ºC/W$)	2,2
Rinterior	0,13
Rexterior	0,04
$U_{finestres}$ = 0,174 $W/m^2 \cdot ºC$	

Taula 15. Coeficient de transmissió de les finestres

SOLERA DE LA PLANTA BAIXA						
COMPOSICIÓ	Pedra Natural	Arena i grava	impermeabilitzant	formigó	morter	Plaqueta ceràmica
GRUIX (m)	1	0,5	0,05	0,3	0,1	0,02
RESISTÈNCIA ($m^2 \cdot ºC/W$)	0,55	2	0,19	2,3	0,4	1,0
R interior ($m^2 \cdot ºC/W$)	0,17					
R exterior ($m^2 \cdot ºC/W$)	0					
U_{solera} = 0,38 $W/m^2 \cdot ºC$						

Taula 16. Coeficient de transmissió de la solera

FORJATS INTERIORS				
COMPOSICIÓ	Enlluït guix	Formigó	Morter de ciment	Màrmol
GRUIX (m)	0,015	0,25	0,1	0,03
RESISTÈNCIA ($m^2 \cdot ºC/W$)	0,57	2,3	0,4	3,5
U_{forjat} = 1,77 $W/m^2 \cdot ºC$				

Taula 17. Coeficient de transmissió dels forjats interiors

PARETS INTERIORS			
COMPOSICIÓ	Enlluït guix	Tabic	Enlluït guix
GRUIX (m)	0,02	0,06	0,02
RESISTÈNCIA ($m^2 \cdot ºC/W$)	0,57	0,228	0,57
$U_{paret\ interior}$ = 1,99 $W/m^2 \cdot ºC$			

Taula 18. Coeficient de transmissió de les parets interiors

Tots aquest coeficients compleixen amb els valors límits que el CTE ens marca en la Taula 19.

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	U_{Mlim}: 0,57 W/m^2 K
Transmitancia límite de suelos	U_{Slim}: 0,48 W/m^2 K
Transmitancia límite de cubiertas	U_{Clim}: 0,35 W/m^2 K
Factor solar modificado límite de lucernarios	F_{Llim}: 0,36

Taula 19. Valors límits dels paràmetres característics de la zona E1

5.8.10.4. Coeficient global del edifici (K_G)

Tot i que ja no es normatiu el càlcul del KG, pertanyent a la NBECT 79, aquí s'ha fet com a exercici de càlcul i tenir una idea del comportament tèrmic de l'edifici segons l'antiga normativa, vigent fins a la meitat de la redacció de la present tesi doctoral, es a dir el mes de març del 2006.

Quan es considera instal·lacions de calefacció, es parla de coeficient global de l'edifici, com a la potencialitat de l'edifici a perdre energia al hivern. Es defineix com la mitja ponderada dels coeficients de transmissió d'escalfor dels elements de separació de l'edifici amb l'entorn, i es determina amb les expressions de NBE-CT 79 establertes en les equacions Eq14 fins Eq17:

Eq 14

$$K_G = \frac{\sum U_E \cdot A_E + 0{,}5\sum U_N \cdot A_N + 0{,}8\sum U_Q \cdot A_Q + 0{,}5\sum U_S \cdot A_S}{\sum A_E + \sum A_N + \sum A_Q + \sum A_S}$$

on: U_E és el coeficient transmissió dels tancaments en contacte amb l'exterior [W/m^2·ºC],
U_N és el coeficient transmissió dels tancaments en contacte amb altres edificis [W/m^2·ºC],
U_Q és el coeficient global de transmissió de calor dels tancaments de sostre [W/m^2·ºC],
U_S és el coeficient transmissió dels tancaments de separació amb el terreny [W/m^2·ºC], i
$A_{E,N,Q,S}$ són les àrees dels tancaments [m^2].

Realitzant els càlculs s'obté per un coeficient global K_G=0,237. La normativa obliga a tots els edificis de nova construcció a limitar el valor màxim de K_G, en funció de la zona climàtica en què es trobi la instal·lació (zona E per al aquest cas).

Aquests valors màxims s'obtenen amb:

$$K_{G,\max} = CZC \cdot \left(3 + \frac{V}{ST}\right)$$ **Eq 15**

on: *ST* és la superfície exterior total de l'edifici:

$$ST = \sum A_E + \sum A_N + \sum A_Q + \sum A_S$$ **Eq 16**

V és el volum de l'edifici [m^3], i

CZC és un coeficient que depèn de la zona climàtica i del tipus d'energia utilitzada en la calefacció (Taula 21).

Segons totes les dades disponibles la $K_{Gmàx}$= 0,566, per tant el valor de K_G obtingut en l'apartat anterior és molt més que correcte ja que és inferior a la meitat del $K_{Gmàx}$.

AREA EXTERIOR (m^2)	
Soterrani	0
Baixa	165
Primera	139,2
Segona	139,2
TOTAL	**443,4**
AREA finestres (m^2)	
Soterrani	0
Baixa	11,35
Primera	11,58
Segona	11,5
TOTAL	**34,43**
SOLERA (m^2)	
Ample	34,3
Llarg	20,67
TOTAL	**354,5**
TEULADA (m^2)	
Ample	4,8
Llarg	15,7
TOTAL	**150,72**

Taula 20. Càlcul de les àrees dels tancaments

	ZONA CLIMÁTICA				
	A	B	C	D	E
Combustibles sólidos, líquidos o gaseosos	0,30 (0,35)	0,23 (0,27)	0,20 (0,23)	0,18 (0,21)	0,17 (0,20)
Sin calefacción o con energía eléctrica	0,30 (0,35)	0,20 (0,23)	0,15 (0,17)	0,13 (0,15)	0,11 (0,13)

Taula 21. Coeficient CZC en [kCal/ h·m2·ºC (W/ m2·ºC)].

5.8.11. Càrrega a través de parets, sostres i terres

Es tracta d'una transmissió d'escalfor a través d'un mur multicapa en estat estacionari segons NBE CT 79:

$$Q_{sen} = A \cdot U \cdot (T_{seq} - T_{sL})$$

Eq 17

on: A és la superfície considerada [m^2],
U és el coeficient global de transmissió de calor [W/m^2·ºC],
T_{seq} és la temperatura seca del recinte adjacent o equivalent exterior [ºC], i
T_{sL} és la temperatura seca interior local (Taula 22) [ºC].

	VERANO				INVIERNO	
	Gran confort		Práctica			
	T ºC	ϕ %	T ºC	ϕ %	T ºC	ϕ %
Confort general	22-24	45-50	24	55	21	35
Tiendas comer.	23-25	45-50	24	55	20	35
Aplicaciones con carga latente elevada	24-26	55-60	25	60	20	40

Taula 22. Condicions interiors. Confort.

La temperatura seca del recinte adjacent o equivalent exterior a considerar depèn del tipus de recinte adjacent:

- *Terreny*

Andorra no es troba reflexada en la distribució de zones de l'estat espanyol (Figura 45. Mapa de la temperatura del terreny en funció de la zona climàtica), però es pot englobar en la zona E, que correspon a una temperatura del terreny de 5ºC.

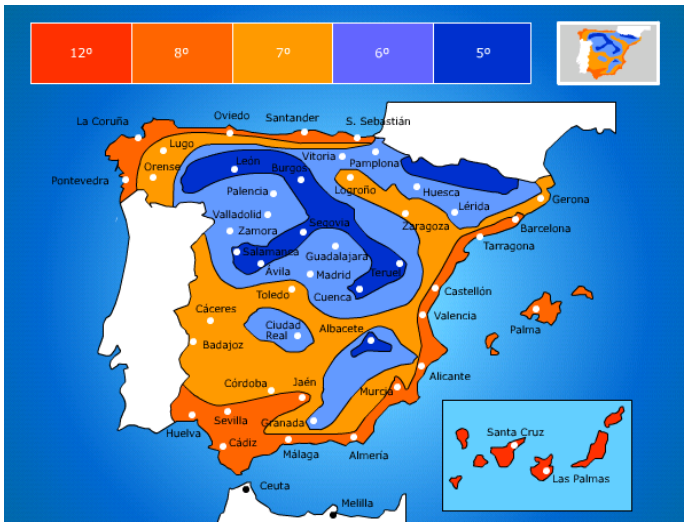


Figura 45. Mapa de la temperatura del terreny en funció de la zona climàtica

- *Local condicionat a una temperatura diferent i constant*
  Es considera aquesta temperatura diferent sempre que durant el període de funcionament de la instal·lació també ho fa l'altre. En cas contrari es suposa el local com no condicionat.

- *Local no condicionat*
  Es considera la temperatura del local com:

$$T_{seq} = \frac{T_{se} + T_{sL}}{2} \qquad \textbf{Eq 18}$$

- *Ambient exterior*
  En instal·lacions de calefacció es suposen aportacions menors de calor a la nostra instal·lació, per tant, es suposa que no hi ha radiació solar sobre murs i un manteniment de la temperatura ambient exterior en una mínima de la zona en estudi.
  Per tant, es considera despreciable la consideració d'inèrcies tèrmiques en les parets.

Localidad	TS (ºC)		GD anuales	Vientos dominantes (año)	
	99%	97.5%		Dir.	m/s
Albacete	-4,7	-3,7	1.673	NO	-
Alicante	2,5	3,6	517	NO	5,9
Barcelona	1,2	2,0	977	N	3,6
Bilbao	-0,7	0,3	1.101	NO	5,7
Burgos	-7,2	-5,6	2.384	NE	4,8
Cáceres	0,5	1,5	1.026	O	3,6
Ciudad Real	-4,7	-3,4	1.477	O	-
Córdoba	-1,2	-0,3	869	SO	5,4
Gerona	-3,6	-2,1	939	S	5
Ibiza	3,9	4,9	468	SO	5,2
Jerez	0,9	2,1	579	O	7,2
La Coruña	3	3,8	930	N	5,2
Las Palmas	12,1	12,7	1	N	6,7
Lérida	-4,6	-3,0	1.226	-	-
Logroño	-1,8	-0,06	1.506	O	4,4
Madrid	-4,2	-3,4	1.555	N	4,4
Mahón	4,7	5,5	558	N	8,0
Málaga	3,4	4,3	487	NO	4,4
Oviedo	-0,5	0,2	1.462	NO	-
Palma de Mallorca	-0,7	0,2	844	ENE	5,4
Salamanca	-6,3	-5,0	2.030	O	5,5
Santander	3,1	3,8	985	O	5,2
Santiago	-1,1	-0,1	1.540	SO	6,8
Sevilla	0,4	1,5	580	SO	5,6
Tarragona	0,1	1,5	626	S	5
Teruel	-7,2	-6,1	2.324	N	-
Valencia	-0,2	1,0	741	O	6,3
Valladolid	-5,6	-4,4	1.920	O	-
Vigo	0,0	0,8	1.288	S	3,2
Zaragoza	-3,4	-2,3	1.337	ONO	7,4

Taula 23. Condicions climàtiques per hivern

La temperatura seca a considerar és la que correspon al següent nivells:

- Nivell 99% per hospitals, clíniques, residències de la tercera edat, centres de càlcul i qualsevol altre espai que el tècnic autor del projecte consideri.
- Nivell 97,5% per tots els edificis no mencionats al nivell anterior.

La Taula 23 proporciona les condicions d'hivern d'algunes capitals de província de temperatura seca (TS) exterior de càlcul, el valor dels graus-dia (GD) acumulats al llarg del any i velocitats i direcció dels vents predominants de la zona, útil per càlculs de ventilació.

El nivell percentil del 99% correspon a un valor de la temperatura tal, que només durant el 1% de les hores del període considerat es donen temperatures més baixes i analògicament per el nivell percentil del 97,5% només durant el 2,5% de les hores del període considerat i es donen temperatures més baixes.

5.8.12. Transmissió de calor a través de superfícies de vidre

Es suposa un radiació solar incident nul·la, per tant, només es considera transmissió de calor per conducció-convecció, calculant-se segons el CTE NB HE amb l'equació

$$Q_{sen} = A \cdot U \cdot \left(T_{seq} - T_{sL}\right) \qquad \text{Eq 17}$$

i amb valors de U de la Taula 14. Coeficient de transmissió de la teulada

5.8.13. Càrrega deguda a ventilació

5.8.13.1. Càlcul de la càrrega deguda a ventilació

En totes les instal·lacions és necessari preveure una certa renovació d'aire. S'estima una renovació mínima per persona de 2,2 l/s.

La quantitat de calor sensible i latent que s'aporta com a càrrega de forma instantània és:

$$Q_{sen} = \frac{V_{ev} \cdot \left(T_{se} - T_{sL}\right) \cdot \left(Cp_{as} + W_e \cdot Cp_v\right)}{ve_e} \approx 1200 \cdot V_{ev} \cdot \left(T_{se} - T_{sL}\right) \qquad \textbf{Eq 19}$$

$$Q_{lat} = \frac{V_{ev} \cdot \left(W_e - W_L\right) \cdot \left(Cf + Cp_v \cdot T_{se}\right)}{ve_e} \approx 3002400 \cdot V_{ev} \cdot \left(W_e - W_L\right) \qquad \textbf{Eq 20}$$

$$Q_T = Q_{sen} + Q_{lat} = \frac{V_{ev} \cdot \left(h_e - h_L\right)}{ve_e} \approx 1200 \cdot V_{ev} \cdot \left(h_e - h_L\right) \qquad \textbf{Eq 21}$$

on: ve_e és el volum específic de l'aire [≈ 0,833 m^3/kg],
Cp_{as} és la calor específica de l'aire sec [1 kJ/kg·ºC],
Cp_v és la calor específica del vapor d'aigua [1,805 kJ/kg·ºC],

V és el cabal volumètric d'aire [m^3/s],
h és l'entalpia de l'aire [kJ/kg_{as}],
W és la humitat específica [kJ/kg_{as}],
T és la temperatura [ºC], i
Cf és el canvi fase vapor – aigua líquida [2501 kJ/kg].

subíndex:

sen sensible
lat latent
T total
a aire
ev exterior de ventilació
e exterior
se seca exterior
sL seca local
L local

- *Les equacions Eq19 fins a Eq21 provenen [11] Recknagel – Sprenger – Schramek, Manuel Practique du Génie Climatique. Vol 2.- Chauffage et production d'eau chaude sanitaire.*

5.8.13.2. Cabal volumètric de ventilació segons la legislació espanyola

La legislació espanyola, en aquest cas el document bàsic HS-3 (salubritat) del CTE, contempla un cabal de ventilació mínim per als locals (Taula 24. Cabals de ventilació mínims exigits

El nombre d'ocupants es considera igual a:

- 1 per a cada dormitori individual,
- 2 per a cada dormitori doble, i
- la suma dels comptabilitzats per a tots els dormitoris de la vivenda per al menjador i cada sala d'estar.

Per als locals de les vivendes destinats a varis usos, es considera el cabal corresponent al ús per el que resulti el major cabal.

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m^2 útil	En función de otros paráme-tros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por *local*
	Cocinas		2 (1)	50 por *local* (2)
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

(1) En las cocinas con sistema de cocción por combustión o dotadas de calderas no estancas este caudal se incrementa en 8 l/s.
(2) Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

Taula 24. Cabals de ventilació mínims exigits

5.8.14. Càrrega deguda a infiltracions

5.8.14.1. Cabal d'aire infiltrat per efecte del vent

La legislació espanyola exigeix realitzar aquest càlcul amb el mètode d'escletxa. El cabal total introduït és:

$$V_{ei} = \frac{L_{rd} \cdot V_{rd}}{3600} \qquad \textbf{Eq 22}$$

on: V_{ei} és el volum total d'aire infiltrat [m^3/s],
L_{rd} és la longitud d'escletxa (només es consideren portes i finestres exposades al vent) [m],
V_{rd} és el volum d'aire infiltrat per metre d'escletxa [m3/h·m]

La Taula 25 i Taula 26 recullen els cabals d'infiltracions de les portes i finestres .

TIPO DE PUERTAS	VELOCIDAD DEL VIENTO km/h					
	8	16	24	32	40	48
Puerta de vidrio						
- Instal. correcta (rendija 3 mm)	17,8	35,6	54,5	72,4	89,1	105,8
- Instal. media (rendija 5 mm)	26,7	55,6	78,0	111,4	133,8	161,7
- Instal. mediocre (rend. 6,5 mm)	35,6	72,4	105,8	144,9	174,9	211,9
Puerta ordinaria, madera ó metal						
- Instal. correcta (con burlete)	2,5	3,3	5,0	7,2	9,5	11,7
- Instal. media (sin burlete)	5,0	6,7	10,0	14,5	18,4	23,4
- Instal. mediocre (sin burlete)	5,0	12,8	20,6	29,0	36,8	46,8
Puerta de fábrica (rend. 3 mm)	17,8	35,6	54,5	72,4	89,1	105,8

Taula 25. Cabal volumètric infiltrat per metre d'escletxa per portes [m3/h·m].

TIPO DE VENTANAS	VELOCIDAD DEL VIENTO km/h					
	8 s.b/c.b	16 s.b/c.b	24 s.b/c.b	32 s.b/c.b	40 s.b/c.b	48 s.b/c.b
Ventana de guillotina						
- *Marco madera*						
Ventana normal	0,7/0,4	2,0/1,2	3,6/2,2	5,5/3,3	7,4/4,6	9,6/5,8
Marco mal ajustado	2,5/0,6	6,4/1,8	10,3/3,2	14,5/4,7	18,4/6,6	23,4/8,5
Doble ventana	1,3/0,3	3,2/0,9	5,2/1,6	7,2/2,4	8,9/3,3	11,7/4,2
- *Marco metálico*	1,8/0,6	4,4/1,8	6,8/2,9	9,6/4,3	12,8/5,6	15,6/7,1
Ventana normal						
Rendija 0,4 mm	0,6	1,7	3,0	4,3	5,6	6,8
Rendija 0,8 mm	1,3	3,0	4,8	7,1	9,3	11,2

s.b - Sin burlete c.b - Con burlete

Taula 26. Cabal volumètric infiltrat per metre d'escletxa per finestres [m3/h·m].

5.8.15. Càrrega deguda a ocupants

Com és una càrrega que aporta calor al local, només es consideren les persones que obligatòriament s'hi estan.

Es diferencien instal·lacions on obligatòriament hi ha un número important de persones (hospitals, presons, comerços, treballadors en oficines, etc.), i instal·lacions on no es considera aquesta aportació (vivendes, restaurants, habitacions d'hotels, etc.).

5.8.16. Coeficient de seguretat

Normalment es considera un coeficient de seguretat per poder compensar una càrrega no comptabilitzada, que acostuma a ser del 10%.

5.8.17. Càlcul de la càrrega tèrmica del edifici

En la Taula 27 es recull per cada local de la casa, la potència necessària per compensar les pèrdues per conducció i ventilació.

els resultats obtinguts per a cada dependència:

Dependència	Superfície	Q_{parets}	Q_{vent}	$Q_{ventilació}$	Potència Total	Potència Total /m²
P.BAIXA						
MENJADOR	66,9 m²	844 W	1.084 W	324 W	2.252 W	33,65 W/m²
CUINA	17,8 m²	253 W	308 W	900 W	1.462 W	82,23 W/m²
ASSECADOR	12,3 m²	272 W	531 W	36 W	838 W	68,44 W/m²
ESCALA	6,0 m²	150 W	0 W	36 W	186 W	31,00 W/m²
WC	4,4 m²	21 W	0 W	270 W	291 W	65,77 W/m²
P.PRIMERA						
WC	8,7 m²	67 W	171 W	270 W	508 W	58,14 W/m²
HABITACIO 1	12,4 m²	219 W	308 W	90 W	617 W	49,64 W/m²
HABITACIO 2	9,8 m²	110 W	236 W	90 W	436 W	44,71 W/m²
HABITACIO 3	9,8 m²	112 W	236 W	90 W	438 W	44,95 W/m²
HABITACIO 4	24,0 m²	508 W	839 W	90 W	1.437 W	59,99 W/m²
PASSADIS	19,1 m²	231 W	336 W	36 W	602 W	31,54 W/m²
P.SEGONA						
DESPATX	21,7 m²	567 W	794 W	54 W	1.415 W	65,19 W/m²
HAB.PPAL	17,6 m²	262 W	358 W	180 W	801 W	45,39 W/m²
PASSADIS	16,6 m²	260 W	358 W	36 W	655 W	39,46 W/m²
VESTIDOR	15,3 m²	311 W	218 W	54 W	583 W	38,01 W/m²
WC	10,7 m²	355 W	218 W	54 W	627 W	58,87 W/m²
TOTAL	**273,0 m²**	**4.542 W**	**5.994 W**	**2.611 W**	**13.147 W**	**48,16 W/m²**

Taula 27. Resum dels càlculs de càrregues tèrmiques

NOTA: S'ha de senyalar que la càrrega total de calefacció calculada es refereix a les màximes potències requerides en el total de l'edifici, no com a suma de les màximes de les dependències.

5.9 *Sistema domòtic de control*

La casa disposa d'un sistema domòtic de control imprescindible per tenir un bon rendiment energètic, ja que controla tots els sistemes d'aprofitament d'energia així com el funcionament de molts dels equips que en consumeixen.

El sistema de control instal·lat és Siemens, que disposa d'una CPU on hi ha tota la programació així com tots els ports d'entrades i sortides tant analògiques com digitals. L'armari de control es pot veure en la Figura 46. Per tal de fer ergonòmic el funcionament es disposa d'un PC amb un sistema escada, funcionant sota sistema operatiu Windows que permet un diàleg fluid entre el sistema i l'usuari.

Les pantalles que hi ha a l'ordinador són múltiples, i serveixen tant per donar ordres com per saber l'estat de funcionament dels equips, obtenir dades o simplement acumular consums.

Figura 46. Armari de control domòtic de la casa

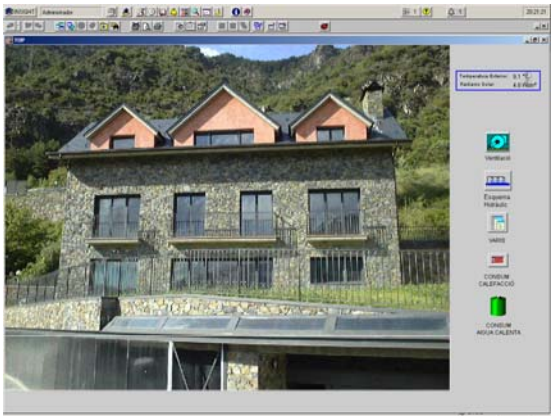


Figura 47. Pantalla d'inici

5.9.1. Pantalles d'estat i control

Les pantalles de la Figura 48 a la Figura 56 serveixen per observar l'estat de funcionament de cada element de la casa així com de control per donar ordres de funcionament:

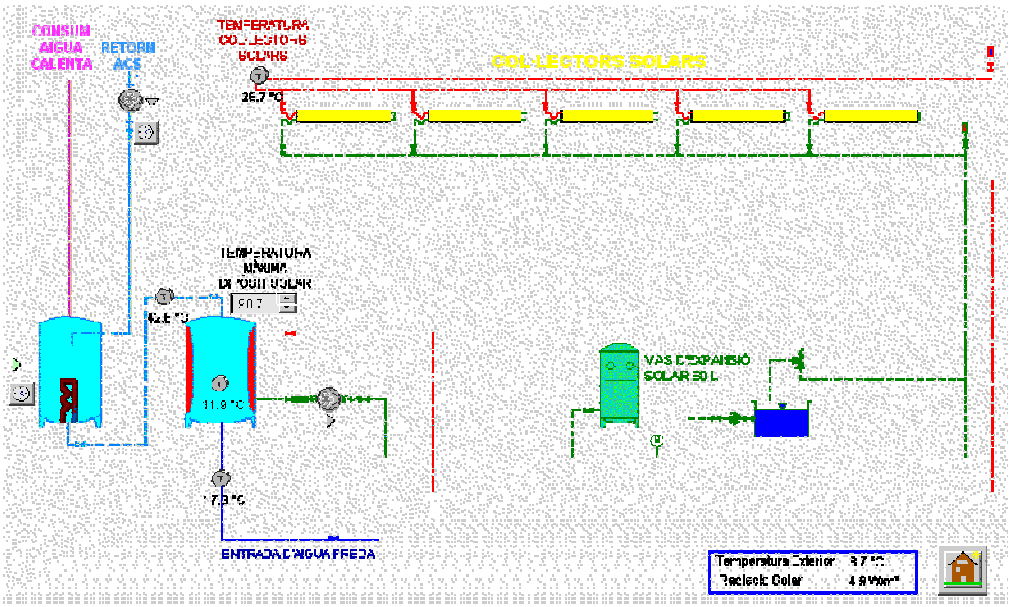


Figura 48. Pantalla de control del sistema de producció d'aigua calenta

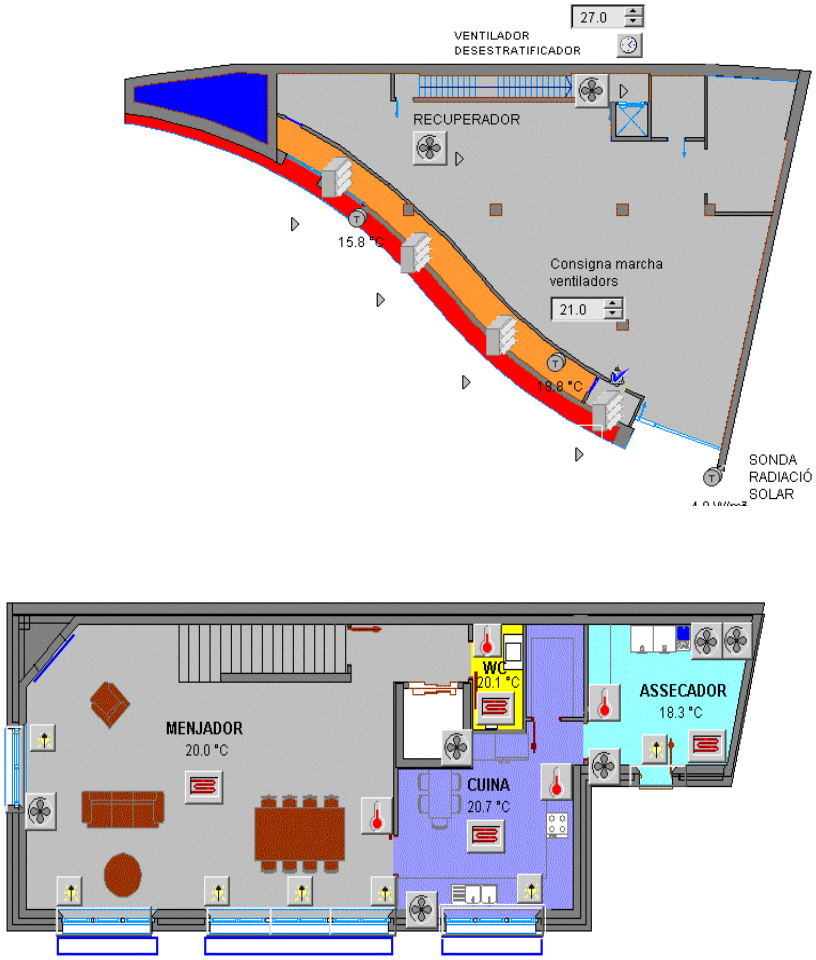


Figura 49. Pantalles de la planta soterrani i baixa de l'edifici

Figura 50. Pantalles de les plantes primera i segona de l'edifici

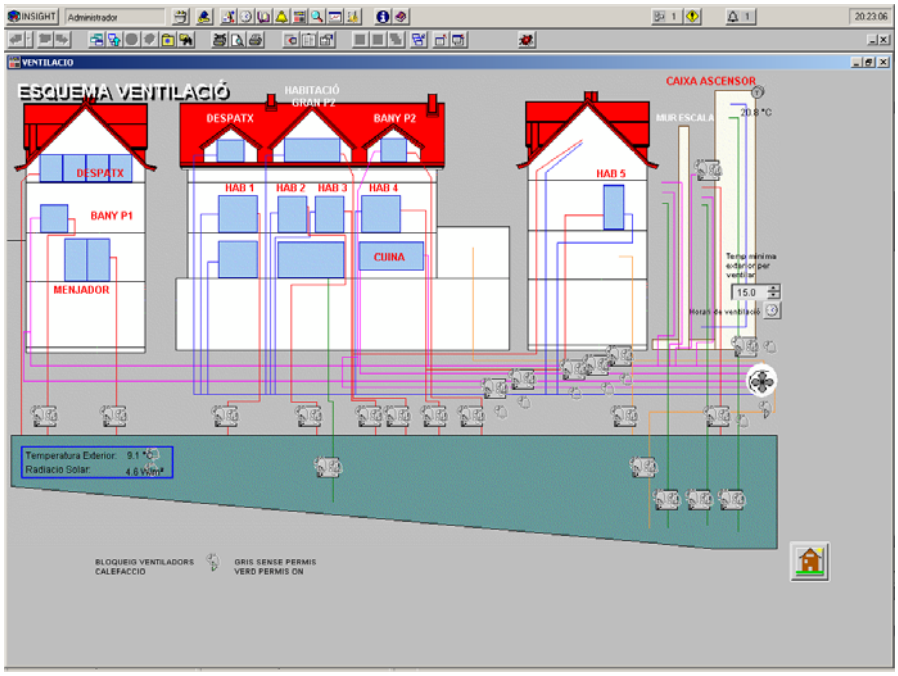


Figura 51. Pantalla de control dels ventiladors de calefacció i renovació d'aire

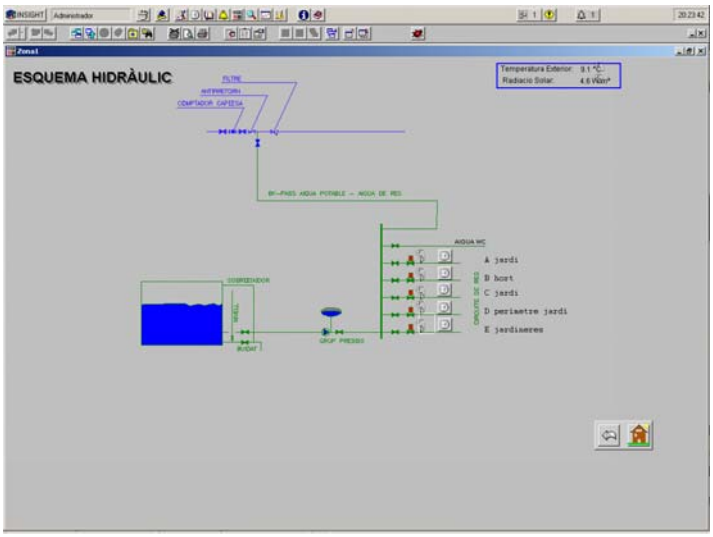


Figura 52. Pantalla de control del rec

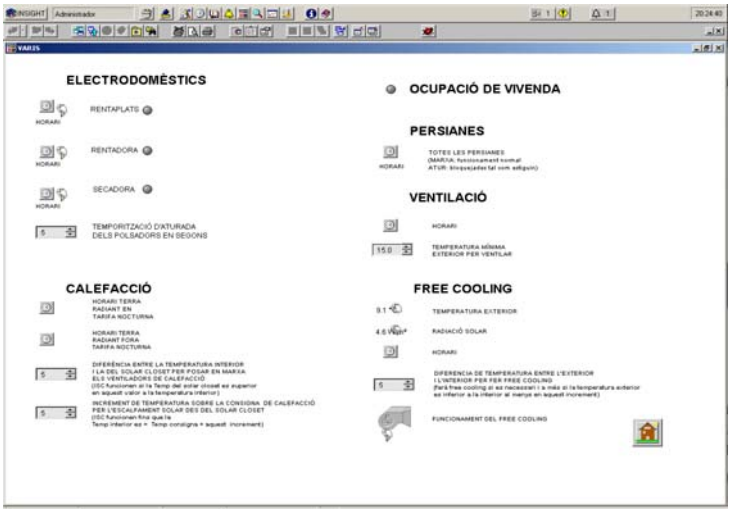


Figura 53. Pantalla de control de funcionament dels electrodomèstics per aprofitar la tarifa nocturna, paràmetres de calefacció, de persianes, de ventilació i de la funció "free cooling".

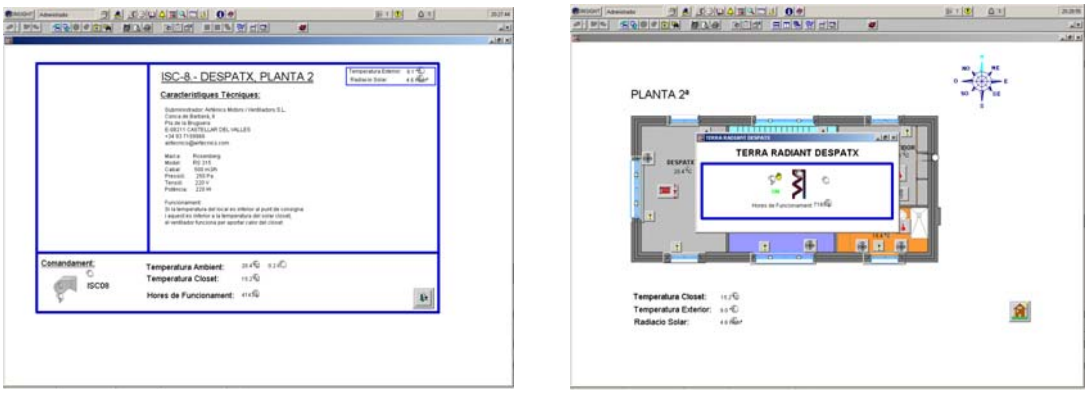


Figura 54. Pantalles de control de ventiladors i terra radiant, amb funció manual/automàtic, control d'hores de funcionament i de paràmetres que fan que es connectin i desconnectin.

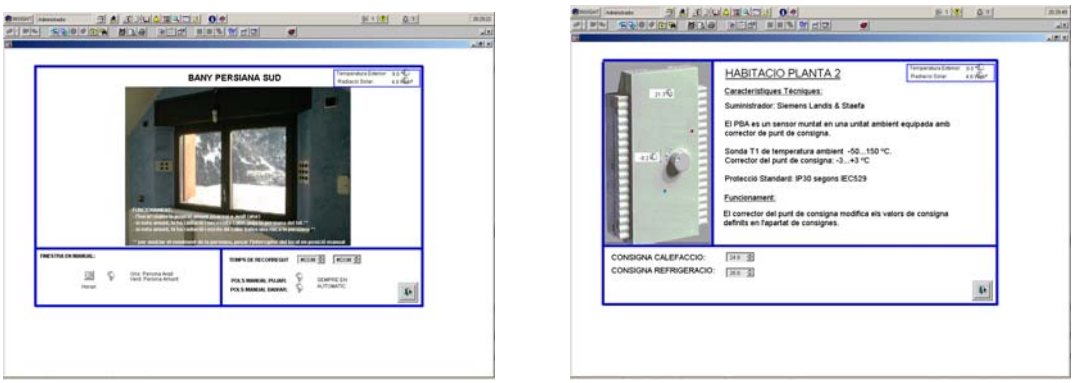


Figura 55. Pantalles de control de les persianes i de les sondes de temperatura de cada habitació, amb indicació d'horaris, punts de consigna de calefacció i de refrigeració (pel control dels guanys solars per les persianes).

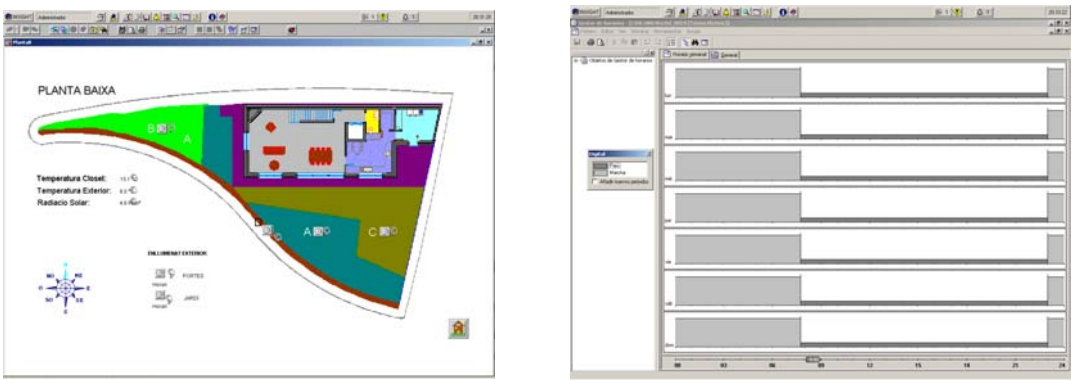


Figura 56. Pantalla de control del rec del jardí i de l'hort i pantalla típica d'horaris setmanals, amb possibilitat d'entrar excepcions diàries.

