



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO FIN DE MÁSTER

**ANÁLISIS DE LOS PUENTES TÉRMICOS EN PROYECTOS DE REHABILITACIÓN
RESIDENCIAL. ESTUDIO DE UN CASO.**

Tutor

Ignacio Enrique Guillen Guillamón

Autor

José Sancho Pelluz

ÍNDICE:

LISTADO DE FIGURAS	5
LISTADO DE TABLAS	15
RESUMEN	19
ABSTRACT	20
1. INTRODUCCIÓN	21
2. OBJETIVOS	22
3. MARCO NORMATIVO	23
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	25
4.1. DEFINICIONES	25
4.2. TRANSMISIÓN DE CALOR Y CONDENSACIONES EN LOS PUENTES	
TÉRMICOS	28
4.3. FORMULACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE CALOR CONSIDERANDO LOS	
PUENTES TÉRMICOS	28
4.4. TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL ψ Y PUNTUAL χ	29
4.5. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE PUENTES TÉRMICOS	30
4.6. RESISTENCIA SUPERFICIAL	32
4.7. CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS	33
5. ESTUDIO DE UN CASO	35
5.1. INTRODUCCIÓN	35
5.2. RECOPIACIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS	37
5.2.1. CONDICIONES EXTERIORES	38
5.2.2. CONDICIONES INTERIORES	38
5.2.3. COEFICIENTE DE PELÍCULA	39
5.3. ESTADO ORIGINAL	40
5.3.1. ZONA ESTE	40
5.3.1.1. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE	40
5.3.1.2. UBICACIÓN DE LOS PUENTES TÉRMICOS	42
5.3.1.3. ANÁLISIS DE LOS PUENTES TÉRMICOS	44
5.3.2. ZONA OESTE	62
5.3.2.1. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE	62
5.3.2.2. UBICACIÓN DE LOS PUENTES TÉRMICOS	63

5.3.2.3. ANÁLISIS DE LOS PUENTES TÉRMICOS	64
5.3.3. RESUMEN ESTADO ORIGINAL	82
5.4. ESTADO REHABILITADO	85
5.4.1. ZONA ESTE	85
5.4.1.1. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE	85
5.4.1.2. UBICACIÓN DE LOS PUENTES TÉRMICOS	87
5.4.1.3. ANÁLISIS DE LOS PUENTES TÉRMICOS	88
5.4.2. ZONA OESTE	106
5.4.2.1. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE	106
5.4.2.2. UBICACIÓN DE LOS PUENTES TÉRMICOS	108
5.4.2.3. ANÁLISIS DE LOS PUENTES TÉRMICOS	109
5.4.3. RESUMEN ESTADO REHABILITADO	127
5.5. COMPARATIVA DE RESULTADOS. ORIGINAL-REHABILITADO	129
5.6. OPTIMIZACIÓN DE RESULTADOS. MEJORAS	132
5.6.1. ANÁLISIS DE LOS PUENTES TÉRMICOS MEJORADOS	133
5.6.2. RESUMEN ESTADO MEJORADO	149
5.7. COMPARATIVA DE RESULTADOS. REHABILITADO-OPTIMIZADO	150
5.8. CONCLUSIONES	154
6. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	157
ANEXO I. PLANOS	160
ANEXO II. GALERÍA FOTOGRÁFICA	176

LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1. Visados dirección de obra nueva y de Ampliación, reforma y/o Restauración en España en el ámbito residencial. (Fuente: INE).
- Figura 2. Dirección de flujo de calor unidimensional para cerramiento de extensión indefinida (Carlos Castro, 2008).
- Figura 3. Dirección de flujo de calor bidimensional para cerramiento con puente térmico lineal (C. Castro, 2008).
- Figura 4. Significado de Ψ según la superposición realizada (CTE DB HE-DA 1).
- Figura 5. Vista aérea del emplazamiento del edificio
- Figura 6. Plano de situación del edificio
- Figura 7. Evolución de la fachada este (calle Doctor Lanuza). Izqda. estado original. Dcha. estado rehabilitado.
- Figura 8. Evolución de la fachada oeste (calle Doctor Nacher). Izqda. estado original. Dcha. estado rehabilitado.
- Figura 9. Evolución de forjados en zona este. Arriba estado original. Abajo estado rehabilitado.
- Figura 10. Ábaco de Givoni. Zonas de confort.
- Figura 11. Esquema de puentes térmicos. Estado original. Fachada Este. (I)
- Figura 12. Esquema de puentes térmicos. Estado original. Fachada Este. (II)
- Figura 13. Sección constructiva. Zona este. Estado original.
- Figura 14. Fachada-Solera. Zona este. Estado original. Detalle constructivo.
- Figura 15. Fachada-Solera. Isotermas. Inverno.
- Figura 16. Fachada-Solera. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 17. Fachada-Solera. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 18. Fachada-Solera. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 19. Fachada-Solera. Isotermas. Verano.
- Figura 20. Fachada-Solera. Vectores flujo. Verano.
- Figura 21. Fachada-Solera. Infrarrojos. Verano.
- Figura 22. Fachada-Solera. Flujo de energía. Verano.

- Figura 23. Fachada-Forjado (por vigueta). Zona este. Estado original. Detalle constructivo.
- Figura 24. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas. Inverno.
- Figura 25. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo. Inverno.
- Figura 26. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 27. Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 28. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas. Verano.
- Figura 29. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo. Verano.
- Figura 30. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos. Verano.
- Figura 31. Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía. Verano.
- Figura 32. Fachada-Forjado (por revoltón). Zona este. Estado original. Detalle constructivo.
- Figura 33. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas. Inverno.
- Figura 34. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo. Inverno.
- Figura 35. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 36. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 37. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas. Verano.
- Figura 38. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo. Verano.
- Figura 39. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos. Verano.
- Figura 40. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía. Verano.
- Figura 41. Fachada-Forjado (balcón). Zona este. Estado original. Detalle constructivo.
- Figura 42. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Inverno.
- Figura 43. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Inverno.
- Figura 44. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 45. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 46. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Verano.
- Figura 47. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Verano.

- Figura 48. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Verano.
- Figura 49. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Verano.
- Figura 50. Fachada-Cubierta. Zona este. Estado original. Detalle constructivo.
- Figura 51. Fachada-Cubierta. Isotermas. Inverno.
- Figura 52. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 53. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 54. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 55. Fachada-Cubierta. Isotermas. Verano.
- Figura 56. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Verano.
- Figura 57. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Verano.
- Figura 58. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Verano.
- Figura 59. Esquema de puentes térmicos. Estado original. Fachada Oeste. (I)
- Figura 60. Esquema de puentes térmicos. Estado original. Fachada Oeste. (II)
- Figura 61. Sección constructiva. Zona oeste. Estado original.
- Figura 62. Fachada-Solera. Zona oeste. Estado original. Detalle constructivo.
- Figura 63. Fachada-Solera. Isotermas. Inverno.
- Figura 64. Fachada-Solera. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 65. Fachada-Solera. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 66. Fachada-Solera. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 67. Fachada-Solera. Isotermas. Verano.
- Figura 68. Fachada-Solera. Vectores flujo. Verano.
- Figura 69. Fachada-Solera. Infrarrojos. Verano.
- Figura 70. Fachada-Solera. Flujo de energía. Verano.
- Figura 71. Fachada-Forjado (balcón). Zona oeste. Estado original. Detalle constructivo.
- Figura 72. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Inverno.
- Figura 73. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Inverno.

- Figura 74. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 75. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 76. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Verano.
- Figura 77. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Verano.
- Figura 78. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Verano.
- Figura 79. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Verano.
- Figura 80. Fachada-Forjado (por vigueta). Zona oeste. Estado original. Detalle constructivo.
- Figura 81. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas. Inverno.
- Figura 82. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo. Inverno.
- Figura 83. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 84. Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 85. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas. Verano.
- Figura 86. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo. Verano.
- Figura 87. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos. Verano.
- Figura 88. Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía. Verano.
- Figura 89. Fachada-Forjado (por revoltón). Zona Oeste. Estado original. Detalle constructivo.
- Figura 90. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas. Inverno.
- Figura 91. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo. Inverno.
- Figura 92. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 93. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 94. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas. Verano.
- Figura 95. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo. Verano.
- Figura 96. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos. Verano.
- Figura 97. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía. Verano.
- Figura 98. Fachada-Cubierta. Zona oeste. Estado original. Detalle constructivo.

- Figura 99. Fachada-Cubierta. Isotermas. Inverno.
- Figura 100. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 101. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 102. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 103. Fachada-Cubierta. Isotermas. Verano.
- Figura 104. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Verano.
- Figura 105. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Verano.
- Figura 106. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Verano.
- Figura 107. Gráfica Resumen de valores de transmitancia térmica lineal y factor de resistencia superficial interior de los puentes térmicos. Zona Este. Estado original.
- Figura 108. Gráfica Resumen de valores de transmitancia térmica lineal y factor de resistencia superficial interior de los puentes térmicos. Zona Oeste. Estado original.
- Figura 109. Esquema de puentes térmicos. Estado rehabilitado. Fachada Este.
- Figura 110. Sección constructiva. Zona este. Estado rehabilitado.
- Figura 111. Fachada-Solera. Zona este. Estado rehabilitado. Detalle constructivo.
- Figura 112. Fachada-Solera. Isotermas. Inverno.
- Figura 113. Fachada-Solera. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 114. Fachada-Solera. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 115. Fachada-Solera. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 116. Fachada-Solera. Isotermas. Verano.
- Figura 117. Fachada-Solera. Vectores flujo. Verano.
- Figura 118. Fachada-Solera. Infrarrojos. Verano.
- Figura 119. Fachada-Solera. Flujo de energía. Verano.
- Figura 120. Fachada-Forjado. Zona este. Estado rehabilitado. Detalle constructivo.
- Figura 121. Fachada-Forjado. Isotermas. Inverno.
- Figura 122. Fachada-Forjado. Vectores flujo. Inverno.

- Figura 123. Fachada-Forjado. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 124. Fachada-Forjado. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 125. Fachada-Forjado. Isotermas. Verano.
- Figura 126. Fachada-Forjado. Vectores flujo. Verano.
- Figura 127. Fachada-Forjado. Infrarrojos. Verano.
- Figura 128. Fachada-Forjado. Flujo de energía. Verano.
- Figura 129. Fachada-Forjado (balcón). Zona este. Estado rehabilitado. Detalle constructivo.
- Figura 130. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Inverno.
- Figura 131. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Inverno.
- Figura 132. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 133. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 134. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Verano.
- Figura 135. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Verano.
- Figura 136. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Verano.
- Figura 137. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Verano.
- Figura 138. Pilar en esquina. Zona este. Estado rehabilitado. Detalle constructivo.
- Figura 139. Pilar en esquina. Isotermas. Inverno.
- Figura 140. Pilar en esquina. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 141. Pilar en esquina. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 142. Pilar en esquina. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 143. Pilar en esquina. Isotermas. Verano.
- Figura 144. Pilar en esquina. Vectores flujo. Verano.
- Figura 145. Pilar en esquina. Infrarrojos. Verano.
- Figura 146. Pilar en esquina. Flujo de energía. Verano.
- Figura 147. Fachada-Cubierta. Zona este. Estado rehabilitado. Detalle constructivo.
- Figura 148. Fachada-Cubierta. Isotermas. Inverno.

- Figura 149. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 150. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 151. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 152. Fachada-Cubierta. Isotermas. Verano.
- Figura 153. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Verano.
- Figura 154. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Verano.
- Figura 155. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Verano.
- Figura 156. Esquema de puentes térmicos. Estado rehabilitado. Fachada Oeste.
- Figura 157. Sección constructiva. Zona oeste. Estado rehabilitado.
- Figura 158. Fachada-Solera. Zona oeste. Estado rehabilitado. Detalle constructivo.
- Figura 159. Fachada-Solera. Isotermas. Inverno.
- Figura 160. Fachada-Solera. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 161. Fachada-Solera. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 162. Fachada-Solera. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 163. Fachada-Solera. Isotermas. Verano.
- Figura 164. Fachada-Solera. Vectores flujo. Verano.
- Figura 165. Fachada-Solera. Infrarrojos. Verano.
- Figura 166. Fachada-Solera. Flujo de energía. Verano.
- Figura 167. Fachada-Forjado (balcón). Zona oeste. Estado rehabilitado. Detalle constructivo.
- Figura 168. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Inverno.
- Figura 169. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Inverno.
- Figura 170. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 171. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 172. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Verano.
- Figura 173. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Verano.
- Figura 174. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Verano.

- Figura 175. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Verano.
- Figura 176. Fachada-Forjado (por vigueta). Zona oeste. Estado rehabilitado. Detalle constructivo.
- Figura 177. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas. Inverno.
- Figura 178. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo. Inverno.
- Figura 179. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 180. Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 181. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas. Verano.
- Figura 182. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo. Verano.
- Figura 183. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos. Verano.
- Figura 184. Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía. Verano.
- Figura 185. Fachada-Forjado (por revoltón). Zona oeste. Estado rehabilitado. Detalle constructivo.
- Figura 186. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas. Inverno.
- Figura 187. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo. Inverno.
- Figura 188. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 189. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 190. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas. Verano.
- Figura 191. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo. Verano.
- Figura 192. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos. Verano.
- Figura 193. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía. Verano.
- Figura 194. Fachada-Cubierta. Zona oeste. Estado rehabilitado. Detalle constructivo.
- Figura 195. Fachada-Cubierta. Isotermas. Inverno.
- Figura 196. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 197. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 198. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 199. Fachada-Cubierta. Isotermas. Verano.

- Figura 200. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Verano.
- Figura 201. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Verano.
- Figura 202. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Verano.
- Figura 203. Gráfica Resumen de valores de transmitancia térmica lineal y factor de resistencia superficial interior de los puentes térmicos. Zona Este. Estado rehabilitado.
- Figura 204. Gráfica Resumen de valores de transmitancia térmica lineal y factor de resistencia superficial interior de los puentes térmicos. Zona Oeste. Estado rehabilitado.
- Figura 205. Evolución de la transmitancia térmica lineal. Zona este.
- Figura 206. Evolución del factor de resistencia superficial interior. Zona este.
- Figura 207. Evolución de la transmitancia térmica lineal. Zona oeste.
- Figura 208. Evolución del factor de resistencia superficial interior. Zona oeste.
- Figura 209. Fachada-Forjado. Zona este. Mejora. Detalle constructivo.
- Figura 210. Fachada-Forjado. Isotermas. Inverno.
- Figura 211. Fachada-Forjado. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 212. Fachada-Forjado. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 213. Fachada-Forjado. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 214. Fachada-Forjado. Isotermas. Verano.
- Figura 215. Fachada-Forjado. Vectores flujo. Verano.
- Figura 216. Fachada-Forjado. Infrarrojos. Verano.
- Figura 217. Fachada-Forjado. Flujo de energía. Verano.
- Figura 218. Fachada-Forjado (balcón). Zona este. Mejora. Detalle constructivo.
- Figura 219. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Inverno.
- Figura 220. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Inverno.
- Figura 221. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 222. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 223. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Verano.
- Figura 224. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Verano.

- Figura 225. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Verano.
- Figura 226. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Verano.
- Figura 227. Fachada-Cubierta. Zona este. Mejora. Detalle constructivo.
- Figura 228. Fachada-Cubierta. Isotermas. Inverno.
- Figura 229. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 230. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 231. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 232. Fachada-Cubierta. Isotermas. Verano.
- Figura 233. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Verano.
- Figura 234. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Verano.
- Figura 235. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Verano.
- Figura 236. Fachada-Forjado (balcón). Zona Oeste. Mejora. Detalle constructivo.
- Figura 237. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Inverno.
- Figura 238. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Inverno.
- Figura 239. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Inverno.
- Figura 240. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Inverno.
- Figura 241. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas. Verano.
- Figura 242. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo. Verano.
- Figura 243. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos. Verano.
- Figura 244. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía. Verano.
- Figura 245. Fachada-Cubierta. Zona Oeste. Mejora. Detalle constructivo.
- Figura 246. Fachada-Cubierta. Isotermas. Inverno.
- Figura 247. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Inverno.
- Figura 248. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Inverno.
- Figura 249. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Inverno.
- Figura 250. Fachada-Cubierta. Isotermas. Verano.

- Figura 251. Fachada-Cubierta. Vectores flujo. Verano.
- Figura 252. Fachada-Cubierta. Infrarrojos. Verano.
- Figura 253. Fachada-Cubierta. Flujo de energía. Verano.
- Figura 254. Comparación Rehabilitación-Mejoras. Transmitancia térmica lineal (W/mK).
- Figura 255. Evolución de la transmitancia térmica lineal. Zona este.
- Figura 256. Evolución del factor de resistencia superficial interior. Zona este.
- Figura 257. Evolución de la transmitancia térmica lineal. Zona oeste.
- Figura 258. Evolución del factor de resistencia superficial interior. Zona oeste.
- Figura 259. Líneas isotermas y vectores de flujo de energía (respectivamente), de encuentro constructivo de muro de piedra con forjado de viguetas de madera.
- Figura 260. Líneas isotermas y vectores de flujo de energía (respectivamente), de encuentro constructivo de muro de piedra, trasdosado con PLY y aislante de lana de roca, con forjado de viguetas de madera.

LISTADO DE TABLAS

- Tabla 1. Valores obtenidos de las normas UNE-EN ISO 6946, UNE-EN ISO 10211, UNE-EN ISO 13788, UNE-EN ISO 10077-1 y UNE-EN ISO 10077-2.
- Tabla 2. Condiciones climáticas Chiva. (Fuente: climate-data.org).
- Tabla 3. Condiciones climáticas exteriores. Invierno y verano.
- Tabla 4. Condiciones climáticas interiores. Invierno y verano.
- Tabla 5. Resistencia superficial y Coeficiente de Película.
- Tabla 6. Definición de envolvente térmica. Fachada este. Original.
- Tabla 7. Definición de envolvente térmica. Solera este. Original.
- Tabla 8. Definición de envolvente térmica. Cubierta este. Original.
- Tabla 9. Puentes térmicos a analizar. Estado original.
- Tabla 10. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera original. Zona este. Invierno.
- Tabla 11. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera original. Zona este. Verano.
- Tabla 12. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) original. Zona este. Invierno.

Tabla 13.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) original. Zona este. Verano.
Tabla 14.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) original. Zona este. Invierno.
Tabla 15.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) original. Zona este. Verano.
Tabla 16.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) original. Zona este. Invierno.
Tabla 17.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) original. Zona este. Verano.
Tabla 18.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta original. Zona este. Invierno.
Tabla 19.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta original. Zona este. Verano.
Tabla 20.	Definición de envolvente térmica. Fachada oeste. Original.
Tabla 21.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera original. Zona Oeste. Invierno.
Tabla 22.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera original. Zona Oeste. Verano.
Tabla 23.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) original. Zona oeste. Invierno.
Tabla 24.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) original. Zona oeste. Verano.
Tabla 25.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) original. Zona oeste. Invierno.
Tabla 26.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) original. Zona oeste. Verano.
Tabla 27.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) original. Zona oeste. Invierno.
Tabla 28.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) original. Zona oeste. Verano.
Tabla 29.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta original. Zona oeste. Invierno.
Tabla 30.	Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta original. Zona oeste. Verano.
Tabla 31.	Resumen Estado original. Cumplimiento Normativa.
Tabla 32.	Resumen Estado original. Cumplimiento temperaturas superficiales interiores.
Tabla 33.	Definición de envolvente térmica. Fachada este. Rehabilitación.

- Tabla 34. Definición de envolvente térmica. Cubierta este. Rehabilitación.
- Tabla 35. Puentes térmicos a analizar. Estado rehabilitado.
- Tabla 36. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera rehabilitado. Zona este. Invierno.
- Tabla 37. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera rehabilitado. Zona este. Verano.
- Tabla 38. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado rehabilitado. Zona este. Invierno.
- Tabla 39. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado rehabilitado. Zona este. Verano.
- Tabla 40. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) rehabilitado. Zona este. Invierno.
- Tabla 41. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) rehabilitado. Zona este. Verano.
- Tabla 42. Tabla resumen puente térmico. Pilar en esquina rehabilitado. Zona este. Invierno.
- Tabla 43. Tabla resumen puente térmico. Pilar en esquina rehabilitado. Zona este. Verano.
- Tabla 44. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta rehabilitado. Zona este. Invierno.
- Tabla 45. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta rehabilitado. Zona este. Verano.
- Tabla 46. Definición de envolvente térmica. Fachada oeste. Rehabilitación.
- Tabla 47. Definición de envolvente térmica. Cubierta oeste. Rehabilitación.
- Tabla 48. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera rehabilitado. Zona oeste. Invierno.
- Tabla 49. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera rehabilitado. Zona oeste. Verano.
- Tabla 50. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) rehabilitado. Zona oeste. Invierno.
- Tabla 51. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) rehabilitado. Zona oeste. Verano.
- Tabla 52. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) rehabilitado. Zona oeste. Invierno.

- Tabla 53. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) rehabilitado. Zona oeste. Verano.
- Tabla 54. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) rehabilitado. Zona oeste. Invierno.
- Tabla 55. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) rehabilitado. Zona oeste. Verano.
- Tabla 56. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta rehabilitado. Zona oeste. Invierno.
- Tabla 57. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta rehabilitado. Zona oeste. Verano.
- Tabla 58. Resumen Estado rehabilitado. Cumplimiento Normativa.
- Tabla 59. Resumen Estado rehabilitado. Cumplimiento temperaturas superficiales interiores.
- Tabla 60. Resumen Estado original.
- Tabla 61. Resumen Estado rehabilitado.
- Tabla 62. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado mejora. Zona este. Invierno.
- Tabla 63. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado mejora. Zona este. Verano.
- Tabla 64. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) mejora. Zona este. Invierno.
- Tabla 65. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) mejora. Zona este. Verano.
- Tabla 66. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta mejora. Zona este. Invierno.
- Tabla 67. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta mejora. Zona este. Verano.
- Tabla 68. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) mejora. Zona Oeste. Invierno.
- Tabla 69. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) mejora. Zona Oeste. Verano.
- Tabla 70. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta mejora. Zona Oeste. Invierno.
- Tabla 71. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta mejora. Zona Oeste. Verano.
- Tabla 72. Resumen Estado mejorado. Cumplimiento Normativa.
- Tabla 73. Resumen Estado mejorado. Cumplimiento temperaturas superficiales interiores.
- Tabla 74. Resumen Estado mejorado.
- Tabla 75. Mediciones y presupuesto. Mejoras.

RESUMEN

Actualmente, los edificios de nueva construcción están diseñados bajo una normativa exigente en cuanto a eficiencia energética. Cumpliendo los requisitos que éstas proponen y bajo un buen diseño de los técnicos, podemos decir que las emisiones de CO₂ en el sector de la construcción disminuirán considerablemente en el futuro, pero, ¿Qué pasa con los edificios construidos anteriormente a esta normativa?

Por otro lado, el sector de la construcción en España ha sufrido un duro varapalo por la crisis los últimos años, de forma que, actualmente, la nueva edificación está bajo mínimos. Por lo tanto, se prevé un pequeño auge en el campo de la ampliación, reforma y rehabilitación de edificios.

Por estas dos razones, hemos de esforzarnos por cuidar el tratamiento de los edificios antiguos en cuanto a eficiencia energética se refiere, y uno de los factores determinantes en la eficiencia energética en edificación es, sin duda, los puentes térmicos.

En este estudio trataremos, principalmente, de analizar los puentes térmicos de una edificación residencial, ubicado en una zona climatológica concreta, estudiando éstos en su estado original y, posteriormente, en su estado final de proyecto, analizando las decisiones tomadas y mejorándolas, para crear unas bases de cómo actuar en los puentes térmicos en proyectos de rehabilitación residencial.

ABSTRACT

Nowadays, new construction buildings are designed under a severer regulation in terms of energy conservation. Following the directions that these regulations proposed and working under a good supervision of the technicians, we could predict that CO₂ emissions will decrease significantly in the future. But, what would happen with those buildings built before the entrance of these laws?

Moreover, Spanish construction field had suffered a tremendous crisis in the last years. In fact, new building production had been reduced meaningfully. Therefore, it is predicted a timid enhancement on renovation and restoration of already built constructions.

For these two reasons, we have to make an effort to update old buildings so they meet the new standards in terms of energy conservation, may help in our cause.

In the present project, we mainly analyze the thermal bridges of an apartment building, located in an area with particular weather conditions. We will study the original thermal bridges and their final condition. We will create a protocol on how to act in thermal bridges in projects of building renovation.

1. INTRODUCCIÓN

Ante la creciente, y a la vez necesaria, concienciación de la sociedad ante la lucha contra el cambio climático, se ha puesto en primera línea la necesidad de reducir la emisiones de CO₂ en todos los ámbitos, incluyendo, cómo no, el de la construcción.

Es por esto que las empresas del sector se han lanzado a la carrera para alcanzar metas energéticas a precios razonables, pero, a día de hoy, las grandes empresas no proponen soluciones a un pequeño problema, como son los puentes térmicos, que, a veces, puede llegar a suponer una gran pérdida (o ganancia) de energía y, por lo tanto, de dinero. Problema que únicamente se puede solucionar con un correcto proceso de ejecución.

Debido a la crisis en la que nos vemos involucrados actualmente, las obras de nueva construcción residencial se han reducido drásticamente, alcanzando límites casi insospechados. No ha sido tan contundente el descenso en obras de rehabilitación de viviendas, como muestra la Figura 1, por lo que la lucha ha de centrarse, a día de hoy, en este campo.

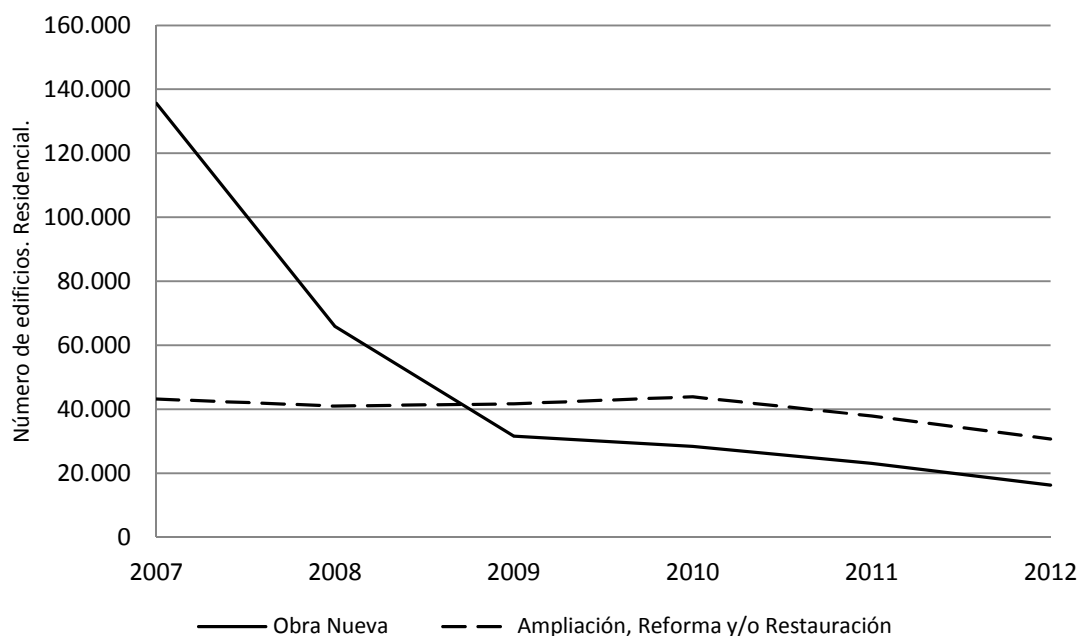


Figura 1. Visados dirección de obra nueva y de Ampliación, reforma y/o Restauración en España en el ámbito residencial. (Fuente: INE).

Es por todo lo dicho anteriormente, que el presente estudio se centra en la evolución de los puentes térmicos en obras de rehabilitación, aprovechando las actuaciones en las viviendas para tratarlos, mejorando así la eficiencia energética del edificio, respetando la esencia de éste. Por lo tanto, muchas veces nos encontraremos en la disyuntiva de respetar los elementos constructivos o, por otro lado, actuar en el puente térmico y mejorarlo, dejando esta elección al director de ejecución de la obra de rehabilitación.

2. OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio son, a grosso modo, reducir el consumo de energía en el sector de la construcción, disminuyendo la energía que se pierde por los puentes térmicos, presentes en todos los edificios.

De modo particular, los objetivos se centran en:

- Definir el marco normativo y teórico que requiere el estudio de los puentes térmicos actualmente en España y en el resto de Europa.
- Estudio de los puentes térmicos de un edificio que va a ser rehabilitado. Caracterizándolo mediante el programa informático "Therm", mostrando y valorando los resultados obtenidos.
- Estudio del mismo edificio una vez rehabilitado. Mediante el mismo método que el anterior, siendo crítico con las decisiones tomadas por la dirección facultativa.
- Comparativa de resultados, viendo cuantitativa y cualitativamente la evolución de los diferentes puentes térmicos.
- Propuestas de mejora, en su caso, de los puentes térmicos que no alcancen la solución óptima.
- Cumplir, en todo caso, las exigencias normativas del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía DA DB-HE/3 Puentes Térmicos, de Mayo de 2.014.

Ha existido un seguimiento exhaustivo de la obra de rehabilitación desde su inicio, pero no ha habido una potestad de decisión en las elecciones del tratamiento de los puentes térmicos, por lo tanto la solución de la rehabilitación no siempre será la opción óptima, en estos casos se estudiará una propuesta personal en el apartado de soluciones óptimas o mejoras, aunque no se ejecute.

3. MARCO NORMATIVO

NORMAS BÁSICAS DE LA EDIFICACIÓN (NBE)

La primera normativa española que introdujo la obligatoriedad del uso de aislamiento térmico en edificación fue la NBE-CT-79, con la finalidad de promover el ahorro energético debido al encarecimiento de la energía. Los edificios construidos con anterioridad a esa fecha, por lo tanto, no estaban aislados térmicamente casi con total seguridad.

Entre 1980 y 2006 (entrada en vigor del CTE) se construyeron en España 8.500.000 viviendas siguiendo el criterio, todavía poco exigente, de la NBE-CT-79. Así las cosas, en torno al 70% de las viviendas españolas no están aisladas o lo están de forma deficiente.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE)

La normativa en vigor en España en materia de edificación es el CTE, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de Ordenación de la Edificación (LOE). Además, da respuesta a algunos de los objetivos de la directiva 2002/91/CE en materia de eficiencia energética.

DIRECTIVAS EUROPEAS “ENERGY PERFORMANCE OF BUILDING DIRECTIVE” (EPBD)

La Unión Europea pretende reducir los gases de efecto invernadero en un 90 % para 2050; con efecto más inmediato, la directiva 2012/27/UE de eficiencia energética, que deroga a las anteriores 2010/31/UE y 2002/91/CE, responde al acuerdo 20-20-20 del 12/2008 del Parlamento Europeo, según el cual en 2020 se pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20 %, conseguir que las energías renovables cubran un 20 % del consumo energético y reducir el consumo de energía primaria en un 20 %.

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

El Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, establece, en cumplimiento de los objetivos de la directiva 2002/91/CE, el procedimiento para la realización del Certificado de Eficiencia Energética, obligatorio para todos los edificios nuevos construidos a partir de noviembre de 2007. Posteriormente, el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, establece la obligatoriedad de la realización de dicho certificado en edificios existentes.

PLAN DE ACCIÓN DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA 2011-2020

Los países miembros de la Unión Europea deben trasladar a sus normativas estatales dichas directrices, con la obligación de endurecerlas cada 3 años con el objetivo de cumplir el acuerdo 20-20-20. Adaptándose a este Plan de acción, en 2013 se actualizó el Documento Básico de Ahorro de Energía (HE) del CTE, reduciendo drásticamente la demanda energética máxima de los edificios en función de su uso y zona climática. En la práctica, los espesores

de aislamiento térmico se han duplicado y se hace prácticamente imprescindible el estudio y control de los puentes térmicos del edificio. Por otro lado, la citada actualización de este Documento Básico, se introdujo una nueva sección: la HEO Limitación del consumo energético, que pretende limitar el consumo que no proceda de fuentes de energía renovables.

REHABILITACIÓN ENERGÉTICA. INFORME DE EVALUACIÓN DE EDIFICIOS (IEE) Y AYUDAS A LA REHABILITACIÓN

En la situación actual de crisis económica y de la construcción y el envejecimiento del parque edificatorio español, parece evidente la necesidad de una regeneración del mismo, tanto a nivel de conservación y de adaptación a normativas actuales en materia de accesibilidad como de eficiencia energética. En este contexto surge el Real Decreto 233/20134, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas 2013-2016. Incluye, entre otros, subvenciones para hacer frente a los gastos derivados de la rehabilitación edificatoria, además de la obligatoriedad de contar con el Informe de Evaluación de Edificios, para edificios antiguos o para los que soliciten dichas subvenciones. El propio Real Decreto lo define como “Informe (...) que incluya el análisis de las condiciones de accesibilidad, eficiencia energética y estado de conservación de los mismos”. También el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (en adelante IDAE) pone en marcha en 2015 el programa PAREER-CRECE (Programa de Ayudas para la rehabilitación Energética de Edificios Existentes, según la Resolución de 24 de marzo de 2015 del IDAE, en sustitución del anterior programa PAREER, “Con el fin de incentivar y promover la realización de actuaciones de reforma que favorezcan el ahorro energético, la mejora de la eficiencia energética, el aprovechamiento de las energías renovables y la reducción de emisiones de dióxido de carbono, en los edificios existentes”.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este apartado se definirá todos los aspectos teóricos determinantes en el tema tratado, tanto definiciones como fórmulas y simbología.

4.1. DEFINICIONES

Las definiciones teóricas de este apartado se han obtenido de las normativas aplicables, especialmente el CTE DB HE1 y de la UNE-EN ISO 10211.

Puente térmico: según el CTE DB HE1 es la *"zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento"*.

La norma UNE-EN ISO 10211 define puente térmico como *"aquella parte del cerramiento de un edificio donde la resistencia térmica normalmente uniforme cambia significativamente debido a:*

- a) penetraciones completas o parciales en el cerramiento de un edificio, de materiales con diferente conductividad térmica;*
- b) un cambio en el espesor de la fábrica;*
- c) una diferencia entre las áreas internas o externas, tales como juntas entre paredes, suelos, o techos."*

Es, por tanto, necesario considerar el impacto de los puentes térmicos en la demanda energética de los edificios así como en el riesgo de formación de condensaciones.

Puente térmico lineal: puente térmico con una sección transversal uniforme a lo largo de una dirección.

Envolvente térmica: está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior.

Flujo de calor ϕ : Según Javier Moreno en su trabajo *"Evaluación energética de los puentes térmicos en edificación"* se define el flujo de calor como la *"cantidad de calor, por unidad de tiempo que pasa a través de una superficie. El flujo de calor se produce cuando existe un incremento de temperaturas entre los diferentes cuerpos, transfiriéndose desde el cuerpo con temperatura más alta al cuerpo con temperatura más baja, mediante mecanismos de: conducción, convección y radiación"*. El flujo de calor viene definido por la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{Q}{t}$$

donde:

ϕ flujo de calor [W].

Q Cantidad de calor [J].

t tiempo [s].

Densidad superficial de flujo de calor q: Cantidad de calor que pasa a través de una superficie. Determinada por la siguiente expresión:

$$q = \frac{\phi}{A}$$

donde:

q Densidad de flujo de calor [W/m²].

A Superficie a considerar [m²].

Flujo unidimensional: se considera que el flujo de calor es unidimensional cuando las líneas de flujo son rectas. En ese caso, el comportamiento térmico estático se puede describir completamente por la resistencia térmica (R) [m²K/W] o la transmitancia térmica (U) [W/m²K] global del cerramiento.

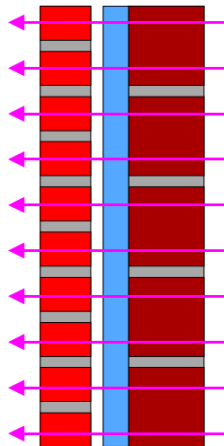


Figura 2. Dirección de flujo de calor unidimensional para cerramiento de extensión indefinida (Carlos Castro, 2008).

Flujo bidimensional: se considera que el flujo es bidimensional cuando las líneas de flujo tienen curvatura pero pueden contenerse en planos paralelos.

Como resultado de los encuentros constructivos, aumenta la densidad del flujo térmico y, en definitiva, surgen puntos débiles de transmisión (o transmitancia) térmica, con pérdidas de calor concentradas en ellos.

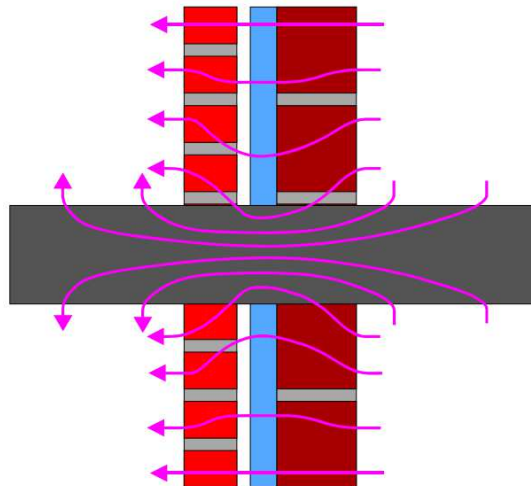


Figura 3. Dirección de flujo de calor bidimensional para cerramiento con puente térmico lineal (C. Castro, 2008).

Transmitancia térmica: flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera. Viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{Rt}$$

donde:

U Transmitancia térmica del elemento constructivo [W/m²K].

Rt Resistencia térmica total del elemento constructivo [m²K/W]. Siendo:

$$Rt = Rsi + R1 + R2 + \dots + Rn + Rse$$

donde:

R1, R2, ..., Rn Resistencias térmicas de cada capa [m²K/W].

Rsi, Rse Resistencias térmicas correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, de acuerdo con la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio.

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea es:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

donde:

e Espesor de la capa [m].

λ Conductividad térmica del material [W/mK].

Transmitancia térmica lineal: flujo de calor, en régimen estacionario, para una longitud y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del puente térmico que se considera.

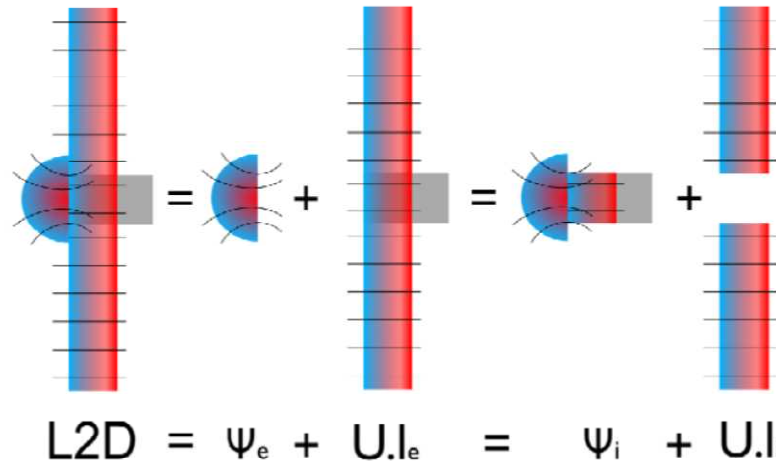


Figura 4. Significado de Ψ según la superposición realizada (CTE DB HE-DA 1).

En la imagen aparecen representados los flujos unidimensionales y bidimensionales, así como la relación entre Ψ_e y Ψ_i , según formen dimensiones exteriores (l_e) o interiores (l_i).

Transmitancia térmica puntual χ : flujo de calor, en régimen estacionario, para un punto y una diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del puente térmico que se considera.

4.2. TRANSMISIÓN DE CALOR Y CONDENSACIONES EN LOS PUENTES TÉRMICOS

El efecto en el flujo de calor que producen los puentes térmicos en la envolvente térmica del edificio es la aparición de flujos de calor bidimensionales o tridimensionales, en lugar de un comportamiento uniforme que puede describirse suponiendo simplemente un flujo unidimensional.

Para calcular con precisión el comportamiento térmico global de la envolvente térmica, incluido el efecto de los puentes térmicos, se puede hacer uso de métodos numéricos, que permiten obtener resultados más fiables pero con mayor esfuerzo de modelado que con formulaciones simplificadas.

4.3. FORMULACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE CALOR CONSIDERANDO LOS PUENTES TÉRMICOS

La transmisión de calor a través de la envolvente térmica, entre los ambientes interior y exterior, se puede describir, de manera simplificada, mediante la siguiente expresión:

$$\phi T = (\sum U_i A_i + \sum \Psi_j L_j + \sum \chi_k)(\theta_i - \theta_e) = U_m A T (\theta_i - \theta_e)$$

donde:

ϕT flujo de calor por conducción [W].

U_i transmitancia térmica del elemento i de la envolvente [W/m²K], de área A_i [m²].

Ψ_j transmitancia térmica lineal del encuentro j del edificio [W/mK] y L_j la longitud de ese encuentro [m].

χ_k transmitancia térmica del puente térmico puntual k [W/K].

U_m transmitancia térmica media de la envolvente [W/m²K] incluido el efecto de los puentes térmicos.

A_T superficie total de transmisión [m²].

Si despreciamos la contribución de los puentes térmicos puntuales:

$$\phi T = (\sum U_i A_i + \sum \Psi_j L_j)(\theta_i - \theta_e) = U_m A_T (\theta_i - \theta_e)$$

El primer término de la expresión expresa el flujo de calor como superposición del comportamiento unidimensional (U) y el bidimensional (Ψ) de la envolvente térmica.

El segundo término, asimila el comportamiento del conjunto a un flujo unidimensional equivalente, caracterizado por una transmitancia térmica media aplicable a la superficie del elemento estudiado.

A partir de estas expresiones, basadas en la superposición de comportamientos y en el comportamiento conjunto, es posible analizar de forma simplificada los puentes térmicos.

4.4. TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL Ψ Y PUNTUAL χ

La transmitancia térmica lineal Ψ describe la transferencia térmica adicional de un encuentro (un puente térmico lineal) en relación a la transferencia térmica unidimensional de referencia que se produce en los elementos adyacentes.

$$\Psi = \frac{\phi_{2D}}{L(\theta_i - \theta_e)} - \sum (A_i U_i)$$

donde:

Ψ transmitancia térmica lineal [W/mK];

ϕ_{2D} flujo de calor a través del elemento analizado mediante un modelo bidimensional [W];

L longitud del encuentro [m];

$\theta_i - \theta_e$ diferencia de temperaturas entre interior y exterior [K];

U_i transmitancia térmica del elemento adyacente i [W/m²K];

A_i superficie a la que se aplica el valor U_i [m²].

Ψ permite resumir en un único parámetro el comportamiento complejo de un puente térmico, de forma similar a como U lo hace para un elemento con transmisión unidimensional.

El cálculo de la componente unidimensional se mantiene para toda la superficie de la envolvente en la que se sitúa el puente térmico, al medirse linealmente el efecto del puente (en Ψ) y descontarse en este la transmisión unidimensional.

4.5. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE PUENTES TÉRMICOS

A continuación se describen una serie de métodos, detallados y simplificados, con los que se aborda habitualmente el cálculo de puentes térmicos. La elección de uno u otro método depende de la información disponible, el nivel de modelización deseado y el uso final al que se destine el cálculo.

Métodos detallados

- Método detallado con modelado tridimensional

En este método se evalúa el efecto global de los puentes térmicos mediante simulación con modelos tridimensionales de cálculo numérico. Es un método que exige un coste de modelización alto y que proporciona poca información previa a la simulación.

- Método detallado con modelado bidimensional

Analiza el efecto de los puentes térmicos utilizando la formulación de la transmisión térmica simplificada expuesta con anterioridad, y supone la aplicabilidad del principio de superposición de flujos:

$$\phi T = (\sum U_i A_i + \sum \Psi_j L_j)(\theta_i - \theta_e)$$

El método exige obtener la suma de los valores Ψ y longitudes de cada puente térmico para obtener la componente bidimensional del flujo de calor, así como la suma del producto de las superficies y transmitancias térmicas de la envolvente, considerada con un comportamiento unidimensional.

Cuando no es posible calcular Ψ de forma analítica se utilizan métodos numéricos y software específico de modelado bidimensional o se recurre a catálogos o atlas de detalles tipo con valores precalculados.

Los valores de L a los que se aplica cada Ψ se obtienen por medición directa.

Métodos simplificados

Es posible realizar simplificaciones adicionales de la fórmula simplificada para posibilitar el cálculo de la componente bidimensional de la transferencia de calor $\sum \Psi_j L_j$ a partir de estimaciones de dicha componente. Las aproximaciones más habituales son:

- Método simplificado con estimación de Ψ :

Los valores de Ψ_j se igualan para cada grupo de encuentros según las características generales del detalle, utilizando un valor representativo o tabulado para todos ellos, sin necesidad de realizar un cálculo individualizado.

- Método simplificado con estimación de L:

Las longitudes L_j de cada detalle se estiman a partir de las características generales del edificio (tipología, compacidad...) o medidas globales (superficie, nº de plantas...), para evitar la medición directa.

- Método simplificado con factor corrector de U:

La componente bidimensional en su totalidad se estima como una fracción de la componente unidimensional, de modo que:

$$\sum \Psi_j L_j \rightarrow \alpha \sum U_i A_i; \phi T = (1 + \alpha) \sum U_i A_i (\theta_i - \theta_e)$$

El valor de α varía en función de las características del edificio objeto y sus puentes térmicos o puede adoptar un valor constante.

El incremento debido a los puentes térmicos en la U_m indicada es:

$$\Delta U_{PT} = \frac{\sum (\Psi_j L_j)}{\sum A_i}$$

Esta expresión permite integrar el efecto de los puentes térmicos en el valor de la transmitancia térmica unidimensional y es la formulación que se adoptó en el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía" del año 2006 para incluir el efecto de los puentes térmicos integrados.

- Otras simplificaciones para la consideración de los puentes térmicos

Cuando resulte conveniente usar un único valor de transmitancia térmica lineal para un tipo dado de puente térmico (p.e. pilares integrados en fachada), compuesto por varios subtipos (p.e. pilares de distintas dimensiones o configuración), se puede utilizar el valor obtenido como media ponderada de las transmitancias térmicas lineales de sus subtipos, según la expresión:

$$\Psi_j = \frac{\sum(\Psi_{ji}L_{ji})}{\sum L_{ji}}$$

donde:

Ψ_j la transmitancia térmica lineal resultante para la tipología de puente térmico j [W/mK];

Ψ_{ji} cada uno de los distintos valores de transmitancia térmica lineal para la tipología de puente térmico j [W/mK];

L_{ji} cada una de las sumas totales de las longitudes de los puentes térmicos de tipo i dentro de la tipología j [m];

Las transmitancias térmicas lineales y las longitudes de los subtipos deben pertenecer a un sistema dimensional único antes de proceder a su ponderación.

4.6. RESISTENCIA SUPERFICIAL

La obtención de la transmitancia térmica (U) de los elementos constructivos considera las propiedades térmicas de los materiales que lo componen así como unos coeficientes de película o resistencias superficiales que modelan los procesos de convección y radiación que se producen en las caras interior y exterior de los elementos.

El valor de la resistencia superficial está condicionado por el destino del cálculo, diferenciando entre el cálculo de flujos térmicos o de temperaturas, y también por la posición y disposición del elemento.

Así, se emplearían valores distintos para la evaluación de la demanda o el cálculo del riesgo de condensaciones y según se trate de un vidrio o un elemento, como un capialzado situado a cierta altura.

Para los cálculos la resistencia superficial exterior (Rse) se considerará igual a 0,04 m²K/W y la resistencia superficial interior (Rsi) tomará valores de la siguiente tabla:

Cálculo de temperaturas	Rsi (m ² K/W)	Cálculo de flujos térmicos	Rsi (m ² K/W)
Vidrios	0,13	Flujo vertical ascendente	0,10
Elementos en la mitad superior del espacio	0,25	Flujo horizontal	0,13
Elementos en la mitad inferior del espacio	0,35	Flujo vertical descendente	0,17
		Vidrios	0,13
		Esquinas de elementos	0,20

Tabla 1. Valores obtenidos de las normas UNE-EN ISO 6946, UNE-EN ISO 10211, UNE-EN ISO 13788, UNE-EN ISO 10077-1 y UNE-EN ISO 10077-2.

4.7. CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS

- Riesgo de formación de condensaciones superficiales

Otro de los efectos de los puentes térmicos es el aumento del riesgo de formación de condensaciones superficiales en la cara interior del elemento constructivo al existir puntos fríos en la zona afectada por el puente térmico como resultado del mayor flujo térmico en esas zonas.

Para analizar la posibilidad de condensaciones en los puntos fríos se utilizan los diagramas psicrométricos, que relacionan temperatura seca, humedad absoluta y humedad relativa.

La humedad absoluta es una magnitud que indica la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y se mide en gramos de agua por cada kilogramo de aire.

La cantidad de agua que puede contener el aire en forma de vapor tiene un límite (humedad de saturación), que depende de la temperatura y es mayor (admite más vapor de agua) a mayor temperatura.

La proporción entre la cantidad de agua en forma de vapor que contiene el aire en relación a la cantidad de saturación, expresada como porcentaje, es conocida como humedad relativa (HR). Así, una humedad relativa del 100% significa que el aire ha alcanzado el límite de humedad de saturación. Para una humedad absoluta dada, la temperatura a la que se alcanza el 100% de humedad relativa se conoce como temperatura de rocío.

Así, cuando la temperatura del aire desciende por debajo de la temperatura de rocío el exceso de humedad, aquella cantidad de agua que ya no puede permanecer en forma de vapor, condensa en forma líquida.

Las superficies frías de los puentes térmicos son lugares propicios para la aparición de condensaciones de ese tipo.

- Limitación del riesgo de formación de moho

Las condensaciones superficiales suponen un riesgo para la salud al propiciar la formación de moho, habiéndose comprobado que este riesgo se incrementa significativamente al mantenerse una humedad relativa superior al 80% en una superficie durante varios días.

Esta condición puede simplificarse y reformularse exigiendo que la temperatura de la superficie interior supere la temperatura superficial aceptable, la que implica una humedad relativa superior al 80% en la superficie interior del cerramiento.

El método de los factores de temperatura permite hacer esa comprobación. Este consiste en comparar dos factores adimensionales: el factor de temperatura de la superficie interior (f_{Rsi}) y el factor de temperatura útil sobre la superficie interior ($f_{Rsi,min}$). El primero debe ser mayor que el segundo, para todos los meses del año:

$$fR_{si} > fR_{si,min}$$

donde:

$$fR_{si} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

$$fR_{si,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

θ_{si} temperatura mínima en la superficie interior del cerramiento ($^{\circ}\text{C}$);

θ_i temperatura del ambiente interior ($^{\circ}\text{C}$);

θ_e temperatura del ambiente exterior ($^{\circ}\text{C}$);

$\theta_{si,min}$ temperatura superficial aceptable ($^{\circ}\text{C}$).

El Documento de Apoyo DA DB-HE/2 “Comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos” recoge los valores de $fR_{si,min}$ para las distintas zonas climáticas, obtenidas considerando las condiciones interiores de cálculo reglamentarias.

El cálculo del factor de temperatura de la superficie interior (fR_{si}) puede obtenerse mediante aplicaciones específicas que calculan dicho factor o a partir del cálculo de la temperatura mínima en la superficie interior.

5. ESTUDIO DE UN CASO

5.1. INTRODUCCIÓN

El análisis de los puentes térmicos se realiza en un edificio destinado a viviendas y locales comerciales en Chiva, en la provincia de Valencia. Éste cuenta con acceso desde dos calles: oeste (calle Doctor Nácher 7); y este (calle Doctor Lanuza).



Figura 5. Vista aérea del emplazamiento del edificio



Figura 6. Plano de situación del edificio

El edificio se construyó en el año 1.900 y tiene el sistema constructivo típico de la época, muros de carga de piedra y forjados con viguetas de madera y entrevigado de revoltón cerámico, con escombros como elemento de relleno, con cenizas de altos hornos para aligerar, y cubiertas con viguetas de madera y rastrelado de madera con acabado en teja cerámica, con viga cumbre de madera.

En la década de los 60 se realizó la antigua carretera de Valencia a Madrid (actualmente calle Doctor Nácher), de modo que se expropió una parte del edificio. Por lo tanto se realizó una nueva fachada oeste con un sistema constructivo distinto, más típico de estos años, a base de ladrillo cerámico macizo con un trasdosado de ladrillo hueco para trabar la tabiquería, manteniendo el resto de la estructura.

En esta nueva rehabilitación que nos ocupa, la fachada este se elimina completamente debido al mal estado del muro de piedra, realizando una nueva fachada a base de ladrillo hueco triple para revestir en el exterior y ladrillo hueco doble en el interior, con aislamiento térmico entre ellos (Figura 7). En cambio, la fachada oeste se mantiene, realizando un trasdosado de ladrillo dejando una cámara donde se introduce el aislamiento térmico (Figura 8). En la zona este también se elimina el forjado debido a su estado de ruina, y se realiza un forjado de hormigón in situ, con viguetas de hormigón prefabricado y bovedillas de hormigón (Figura 9). También se elimina la cubierta y se realiza una con forjado inclinado de hormigón y acabado de teja.

Por lo tanto el edificio objeto de estudio cuenta con tres sistemas constructivos muy diversos, con puentes térmicos diferentes en cada caso.

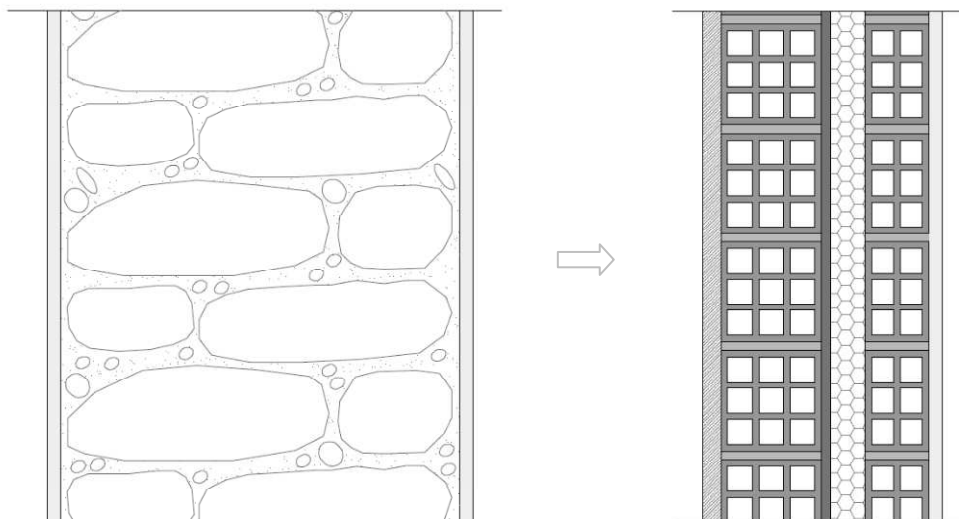


Figura 7. Evolución de la fachada este (calle Doctor Lanuza). Izqda. estado original. Dcha. estado rehabilitado.

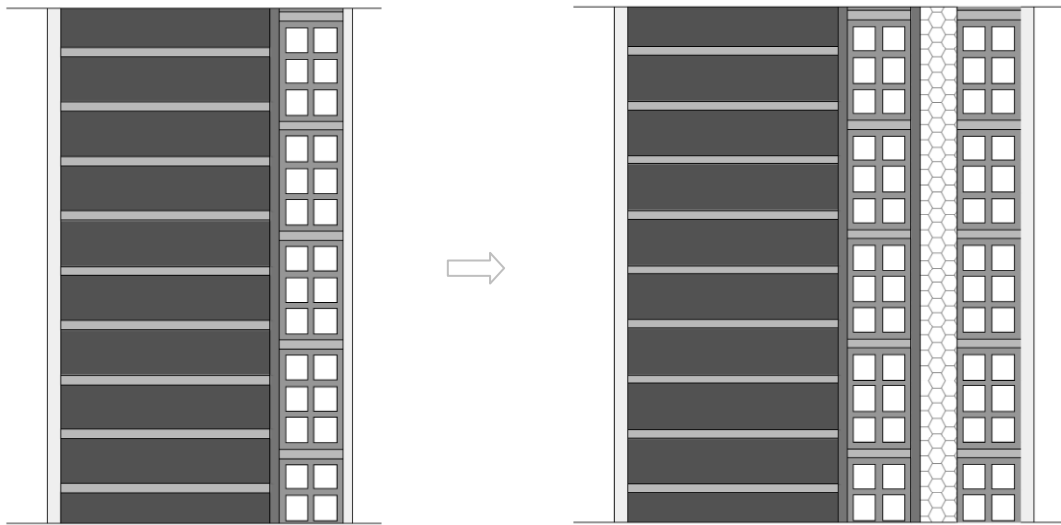


Figura 8. Evolución de la fachada oeste (calle Doctor Nácher). Izqda. estado original. Dcha. estado rehabilitado.

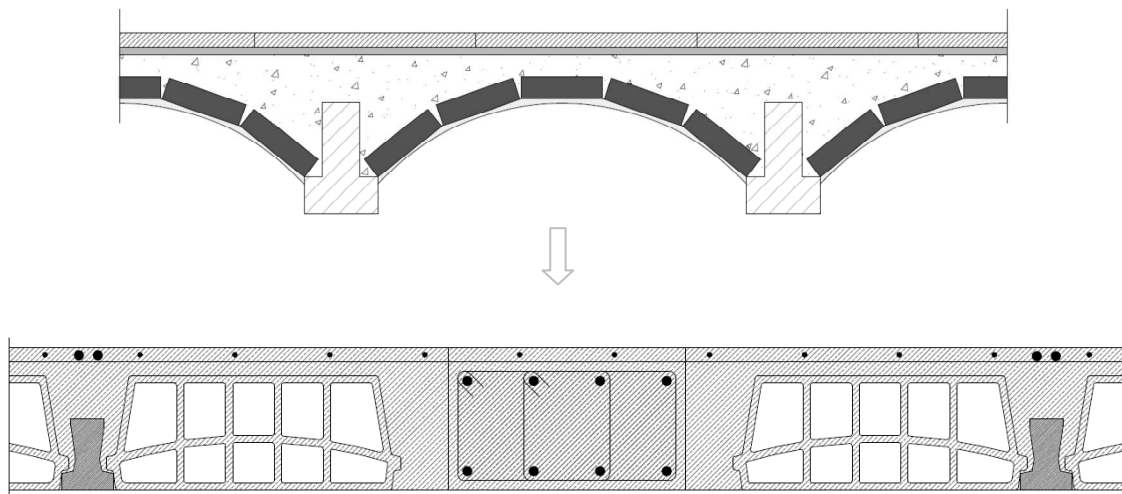


Figura 9. Evolución de forjados en zona este. Arriba estado original. Abajo estado rehabilitado.

5.2. RECOPIACIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS

Según el DB HE, el municipio de Chiva se encuentra en la zona climática C2 (Valencia B2; Altitud $200 < 297 < 400$ m). Y las condiciones de temperatura y humedad son las siguientes:

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tª media (°C)	8,9	9,4	11,7	13,8	17,0	20,9	23,9	24,2	21,6	17,1	12,5	9,7
Tª mínima (°C)	4,5	5,1	6,6	8,8	12,1	16,0	18,9	19,3	16,6	12,1	7,7	5,2
Tª máxima (°C)	13,4	13,7	16,9	18,9	22,0	25,8	29,0	29,2	26,6	22,1	17,4	14,3
HR media (%)	51,9	51,4	48,5	51,6	53,5	54,1	55,3	56,1	56,4	54,5	56,5	52,0

Tabla 2. Condiciones climáticas Chiva. (Fuente: climate-data.org).

5.2.1. CONDICIONES EXTERIORES

A la vista de estos datos y, ya que siempre se debe escoger las situaciones más desfavorables para obtener buenos resultados, establecemos las condiciones exteriores, que serán las que se utilicen en el cálculo, tanto para invierno como para verano.

- Invierno. El mes con una temperatura media más reducida es enero, cuya temperatura mínima será la que se introduzca para los cálculos. La humedad relativa será la correspondiente al mes de enero.

- Verano. Del mismo modo la temperatura media más elevada se sitúa en agosto, en este caso se escoge la temperatura máxima del mes. La humedad relativa será la correspondiente al mes de agosto.

Condiciones de contorno en invierno:		Condiciones de contorno en verano:	
Temperatura mínima del mes más frío	4,5 °C	Temperatura máxima del mes más caluroso	29,2 °C
Humedad Relativa del mes más frío	51,9 %	Humedad Relativa del mes más caluroso	56,1 %

Tabla 3. Condiciones climáticas exteriores. Invierno y verano.

5.2.2. CONDICIONES INTERIORES

En cuanto a las condiciones higrotérmicas interiores, se acude al diagrama que propone Givoni en su ábaco para las condiciones de confort (Figura 10), escogiéndose los valores medios para cada caso:

- Invierno. La temperatura de confort se encuentra entre 18 y 23 °C y la humedad relativa entre 90 y 25%, se escogen los valores medios aproximados para el cálculo.

- Verano. La temperatura aumenta hasta un intervalo de 21 a 26°C, y entre 95 y 20% de humedad relativa, se actúa del mismo modo que en invierno, escogiendo valores medios aproximados.

Por lo tanto las condiciones higrotérmicas para el cálculo y la caracterización de los puentes térmicos en el interior de la vivienda serán las siguientes:

Condiciones de contorno en invierno:		Condiciones de contorno en verano:	
Temperatura interior	20,5 °C	Temperatura interior	23,5 °C
Humedad Relativa interior	55,0 %	Humedad Relativa interior	50,0 %

Tabla 4. Condiciones climáticas interiores. Invierno y verano.

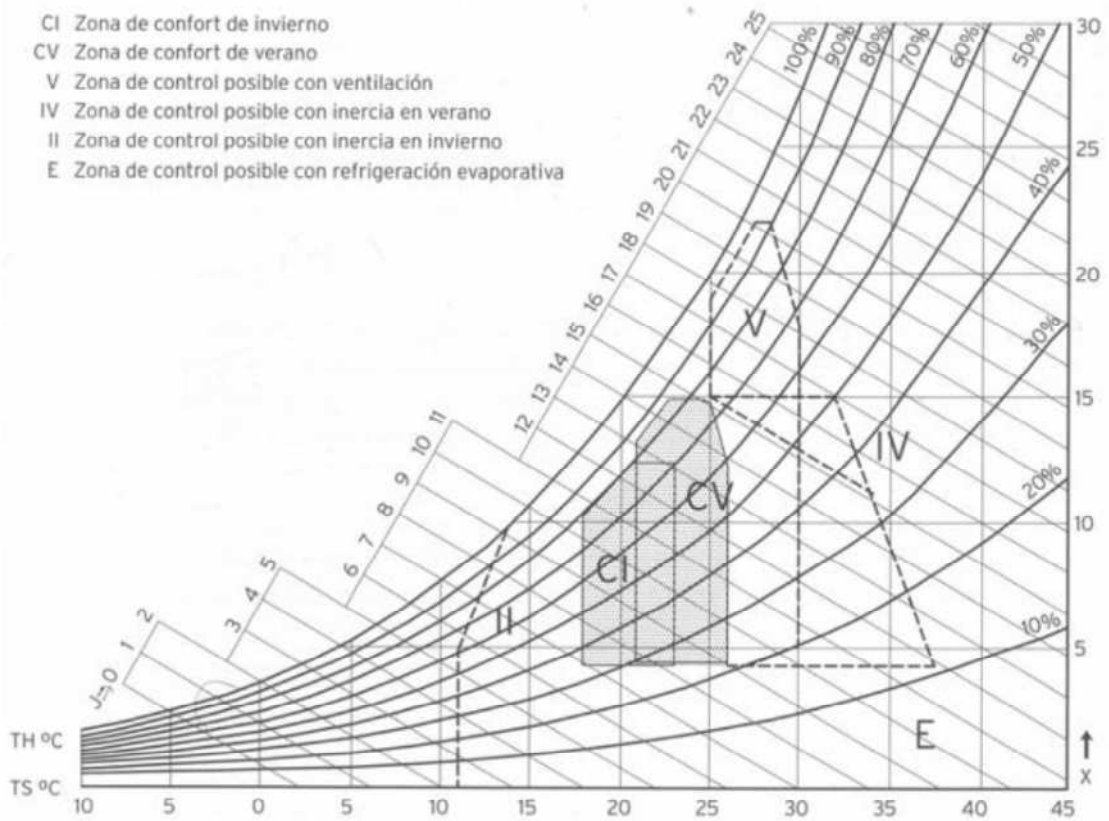


Figura 10. Ábaco de Givoni. Zonas de confort.

5.2.3. COEFICIENTE DE PELÍCULA

Para el coeficiente de película exterior e interior, se extraerá los datos de la Tabla 1. de resistencia superficial en los puentes térmicos del apartado 4.6. del presente. Así como la resistencia superficial exterior extraída de la Tabla E.1 del CTE DB-HE 1.

Posición del cerramiento	Rse	Rsi	CPe	CPI
Cerramientos verticales (Fachadas)	0,04	0,13	25,00	7,69
Cerramientos horizontales (Cubierta)		0,10		10,00
Cerramientos horizontales (Solera)		0,17		5,88
Elementos en esquina (Pilar en esquina)		0,20		5,00

Tabla 5. Resistencia superficial y Coeficiente de Película.

Siendo:

Rs: Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m²K/W.

CP: Coeficiente de película, inversa de la resistencia superficial en W/m²K.

5.3. ESTADO ORIGINAL

Como se ha comentado anteriormente, el sistema constructivo de las fachadas es distinto, por lo tanto se va a analizar las fachadas por separado, denominándolas "zona este" y "zona oeste".

En primer lugar se definirá la envolvente del edificio, tanto fachadas como cubierta y solera, con sus correspondientes materiales y transmitancias térmicas.

Posteriormente, se situarán de forma gráfica los puentes térmicos a estudiar, aplicando un código alfanumérico a cada encuentro, correspondiendo la primera letra a la zona (E = Este; O = Oeste), el número de encuentro, y letra de estación (A = Invierno; B = Verano). Por ejemplo, el encuentro de la fachada con el forjado, en la fachada oeste, en verano, tendrá el código O8B) (Oeste, nº de encuentro, Verano).

Por otro lado, se estudiará el puente térmico con todas sus capas, espesores y transmitancias térmicas de los materiales, se presentarán los resultados de flujo de calor y temperaturas de las capas.

Por último, se actuará de la misma forma con la el estado rehabilitado.

Los datos y características de los materiales se ha extraído de la base de datos de materiales del CTE, publicado por el Ministerio de Industria.

5.3.1. ZONA ESTE

5.3.1.1. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE

- Fachada

La fachada este se compone de un muro de piedra en toda su superficie, enlucido exterior e interiormente con mortero de cemento y de yeso respectivamente, ambos con acabado pintado en colores claros.

Dicho muro disminuye en espesor a medida que aumenta la altura, ya que la carga que soporta es menor. Se considera toda la superficie con el menor espesor existente para obtener resultados homogéneos (47 cm.).

Material	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m ³)	U (W/m ² K)
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200	0,015	0,550	1.125	
Caliza dureza media 1800<d<1990	0,440	1,400	1.895	
Enlucido de yeso 1000<d<1300	0,015	0,570	1.150	
	0,470	-	-	1,86

Tabla 6. Definición de envolvente térmica. Fachada este. Original.

- Solera

En planta baja la solera apoya directamente sobre el terreno natural, con una capa de hormigón en masa, sobre la que apoya el solado de gres sobre una capa de mortero de nivelación.

Material	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m ³)	U (W/m ² K)
Gres (sílice) 2200<d<2590	0,020	2,300	2.395	
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200	0,010	0,550	1.125	
Hormigón convencional d 1900	0,100	1,200	1.125	
Tierra vegetal d<2050	-	0,520	2.000	
	0,13	-	-	1,50

Tabla 7. Definición de envolvente térmica. Solera este. Original.

- Cubierta

La cubierta está formada por viguetas de madera sobre las que apoya una capa de bardo cerámico, encima de éste apoya el rastrelado de madera y la teja cerámica curva.

Anteriormente, existía una capa de cañizo bajo los bardos que actuaba de aislante, pero actualmente se encuentra caído por lo que no se ha tenido en cuenta en el estudio.

El corte para el análisis de los puentes térmicos se realiza por la viga, aunque represente una menor superficie, para que los resultados con el estado rehabilitado sean menos dispares, ya que el nuevo forjado de cubierta será de hormigón armado.

Material	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m ³)	U (W/m ² K)
Teja de arcilla cocida	0,020	1,000	2.000	
Plaqueta o baldosa cerámica	0,070	1,000	2.000	
Conífera peso medio 435<d<520	0,162	0,150	480	
	0,252	-	-	0,75

Tabla 8. Definición de envolvente térmica. Cubierta este. Original.

5.3.1.2. UBICACIÓN DE LOS PUENTES TÉRMICOS

Se estudian los puentes térmicos más relevantes a efectos de estructura y sistema constructivo, se dejan para un análisis más detallado el estudio de marcos y vidrios. Los puentes térmicos se estudian tanto en invierno como en verano, y son los siguientes:

Zona Este	Zona Oeste
E1) Encuentro Fachada-Solera	O6) Encuentro Fachada-Solera
E2) Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta)	O7) Encuentro Fachada-Forjado (balcón)
E3) Encuentro Fachada-Forjado (por revoltón)	O8) Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta)
E4) Encuentro Fachada-Forjado (balcón)	O9) Encuentro Fachada-Forjado (por revoltón)
E5) Encuentro Fachada-Cubierta	O10) Encuentro Fachada-Cubierta

Tabla 9. Puentes térmicos a analizar. Estado original.