5.9.2. Pantalles de control del consum

Tan importants com les de control d'estat en un moment donat, són les pantalles de control de consum anual, que permeten anar verificant si el funcionament dels equips és correcte. La Figura 57 representa les pantalles que recullen les hores i el cost de funcionament dels ventiladors que s'utilitzen tant per ventilació com per calefacció a partir dels col·lectors solars. Aquestes dues pantalles s'han instal·lat recentment i encara no s'han extret resultats.

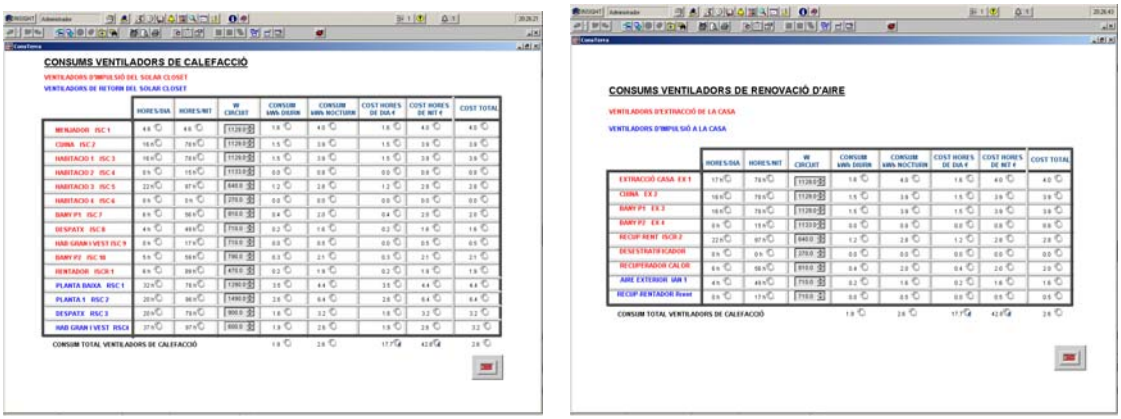


Figura 57. Pantalles de consum dels ventiladors de calefacció i ventilació

La Figura 58 correspon al consum de calefacció per terra radiant. Es separen les hores de funcionament de tarifa nocturna i diürna al aplicar tarifes diferents i integra el cost total de calefacció anual.

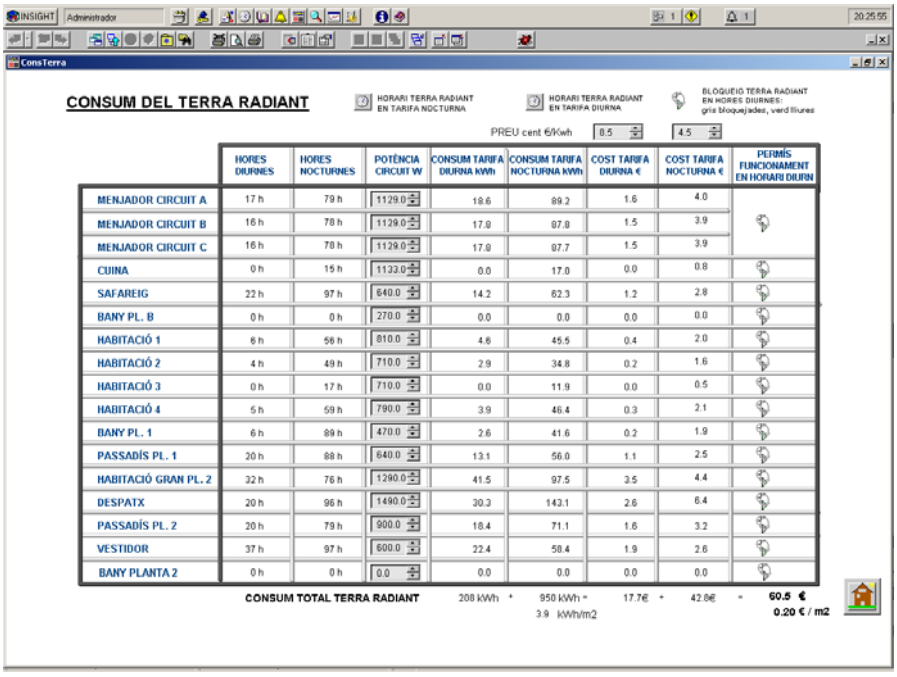


Figura 58. Pantalla de control de consum en calefacció

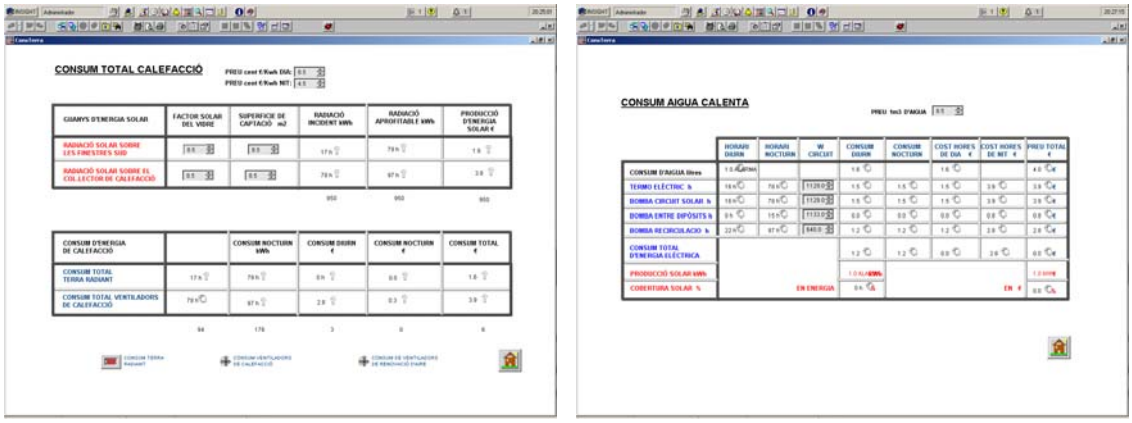


Figura 59. pantalla del consum total de calefacció (terra radiant més ventiladors) i pantalla de producció i consum d'aigua calenta

La primera pantalla de la Figura 59 representa la suma del consum total d'energia de calefacció, incloent el terra radiant i els ventiladors dels col·lectors solars. La segona recull el consum d'aigua calenta, en litres, energia elèctrica consumida, energia solar produïda en kWh i € estalviats i la fracció solar.

5.9.3. Pantalles de gràfics de seguiment

Hi ha una sèrie de pantalles de gràfics de seguiment, on s'hi poden observar els paràmetres que es vulguin, veure la seva evolució diària i la seva interrelació amb el funcionament dels diversos equipaments. Per exemple en la Figura 60 es pot veure l'energia solar incident sobre les finestres amb

la línia de color groc, en 2 línies de color vermell les 2 sondes dels col·lectors solars, en magenta la temperatura del termo elèctric, en blau i blanc l'evolució de la temperatura dels dipòsit solar així com el funcionament de les diverses bombes (solar, recirculació, etc). Aquí es pot observar per exemple si la bomba del circuit solar es posa en marxa i s'atura quan es compleixen les condicions de temperatures de col·lectors i dipòsits, etc.

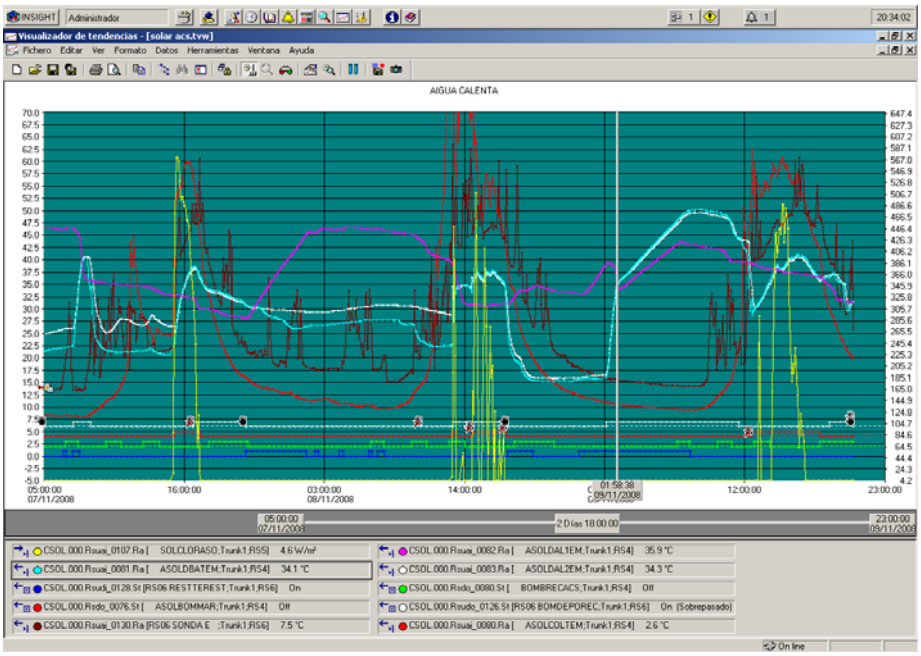


Figura 60. Pantalla gràfica que permet estudiar l'evolució dels paràmetres i la seva interrelació

També es poden veure l'evolució de paràmetres digitals, com per exemple el funcionament del terra radiant de la planta 2 de la Figura 61.

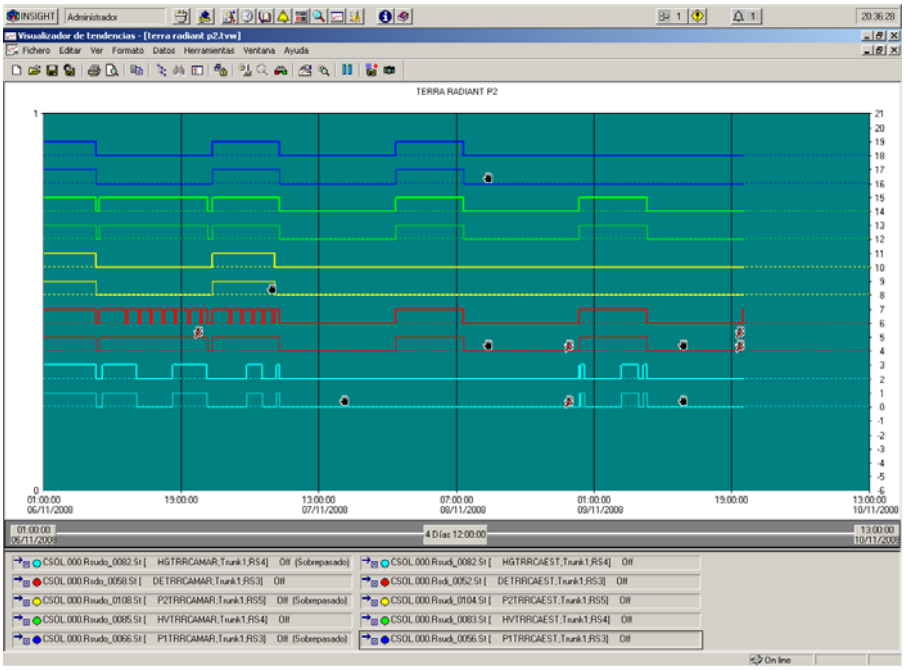


Figura 61. Pantalla de control gràfic d'evolució de paràmetres (cas concret del terra radiant)

El sistema domòtic dóna també una pantalla d'alarmes, quan ordena una actuació que no es produeix per alguna errada mecànica o elèctrica.

5.9.4. Descripció del control

El sistema domòtic controla les instal·lacions de calefacció, toldos i persianes, ventilació, sistema de rec, producció d'aigua calenta i la funció d'assecador de roba del local de rentador.

La calefacció de l'edifici és independent a cada local i utilitza els següents recursos:

Maximitza el guany solar de les finestres a l'hivern mitjançant el control de la posició de la persiana,

Impulsa aire calent acumulat al "solar closet" a les habitacions que necessiten augmentar la seva temperatura,

Connecta el terra radiant elèctric, i

Per evitar sobreescalfaments solars a l'estiu, es controlarà la posició de la persiana de cada local en moments de forta insolació. Si el promig necessita fred i les condicions permeten fer "free cooling", es ventilarà parant el motor del recuperador de calor i posant en marxa els ventiladors de la renovació d'aire.

La temperatura de cada local es controlarà amb una sonda amb potenciòmetre a cada local. La temperatura de consigna serà la del sistema solar. El terra radiant elèctric tindrà una temperatura de consigna de 2ºC per sota de consigna solar (valor programable). Per exemple, el sistema solar intentarà mantenir la casa a 23ºC, i la calefacció elèctrica no es connectarà si no s'està per sota de 21ºC. El solar closet tindrà un delta T de 0,5ºC (programable) sobre temperatura de consigna solar.

El ventilador desestratificador **Vdesest** funciona independentment de la resta dels ventiladors, només manat per la seva sonda de temperatura. Es connectarà a partir del punt de consigna del sistema. La seva funció es desestratificar l'aire calent en les 3 plantes de la casa, enviant-lo de la darrera planta a la baixa, i barrejant-lo amb el d'aquesta última per baixar-li la temperatura.

Els ventiladors de renovacions d'aire **EX-1** i **IAN-1** van en funció de la programació horària establerta, independentment de la resta de ventiladors excepte els de funció d'assecador de roba. Es pararan quan la temperatura exterior estigui per sota d'una temperatura de consigna (0ºC), fent un escombrat 10 minuts cada hora. Per sota de –5ºC es pararà tot, per tal d'evitar pèrdues calorífiques excessives. També es pararan al cap d'un temps programable (uns 30 minuts) després que la centraleta d'alarmes d'intrusió dóna senyal de no ocupació de la casa (contacte sec). Això evita fer renovacions quan no cal.

La funció d'assecador de roba permet sobreescalfar el local del rentador a voluntat de l'usuari, amb un temporitzador en minuts, que l'usuari manipularà en funció del grau d'assecat que es desitgi i de la temperatura de l'aire del "solar closet". Durant la funció d'assecat cal aturar els ventiladors de la renovació d'aire **EX-1** i **IAN-1**. La descripció de tot el procés es fa en l'apartat de funcionament del rentador.

5.9.4.1. Prioritats de calefacció

PRIORITAT 1.- assecador de roba: posta en marxa dels 3 ventiladors del local assecador de roba **ISCR-1, ISCR-2 i Rrent** i parar els ventiladors de la renovació d'aire **EX-1** i **IAN-1.**

PRIORITAT 2.- calefacció dels locals controlant la posició de toldos i/o persianes segons temperatura de consigna solar

PRIORITAT 3.- calefacció dels locals impulsant aire calent del solar closet segons consigna del sistema solar + delta T 0,5ºC

PRIORITAT 4.- calefacció dels locals pel terra radiant elèctric, segons consigna elèctrica (T < consigna solar). La funció de calefacció elèctrica cal poder-la desactivar si no es vol que un local s'escalfi.

Hi una funció de desactiva globalment tots els circuits de calefacció elèctrics de la casa, en funció d'un calendari o manualment sobre la pantalla de l'ordinador.

5.9.4.2. Prioritat dels toldos

Els toldos són controlats pel sistema electrònic CD 4 de Somfy, individual per cada toldo.

Un interruptor automàtic / manual situat al costat de cada comanda manual del toldo, funciona de la següent forma:

Si està en automàtic, amb un pols, puja o baixa el toldo, tant si és del polsador manual com del sistema centralitzat.

Si està en manual, el polsador de l'habitació funciona igual amb un pols, mentre que si el senyal ve del sistema centralitzat, només respondrà si és més llarga d'un cert temps, (uns 5 segons).

En condicions normals estarà en automàtic. Així el seu funcionament serà:

Amb el polsador manual.

Amb el sistema domòtic que fixarà la posició que correspongui al toldo, obrint o tancant, segons la temperatura del local i la sonda solar. El toldo pot estar 100% obert, o 100% tancat. L'ordinador de control no buscarà posicions intermèdies. Això ho farà amb un pols curt (si esta en manual no actuarà la persiana).

Programació horària d'obertura i tancament. El senyal serà un pols llarg (més de 5 seg) per que actuï tant si està en manual com en automàtic.

El senyal de la sonda crepuscular el replegarà al vespre, amb un senyal llarg (més de 5 segons).

A la planta baixa, (menjador i cuina), hi ha toldo + persiana. En hores diürnes controlar els guanys solars pel toldo en prioritat sobre la persiana, i si cal, també per la persiana. En cas de control per persiana, cal plegar el toldo totalment, passant-ho a controlar totalment per aquesta.

5.9.4.3. Prioritats de les persianes

Les persianes són controlades pel sistema electrònic CD 4 de Somfy, individual per cada persiana.

Un interruptor automàtic / manual situat al costat de cada comanda manual del persiana, funciona de la següent forma:

Si està en automàtic, amb un pols, puja o baixa la persiana, tant si ve del polsador manual com del sistema domòtic.

Si està en manual, el polsador de l'habitació funciona amb un pols, mentre que si el senyal ve del sistema centralitzat, només respondrà si és més llarga d'un cert temps (uns 5 segons).

En condicions normals estarà en automàtic. Així el seu funcionament serà:

Amb el polsador manual.

Amb el sistema domòtic que fixarà la posició que correspongui a la persiana, obrint o tancant, segons la temperatura del local i la sonda solar. La persiana pot estar 100% oberta, 100% tancada o en posicions intermitges. L'ordinador de control buscarà posicions intermèdies. Això ho farà amb un pols curt (si està en manual no actuarà la persiana).

Amb la programació horària d'obertura i tancament. El senyal serà un pols llarg (més de 5 seg) per que actuï tant si esta en manual com en automàtic.

Amb el senyal de la sonda crepuscular tancarà totes les persianes al vespre, amb un senyal llarg (més de 5 segons) excepte que s'hagi donat al ordre d'anul·lar aquesta funció, a la pantalla de l'ordinador.

A la planta baixa (menjador i cuina), hi ha toldo i persiana. En hores diürnes es controlen els guanys solars pel toldo en prioritat sobre la persiana, i si cal, també per la persiana. En cas de control per persiana, es plega el toldo totalment, passant-ho a controlar totalment per aquesta.

Quan es faci la programació d'aquesta part, es mesurarà el temps total de tancament de la persiana de cada local, i s'introduirà a la formula.

Les posicions intermitges de les persianes, quan funcionen segons la sonda de temperatura es calcularà de la següent forma:

Si la temperatura interior és > que la de consigna solar:

Guanys solars del local > (pèrdues pel vidre + pèrdues per renovacions d'aire) Eq 23

On:

Guanys solars del local (W) = Insolació vertical sud (lectura de la sonda) * Superfície efectiva del vidre (paràmetre a calcular per cada finestra sud en funció de la posició de la persiana) * Factor Solar del vidre Eq 24

Pèrdues del vidre (W) = Superfície total vidre de cada local (paràmetre a donar del total de finestres de cada local, siguin sud o no) * Uvidre *(T local – Texterior) Eq 25

Pèrdues per renovacions (W) = Cabal d'aire local (m3/h) que es donarà per cada local * (T local – T aire nou sortida del recuperador)*0,3/0,86 Eq 26

L'equació 23 es una premissa del sistema i les Eq24 fins Eq26 provenen de la NBE CT 79

La superfície del vidre efectiva és la superfície total del vidre menys la part de persiana baixada, calculada pels segons que funciona el motor que la puja o baixa (cal que aquest paràmetre quedi guardat en cada local per saber la posició en cada moment de la persiana). Cada nit la persiana es baixa totalment i al matí s'obre totalment. a partir d'aquí cal calcular la posició sumant segons de baixada, restant els segons de pujada, sabent la velocitat de la persiana, que es mesurarà a la realitat en cada habitació.

Si la temperatura local segueix pujant, baixar la persiana un cert temps (5 segons) programables.

Si la temperatura interior és < o = que la de consigna solar:

Obrir totalment la persiana.

5.9.4.4. Funcionament del terra radiant

El terra radiant funcionarà quan el sistema domòtic li demani, però amb una excepció, és la de posar-hi limitacions horàries, per tal d'aprofitar al màxim la tarifa nocturna. Per tant cada local s'ha de poder programar les hores en que es permet que escalfi i les que se li "prohibeix" aquest funcionament. A més, hi ha la funció de desconnexió manual.

5.9.4.5. Descripció del funcionament

☐**Menjador**

Aplicació de prioritats de calefacció, toldos i persianes. Els toldos controlen els guanys solars amb prioritat davant les persianes sud. Funciona primerament tancant el toldo 1 i desprès el toldo 2. Les persianes Sud controlen la temperatura si no ho poden fer els toldos (sol baix al hivern) El control de sobreescalfament s'efectuarà en primer lloc tancant la persiana Sud 1, desprès la Sud 3, desprès la Sud 2 i finalment la Sud 4. La persiana Oest només es controla per programació horària o manualment.

Cal controlar els següents punts:

ISC-1 ISC-1.- VENTILADOR IMPULSIÓ SOLAR CLOSET MENJADOR PB

Pers.Menj.S1	PERSIANA MENJADOR SUD 1
Pers.Menj.S2	PERSIANA MENJADOR SUD 2
Pers.Menj.S3	PERSIANA MENJADOR SUD 3
Pers.Menj.S4	PERSIANA MENJADOR SUD 4
Pers.Menj.O	PERSIANA MENJADOR OEST
Toldo-1	TOLDO MENJADOR 1
Toldo-2	TOLDO MENJADOR 2
Cal.Menj.A	CALEFACCIÓ MENJADOR CIRCUIT A
Cal.Menj.B	CALEFACCIÓ MENJADOR CIRCUIT B
Cal.Menj.C	CALEFACCIÓ MENJADOR CIRCUIT C
Tmenj	SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

La potencia total de calefacció elèctrica estarà dividida en 3 circuits iguals, controlats per rampa de demanda. La potència de cada circuit és de 1200 W. Les pèrdues tèrmiques es calcularan segons la Taula 28. Coeficients

tèrmics del menjador, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%.

MENJADOR	S [m2]	U [W/m2.ºC]
VIDRE EXTERIOR	20	1,74
PARET EXTERIOR	44,2	0,24
TERRA GARATGE	64	0,32

Taula 28. Coeficients tèrmics del menjador

□Cuina

ISC-2 ISC-2.- VENTILADOR IMPULSIÓ SOLAR CLOSET CUINA

EX-2	EX-2.-EXTRACTOR CALEFACCIÓ CUINA
Pers.Cuina	PERSIANA CUINA
Told.Cuina	TOLDO CUINA
Cal.Cuina	CALEFACCIÓ CUINA
Display 1	DISPLAY LA TEMPERATURA DEL SOLAR CLOSET
Tcuina	SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

Aplicació de prioritats de calefacció, toldos i persianes.

El ventilador de calefacció ISC-2 funciona segons prioritats de calefacció, i solidàriament amb el extractor EX2

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 29, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%:

CUINA	S [m2]	U [W/m2.ºC]
VIDRE EXTERIOR	2,4	1,74
PARET EXTERIOR	22,36	0,24
TERRA GARATGE	18	0,32

Taula 29. Coeficients tèrmics de la cuina

□Rentador

ISCR-1	ISCR-1.- IMPULSIÓ SOLAR CLOSET - RENTADOR
ISCR-2	ISCR-2.- IMPULSIÓ RENTADOR – RECUPERADOR
Rrent	Rrent.- RETORN ASSECADOR DE ROBA
Pers.Rent	PERSIANA RENTADOR
Cal.Rent	CALEFACCIÓ RENTADOR
Trent	SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE
TEMP.Assec	TEMPORITZADOR MANUAL PER ASSECAR ROBA
Comp.ext	COMPORTA D'AIRE EXTERIOR

En funcionament com a local normal, aplicació de prioritats de calefacció i persianes. Els 3 ventiladors ISCR-1, ISCR-2 i Rrent funcionen simultàniament quan fan funció de calefacció. Quan es posen en marxa aquests ventiladors es paren la resta de ventiladors i extractors que passen pel recuperador de calor. Mana la sonda de temperatura. La comporta d'aire exterior sempre tancada excepte en cas de voler fer free cooling.

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 30, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%.

RENTADOR	**S [m2]**	**U [W/m2.ºC]**
VIDRE EXTERIOR	2	1,74
PARET EXTERIOR	7,8	0,24
PARET TERRENY(en contacte amb el terra a temperatura constant 10ºC)	21,32	0,35
TEULADA	15,6	0,24
TERRA (en contacte amb el garatge)	15,6	0,32

Taula 30. Coeficients tèrmics del rentador

En funcionament com a assecador de roba, l'usuari marcarà el temps d'assecat en un temporitzador manual situat al mateix local **TEMP.Assec** en funció del grau d'assecat i de la temperatura del solar closet que indicarà el display. L'inici de la funció d'assecador es farà al posar el temporitzador en posició, i es posaran en marxa els 3 ventiladors ISCR-1, ISCR-2 i Rrent simultàniament, pararan la resta de ventiladors i extractors que passen pel recuperador de calor. La sonda de temperatura quedarà sense efecte, a l'igual que la persiana i calefacció elèctrica. La comporta d'aire exterior estarà tancada.

Quan pari la funció d'assecat, ja sigui manualment o automàtica, cal ventilar el local fins arribar a la temperatura de consigna. Per això es posarà en marxa l'extractor ISCR-2, s'obrirà la comporta d'aire exterior i es pararà el ISCR-1 i el Rrent. Podran funcionar els ventiladors i extractors que passen pel recuperador.

□Aseo (planta baixa)

Cal.Aseo.PB CALEFACCIÓ ASEO PB

T.aseo.PB SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

El local s'escalfa al passar a través seu, l'extracció d'aire. L'aire no entra del hall del casa. En cas de ser insuficient, es posarà en marxa el terra radiant elèctric, manat per la sonda de temperatura (consigna solar).

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 31, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%.

ASEO PB	S [m2]	U [W/m2.ºC]
PARET EXTERIOR (en contacte amb el terra a temperatura constant 10ºC)	7,8	0,35
TERRA (en contacte amb el garatge)	4,5	0,32

Taula 31. Coeficients tèrmics de l'aseo PB

☐Habitació 1

ISC-3	ISC-3.- VENTILADOR IMPULSIÓ SOLAR CLOSET HABITACIÓ 1, P1
Pers.H1	PERSIANA HABITACIÓ 1
Cal.Hab.1	CALEFACCIÓ HABITACIÓ 1
Th1	SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

Aplicació de prioritats de calefacció i persianes.

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 32, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%:

HABITACIO 1	S [m2]	U [W/m2.ºC]
VIDRE EXTERIOR	5,7	1,74
PARET EXTERIOR	11,98	0,24

Taula 32. Coeficients tèrmics de l'habitació 1

☐Habitació 2

ISC-4	ISC-4.- VENTILADOR IMPULSIÓ SOLAR CLOSET HABITACIÓ 2, P1
Pers.H2	PERSIANA HABITACIÓ 2
Cal.Hab.2	CALEFACCIÓ HABITACIÓ 2
Th2	SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

Aplicació de prioritats de calefacció i persianes.

ATENCIÓ: les habitacions 2 i 3 són una sola habitació de forma provisional, preparades per separar-les en 2 quan faci falta. Per tant mentre això sigui així es prendrà com a punt de consigna la de Th2, ignorant el que digui la Th3. Els càlculs de guanys i pèrdues es fan per separat, de forma que funcioni correctament quan es separin les 2 habitacions, i que només calgui rehabilitar la consigna Th3. La lectura de Th2 i Th3 si que s'utilitza, ja que cadascuna mana la seva persiana.

Terra radiant ESCALONATS ELS 2 CIRCUITS amb rampa.

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 33, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%.

HABITACIO 2	S [m2]	U [W/m2.ºC]
VIDRE EXTERIOR	3,5	1,74
PARET EXTERIOR	9,62	0,24

Taula 33. Coeficients tèrmics de l'habitació 2

☐**Habitació 3**

Aplicació de prioritats de calefacció i persianes.

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 34, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%.

ISC-5 ISC-5.- VENTILADOR IMPULSIÓ SOLAR CLOSET HABITACIÓ 3, P1

Pers.H3	PERSIANA HABITACIÓ 3
Cal.Hab.3	CALEFACCIÓ HABITACIÓ 3
Th3	SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

HABITACIO 3	S [m2]	U [W/m2.ºC]
VIDRE EXTERIOR	3,5	1,74
PARET EXTERIOR	9,62	0,24

Taula 34. Coeficients tèrmics de l'habitació 3

☐ **Habitació 4**

ISC-6 290 m3/h ISC-6.- VENTILADOR IMPULSIÓ SOLAR CLOSET HABITACIÓ 4 + 5, P1

Pers.H4.Sud	PERSIANA HABITACIÓ 4 SUD
Cal.Hab.4	CALEFACCIÓ HABITACIÓ 4
Th4	ONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE
Pers.H4.est	PERSIANA HABITACIÓ 4 EST

Aplicació de prioritats de calefacció i persianes. La persiana H4.est, només actua per programació horària o manualment. La persiana 4.sud se li apliquen les prioritats habituals de calefacció.

HABITACIO CONVIDATS + BANY	S [m2]	U [W/m2.ºC]
VIDRE EXTERIOR	2	1,74
PARET EXTERIOR	18,8	0,24

Taula 35. Coeficients tèrmics de l'habitació 4

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 35, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%.

☐Bany 1 (planta 1)

ISC-7	C-7.- VENTILADOR IMPULSIÓ SOLAR CLOSET BANY P1
EX-3	EX-3.-EXTRACTOR CALEFACCIÓ WC PLANTA 1
Pers.Bany.1	PERSIANA BANY 1, P1
Cal.Bany.1	CALEFACCIÓ BANY 1, P1
Tb1	SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

Aplicació de prioritats de calefacció i persianes. Aquesta persiana és cara oest, i només s'obren o tanquen segons horari programat o manualment. El ventilador de calefacció ISC-7 funciona segons prioritats de calefacció, i solidàriament amb el extractor EX-3.

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 36, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%:

BANY NENES PL 1	**S [m2]**	**U [W/m2.ºC]**
VIDRE EXTERIOR	2	1,74
PARET EXTERIOR	5,2	0,24

Taula 36. Coeficients tèrmics del bany planta 1

☐Passadís p1

Pers.Pas.1	PERSIANA PASSADÍS 1, P1
Pers.Pas.2	PERSIANA PASSADÍS 2, P1
Cal.Pas.1	CALEFACCIÓ PASSADÍS P1
Tp1	SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

La calefacció únicament actua sobre el terra radiant.

Aplicació de prioritats de calefacció i persianes. Aquestes dues persianes són cara nord, i només s'obren o tanquen segons horari programat i manualment.

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 37, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%:

PASSADIS PLANTA 1	**S [m2]**	**U [W/m2.ºC]**
VIDRE EXTERIOR	1	1,74
PARET EXTERIOR	14,08	0,24

Taula 37. Coeficients tèrmics del passadís planta 1

☐Habitació principal

ISC-9	ISC-9.- VENTILADOR IMPULSIÓ SOLAR CLOSET HABITACIÓ GRAN + VESTIDOR P2

RSC-4	RSC-4.-RETORN SOLAR CLOSET HABITACIÓ + VESTIDOR P2
Pers.Hab.Gran	PERSIANA HABITACIÓ GRAN, P2
Cal.Hab.Gran	CALEFACCIÓ HABITACIÓ GRAN, P2
Thg	SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

Aplicació de prioritats de calefacció i persianes. El ventilador de calefacció ISC-9 funciona segons prioritats de calefacció, i solidàriament amb l'extractor RSC-4.

La calefacció solar d'aquest local és conjunta amb el vestidor, però el sistema solar únicament fa cas a la sonda del l'habitació, no de la del vestidor. La del vestidor únicament actuarà sobre el terra radiant.

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 38, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%:

HABITACIO PRINCIPAL	**S [m2]**	**U [W/m2.ºC]**
VIDRE EXTERIOR	3	1,74
PARET EXTERIOR	15,85	0,24
TEULADA	40	0,14

Taula 38. Coeficients tèrmics de l'habitació principal

□Despatx

ISC-8	ISC-8.- VENTILADOR IMPULSIÓ SOLAR CLOSET DESPATX P2
Pers.Desp.S	PERSIANA DESPATX SUD
Pers.Desp.O	PERSIANA DESPATX OEST
Pers.Desp.N	PERSIANA DESPATX NORD
Cal.Desp.	CALEFACCIÓ DESPATX
Td	SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

Aplicació de prioritats de calefacció i persiana Sud. Les persianes nord i oest únicament funcionen per programació horària o manualment. El ventilador de calefacció **ISC-8** funciona segons prioritats de calefacció. La calefacció solar d'aquest local és conjunta amb el passadís 2, però el sistema solar únicament fa cas a la sonda del despatx, no del passadís.

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 39, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%:

DESPATX	**S [m2]**	**U [W/m2.ºC]**
VIDRE EXTERIOR	8	1,74
PARET EXTERIOR	26,9	0,24
TEULADA	56,44	0,14

Taula 39. Coeficients tèrmics del despatx

□Bany 2 (planta 2)

ISC-10 ISC-10.- VENTILADOR IMPULSIÓ SOLAR CLOSET BANY P2

EX-4 EX-4.-EXTRACTOR CALEFACCIÓ WC PLANTA 2

Pers.Bany.Gran PERSIANA BANY GRAN, P2

Cal.Bany.Gran CALEFACCIÓ BANY GRAN, P2

SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

Aplicació de prioritats de calefacció i persianes. El ventilador de calefacció ISC-10 funciona segons prioritats de calefacció, i solidàriament amb el extractor EX-4.

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitza la Taula 40, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%:

BANY PLANTA 2	**S [m2]**	**U [W/m2.ºC]**
VIDRE EXTERIOR	1,4	1,74
PARET EXTERIOR	10,13	0,24
TEULADA	18,26	0,14

Taula 40. Coeficients tèrmics del bany planta 2

□Passadís (planta 2)

Vdesest VENTILADOR DESESTRATIFICADOR

Pers.Pas.3 PERSIANA PASSADÍS 2, P2

Cal.Pas.3 CALEFACCIÓ PASSADÍS P2

Tp2 SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

Tdesest SONDA DE TEMPERATURA AL PUNT MÉS ALT

Aplicació de prioritats de calefacció. Aquesta persiana és cara nord, i només s'obrirà o tancarà segons horari programat o manualment. La calefacció únicament actuarà sobre el terra radiant en funció de la sonda Tp2.

El ventilador de desestratificació **Vdesest**, funcionarà quan la sonda de temperatura situada al punt més alt de la casa **Tdesest**, indiqui una temperatura superior a la de la seva consigna (uns 24ºC que es puguin canviar), i amb una programació horària per que pari a la nit.

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitzarà la Taula 41, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%:

PASSADIS PLANTA 2	**S [m2]**	**U [W/m2.ºC]**
VIDRE EXTERIOR	3	1,74
PARET EXTERIOR	18,03	0,24
TEULADA	37	0,14

Taula 41. Coeficients tèrmics del passadís planta 2

□Vestidor

Pers.Vest PERSIANA VESTIDOR, P2

Cal.Vest CALEFACCIÓ VESTIDOR, P2

Tvest SONDA DE TEMPERATURA AMB POTENCIÒMETRE

La calefacció de base solar la dóna l'habitació gran. S'aplicaran les prioritats persiana. La persiana és cara nord i només es tancarà per horari o manualment. La calefacció només actuarà sobre el terra radiant elèctric en funció de la sonda Tvest.