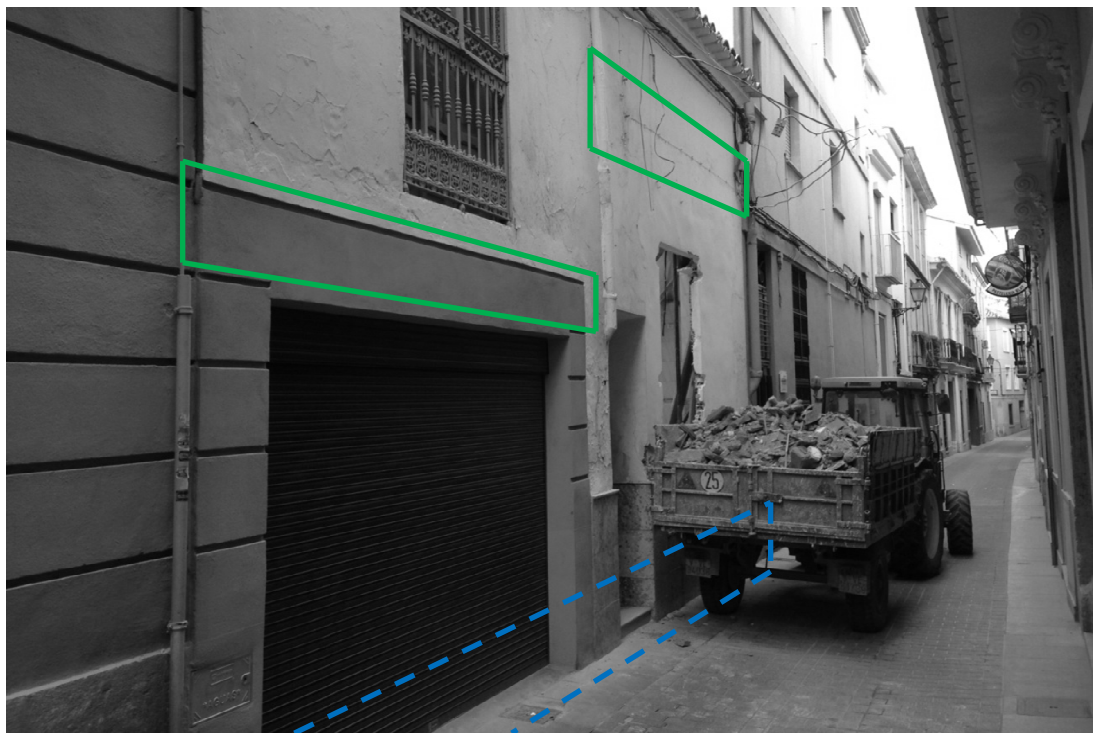


Figura 11. Esquema de puentes térmicos. Estado original. Fachada Este.






E1) Encuentro Fachada-Solera



E2) y E3) Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta y por revoltón)



Figura 12. Esquema de puentes térmicos. Estado original. Fachada Este.

-  E5) Encuentro Fachada-Cubierta
-  E4) Encuentro Fachada-Forjado (balcón)
-  E2) y E3) Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta y por revoltón)

5.3.1.3. ANÁLISIS DE LOS PUENTES TÉRMICOS.

En este apartado se van a definir cada uno de los puentes térmicos del estado original diferenciando los de la zona este con los de la zona oeste, será un procedimiento ascendente, es decir, se comenzará a analizar la solera y se terminará por la cubierta, de forma ascendente. Se analizarán los puentes térmicos en las situaciones de invierno y verano.

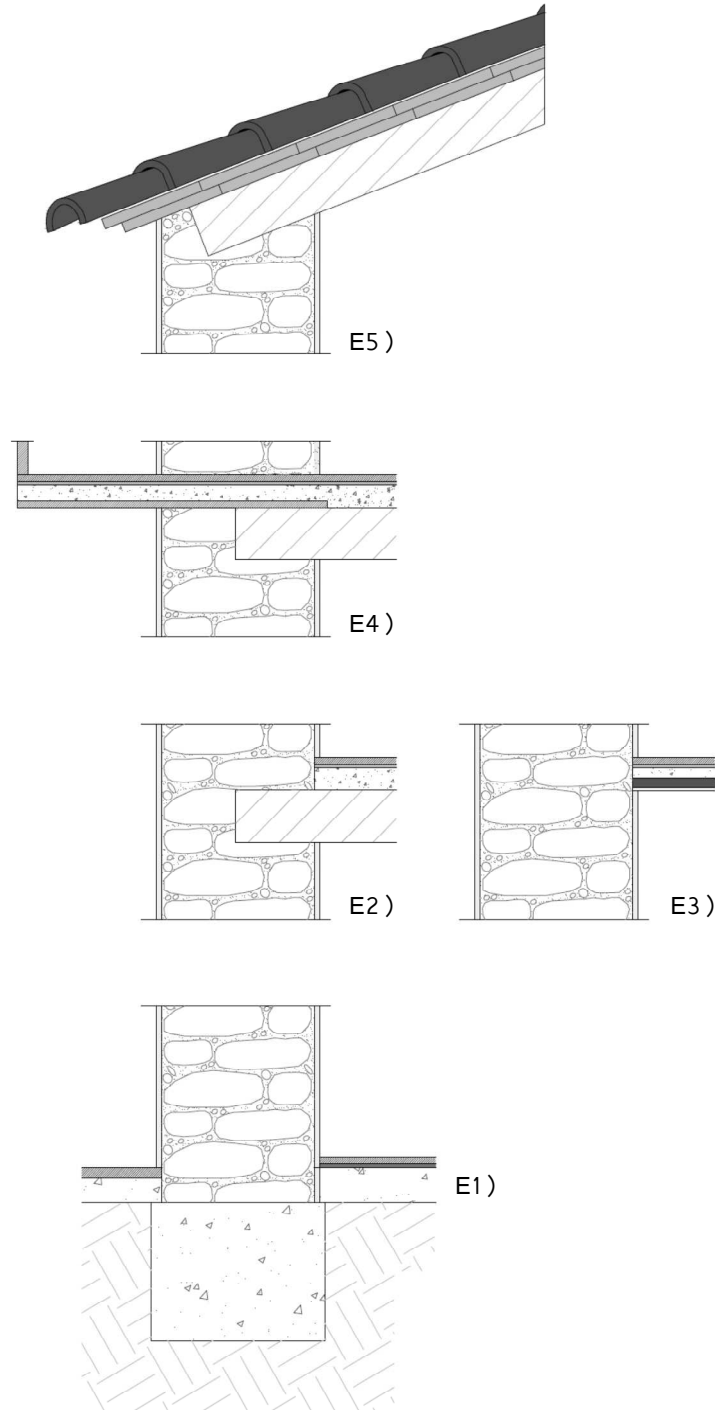


Figura 13. Sección constructiva. Zona este. Estado original.

E1A) ENCUENTRO FACHADA-SOLERA. INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

El muro de piedra se encuentra con la cimentación, en este caso de piedra mezclada con hormigón.

En el interior se encuentra la solera de hormigón convencional, con un mortero de nivelación el solado de gres encima.

En el exterior está la acera de la calle doctor Lanuza, que se ha considerado un solado de piedra artificial sobre una capa de hormigón convencional.

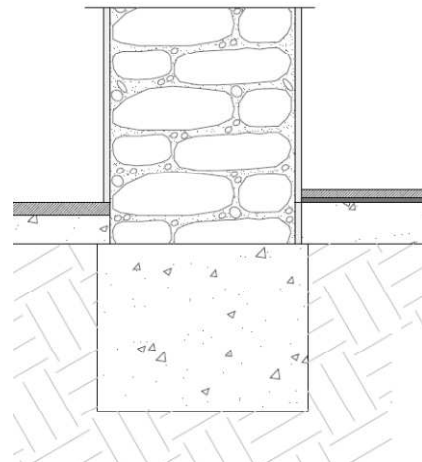


Figura 14. Fachada-Solera. Zona este. Estado original.

Líneas isotermas.

Las líneas isotermas muestran los cambios de temperatura a lo largo de la sección del detalle constructivo.

En este caso vemos como en el muro las líneas isotermas tienden a ser uniformes debido a la homogeneidad de sus componentes.

Por otro lado, se observa cómo las líneas aumentan de temperatura conforme se acercan al interior de la vivienda.

El punto de mínima temperatura en la superficie interior se da en la esquina interna y está a 15,2 °C.

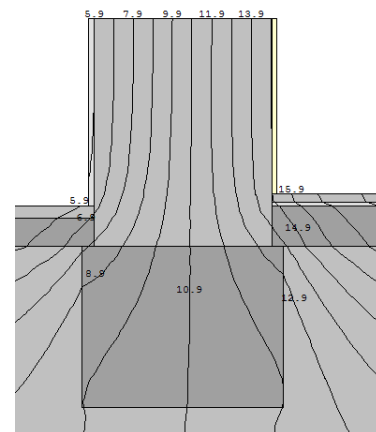


Figura 15. Fachada-Solera. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo de energía son útiles para observar por dónde se dispersa la energía, cuando los vectores están más unidos, significa que existe un flujo mayor.

Se observa que en el muro, los vectores de flujo son uniformes, y que en el terreno natural apenas existe flujo de energía.

En este caso la energía del interior se pierde principalmente por la esquina inferior, encuentro de la fachada con la solera y la cimentación.

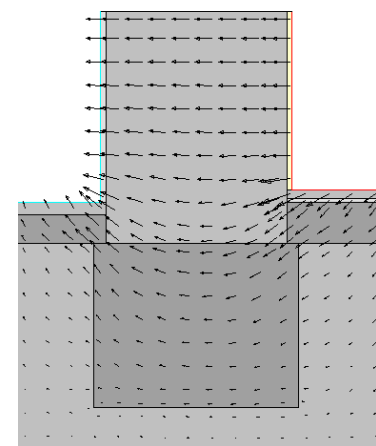


Figura 16. Fachada-Solera. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La visión en infrarrojos de la sección constructiva muestra de una manera más intuitiva la misma información que las isotermas. Representando el color rojo la temperatura más cálida y el color morado la más fría.

Se puede observar la disminución de la temperatura mientras la energía se transmite del interior al exterior, llegando a temperaturas interiores superficiales de aproximadamente 15,6 °C en la pared vertical y muy variable en el suelo, rondando los 18°C.

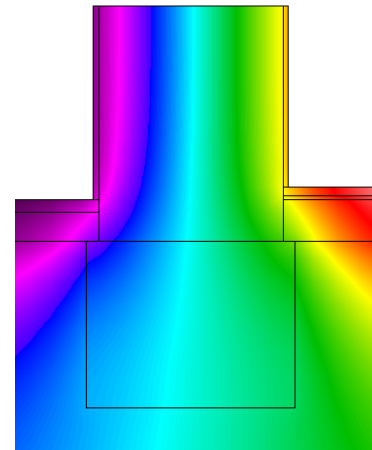
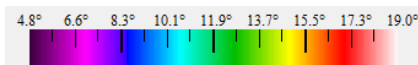


Figura 17. Fachada-Solera. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

El flujo de energía indica la facilidad o dificultad que tiene la energía de fluir por la sección constructiva. De modo que cuanto mayor sea esta magnitud, mayor será la facilidad con que la energía fluya a través suyo.

Muestra por dónde se transfiere la energía. Principalmente, en este caso, por la esquina inferior, encuentro de la fachada con la solera y la cimentación, sobre todo por la parte interior del puente térmico (punto crítico de la sección).

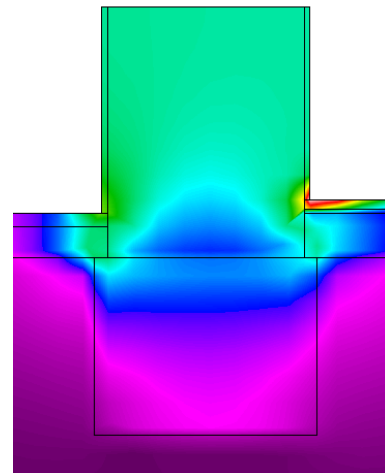
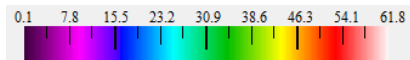


Figura 18. Fachada-Solera. Flujo de energía.

E1B) ENCUENTRO FACHADA-SOLERA. VERANO.

Descripción	Detalle
-------------	---------

Líneas isotermas.

Se observa, en este caso también, que las líneas isotermas del muro tienden a la uniformidad y a ser paralelas, igual que en la situación de invierno. En este caso, por el contrario que el anterior, la temperatura aumenta conforme se aproxima al interior de la vivienda.

El punto de máxima temperatura en el interior se da, también, en la esquina interna y está a 25,5 °C.

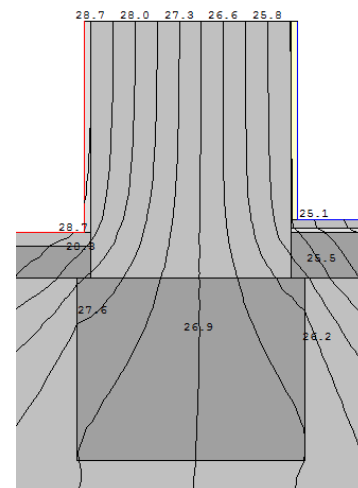


Figura 19. Fachada-Solera. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Se observa que el flujo de energía cambia de sentido en la situación de verano, con respecto a la situación de invierno.

Como en la situación anterior, el flujo de energía es mayor por las esquinas inferiores del detalle constructivo, dando como resultado que el punto más desfavorable se sitúe en la esquina inferior.

El flujo es unidimensional cuando las capas del cerramiento son homogéneas, continuas y uniformes, mientras que se transforma en bidimensional en las proximidades del puente térmico.

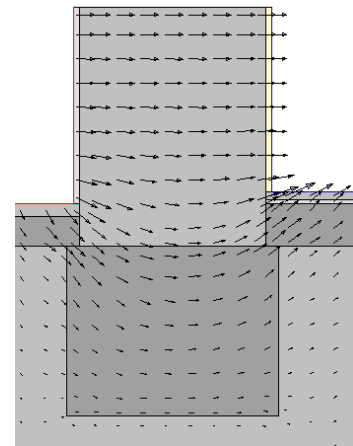


Figura 20. Fachada-Solera. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

Se intuye una simetría con respecto a la situación de invierno, ya que los materiales son los mismos, únicamente se modifica la temperatura tanto interior como exterior, manteniendo la transmitancia y conductividad térmica de sus componentes.

Se alcanzan temperaturas superficiales interiores elevadas, llegando a más de 25 °C en la pared vertical, y más de 24 °C en el suelo.

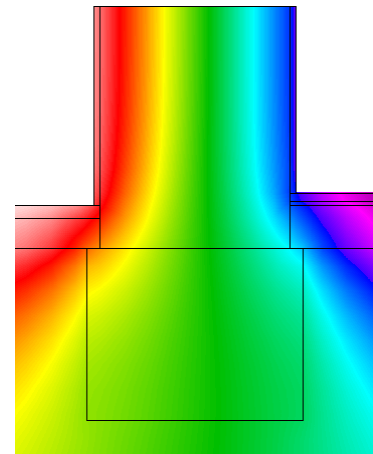
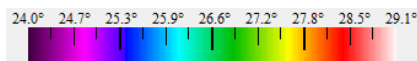


Figura 21. Fachada-Solera. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

No se modifica el detalle del flujo de energía, debido a que los materiales y sus características son los mismos.

Sí cambia la escala con la que se mide, ya que se modifican las condiciones climáticas, tanto en el exterior como en el interior.

De forma que la energía que fluye por la sección es mucho menor en la situación de verano que de invierno, ya que el gradiente térmico es reducido.

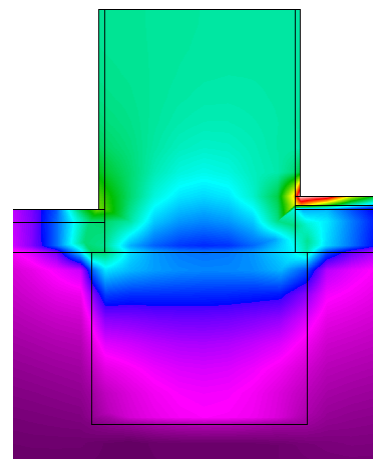
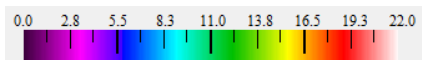


Figura 22. Fachada-Solera. Flujo de energía.

- Fórmulas para el cálculo de los puentes térmicos:

- L2D. Coeficiente de acoplamiento térmico lineal bidimensional (W/mK):

$$L2D = Ufactor \cdot L$$

- Ψ . Transmitancia térmica lineal del puente térmico (W/m²K). Si el valor es negativo significa que la transmitancia térmica del elemento que interfiere en el cerramiento (puente térmico), es menor que la transmitancia térmica del propio elemento, beneficiando la transmitancia global del puente térmico.

$$\Psi = L \cdot (Ufactor - Umuro)$$

- FRsi. Factor de resistencia superficial (adimensional).

$$FRsi = (Text - Tsi)/(Text - Tint)$$

Siendo:

Ufactor. Transmitancia térmica de la simulación realizada (W/m²K).

Umuro. Transmitancia térmica del muro (W/m²K).

L. Longitud dentro del modelo geométrico bidimensional sobre la que se aplica el valor Ufactor (m).

Tsi. Temperatura superficial interior más desfavorable en cada caso (°C).

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Solera. Estado original. Invierno.

FACHADA-SOLERA. ORIGINAL. ESTE. INVIERNO. T^a ext = 4,5°C; T^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
3,0382	1,86	-	0,4354	-	1,3227	0,5130	15,2	0,6688

Tabla 10. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera original. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Solera. Estado original. Verano.

FACHADA-SOLERA. ORIGINAL. ESTE. VERANO. T^a ext = 29,2°C; T^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
3,0382	1,86	-	0,4354	-	1,3227	0,5130	25,5	0,6491

Tabla 11. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera original. Zona este. Verano.

E2A) ENCuentRO FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA). INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

El forjado de viguetas de madera se encuentra con el muro de piedra, penetrando en éste para un mejor apoyo.

La disminución de la sección del muro es lo que conforma el puente térmico.

Esta sección representa un porcentaje menor de contacto, ya que la mayor parte le corresponde al revoltón, pero es interesante a efectos térmicos por la introducción de la vigueta de madera en el muro.

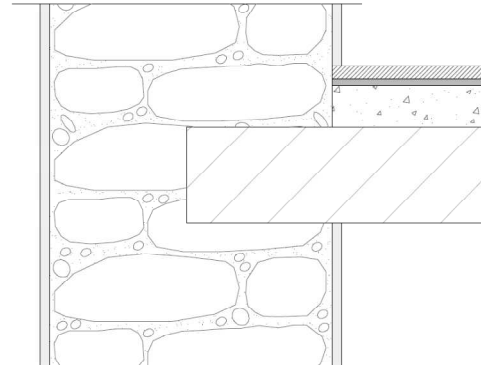


Figura 23. Fachada-Forjado (por vigueta). Zona este. Estado original.

Líneas isotermas.

Como se observa en la figura, la vigueta de madera no representa una gran modificación a efectos térmicos, ya que las líneas isotermas más superficiales, tanto en el exterior como en el interior, permanecen sensiblemente paralelas.

El punto de mínima temperatura en el interior se da en la esquina interior superior y está a 16,8 °C.

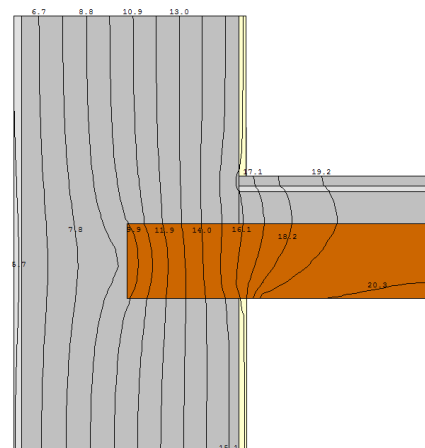


Figura 24. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Se aprecia una uniformidad del flujo de energía a lo largo de toda la sección del muro.

Según los resultados obtenidos, el flujo de energía transita principalmente por el muro de piedra, dejando la vigueta de madera prácticamente sin flujo.

Como se ve, el punto crítico de flujo de energía se encuentra en la esquina interior superior.

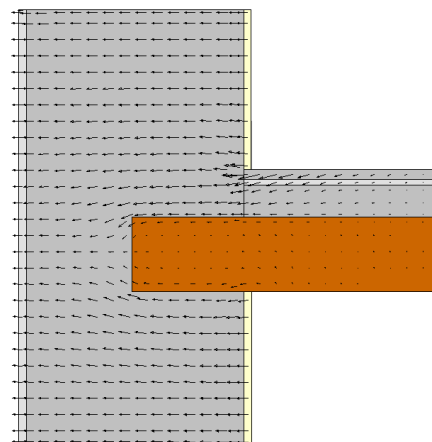


Figura 25. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

Como se ha comentado anteriormente en la vista de las líneas isotermas, la penetración de la vigueta en el muro, no afecta demasiado a efectos térmicos, ya que permanece constante la reducción de temperatura hasta el interior.

Las temperaturas interiores son las siguientes: 16,5 °C, aproximadamente, en la pared vertical; y alrededor de 20 °C tanto en el suelo como en el techo.

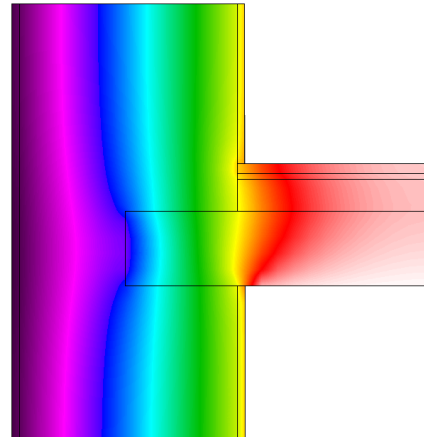
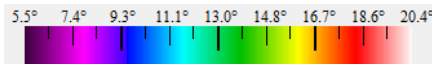


Figura 26. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

En la figura se observa claramente por dónde transita el flujo de energía, esto es debido a que la madera tiene una transmitancia térmica más favorable que la piedra.

Por lo tanto, el flujo de energía traspasa el cerramiento principalmente por el muro de piedra.

Se observa una vez más el punto crítico situado en la esquina interior superior del encuentro entre el forjado y el muro.

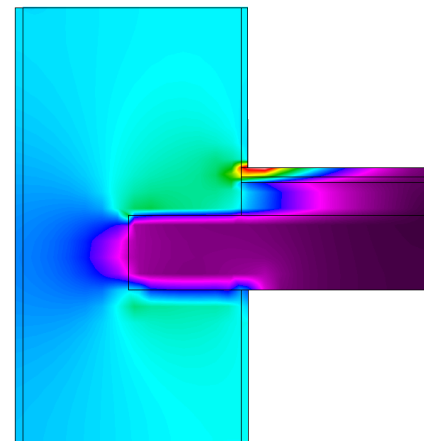
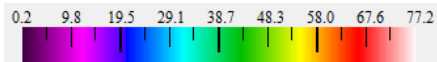


Figura 27. Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía.

E2B) ENCuentRO FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA). VERANO.

Descripción	Detalle
-------------	---------

Líneas isotermas.

Se cumplen las mismas condiciones que en invierno en cuanto a las líneas isotermas, ya que permanecen sensiblemente paralelas a lo largo de la sección, no modificándose sustancialmente la temperatura en las líneas más superficiales.

El punto de máxima temperatura en el interior se da, también, en la esquina interior superior y está a 24,8 °C.

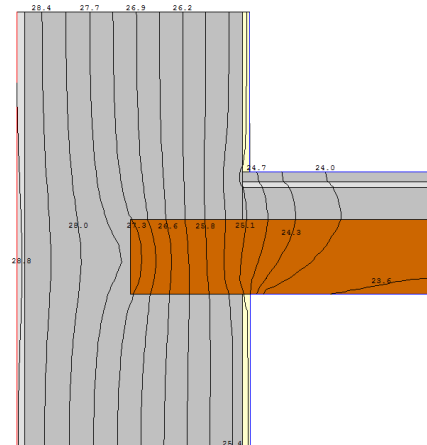


Figura 28. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Como en el caso de la situación de invierno, el flujo de energía entra, principalmente, por el muro de piedra, con una conductividad mayor que la vigueta de madera.

Vuelve a observarse claramente el punto crítico del puente térmico, situado en la esquina superior interior del encuentro entre el forjado y el muro de cerramiento.

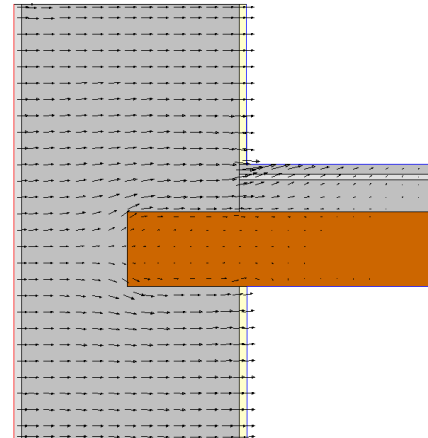


Figura 29. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

Se obtienen resultados muy similares a los obtenidos para la situación de invierno, pero opuestos, es decir, la temperatura en este caso disminuye conforme se interna en el cerramiento, alcanzando valores de temperatura superficial interior cercanos a 25 °C, lo cual no está alejado de la situación de confort.

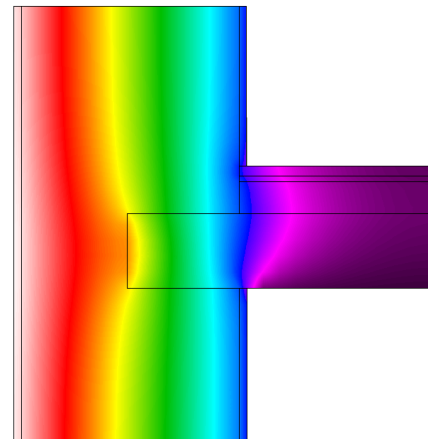
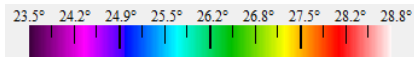


Figura 30. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

El flujo de energía permanece como en la situación de invierno, debido a que las características de los materiales son las mismas.

Lo que sí se modifica son las magnitudes, ya que el gradiente térmico que presenta la situación de verano es mucho menor que en invierno, por lo tanto el flujo de energía es menor en verano.

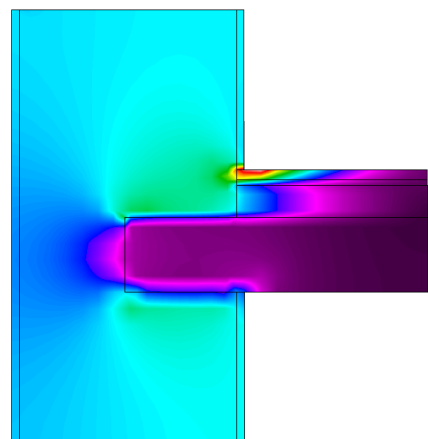
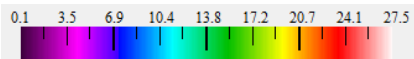


Figura 31. Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta). Estado original. Invierno.

FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA). ORIGINAL. ESTE.								
INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,4471	1,86	-	0,6300	-	1,5416	0,3698	16,8	0,7688

Tabla 12. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) original. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta). Estado original. Verano.

FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA). ORIGINAL. ESTE.								
VERANO. T ^a ext = 29,2°C; T ^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,4471	1,86	-	0,6300	-	1,5416	0,3698	24,8	0,7719

Tabla 13. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) original. Zona este. Verano.

E3A) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN). INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

El forjado se encuentra con el muro de piedra, pero esta vez analizaremos el encuentro con el entrevigado.

No es un puente térmico en sí mismo, ya que el espesor del muro no se ve disminuido, porque no penetra el revoltón. A pesar de esto, se considera interesante a efectos térmicos.

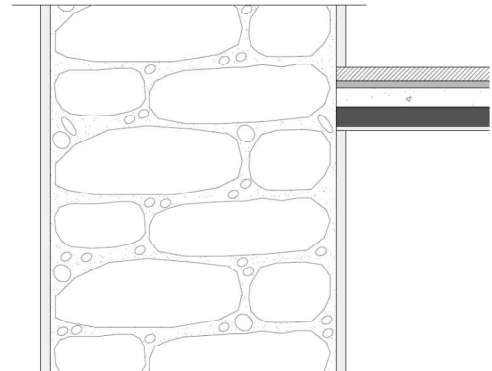


Figura 32. Fachada-Forjado (por revoltón). Zona este. Estado original.

Líneas isotermas.

Al no ser un puente térmico en sí, las líneas isotermas son sensiblemente paralelas, ya que el muro es homogéneo y uniforme en toda su longitud, cuando se acerca al forjado sufre una pequeña discontinuidad debido al encuentro con el forjado.

En este caso, el punto de mínima temperatura en el interior se da en la esquina inferior inferior y está a 17,2 °C. Aunque es prácticamente igual a la esquina superior, 17,3 °C.

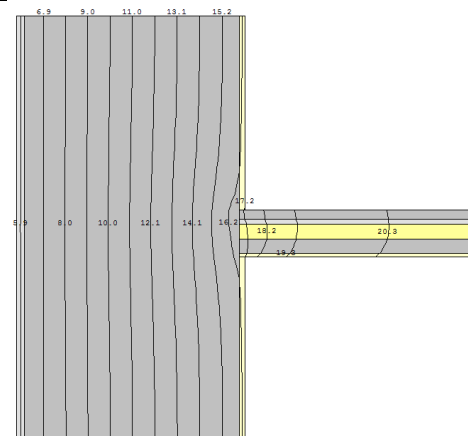


Figura 33. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

En este caso, se aprecia claramente que el forjado no supone puente térmico, ya que el intercambio de energía se produce de forma uniforme a lo largo de toda la sección del muro de piedra. Mientras que el revoltón del forjado ejerce una pequeña distorsión, acumulando la mayor parte del flujo a través de él.

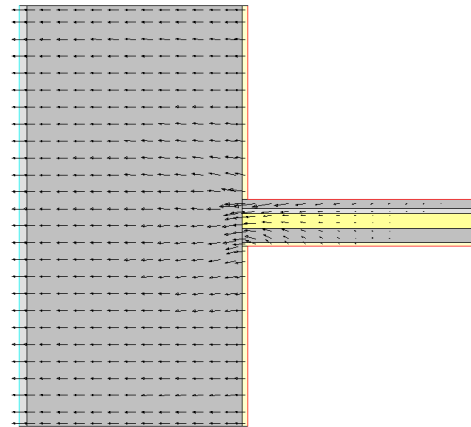


Figura 34. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La transmisión de calor a través de la sección es uniforme a lo largo del muro, llegando a temperaturas en la superficie interior de la fachada de alrededor de 17 °C, mientras que en el revoltón la temperatura superficial (tanto en el techo como en el suelo) está sobre los 20 °C.

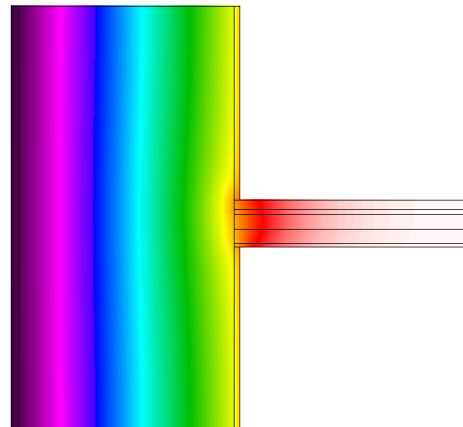
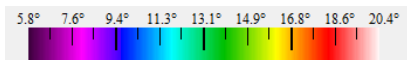


Figura 35. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Al igual que en la otra sección del forjado, el flujo de energía se traslada a través del muro de piedra. En este caso más, si cabe, ya que no se trata de un puente térmico por definición. Incluso, el encuentro con el forjado influye de manera positiva en las características térmicas de la sección.

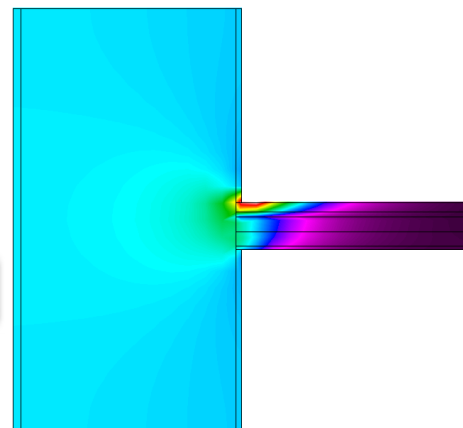
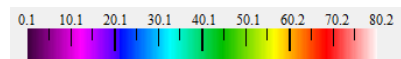


Figura 36. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía.

E3B) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN). VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

Al igual que en la situación de invierno, las líneas isotermas son paralelas, excepto por la relevancia que ejerce el propio forjado.

Dándose una temperatura superficial interior máxima de 24,7 °C en la esquina interior inferior, aunque aproximándose la superior con 24,6 °C.

Las temperaturas superficiales interiores en verano no están alejadas de las óptimas, incluso en el diagrama de Givoni cumplirían las condiciones, aunque estas dos temperaturas no se pueden comparar (ya que una es temperatura radiante y otra temperatura ambiente).

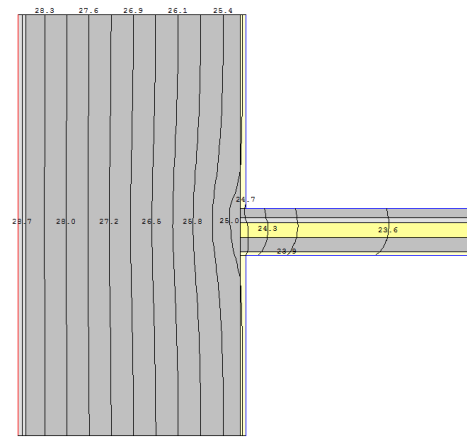


Figura 37. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

La figura demuestra que no existe puente térmico, ya que el flujo de energía es unidimensional en toda la sección de la fachada.

El sentido del flujo se invierte, ya que la temperatura se transmite, siempre, de más caliente a más frío y, en este caso, el calor se encuentra en el exterior.

El flujo se acumula en el encuentro debido al estrechamiento que produce el mismo, encontrando aquí los puntos críticos de la sección.

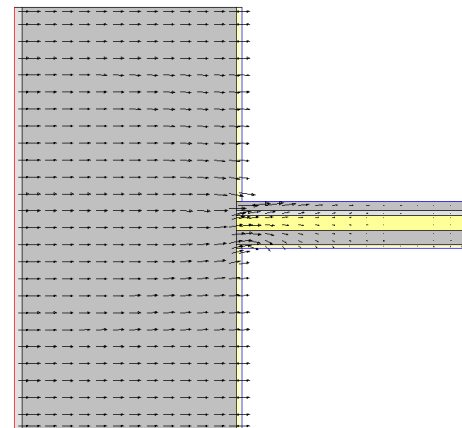


Figura 38. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

Se ve como el muro tiene una evolución térmica uniforme desde el exterior hasta el interior, y el forjado prácticamente tiene la temperatura interior de la vivienda.

La superficie de la pared interior se encuentra a una temperatura aproximada de casi 25 °C, mientras que la superficie del techo y el suelo está a alrededor de los 23,5 °C.

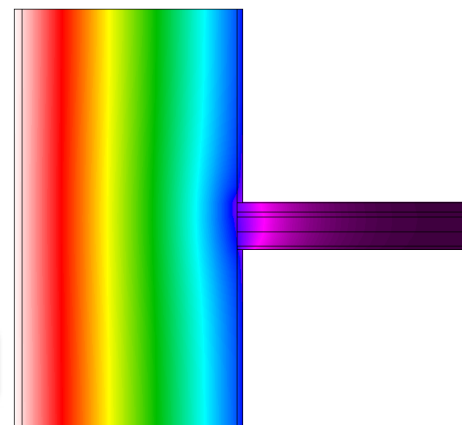
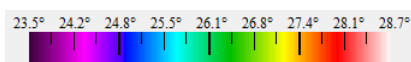


Figura 39. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Como en el caso contrario de invierno, esta vez también el forjado ejerce una influencia positiva en la sección, a efectos térmicos, aunque muy leve, como se verá en la tabla de resultados.

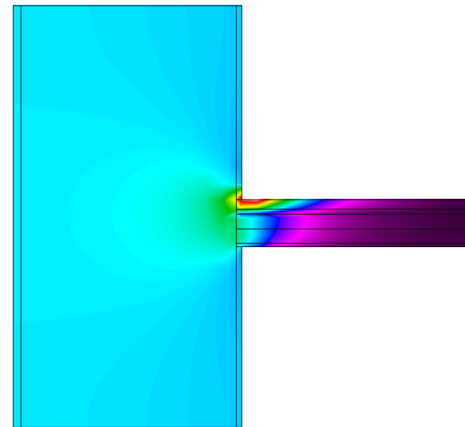
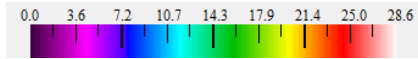


Figura 40. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (por revoltón). Estado original. Invierno.

FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN). ORIGINAL. ESTE.								
INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,2413	1,86	-	0,7700	-	1,7259	0,2936	17,2	0,7938

Tabla 14. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) original. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (por revoltón). Estado original. Verano.

FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN). ORIGINAL. ESTE.								
VERANO. T ^a ext = 29,2°C; T ^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,2413	1,86	-	0,7700	-	1,7259	0,2936	24,7	0,7895

Tabla 15. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) original. Zona este. Verano.

E4A) ENCuentro FACHADA-FORJADO (BALCÓN). INVIERNO.

Descripción

Detalle constructivo.

En el segundo piso existe un balcón, sujeto por una chapa de hierro, dispuesta para sujetar el voladizo, y traspasando de extremo a extremo el muro de piedra, por lo tanto se forma puente térmico.

El solado del balcón se mantiene igual que el interior.

Detalle

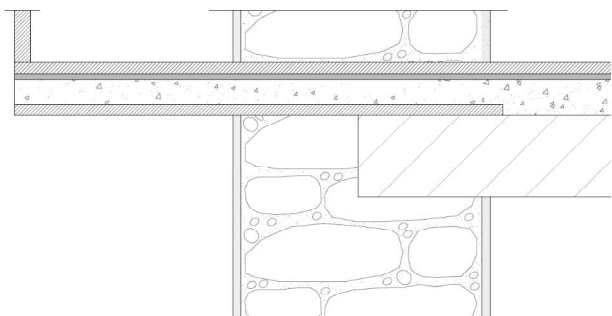


Figura 41. Fachada-Forjado (balcón). Zona este. Estado original.

Líneas isotermas.

Con las líneas isotermas se ve cómo el hierro, elemento con una alta conductividad térmica, transmite el calor a través de la sección. Mientras tanto la madera, con menor conductividad térmica, actúa suavizando este efecto con su menor conductividad térmica.

Produciéndose un punto crítico en la esquina interior superior, con una temperatura superficial muy baja de 13,8 °C que, por radiación, enfriará el ambiente interior.

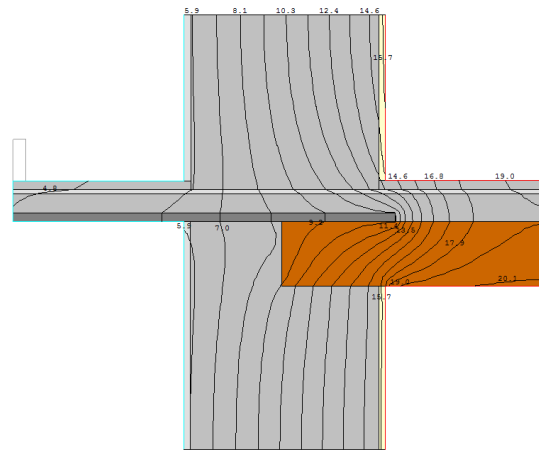


Figura 42. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Se observa claramente cómo la mayor parte del flujo de energía pasa a través del elemento metálico, por su alta conductividad térmica, en comparación con el resto de componentes, falseando los resultados obtenidos, ya que se puede llegar a pensar que no circula flujo de energía por el resto de la sección.

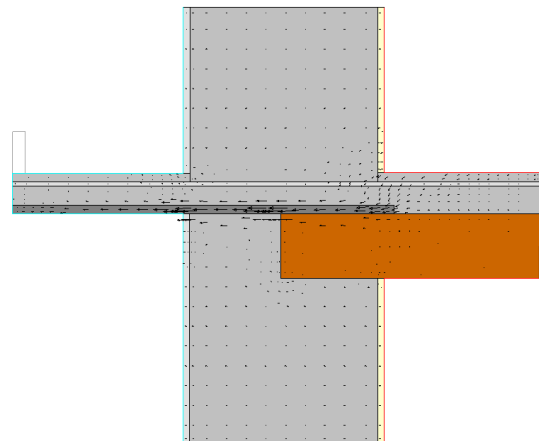


Figura 43. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El elemento metálico traslada con mayor facilidad el calor, por lo tanto en este caso la temperatura fría del exterior profundiza por esta pieza, penetrando casi hasta la vivienda, es por esto que el punto crítico se da en la esquina superior y tiene una temperatura tan reducida.

la temperatura superficial interior de la pared ronda los 16 °C, en el suelo los 19 °C, y en el techo los 20 °C.

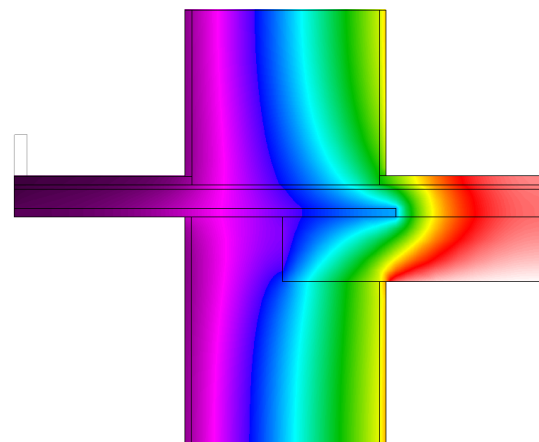
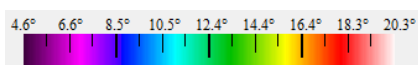


Figura 44. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

En esta figura se observa cómo el elemento metálico absorbe, casi exclusivamente, el flujo de energía, alcanzando valores muy altos de energía por metro cuadrado.

A través del elemento hierro se pierde en invierno mucha energía, por lo que el puente térmico ha de ser tratado.

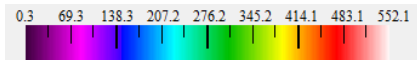


Figura 45. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

E4B) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (BALCÓN). VERANO.

Descripción	Detalle
-------------	---------

Líneas isotermas.

Se ve, como en el caso anterior, que el hierro transporta el calor del exterior hasta el interior de una manera inequívoca, generando una ganancia de energía ineficiente energéticamente.

Dando como resultado un punto crítico en la esquina interior superior con una temperatura superficial de 26,0 °C, únicamente 3,2 °C por debajo de la temperatura exterior.

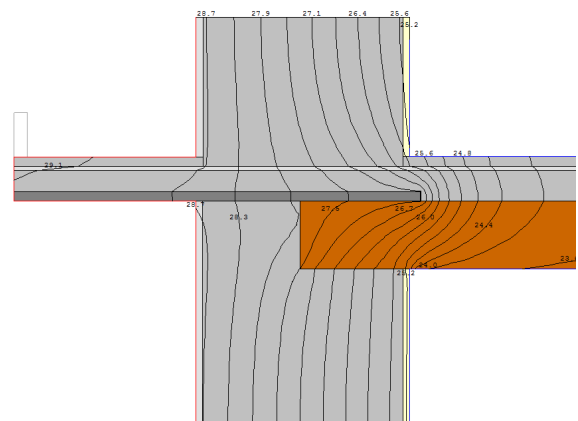


Figura 46. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Se ve, una vez más, que el flujo se transmite, sobre todo, por el hierro, manteniendo el resto de componentes de la sección con un flujo de energía casi despreciable, en comparación.

Trasladando la energía al interior de la vivienda, en verano, llevando el calor del exterior al interior.

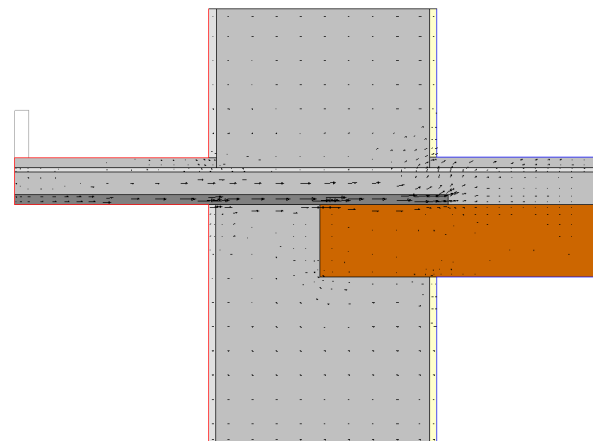


Figura 47. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El calor es transportado del exterior al interior por el elemento metálico, de forma que por conducción, calienta el resto de componentes de la sección constructiva, introduciendo este calor al interior de la vivienda, pudiendo crear situaciones de discomfort.

El punto superficial más caliente se encuentra en la parte superior del forjado, en el encuentro con la fachada.

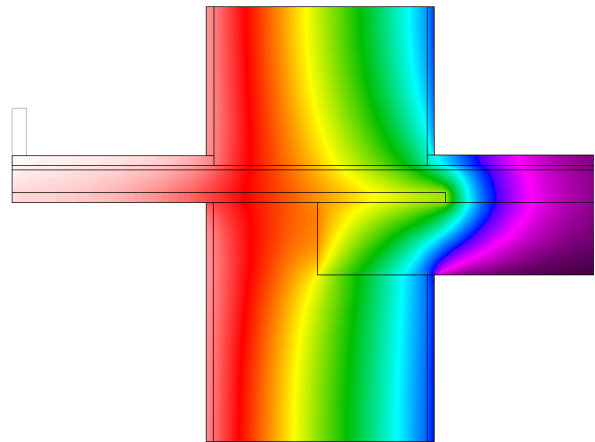
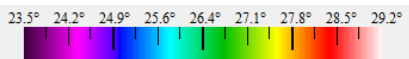


Figura 48. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

Como en el caso de invierno, el flujo de energía se centra en el hierro, con una conductividad térmica alta, dejando el resto de componentes con un flujo de energía muy bajo en comparación con éste.

En este caso el flujo no alcanza valores tan altos como en invierno, debido a que el gradiente de temperatura en verano es menor.

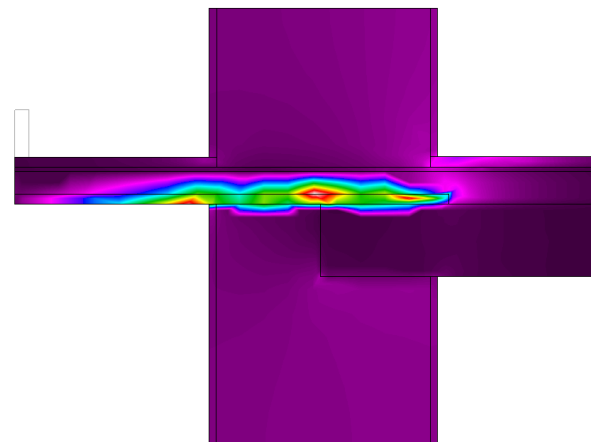
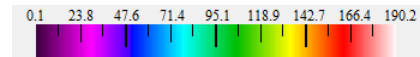


Figura 49. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Estado original. Invierno.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). ORIGINAL. ESTE.								
INVIERNO. Tª ext = 4,5°C; Tª int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
3,0325	1,86	-	0,7705	-	2,3364	0,9034	13,8	0,5813

Tabla 16. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) original. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Estado original. Verano.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). ORIGINAL. ESTE.								
VERANO. Tª ext = 29,2°C; Tª int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
3,0325	1,86	-	0,7705	-	2,3364	0,9034	26,0	0,5614

Tabla 17. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) original. Zona este. Verano.

E5A) ENCuentRO FACHADA-CUBIERTA. INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

El edificio cierra en su parte superior con un forjado inclinado de viguetas de madera, sobre las que apoya dos capas de bardo cerámico formando la pendiente. Encima de éste apoya el rastrelado de madera, que no tiene efectos térmicos y, por tanto, se considera inexistente, acabado con teja cerámica curva.

La vigueta de madera penetra en el muro de piedra de fachada para un mejor apoyo.

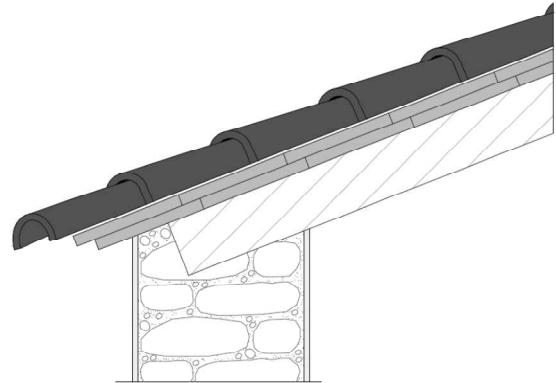


Figura 50. Fachada-Cubierta. Zona este. Estado original.

Líneas isotermas.

La madera posee una baja conductividad térmica, es por esto que las isotermas están más juntas. El punto de encuentro entre la viga de madera y el muro de piedra tiene superficialmente una temperatura de 17,2 °C, aunque no es el punto más frío, ya que el muro tiene una mayor transmitancia térmica, el punto crítico estaría en una zona inferior, por lo tanto, a nivel de estudio, se considera como punto crítico la esquina.

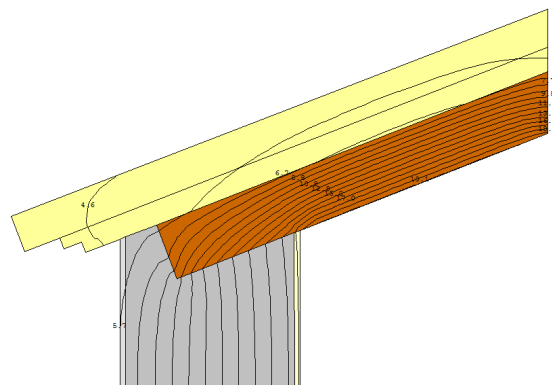


Figura 51. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

La energía fluye principalmente por el cerramiento de muro de piedra, con una conductividad mayor que la vigueta de madera.

El flujo de energía es reducido a lo largo de toda la sección de la cubierta, esto es debido a su reducida transmitancia térmica, por estar compuesto de materiales con una baja conductividad térmica.

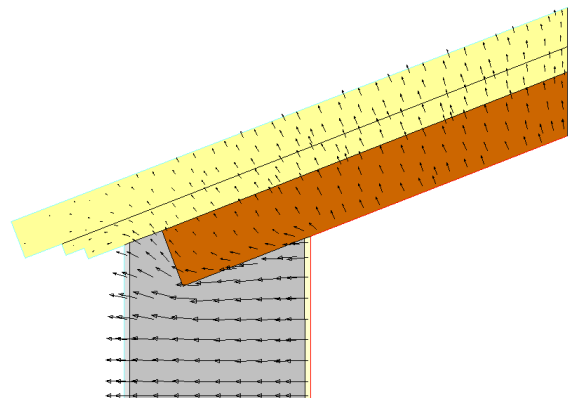


Figura 52. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

En la figura se ve como la madera de la vigueta actúa aislando térmicamente de manera más eficiente que el muro de carga.

Así mismo, el material cerámico de acabado de la cubierta, tanto la teja como los bardos, no posee una buena conductividad térmica.

Se observa que en la capa superficial interior de la vivienda resulta una temperatura que ronda los 17 °C en la pared y los 19 °C en el techo.

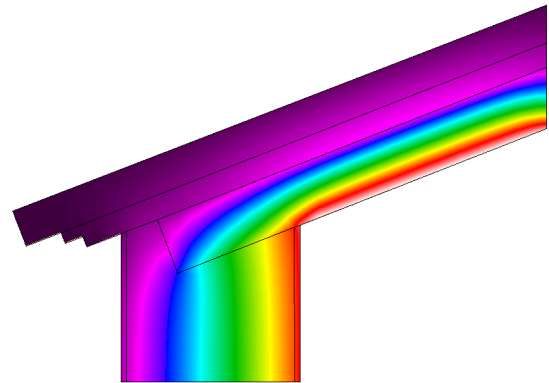
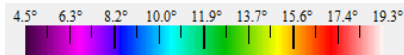


Figura 53. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

El flujo de energía busca los elementos con mayor conductividad térmica para fluir, en la imagen se observa cómo el flujo bordea la vigueta de madera empotrada en el muro, absorbiendo éste la mayoría de flujo de energía transmitido.

Donde encontramos mayor flujo es precisamente en la esquina inferior de la vigueta, donde se encuentran los distintos materiales.

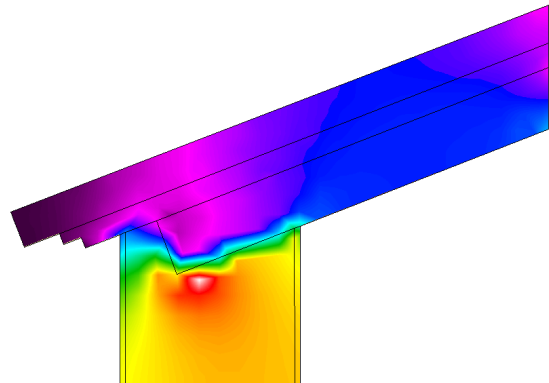
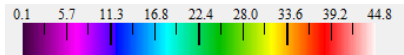


Figura 54. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.

E5B) ENCUENTRO FACHADA-CUBIERTA. VERANO.

Descripción	Detalle
-------------	---------

Líneas isotermas.

Se observa que en verano sucede lo mismo, independientemente de la temperatura, ya que la madera tiene una conductividad térmica menor.

La esquina interior de encuentro entre la fachada y la cubierta nos da una temperatura superficial de 24,7 °C, no encontrándose alejada de la temperatura de confort ambiental. Por lo tanto, el sistema constructivo actúa de manera más eficiente en verano que en invierno.

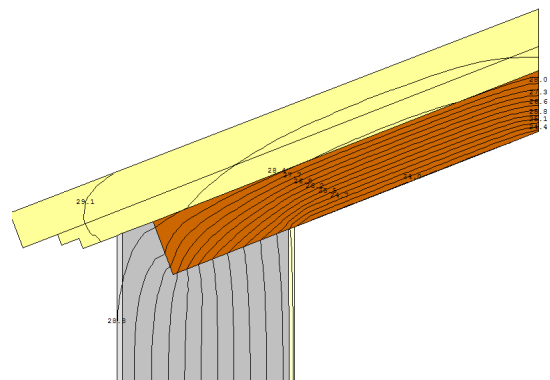


Figura 55. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Se puede observar, al igual que en invierno, que la mayoría de flujo de energía se transporta por el muro de piedra.

Se ve cómo los vectores de flujo rodean la vigueta, es en ese punto donde se encontrará acumulado la mayor parte de flujo de energía.

Por otro lado, el material de acabado de la cubierta, así como la vigueta de madera, tiene poco flujo de energía comparándolo con el muro de piedra.

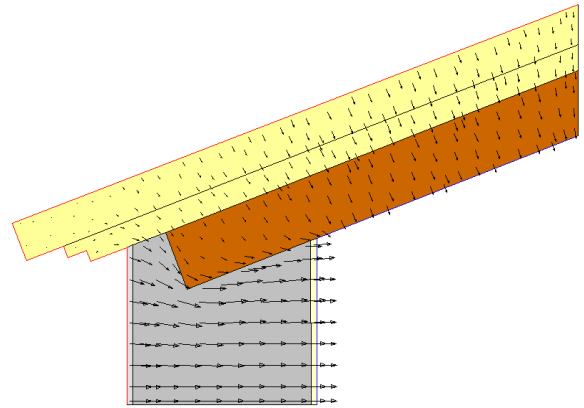


Figura 56. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La visión infrarroja de la sección del encuentro constructivo muestra de manera detallada cómo actúan a nivel térmico tanto el muro como la vigueta, teniendo una mayor conductividad térmica el primero, como ha quedado claro en el estudio de los anteriores puentes térmicos.

La cubierta actúa de manera favorable en el puente térmico, ya que tiene una menor transmitancia térmica global.

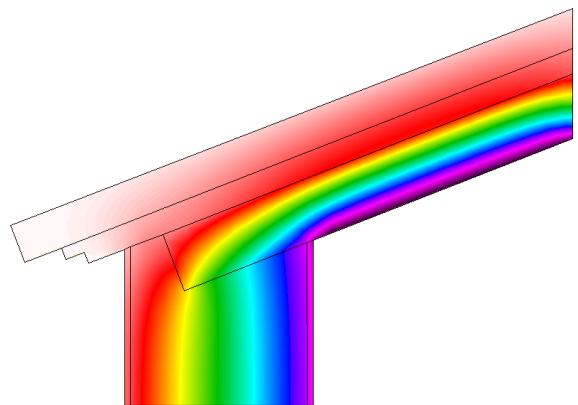


Figura 57. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Se observa gráficamente lo que ya se había comentado, el flujo de energía se acumula en el interior del muro, bajo la vigueta de madera, dando valores reducidos de energía por metro cuadrado, ya que la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es pequeña.

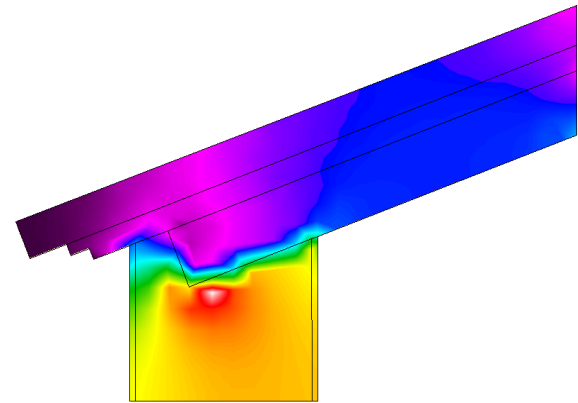
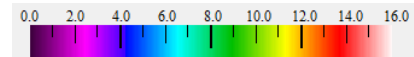


Figura 58. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Estado original. Invierno.

FACHADA-CUBIERTA. ORIGINAL. ESTE. INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,1187	1,86	0,75	0,4091	0,6950	2,3392	1,0570	17,2	0,7938

Tabla 18. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta original. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Estado original. Verano.

FACHADA-CUBIERTA. ORIGINAL. ESTE. VERANO. $T^{\text{a}}_{\text{ext}} = 29,2^{\circ}\text{C}$; $T^{\text{a}}_{\text{int}} = 23,5^{\circ}\text{C}$.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,1187	1,86	0,75	0,4091	0,6950	2,3392	1,0570	24,7	0,7895

Tabla 19. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta original. Zona este. Verano.

5.3.2. ZONA OESTE

5.3.2.1. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE

Del mismo modo que se ha actuado con la zona este, se va a analizar, en este caso, la zona oeste: definiendo la envolvente, situando los puentes térmicos a estudiar y el análisis de dicho puentes térmicos, con su correspondiente código alfanumérico.

Existen similitudes entre las distintas zonas, tanto en el estado original como en el rehabilitado, en cuanto a sistemas constructivos, por lo tanto se mantendrán las mismas condiciones y características.

Los datos de conductividad se han extraído de la base de datos de materiales y productos proporcionada por el Código Técnico de la Edificación.

- Fachada

Como se dice en la introducción de este capítulo, la fachada oeste se reformó en los años 60, por lo que el sistema constructivo se modificó, utilizándose fábrica de ladrillo cerámico.

Material	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m ³)	U (W/m ² K)
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200	0,020	0,550	1.125	
1 pie ladrillo perforado	0,240	0,567	1.150	
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200	0,020	0,550	1.125	
Tabicón de ladrillo hueco doble	0,070	0,432	930	
Enlucido de yeso d<1000	0,015	0,400	900	
	0,365	-	-	1,16

Tabla 20. Definición de envolvente térmica. Fachada oeste. Original.

Tanto la solera como la cubierta de la zona oeste es idéntica a las de la zona este, por tanto se asumirán los mismos coeficientes y tablas.

5.3.2.2. UBICACIÓN DE LOS PUENTES TÉRMICOS



Figura 59. Esquema de puentes térmicos. Estado original. Fachada Oeste.



O6) Encuentro Fachada-Solera



O7) Encuentro Fachada-Forjado (balcón)



Figura 60. Esquema de puentes térmicos. Estado original. Fachada Oeste.



O10) Encuentro Fachada-Cubierta



O8) y O9) Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta y por revoltón)

5.3.2.3 ANÁLISIS DE LOS PUENTES TÉRMICOS.

Por otro lado y continuando con el estudio de la envolvente del estado original del edificio, se procede a analizar los puentes térmicos de la zona oeste. Como en el apartado anterior, se actúa de abajo a arriba, empezando por la cimentación y terminando por la cubierta.

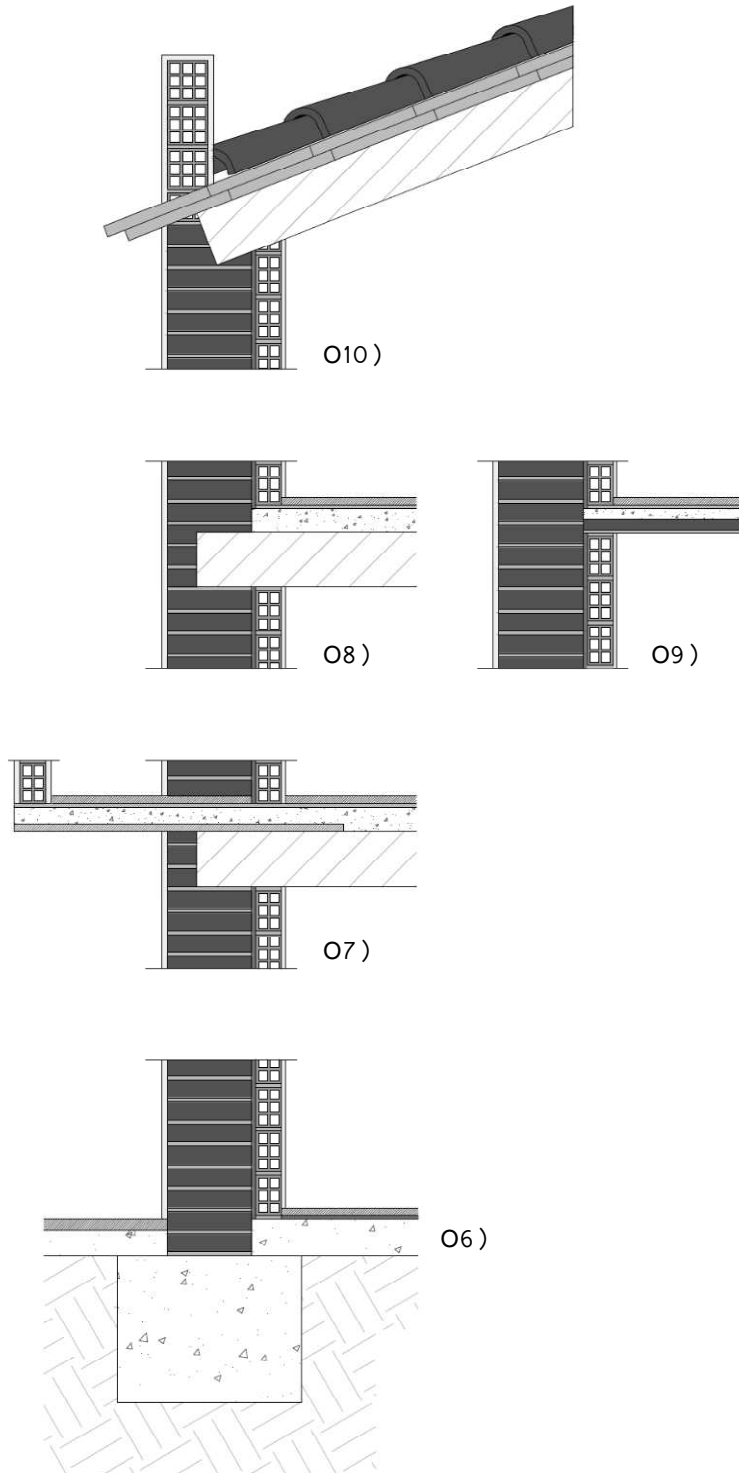


Figura 61. Sección constructiva. Zona oeste. Estado original.

06A) ENCUENTRO FACHADA-SOLERA. INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

El muro de la fachada oeste (fachada principal) está compuesto por una fábrica de un pie de ladrillo macizo, trasdosado por un tabique de ladrillo cerámico hueco doble de 7 cm de espesor. Todo ello enlucido con mortero de cemento en el exterior y de yeso en el interior, con acabado de pintura, en ambos casos colores claros.

El muro se encuentra con la cimentación de hormigón, tanto ésta como el solado interior y la acera exterior (calle doctor Nácher) se considera idéntica a los de la zona este.

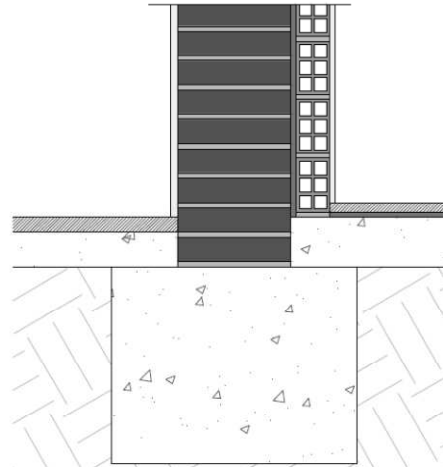


Figura 62. Fachada-Solera. Zona oeste. Estado original.

Líneas isotermas.

En este caso nos encontramos una fachada que trabaja mejor a efectos térmicos que la anterior, aunque la fachada se corta cuando se encuentra la cimentación, siendo ésta de las mismas características, por lo tanto actuando de manera negativa en el interior de la vivienda.

El punto crítico se encuentra en la esquina interior de encuentro entre la fachada y la cimentación, dando un punto a 16,0 °C.

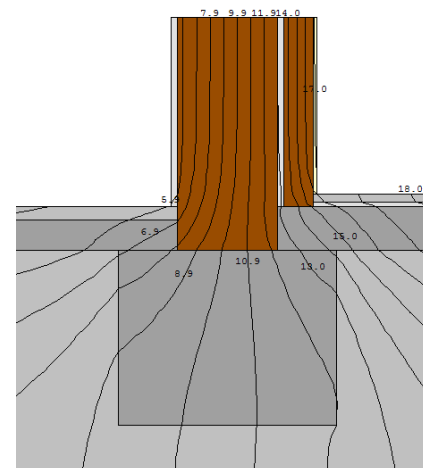


Figura 63. Fachada-Solera. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo de energía muestran de forma clara que la energía se transfiere mayoritariamente por la cimentación, ya que fluyen bordeando la fachada por su parte inferior.

La esquina interior (punto crítico) tiene una gran acumulación de vectores de flujo de energía, lo que significa que la energía transferida pasará, en gran medida, por éste, ya que la longitud de paso es menor que en el resto de la sección.

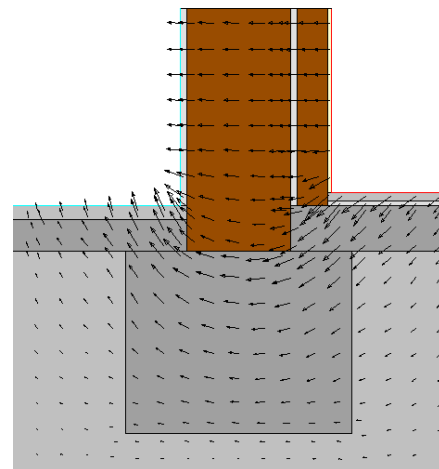


Figura 64. Fachada-Solera. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

Se observa la evolución de la temperatura en interior del cerramiento a lo largo de toda la sección constructiva.

La temperatura superficial en la pared vertical interior de la vivienda ronda los 17 °C, mientras que la superficie del suelo está a una temperatura aproximada de 19 °C.

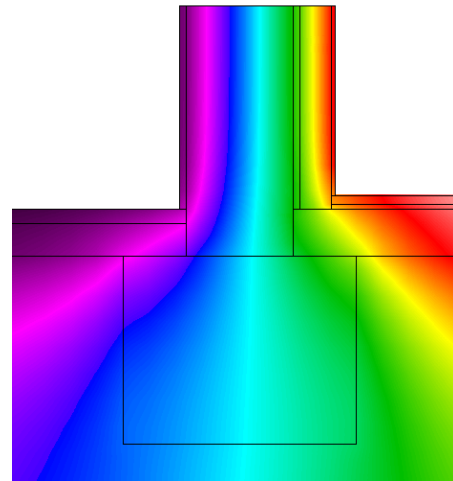
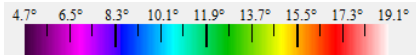


Figura 65. Fachada-Solera. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Como se ha dicho anteriormente, el flujo de energía se centra en la parte inferior de la fachada, en el encuentro con la cimentación, dando como resultado un punto crítico en la esquina interior de la vivienda, por donde fluye gran parte de la energía, en este caso el calor del interior se escapa por esta zona.

En la imagen se observa claramente que por el punto crítico se transfiere gran parte de la energía.

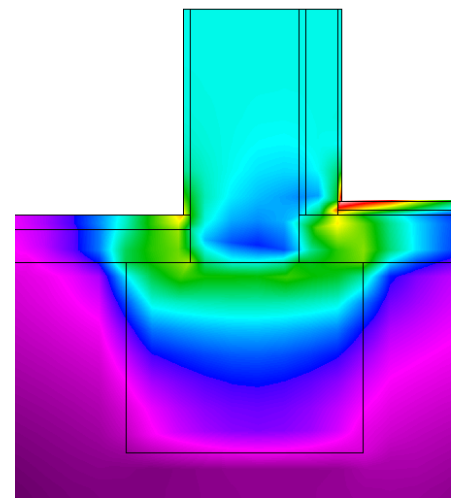
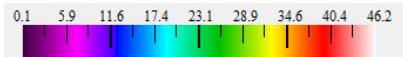


Figura 66. Fachada-Solera. Flujo de energía.