Pel càlcul de les pèrdues s'utilitzarà la taula 42, aplicant-hi un coeficient de seguretat i simultaneïtat del 20%:

VESTIDOR PLANTA 2	**S [m2]**	**U [W/m2.ºC]**
VIDRE EXTERIOR	1,4	1,74
PARET EXTERIOR	5,1	0,24
TEULADA	28	0,14

Taula 42. Coeficients tèrmics del vestidor

□Ventilació general

EX-1	EX-1.- EXTRACTOR 24h/dia
IAN-1	IAN-1.-IMPULSIÓ AIRE NOU 24h/dia
Mot	MOTOR DEL RECUPERADOR ROTATIU
Tnou.recup	SONDA TEMPERATURA AIRE NOU DESPRÈS RECUPERADOR
Tex.recup	SONDA TEMPERATURA AIRE EXTRET DESPRÈS RECUPERADOR
Ocupació de la casa	SENYAL D'OCUPACIÓ / DESOCUPACIÓ DE LA CASA

Els ventiladors de renovació d'aire IAN-1 i EX1 funcionen segons una programació horària. Es pararan en cas de desocupació de la casa a partir d'un contacte sec que donarà l'equip anti intrusió. Quan arribi aquest senyal de desocupació, els 2 extractors seguiran funcionant encara durant un temps programable, als voltants de 30 minuts, per fer un escombrat de l'aire de la casa. Quan es reb el senyal d'ocupació, s'activa la programació horària.

També es paren aquests extractors quan la temperatura exterior baixi per sota d'un punt de consigna programable (+5ºC) per evitar pèrdues excessives de calor en moments de freds extrems. En cas de desocupació prolongada ventilar una hora (programable) al dia en hores de sol.

El motor del recuperador rotatiu funcionarà sempre que vagin IAN-1, EX-1, EX-3, EX-4, EX-5, o quan vagi la funció d'assecador de roba. No funcionarà si cap d'aquests ventiladors funciona o quan s'està fent funció de free cooling .

La funció de free cooling es farà únicament quan s'activa la funció, si la temperatura promig de la casa és 3ºC per sobre del punt de consigna (càlcul de demanda de fred) i la temperatura exterior sigui inferior a aquesta; aleshores continuarà en funcionament el EX-1 i IAN-1 , parant el motor del recuperador Mot. La funció continua fent free cooling fins que la temperatura arriba a la de consigna.

☐Solar closet

Comp.S.C	VARIES COMPORTES MOTORITZADES TREBALLANT TOTES A L'HORA
Tcs	SONDA TEMPERATURA COL•LECTOR SOLAR D'AIRE
Tasc	SONDA TEMPERATURA ACUMULADA SOLAR CLOSET
Tex	SONDA TEMPERATURA EXTERIOR
IvertS	SONDA ENERGIA SOLAR INCIDENT SOBRE SUPERFÍCIE VERTICAL SUD
RSC-1	RSC-1.-RETORN SOLAR CLOSET PB
RSC-2	RSC-2.-RETORN SOLAR CLOSET P1
RSC-3	RSC-3.-RETORN SOLAR CLOSET PASSADÍS + DESPATX P2
Display 2	DISPLAY TEMPERATURA MENJADOR
Display 3	DISPLAY TEMPERATURA SOLAR CLOSET
Display 4	DISPLAY TEMPERATURA EXTERIOR

Si la temperatura al col·lector solar **Tsc** és superior a la temperatura acumulada al solar closet **Tasc**, s'obren al 100% totes les comportes motoritzades Comp.S.C. En cas contrari es tanquen totalment.

En funció del cabal dels ventiladors de calefacció solar ISC que estan en marxa en tota la casa, es posarà en funcionament els ventiladors de retorn del solar closet, RSC-1, RSC-2 o RSC-3.

En un armari d'intempèrie amb porta transparent s'han posat 3 displays amb la temperatura exterior, la temperatura acumulada al solar closet i la temperatura a l'interior del menjador.

☐Aigua calenta sanitària

AIGUA CALENTA SOLAR

DIP-1 RESISTÈNCIA ELÈCTRICA DE PRODUCCIÓ D'AIGUA CALENTA

Tds	TEMPERATURA DIPÒSIT SOLAR ACUMULAT
Tcs2	TEMPERATURA COL•LECTORS SOLAR D'ACS
B-SOLAR	BOMBA CIRCUIT SOLAR
B-RECIRCULACIO	BOMBA RECIRCULACIÓ ACS

La bomba del circuit solar B-solar es posarà en marxa, quan la sonda de temperatura del col·lector solar Tcs2 és superior a la temperatura del dipòsit acumulador d'aigua calenta solar, Tds, i es pararà quan això no sigui cert. Per engegar i parar es posarà un increment de temperatura de +-3ºC.

La bomba de recirculació de l'aigua calenta a l'interior de la casa funcionarà amb una programació horària.

☐Circuits d'enllumenat

	LLUM EXTERIOR
Screpus	SONDA CREPUSCULAR
Reserv 1	CIRCUIT RESERVA ENLLUMENAT
Reserv 2	CIRCUIT RESERVA ENLLUMENAT
Reserv 3	CIRCUIT RESERVA ENLLUMENAT

Hi ha 4 circuits d'enllumenat a controlar, el 26b i 3 de reserva. El 26b es posa en marxa amb la sonda crepuscular, i s'apaga o bé amb la sonda crepuscular (al matí) o amb la programació horària.

☐Electrodomèstics

Hi ha 3 electrodomèstics, la rentadora de roba, rentaplats i assecadora de roba, que han de funcionar de forma habitual amb tarifa nocturna. Així, el seu endoll tindrà corrent les hores programades amb tarifa nocturna, excepte que es polsi el polsador, que es posarà en marxa immediatament, sigui l'hora que sigui. Si es torna a polsar, s'ha de parar l'alimentació de l'endoll.

Pol.rentapl	POLSADOR RENTAPLATS
Rentaplats	CONTACTOR RENTAPLATS
Pol.rentado	POLSADOR RENTADORA
Rentadora	CONTACTOR RENTADORA
Pol.secador	POLSADOR ASSECADORA
Assecadora	CONTACTOR ASSECADORA

☐Rec del jardí

EV1	ELECTROVÀLVULA DE REC 24V
EV2	ELECTROVÀLVULA DE REC 24V
EV3	ELECTROVÀLVULA DE REC 24V
EV4	ELECTROVÀLVULA DE REC 24V
EV5	ELECTROVÀLVULA DE REC 24V
EV6	ELECTROVÀLVULA DE REC 24V
EV7	ELECTROVÀLVULA DE REC 24V

El rec del jardí es fa a partir de 7 circuits independents, que es controlen a través d'electrovàlvules de baixa tensió amb una programació horària setmanal.

5.9.5. Conclusions del sistema domòtic

El seguiment que es pot fer del sistema és extremadament acurat, i les conclusions a les que permet arribar són les que han fet disminuir prop d'un 20% el consum de calefacció en pocs anys, ajustant bàsicament el software.

6. COMPLIMENT DE LA NORMATIVA VIGENT A ESPANYA

El Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) és el marc normatiu que estableix les exigències que han de complir els edificis en relació amb els requisits bàsics de seguretat i habitabilitat establerts en la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE).

Aquesta nova normativa contribueix de manera decisiva al desenvolupament de les polítiques del Govern d'Espanya en matèria de sostenibilitat, en particular del Pla d'Acció de l'Estratègia d'Estalvi i Eficiència Energètica, i es converteix en instrument de compromisos de llarg abast del Govern en matèria mediambiental, com són el Protocol de Kyoto o l'Estratègia de Göteborg.

Amb el Codi Tècnic de l'Edificació es pretén donar compliment així a part de la directiva actuant sobre la demanda energètica dels edificis mitjançant l'adopció dels procediments opció simplificada o opció general.

Amb l'opció general, molt més precisa, s'avalua la demanda energètica de l'edifici mitjançant la comparació d'aquesta amb la corresponent a un edifici de referència que defineix la pròpia opció. Això requereix uns càlculs més complexos però de gran precisió, i es realitza amb un programa informàtic de referència que desenvolupa el mètode de càlcul fixat en el propi document Bàsic. La versió oficial d'aquest programa es denomina Limitació de la Demanda Energètica, LIDER, i té la consideració de document reconegut del CTE.

Tot i no ser obligatori el compliment del CTE a Andorra, i menys en el moment en que es va projectar i construir la casa 1997-2000, en que el CTE encara no estava aprovat, ha estat voluntat del doctorand verificar que es compleixi en tots els seus punts.

6.1 *Compliment del Código Técnico de la Edificación. Verificació del LIDER*

Per a modelitzar la casa, s'ha seguit una sèrie de simplificacions:

- Per a situar la població d'Engordany en una zona climàtica, s'ha situat en la mateixa zona de Lleida (zona D3) amb la corresponent diferencia d'altura amb la capital de província, obtenint la zona climàtica E1.

- La façana sud (col.lectors solars d'aire de calefacció) s'ha considerat com la resta de façanes exteriors, degut a que el programa no permet assimilar el funcionament d'un mur trombe a cap algoritme de càlcul. Per aquest motiu i pel fet que el col·lector es troba perfectament aïllat, es pot fer Aquesta simplificació.

- La segona planta de la casa, que integra les finestres amb la teulada, s'ha simplificat a l'hora d'introduir-ho al programa degut ala seva complexitat, modelizant-lo amb la forma d'una planta amb teulada inclinada. Aquesta simplificació és correcta assumint que l'error que es fa amb el programa és molt petit (veure Figura 62 i Figura 63).

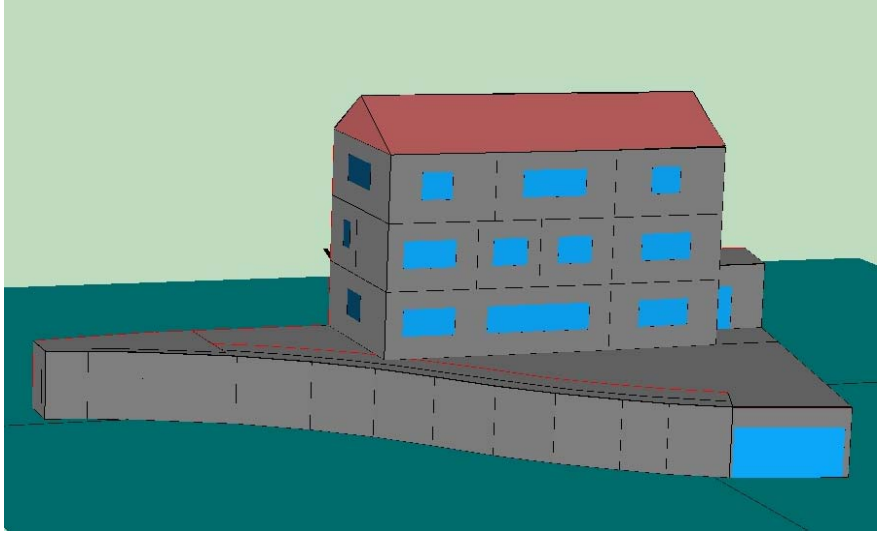


Figura 62. Vista façana Sud de la casa modelitzada

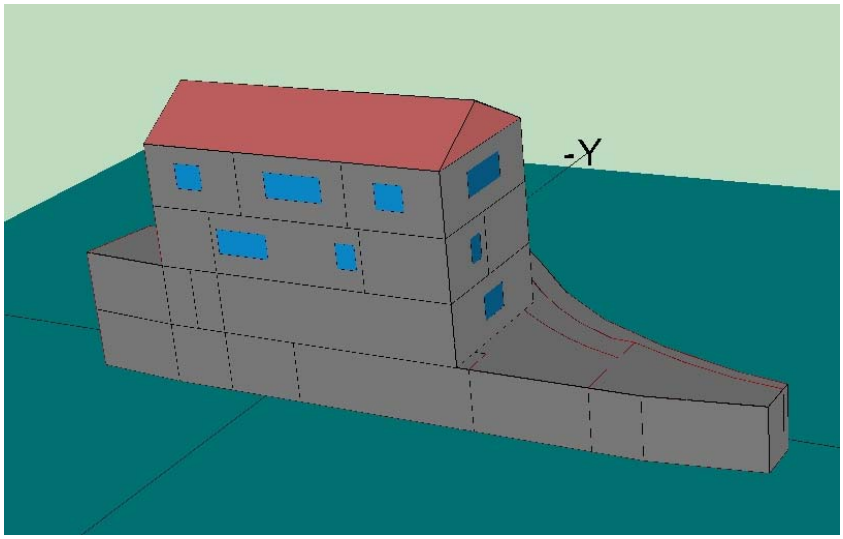


Figura 63. Vista façana Nord de la casa modelitzada

- La casa disposa de finestres de doble vidre de baixa emissivitat i amb marc d'alumini amb trencament de pont tèrmic. Per tal de complir amb la transmitància límit de forats segons el CTE, s'ha tingut que crear un marc metàl·lic personalitzat (d'acord amb les prestacions que indica el fabricant) ja que els que disposa la base de dades del programa no compleixen els requisits al estar en la zona E1, zona amb la exigència més alta. Per tal que els resultats del LIDER siguin vàlids, s'ha de justificar en les especificacions dels projecte que s'utilitzarà aquest tipus de marc i no un altre.
- Els ponts tèrmics de la casa han estat previstos en el seu disseny i la seva construcció, però per obtenir els resultats en un cas límit on els valors dels diferents ponts tèrmics siguin els de defecte en la zona, aquests no es modificaran en el programa. L'anàlisi dels diferents

ponts tèrmics es farà de manera exhaustiva més endavant mitjançant imatges termogràfiques.

6.1.1. Anàlisi de resultats

Els resultats obtinguts es presenten a la Figura 64.

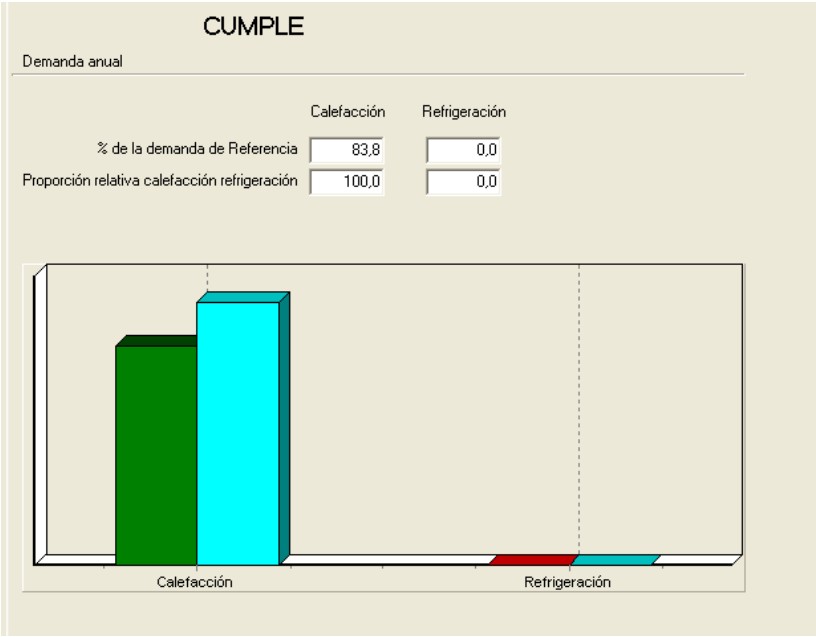


Figura 64. Resultats del programa LIDER

Cada color de barra representa té una demanda diferent:

- Blau → demanda edifici de referència
- Verd → demanda edifici objecte, inferior que la del edifici de referència
- Vermell → demanda edifici objecte major que la del edifici referència

Els resultats indiquen que l'edifici demanda el 83,8% de la demanda de referència en calefacció i el programa LIDER no considera la demanda de refrigeració .

Aquests resultats són correctes, ja que la casa compleix el CTE per al cas límit en el que no es considera el tractament dels ponts tèrmics realitzats.

6.2 *Compliment de la normativa Espanyola vigent. Disseny de la instal·lació solar de producció d'aigua calenta*

6.2.1. Càlcul de la radiació solar incident

6.2.1.1. Angles solars relatius a superfícies inclinades

Un dels càlculs més comuns en l'estudi de la radiació solar és el de la determinació de l'angle d'incidència del raig solar per a una superfície

orientada arbitràriament per tal de determinar la quantitat d'energia solar que hi arribarà.

L'orientació de la superfície irradiada (el captador solar) quedarà definida pel seu azimut γ, mesurat des del meridià local cap a l'equador i per la seva inclinació β, mesurada respecte el pla horitzontal.

6.2.1.2. Mitjana mensual de radiació solar extraterrestre

La mitjana diària de radiació solar es pot transformar en una mitjana diària de radiació solar seleccionant, per cada mes, el dia pel qual la radiació solar diària es consideri aproximadament igual a la mitjana del mes. Els dies característics recomanats venen donats per la Taula 43.

Mes	Dia de l'any (n)	Data
Gener	17	17 de gener
Febrer	47	16 de febrer
Març	75	16 de març
Abril	105	15 d'abril
Maig	135	15 de maig
Juny	162	11 de juny
Juliol	198	17 de juliol
Agost	228	16 d'agost
Setembre	258	15 de setembre
Octubre	288	15 d'octubre
Novembre	318	14 de novembre
Desembre	344	10 de desembre

Taula 43. Dia característic de cada mes

6.2.1.3. Mitjana diària mensual de radiació solar terrestre sobre un captador

Existeixen estacions de mesura que determinen la radiació mitjana diària mensual que arriba en cada zona determinada en superfície horitzontal, malgrat això, generalment no es disposa de dades de radiació solar sobre una superfície inclinada, aquest càlcul, sigui quina sigui la seva orientació, es realitza segons l'Eq 27.

$$\overline{H}_T = \overline{H}\cdot\overline{R} = \overline{H}\cdot\left[(1-\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}})\overline{R}_b + \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)\right] \qquad \text{Eq 27}$$

on: $\overline{H}$: radiació solar sobre una superfície horitzontal, en MJ/m^2 i dia.

$\overline{H}_d$: radiació solar difusa, en MJ/m^2 i dia.

$\overline{R}_b$: quocient mitjana mensual de radiació directa sobre una superfície inclinada i horitzontal

β : inclinació de la superfície sobre la que incideix la radiació, expressada en graus (º).

ρ : és la reflectància del sòl, i és adimensional.

L'Eq27 prové de [10] A. Mitjà, E. Batallla, Manual de Radiacion Solar. Tablas para Catalunya. Volumen I. UPC, Instituto de Técnicas Energéticas – ETSEIB

Mes	$\overline{H}$ [MJ/m^2·dia]
Gener	4,210
Febrer	6,346
Març	11,008
Abril	11,318
Maig	17,172
Juny	19,970
Juliol	21,266
Agost	17,748
Setembre	13,420
Octubre	9,948
Novembre	4,626
Desembre	3,244

$\overline{H}$

Taula 44. Radiació solar sobre superfície horitzontal a Pamplona

A la taula 44 s'observa la radiació solar diària sobre una superfície horitzontal, a la ciutat de Pamplona. S'ha seleccionat aquesta ciutat per la seves coordenades geogràfiques, similars a la població d'Engordany, adoptant les dades que es disposen de radiació per a la realització dels càlculs.

La radiació solar difusa, $\overline{H}_d$, acostuma a ser difícil de calcular ja que varia amb les condicions meteorològiques i és de caràcter irregular. En canvi, la fracció difusa de la radiació total mitjana mensual, $\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}$, es pot relacionar amb un coeficient de transmissió de l'atmosfera que s'anomena índex de nuvolositat, $\overline{K}_T$.

- El quocient $\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}$ es calcula amb l'equació Eq 28, provinent de [10] A. Mitjà, E. Batallla, Manual de Radiacion Solar. Tablas para Catalunya. Volumen I. UPC, Instituto de Técnicas Energéticas – ETSEIB

$$\overline{H}_d = \overline{H} \cdot \left(1{,}39 - 4{,}027 \cdot \overline{K}_T + 5{,}531 \cdot \overline{K}_T^{\,2} - 3{,}108 \cdot \overline{K}_T^{\,3}\right)$$ **Eq 28**

Els valors de l'índex de nuvolositat es presenten a la Taula 45

Mes	$\overline{K}_T$
Gener	0,31
Febrer	0,39
Març	0,34
Abril	0,34
Maig	0,41
Juny	0,48
Juliol	0,53
Agost	0,49
Setembre	0,46
Octubre	0,46
Novembre	0,31
Desembre	0,28

Taula 45. Índex de nuvolositat per a cada mes a la localitat de Pamplona.

6.2.1.4. Resultats

Els càlculs es realitzaran per a diferents inclinacions β de la superfície, a fi de poder determinar la inclinació òptima, és a dir, aquella que proporcioni la màxima quantitat d'energia durant els mesos de més demanda de calor. Per les característiques de la instal·lació, es consideraran a tal efecte els mesos d'hivern (gener, febrer, març, octubre, novembre i desembre), donat que hauran de proporcionar energia per a la calefacció i l'aigua calenta sanitària, mentre que a l'estiu només ho han de fer per l'aigua calenta. Les inclinacions considerades seran 15º, 20º, 25º, 30º, 35º, 40º, 45º, 50º, 55º, 60º, 65º i 70º.

Dades utilitzades es poden veure a la Taula 46:

ϕ (Latitud)	42º 30' NORD
γ (Azimut)	-17,5º SUD
ρ (Reflectància)	0,4

Taula 46. Dades de latitud, azimut i reflectància del terreny a l'edifici d'estudi

La declinació solar es calcula:

$$\delta = 23{,}45^{\circ} \cdot \sin\left[360 \cdot \left(\frac{284 + n}{365}\right)\right]$$ **Eq 29**

On: n, el dia característic de cada mes, s'extreu de la Taula 43. Dia característic de cada mes".

L'angle de posta de sol es calcula amb la següent expressió (Duffie i Beckman, 1991):

$$\omega_s = \arccos(-\tan\phi \cdot \tan\delta)$$ **Eq 30**

Les equacions Eq27 fins Eq30 provenen del llibre [10] A. Mitjà, E. Batallla, Manual de Radiacion Solar. Tablas para Catalunya. Volumen I. UPC, Instituto de Técnicas Energéticas - ETSEIB

Els resultats del càlcul de la mitjana mensual diària de radiació solar sobre una superfície inclinada es poden veure a la Taula 47.

Mes	$\overline{H}_T$ (MJ/m²/dia)								
	$\beta = 30^o$	$\beta = 35^o$	$\beta = 40^o$	$\beta = 45^o$	$\beta = 50^o$	$\beta = 55^o$	$\beta = 60^o$	$\beta = 65^o$	$\beta = 70^o$
1	6,193	6,426	6,627	6,792	6,922	7,015	7,070	7,086	7,065
2	5,996	6,173	6,317	6,428	6,504	6,545	6,550	6,521	6,456
3	12,858	12,972	13,026	13,020	12,955	12,830	12,647	12,407	12,112
4	11,835	11,753	11,624	11,448	11,226	10,960	10,652	10,306	9,922
5	16,767	16,474	16,119	15,704	15,233	14,710	14,138	13,523	12,870
6	18,783	18,343	17,837	17,269	16,643	15,964	15,238	14,472	13,673
7	20,348	19,912	19,400	18,813	18,157	17,437	16,659	15,830	14,958
8	18,300	18,108	17,837	17,487	17,062	16,564	15,997	15,368	14,680
9	15,551	15,647	15,665	15,606	15,469	15,256	14,967	14,606	14,176
10	13,529	13,894	14,185	14,397	14,531	14,585	14,558	14,451	14,264
11	6,563	6,784	6,971	7,122	7,236	7,312	7,350	7,349	7,309
12	4,770	4,951	5,108	5,238	5,342	5,417	5,464	5,482	5,471
Total Hivern (MJ/m²)	1522,6	1561,9	1593,3	1616,5	1631,4	1637,8	1635,7	1625,2	1606,3
Total Any (MJ/m²)	4625,5	4623,5	4601,1	4558,3	4495,5	4413,2	4312,1	4193,1	4057,1

Taula 47. Càlcul de la mitjana de radiació solar per diferents inclinacions

S'agafa com inclinació òptima la de $\beta = 55^{o}$ perquè és la major captació de radiació a l'hivern (període de Octubre a Març) que és quan més demanda de calor tenim, com es pot observar clarament en la Figura 65. Gràfica de la radiació solar incident respecte la inclinació.

Com s'ha comentat, a la casa objecte del treball s'han aplicat criteris d'integració arquitectònica, és per això que els captadors solars d'ACS es troben integrats en la façana sud amb una inclinació de 40**º**.

Aquesta inclinació és diferent de l'òptima calculada, ja que d'aquesta manera s'aconsegueix seguir el contorn de la casa i que els col·lectors quedin fixats a la façana sense sobresortir. El fet que la casa estigui a la vessant de la muntanya fa que els captadors tinguin prou radiació incident en aquesta posició, com es mostra en la Figura 66.

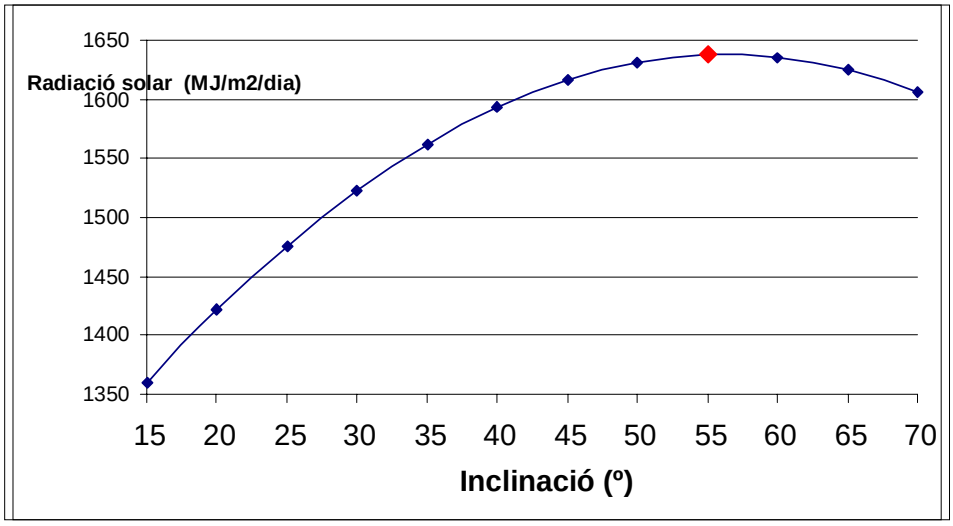


Figura 65. Gràfica de la radiació solar incident respecte la inclinació

6.2.1.5. Càlcul de les pèrdues per inclinació i orientació

Les pèrdues límit per la inclinació i orientació permeses en el CTE es mostren a la Taula 48.

Aquestes pèrdues es calculen en funció de:

- Angle d'inclinació (β), definit com l'angle que forma la superfície dels mòduls amb el pla horitzontal (Figura 67). Per els col·lectors de la casa, prenen un valor de β = 40º

Figura 66. Col·lectors solars d'aigua calenta integrats arquitectònicament

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Taula 48. Pèrdues límit

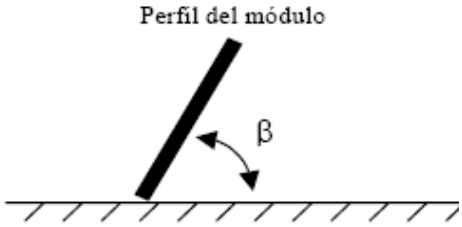


Figura 67. Inclinació dels mòduls

- Angle d'azimut (α), definit com l'angle entre la projecció sobre el pla horitzontal de la normal a la superfície del mòdul i el meridià del lloc (Figura 68). Per els col·lectors de la casa, prenen un valor de α = -17,5º respecte el Sud.

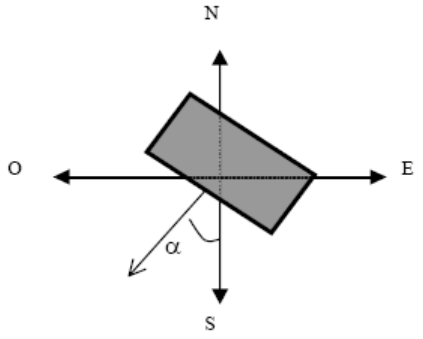


Figura 68. Orientació dels mòduls

Com instrument de verificació, s'utilitza segons el CTE HE 4, l' $Pèrdues(\%) = 100 \cdot \left[1{,}2 \cdot 1{,}0^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2\right]$ Eq 31 per a 15º< β<90º:

$$Pèrdues(\%) = 100 \cdot \left[1{,}2 \cdot 1{,}0^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2\right] \qquad \textbf{Eq 31}$$

On:

β_{opt} : inclinació òptima, depèn del període d'utilització, per una demanda preferent en hivern, β_{opt} =latitud geogràfica+10º, i per a Engordany pren un valor de 42º+10º=52º

Resolent l' $Pèrdues(\%) = 100 \cdot \left[1{,}2 \cdot 1{,}0^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2\right]$ Eq 31, obtenim unes pèrdues del 2,8%, i es comprova que es troba en la franja del 5% calculada per mitjà de la Figura 69. Percentatge d'energia respecte al màxim de pèrdues

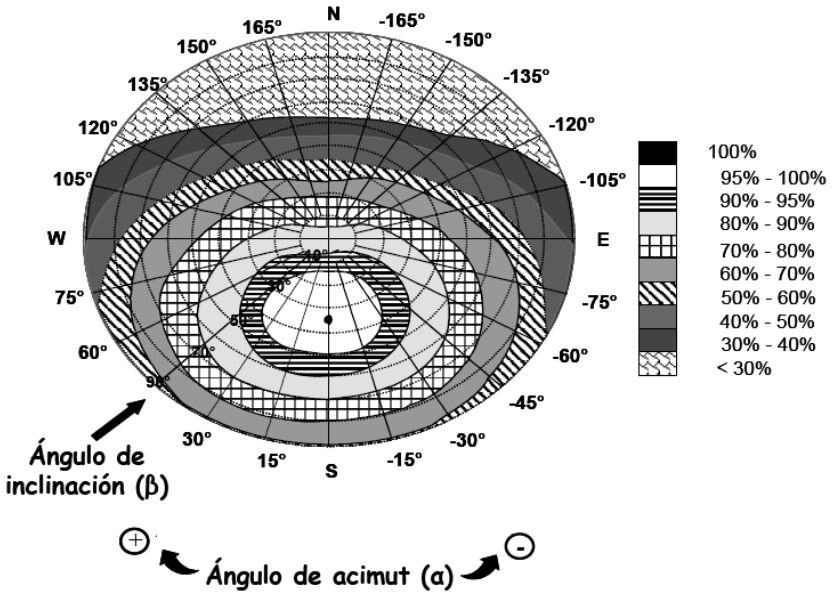


Figura 69. Percentatge d'energia respecte al màxim de pèrdues

6.2.1.6. Càlcul de les pèrdues de radiació solar per ombres

El procediment es basa en comparar el perfil dels obstacles que afecten a la casa d'estudi, representats a la Figura 70 amb el diagrama de trajectòries del sol que es troba en el DB HE del CTE (
Figura 71). Aquesta comparació permet calcular les pèrdues per ombres de la irradiació solar global que incideix sobre la superfície al llarg de tot l'any. Cada una de les porcions representa el recorregut del sol en un cert període de temps (una hora al llarg de varis dies) i té, per tant, una determinada contribució a la irradiació solar global anual que incideix sobre la superfície d'estudi. Per això es suma les contribucions de les porcions que resulten total o parcialment ocultes per al perfil d'obstacles representat.

A la Taula 49, es refereix a la superfície caracteritzada més semblant a la superfície d'estudi, on els números corresponen al percentatge de irradiació solar global anual que es perd si la porció corresponent resulta interceptada per un obstacle. A la Taula 50 s'han fet els càlculs del percentatge de radiació no interceptat per ombres, donant un 58,1 %. La resta es sol que ja no arriba a la casa degut ombres de muntanyes i edifici veí.

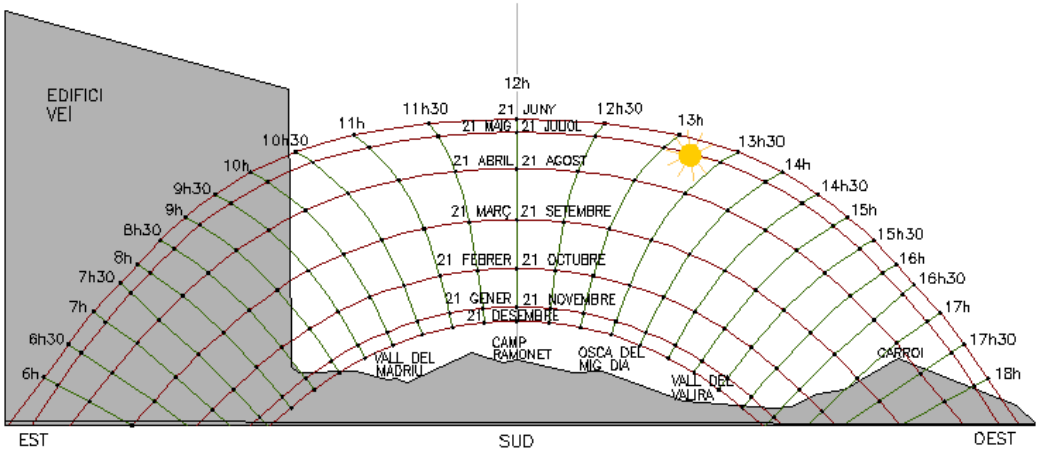


Figura 70. Perfil d'ombres que afecten a la casa

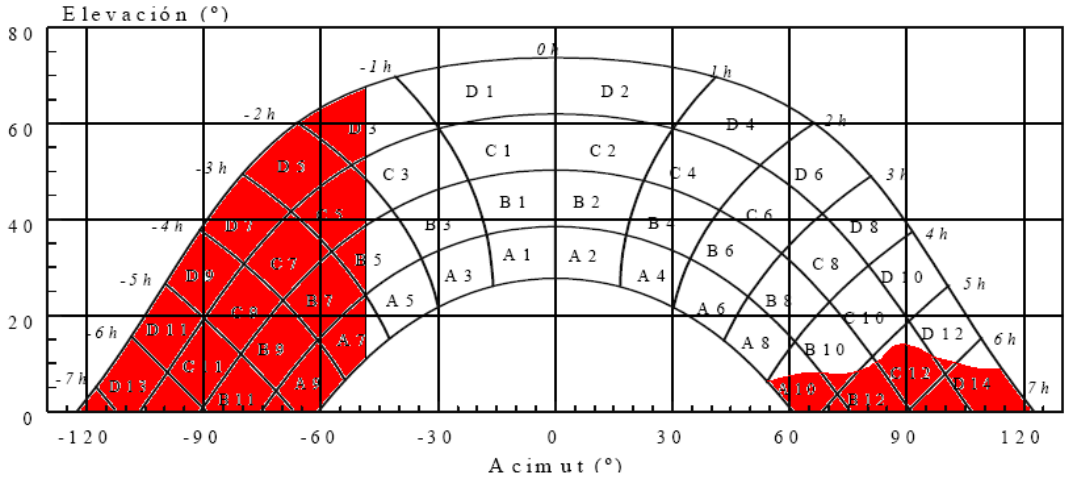


Figura 71. Diagrama de trajectòries del Sol

	β=35º ; α= -30º			
	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,34	1,28	1,73	3,79
5	2,17	1,79	2,21	4,70
3	2,90	2,05	2,43	5,20
1	3,12	2,13	2,47	5,20
2	2,88	1,96	2,19	4,77
4	2,22	1,60	1,73	3,91
6	1,27	1,11	1,25	2,84
8	0,52	0,57	0,65	1,64
10	0,02	0,10	0,15	0,50
12	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,00	0,00	0,00	0,08

Taula 49. Taula de referència de pèrdues anuals segons CTE

PORCIÓ	% DE SOL DE LA PORCIÓ	COEFICIENT DE LA TAULA 49	% DE RADIACIÓ SOLAR
D3	50%	5,2	2,6%
D1	100%	5,2	5,2%
D2	100%	4,77	4,8%
D4	100%	3,91	3,9%
D6	100%	2,84	2,8%
D8	100%	1,64	1,6%
D10	100%	0,5	0,5%
D12	80%	0,05	0,0%
C5	20%	2,21	0,4%
C3	90%	2,43	2,2%
C1	100%	2,47	2,5%
C2	100%	2,19	2,2%
C4	100%	1,73	1,7%
C6	100%	1,25	1,3%
C8	100%	0,65	0,7%
C10	100%	0,15	0,2%
C12	10%	0,03	0,0%
B5	30%	1,79	0,5%
B3	100%	2,05	2,1%
B1	100%	2,13	2,1%
B2	100%	1,96	2,0%
B4	100%	1,6	1,6%
B6	100%	1,11	1,1%
B8	100%	0,57	0,6%
B10	85%	0,1	0,1%
A7	30%	1,34	0,4%
A5	100%	2,17	2,2%
A3	100%	2,9	2,9%
A1	100%	3,12	3,1%
A2	100%	2,88	2,9%
A4	100%	2,22	2,2%
A6	100%	1,27	1,3%
A8	100%	0,52	0,5%
A10	30%	0,02	0,0%
		TOTAL RADIACIÓ	**58,1%**

Taula 50. Càlcul del percentatge de radiació no interceptada per ombres

6.2.2. Càlcul de la irradiació solar

La irradiació solar mitjana, Is ,es calcula a partir de l'

Eq **32**, obtinguda al llibre [10] A. Mitjà, E. Batallla, Manual de Radiacion Solar. Tablas para Catalunya. Volumen I. UPC, Instituto de Técnicas Energéticas - ETSEIB

$$I_s = \frac{\overline{H}_T\left[MJ/m^2/dia\right]\cdot N_{dm}[dies/mes]}{\overline{H}_T \quad N_{hc}\left[h/mes\right]}\cdot\frac{10^6\,J}{1MJ}\cdot\frac{1h}{3.600s} \qquad \textbf{Eq 32}$$

On:

$\overline{H}_T$ és el valor de la mitjana mensual diària de radiació solar sobre una superfície inclinada, (calculat en l'apartat 5.2.1.3)

N_{dm} és el nombre de dies de cada mes.