O6B) ENCUENTRO FACHADA-SOLERA. VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

Se observa, en este caso también, que las líneas isotermas del muro tienden a la uniformidad y a ser paralelas, con un mejor comportamiento térmico que el muro de piedra de la fachada opuesta.

El punto de máxima temperatura en el interior se da, también, en la esquina interna y está a 25,1 °C.

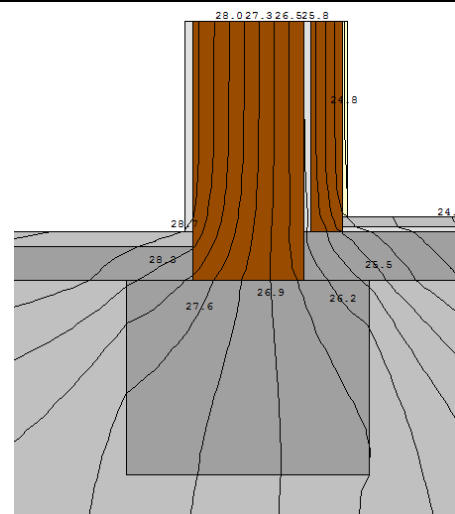


Figura 67. Fachada-Solera. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo confirman la situación del punto crítico ya que, de manera inversa a la situación de invierno, los vectores se distribuyen mayoritariamente en el encuentro de la fachada con la cimentación.

Los vectores en la parte superior del muro transcurren paralelamente debido a la uniformidad de las capas que conforman el cerramiento, curvándose en la parte inferior debido a la disparidad de transmitancias térmicas de los distintos elementos constructivos.

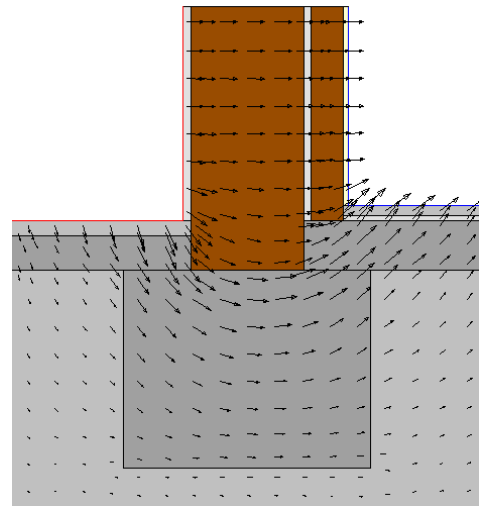


Figura 68. Fachada-Solera. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La situación es inversa respecto a invierno, modificándose las condiciones climáticas.

Al ser el verano más suave que el invierno, en la zona donde se encuentra el edificio, se sitúa la temperatura superficial en el interior sobre los 25 °C.

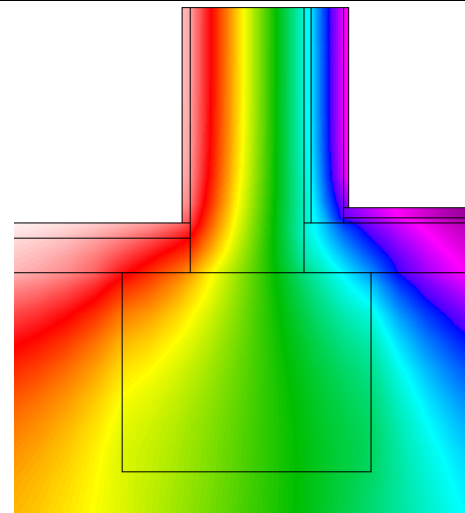
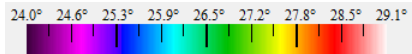


Figura 69. Fachada-Solera. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

Se mantiene aproximadamente el detalle del flujo de energía con respecto a la situación de invierno, debido a que los materiales y sus características se mantienen.

La magnitud de flujo sí cambia, ya que se modifican las condiciones climáticas, tanto en el exterior como en el interior.

De forma que la energía que fluye por la sección es mucho menor en la situación de verano que de invierno, ya que el gradiente térmico es menor.

Se observa el punto crítico del puente térmico, por donde circula mayor flujo de energía.

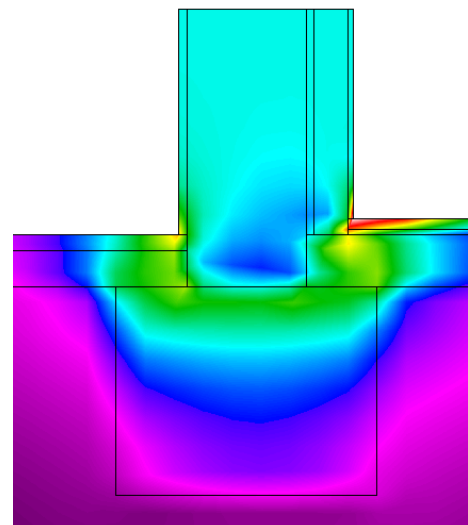
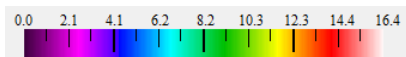


Figura 70. Fachada-Solera. Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Solera. Estado original. Invierno.

FACHADA-SOLERA. ORIGINAL. OESTE. INVIERNO. T^a ext = 4,5°C; T^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,5616	1,16	-	0,4027	-	1,0315	0,5644	16,0	0,7188

Tabla 21. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera original. Zona Oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Solera. Estado original. Verano.

FACHADA-SOLERA. ORIGINAL. OESTE. VERANO. T^a ext = 29,2°C; T^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,5616	1,16	-	0,4027	-	1,0315	0,5644	25,1	0,7193

Tabla 22. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera original. Zona Oeste. Verano.

07A) ENCuentRO FACHADA-FORJADO (BALCÓN). INVIERNO

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

Se forma balcón con una chapa de hierro para cargar con el voladizo, al igual que en la fachada este, pero esta vez menos acertado, ya que el elemento metálico se introduce más en el interior de la vivienda, con su consecuente efecto negativo. La vigueta de madera amortiguará ese efecto en la parte inferior del forjado, pero no en la superior.

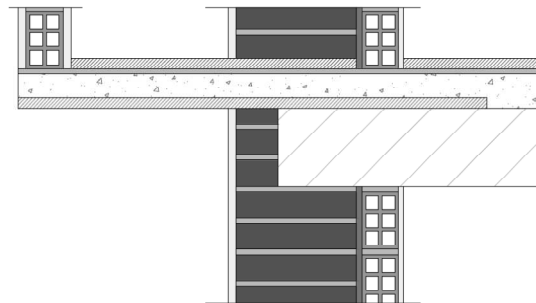


Figura 71. Fachada-Forjado (balcón). Zona oeste. Estado original.

Líneas isotermas.

En la figura se ve cómo la energía penetra por la chapa metálica, introduciendo la temperatura fría del exterior.

El punto crítico es, obviamente, la esquina superior que forma el encuentro entre el forjado y la fachada, en su parte interior, dando una temperatura superficial de 13,3 °C, la más baja de todos los puentes térmicos estudiados y, por tanto, el punto más desfavorable de todo el edificio.

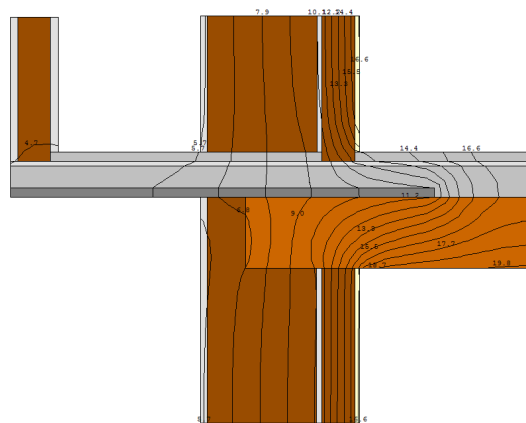


Figura 72. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Como se ve en la figura, la mayor parte del flujo de energía discurre por el elemento metálico, dando como resultado una evacuación de la energía interior en invierno.

En el resto de puntos de la sección el flujo de energía, la lectura es difusa, ya que la alta magnitud de flujo producida por el hierro hace que el resto de flujo no exista, cuando no es así, como se verá en la imagen de flujo de energía siguiente..

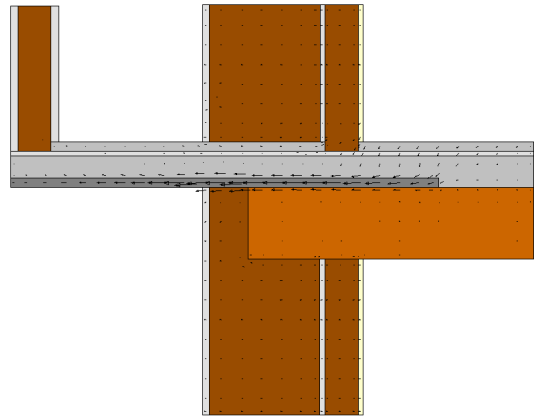


Figura 73. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

Se ve más claramente en la imagen de infrarrojos cómo penetra el frío del exterior, enfriando el solado, y éste, por radiación, enfría el interior de la vivienda.

La superficie interior del cerramiento vertical está a una temperatura de aproximadamente 16 °C, la temperatura más fría en el interior del edificio, por tanto es un puente térmico que hay que tratar en la rehabilitación de forma cuidadosa.

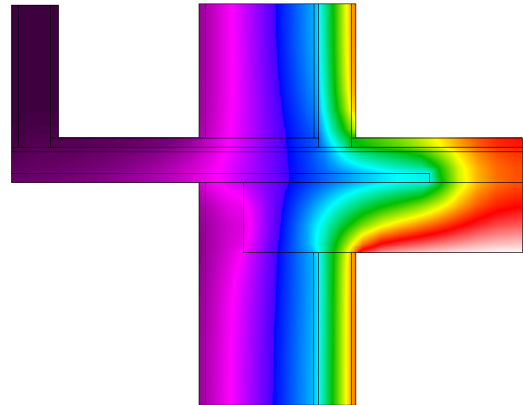
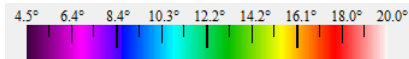


Figura 74. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

La chapa de hierro absorbe el flujo de energía casi por completo, transmitiendo el calor del interior de la vivienda al exterior por conducción.

Dando resultados muy elevados de flujo de energía en la zona metálica.

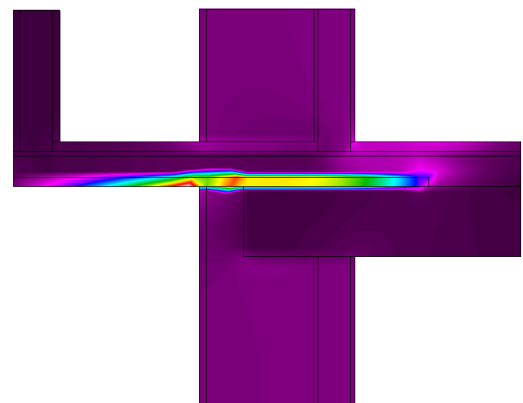
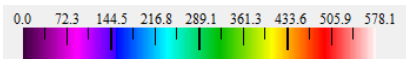


Figura 75. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

O7B) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (BALCÓN). VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

En verano la situación es la misma pero inversa, ya que el punto crítico se encuentra a un temperatura superficial de 26,1 °C, siendo la temperatura superficial interior más elevada de todo el edificio.

La temperatura del exterior penetra por la chapa metálica, introduciendo el calor del exterior a la vivienda.

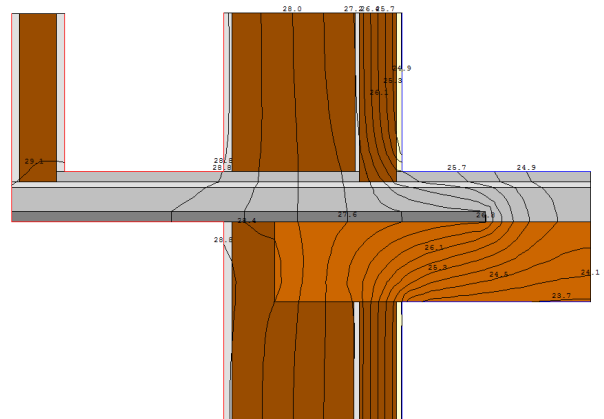


Figura 76. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

El flujo de energía se sitúa, sobre todo, por el elemento metálico, permitiendo transmitir la energía del exterior al interior, por el encuentro entre la fachada y el forjado.

La chapa permite a la energía transmitir hasta el interior por la zona superior del forjado.

La vigueta de madera tiene una menor conductividad térmica, que frena el flujo por la zona inferior del forjado, no siendo tan importante la entrada por la esta zona.

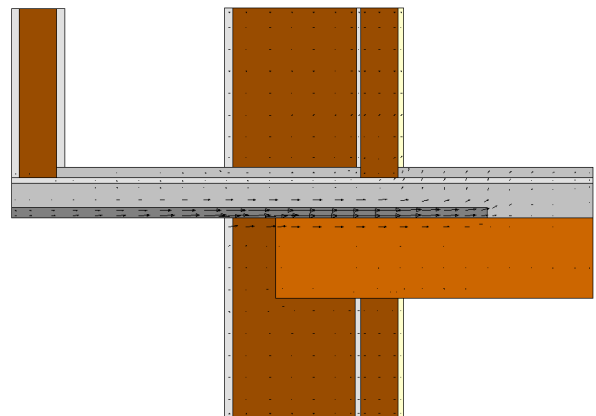


Figura 77. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La temperatura, en este caso elevada, del exterior penetra por el puente térmico, calentando por conducción las capas superficiales del interior de la vivienda, y por radiación el resto de la vivienda.

La temperatura en la capa superficial interior ronda los 25 °C, no siendo, en este caso, muy elevada, debido al clima suave de la localidad en verano.

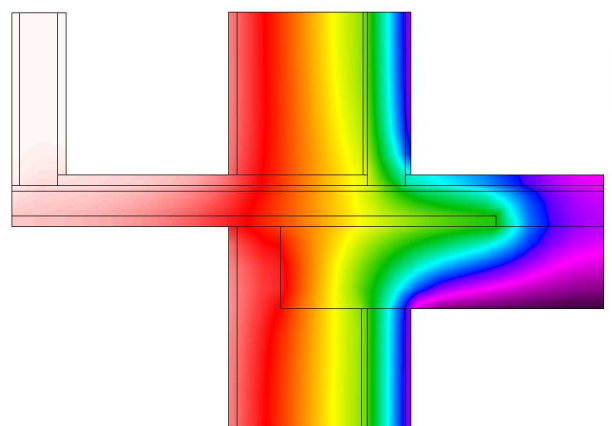
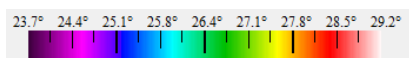


Figura 78. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Como en el caso de invierno, la chapa absorbe la mayor parte del flujo de energía pero, en este caso, en cantidades mucho menores debido, una vez más, al menor gradiente térmico en situación de verano.

Aún así, se observa que el flujo penetra principalmente por la parte superior del forjado al interior de la vivienda.

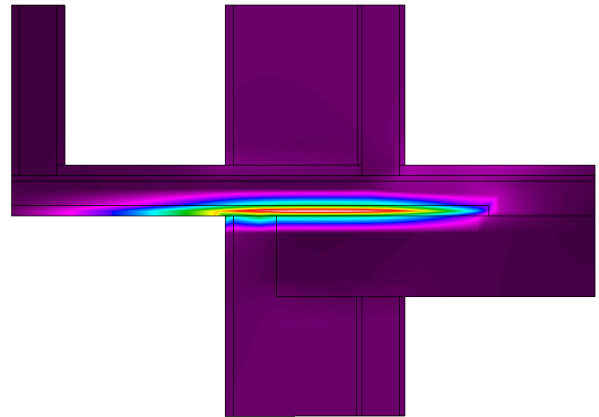
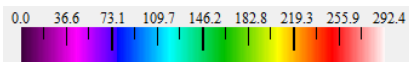


Figura 79. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Estado original. Invierno.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). ORIGINAL. OESTE. INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
3,6263	1,16	-	0,6088	-	2,2077	1,5015	13,3	0,5500

Tabla 23. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) original. Zona oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Estado original. Verano.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). ORIGINAL. OESTE. VERANO. T ^a ext = 29,2°C; T ^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
3,6263	1,16	-	0,6088	-	2,2077	1,5015	26,1	0,5439

Tabla 24. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) original. Zona oeste. Verano.

O8A) ENCuentRO FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA).

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

Las viguetas de madera se empotran en el muro de ladrillo para un adecuado apoyo, formando el puente térmico.

La sección de fachada en la zona de encuentro se reduce a menos de la mitad.

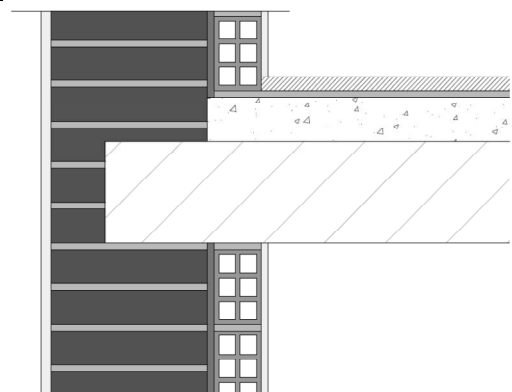


Figura 80. Fachada-Forjado (por vigüeta). Zona oeste. Estado original.

Líneas isotermas.

La temperatura superficial interior más baja y, por lo tanto, más desfavorable, se encuentra en la esquina superior del forjado, en el encuentro del forjado y la fachada, y esta a una temperatura de 16,8 °C.

El puente térmico ejerce una influencia negativa en la sección, teniendo una conductividad mayor el forjado que la fachada.

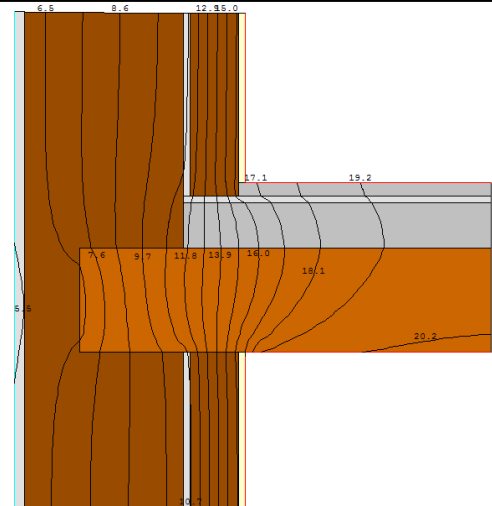


Figura 81. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo de energía muestran que la energía se escapa por la capa de compresión del forjado, el elemento de relleno.

El calor almacenado en el interior de la vivienda saldría principalmente por esta zona, en este caso.

La vigueta de madera tiene una baja conductividad térmica y, por tanto, el flujo de energía es reducido en ella.

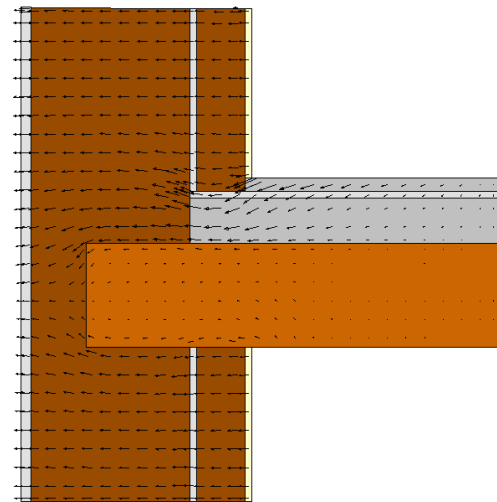


Figura 82. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La distribución del calor a lo largo del puente térmico es uniforme en la sección de muro, por lo tanto la temperatura disminuye conforme va a acercándose al exterior de forma continua y homogénea.

En el encuentro con el forjado, éste ejerce una influencia negativa, permitiendo que el calor interior sea extraído.

La temperatura superficial interior es aproximadamente de 17 °C.

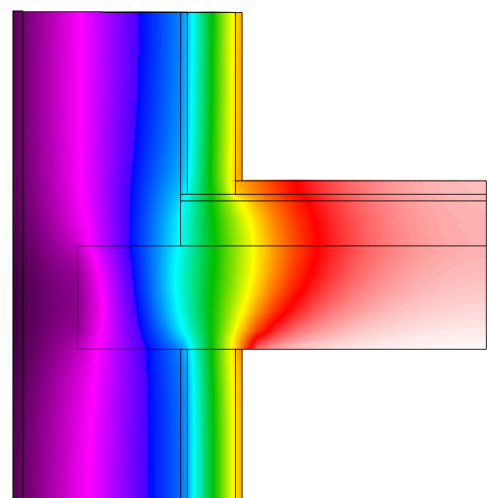
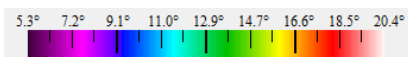


Figura 83. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Queda claro que la energía busca el camino más sencillo para transmitirse, por lo tanto, los materiales con mayor conductividad térmica. En este caso pasa principalmente a través del solado, y del material de relleno del forjado, para después por el muro de ladrillo salir al exterior. Creando un punto crítico en la zona de la esquina de encuentro entre el muro y el solado.

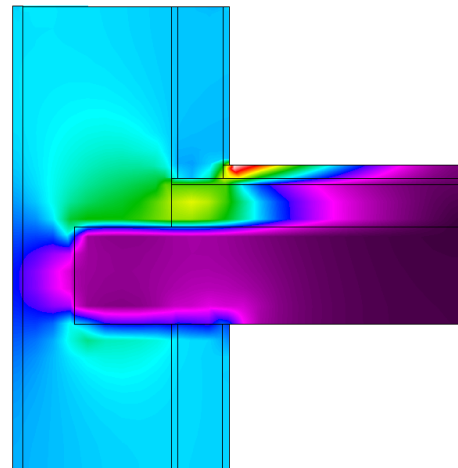
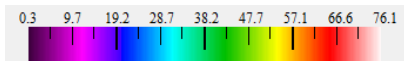


Figura 84. Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía.

O8B) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA). VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

El muro de ladrillo macizo no trabaja bien a efectos térmicos, ya que las isotermas están muy separadas, no es el caso del tabicón de ladrillo hueco doble, que trabaja mejor.

La temperatura superficial en el punto crítico se sitúa en los 24,8 °C que, al ser verano y existir una menor diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, no es negativa para el confort térmico interior de la vivienda.

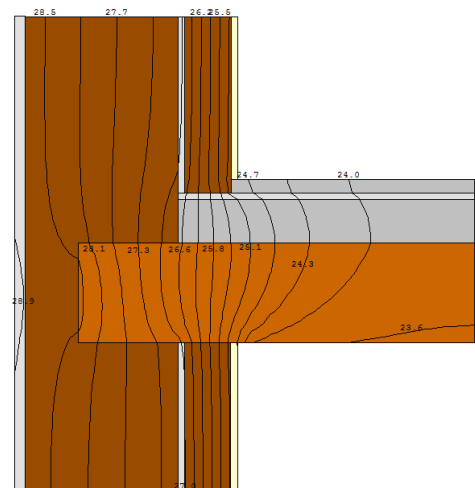


Figura 85. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo de energía cambian de sentido, introduciendo el calor del exterior al interior de la vivienda.

En este caso también penetra por la misma zona que en invierno, por la capa de compresión de material de relleno y, posteriormente, por el solado. Aproximándose a las zonas adiabáticas el flujo se vuelve paralelo y uniforme debido a que el comportamiento del puente térmico se convierte en unidimensional.

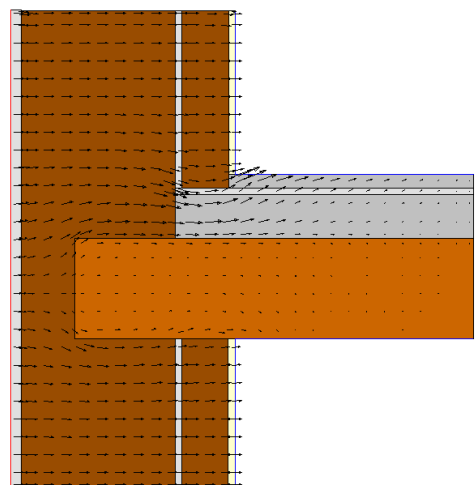


Figura 86. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La temperatura de la capa superficial en la pared vertical interior de la vivienda está sobre los 25 °C, mientras que, tanto el suelo como el techo, están a una temperatura aproximada de 23,5 °C.

Debido al reducido gradiente térmico existente en verano, la temperatura ambiental interior estará, siempre, muy cerca de la situación de confort interior de la vivienda.

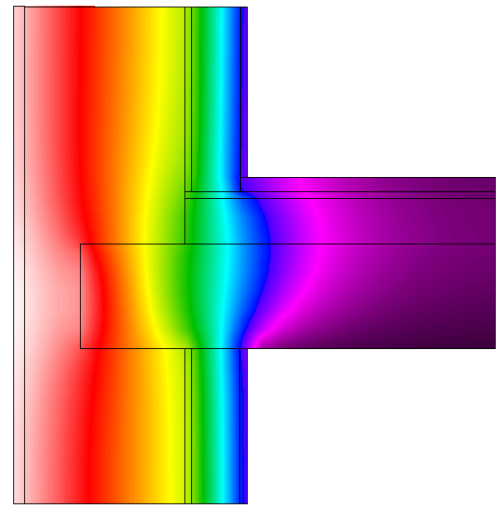
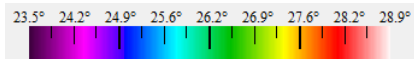


Figura 87. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

Como en invierno, el flujo de energía es mayor en la zona de la capa de compresión, pasando por el punto crítico, esta vez a la inversa, introduciendo la energía al interior, ya que la temperatura en el exterior es mayor.

La vigueta de madera posee una buena conductividad térmica, no permitiendo que la energía fluya a través de ella.

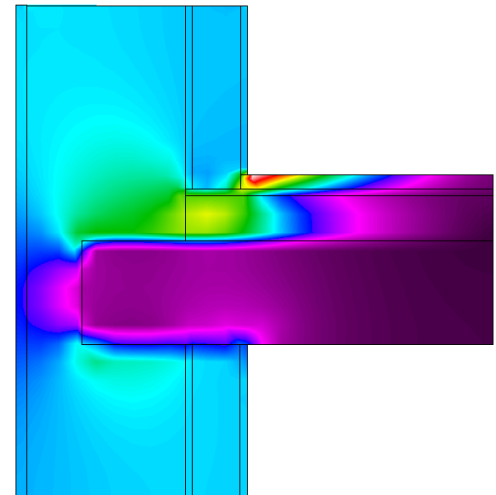
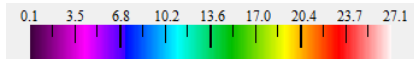


Figura 88. Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta). Estado original. Invierno.

FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA). ORIGINAL. OESTE.								
INVIERNO. Tª ext = 4,5°C; Tª int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,5316	1,16	-	0,4668	-	1,1817	0,6402	16,8	0,7688

Tabla 25. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) original. Zona oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta). Estado original. Verano.

FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA). ORIGINAL. OESTE. VERANO. Tª ext = 29,2°C; Tª int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,5316	1,16	-	0,4668	-	1,1817	0,6402	24,8	0,7719

Tabla 26. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) original. Zona oeste. Verano.

09A) ENCUESTRO FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN).

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

En la fachada oeste, el revoltón del forjado sí que forma puente térmico, ya que reduce la sección de fachada en esta zona, eliminando la capa de ladrillo hueco doble.

Dicho revoltón mantiene las mismas características que la fachada este, encontrándose con la fachada oeste de ladrillo macizo.

Como solado se ha elegido el embaldosado de mármol por ser el elemento más desfavorable a efectos térmicos.

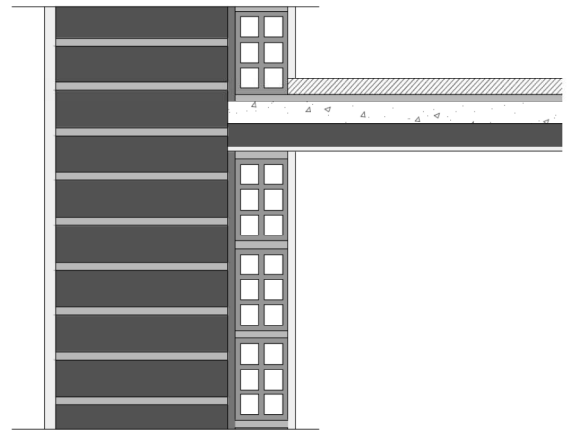


Figura 89. Fachada-Forjado (por revoltón). Zona Oeste. Estado original.

Líneas isotermas.

Las isotermas muestran el comportamiento térmico de las diversas capas del cerramiento y la evolución de la temperatura a lo largo de la sección. En este caso, muestran que el muro de ladrillo macizo, capa exterior del cerramiento, no trabaja bien térmicamente, ya que las isotermas están separadas. por otro lado, el ladrillo hueco doble tiene un comportamiento térmico más favorable.

En este caso el punto con menor temperatura superficial interior se encuentra en la parte inferior del forjado, encuentro entre la fachada y el revoltón, y se sitúa en 16,7 °C.

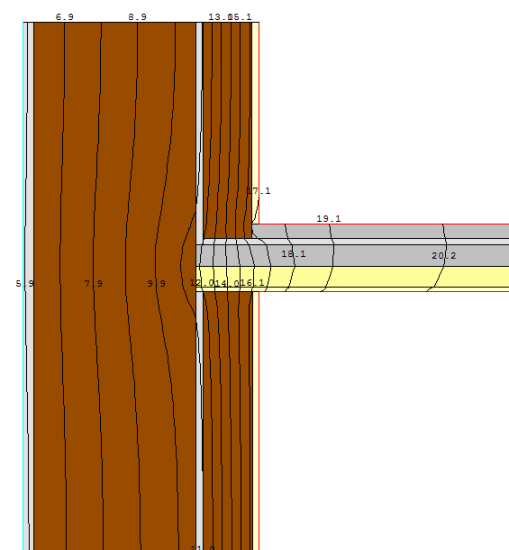


Figura 90. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

A lo largo de la fachada el flujo es unidimensional, convirtiéndose en bidimensional cuando encuentra la discontinuidad en su sección y en materiales (encuentro con el forjado).

Los vectores de flujo de energía indican que ésta se transmite por el revoltón, ya que existe mayor densidad de vectores de flujo.

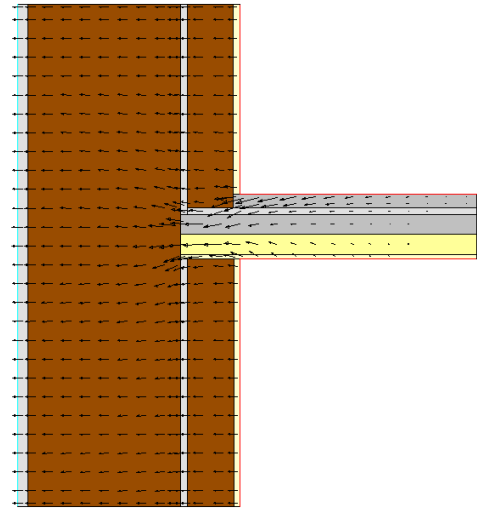


Figura 91. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La temperatura se calienta de forma continua y uniforme a lo largo del muro, pero encuentra una discontinuidad cuando se encuentra con el forjado, ya que se reduce la sección de fachada.

La temperatura superficial en el interior está alrededor de los 17 °C, pudiendo enfriar la temperatura ambiente interior.

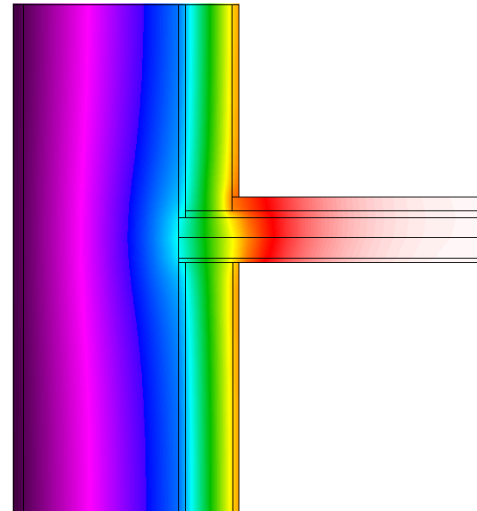
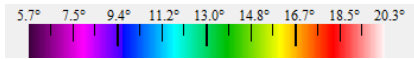


Figura 92. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

El calor se disipa de interior a exterior de forma continua por la fachada, y de forma discontinua por el encuentro con el forjado.

El flujo de energía se centra en el forjado, especialmente en la zona de solado, aun sin ser el punto crítico del puente térmico (esquina inferior del forjado).

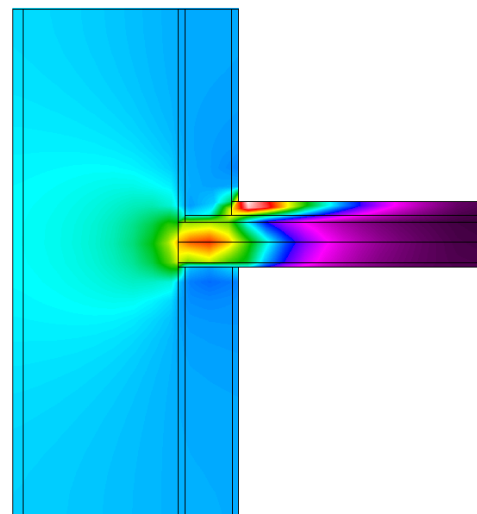
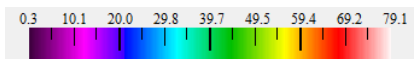


Figura 93. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía.

09B) ENCuentRO FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN). VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

En verano la situación es inversa, de exterior a interior el calor va disminuyendo hasta llegar a la superficie interior de la vivienda.

El punto más desfavorable de la pared interior del puente térmico se encuentra, también, en la esquina inferior de encuentro entre la fachada y el forjado, y está a 24,9 °C que, como sucede en los puentes térmicos en la situación de verano, no se encuentra tan alejado del confort, a pesar de que es el día más desfavorable del año.

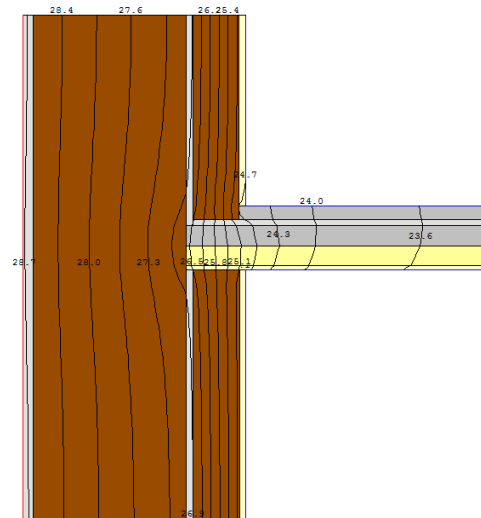


Figura 94. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo de energía invierten su dirección, ya que el calor en este caso entra al interior de la vivienda, transmitiéndose por conducción por el interior del cerramiento, hasta llegar a la capa superficial interior.

EL flujo de energía más es uniforme y continuo (unidimensional) cuanto más se aleja del puente térmico.

El flujo de disipa cuanto más avanza por el forjado.

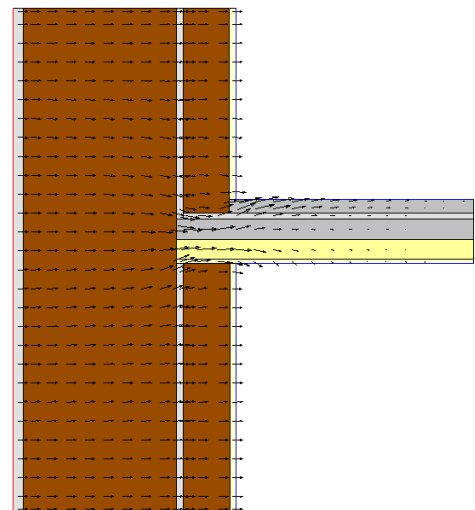


Figura 95. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La temperatura en la superficie interior del cerramiento está aproximadamente a 25 °C que, a pesar de no ser temperatura ambiente, sino temperatura radiante, cumpliría las condiciones que establece Givoni en su ábaco de confort.

Esta situación se da debido a las condiciones climáticas del entorno, ya que tiene un verano con temperaturas no muy altas.

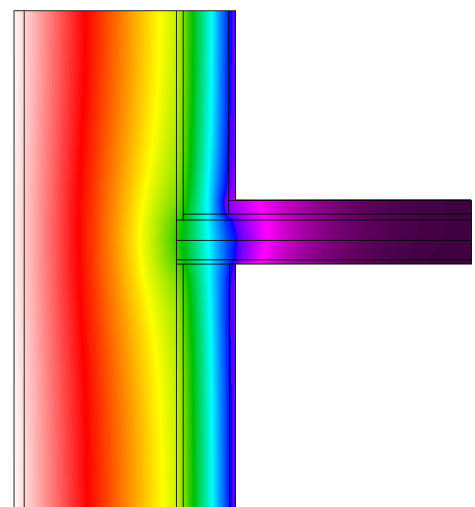
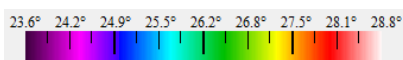


Figura 96. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Se repite la gráfica de flujo de energía que en la situación de invierno, únicamente que en verano la magnitud de energía transmitida es más reducida, ya que el gradiente térmico entre el exterior y el interior es muy bajo.

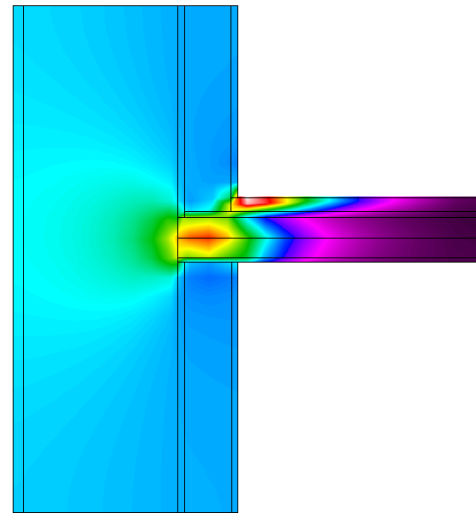
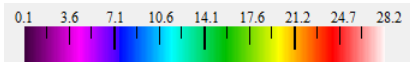


Figura 97. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (por revoltón). Estado original. Invierno.

FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN). ORIGINAL. OESTE.								
INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,2487	1,16	-	0,6571	-	1,4776	0,7154	16,7	0,7625

Tabla 27. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) original. Zona oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (por revoltón). Estado original. Verano.

FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN). ORIGINAL. OESTE.								
VERANO. T ^a ext = 29,2°C; T ^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,2487	1,16	-	0,6571	-	1,4776	0,7154	24,9	0,7544

Tabla 28. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) original. Zona oeste. Verano.

O10A) ENCUENTRO FACHADA-CUBIERTA. INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

La fachada de ladrillo macizo se encuentra con la cubierta, con el mismo sistema constructivo que la zona este, pero con un antepecho de cubierta que tiene efectos únicamente estéticos.

El puente térmico se produce por la reducción de sección en la fachada debido al empotramiento de la vigueta de madera y al encuentro de los dos cerramientos.

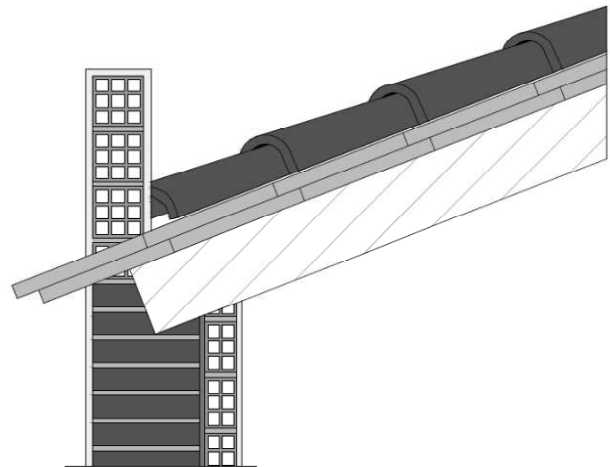


Figura 98. Fachada-Cubierta. Zona oeste. Estado original.

Líneas isotermas.

Como en el caso de la cubierta este, la vigueta de madera, al tener una conductividad térmica menor que el cerramiento de fachada, reduce las filtraciones de temperatura, y por lo tanto la energía se disipará principalmente por la fachada.

El punto de menor temperatura superficial en el interior de la vivienda se dará en la parte media de la fachada, entre la cubierta y el forjado anterior. Pero en este caso se estudia el punto de encuentro interior, esquina superior, a una temperatura de 17,1 °C.

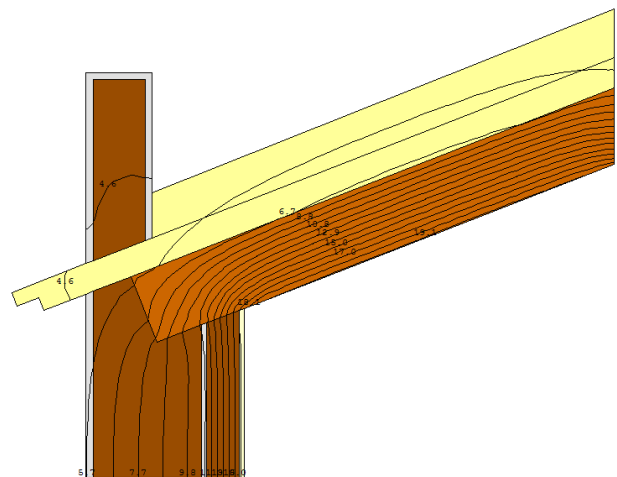


Figura 99. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

La figura demuestra lo comentado anteriormente, ya que el flujo de energía se transmite en mayor medida por el cerramiento de fachada, bordeando incluso la vigueta de madera.

Se ve también que el antepecho no posee apenas comportamiento térmico.

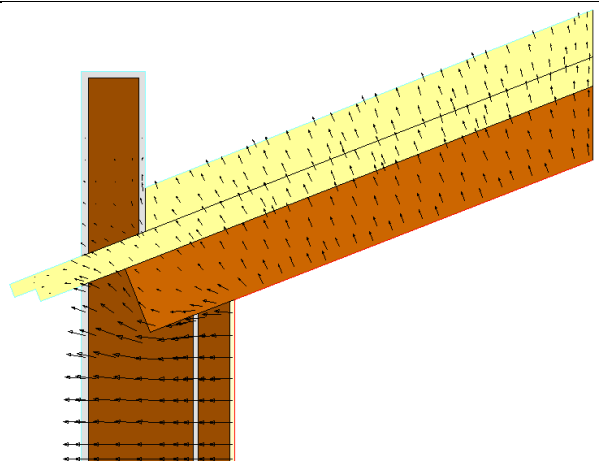


Figura 100. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La diferencia de transmitancias térmicas de ambos cerramientos es evidente, ya que la temperatura superficial interior en la fachada es de aproximadamente 17 °C, mientras que la temperatura superficial interior en la vigueta de madera es de unos 19 °C, comprobándose las condiciones térmicas de ambos cerramientos.

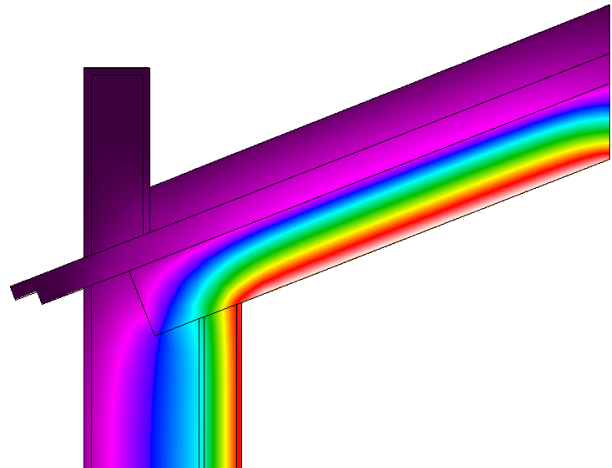
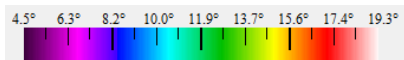


Figura 101. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

El flujo de energía rodea inferiormente la vigueta, pasando por el muro, con mayor conductividad térmica, acumulando el flujo en la esquina inferior de la vigueta. por lo tanto el flujo se transmite principalmente por el muro de ladrillo.

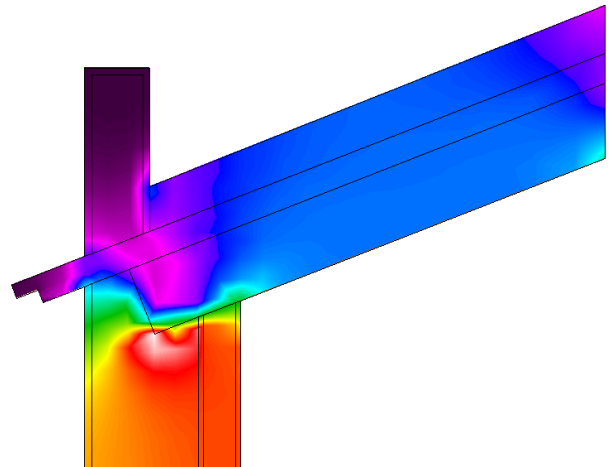
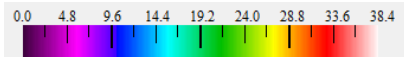


Figura 102. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.

O10B) ENCUENTRO FACHADA-CUBIERTA. VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

En verano se repite la misma situación pero a la inversa. Al tener una menor transmitancia térmica, las isotermas de cubierta están mucho más concentradas, mientras que las del muro tienen más holgura, esto significa que el muro deja pasar más calor del exterior al interior, como veremos en el estudio del flujo de energía. Con el punto crítico sucede lo mismo que en invierno, el punto a estudiar es la esquina, situándose en 24,7 °C.

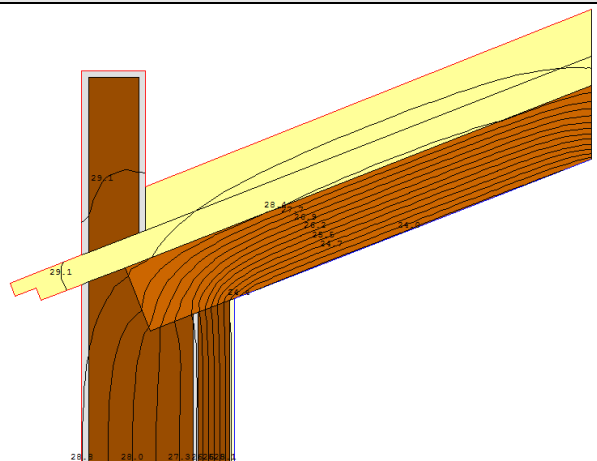


Figura 103. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Se observa que el flujo de energía se transmite principalmente por el muro, al igual que en invierno, en este caso con la dirección hacia el interior, ya que el calor del exterior penetra en el interior.

El flujo es unidimensional en el muro y en la cubierta, pero se convierte en bidimensional cuando se acerca al encuentro.

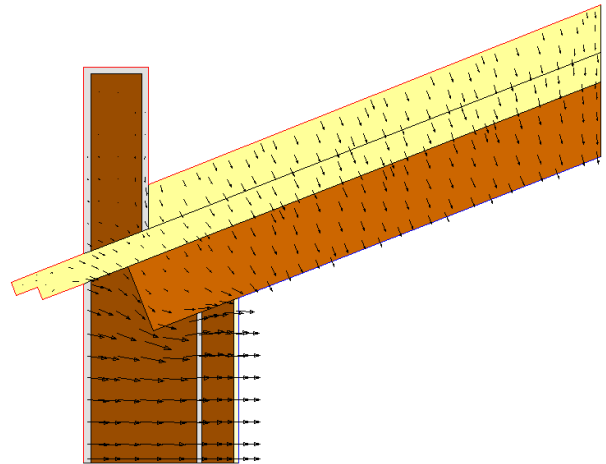


Figura 104. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

En verano la situación es más leve que en invierno, debido a las condiciones climáticas exteriores.

La temperatura superficial interior en la cubierta ronda los 24 °C, mientras que en la fachada está en torno a 25 °C.

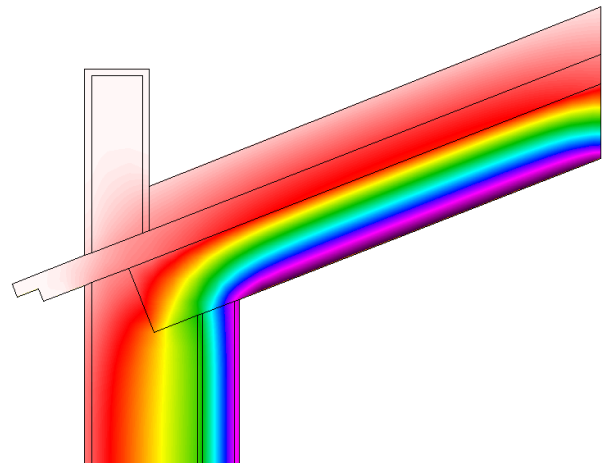
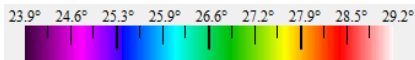


Figura 105. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

El flujo de energía repite el diagrama de color independientemente de la temperatura, pero la magnitud del flujo transmitido varía dependiendo de ésta. En este caso, como el gradiente térmico es bajo, la magnitud de energía transmitida es menor.

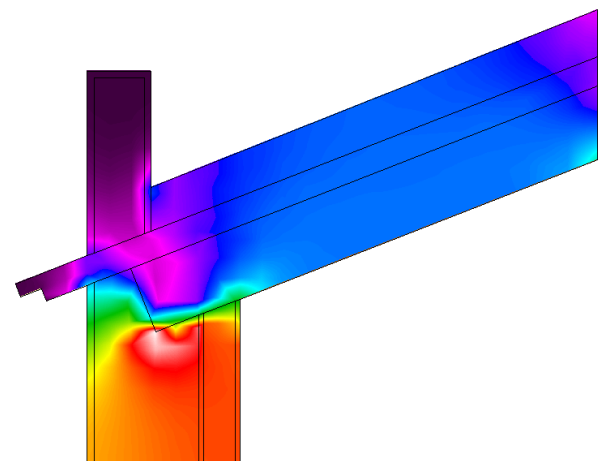
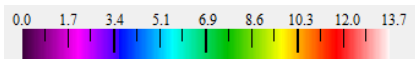


Figura 106. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Estado original. Invierno.

FACHADA-CUBIERTA. ORIGINAL. OESTE. INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,0976	1,16	0,75	0,3565	0,8398	2,5095	1,4660	17,1	0,7875

Tabla 29. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta original. Zona oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Estado original. Verano.

FACHADA-CUBIERTA. ORIGINAL. OESTE. VERANO. T ^a ext = 29,2°C; T ^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,0976	1,16	0,75	0,3565	0,8398	2,5095	1,4660	24,7	0,7895

Tabla 30. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta original. Zona oeste. Verano.

5.3.3. RESUMEN ESTADO ORIGINAL

La Normativa relacionada con los puentes térmicos es, todavía, poco exigente con los valores límite establecidos, de forma que no es difícil cumplir con los requisitos normativos.

De los diez puentes térmicos estudiados del estado original, únicamente cuatro no cumplen con las exigencias de hoy en día. Esto, tratándose de un edificio con cerramientos de más de cien años, es, como mínimo, curioso.

Únicamente las cubiertas y los balcones incumplen la normativa en cuestión de transmitancia térmica; y sólo el balcón de la fachada oeste incumple a nivel de condensaciones.

	Cód.	Puente térmico	E. original	Normativa	E. original	Normativa
			Ψ	Ψ _{máx}	FRsi	FRsi, mín
Zona este	E1)	Solera-Fachada	0,5130	0,75	0,6589	0,56
	E2)	Fachada-Forjado (por vigueta)	0,3698	0,75	0,7703	0,56
	E3)	Fachada-Forjado (por revoltón)	0,2936	0,75	0,7916	0,56
	E4)	Fachada-Forjado (balcón)	0,9034	0,75	0,5713	0,56
	E5)	Fachada-Cubierta	1,0570	0,50	0,7916	0,56
Zona oeste	O6)	Solera-Fachada	0,5644	0,75	0,7190	0,56
	O7)	Fachada-Forjado (balcón)	1,5015	0,75	0,5469	0,56
	O8)	Fachada-Forjado (por vigueta)	0,6402	0,75	0,7703	0,56
	O9)	Fachada-Forjado (por revoltón)	0,7154	0,75	0,7584	0,56
	O10)	Fachada-Cubierta	1,4660	0,50	0,7885	0,56

Tabla 31. Resumen Estado original. Cumplimiento Normativa.

Los límites de la Tabla 31, se han extraído del CTE DB HE-1 para las transmitancias térmicas de los puentes térmicos en su Tabla 2.3. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica; y para las condensaciones de la Tabla 3.2. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo de CTE DB HE. En ambas aplicando la zona climática C correspondiente.

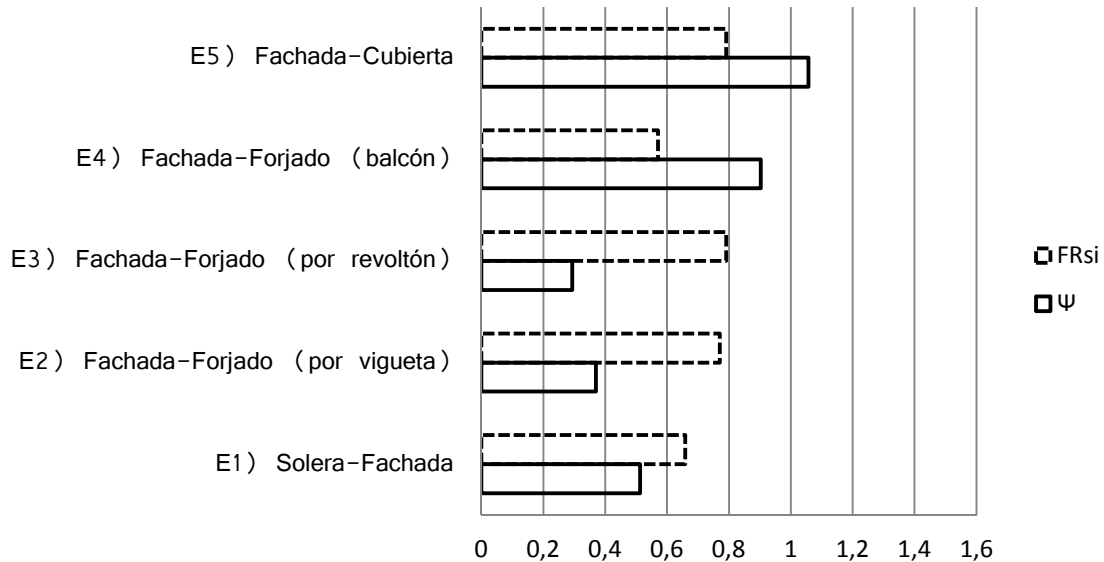


Figura 107. Gráfica Resumen de valores de transmitancia térmica lineal y factor de resistencia superficial interior de los puentes térmicos. Zona Este. Estado original.

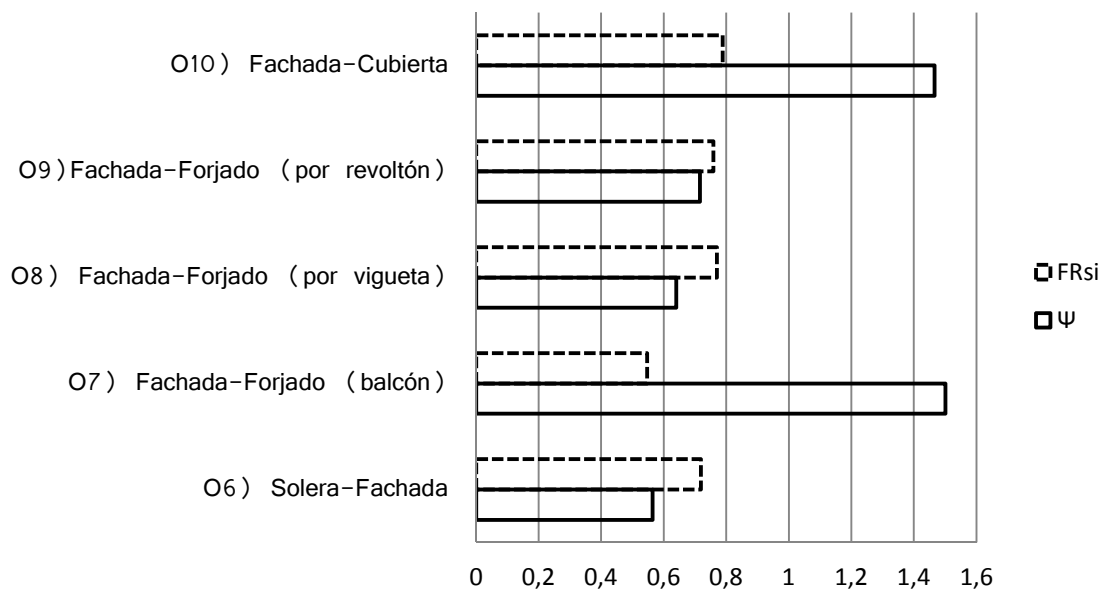


Figura 108. Gráfica Resumen de valores de transmitancia térmica lineal y factor de resistencia superficial interior de los puentes térmicos. Zona Oeste. Estado original.

En cuanto a las temperaturas superficiales interiores, los límites se han establecido para este análisis, basándose en el diagrama de confort de Givoni. Estas dos temperaturas no son comparables, ya que una es temperatura radiante, mientras que la otra es temperatura ambiente. Se establece que la diferencia entre ambas temperaturas es de 2-3 °C, estudiando la situación más desfavorable que, en este caso, será de 2 °C.

- Invierno: $T^{\text{a}} \text{ radiante} + 2^{\circ}\text{C} = T^{\text{a}} \text{ ambiente}$.

- Verano: $T^{\text{a}} \text{ radiante} - 2^{\circ}\text{C} = T^{\text{a}} \text{ ambiente}$.

	Cód.	Puente térmico	T ^a punto crítico		Intervalo T ^a límites	
			Tsi verano	Tsi invierno	Tsi verano máx.	Tsi invierno mín.
Zona este	E1)	Solera-Fachada	25,5	15,2	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	E2)	Fachada-Forjado (por vigueta)	24,8	16,8	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	E3)	Fachada-Forjado (por revoltón)	24,7	17,2	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	E4)	Fachada-Forjado (balcón)	26,0	13,8	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	E5)	Fachada-Cubierta	24,7	17,2	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
Zona oeste	O6)	Solera-Fachada	25,1	16,0	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	O7)	Fachada-Forjado (balcón)	26,1	13,3	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	O8)	Fachada-Forjado (por vigueta)	24,8	16,8	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	O9)	Fachada-Forjado (por revoltón)	24,9	16,7	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	O10)	Fachada-Cubierta	24,7	17,1	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)

Tabla 32. Resumen Estado original. Cumplimiento temperaturas superficiales interiores.

Por lo tanto, a efectos de temperaturas superficiales interiores, los resultados son favorables en verano, pero no aceptables, en algunos encuentros, en invierno, dado que la temperatura superficial en el punto crítico puede, por radiación, enfriar el ambiente interior y sacarlo de la situación de confort.

5.4. ESTADO REHABILITADO

En 2013 se comienza en proyecto de rehabilitación del edificio objeto de estudio, modificando íntegramente la envolvente térmica de éste, a excepción de la fachada principal, en primer lugar por poseer protección, y por otro lado por no estar en mal estado. De forma que la fachada este se modifica íntegra, ejecutando una fachada nueva, y la fachada oeste se trasdosa con aislante térmico y fábrica.

El autor de este estudio ha tenido acceso al proyecto de rehabilitación y a todo el proceso de ejecución de la obra, estando en desacuerdo con alguna de las medidas tomadas en cuanto a puentes térmicos. A pesar de esto, no ha tenido la oportunidad de tomar decisiones al respecto.

Los nuevos cerramientos son, lógicamente, más eficientes energéticamente, al tener una menor transmitancia térmica, ya que introducen por primera vez el aislante térmico. Pero éste sigue teniendo discontinuidades, formando los puentes térmicos.

Se procede del mismo modo que para el estado original, definiendo la envolvente y los materiales utilizados y sus características térmicas, ubicando en la fachada los encuentros constructivos a analizar y proporcionándoles un código alfanumérico para una mejor lectura de las comparaciones finales. Posteriormente se analizará cada encuentro constructivo pormenorizadamente, comentando los resultados y obteniendo conclusiones.

5.4.1. ZONA ESTE

5.4.1.1. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE

- Fachada

Se realiza un cerramiento íntegro de nueva construcción, ya que la fachada de piedra se derriba por completo. Se realiza con ladrillo cerámico, y se introduce aislante térmico a base de poliestireno expandido.

Material	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m ³)	U (W/m ² K)
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200	0,020	1,800	2.100	
Tabicón de ladrillo hueco triple	0,115	0,427	1.150	
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200	0,010	0,550	1.125	
EPS poliestireno expandido	0,040	0,029	30	
Tabicón de ladrillo hueco doble	0,070	0,432	930	
Enlucido de yeso 1000<d<1300	0,020	0,570	1.150	
	0,275	-	-	0,49

Tabla 33. Definición de envolvente térmica. Fachada este. Rehabilitación.

- Solera

La solera no se modifica en la rehabilitación, ya que en planta baja se encuentran los locales comerciales que se dejan en su estado original hasta su traspaso.

- Cubierta

Se modifica la cubierta, realizando la formación de pendientes mediante forjado inclinado de hormigón armado "in situ". Con aislante térmico sobre la formación de pendientes.

Material	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m³)	U (W/m²K)
Teja de arcilla cocida	0,030	1,000	2.000	
Plaqueta de baldosa cerámica	0,070	1,000	2.000	
EPS poliestireno expandido	0,040	0,029	30	
Forjado unidireccional, entrevigado de hormigón.	0,300	1,422	1.240	
	0,440	-	-	0,54

Tabla 34. Definición de envolvente térmica. Cubierta este. Rehabilitación.

5.4.1.2. UBICACIÓN DE LOS PUENTES TÉRMICOS

Zona Este	Zona Oeste
E11) Encuentro Fachada-Solera	O16) Encuentro Fachada-Solera
E12) Encuentro Fachada-Forjado	O17) Encuentro Fachada-Forjado (balcón)
E13) Encuentro Fachada-Forjado (balcón)	O18) Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta)
E14) Pilar en esquina	O19) Encuentro Fachada-Forjado (por revoltón)
E15) Encuentro Fachada-Cubierta	O20) Encuentro Fachada-Cubierta

Tabla 35. Puentes térmicos a analizar. Estado rehabilitado.

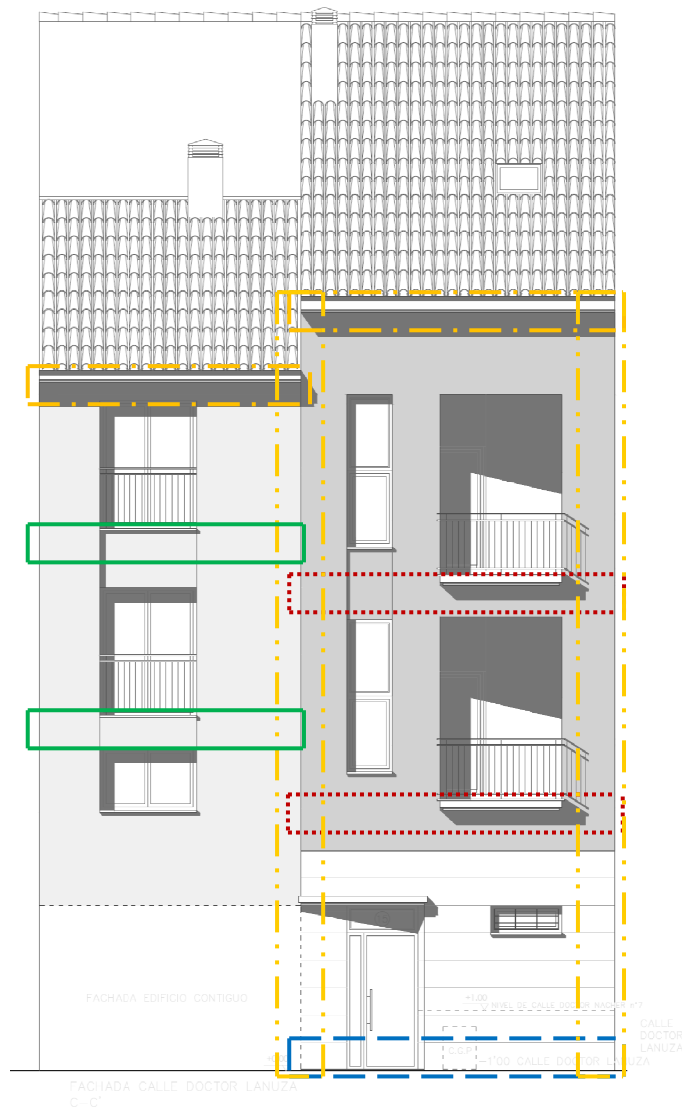


Figura 109. Esquema de puentes térmicos. Estado rehabilitado. Fachada Este.

- E15) Enc. Fachada-Cubierta
- E12) Encuentro Fachada-Forjado
- E13) Enc. Fachada-Forjado (balcón)
- E11) Encuentro Fachada-Solera
- E14) Pilar en esquina

5.4.1.3. ANÁLISIS DE LOS PUENTES TÉRMICOS

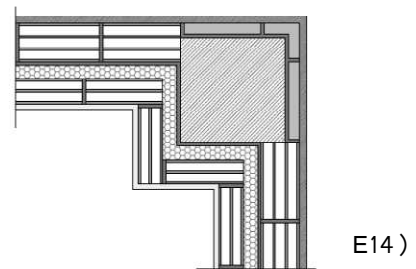
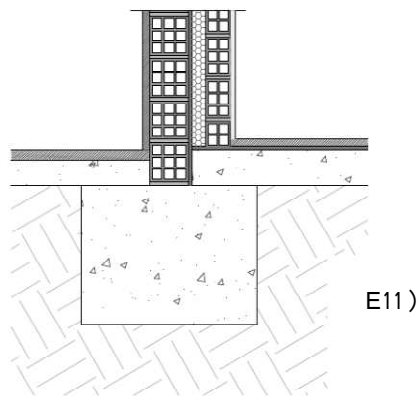
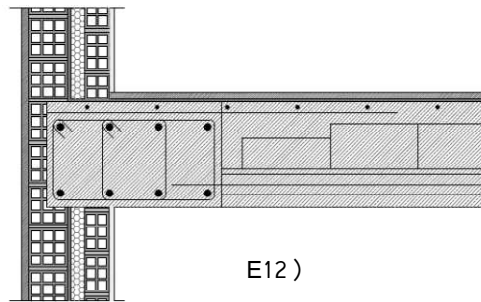
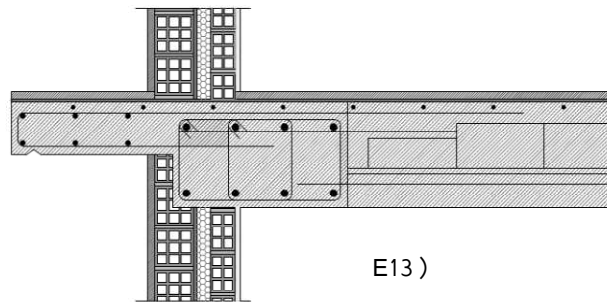
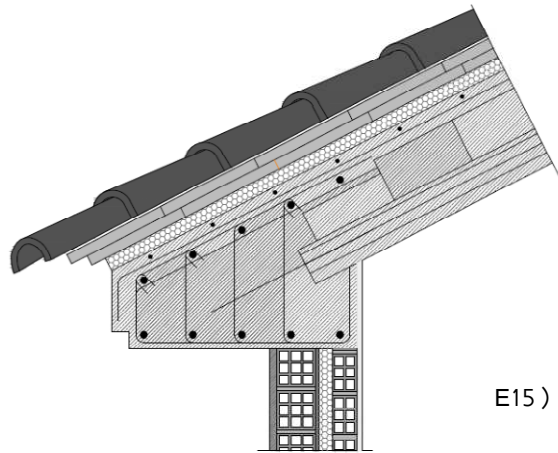


Figura 110. Sección constructiva. Zona este. Estado rehabilitado.

E11A) ENCUENTRO FACHADA-SOLERA. INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

Se rehabilita la fachada íntegramente, derribando la original y ejecutando una a base de fábrica de ladrillo cerámico triple en la capa exterior y ladrillo doble en la capa interior, con 4 cm de espesor de aislante térmico de poliestireno expandido entre ambas capas, acabado exterior con mortero monocapa y enlucido de yeso en el interior.

Se reduce el espesor del cerramiento 20 cm, por tanto, las zonas sin aislante son más sensibles térmicamente.

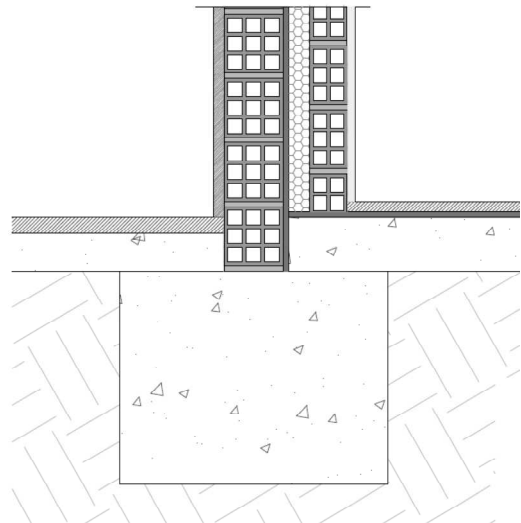


Figura 111. Fachada-Solera. Zona este. Estado rehabilitado.