El paràmetre N_{hc} s'obté a partir de dades meteorològiques. L'Instituto Nacional de Meteorología ha establert en una estadística del període 1971-2000 el nombre d'hores de sol de cada mes (Taula 51). A partir d'aquesta dada es pot determinar la irradiació solar mitjana (I_s) que hi ha sobre la superfície de la casa objecte del projecte per la inclinació òptima de 55ºC (Taula 51).

6.2.3. Càlcul de l'energia necessària per la producció d'aigua calenta

La Taula 52 presenta la demanda d'aigua calenta segons l'ús de l'edifici, tal com diu la norma UNE 94002:2005 "Instalaciones solares termicas para producción de agua caliente sanitaria: calculo de la demanda energetica" i en la que es basa el CTE HE.

La càrrega mensual d'escalfament d'ACS per a la casa unifamiliar, LACS, en J, es pot calcular amb l'

$$L_{ACS} = 30\frac{L}{pers\cdot dia}\cdot(\text{nombre habitants})\cdot \mathrm{N}\cdot\rho_{\mathrm{H_2O}}\cdot c_{pH_2O}\cdot(60^{\circ}C - T_{xarxa})$$

Eq 33, provinent de [11] Recknagel, Sprenger, Schramek, Manuel Practique du Génie Climatique. Vol 2.- Chauffage et production d'eau chaude sanitaire.

:

$$L_{ACS} = 30\frac{L}{pers\cdot dia}\cdot(\text{nombre habitants})\cdot \mathrm{N}\cdot\rho_{\mathrm{H_2O}}\cdot c_{pH_2O}\cdot(60^{\circ}C - T_{xarxa}) \qquad \textbf{Eq 33}$$

On: N són els dies del mes,

ρ_{H2O} és la densitat de l'aigua (1 kg/L),

c_{pH2O} és la calor específica de l'aigua (4.186 J/kg·ºC), i

T_{xarxa} és la temperatura de l'aigua de la xarxa de subministrament.

El nombre d'habitants de la vivenda objecte del projecte és cinc i els valors de la temperatura de l'aigua potable de xarxa (T_{xarxa}) per a la població d'Engordany, s'ha estimat a partir d'altres dades de poblacions pròximes amb similars característiques climatològiques, en el que respecta a la temperatura de l'agua de xarxa, com la ciutat de Lleida i es mostren en la Taula 53. Els resultats dels càlculs es mostren a la Taula 54.

Mes	N_{hc} (h/mes)	I_s (W/m^2)
Gener	116	520,75
Febrer	167	304,82
Març	226	488,85
Abril	248	368,28
Maig	279	454,01
Juny	313	425,03
Juliol	348	431,47
Agost	313	455,7
Setembre	250	508,53
Octubre	200	627,97
Novembre	137	444,77
Desembre	96	485,9

Taula 51. Nombre d'hores de sol de cada mes i irradiació solar mitja sobre la superfície de la casa

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Taula 52. Demanda d'aigua calenta de referència a 60ºC

6.2.3.1. Contribució solar mínima d'aigua calenta sanitària

Segons el DB HE-4 del CTE s'ha de garantir una contribució solar mínima anual d'ACS. Aquesta ha de ser la fracció entre els valors anuals de l'energia solar aportada exigida i la demanda energètica anual, obtinguda a partir dels valors mensuals.

Mes	T_{xarxa} (ºC)
Gener	5
Febrer	6
Març	8
Abril	10
Maig	11
Juny	10
Juliol	12
Agost	13
Setembre	11
Octubre	10
Novembre	8
Desembre	5

Taula 53. Temperatura estimada de l'aigua de la xarxa a Engordany

Mes	MJ	W
Gener	1070,57	399,70
Febrer	949,38	392,44
Març	1012,17	377,90
Abril	941,85	363,37
Maig	953,78	356,10
Juny	904,18	348,83
Juliol	914,85	341,57
Agost	934,32	348,83
Setembre	923,01	356,10
Octubre	973,25	363,37
Novembre	979,52	377,90
Desembre	1070,57	399,70
TOTAL	**11627,45**	**4425,82**

Taula 54. Resultats de la carrega mensual d'ACS

6.2.3.2. Determinació de la zona climàtica

La Taula 55 i la Figura 72 marquen els límits de les zones homogènies a efectes de la exigència. Les zones s'han definit tenint en compte la Radiació Solar Global mitja diària anual sobre superfície horitzontal (H), prenent els intervals que es relacionen per cada una de les zones.

Zona Climàtica	MJ/m^2	kWh/m^2
I	H<13,7	H<3,8
II	13,7<H<15,1	3,8<H<4,2
III	15,1<H<16,6	4,2<H<4,6
IV	16,6<H<18,0	4,6<H<5,0
V	H>18,0	H>5,0

Taula 55. Radiació solar global

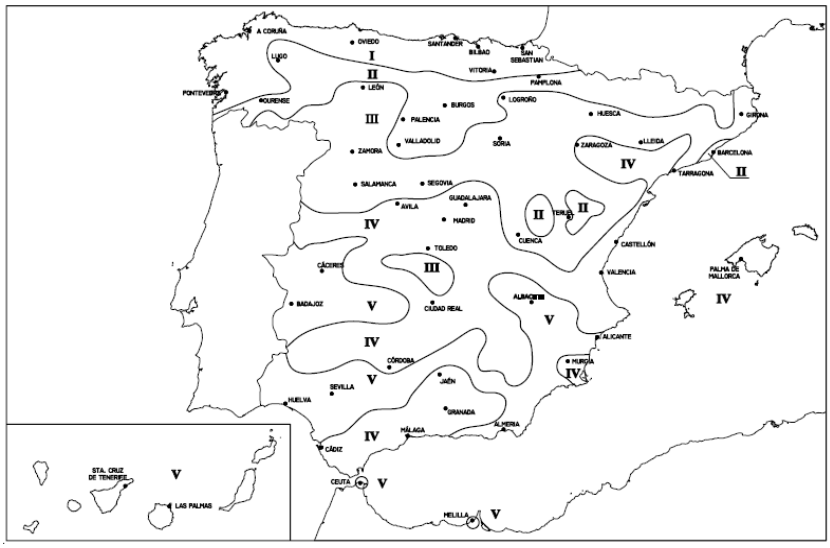


Figura 72. Zones climàtiques

La casa objecte del projecte es troba en la localitat d'Engordany (principat d'Andorra) tot i que en la Figura 72 no s'engloba Andorra en cap zona, es pot incloure en la zona climàtica II.

6.2.3.3. Càlcul de la contribució solar mínima

En la Taula 56 s'indica la contribució solar mínima anual, per cada zona climàtica i diferents nivells de demanda d'ACS a una temperatura de referència de 60ºC, considerant que la font energètica de recolzament sigui electricitat mitjançant efecte Joule.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

Taula 56. Contribució solar mínima en %. Cas efecte Joule.

La demanda d'ACS del edifici es pot calcular segons CTE HE:

$$L_{ACS} = 30 \frac{L}{dia} \cdot (\text{per persona}) \qquad \textbf{Eq 34}$$

El nombre d'habitants de la vivenda és cinc, i la demanda s'ha estimat en 150 l/d. Com la casa es troba en la zona climàtica II, la contribució solar mínima que ens obliga el CTE és del **60%** del consum. La Taula 57 representa les dades reals de consum d'aigua calenta, de l'energia necessària per produir-la i de l'energia total perduda en la recirculació interior de l'edifici. El factor solar aconseguit aquí és del 71%, superior al 60% que demana el CTE.

DATA	NOMBRE DE DIES	COMPTADOR D'HORES RESISTENCIA	CONSUM ELÈCTRIC [kWh]	COMPTADOR D'AIGUA CALENTA [litres]	DEMANDA D'ENERGIA PER ESCALFAR L'AIGUA [kWh]	PERDUES ENERGÈTIQUES EN LA RECIRCULACIÓ [kWh]	COBERTURA SOLAR
28-7-08		27116	155	187835	214,20	858,00	86%
9-9-08	43	27143	67,5	190077	104,13	1.475,76	96%
20-9-08	11	27227	210	192652	119,59	377,52	58%
22-9-08	2	27241	35	193040	18,02	68,64	60%
6-10-08	14	27325	210	197014	184,57	480,48	68%
15-10-08	9	27360	87,5	198180	54,15	308,88	76%
25-10-08	10	27431	177,5	201281	144,02	343,20	64%
29-11-08	35	27677	615	210235	415,86	1.201,20	62%
TOTAL	**124**	**561**	**1.558 kWh**	**22400**	**1.255 kWh**	**5.114 kWh**	**71%**

Taula 57. Dades reals de consum d'aigua calenta en litres i energia d'escalfament + pèrdues d'energia en la recirculació

6.2.4. Quantitat d'anticongelant en el circuit primari

En primer lloc cal determinar el percentatge en pes de propilenglicol que haurà de contenir el fluid caloportador del circuit primari dels col·lectors solars. Per determinar-ho, s'estableix fins a quina temperatura la mescla no es congelarà, basant-se en dades meteorològiques.

La relació entre la fracció de propilenglicol que conté una mescla i el seu punt de congelació es pot veure a la Figura 73 i s'ha extret de "Comentarios al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios" IDAE (1998).

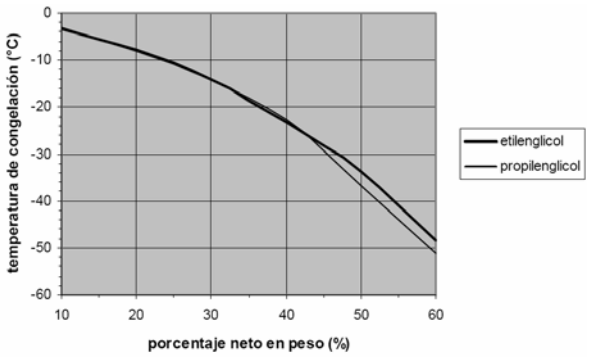


Figura 73. Temperatura de congelació en funció del percentatge

Per trobar la temperatura mínima històrica de la ciutat d'Engordany, el Servei Meteorològic d'Andorra i la FEDA (Forces Elèctriques d'Andorra) faciliten les dades anuals de temperatures des del 1934.

Any	Temp. mínima anual (ºC) Central Elèctrica	Temp. mínima anual (ºC) Engolasters	Temp. mínima anual (ºC) Ransol
1996	-7	-12	-14
1997	-7	-9	-13
1998	-5	-10	-12
1999	-10	-13	-16
2000	-7	-9	-14
2001	-9	-10	-14
2002	-5	-6	-10
2003	-10	-12	-15
2004	-6	-10	-13
2005	-10	-14	-19
2006	-7	-8	-12

Taula 58. Temperatura mínima absoluta registrada a Engordany entre 1996 i 2006.

S'ha considerat la temperatura mínima enregistrada dels últims deu anys en les estacions meteorològiques pròximes a la casa (Taula 58).

La temperatura mínima del període és de -19ºC, a pesar de ser un cas aïllat i a una alçada superior a la d'Engordany, es considera una temperatura mínima de -20ºC per tenir un marge de seguretat. Utilitzant el gràfic de la Figura 73, s'obté que el percentatge en pes de propilenglicol ha de ser del 35%.

A partir de la Taula 59 es pot determinar la densitat de la mescla anticongelant i aigua i amb la Taula 60 el calor específic de la mescla, que prenen un valor de 1.030 kg/m^3 i 3.830,9 J/kg.ºC respectivament.

% en massa de propilenglicol	0	10	20	30	40	50	60
Densitat (kg/m^3)	1.000	1.008	1.017	1.026	1.034	1.041	1.046

Taula 59. Densitat de les mescles propilenglicol-aigua.

% en massa de propilenglicol	0	10	20	30	40	50	60
Calor específic (J/kg·ºC)	4.186,8	4.103,1	4.019,3	3.914,7	3.747,2	3.558,8	3.370,4

Taula 60. Calor específic de les mescles propilenglicol-aigua.

Per determinar la viscositat dinàmica de la barreja (μ) es disposa de la informació de la Figura 74, donada pel fabricant, Lyondell. Com la viscositat està en funció de la temperatura, s'ha d'establir la temperatura mitjana de treball del fluid caloportador. Aquesta pren el valor de 40ºC, ja que les temperatures d'entrada i sortida dels col·lectors solars són 25 i 55ºC, respectivament. Com que el gràfic està en graus Fahrenheit, s'ha de realitzar la conversió de ºC a ºF:

$$T(^{o}F) = 1{,}8 \cdot T(^{o}C) + 32 = 1{,}8 \cdot 40 + 32 = 104^{o}F \qquad \textbf{Eq 35}$$

El resultat és de 2 cps, que expressat en unitats del Sistema Internacional és $2 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$.

Per finalitzar, es pot calcular la viscositat cinemàtica de la mescla (υ), amb l' $\upsilon = \frac{\mu}{\rho}$ Eq 36 i obtenint el resultat de 1,94·10^{-6} m^2/s.

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho} \qquad \textbf{Eq 36}$$

El percentatge en volum de propilenglicol es determina, coneixen les densitats de la mescla i de l'aigua:

$$f_p^{VOL} = 1 - \frac{\rho}{\rho_a} \cdot \left(1 - f_p^{MAS}\right) \qquad \textbf{Eq 37}$$

On: f_p^{VOL} és la fracció volumètrica de propilenglicol, en tant per u,

ρ és la densitat de la mescla, 1.030 kg/m^3,

ρ_a és la densitat de l'aigua, 1.000 kg/m^3, i

f_p^{MAS} és la fracció màssica de propilenglicol, i val 0,35.

Si es substitueixen els valors, s'obté una fracció volumètrica de propilenglicol de 0,33. El punt d'ebullició del fluid és una altra dada

important, que influirà sobre els dispositius de seguretat de la instal·lació. Segons la Taula 61, la temperatura d'ebullició a pressió atmosfèrica d'una solució aquosa de propilenglicol al 35% en massa és de 103,1ºC.

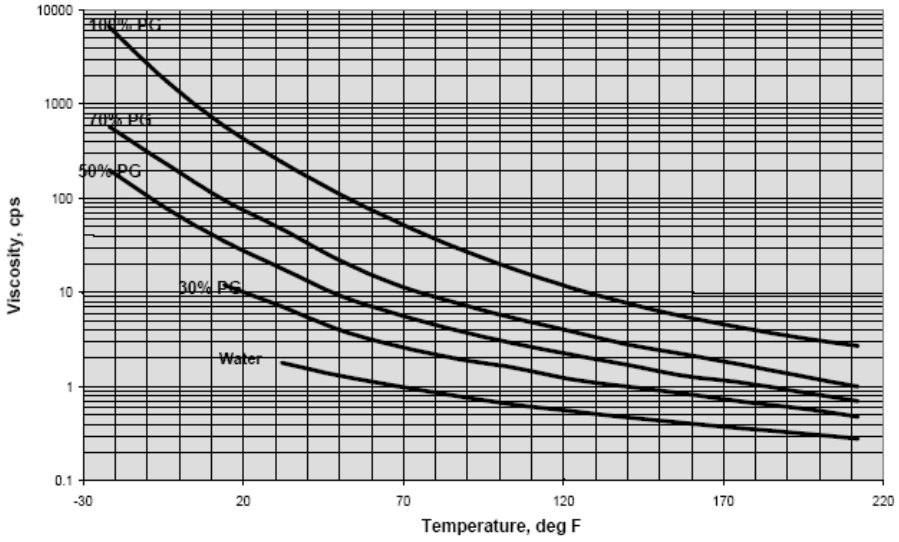


Figura 74. Viscositat dinàmica de les mescles aigua-propilenglicol en funció de la temperatura.

	Boiling Point						
Propylene Glycol Solution (% by mass)	0	10	20	30	40	50	60
Temperature (ºF)	212	212	213	216	219	222	225

Taula 61. Temperatura ebullició de les mescles aigua-propilenglicol.

Com a resum de les propietats del fluid caloportador s'ha elaborat la Taula 62.

6.2.5. Cabal del circuit primari

Segons el CTE DB HE 4, el cabal del fluid portador que circuli pels col·lectors solars ha d'estar comprès entre 1,2 i 2 l/s per cada 100 m^2 de superfície col·lectora.

En aquesta tesi es tria el cabal de 1,25 l/s per 100 m^2, que equival a 0,0125 $L/s \cdot m^2$. Per determinar el cabal màssic s'utilitza:

$$G_{fluid} = \frac{C}{Ac} \cdot \rho \qquad \textbf{Eq 38}$$

Aplicant el valor de la densitat del fluid caloportador (veure Taula 62), el cabal màssic de fluid caloportador per unitat de superfície col·lectora dóna un valor de $4{,}292 \cdot 10^{-3}$ $kg/s \cdot m^2$.

6.2.6. Rendiment del col·lector

En la casa objecte del treball s'han aplicat tots els criteris d'integració arquitectònica possibles, un d'ells, és la integració dels col·lectors solars.

Per a dur a terme l'aprofitament d'energia del sol de manera eficient i preservant la uniformitat arquitectònica de la zona, s'ha seleccionat el col·lector de la marca Jacques Giordano Industries, concretament el model C2 que té una superfície de captació de 0,6 m^2.

Punt de fusió	-20ºC
% en massa de propilenglicol	35
% en volum de propilenglicol	33
Densitat (kg/m^3)	1.030
Calor específic (J/kg·ºC)	3.830,9
Temperatura de treball (ºC)	40
Viscositat dinàmica (Pa·s)	$2 \cdot 10^{-3}$
Viscositat cinemàtica (m^2/s)	$1{,}94 \cdot 10^{-6}$
Temperatura d'ebullició a 100 kPa (ºC)	103,1

Taula 62. Resum de les propietats del fluid caloportador del circuit primari.

Aquests queden fixats a la façana sense sobresortir i sense necessitat de instal·lar-los a la teulada ja que disposen de suficient radiació incident en aquesta posició.

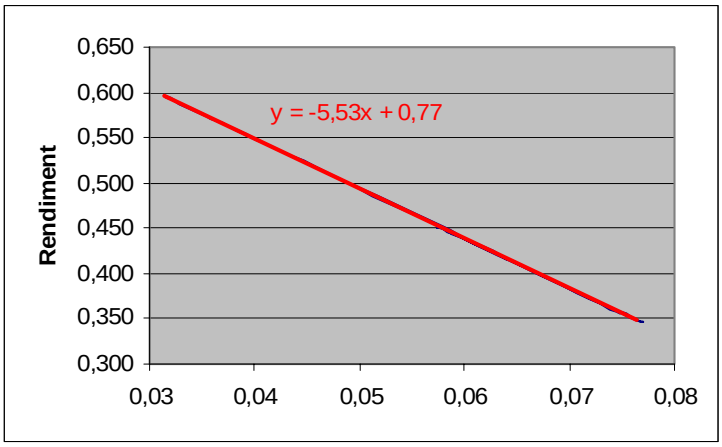


Figura 75. Recta de rendiment del col·lector C2 de Jacques Giordano Industries.

El col·lector triat té la següent recta de rendiment segons [12] J.A. Duffie – W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes:

$$\eta = \frac{Q_{útil}}{I_s \cdot A_c} = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{T_e - T_a}{I_s} \qquad \textbf{Eq 39}$$

On: $F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)$ és el factor de guany, adimensional, amb valor 0,77.

$F_R \cdot U_L$ és el coeficient global de pèrdues, en W/m^2·ºC, amb valor 5,53.

T_e és la temperatura d'entrada del fluid caloportador, en ºC, (s'ha estimat 40ºC).

T_a és la temperatura mitjana durant les hores de Sol, en ºC, (Taula 63).

I_s és la irradiació solar mitjana sobre la superfície del col·lector, en W/m2 (Taula 63).

El resultat del càlcul del rendiment per a cadascun dels mesos de l'any es mostra en la Taula 63 i en la Figura 75 s'observa la recta del rendiment.

L'eficiència d'un bescanviador, ε, és la relació entre l'energia absorbida del primari per part del bescanviador i l'energia cedida pel mateix al secundari, i mesura les pèrdues de calor que s'hi produeixen.

Mes	**I_s (W/m^2)**	**T_a (ºC)**	**T_e (ºC)**	**Rendiment**
Gener	491,95	4,9	40	0,375
Febrer	429,59	7,2	40	0,348
Març	496,32	11,4	40	0,451
Abril	390,59	14,6	40	0,410
Maig	497,50	18,3	40	0,529
Juny	474,89	21,9	40	0,559
Juliol	480,04	24,8	40	0,595
Agost	490,72	24,6	40	0,596
Setembre	522,17	21,6	40	0,575
Octubre	610,74	15,5	40	0,548
Novembre	424,03	9,5	40	0,372
Desembre	458,18	5,7	40	0,356

Taula 63. Rendiment mensual del col·lector C2 de Jacques Giordano Industries

6.2.7. Factor captador-bescanviador

Malgrat que aquest bescanviador de calor no és una part del captador, és convenient definir un altre factor d'eficàcia, F'_R, que substitueix a F_R per considerar el rendiment combinat del captador i el bescanviador. La relació F'_R/F_R es denomina factor captador-bescanviador, és un índex que varia

entre 0 i 1 i indica la disminució d'energia útil obtinguda deguda a la utilització del bescanviador:

$$\frac{F'_R}{F_R} = \frac{1}{1+\left(\frac{A_c \cdot F_R \cdot U_L}{(\dot{m}\cdot c_p)_c}\right)\cdot\left[\left(\frac{(\dot{m}\cdot c_p)_c}{\varepsilon\cdot(\dot{m}\cdot c_p)_{\min}}\right)-1\right]} \qquad \textbf{Eq 40}$$

On: $F_R \cdot U_L$ és el factor de guany del captador (adimensional)

$(\dot{m}\cdot c_p)_c$ és el producte del cabal màssic i la capacitat calorífica del fluid

$(\dot{m}\cdot c_p)_{\min}$ és el producte mínim de cabal màssic i la capacitat calorífica dels fluids, W/ºC

ε és l'eficiència del bescanviador

A_c és l'àrea de captació

Com que arribats a aquest punt es desconeixen els valor A_C i $(\dot{m}\cdot c_p)_{\min}$, es suposarà que:

$$(\dot{m}\cdot c_p)_{\min} = G_{fluid}\cdot A_c \qquad \textbf{Eq 41}$$

De manera que l' $\frac{F'_R}{F_R} = \frac{1}{1+\left(\frac{A_c \cdot F_R \cdot U_L}{(\dot{m}\cdot c_p)_c}\right)\cdot\left[\left(\frac{(\dot{m}\cdot c_p)_c}{\varepsilon\cdot(\dot{m}\cdot c_p)_{\min}}\right)-1\right]}$ Eq 40

queda:

$$\frac{F'_R}{F_R} = \frac{1}{1+\left(\frac{F_R \cdot U_L}{G_{fluid}\cdot c_p}\right)\cdot\left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)} \qquad \text{Eq 42}$$

L'eficiència del bescanviador és un paràmetre que es desconeix, però es pot estimar, per a fer els càlculs s'estableix ε = 0,7 com a valor usual. Aleshores, substituint els valors ja coneguts a l'equació anterior, es troba que el factor captador-bescanviador, és de 0,9993.

El factor F'_R/F_R és un indicador de l'augment de temperatura que es necessita en el fluid del primari per tal de cobrir les pèrdues energètiques que imposa el bescanviador degut a la seva eficiència.

Les equacions Eq40 fins Eq42 provenen de [12] J.A. Duffie – W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes.

6.2.8. Càlcul de la superfície col·lectora necessària

Un cop ja es coneixen les necessitats de la vivenda, i la irradiació solar sobre la superfície on es col·locaran els col·lectors, s'ha de determinar quants metres quadrats de superfície de captació són necessaris per cobrir de manera eficaç la demanda.

L'equació que s'utilitzarà per a calcular la superfície captadora és segons [14] F.Kreith, J.F.Kreider. Principles of Solar Engineering :

$$\eta = \frac{Q}{I_S \cdot A_c} \qquad \textbf{Eq 43}$$

on: Q és la carrega mensual d'escalfament (W)

I_S és la radiació solar instantània (W/m^2)

A_c és l'àrea de captació solar del captador (m^2)

η és el rendiment del col·lector

Les dades utilitzades per al càlcul del nombre de col.lectors es representen a la Taula 64, on els valors de la radiació solar instantània són els de la inclinació real dels col·lectors (40º), i no els de la inclinació òptima teòrica calculada anteriorment (55º).

Mes	L_{ACS} (W)	I_s (W/m^2)	η col·lector	m^2 necessaris	nº col·lectors necessaris	nº col·lectors instal·lats
Gener	414,24	491,95	0,375	2,167	4,33	5
Febrer	406,97	429,59	0,348	2,625	5,25	5
Març	392,44	496,32	0,451	1,688	3,38	5
Abril	377,9	390,59	0,41	2,269	4,54	5
Maig	370,64	497,5	0,529	1,353	2,71	2
Juny	363,37	474,89	0,559	1,314	2,63	2
Juliol	356,1	480,04	0,595	1,196	2,39	2
Agost	363,37	490,72	0,596	1,193	2,39	2
Setembre	370,64	522,17	0,575	1,186	2,37	2
Octubre	377,9	610,74	0,548	1,086	2,17	2
Novembre	392,44	424,03	0,372	2,396	4,79	5
Desembre	414,24	458,18	0,356	2,45	4,90	5

Taula 64. Resultats del càlcul de l'àrea per ACS.

Segons els càlculs, la superfície col·lectora per satisfer les necessitats d'ACS es cobreixen amb la instal·lació de dos col·lectors per al període d'estiu (de Maig a Octubre) i de quatre col·lectors per al període d'hivern (de Novembre a Abril), però es sobredimensionarà instal·lant 5 col·lectors solars per

assegurar el subministre d'aigua calenta durant el hivern i estar preparada per un possible augment de l'ocupació de la vivenda i altres factors.

Mes	nº col·lectors instal·lats	Qutil	% cobert
Gener	5	461,203	111,3
Febrer	5	373,743	91,8
Març	5	559,601	142,6
Abril	5	400,355	105,9
Maig	2	263,178	71,0
Juny	2	265,464	73,1
Juliol	2	285,624	80,2
Agost	2	292,469	80,5
Setembre	2	300,248	81,0
Octubre	2	334,686	88,6
Novembre	5	394,348	100,5
Desembre	5	407,780	98,4

Taula 65. Percentatge de contribució solar amb els col·lectors C2 de Jacques Giordano Industries.

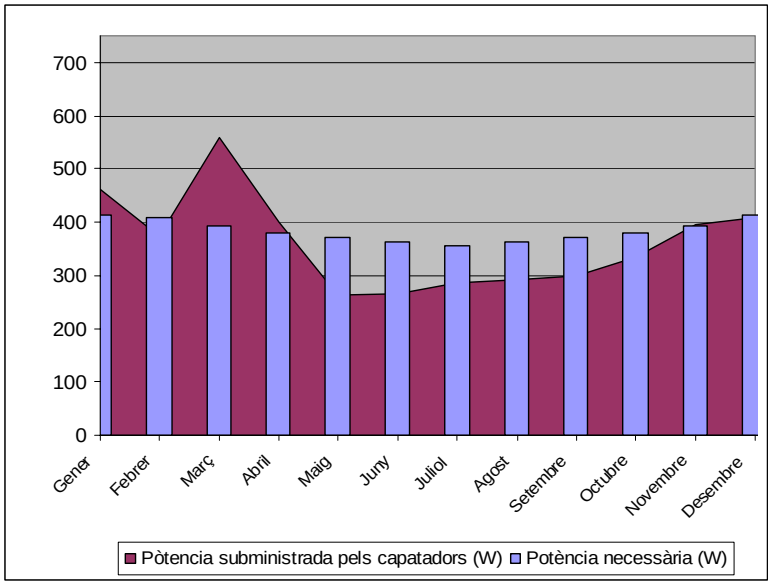


Figura 76. Potència necessària i subministrada pels col·lectors C2 de Jacques Giordano Industries.

En la Taula 65 i la Figura 76 es pot comprovar que es cobreix un percentatge superior al mínim obligat per la zona on es troba la casa segons el CTE. També s'ha de senyalar que els mesos de Gener i Març, en els que la contribució solar sobrepassa el 110% de la demanda, es desviarà els

excedents energètics a altres aplicacions existents per tal de complir així amb els requisits que marca el DB HE-4 del CTE.

7. RESULTATS EXPERIMENTALS. ESTUDI TERMOGRÀFIC

7.1 *Introducció*

Un edifici mal aïllat necessita més energia per a mantenir la temperatura interior i es refreda més ràpidament quan se'n va la font de calor. Un aïllament deficient genera ponts tèrmics i pot provocar l'aparició de condensacions.

Un pont tèrmic és la part d'un tancament en que la seva resistència tèrmica normalment uniforme es veu significativament disminuïda. Les causes poden ser diverses:

Penetracions completes o parcials d'elements constructius diferents

Canvis bruscs en l'espessor d'una capa de material

Diferència entre les superfícies interior i exterior del tancament

Els exemples típics de ponts tèrmics són les penetracions de forjats amb les façanes, la unió entre els tancaments verticals, les cantonades sortints o entrants, etc.

Per evitar ponts tèrmics la millor solució és donar continuïtat a l'aïllament en les trobades entre forjat i façanes, i per tant cal aïllar per la part exterior dels forjats, entre aquests i l'acabat exterior. És el que s'ha fet en aquest edifici, construït amb parets de càrrega de formigó armat, formant una peça conjunta amb els forjats i la teulada, que després s'ha aïllat exteriorment, sense cap pont tèrmic excepte balcons i alè de la teulada.

Aquests dos ponts tèrmics són difícilment solucionables pels problemes estructurals que suposa, però que tal com es demostra en les termografies són molt poc importants.

La normativa actual d'aplicació als projectes d'edificació per calcular l'aïllament tèrmic és el DB HE-1 Limitació de la demanda energètica. L'objectiu que pretén és un ús racional de l'energia necessària per a l'ús dels edificis, reduint a límits sostenibles el consum. Segons càlculs previs, pot suposar un estalvi energètic de l'ordre del 15-35% respecte el consum que hi havia amb la normativa anterior, depenen del tipus d'edifici i de la zona geogràfica (dades Escola Superior d'Enginyeria de Sevilla).

Tal i com s'ha comentat anteriorment en la descripció dels tancaments, en el disseny de la casa s'ha tingut en compte els ponts tèrmics. En aquest apartat es comprovaran el seu efecte en les diverses dependències de la casa mitjançant un estudi termogràfic qualitatiu.

Les termografies s'han fet un dia de molt baixa temperatura exterior (-8ºC), nevant i per tant amb un elevat contrast de temperatura interior - exterior per millor observació de les fuites calorífiques.

7.2 *Estudi termogràfic de la cuina*

Un pont tèrmic important es troba en les finestres, la pèrdua d'energia no és tant pel vidre (que és de baixa emissivitat i amb un coeficient tèrmic molt baix) sinó pel marc d'alumini, que a pesar de ser amb trencament de pont tèrmic hi ha una diferencia considerable de temperatura amb el vidre i amb la façana. La franja morada que s'observa, mostra una gran quantitat de pèrdues, aquestes generalment estan localitzades en els punts de recolzament per obrir de les finestres (vertical o horitzontal).

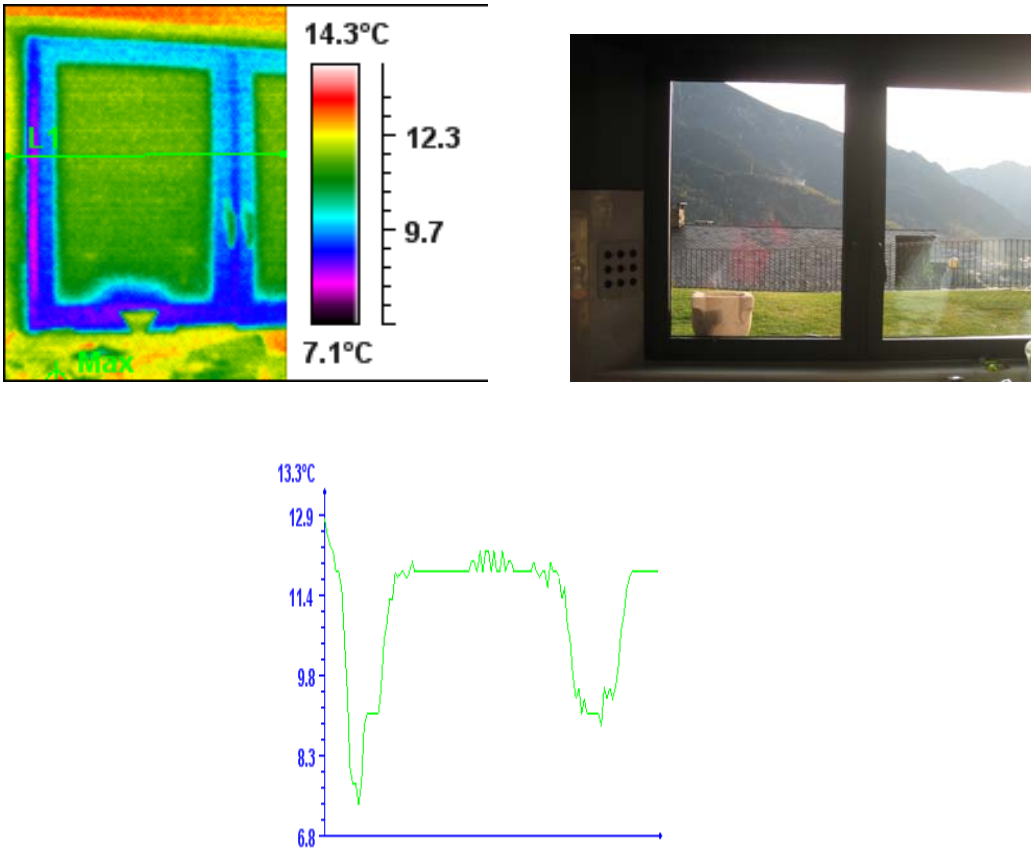


Figura 77. Termografia de la finestra de la cuina

La termografia i fotografia de la finestra, i el gràfic de temperatures de la

Figura 77 reflecteixen el seu comportament tèrmic. L'escala de colors de la termografia indica que les temperatures superficials van de 4,3ºC en el color negre fins a 14,3ºC en els colors vermells. El gràfic indica l'evolució de la temperatura al llarg de la línia horitzontal verda marcada a la termografia i s'observen les baixes temperatures de l'alumini.