Líneas isotermas.

Las líneas isotermas muestra cómo actúa el aislante térmico.

El solado de la planta baja se deja descubierto, ya que estará inhabitado, en el proyecto de actividad posterior se decidirá el tipo de solado, mientras tanto, la temperatura del exterior penetra por la cimentación y por el solado, dando malos resultados energéticos en el puente térmico.

El punto más frío de la superficie interior se sitúa en la esquina inferior y está a 15,4 °C.

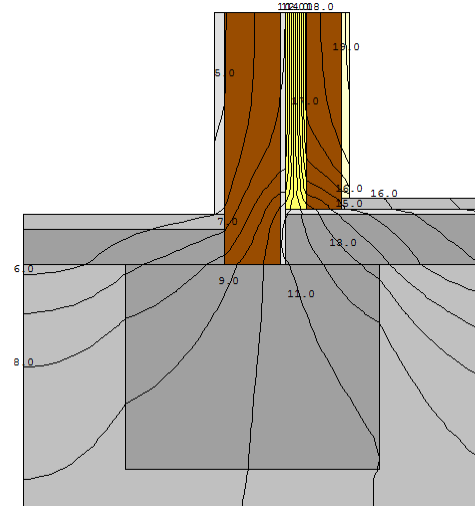


Figura 112. Fachada-Solera. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

La energía del interior fluye hacia el exterior por la zona del solado, por la ausencia de aislante térmico, provocando pérdidas importantes de energía.

En la zona del cerramiento, el flujo es unidimensional u homogéneo, mientras que en la zona del puente térmico se convierte en bidimensional.

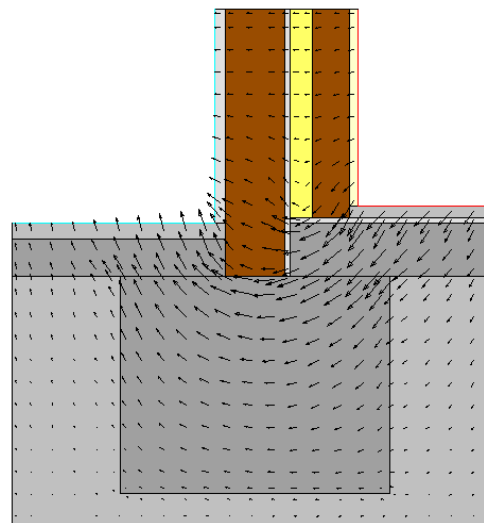


Figura 113. Fachada-Solera. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El aislante térmico da buenos resultados, hasta que se encuentra con la cimentación, con ausencia de aislante, dejando escapar el calor del interior por la zona inferior.

La temperatura interior en la pared interior está aproximadamente a 19 °C, mientras que la temperatura de la superficie del suelo está a 17°C.

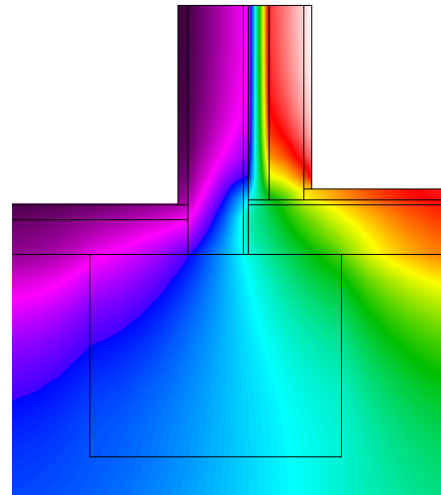
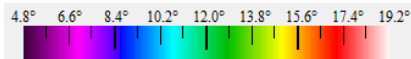


Figura 114. Fachada-Solera. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

El camino que sigue la energía del interior al exterior rodea inferiormente la fachada, buscando la menor longitud de cerramiento, dejando escapar la energía del interior.

Se observa que el punto crítico se sitúa en la esquina inferior con un flujo de energía de aproximadamente 52 W/m².

El aislante térmico no permite el intercambio de energía por la fachada, dando valores muy bajos de flujo.

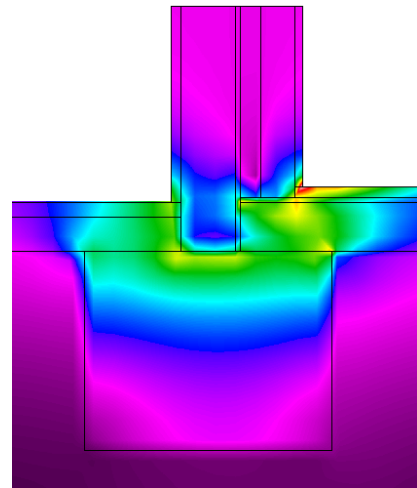
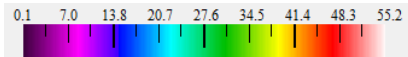


Figura 115. Fachada-Solera. Flujo de energía.

E11B) ENCUENTRO FACHADA-SOLERA. VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

En verano se encuentra en la situación inversa en cuanto a temperatura, el punto crítico se mantiene en la esquina inferior del cerramiento, a una temperatura de 25,3 °C.

El calor del exterior penetra por conducción por debajo de la fachada, donde no existe aislamiento térmico.

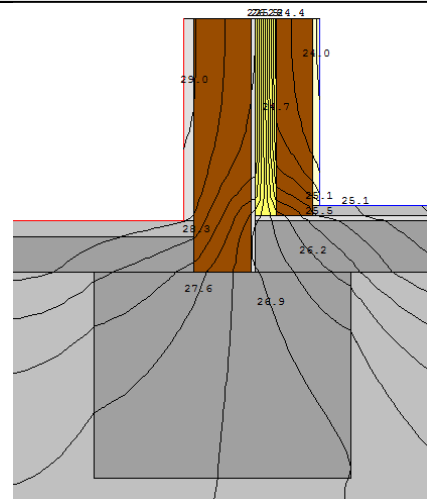


Figura 116. Fachada-Solera. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

El flujo de energía es, también, inverso a la situación de invierno, ya que, esta vez, el calor se sitúa en el exterior, penetrando por las capas hasta el interior, por la zona inferior a la fachada.

El flujo es unidimensional en el cerramiento, cuanto más se acerca al puente térmico, el flujo se convierte en bidimensional.

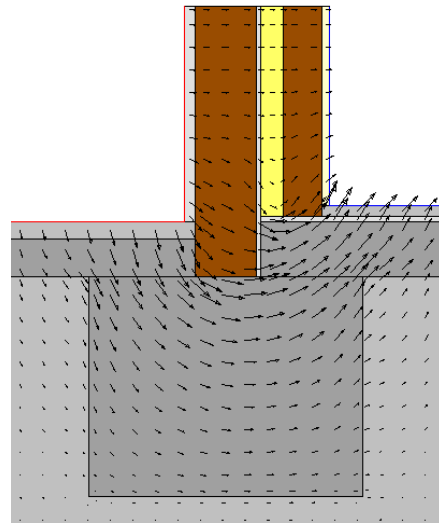


Figura 117. Fachada-Solera. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El aislante térmico de la fachada, consigue buenos resultados, permitiendo una temperatura superficial de la pared interior de aproximadamente 24 °C, mientras que en la superficie de suelo la temperatura ronda los 24,5 °C, transmitiendo, por convección, el calor al ambiente interior.

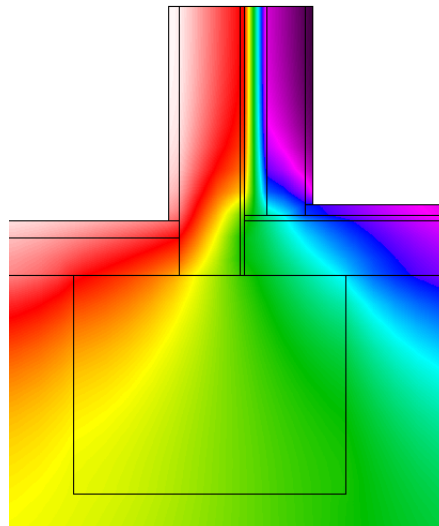
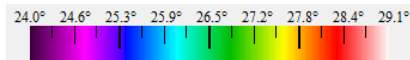


Figura 118. Fachada-Solera. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

El flujo de energía se mantiene por debajo de la fachada, donde termina el aislante térmico. Dando como resultado el punto crítico con un flujo de energía de aproximadamente 18 W/m².

El aislante evita que el flujo de energía se transmita por el interior del cerramiento de fachada, acumulándose la mayor parte de éste, por la zona de la solera.

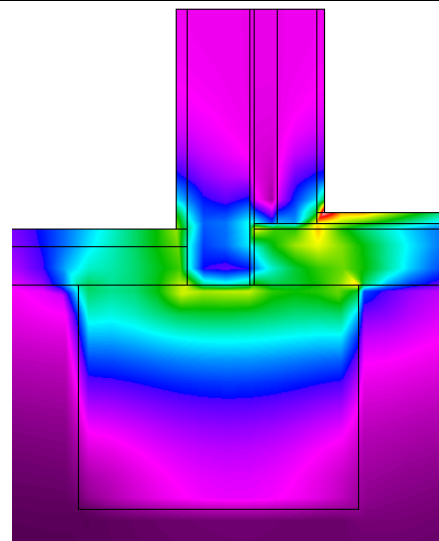
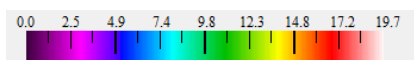


Figura 119. Fachada-Solera. Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Solera. Estado rehabilitado. Invierno.

FACHADA-SOLERA. REHABILITADO. ESTE. INVIERNO. T^a ext = 4,5°C; T^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,1225	0,49	-	0,3641	-	0,7728	0,5944	15,4	0,6813

Tabla 36. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera rehabilitado. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Solera. Estado rehabilitado. Verano.

FACHADA-SOLERA. REHABILITADO. ESTE. VERANO. T^a ext = 29,2°C; T^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
2,1225	0,49	-	0,3641	-	0,7728	0,5944	25,3	0,6842

Tabla 37. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera rehabilitado. Zona este. Verano.

E12A) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO. INVIERNO.

Descripción

Detalle constructivo.

Se construye un nuevo forjado de hormigón "in situ", unidireccional con viguetas de hormigón pretensado y bovedillas de hormigón, que se encuentra con la fachada de ladrillo cerámico.

Al disminuir el espesor de la fachada, las zonas sin aislante térmico son más sensibles al haber menor longitud de transmisión de calor.

Detalle

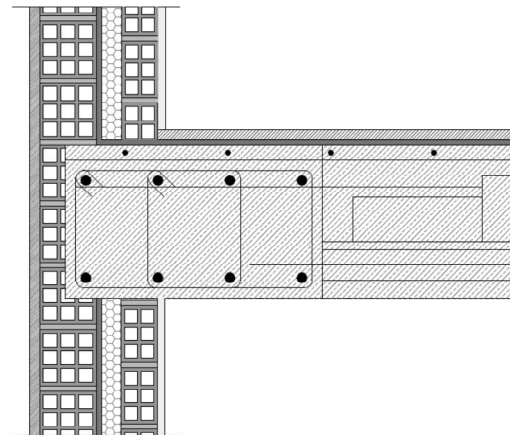


Figura 120. Fachada-Forjado. Zona este. Estado rehabilitado.

Líneas isotermas.

Visiblemente se observa que las líneas isotermas se abren en ausencia de aislante térmico, permitiendo que el calor "se escape" del interior por la zona del puente térmico.

La temperatura superficial interior más reducida se encuentra en la esquina que forma el techo, la inferior del forjado, y está a una temperatura de 16,6 °C.

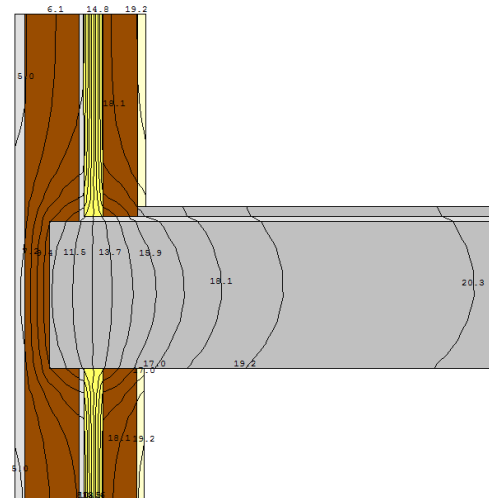


Figura 121. Fachada-Forjado. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo de energía son mucho más densos en la zona de puente térmico, en ausencia de aislante térmico, disipándose a medida que se adentra en el interior de la vivienda.

El flujo es homogéneo en la parte adiabática de la fachada, siendo bidimensional en el encuentro con el forjado de hormigón.

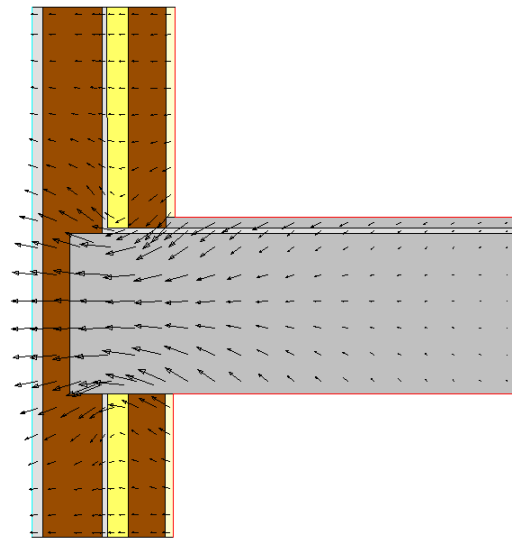


Figura 122. Fachada-Forjado. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La temperatura superficial en la pared vertical interior es de aproximadamente 19,5 °C, una buena temperatura radiante, pero el calor del interior se transmite por el canto de forjado hacia el exterior, dando como resultado un puente térmico poco eficiente, ya que existe mucha parte de cerramiento sin aislar térmicamente.

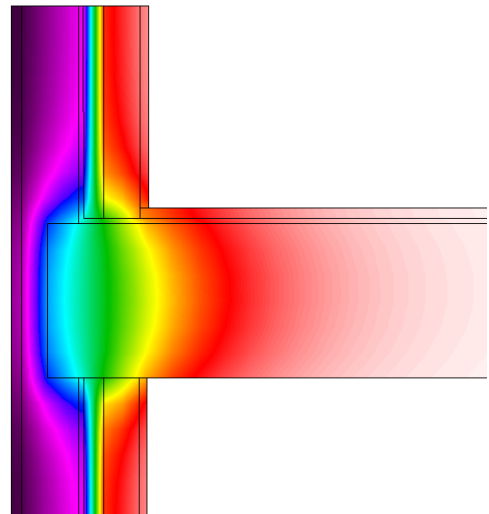
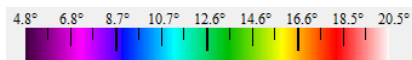


Figura 123. Fachada-Forjado. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

La energía se transmite principalmente por el canto de forjado hacia el exterior, coincidiendo con la parte con ausencia de aislante térmico, éste evita que el flujo de energía se transmita a su través. Por el punto crítico del puente térmico circula un flujo de energía de aproximadamente 47 W/m².

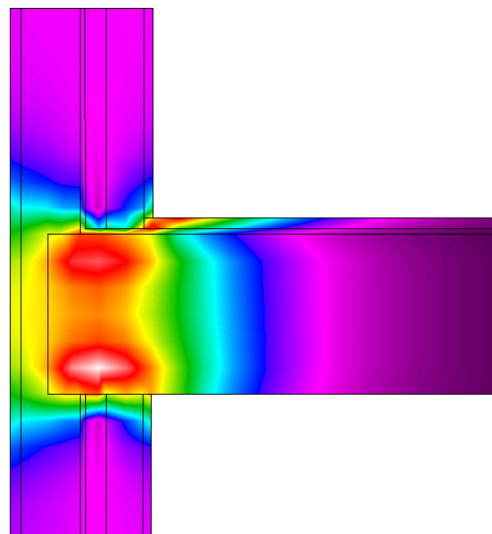
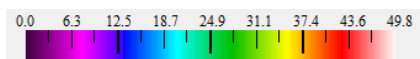


Figura 124. Fachada-Forjado. Flujo de energía.

E12B) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO. VERANO.

Descripción

Líneas isotermas.

En verano se invierte la situación, las líneas isotermas tiene las mismas características, ya que se abren en la parte del cerramiento que no hay aislante térmico, permitiendo que por este área penetre el calor del exterior.

Debido a que el espesor de la fachada es reducido, la energía traspasa por la zona sin aislante térmico con mayor facilidad.

El punto crítico del puente térmico se da en el mismo punto que en invierno, con una temperatura de 24,9 °C.

Detalle

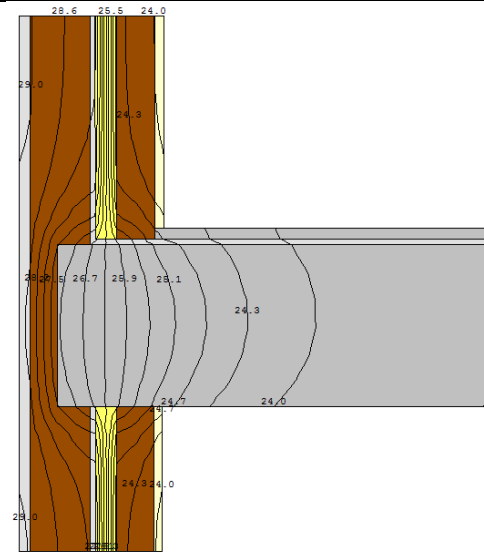


Figura 125. Fachada-Forjado. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo de energía indican que la energía traspasa por el canto de forjado principalmente, con un flujo bidimensional, dando como resultado ambas esquinas con un valor alto de flujo de energía.

En las zonas de cerramiento vertical el flujo de energía es unidimensional.

El flujo de energía se disipa cuanto más penetra en interior de la vivienda.

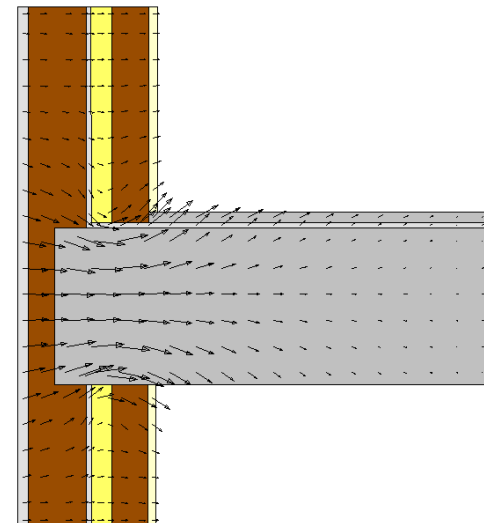


Figura 126. Fachada-Forjado. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

Al igual que en invierno, la superficie interior vertical está a una temperatura en verano, aproximadamente 24 °C, gracias al aislamiento térmico, pero en la zona del puente térmico, el canto de forjado permite que se transmita el calor del exterior hasta el interior de la vivienda.

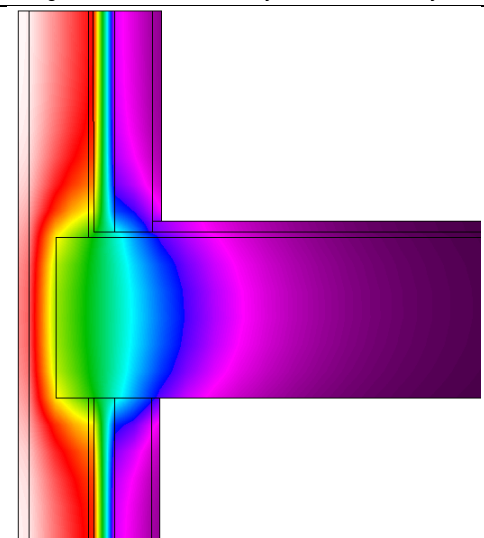
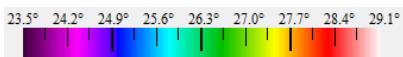


Figura 127. Fachada-Forjado. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Como se ha comentado anteriormente, el flujo de energía se transmite principalmente por el canto de forjado, especialmente por ambas esquinas, por ser la menor distancia con el exterior, aunque no tiene una magnitud muy elevada, debido a que la diferencia de temperatura del interior al exterior, en verano, es reducida.

El flujo de energía tiene valores muy reducidos en la zona donde se encuentra el aislante térmico.

El flujo se disipa a medida que se adentra a través del forjado unidireccional.

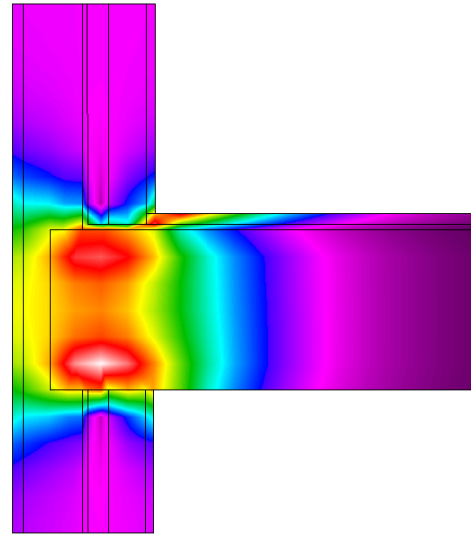
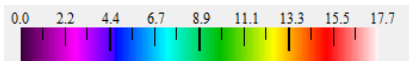


Figura 128. Fachada-Forjado. Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado. Estado rehabilitado. Invierno.

FACHADA-FORJADO. REHABILITADO. ESTE. INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,7806	0,49	-	0,6601	-	1,1754	0,8519	16,6	0,7563

Tabla 38. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado rehabilitado. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado. Estado rehabilitado. Verano.

FACHADA-FORJADO. REHABILITADO. ESTE. VERANO. T ^a ext = 29,2°C; T ^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,7806	0,49	-	0,6601	-	1,1754	0,8519	24,9	0,7544

Tabla 39. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado rehabilitado. Zona este. Verano.

E13A) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (BALCÓN). INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

La fachada este ladrillo cerámico se encuentra con el forjado unidireccional de hormigón.

El balcón se resuelve seccionando totalmente la fachada y, por tanto, el aislante térmico, de forma que se crea el puente térmico.

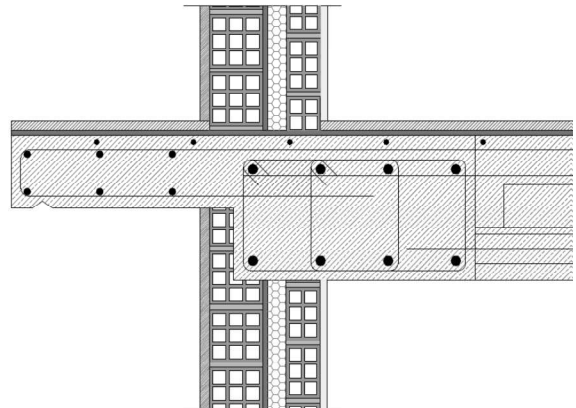


Figura 129. Fachada-Forjado (balcón). Zona este. Estado rehabilitado.

Líneas isotermas.

En la parte de la fachada en aislante térmico evita que el calor se fugue a través del cerramiento vertical. Cuando éste se corta por la aparición del forjado, las líneas isotermas se abren, indicando que la temperatura se transmite con mucha mayor facilidad, por lo tanto, la temperatura del interior se transmite por el forjado hacia el exterior.

El punto crítico se encuentra en la esquina inferior del forjado, a una temperatura superficial interior de 15,6 °C.

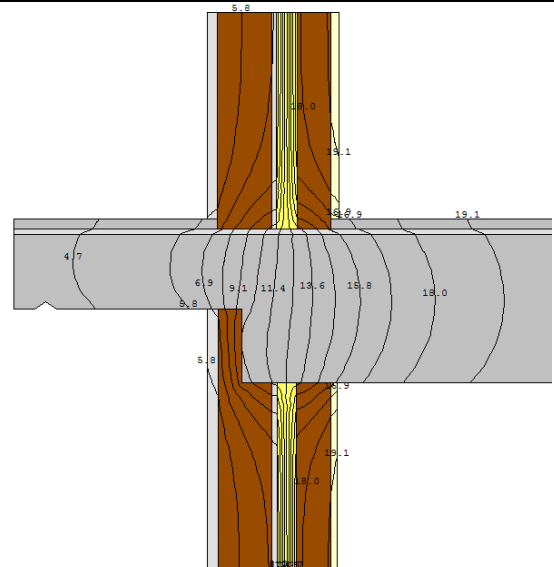


Figura 130. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo indican que la energía se dirige del interior al exterior, y que se transmite principalmente por la parte del encuentro con el forjado, ya que, en la fachada, al existir aislante, el flujo es mínimo.

En el encuentro con el forjado, el flujo se convierte en bidimensional, bordeando la fachada con aislante, siguiendo el camino que marcan las zonas con mayor conductividad térmica.

En el punto crítico existe mayor densidad de vectores de flujo, lo cual indica que el flujo es elevado.

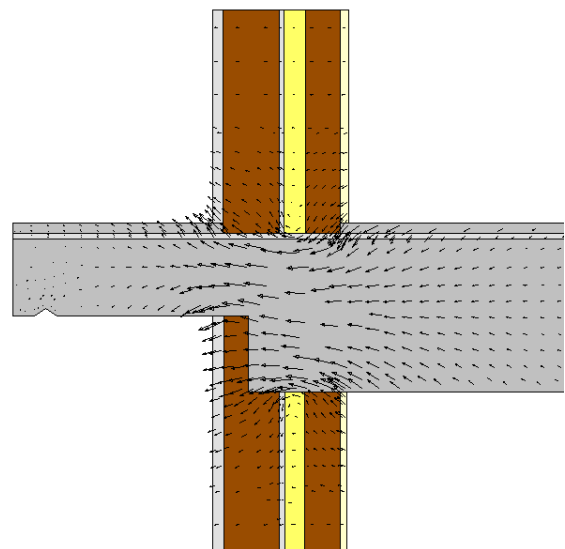


Figura 131. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La vista de infrarrojos muestra el enfriamiento que sufre la temperatura a medida que traspasa el puente térmico, siendo mayor, lógicamente, en el punto crítico.

La temperatura superficial en la pared interior ronda los 19,5 °C de temperatura radiante, tanto en la superior como en la inferior, a pesar del mal resultado del punto crítico.

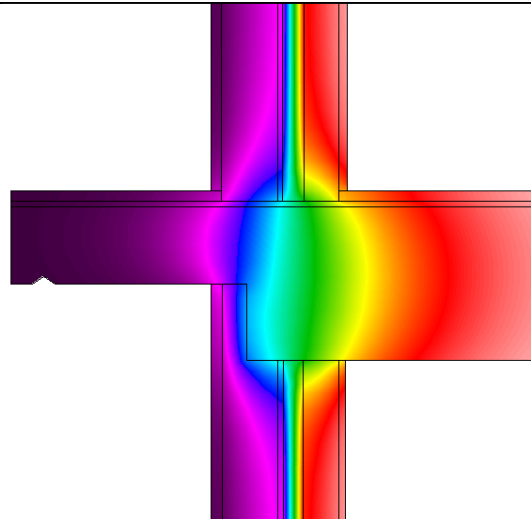
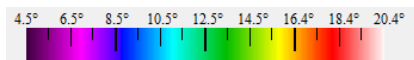


Figura 132. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

La energía se transmite principalmente por la zona sin aislar, el forjado de hormigón.

En las dos esquinas interiores del puente térmico, el flujo de energía es mayor, debido a la menor distancia que existe con el exterior.

En el cerramiento vertical, el flujo es muy reducido, por la existencia de aislante térmico.

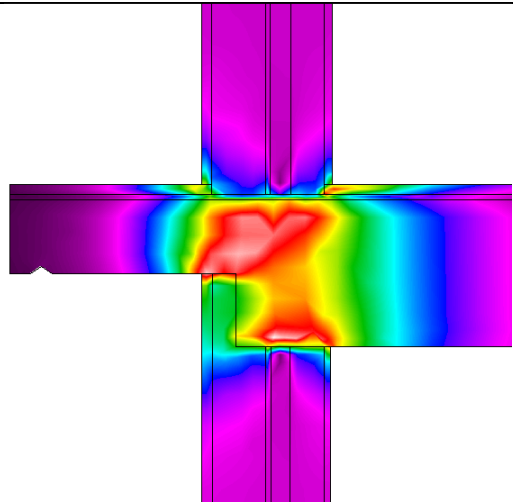
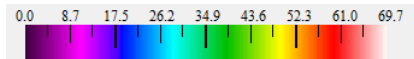


Figura 133. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

E13B) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (BALCÓN). VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

En verano la situación se mantiene, modificando las temperaturas y la dirección del flujo de energía, ya que el calor siempre se transmite desde la zona más caliente a la menos.

Se observa en la figura que las isotermas se abren en el encuentro de la fachada con el forjado, donde no existe aislante térmico, en las zonas donde sí existe aislante, las isotermas están muy juntas, que indica el cambio de temperatura en poco espesor de cerramiento.

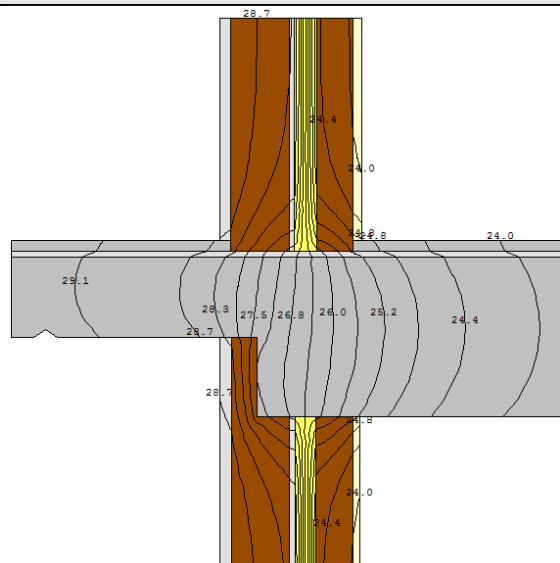


Figura 134. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

La dirección del flujo de energía se invierte, bordeando, una vez más, las zonas con aislante térmico. Éstas zonas no transmiten prácticamente flujo de energía, ya que la reducida conductividad térmica del aislante no lo permite. Haciendo que la mayoría del flujo se transmita por el forjado hacia las esquinas, donde es menor la distancia recorrida. A medida que se introduce en el interior del forjado, el flujo se disipa, siendo cada vez menor.

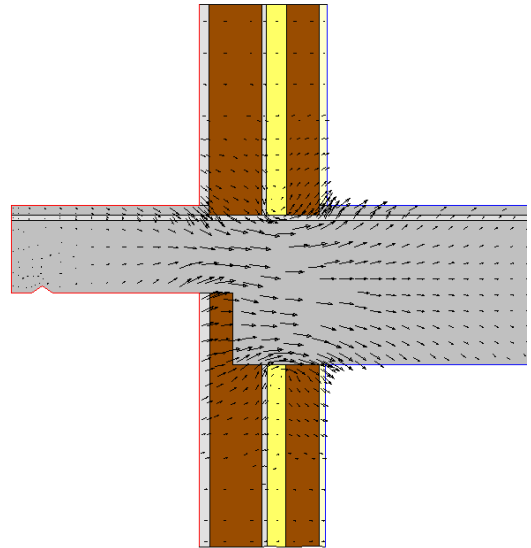


Figura 135. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

Como en el caso anterior, la temperatura caliente del exterior penetra más fácilmente por la zona sin aislamiento térmico, en este caso por el forjado, permitiendo que las altas temperaturas del exterior calienten el ambiente interior.

La superficie interior vertical está a aproximadamente a 24 °C.

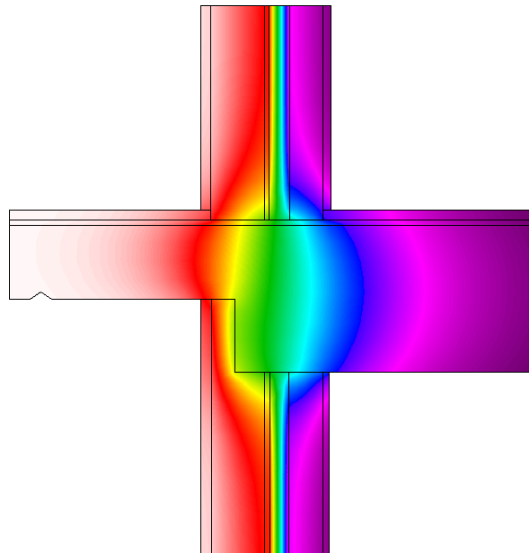
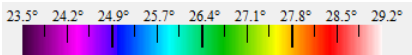


Figura 136. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Al igual que en la situación de invierno, el flujo de energía se transmite principalmente por el forjado de hormigón, dejando la zona aislada térmicamente sin prácticamente flujo de energía.

La magnitud de flujo es menor que en invierno, debido al menor gradiente térmico.

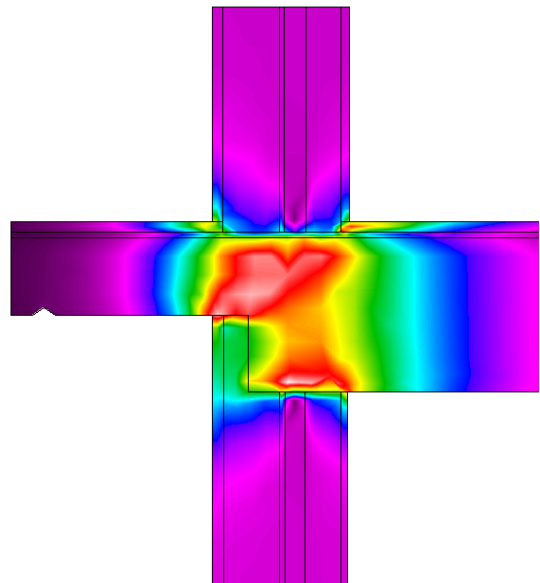
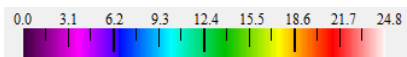


Figura 137. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Estado rehabilitado. Invierno.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). REHABILITADO. ESTE.								
INVIERNO. T^a ext = 4,5°C; T^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,9124	0,49	-	0,7912	-	1,5131	1,1254	15,6	0,6938

Tabla 40. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) rehabilitado. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Estado rehabilitado. Verano.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). REHABILITADO. ESTE.								
VERANO. T^a ext = 29,2°C; T^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,9124	0,49	-	0,7912	-	1,5131	1,1254	25,1	0,7193

Tabla 41. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) rehabilitado. Zona este. Verano.

E14A) PILAR EN ESQUINA. INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

Al ejecutar la nueva estructura de hormigón armado, necesariamente tienen que existir pilares, en este caso están dispuestos en esquina, con el aislante térmico pasante continuo por el interior de las dos capas de ladrillo cerámico.