En el referent al terra radiant de la cuina, s'observa com la transferència de calor és uniforme. La banda perimetral de color blau cel, senyala un dels pont tèrmics important, les cantonades. A la Figura 78 aquesta franja té una dimensió considerable pel fet que el terra radiant no arriba fins a la cantonada dels mobles.

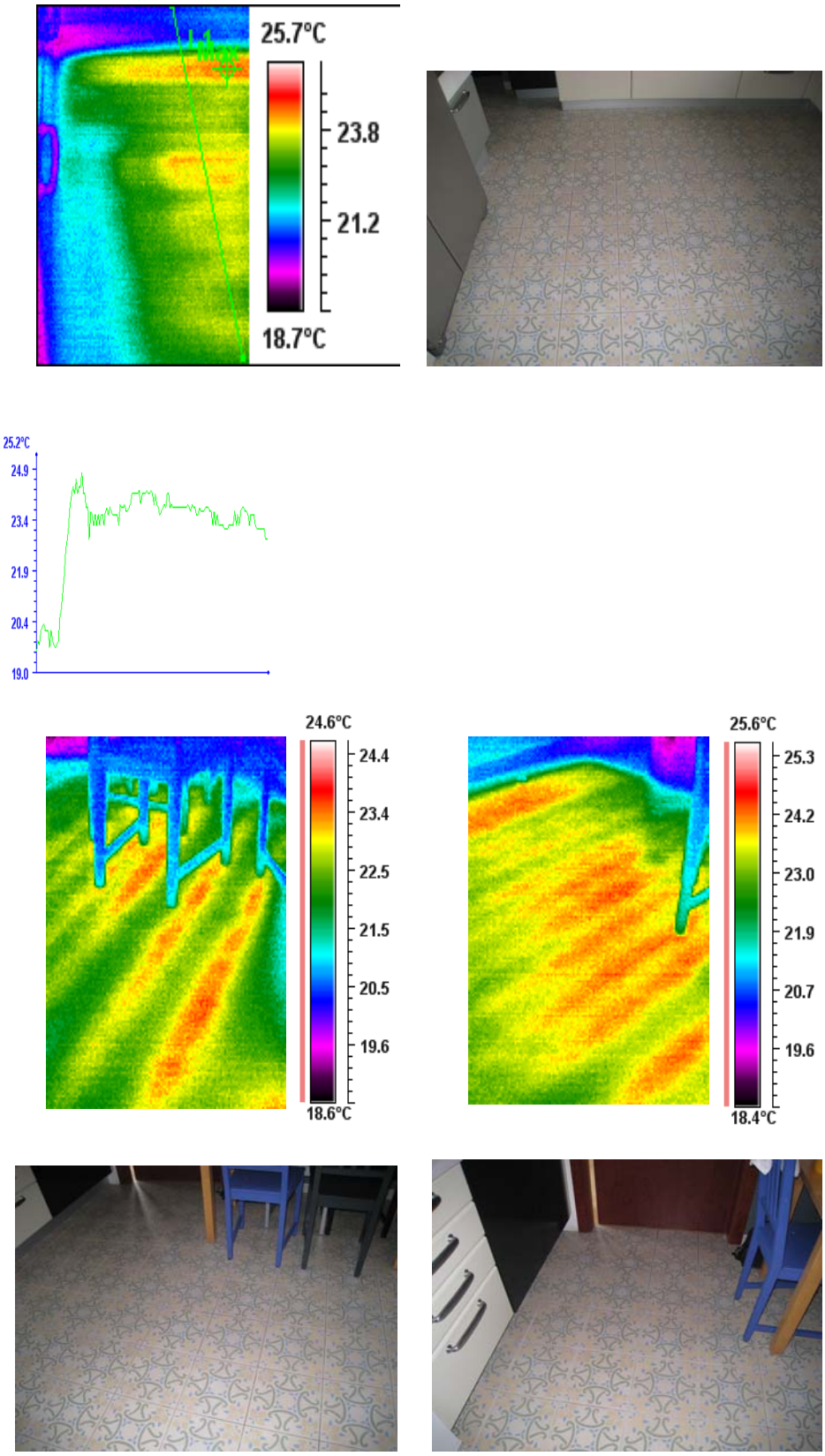


Figura 78.Termografia del terra radiant de la cuina

7.3 *Estudi termogràfic del menjador*

Es comprova que la major pèrdua continúa sent per les finestres, i el punt més dèbil és el marc metàl·lic. En aquestes fotografies, s'observa la forma de la caixa de persiana, això és pel fet que és una zona on hi ha una petita pèrdua d'energia comparat amb la resta de la paret (diferència entre 0,5 i 1ºC) diferència mínima pel fet d'estar la caixa de persiana molt ben aïllada.

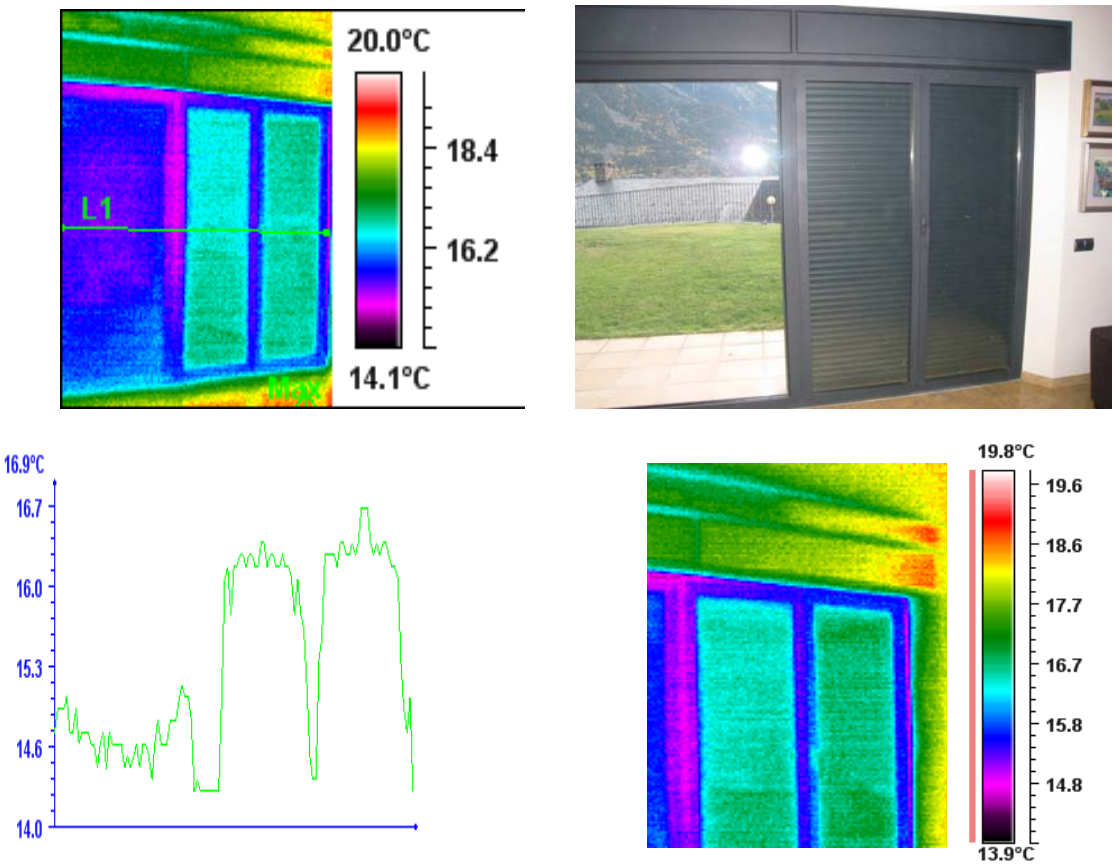


Figura 79.Termografia portes del menjador

En la termografia de la Figura 79 es pot observar una porta doble més un vidre fix. El vidre fix té la persiana pujada i per tant té la temperatura inferior a 2ºC a la del vidre de la porta, ja que la persiana dóna un aïllament suplementari a la finestra. L'alumini segueix essent el punt més fred de tots. Això demostra la importància de mantenir-les tancades en hores nocturnes que a més són els hores més fredes.

Un pont tèrmic important són les cantonades degut a les penetracions completes o parcials d'elements constructius diferents (veure Figura 80). Al construir la casa s'han tingut en compte i s'han aïllat de manera eficient, ja que la pèrdua que es té (en aquest cas en el menjador) és aproximadament 2ºC de diferència. Els murs que aquí es veuen són murs de sosteniment del terreny natural però tenen un aïllament tèrmic exterior de 6 cm de poliestirè.

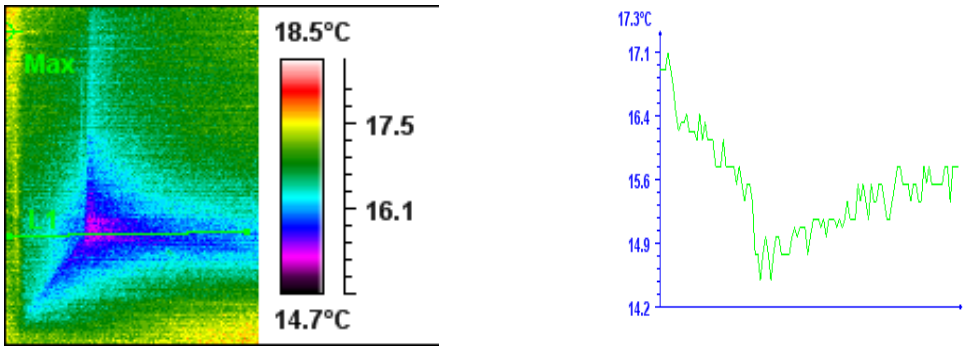


Figura 80. Termografia d'una cantonada del menjador

7.4 *Estudi termogràfic del rentador*

El rentador és una de les peces de la casa que té més pèrdues calorífiques ja que té 2 parets exteriors, una tercera que és mur de sosteniment del terreny, la coberta és també exterior, i el terra dóna al sostre del garatge. Únicament una paret dóna a un espai calefaccionat (la cuina). En les Figura 81 Figura 83, es pot observar com realment les cantonades són un punt important a tenir en compte. Per a la casa dissenyada, aquest fet és encara més important pel fet de ser amb terra radiant, els forjats es troben a una temperatura superior als d'altres cases i les pèrdues poden ser majors. S'observa la unió de les parets amb el sostre, aquest es troba a una temperatura inferior pel fet de tenir el forjat del terrat que té a sobre, tot i que degut als aïllaments, la diferència de temperatura no sobrepassa els 2 graus. S'observa també que les parets, és en la part superior on tenen una temperatura més baixa donant el punt més fred en les cantonades.

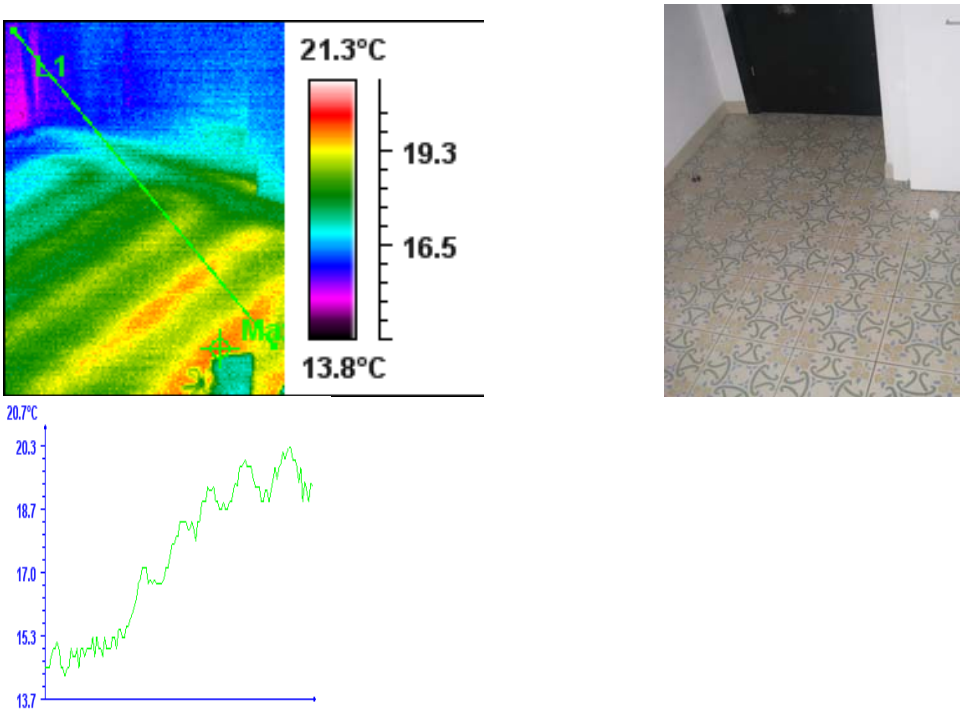


Figura 81.Termografia del terra radiant del rentador

Un focus de calor que travessa tota la paret verticalment, es tracta del conducte d'aire calent.

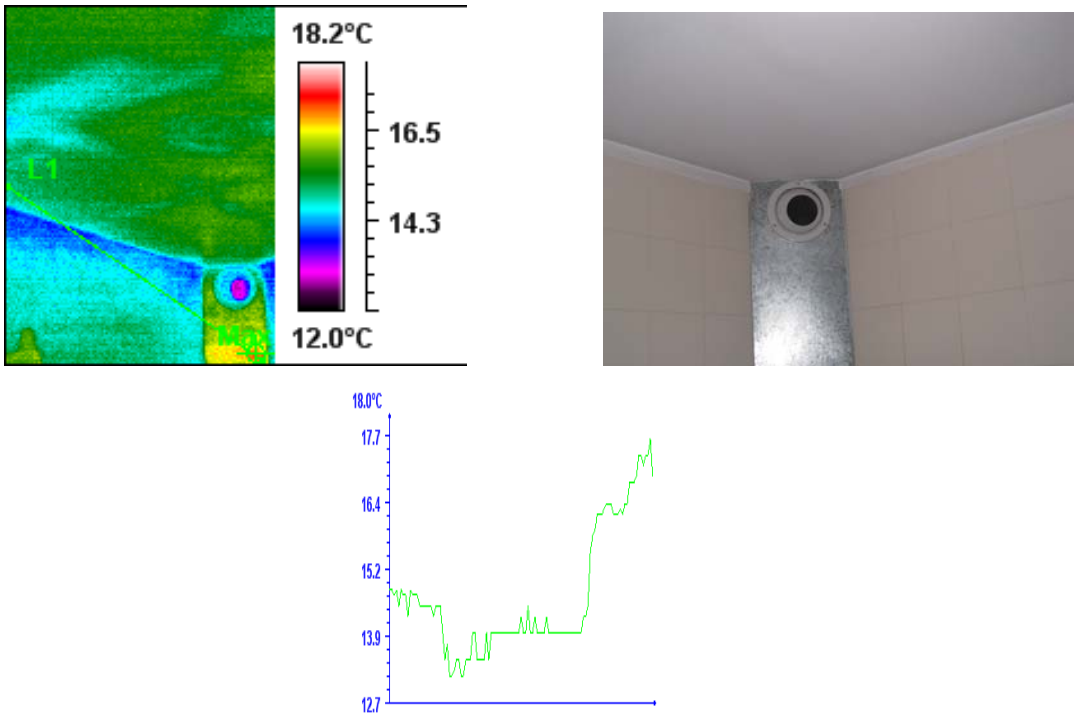


Figura 82.Termografia d'una cantonada del rentador

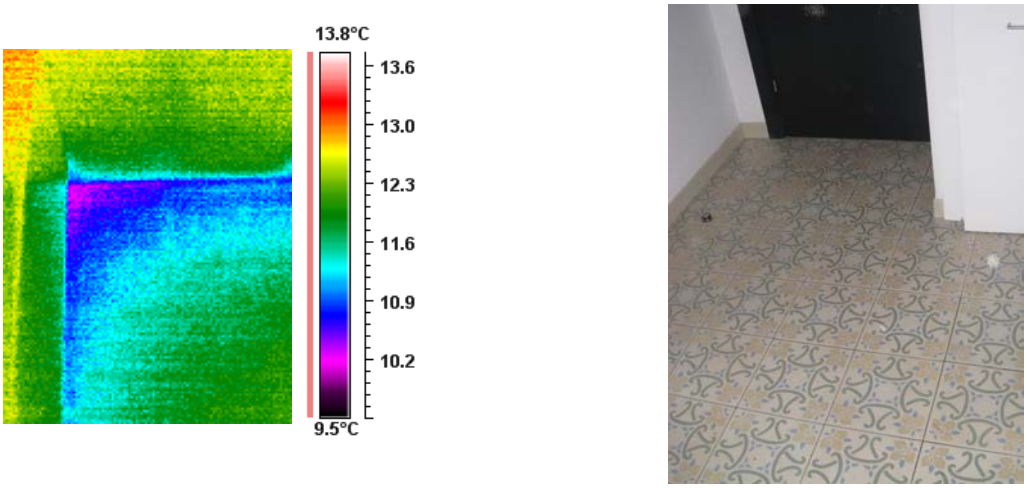


Figura 83.Termografia del terra del rentador amb el terra radiant desconnectat

Aquesta cantonada és la mateixa que la termografia de la Figura 83 però amb el terra radiant desconnectat.

7.5 *Estudi termogràfic de la escala a la planta 1*

És en el marc d'alumini per on es perd més energia, hi ha una diferència d'uns 4ºC aproximadament, es comprova que els vidres de doble cambra i amb baixa emissivitat funcionen molt bé en aquesta zona climàtica, en

canvi el marc d'alumini amb trencament de pont tèrmic no. Un marc de fusta o de PVC tindria una pèrdua menor (Figura 84).

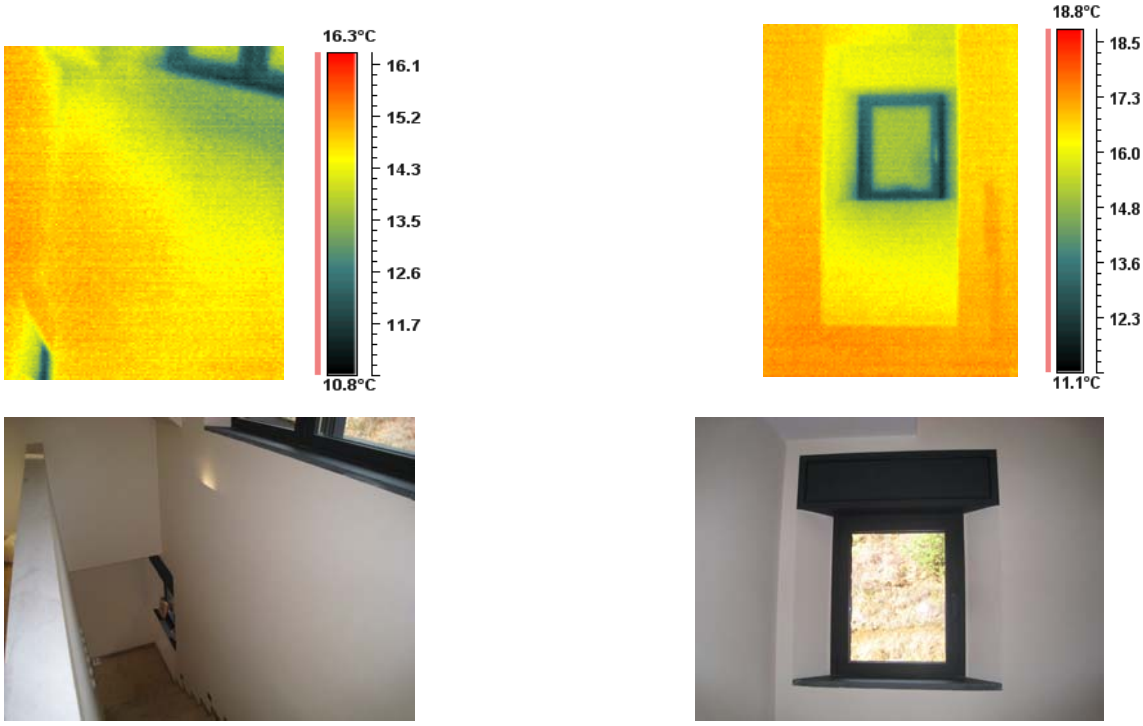


Figura 84.Termografia de l'escala i finestra

7.6 *Estudi termogràfic del bany 1*

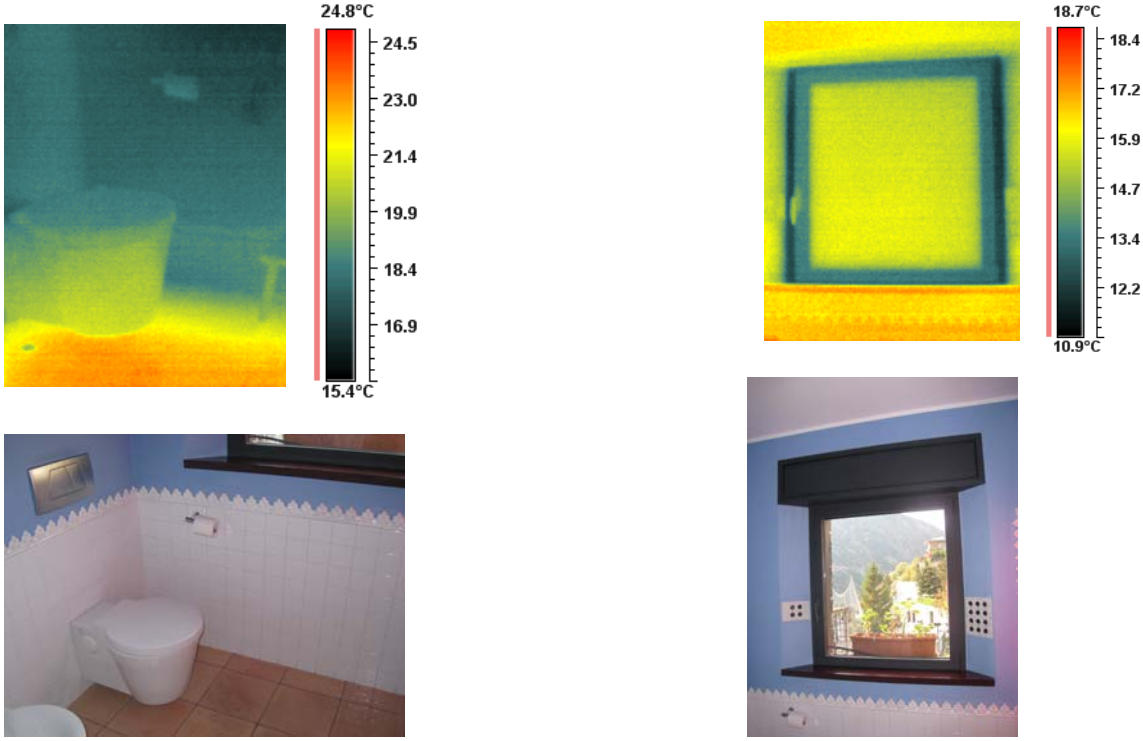


Figura 85. Termografia del bany planta 1

S'observa que la caixa de persiana està molt ben aïllada i amb la persiana abaixada, la transferència per el vidre es redueix, l'únic punt per on hi ha pèrdues és el marc metàl·lic (Figura 85).

La distribució de flux pel terra és uniforme excepte en la zona que s'observa en la primera termografia següent que és l'entrada a l'estància i no hi ha terra radiant. La banda perimetral de color blau cel marca per on deixa de passar el cable calefactor i la unió del forjat amb l'envà. Com a més distància del terra més baixa és la temperatura, per això les parets verticals es troben a diverses temperatures (Figura 86).

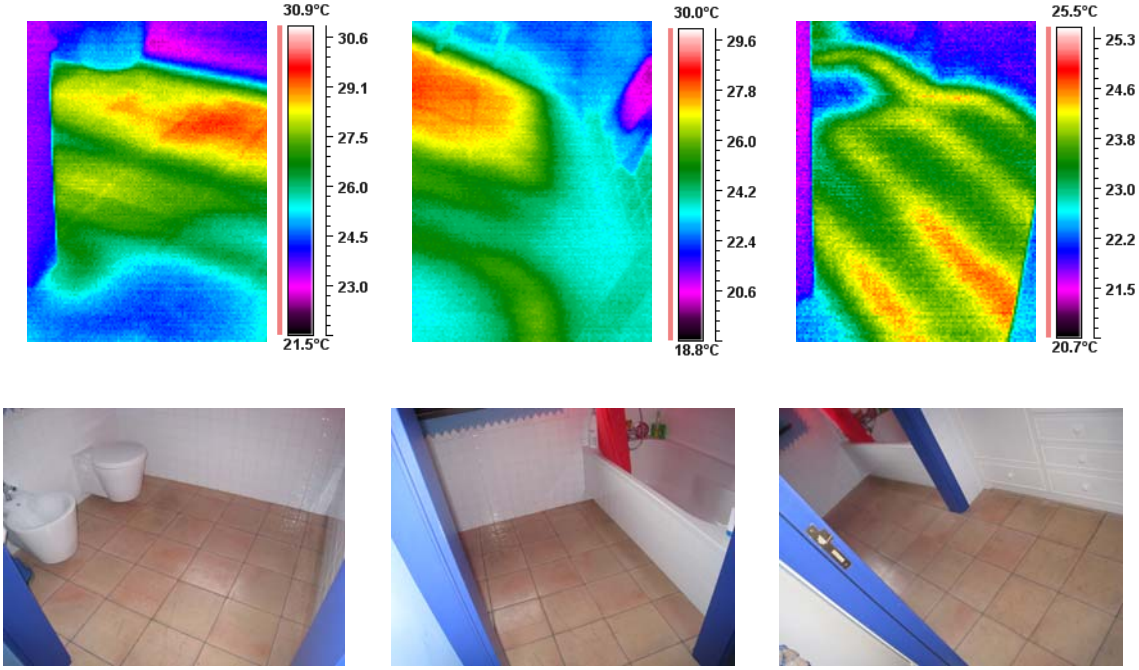


Figura 86.Termografia terra radiant bany planta 1

7.7 *Estudi termogràfic habitació 2*

Les majors pèrdues són pel marc de la finestra, encara que s'observa a l'esquerra una zona difusa que es troba a una temperatura d'uns 2ºC per sota de la temperatura de la resta de la paret (Figura 88).

Figura 87. Termografia de les portes balconeres de l'habitació 2

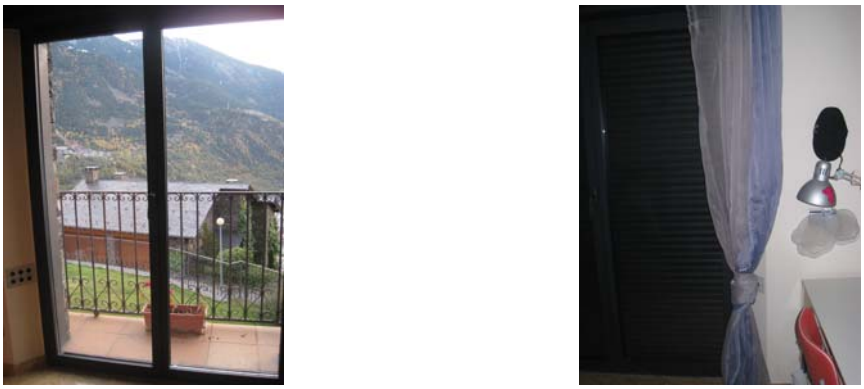


Figura 88. Fotografia de les portes balconeres de l'habitació 2

7.8 *Estudi termogràfic habitació 3*

S'observa clarament que el focus de calor és el terra o el sostre (terra del pis superior). La zona amb més pèrdues és el marc metàl·lic, amb el vidre de doble cambra de baixa emissivitat i la persiana baixada les pèrdues són mínimes (Figura 89).

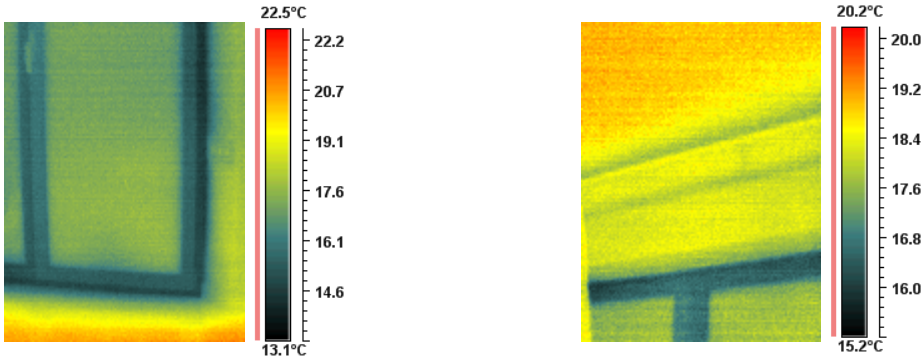


Figura 89. Termografia de les portes balconeres habitació 3

7.9 *Estudi termogràfic habitació 4*

En les fotografies i termografies de la Figura 91, s'observa com hi ha una franja en la caixa de la persiana per on es perd energia, possiblement degut a un mal acabat d'aïllament d'aquesta.

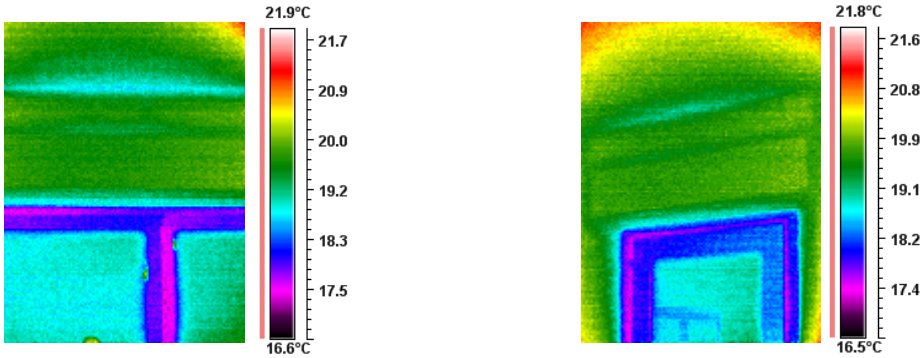


Figura 90. Termografia portes balconeres habitació 4

Figura 91. Termografia portes balconeres habitació 4

En el referent als acabats de les cantonades, la unió dels diversos elements constructius és el punt amb més pèrdues tal com s'observa en les dues primeres termografies de la Figura 92. En canvi a la tercera termografia de la mateixa figura, la zona més freda correspon la porta.

7.10 *Estudi termogràfic del passadís*

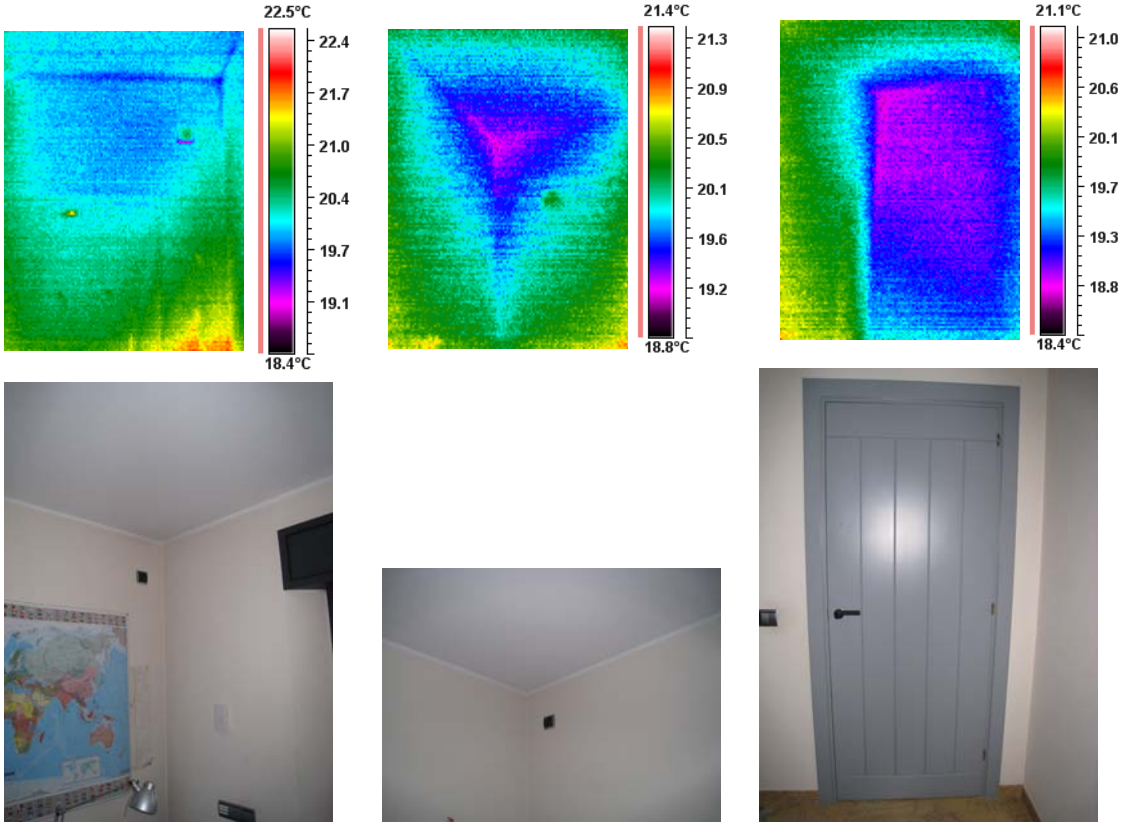


Figura 92. Termografia parets habitació 4

Figura 93. Termografia finestra del passadís planta 1 (orientació nord)

Amb la persiana baixada, pel vidre les pèrdues comparades amb la resta de l'envà són gairebé nul·les comparades amb les dels murs exteriors, en canvi no passa el mateix amb les pèrdues pel marc que continuen sent considerables. El punt vermell de la part superior de la termografia correspon a un sensor d'alarma, que és calent pel circuit electrònic que té al seu interior (Figures 92 i 93)

7.11 *Estudi termogràfic de la caixa de l'ascensor*

En la caixa de l'ascensor, únicament s'observa pèrdues d'energia en les cantonades (cosa normal) i per tant, no es considera cap pèrdua extraordinària. Per normativa, la caixa de l'ascensor ha de tenir una obertura de ventilació directa a l'exterior a la part més alta, el que refreda tot el conjunt (porta metàl·lica freda), (veure Figura 94).

Figura 94.Termografia de les parets de l'ascensor

7.12 *Estudi termogràfic del despatx*

Encara que les majors pèrdues són pel marc metàl·lic de la finestra, s'observa també que la paret dels lluernaris de la teulada es troben a una temperatura més freda que la resta de tancaments i el punt crític són les juntes amb de la teulada, i no les juntes de les vessants nord i sud de la teulada (Figura 95).

En el terra radiant no s'observa cap anomalia, la seva transmissió és uniforme, excepte en l'entrada de la canonada on la temperatura del terra

és més elevada que en la resta del circuit pel fet que encara no transmet pel recinte (Figura 96).

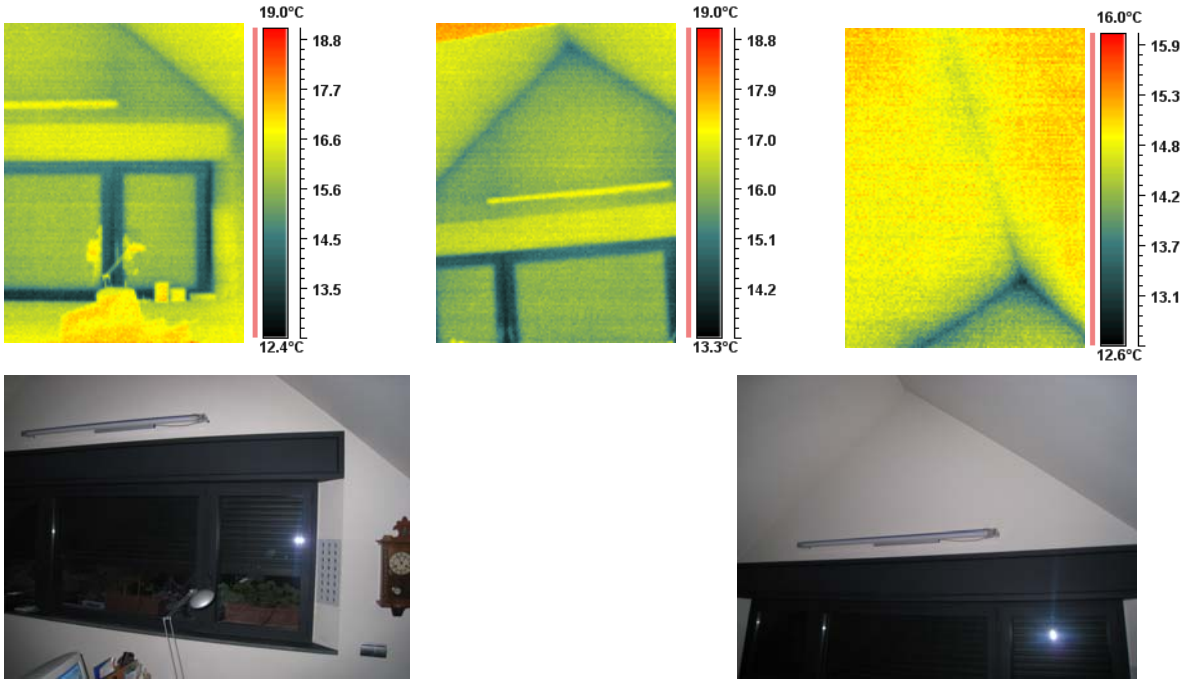


Figura 95. Termografia de les finestres del despatx

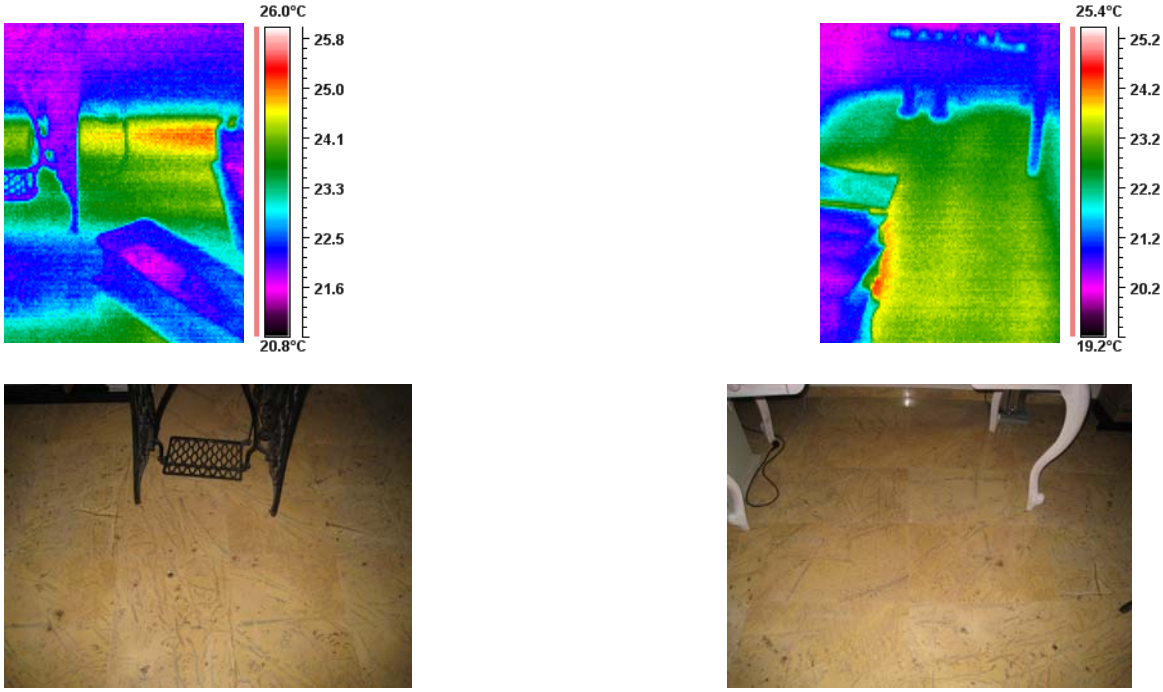


Figura 96. Termografia del terra radiant del despatx

7.13 *Estudi termogràfic habitació principal*

Al igual que passa amb el despatx, per aquesta dependència les majors pèrdues són pel marc metàl·lic de la finestra, s'observa també que la paret

dels lluernaris de la teulada es troben a una temperatura més freda que la resta de tancaments i el punt crític és la junta de la teulada amb els lluernaris, i no les juntes de les vessants nord i sud de la teulada (Figura 98).

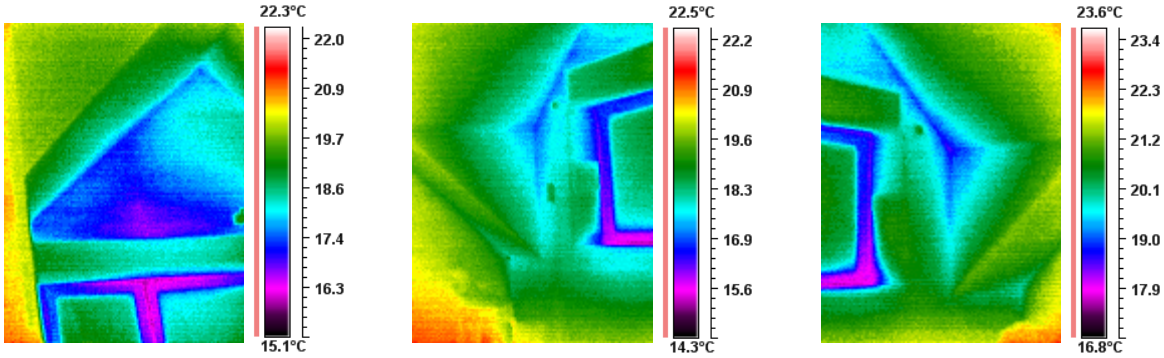


Figura 97. Termografia de la finestra de l'habitació principal

Figura 98. Fotografia de la finestra de l'habitació principal

7.14 *Estudi termogràfic del passadís 2*

Igual que en la resta de dependències de la segona planta, la paret més externa del lluernari és una zona de pèrdua d'energia, i els punts crítics són les juntes d'unió amb la teulada, juntament amb (i com en la resta de la casa) els marcs metàl·lics (Figura 99).

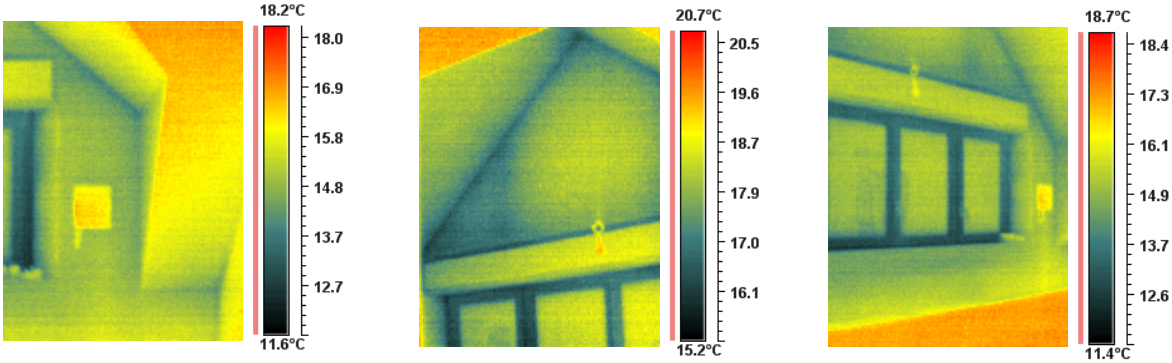


Figura 99. Termografia dels murs exteriors del passadís

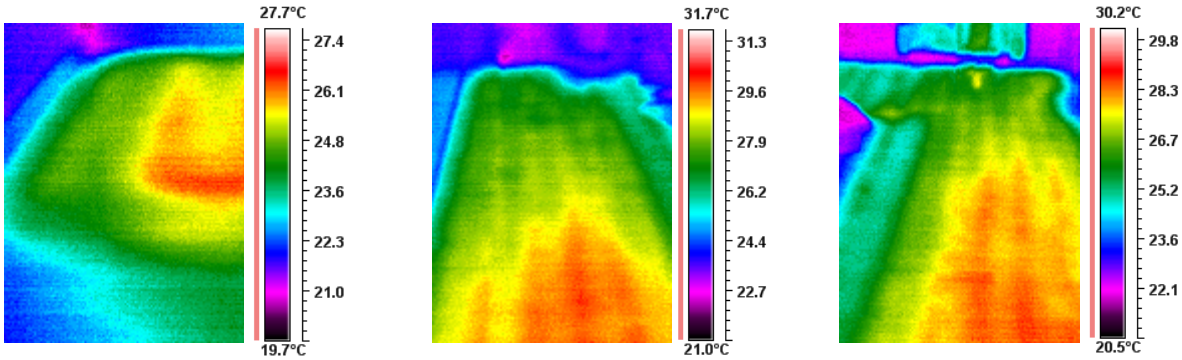


Figura 100. Termografia del terra radiant del passadís de la planta 2

La transmissió del terra radiant és uniforme, on la zona d'entrada de la canonada la temperatura del fluid és més elevada que en la resta del circuit pel fet que encara no s'ha transmès pel recinte (Figura 100).

7.15 *Estudi termogràfic del vestidor*

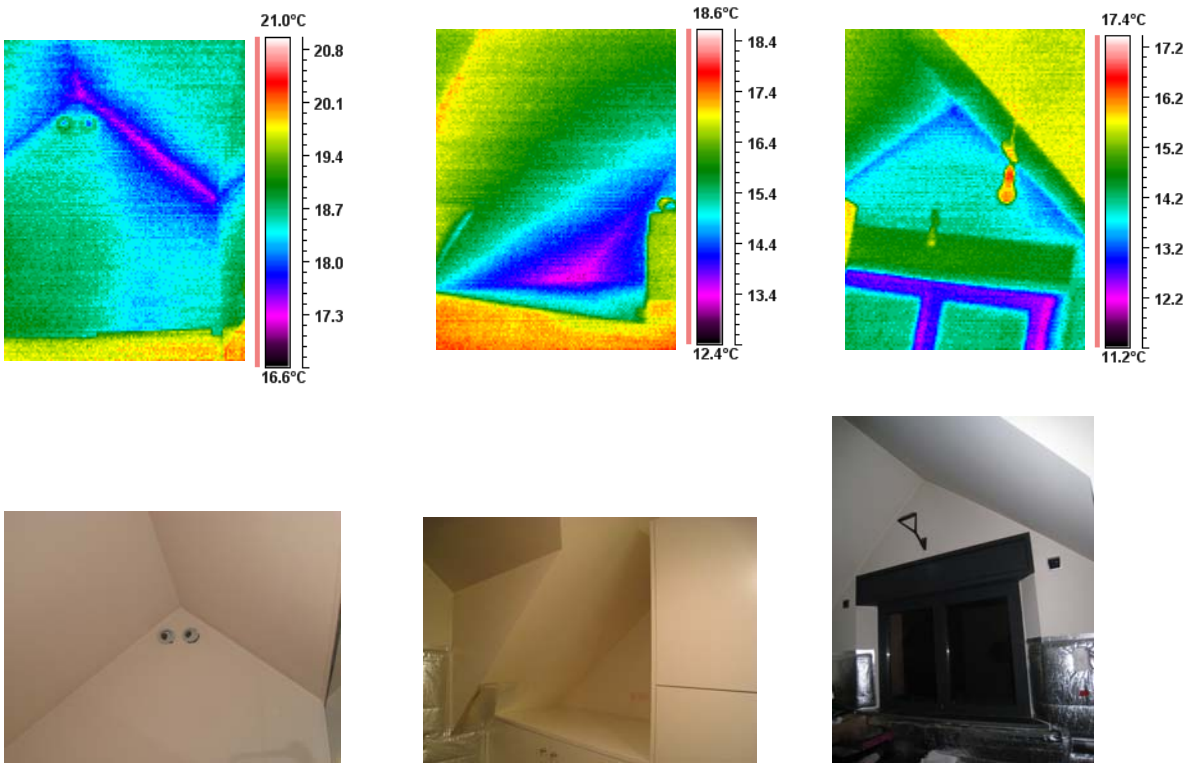


Figura 101. Termografia de les parets i finestra del vestidor

En les termografies de la Figura 101 s'observa clarament el descrit per a la planta dos en les altres dependències, la paret del lluernari és un focus de calor important generalitzat, i els punts de màxima pèrdua es troben localitzats a les juntes del lluernari amb la teulada i amb el mur exterior. No cal dir que les pèrdues pel marc metàl·lic de les finestres també són importants.

7.16 *Estudi termogràfic de la instal·lació d'aigua calenta*

En els col·lectors solars, la termografia sembla indicar que les majors pèrdues són en els laterals i la part posterior del captador, però en realitat l'efecte que aquí es produeix és que la xapa que cobreix els laterals del col·lector, són metàl·liques i pintades de negre, el que fa que s'escalfi per efecte de la radiació directa del sol i doni a la termografia una temperatura superior. No són pèrdues calorífiques dels col·lectors sinó l'escalfament del sol. No hi ha una altra forma de fer aquest anàlisi als col·lectors solars ja que de nit, que s'eliminaria aquest efecte, tampoc tindran pèrdues tèrmiques els col·lectors (Figura 102).

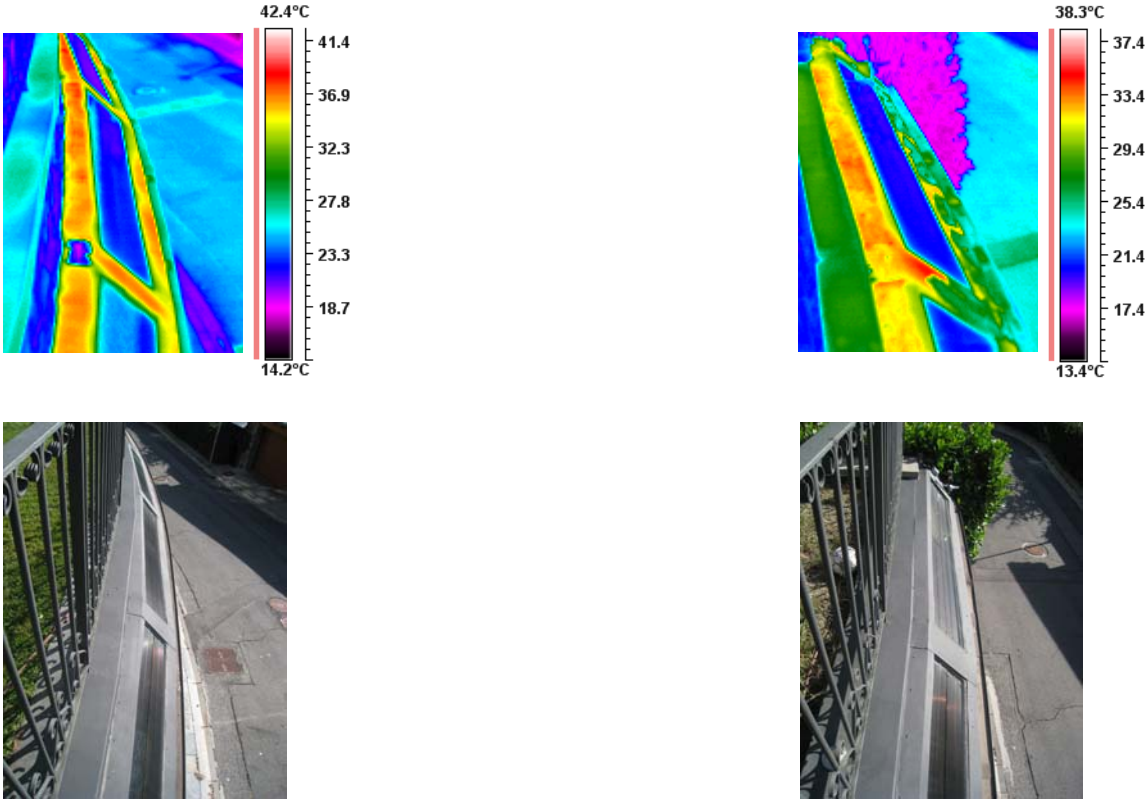


Figura 102. Termografia dels col·lectors solars

A continuació es mostren fotografies de les diverses canonades que disposa la casa, en la majoria s'observa petits punts de pèrdua localitzats, la majoria són punts o zones difícils d'aïllar amb coquilles com els canvis de d'orientació, unions i connexions amb altres elements (Figura 103).

Figura 103. Termografia dels tubs d'aigua calenta i retorn

Però hi ha alguns trams on els punts de pèrdua són considerables i s'hauria de intentar millorar aquest aïllament per reduir les pèrdues. Aquests trams són els de les fotografies de la Figura 104, que corresponen a la manca d'aïllament tèrmic a les bombes recirculadores, suportació dels tubs, juntes de diferents trams d'aïllament, etc:

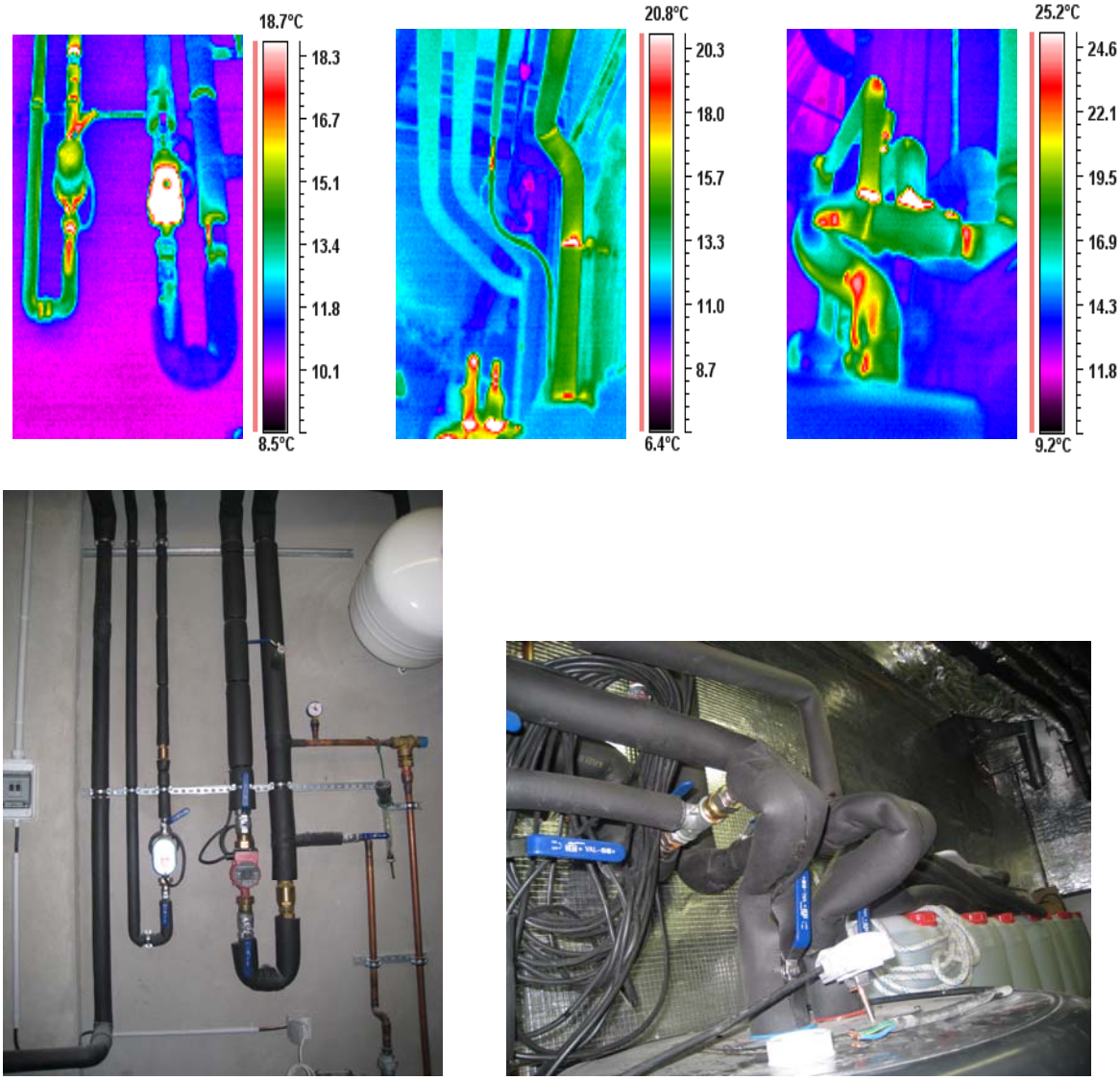


Figura 104. Termografia dels tubs d'aigua calenta solar

7.17 *Estudi termogràfic de l'aïllament dels conductes de façana*

Un dels punts a estudiar era les pèrdues tèrmiques pels conductes d'impulsió d'aire calent del col·lectors solars cap a les habitacions que passen per la façana, protegits per l'aïllament tèrmic i per la pedra, tal com es veu en les fotos de la Figura 105 i 106, primerament la col·locació d'una barrera de vapor d'alumini plastificat, que es veu per la seva cara blanca, a continuació la instal·lació dels conductes i tubs d'aigua. Seguidament la col·locació de l'aïllament tèrmic de poliestirè que va tapant els conductes i tubs.

Figura 105. Sistema constructiu dels conductes d'impulsió d'aire dels col·lectors solars

Figura 106. Detall del sistema constructius de tubs i conductes a la façana

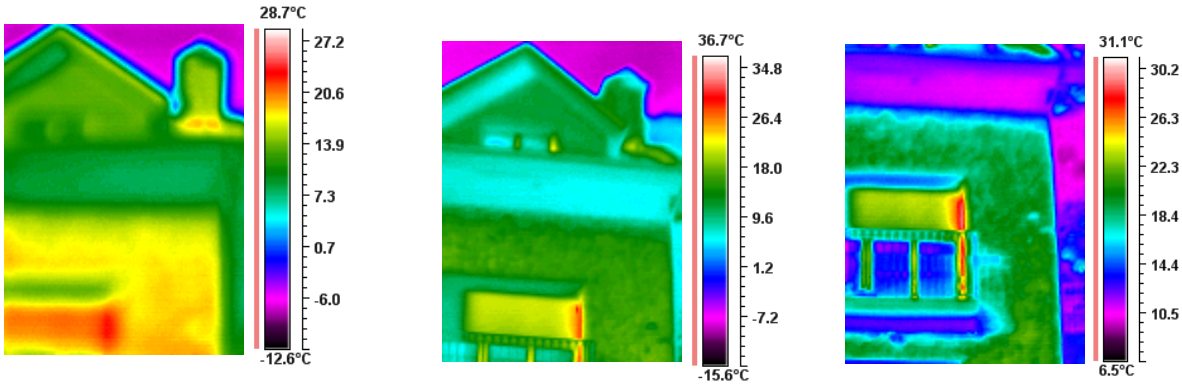


Figura 107. Termografía dels conductes d'aire de la part alta de la façana sud

Si s'observa la casa des de fora, no es veu cap pèrdua tèrmica dels conductes, i es torna a veure com el punt per on hi ha les màximes pèrdues (ara es troba a temperatura màxima) són els marcs metàl·lics, els vidres en canvi es troben a una temperatura baixa comparada amb la resta de tancaments de la casa pel fet que són de baixa emissivitat.

La part baixa de la paret exterior, mostra una diferència de temperatura de 3-4ºC per sobre de la resta de la paret (veure

Figura 108).

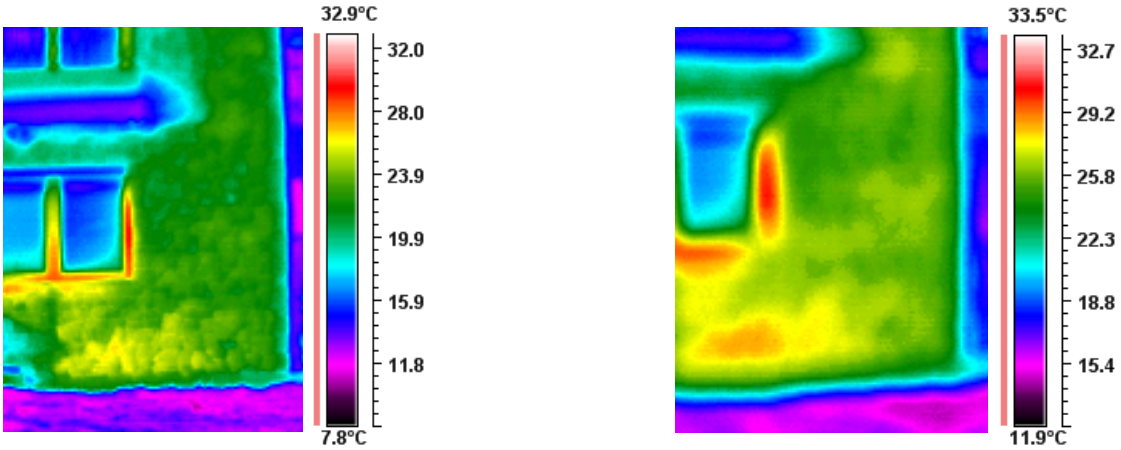


Figura 108. Termografia dels conductes d'aire de la part baixa de la façana sud

7.18 *Estudi termogràfic de l'aïllament dels aparells*

Els aparells que s'han instal·lat a la casa, són de classe energètica A, com s'observa amb les fotografies, en aquest cas el rentaplats, les pèrdues d'energia són mínimes i els punts de pèrdua es troben localitzats especialment en les ventilacions (Figura 109).

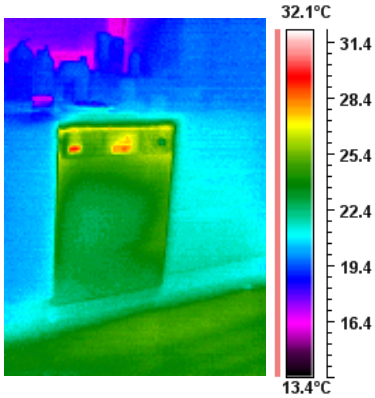


Figura 109. Termografia del rentaplats en funcionament

7.19 *Estudi termogràfic dels dipòsits d'aigua calenta sanitària*

En la Figura 110 es pot veure la termografia del punt on hi ha la resistència elèctrica de recolzament del dipòsit d'aigua calenta elèctric.

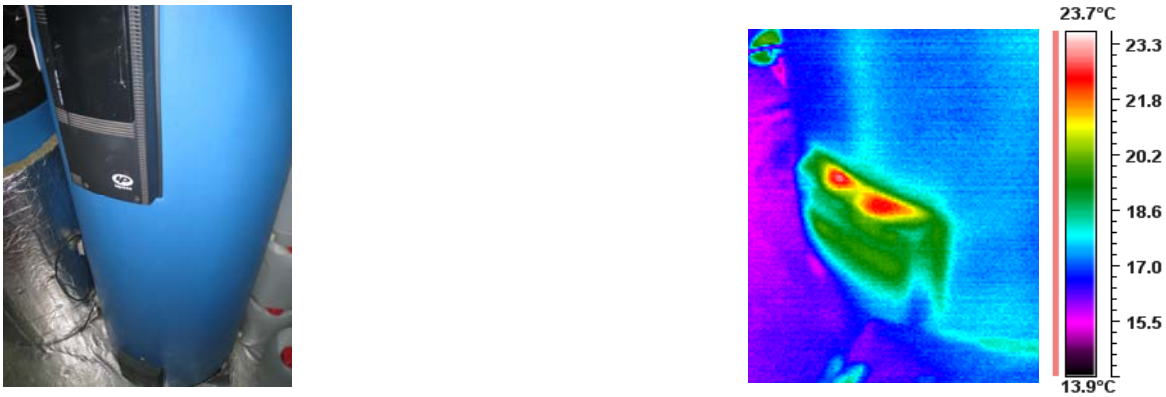


Figura 110. Termografia dels termo elèctric

7.20 *Estudi termogràfic de la façana Est i Oest*

En la façana est i en la façana oest, s'observa un punt de pèrdua en la vessant d'unió entre la paret i la teulada. És la ventilació exterior del tub baixant del bany de la planta 2, per on surten alguns vapors calents, especialment quan s'utilitza l'aigua calenta en el bany. Per a la resta de la façana no hi ha cap pèrdua digna de menció exceptuant els marcs i les caixes de persiana (Figures Figura 111 iFigura 112).

Figura 111. Termografia de la façana est

Figura 112. Fotografia del sistema constructiu de la façana est

Es pot verificar fàcilment que on hi ha conductes embeguts a la façana, les pèrdues tèrmiques són inexistents.

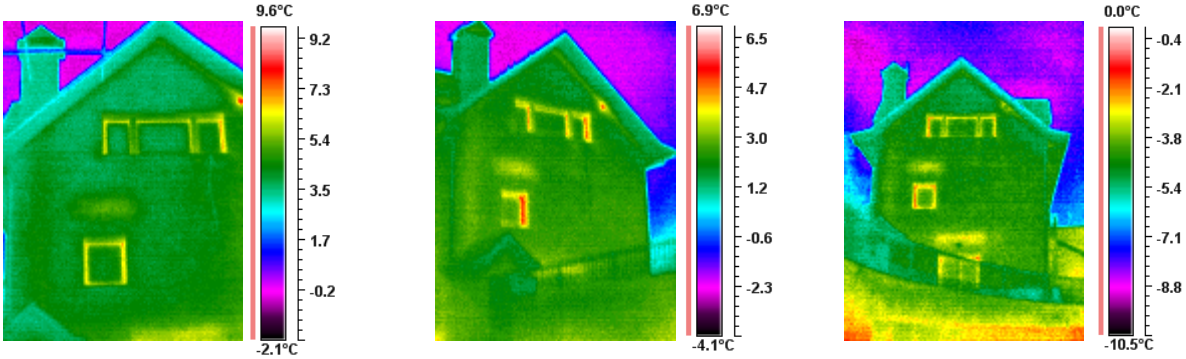


Figura 113. Termografia dels conductes d'aire de la façana oest

Figura 114. Fotografia del sistema constructiu de la façana oest

S'observa també la ventilació del tub baixant del bany de la planta 1 a més de la perfileria d'alumini de les finestres. La resta no indica cap pèrdua tèrmica (Figures Figura 113 i Figura 114).

7.21 *Estudi termogràfic de la façana Nord i Sud*

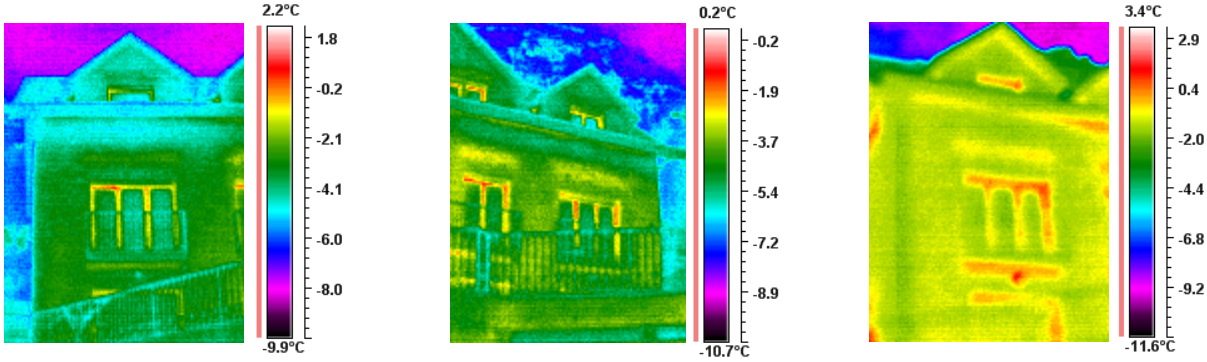


Figura 115. Termografia de la façana sud

No hi ha cap pont tèrmic rellevant, únicament s'observa els ponts tèrmics típics comentats anteriorment, on el més important és el marc metàl·lic de les finestres i en molt menor mesura les caixes de persianes (Figura 115 i 116 de la façana sud, Figura 117 i Figura 118 de la nord).

Figura 116. Fotografia de la façana sud

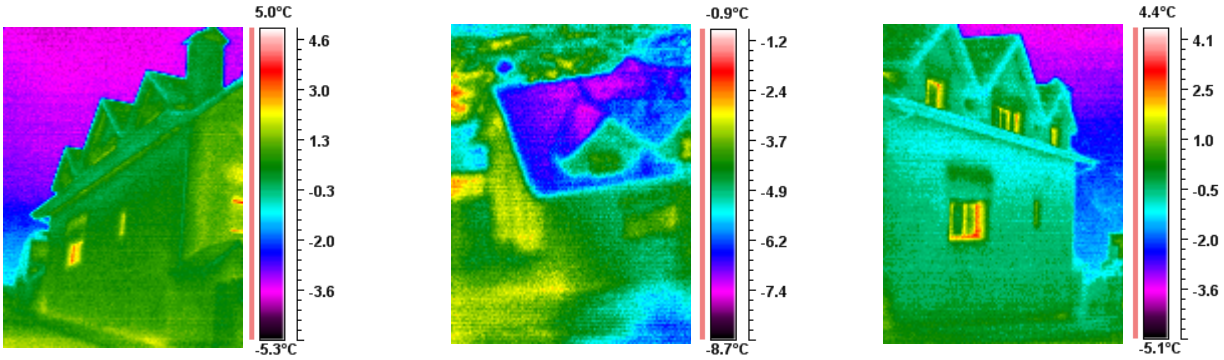


Figura 117. Termografia de la façana nord

Figura 118. Fotografia del sistema constructiu de la façana nord

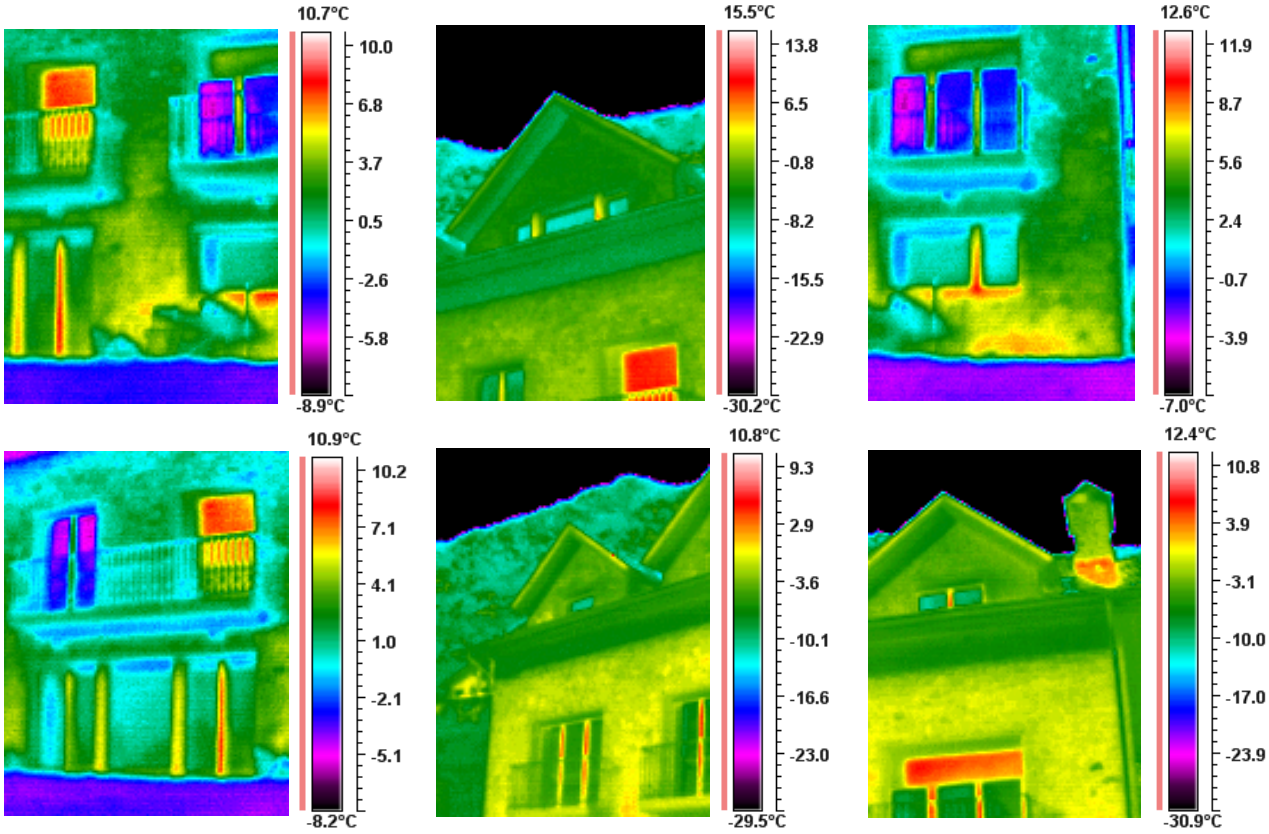


Figura 119. Termografia de la façana sud escalfada pel sol

En les termografies de la Figura 119, s'observa clarament com les persianes absorbeixen energia del sol, ja que si està baixada s'escalfen i queda reflectida a la termografia, en canvi si es troba recollida el vidre no absorbeix el sol, ja que el deixa passar i no puja de temperatura.

A més de les pèrdues pels marcs metàl·lics i per les persianes baixades, s'observa una pèrdua de calor important en el peu de la xemeneia, exactament en la unió de la xemeneia amb la teulada. Segurament és degut a l'escalfament pel sol de la teulada de llosa de pissarra, ja que aquest punt no s'ha observat a la resta de termografies de façanes.

7.22 *Estudi termogràfic del solar closet*

A la Figura 120, corresponent al col·lector solar d'aire de calefacció no s'observa cap pèrdua de calor significativa.

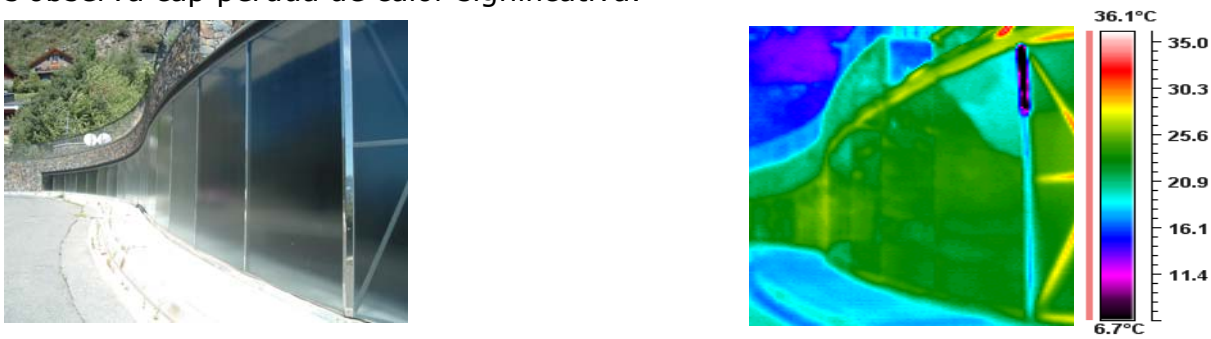


Figura 120. Termografia dels col·lectors solars de calefacció

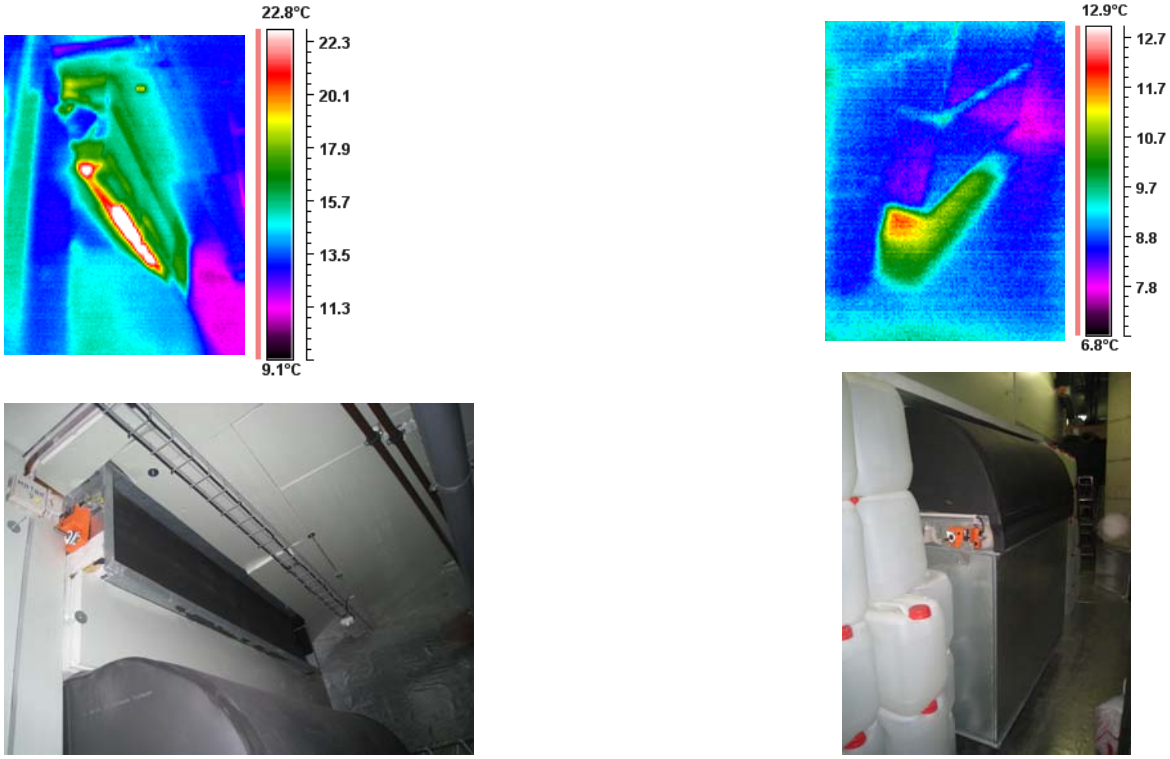


Figura 121. Termografia de l'interior del solar closet. Comportes altes i baixes

S'observen en la Figura 121 els punts més calents, que són l'entrada d'aire del col·lector solar cap al solar closet a través de la comporta alta i del

conducte a la seva part baixa. No s'observen pèrdues significatives pel col·lector solar de calefacció.

7.23 *Ponts tèrmics a les caixes de persiana*

Figura 122. Caixa de persiana amb l'aïllament inicial de l'obra, només a la cara inferior i la tapa (2 cm de poliestirè). L'aïllament que es veu a la cara exterior, darrera de la persiana es va posar posteriorment.

Les caixes de persiana representen un dels típics i importants ponts tèrmics. En el cas d'aquesta casa inicialment estaven aïllats tal com es fa habitualment, amb 2cm de poliestirè a la tapa frontal i inferior, tal com es veu a la Figura 122. Durant l'any 2005, s'aïllaren totes les caixes de persiana amb 6 cm de poliestirè tant a la tapa com a la resta de parets de la caixa de persiana que fan pont tèrmic amb l'interior, que són la cara superior, la inferior i les laterals. La disminució del consum de calefacció per temporada va ser de 100 € anuals, corresponents a una reducció del 18%, tal com s'explica en el capítol següent (Figura 123)

Figura 123. Caixa de persiana aïllada amb 6 cm de poliestirè en totes les cares interiors.

8. RESULTATS EXPERIMENTALS. CONSUM ENERGÈTIC I COMPORTAMENT TÈRMIC

8.1 *Consum de calefacció típic a Andorra*

Sempre es fa difícil definir quin és el consum típic de calefacció d'un apartament degut a les tipologies son molt diverses i a més estan situats en zones climàtiques molt diferents tot i ser un país petit.
En relació a les zones climàtiques a Andorra,les zones habitables es troben des de la cota 848 a la frontera amb Espanya fins a la cota 2100 del Pas de la Casa , frontera amb França. Les temperatures mínimes a l'hivern doncs van des de -7ºC fins a -24ºC.
El projecte que aquí ens ocupa està situat en una cota 1260m entre les dues anteriors, amb temperatures mínimes de -12ºC.
El consum de gasoil de calefacció d'Andorra l'any 2008, queda recollit a les dades del servei d'estadística nacional, recollides com a litres "importats" i que per tant han passat la duana andorrana. A Andorra el gasoil de calefacció es diferència del gasoil de locomoció en la taxa i en un colorant, ja que és exactament el mateix gasoil, a diferència del "gasoleo C" utilitzat a Espanya i que a Andorra no té permès l'entrada per problemes de congelació i d'emissions contaminants. Per tant el gasoil de calefacció es comptabilitza separadament de la resta de combustibles.
El consum total durant l'any 2008 va ser de 67.454.616 litres, tal com es descriu a la taula 65:

Govern d'Andorra Departament d'Estadística	
IMPORTACIONS DE CARBURANTS	
Importacions. Unitats de fuel domèstic	
Període: 01/01/2008 al 01/01/2009	
Font: Ministeri d´Economia i Finances / Departament de Duana	LITRES
ene-08	9.704.853
feb-08	8.519.637
mar-08	7.136.255
abr-08	5.794.464
may-08	4.091.744
jun-08	2.702.516
jul-08	1.968.596
ago-08	986.984
sep-08	2.444.135
oct-08	5.802.735
nov-08	7.351.756
dic-08	10.950.941
TOTAL	**67.454.616**

Taula 66. Dades d'importació de gasoil de calefacció a Andorra. Font Departament d'Estadística del Govern d'Andorra

Aquest gasoil és utilitzat per produir calefacció i aigua calenta sanitària en una proporció que a manca de dades, s'estima en 65% calefacció i 35% aigua calenta.
La població mitjana a Andorra el mateix any va ser segons la mateixa font de 84.484 persones, i el cost mitjà del gasoil durant aquest any fou de 0,60€/litres. Per tant correspon un cost per habitant de 311.39€. Si estimem també que les famílies tenen una mitjana de 3,5 persones, el cost de calefacció per família va ser de **1089.86 € anuals**.
Aquest consum l'assimilem sense gran error a un pis de superfície mitjana d'uns 80m2.
El salari mitjà a Andorra segons les mateixes dades del Govern d'Andorra, el desembre del 2008, fou de 1810 €/mensuals i per tant el consum de calefacció és un 60% d'un salari mensual.

8.2 *Climatologia dels anys en que es comparen els consums*

S'ha estudiat la climatologia dels anys en que es comparen els consums de calefacció per saber si les diferencies provenen del clima o de les millores que s'han anant introduint a la casa. Les temperatures mitjanes mensuals, estan recollides en la Taula 67, juntament amb la mitjana anual i la mitjana de cada hivern, entenent com a hivern del dia 1 d'octubre al 30 de juny. Es cert que hi ha anys que la temporada no es tan llarga però això quedarà reflectit en les mitjanes de temperatures.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Gener	1,37 ºC	3,13 ºC	2,34 ºC	1,06 ºC	4,82 ºC	4,70 ºC
Febrer	0,91 ºC	3,88 ºC	0,09 ºC	2,98 ºC	5,39 ºC	5,22 ºC
Març	7,56 ºC	4,76 ºC	5,18 ºC	6,71 ºC	5,39 ºC	5,61 ºC
Abril	8,78 ºC	6,97 ºC	8,20 ºC	9,98 ºC	10,02 ºC	8,65 ºC
Maig	12,79 ºC	10,55 ºC	13,53 ºC	14,15 ºC	12,35 ºC	10,98 ºC
Juny	18,90 ºC	16,65 ºC	17,68 ºC	18,25 ºC	15,93 ºC	15,68 ºC
Juliol	19,58 ºC	18,05 ºC	19,84 ºC	20,71 ºC	18,97 ºC	18,36 ºC
Agost	20,73 ºC	18,69 ºC	17,71 ºC	17,13 ºC	17,94 ºC	19,15 ºC
Setembre	14,88 ºC	16,50 ºC	14,78 ºC	16,17 ºC	15,08 ºC	14,65 ºC
Octubre	9,13 ºC	11,31 ºC	11,19 ºC	12,90 ºC	11,60 ºC	
Novembre	6,38 ºC	5,58 ºC	4,83 ºC	3,87 ºC	6,92 ºC	
Desembre	3,53 ºC	2,93 ºC	1,18 ºC	3,05 ºC	2,97 ºC	
Mitjana anual	10,44 ºC	9,95 ºC	9,77 ºC	10,63 ºC	10,64 ºC	11,47 ºC
Mitjana hivern (1 octubre – 30 juny)	7,22 ºC	7,43 ºC	7,82 ºC	8,19 ºC	8,04 ºC	

Taula 67. Temperatures mitjanes mensuals. Font FEDA

Les temperatures van variant el que dona un càlcul de graus dia 18 de cada hivern, que es recull en la Taula 68. La variació donada a la taula en percentatge és de cada hivern any respecte al 2003-04. Es pot observar que els primers 4 hiverns el nombre de graus dia ha baixat, mentre que el darrer ha pujat lleugerament.

Hivern	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08
graus dia 18	2954 ºdia	2886 ºdia	2780 ºdia	2678 ºdia	2730 ºdia
Variació respecte hivern 2003-04		-2,28%	-5,87%	-9,35%	-7,59%

Taula 68. Evolució dels graus dia 18 cada hivern

8.3 *Consums a l'hivern*

Els resultats experimentals han anat evolucionant des del moment en que es va començar a habitar fins l'actualitat degut a les millores que s'han anat introduint al funcionament.

Les millores s'han fet després de les anàlisis dels resultats. Algunes són millores físiques, com l'aïllament de les caixes de persiana, i d'altres a nivell de software de control, a anar optimitzant el funcionament de cadascun dels equips.

Per controlar el consum de calefacció el sistema domòtic va acumulant les hores de funcionament del terra radiant elèctric de cadascuna de les habitacions, ja que tenen control independents. El nombre d'hores de funcionament, multiplicat per la potència elèctrica del circuit dóna el consum de calefacció en kWh. Per calcular el cost, es separen les hores de funcionament en hores diürnes i nocturnes ja que s'utilitza tarifa amb discriminació horària i finalment es dóna el cost.

Aquesta pantalla ha anat evolucionant per tal de donar una informació més clara a l'usuari.

La Figura 124 representa el consum de calefacció de la temporada d'hivern 2003-04, de 546,00 € (98,8€ de tarifa diürna + 447,2€ de nocturna).

La Figura 124 representa la pantalla de consum al final de temporada d'hivern 2004-05, amb un consum de 553,30 € de calefacció anual (141,00€ de tarifa diürna + 412,30€ de nocturna).

Entre aquests dos hiverns es van aïllar l'interior de les caixes de persiana de tota al casa amb 6 cm de poliestirè, tant la tapa com totes les parts de la caixa de persiana que no donen directament a l'exterior, per evitar ponts tèrmics. Això ha provocat una baixa en el consum anual d'uns 100 €, corresponents a un 18% d'estalvi.

La Figura 126 correspon al consum de calefacció de tota la temporada d'hivern 2005-06, amb un consum total de 457,00 € (103,40€ de tarifa diürna + 353,60€ de nocturna)

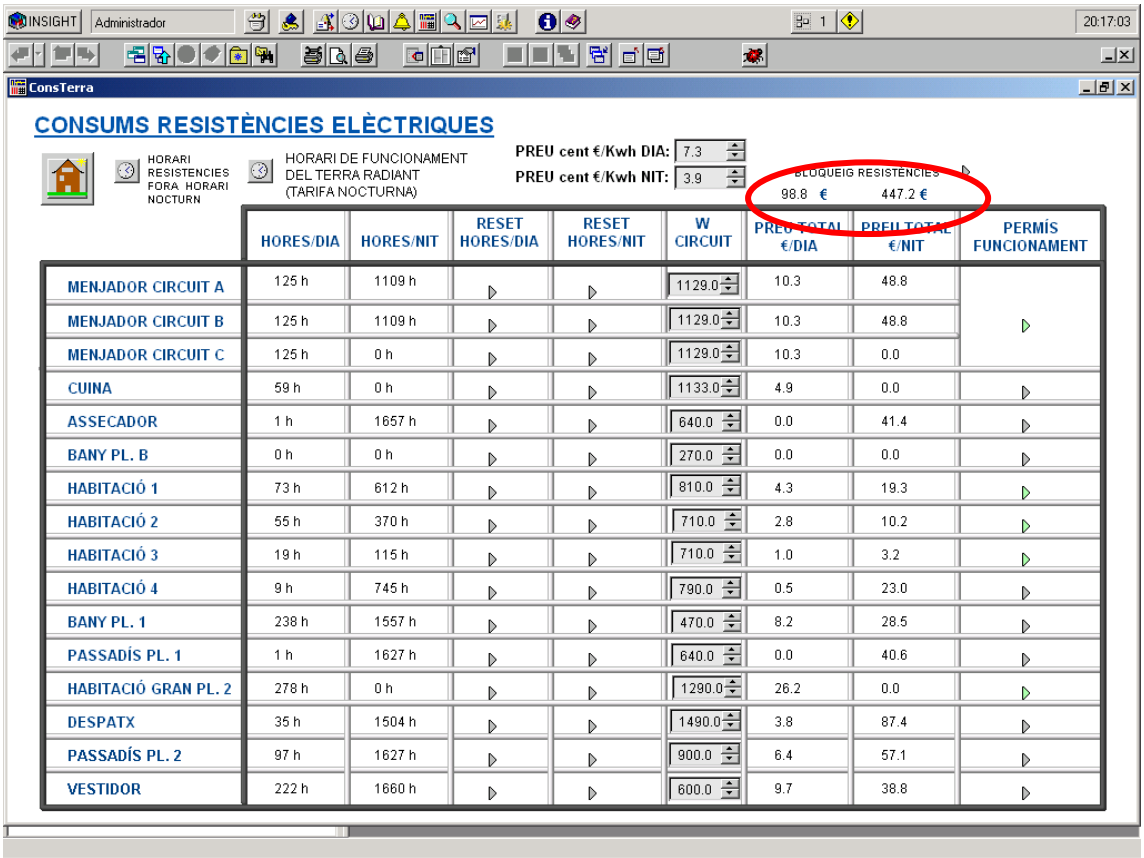


Figura 124. Pantalla del consum de calefacció per terra radiant temporada 2003-04

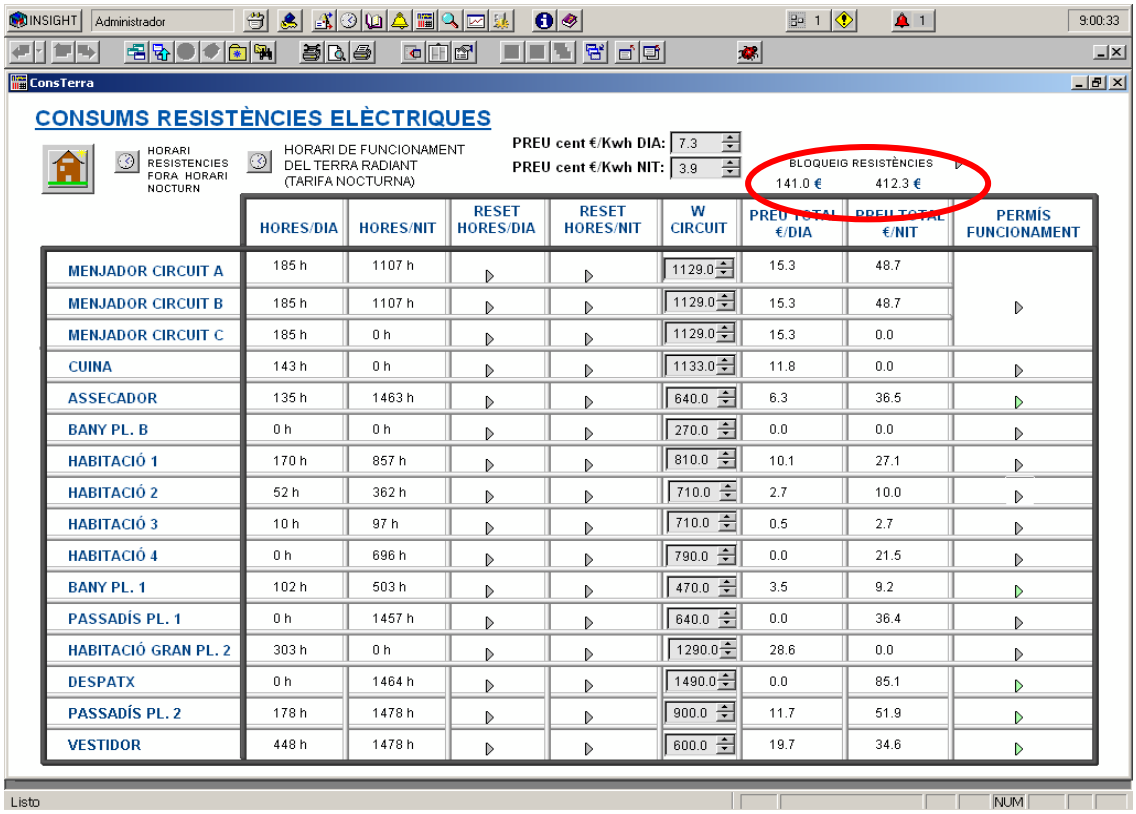
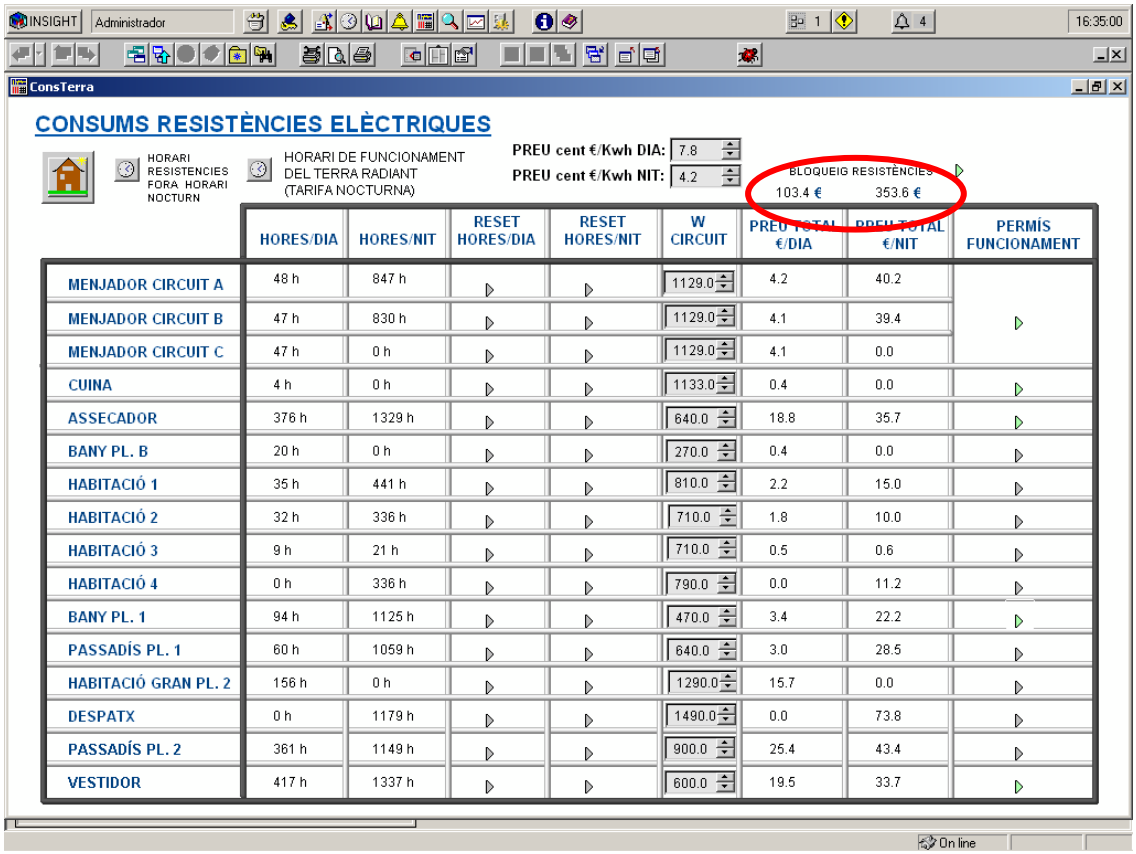


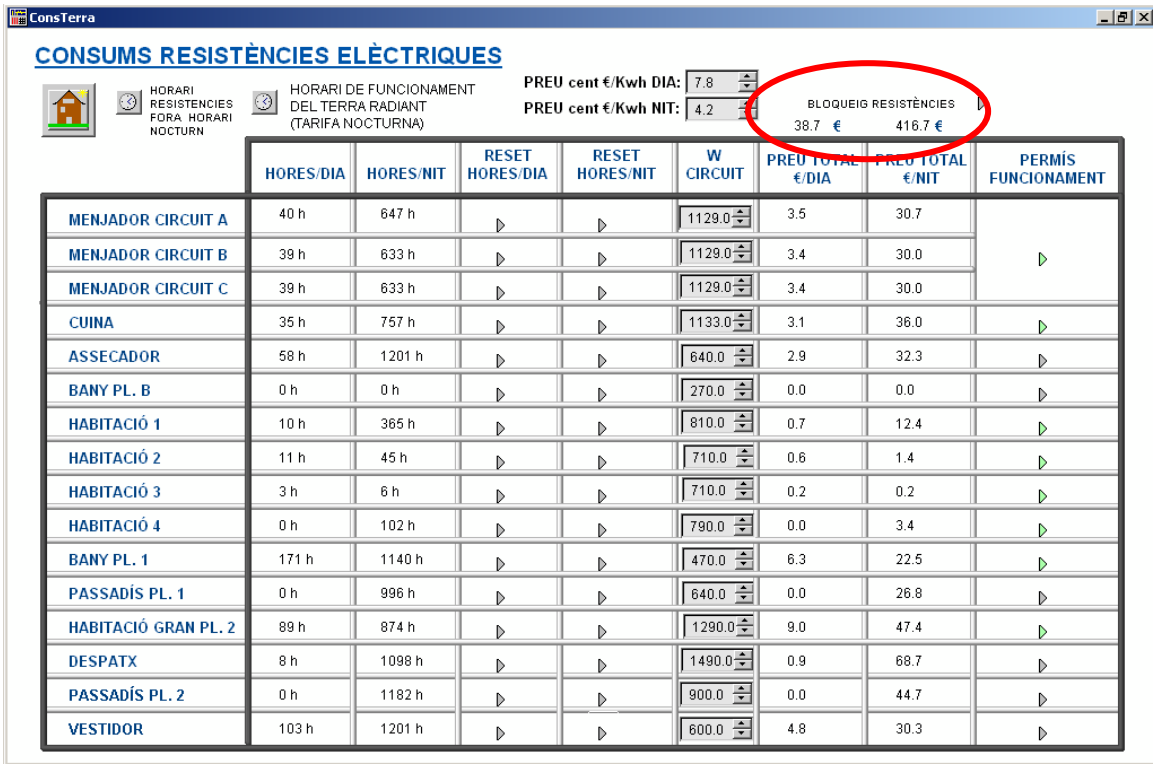
Figura 125. Pantalla del consum de calefacció per terra radiant temporada 2004-05



	HORES/DIA	HORES/NIT	RESET HORES/DIA	RESET HORES/NIT	W CIRCUIT	PREU TOTAL €/DIA	PREU TOTAL €/NIT	PERMÍS FUNCIONAMENT
MENJADOR CIRCUIT A	48 h	847 h			1129.0	4.2	40.2	
MENJADOR CIRCUIT B	47 h	830 h			1129.0	4.1	39.4	
MENJADOR CIRCUIT C	47 h	0 h			1129.0	4.1	0.0	
CUINA	4 h	0 h			1133.0	0.4	0.0	
ASSECADOR	376 h	1329 h			640.0	18.8	35.7	
BANY PL. B	20 h	0 h			270.0	0.4	0.0	
HABITACIÓ 1	35 h	441 h			810.0	2.2	15.0	
HABITACIÓ 2	32 h	336 h			710.0	1.8	10.0	
HABITACIÓ 3	9 h	21 h			710.0	0.5	0.6	
HABITACIÓ 4	0 h	336 h			790.0	0.0	11.2	
BANY PL. 1	94 h	1125 h			470.0	3.4	22.2	
PASSADÍS PL. 1	60 h	1059 h			640.0	3.0	28.5	
HABITACIÓ GRAN PL. 2	156 h	0 h			1290.0	15.7	0.0	
DESPATX	0 h	1179 h			1490.0	0.0	73.8	
PASSADÍS PL. 2	361 h	1149 h			900.0	25.4	43.4	
VESTIDOR	417 h	1337 h			600.0	19.5	33.7	

Figura 126. Pantalla del consum de calefacció per terra radiant temporada 2005-06

La Figura 127 és el recapitulatiu del consum de calefacció de la temporada hivernal 2006-07, amb total 455,40 € (38,70€ de tarifa diürna + 416,70€ de nocturna)



	HORES/DIA	HORES/NIT	RESET HORES/DIA	RESET HORES/NIT	W CIRCUIT	PREU TOTAL €/DIA	PREU TOTAL €/NIT	PERMÍS FUNCIONAMENT
MENJADOR CIRCUIT A	40 h	647 h			1129.0	3.5	30.7	
MENJADOR CIRCUIT B	39 h	633 h			1129.0	3.4	30.0	
MENJADOR CIRCUIT C	39 h	633 h			1129.0	3.4	30.0	
CUINA	35 h	757 h			1133.0	3.1	36.0	
ASSECADOR	58 h	1201 h			640.0	2.9	32.3	
BANY PL. B	0 h	0 h			270.0	0.0	0.0	
HABITACIÓ 1	10 h	365 h			810.0	0.7	12.4	
HABITACIÓ 2	11 h	45 h			710.0	0.6	1.4	
HABITACIÓ 3	3 h	6 h			710.0	0.2	0.2	
HABITACIÓ 4	0 h	102 h			790.0	0.0	3.4	
BANY PL. 1	171 h	1140 h			470.0	6.3	22.5	
PASSADÍS PL. 1	0 h	996 h			640.0	0.0	26.8	
HABITACIÓ GRAN PL. 2	89 h	874 h			1290.0	9.0	47.4	
DESPATX	8 h	1098 h			1490.0	0.9	68.7	
PASSADÍS PL. 2	0 h	1182 h			900.0	0.0	44.7	
VESTIDOR	103 h	1201 h			600.0	4.8	30.3	

Figura 127. Pantalla del consum de calefacció per terra radiant temporada 2006-07

La temporada 2007-08, el consum es va reduir a 405,90 €, tal com es veu a la Figura 128. Aquest consum es va dividir en 37,10€ de tarifa diürna i 368,80€ de tarifa nocturna i representa 1,35 €/m^2·any, el que tenint en compte la climatologia d'Andorra i que és un habitatge unifamiliar aïllat (amb pèrdues molt superiors a un apartament d'un edifici de pisos), és una xifra molt baixa.

El consum en energia total és de 8633 kWh anuals, es a dir 28,8kWh/m^2 totalment dins la línia d'una etiqueta energètica A. Val a dir que l'hivern 2007-08 es va allargar fins al 30 de juny quan habitualment dura fins a principis del mateix més.

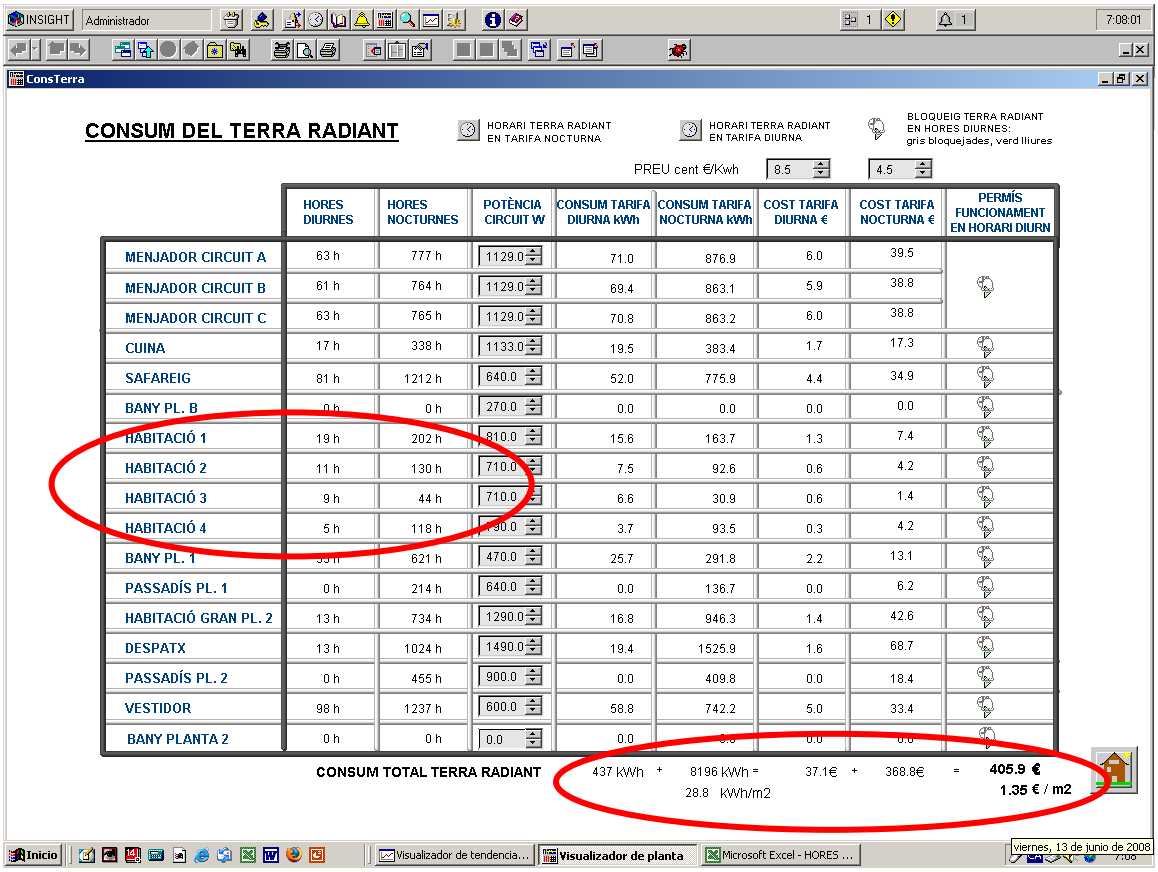


Figura 128. Pantalla del consum de calefacció per terra radiant temporada 2007-08

Aquesta pantalla de control del consum de la Figura 128 també dóna altres informacions importants:

Com a recapitulatiu, el consum d'aquests anys ha estat de:

2003-04	13.001kWh	546.00 €
2004-05	12.498 kWh	553.30 €
2005-06	9.747 kWh	457.00 €
2006-07	10.417 kWh	455.40 €
2007-08	8.633 kWh	405.90 €

La diferència entre el primer hivern i l'últim és de 4.368 kWh, és a dir una reducció del 33.6%.

Una part d'aquesta variació és la climatología, que com es pot veure a la taula 68, els graus dia 18 han baixat un 7.59%. El percentatge inscrit a la taula és la variació sobre el primer hivern i són percentatges inferiors que els percentatges de disminució del consum. Per tant un gran percentatge de la disminució del consum és deguda a les millores fetes a la casa i no als canvis de la climatologia.
En el gràfic de la Figura 129 es veu l'evolució dels graus dia 18 i del consum de calefacció cada temporada d'hivern així com la línia de tendència del consum amb un decreixement superior al dels graus dia.

La segona raó és que a principis de l'any 2006, es van aïllar les caixes de persiana tal com es descriu en el capítol 7.23 i això es va reflectir directament en el consum baixant-lo un 22%.

La resta de disminució, es a dir el 4.01% correspon a petits canvis de programació en el control de l'edifici, que a través de les anàlisis fetes del funcionament, s'ha anant ajustant per millorar l'eficiència energètica del sistema.

De les dades extretes de la figura 128 s'hi poden extreure una sèrie de conclusions interessants:

Les habitacions 1, 2, 3 i 4 són les que donen a la façana sud, i tenen locals calefactats a sobre i sota, per tant tenen menys pèrdues tèrmiques que la resta. La mitjana de funcionament de la calefacció de cadascuna de les quatre habitacions és de 134,5h anuals, equivalents a menys de 6 dies de 24 h per escalfar-les tot el hivern. La temporada comença l'1 d'octubre i acaba a finals de juny, amb més de 200 dies de calefacció. Escalfar cadascuna d'aquestes habitacions costa de mitjana 5 € anuals.

Hi ha algun local petit, com el bany de planta baixa o de la planta 2 que no utilitzen calefacció, en tenen prou amb els guanys naturals que tenen.

- Els locals que donen a la façana nord, lògicament tenen un consum més elevat que els de la sud.
- El consum en hores diürnes de la tarifa, que va de les 23h a les 8h és de 8196kWh i en hores diürnes és de 437kWh, la proporció d'ús nit – dia és de 19:1. La tarifa nocturna és de 9h diàries mentre que la diürna és de 15h. Així doncs pràcticament no s'ha utilitzat la calefacció en hores diürnes el que demostra que l'aïllament de l'edifici i la capacitat de la inèrcia tèrmica és tant gran que no perd durant un dia fred les calories acumulades durant la nit ni durant les hores de sol. Les hores diürnes s'han utilitzat únicament els dies que no ha fet gens de sol i la temperatura interior ha anat baixant per sota del punt de consigna.
- El consum total de la casa és de 8196 kWh + 437 kWh = 8633kWh anuals, equivalent al consum d'uns estufa elèctrica de 2000W funcionant els 6 mesos de calefacció, per escalfar els 300m^2 d'habitatge
- El consum en Euros és de 405.6€ pels 300 m^2 . El consum equivalent per un pis de 80m2 seria de 108.16€ anuals. Recordem que tal com s'ha explicat al capìtol 8.1, el consum típic a Andorra per un pis d'aquestes caraterístiques és de 1089.86€. L'estalvi és doncs del 90.0%.

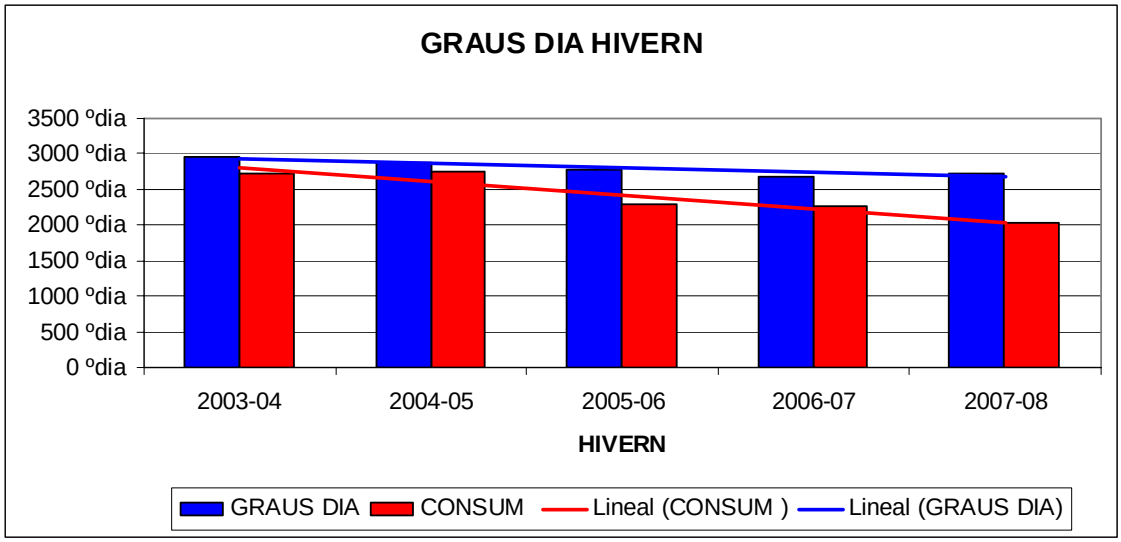


Figura 129. Evolució dels graus dia 18 i dels consum de calefacció de la casa des del 2003 al 2008

	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08
GRAUS-DIA 18 / HIVERN	2954 ºdia	2886 ºdia	2780 ºdia	2678 ºdia	2730 ºdia
		-2,28%	-5,87%	-9,35%	-7,59%
CONSUM kWh	13.001	12.498	9747	10417	8633
VARIACIÓ		-3.9%	-22.0%	+6.9%	-17.1%
CONSUM €	546,00 €	553,30 €	457,00 €	455,40 €	405,90 €

Taula 69.- Comparatiu de l'evolució dels graus dia d'hivern 18 i del consum

El fet d'escollir un terra radiant elèctric com a sistema de calefacció de recolzament al solar, correspon a una millor relació inversió/estalvi.

És evident que una instal·lació de terra radiant amb bomba de calor, que actualment tenen un COP estacional (coeficient of performance = energia tèrmica produïda / energia elèctrica consumida) als voltants de 2.5, dividiria el consum en € de calefacció per un coeficient similar, es a dir donaria un estalvi anual de 243.54€. La inversió, pròxima als 15.000 €, s'amortitzaria en un termini als voltants dels 60 anys.

L'opció de la bomba de calor és millor energèticament parlant però no des del punt de vista econòmic en aquest cas concret.

8.4 *Consums a l'estiu*

L'edifici no té instal·lació de climatització, sinó que controla la temperatura interior mitjançant dos sistemes:

- tancament de persianes quan fa sol i es sobrepassa el punt de consigna (24ºC). La persiana baixa uns centímetres cada 10 minuts sempre que es compleixi la condició esmentada.

- Fent free cooling les hores nocturnes. Degut a la cota de l'edifici, la temperatura exterior nocturna sempre està per sota dels 20ºC i per tant permet fer free cooling.

Tot plegat fa que amb un cost d'energia pròxim al zero, ja que només és el motor de persianes i un ventilador, es manté la temperatura dins els 24ºC.

La inèrcia tèrmica i l'elevat aïllament tèrmic fa la resta.

8.5 *Comportament tèrmic al hivern*

El comportament tèrmic al hivern és força estable i sempre dins dels límits de confort. Es podria agafar qualsevol període, com per exemple del 2 a l'11 de febrer del 2002 en el gràfic de la Figura 130. S'hi pot observar:

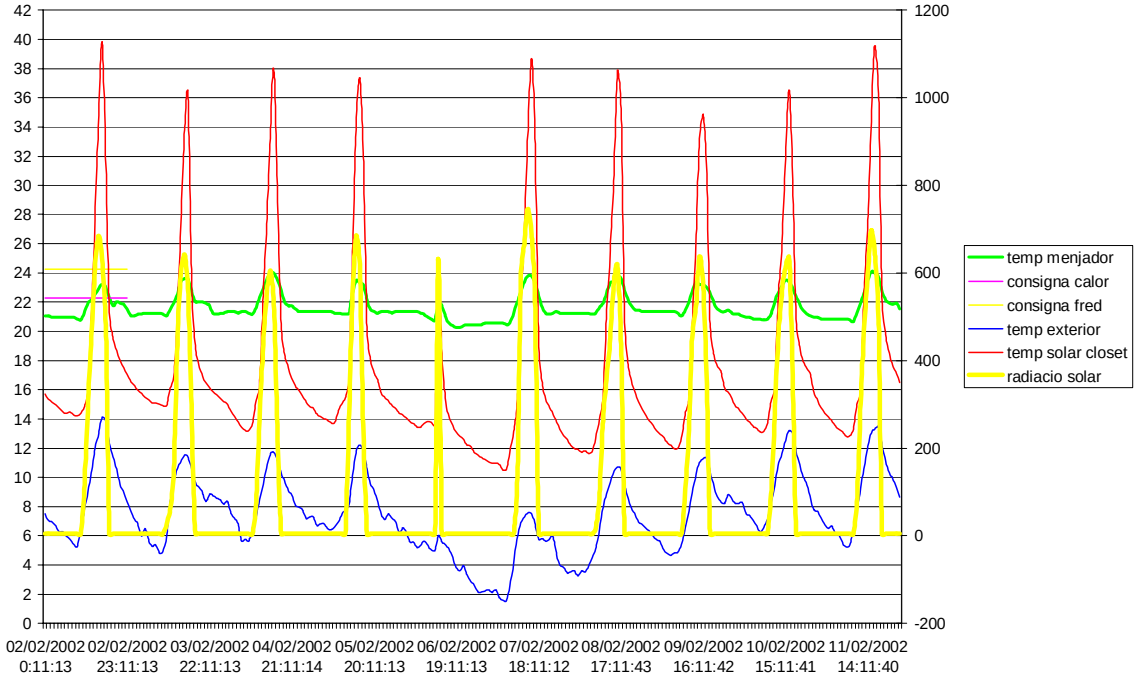


Figura 130. Gràfic d'evolució de les temperatures interior, exterior, solar closet i radiació solar en una setmana típica d'hivern al menjador

- Són uns dies solejats: la línia groga representa la radiació solar, excepte el dia 6/02.
- La temperatura exterior té unes oscil·lacions diàries de més de 10ºC, arribant a màximes de 14ºC i mínimes d'1,8ºC.
- La temperatura del solar closet, on s'acumula el calor del col·lectors de calefacció arriba fins els 40ºC disminuint a la nit fins entre els 11ºC i 14ºC.
- La temperatura del menjador és tremendament estable. En cap moment no ha baixat dels 20ºC ni ha pujat dels 24ºC en el moment punta del mig dia. Si s'observa la caiguda de temperatura durant les

hores nocturnes, és d'alguna dècima de grau per nit. Això corrobora que entre la inèrcia tèrmica i els aïllaments reforçats que té, la conservació de temperatura l seu interior és un fet.

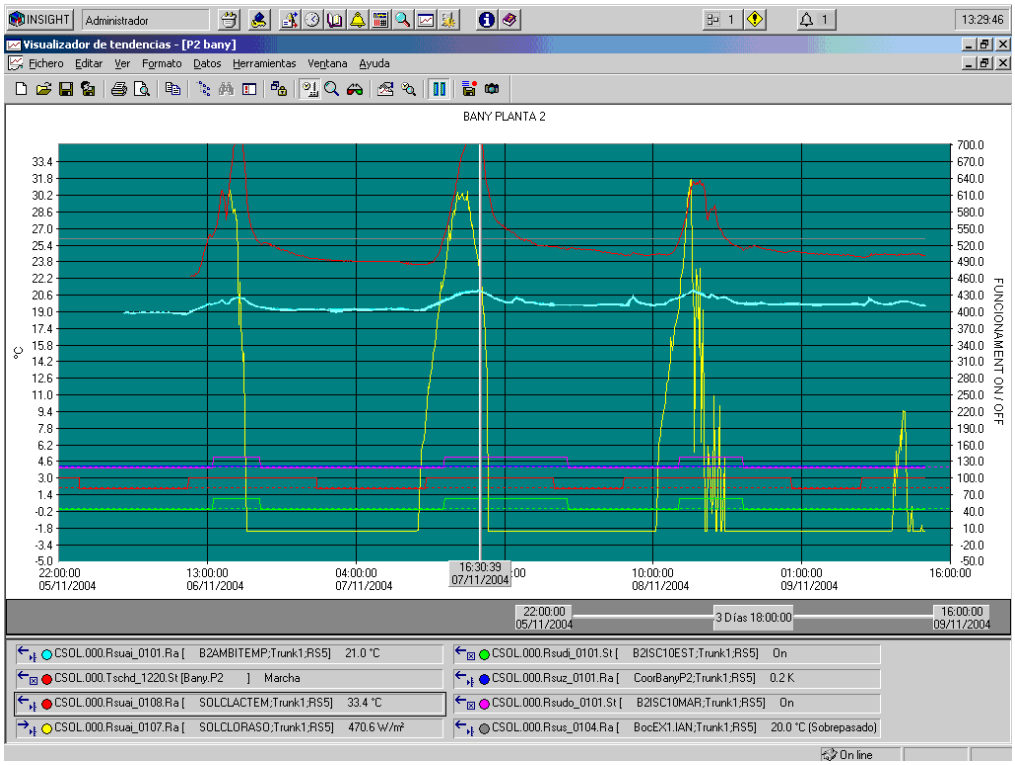


Figura 131. Evolució de les temperatures interior, solar closet i radiació solar en una setmana d'hivern menys rigorosa al bany de la planta 2.

Un altre exemple de comportament al hivern es pot veure en el gràfic de la **Figura 132**, del 5 al 9 de novembre del 2004, on es recull l'evolució de la temperatura del bany de la planta 2, que no disposa de cap mena de calefacció de recolzament a la solar. S'observa:

- En color grog la radiació solar, amb la punta cada mig dia. El dia 7 va ser molt clar, el 8 el mati clar i tarda núvol i el 9 completament núvol.
- En color vermell la temperatura del col·lector solar de calefacció, amb puntes d'uns 35ºC.
- En color blau cel la temperatura interior del bany, on s'observa que quan fa molt sol puja la temperatura dels 19 als 21 ºC, mentre que a les hores nocturnes pràcticament no baixa la temperatura. Les puntes petites de temperatura són degudes a les dutxes que s'han pres, que augmenten la temperatura de forma puntual.

Un darrer exemple d'hivern, amb temperatures negatives i varis dies sense sol, es pot veure en el gràfic de la Figura 131, correspon als dies 23 al 28 de gener del 2005. Es pot veure:

- La temperatura exterior ha anat baixant fins als -4ºC, estant 4 dies seguits sota zero (línia blau marí).
- Només hi ha hagut sol el dia 24 al matí i el 27 tot el dia, i gens de sol la resta (línia groga).

- El terra radiant elèctric (línia blanca) ha funcionat en hores nocturnes i fins i tot en diürnes però només el dia 26.
- La temperatura interior (línia blau cel) ha pujat fins els 24ºC de punta al mig dia del 24, pel sol i 23,5 el dia 27. La resta d'hores de tots els dies la temperatura interior ha anat mantenint-se entre els 19,5ºC i els 20ºC. Les variacions de temperatura quan no hi ha sol són realment molt suaus, pràcticament imperceptibles pels usuaris (dècimes de grau cada nit).

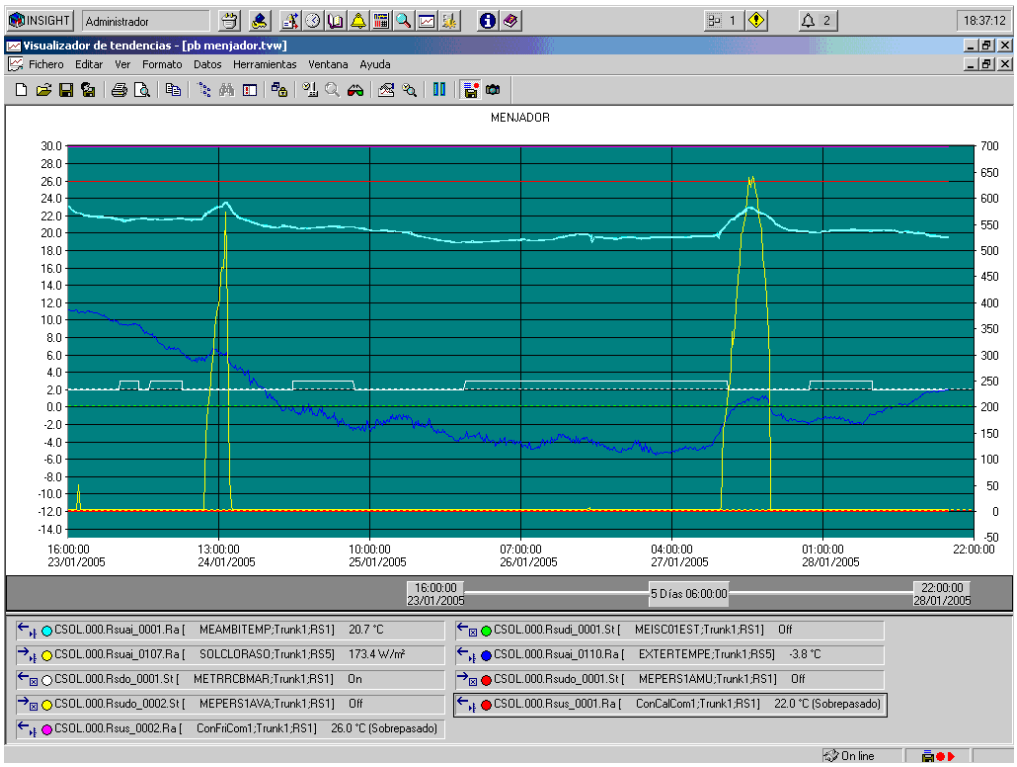


Figura 133. Gràfic d'evolució de les temperatures de l'interior del menjador, exterior, solar closet i radiació solar en una setmana d'hivern molt freda

8.6 ***Comportament tèrmic a l'estiu***

Un parell d'exemples del comportament de la casa a l'estiu el podem observar en les Figura 134 i Figura 135.

A la Figura 134, corresponent al menjador s'observa:

- Línia groga: Radiació solar bastant alta amb alguns núvols que van passant durant tot el dia.
- Línia blau marí: temperatura exterior, oscil·lant cada dia entre els 31 ºC al mig dia i els 22 ºC a la matinada.
- Línia blau cel: temperatura interior del menjador que oscil·la entre 21 i 22ºC sense més canvis.
- Línia recta vermella i groga: impulsos de pujada i baixada de persiana per mantenir la temperatura dins dels límits del punt de consigna.

A la Figura 135, corresponent a l'habitació numero 2 de la primera planta, els dies 10 al 15 de juny del 2007, les condicions de sol i temperatura

exterior són les mateixes i observem que la temperatura interior en color blau cel, varia entre 21,6 i 22ºC

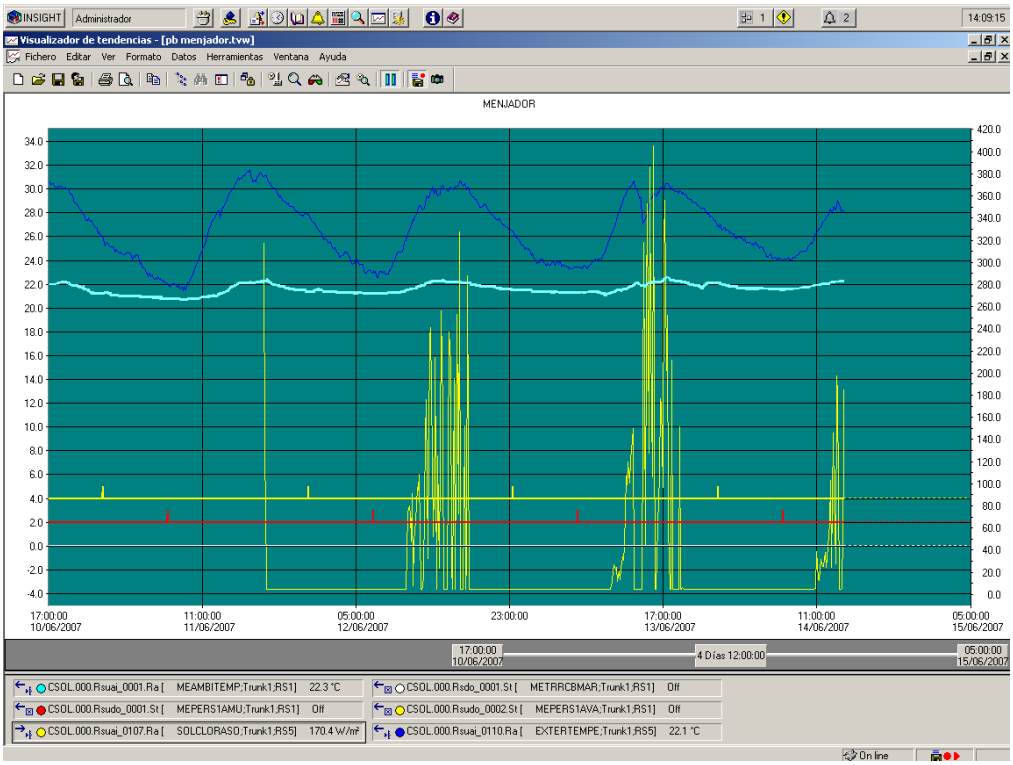


Figura 134. Gràfic d'evolució de les temperatures interiors del menjador, exterior i radiació solar en una setmana calorosa d'estiu

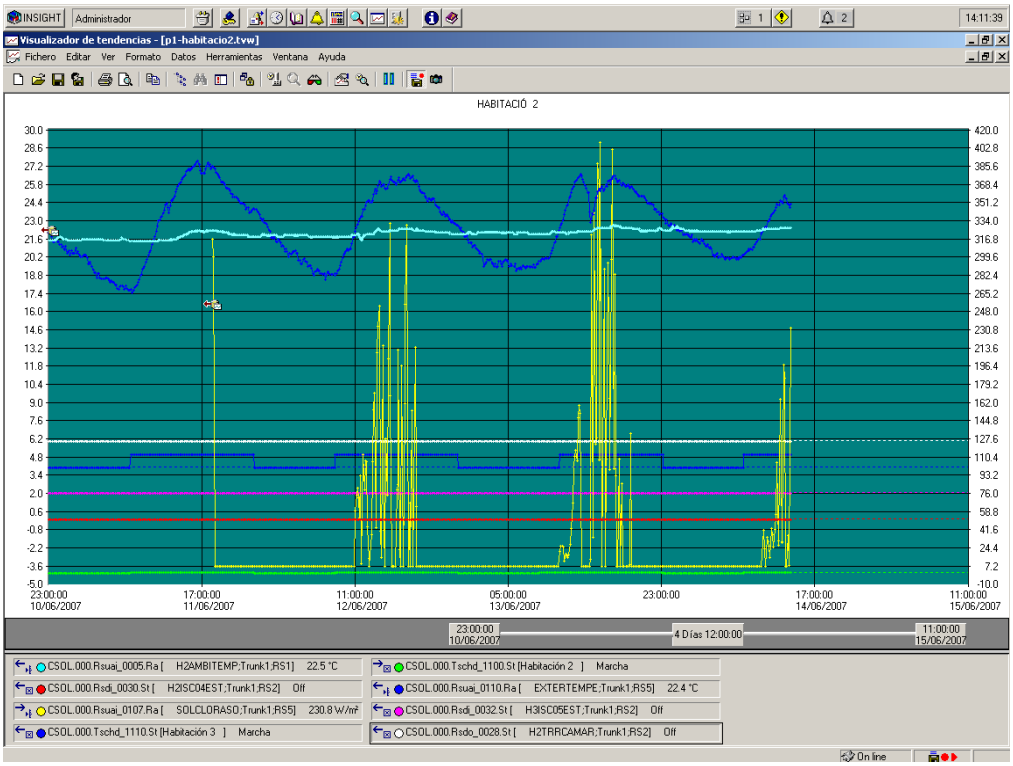


Figura 135. Gràfic d'evolució de les temperatures interiors de l'habitació 2, exterior i radiació solar en una setmana calorosa d'estiu

La conclusió és que el sistema de regulació de temperatura a l'estiu (bàsicament el control de persiana) és molt estable i fiable.

8.7 *Etiqueta energètica segons normativa espanyola*

Per trobar l'etiqueta energètica de l'edifici cal aplicar el programa Calener que te dues limitacions importants en aquest cas, que canvien substancialment els resultats teòrics de càlcul amb els resultats reals mesurats. Aquestes limitacions són:

- les dades climatològiques que utilitza el Calener no són les d'Andorra sinó les d'una zona climàtica "similar", en aquest cas la zona E1 (Burgos, Sòria....) amb la correcció de la cota d'alçada de 1260m
- No hi ha forma de simular dins del Calener una instal·lació de col.lectors solars per calefacció

Amb aquestes dues limitacions, el resultat és el següent:

6. Resultados

Datos para la etiqueta de eficiencia energética

	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
	por metro cuadrado	anual	por metro cuadrado	anual
Consumo energía final (kWh)	61,5	21397,5	173,3	60305,4
Consumo energía primaria (kWh)	160,1	55697,8	183,1	63702,7
Emisiones CO2 (kgCO2)	39,9	13883,9	40,9	14231,9

Dona un consum anual de 61.5 kWh/m2·any i per tant una etiqueta energètica D.

El fet d'utilitzar calefacció elèctrica, penalitza el consum d'energia al passar-la a energia primària. Si a aquests resultats s'hi apliquen els guanys del sistema solar de calefacció i la correcció per temperatura, les emissions de CO2 passen a ser de 20,7 kg CO2/m2 per tant una etiqueta energètica B.

Si la calefacció fos amb caldera o bomba de calor, no tindria la penalització d'energia primària i les emissions de CO2 passarien a ser de 15.3 kg/CO2·m2, el que seria una etiqueta A.

	REAL (amb bomba de calor o caldera)	REAL (amb terra radiant elèctric)	CALENER (sense solar per calefacció)
Consum de calefacció	28,8 kWh/m2·any	28,8 kWh/m2·any	55,4 kWh/m2·any
Emissions CO2 calefaccio	18,8 kg CO2/m2·any	18,8 kg CO2/m2·any	36,2 kg CO2/m2·any
Emissions CO2 aigua calenta	3,7 kg CO2/m2·any	3,7 kg CO2/m2·any	3,7 kg CO2/m2·any
Consum energia primaria total	61,5 kWh/m2·any	83,2 kWh/m2·any	160,1 kWh/m2·any
Emissions CO2 totals	15,3 kg CO2/m2·any	20,7 kg CO2/m2·any	39,9 kg CO2/m2·any

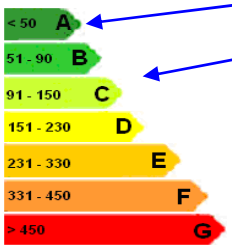
Taula 70.- Etiqueta, consum energètic i emissions de CO2 de la casa segons normativa espanyola

Per tant el "disseny arquitectònic" de la casa és una etiqueta energètica A, penalitzada a una B pel fet d'utilitzar calefacció elèctrica

8.8 *Etiqueta energètica segons normativa francesa RT 2005*

Per trobar l'etiqueta energètica de l'edifici cal calcular el consum energètic en kWh/m2 i any.
Aquest normativa també aplica la penalització per l'ús de calefacció per energia elèctrica.

	REAL (amb bomba de calor o caldera)	REAL (amb terra radiant elèctric)
Consum de calefacció	28,8 kWh/m2·any	28,8 kWh/m2·any
Consum d'aigua calenta	13,8 kWh/m2·any	13,8 kWh/m2·any
Consum enllumenat baix consum	5,0 kWh/m2·any	5,0 kWh/m2·any
Consum energia primaria total	47,6 kWh/m2·any	114,9 kWh/m2·any



Taula 71.- Etiqueta i consum energètic de la casa segons normativa francesa

Per tant el "disseny arquitectònic" de la casa és una etiqueta energètica A, penalitzada a una C pel fet d'utilitzar calefacció elèctrica.

9. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS

L'edifici que aquí es presenta, correspon a una casa unifamiliar i està situada en un rigorós clima alpí, a una cota de 1260 m sobre el nivell del mar i amb temperatures extremes al hivern de -12ºC. No obstant això i després d'haver-lo habitat durant 8 anys, el seus consums reals d'energia són:

- Calefacció és de 28 kWh/m^2.any, equivalent a 1,35 €/m^2.any.

- Aigua calenta sanitària, 7000 kWh anuals, corresponents a 23 kWh/ m2.any, per una ocupació fixa de 5 persones

- Enllumenat, tots els locals donen a l'exterior, el que permeten aprofitar el llum natural sempre que se'n disposi.

Tot això fa que el disseny d'aquest edifici estigui dins dels que podrien gaudir d'una l'etiqueta energètica A si no fos per que utilitza calefacció elèctrica que el penalitza.

Com a conclusió de la present tesi doctoral, es pot dir:

- Un bon disseny d'un edifici disminueix el seu consum d'energia en un gran percentatge. El més important és poder dissenyar el seu comportament passiu mitjançant una simulació tèrmica com la realitzada aquí.

- El sobrecost d'obra que representa aquesta millora del comportament passiu, que a la pràctica es tradueix en augment de l'aïllament i canvi de vidres per uns de baixa emissivitat, té una repercussió econòmica en la inversió inicial que es valora entre l'1 i el 2% segons els casos. Aquest augment queda pràcticament reduït a zero en el moment en que les instal·lacions de calefacció i climatització es redueixen en potència i dimensions, gràcies a aquestes aportacions i per tant el sobrecost global de fer un edifici bioclimàtic és pròxim a zero.

- El sobrepreu respecte als edificis tradicionals és centra en els sistemes solars actius

- S'ha demostrat durant els anys en que s'ha habitat l'edifici que no només hi ha un estalvi econòmic en energia de calefacció, sinó que el comportament tèrmic de l'interior de l'edifici es molt més estable que els edificis convencionals, amb temperatures molt més constants, el que es tradueix en un major confort dels seus habitants.

- El disseny d'aquest edifici, tot i els seus bons resultats, és millorable des del punt de vista energètic en alguns detalls, com una perfileria de finestres de comportament tèrmic més bo.

- Les pèrdues energètiques de la recirculació de l'aigua calenta a la casa són superiors al propi consum d'energia de producció d'aigua calenta. Es recomana aïllar millor els tubs que van pel sostre del garatge.

- Cal tenir especial cura en el tractament adequat dels pont tèrmics habituals i molt especialment en les caixes de persiana, que aquí han reduït el consum un 18%.
- Al acabar la construcció es molt important poder fer una anàlisi termogràfica tant de la construcció com de les instal·lacions, per poder millorar alguns defectes constructius que hagin pogut ocórrer durant l'obra.

- La superfície de les finestres de la cara sud ha acabat essent molt gran, tipus portes balconeres, cosa que en les construccions tradicionals andorranes ja es feia per aprofitar mes el sol.

- Treballar amb materials de construcció que tinguin una gran inèrcia tèrmica permet reduir les oscil·lacions en les temperatures interiors i per tant millorar el confort.

- El sistema domòtic es importantissim per controlar el consum i el comportament tèrmic de la casa. En especial el control de persianes tant a l'estiu com a l'hivern en funció de la temperatura interior, i els elements que consumeixen energia, com la calefacció o la producció d'aigua calenta.

- El disseny es va fer l'any 1997, any que es va fer el Protocol de Kyoto, i 9 anys abans de l'aprovació del Codigo Técnico de la Edificación.

- També es molt important que el sistema domòtic tingui recollida de dades per que el personal de manteniment pugui afinar en el consum.

- L'esforç fet en el disseny d'aquesta casa ha portat al desenvolupament d'un software de càlcul que facilita la tasca i escurça el temps de la simulació tèrmica a 2 dies d'enginyer quan inicialment eren varies setmanes de professional. Aquest software es www.bioclim.com .

10. BIBLIOGRAFIA

- [1] Passive Energy House Standard: Which requirements are necessary for the building and/or individual components. Available from: <http://www.internorm.com>

- [2] PEP Project: Promotion of European Passive Houses. Passive House Solutions. May 2006. Available from: <http://www.europeanpassivehouses.org/>.

- [3] V. Badescu, B. Sicre, Renewable energy for passive house heating, I. Building description, Energy and Buildings 35 (2003) 1077–1084.

- [4] V. Badescu, B. Sicre, Renewable energy for passive house heating, II. Model, Energy and Buildings 35 (2003) 1085–1096.

- [5] PEP Project: Promotion of European Passive Houses. Energy Saving Potencial. 23-05-2005. Available from: <http://www.europeanpassivehouses.org/>.

- [6] CEPHEUS: Cost efficient Passive Houses as European Standards. Final Publical Report. July 2001. Available from: <http://www.cepheus.de>.

- [7] SIGMA: Sistema d'Informació Geogràfica Mediambiental d'Andorra. Available from: <http://www.sigma.ad>

- [8] Servei d'estudis d'Andorra: Andorra in figures 2005. Available from: <http://www.estadistica.ad>

- [9] Servei Meteorològic d'Andorra: <http://www.meteo.ad/>

- [10] A. Mitjà, E. Batallla, Manual de Radiacion Solar. Tablas para Catalunya. Volumen I. UPC, Instituto de Técnicas Energéticas – ETSEIB

- [11] Recknagel, Sprenger, Schramek, Manuel Practique du Génie Climatique. Vol 2.- Chauffage et production d'eau chaude sanitaire.

- [12] J.A. Duffie – W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes

- [13] RETScreen International. Clean Energy Decision Support Centre. Solar Water Heating Project Analysis

- [14] F.Kreith, J.F.Kreider. Principles of Solar Engineering

11. ANNEX FOTOGRÀFIC

11.1 *Següència de construcció de la façana sud de la casa*

Figura 136. Construcció de l'estructura de formigó de la façana sud

Figura 137. Folrat de la façana amb alumini plastificat i instal·lació de tubs i conductes d'aire

Figura 138. Instal·lació d'aïllament tèrmic 2x7,5cm de poliestirè. Juntes amb escuma de poliuretà

Figura 139. Folrat de la façana sud amb pedra

Figura 140. Col·locació de fusteria de finestres

Figura 141. Col·locació de vidres i acabats

Figura 142. Façana sud acabada inclosos col·lectors solars d'aigua calenta i d'aire de calefacció

11.2 *Següència de construcció de la façana oest de la casa*

Figura 143. Construcció de l'estructura de formigó de la façana oest

Figura 144. Folrat de la façana amb alumini plastificat i instal·lació de tubs, conductes d'aire i tubs elèctrics

Figura 145. Col·locació de poliestirè 2x7,5cm i rejuntat amb escuma de poliuretà dels tubs i cables

Figura 146. Folrat de la façana amb pedra

Figura 147. Façana oest acabada inclosos col·lectors solars d'aire de calefacció

11.3 *Fotografies generals de la casa*

Figura 148. Imatge general de la façana oest i el seu context

Figura 149. Imatge de detall de la casa amb la seva climatologia adversa

Figura 150. Imatge de la casa amb la vall d'Andorra la Vella al fons

Figura 151. Façana est i nord de la casa

Figura 152. Vista de la casa cap a l'oest. Pic de Carroi

Figura 153. Vista de la casa cap a l'est. Vall del Madriu

Figura 154. Gruix de neu considerable a la terrassa de la façana est

Figura 155. Gruix de neu acumulada a la finestra de la planta 2

11.4 *Fotografies de detalls de la casa*

Figura 156. Detall dels conductes d'aire de calefacció al sostre del garatge

Figura 157. Detall dels ventiladors d'aire de calefacció a la paret del "solar closet"

Figura 158. Detall de l'aïllament de la teulada, 20cm de llana de roca volcànica

Figura 159. Detall d'aïllament de la paret del "solar closet" amb el garatge, 10cm de llana de roca volcànica

Figura 160. Detall comporta d'aire alta del col·lector solar al "solar closet"

Figura 161. Detall de comportes altes i baixes del col·lector solar al "solar closet"

Figura 162. Vista del "solar closet" equipat amb l'aigua

Figura 163. Vista del "solar closet" acabat

Figura 164. Detall de la integració arquitectònica dels col·lectors solars d'aigua calenta

Figura 165. Quadre elèctric domòtic de la casa

Figura 166. Detall d'una finestra amb els difusors d'aire de calefacció i renovació a cada banda, i la caixa de persiana per la part interior de la casa

Figura 167. Detall de l'aïllament interior de la caixa de persiana de 6 a 9cm de poliestirè en totes les cares que donen a l'interior de la casa

Figura 168. Vista general del menjador acabat

Figura 169. Vista general del menjador acabat

Figura 170. Vista general del menjador

Figura 171. Vista general del menjador