Por lo tanto, a priori, se puede observar que el resultado del puente térmico va a ser bueno, ya que el aislante evitará que, en invierno, el calor se transmita del interior al exterior y, en verano, del exterior al interior. Por lo tanto mantendrá el flujo de energía en la capa exterior del cerramiento, donde no afecta al confort térmico interior.

En este caso se estudiará la proyección X del puente térmico, a efectos de cálculo en el programa informático, ya que es la única sección estudiada que es horizontal.

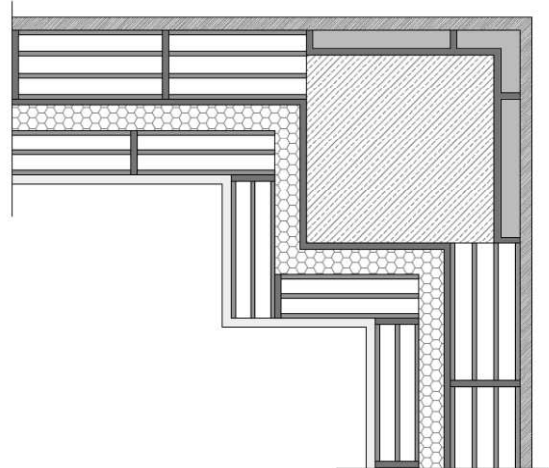


Figura 138. Pilar en esquina. Zona este. Estado rehabilitado.

Líneas isotermas.

Las líneas isotermas muestran que el aislante térmico no permite el flujo de energía a través suyo y, por lo tanto, la energía se mantiene, en gran medida, en el interior de la vivienda. La capa exterior de la fachada y el propio pilar tienen una elevada conductividad térmica. En este caso existen dos puntos críticos, ambos rincones, a una temperatura de 18,5 °C.

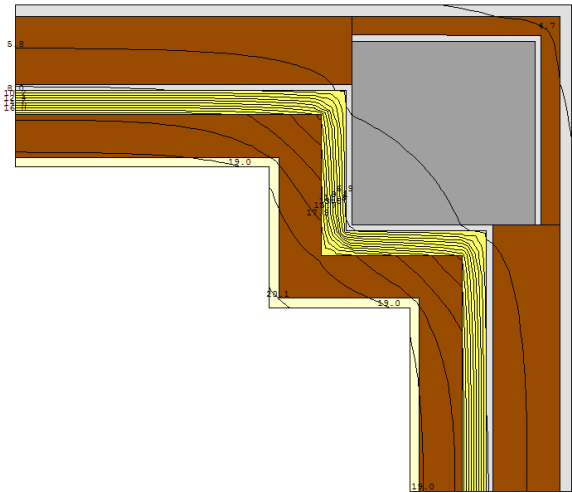


Figura 139. Pilar en esquina. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo de energía se mantienen aproximadamente similares en toda la sección del puente térmico, notándose un incremento en ambos rincones (puntos críticos) y, especialmente, en la sección del pilar de hormigón. El flujo de energía en la fachada es unidimensional, pasando a ser bidimensional en el encuentro.

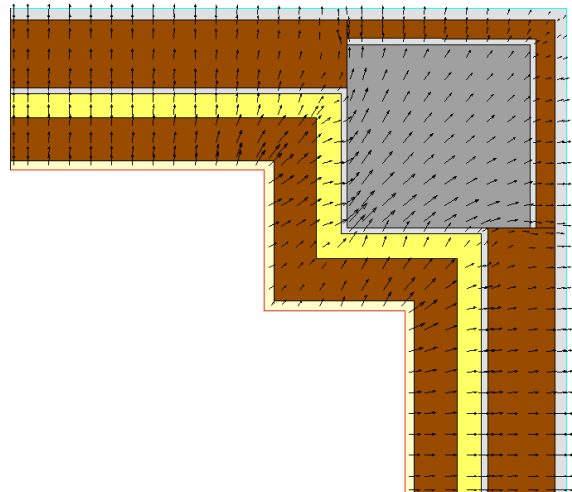


Figura 140. Pilar en esquina. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La visión de infrarrojos muestra cómo actúa el aislante térmico, manteniendo las bajas temperaturas en la capa exterior del cerramiento, y guardando el calor en el interior de la vivienda, con una temperatura en la superficie de las paredes interiores de aproximadamente 19,5 °C.

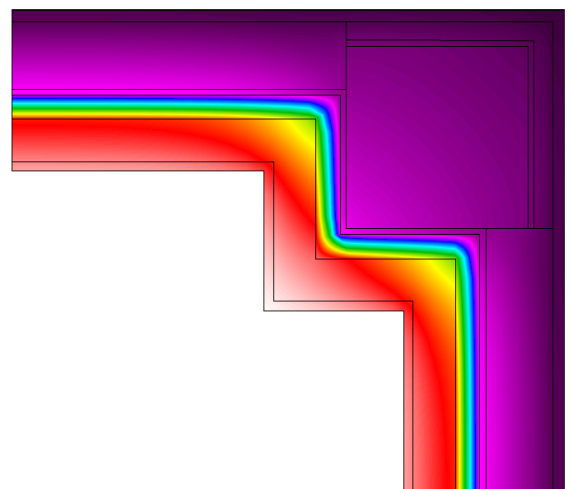
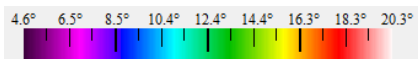


Figura 141. Pilar en esquina. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Como se ha dicho anteriormente, el flujo se transmite, principalmente, a través de la capa exterior, no teniendo efectos negativos en el interior.

El valor más alto de flujo se da en los puntos críticos, siendo este de magnitud reducida y, por tanto, dando buenos resultados energéticos del puente térmico.

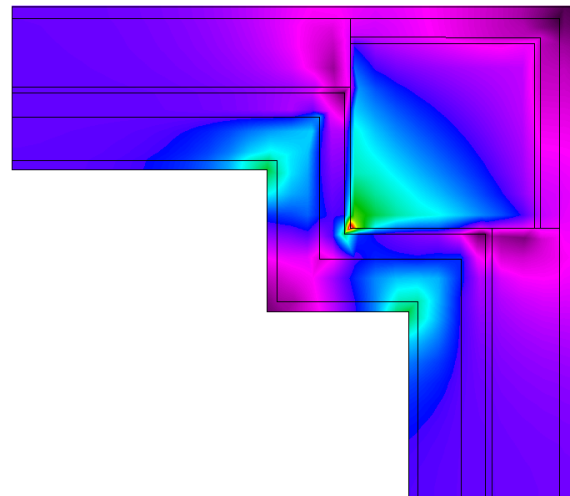
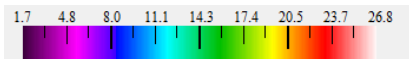


Figura 142. Pilar en esquina. Flujo de energía.

E14B) PILAR EN ESQUINA. VERANO.

Descripción

Líneas isotermas.

La situación se mantiene, en este caso, la temperatura fresca del interior se conserva gracias al aislante térmico, ya que no permite que el calor del exterior penetre en el interior de la vivienda.

La elevada temperatura del exterior se transmite a través de la capa exterior del cerramiento y del pilar, pero no traspasa el aislante térmico.

La temperatura superficial en los puntos críticos es de 24,2 °C.

Detalle

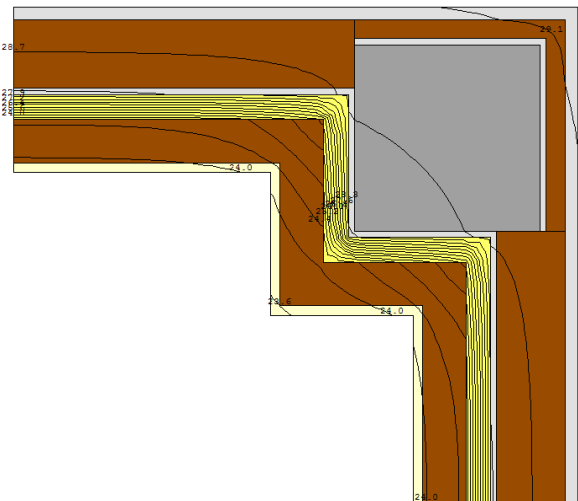


Figura 143. Pilar en esquina. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo de energía se mantienen similares a lo largo de toda la sección del puente térmico, con la diferencia que, en las zonas de cerramiento, el flujo es unidimensional y, en las zonas de puente térmico, el flujo es bidimensional.

En los puntos críticos existe una mayor acumulación de vectores de flujo de energía y, por lo tanto, una mayor magnitud de flujo transmitido.

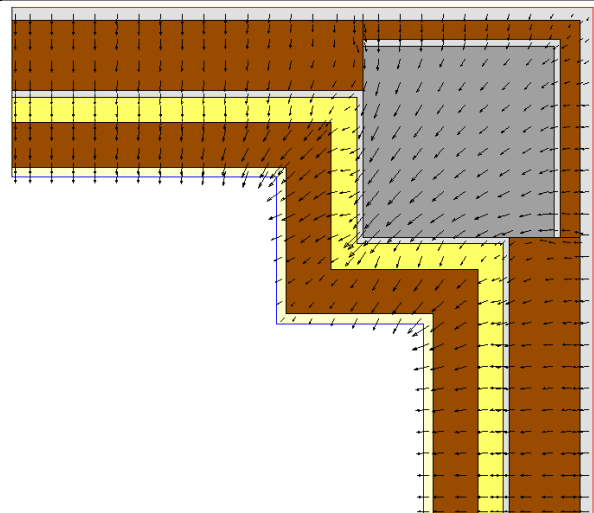


Figura 144. Pilar en esquina. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El aislante térmico actúa, evitando que la elevada temperatura del exterior penetre a través de las capas del cerramiento, hasta alcanzar, por conducción, la capa superficial interior y ésta, por radiación, caldee el ambiente interior de la vivienda.

La superficie de las paredes verticales interiores está a una temperatura de aproximadamente 24 °C, siendo una temperatura muy favorable en la situación de verano.

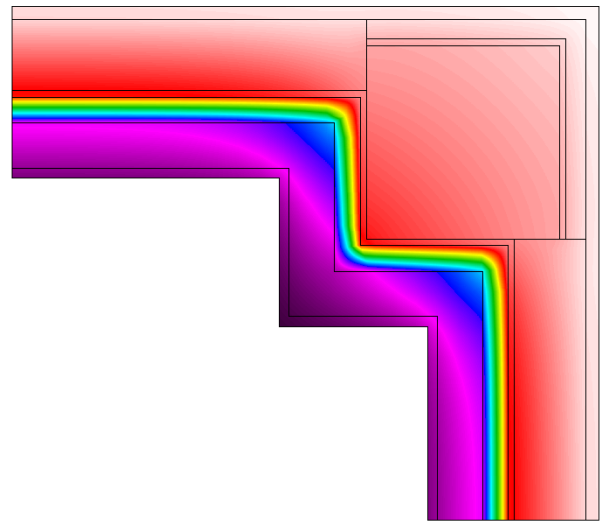
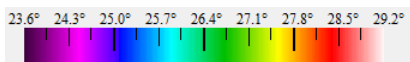


Figura 145. Pilar en esquina. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

El flujo de energía permanece constante a lo largo de todo el año, independientemente de la temperatura del exterior y del interior, ya que viene determinado por la transmitancia térmica de los componentes del cerramiento.

Se nota un mayor flujo en los puntos críticos, siendo éste, aún así, muy reducido, debido a la intervención del aislante térmico, no llegando a valores de 5 W/m2.

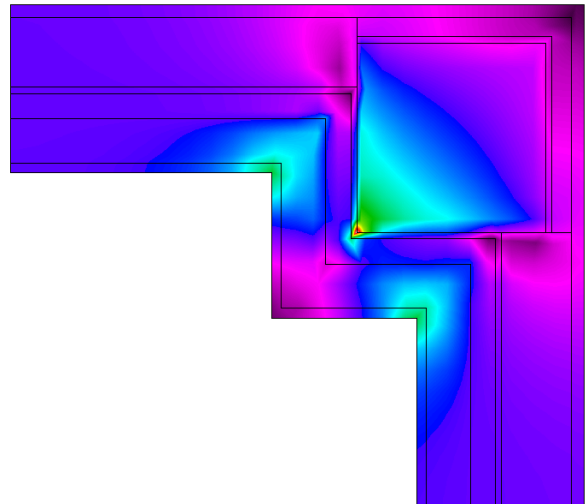
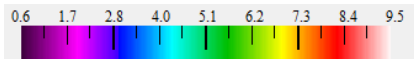


Figura 146. Pilar en esquina. Flujo de energía.

- Tabla resumen. Pilar en esquina. Estado rehabilitado. Invierno.

PILAR EN ESQUINA. REHABILITADO. ESTE. INVIERNO. Tª ext = 4,5°C; Tª int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
0,9581	0,49	-	0,6456	-	0,6185	0,3022	18,5	0,8750

Tabla 42. Tabla resumen puente térmico. Pilar en esquina rehabilitado. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Pilar en esquina. Estado rehabilitado. Verano.

PILAR EN ESQUINA. REHABILITADO. ESTE. VERANO. Tª ext = 29,2°C; Tª int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
0,9581	0,49	-	0,6456	-	0,6185	0,3022	24,2	0,8772

Tabla 43. Tabla resumen puente térmico. Pilar en esquina rehabilitado. Zona este. Verano.

E15A) ENCUENTRO FACHADA-CUBIERTA. INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

La fachada de ladrillo cerámico se encuentra en la parte superior del edificio con la cubierta de teja, con una formación de pendientes a base de forjado unidireccional de hormigón "in situ".

El aislante térmico de la cubierta se encuentra bajo la capa de bardos cerámicos, protegido por una capa de geotextil que, al no tener propiedades térmicas, no se tiene en cuenta en el cálculo.

Se forma el puente térmico debido a la discontinuidad del aislamiento térmico.

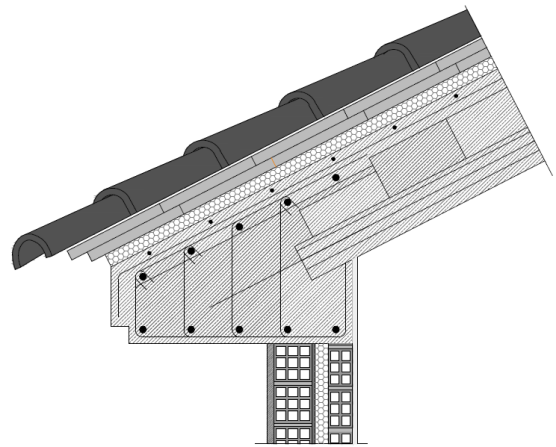


Figura 147. Fachada-Cubierta. Zona este. Estado rehabilitado.

Líneas isotermas.

Las líneas isotermas a lo largo del aislante térmico, tanto de la fachada como de la cubierta, están juntas, y por lo tanto trabajan bien térmicamente. No obstante, en la discontinuidad entre ellos, las líneas están separadas, lo que significa que la temperatura aumenta en menor medida conforme se introduce en el interior.

El punto crítico se sitúa en la esquina interior que forman la fachada y la cubierta, y está a 15,9 °C.

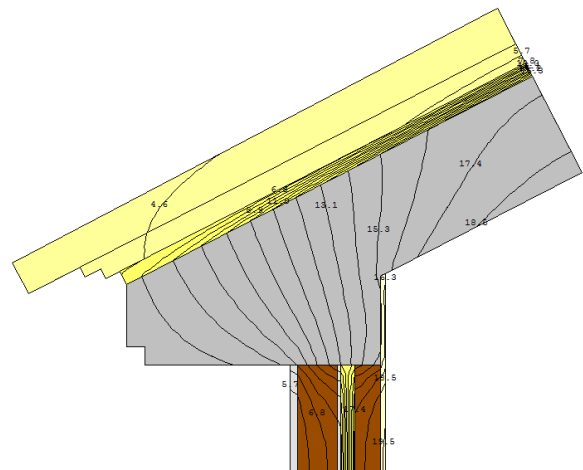


Figura 148. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Se observa en la vectores de flujo, cómo el flujo de energía se dirige del interior al exterior, evitando las zonas con menor conductividad térmica, los aislantes térmicos, tanto de fachada como de cubierta.

En las zonas uniformes de ambos cerramientos, el flujo es unidimensional, mientras que en las proximidades del puente térmico, el flujo es bidimensional.

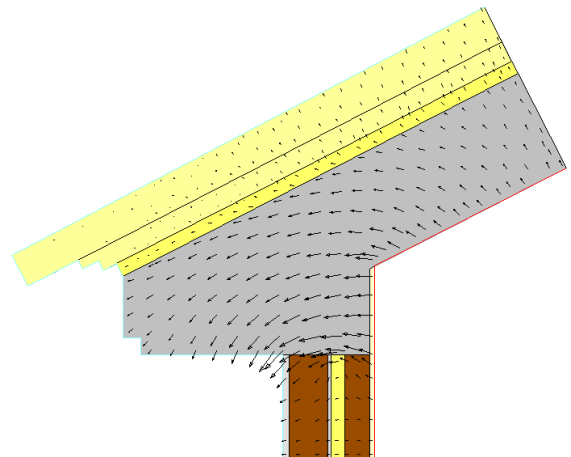


Figura 149. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

En ambos cerramientos, el aislante térmico ejerce una influencia térmica favorable en el interior de la vivienda, ya que la temperatura de la superficie interior del cerramiento vertical está a aproximadamente 19,5 °C, mientras que la de la cubierta está a 19 °C.

Por otro lado, el puente térmico no está bien resuelto, ya que hay demasiada superficie sin aislar, permitiendo que el calor interior filtre hacia el exterior de la vivienda.

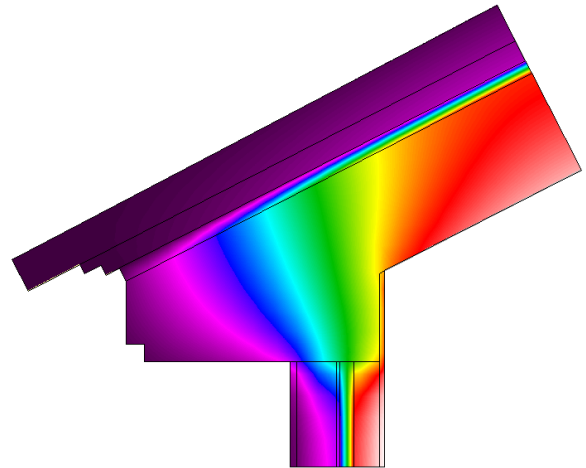
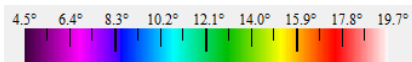


Figura 150. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

El flujo de energía se acumula en la zona sin aislar, buscando los menores espesores para transmitirse.

De forma que se crea un punto crítico, o varios, ya que toda la superficie interior vertical sin aislar tiene las mismas características.

Las zonas aisladas no permiten el flujo de energía.

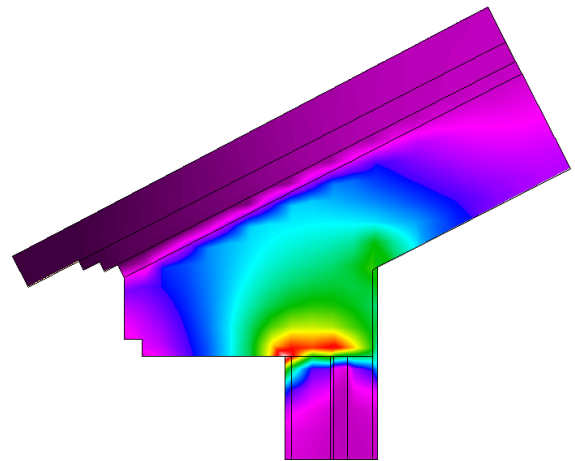
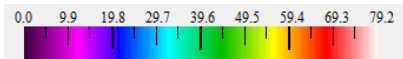


Figura 151. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.

E15B) ENCUENTRO FACHADA-CUBIERTA. VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

En verano, el calor del exterior se transmite por la zona del puente térmico sin aislar, provocando la separación de las líneas isotermas en ese punto.

El punto crítico del puente térmico se encuentra en el mismo lugar que en invierno y está a una temperatura de 25,1 °C de temperatura radiante, que no está lejos de la temperatura ambiental de confort, ya que los veranos de la zona climatológica son más suaves que los inviernos.

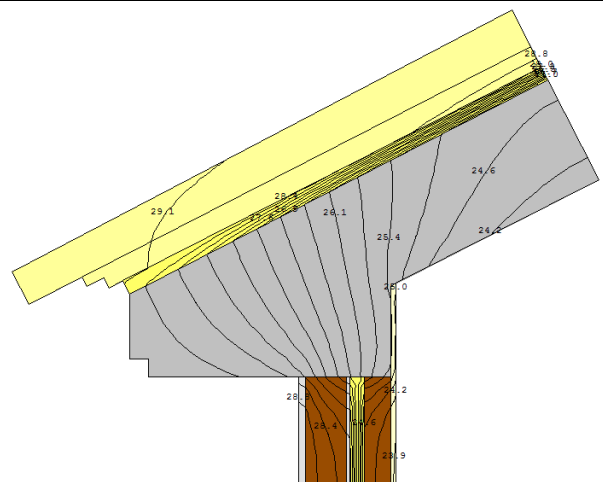


Figura 152. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

En este caso, se invierte la dirección del flujo, penetrando, esta vez, la energía del exterior al interior de la vivienda.

Al igual que en el caso de invierno, el flujo trata de evitar las zonas con menor conductividad térmica, que son los aislantes térmicos, transmitiéndose por la zona sin aislar.

En los cerramientos con capas uniformes, el flujo es unidimensional, mientras que en las proximidades del encuentro, el flujo es bidimensional.

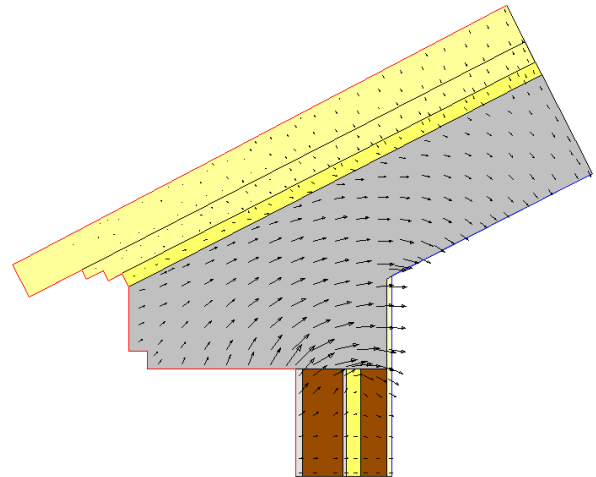


Figura 153. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

Las altas temperaturas del exterior se mantienen en la capa exterior del cerramiento, en las zonas aisladas térmicamente. No obstante, en la zona del encuentro, donde la discontinuidad del aislante, el calor penetra, reduciendo la temperatura de manera progresiva a medida que traspasa las capas del cerramiento.

La temperatura de la superficie interior tanto de la pared vertical como de la cubierta, es de aproximadamente 24 °C, por lo tanto el problema es del puente térmico, no de la transmitancia de los cerramientos.

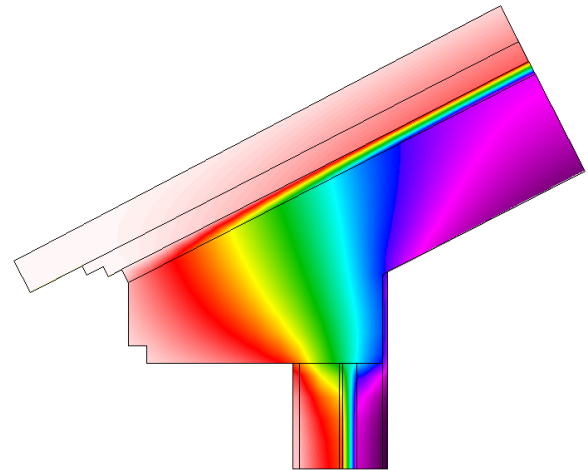
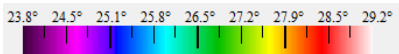


Figura 154. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.



Flujo de energía (W/m2)

El flujo se mantiene igual que en invierno, permitiendo, en este caso, transmitir la energía a lo largo de la sección por las zonas con ausencia de aislamiento térmico. Aunque en verano la magnitud de flujo es menor por la climatología del entorno.

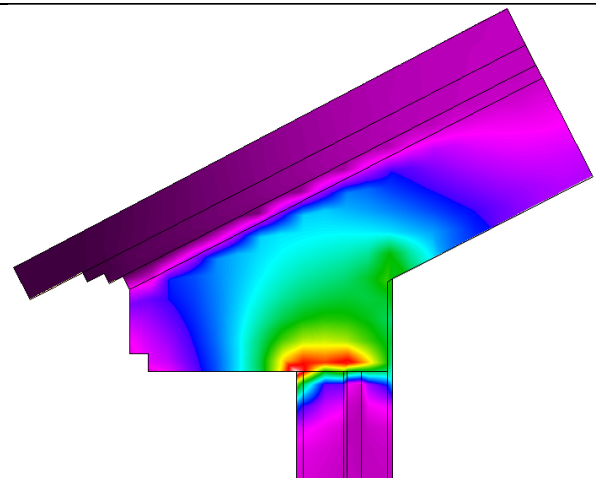
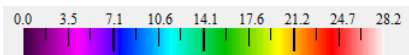


Figura 155. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.



- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Estado rehabilitado. Invierno.

FACHADA-CUBIERTA. REHABILITADO. ESTE. INVIERNO. T^a ext = 4,5°C; T^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,4968	0,49	0,54	0,5431	0,6097	1,7256	1,1302	15,9	0,7125

Tabla 44. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta rehabilitado. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Estado rehabilitado. Verano.

FACHADA-CUBIERTA. REHABILITADO. ESTE. VERANO. T^a ext = 29,2°C; T^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,4968	0,49	0,54	0,5431	0,6097	1,7256	1,1302	25,1	0,7193

Tabla 45. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta rehabilitado. Zona este. Verano.

5.4.2. ZONA OESTE

5.4.2.1. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE

- Fachada

La fachada original se mantiene, realizando un trasdosado que incluye el aislante térmico a base de poliestireno expandido, trasdosado con ladrillo hueco doble.

Material	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m ³)	U (W/m ² K)
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200	0,020	0,550	1.125	
1 pie ladrillo perforado	0,240	0,567	1.150	
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200	0,020	0,550	1.125	
Tabicón de ladrillo hueco doble	0,070	0,432	930	
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200	0,010	0,550	1.125	
EPS poliestireno expandido	0,040	0,029	30	
Tabicón de ladrillo hueco doble	0,070	0,432	930	
Enlucido de yeso 1000<d<1300	0,015	0,570	1.150	
	0,485	-	-	0,46

Tabla 46. Definición de envolvente térmica. Fachada oeste. Rehabilitación.

- Solera

Sucede exactamente lo mismo que con la solera de la zona este, por lo tanto se estudia sin modificar la original.

- Cubierta

La cubierta en la zona oeste es transitable, y acabada en baldosa de gres, con el aislamiento térmico sobre la formación de pendientes, siendo ésta de hormigón celular, que actúa también de aislante térmico debido a su baja densidad, todo apoyado sobre un forjado de hormigón armado.





Material	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m3)	U (W/m2K)
Gres (sílice) 2200<d<2590	0,020	2,300	2.395	
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200	0,020	0,550	1.150	
Hormigón celular curado en autoclave d 700	0,080	0,200	700	
EPS poliestireno expandido	0,040	0,029	30	
Forjado unidireccional, entrevigado de hormigón.	0,300	1,422	1.240	
	0,460	-	-	0,45

Tabla 47. Definición de envolvente térmica. Cubierta oeste. Rehabilitación.

5.4.2.2. UBICACIÓN DE LOS PUENTES TÉRMICOS



Figura 156. Esquema de puentes térmicos. Estado rehabilitado. Fachada Oeste.

- | | | | |
|---|------------------------------------|---|----------------------------------|
|  | O20) Enc. Fachada-Cubierta |  | O18) y O19) Enc. Fachada-Forjado |
|  | O17) Enc. Fachada-Forjado (balcón) |  | O16) Encuentro Fachada-Solera |

Con el mapa de puentes térmicos quedan situados los que van a ser analizados en el presente estudio.

5.4.2.3. ANÁLISIS DE LOS PUENTES TÉRMICOS

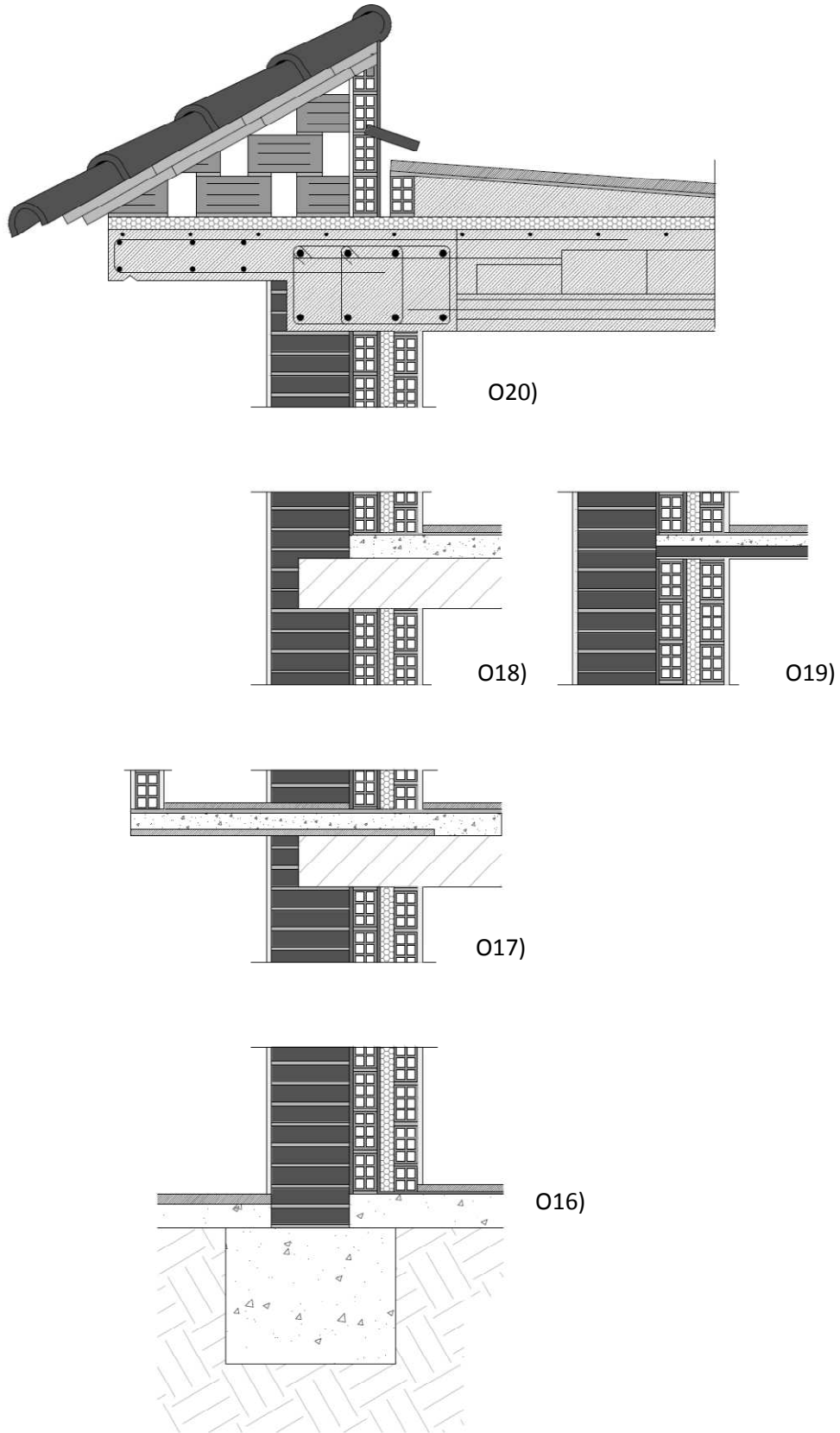


Figura 157. Sección constructiva. Zona oeste. Estado rehabilitado.

O16A) ENCUENTRO FACHADA-SOLERA. INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

El detalle se mantiene como el estado original, introduciendo un trasdosado de ladrillo cerámico por el interior de la vivienda, permitiendo colocar el aislante térmico entre la fachada del estado original y el trasdosado.

La fachada posee una buena transmitancia térmica, mientras que el solado en menor medida, dado que no es el solado definitivo, ya que la planta baja esta inhabitada.

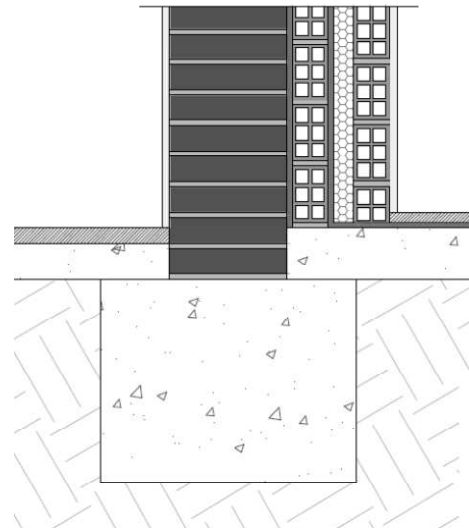


Figura 158. Fachada-Solera. Zona oeste. Estado rehabilitado.

Líneas isotermas.

La temperatura más elevada del interior se transmite a lo largo de la sección, disminuyendo en gran medida cuando se encuentra con el aislante térmico y, en menor medida, cuando pasa por la cimentación.

El punto crítico de la sección se ubica en la esquina interior entre la solera y la fachada, dando una temperatura de 15,8 °C.

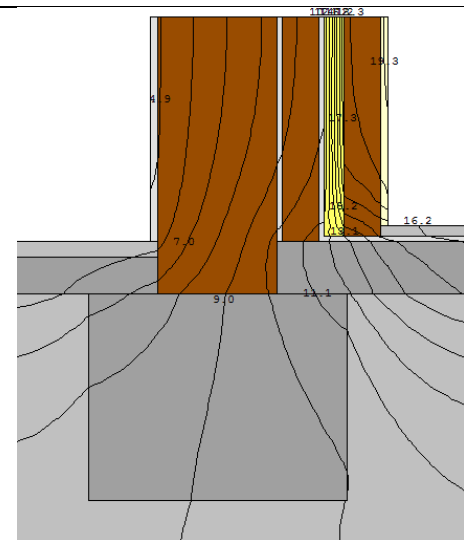


Figura 159. Fachada-Solera. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

El flujo de energía es unidimensional en las zonas uniformes de la sección, y bidimensional en el encuentro entre los dos elementos constructivos.

El flujo se dirige del interior al exterior, evitando las zonas con menor conductividad térmica, como es el aislamiento térmico.

Por lo tanto, el flujo circunda la fachada por debajo, evitando la fachada, con mejores características térmicas.

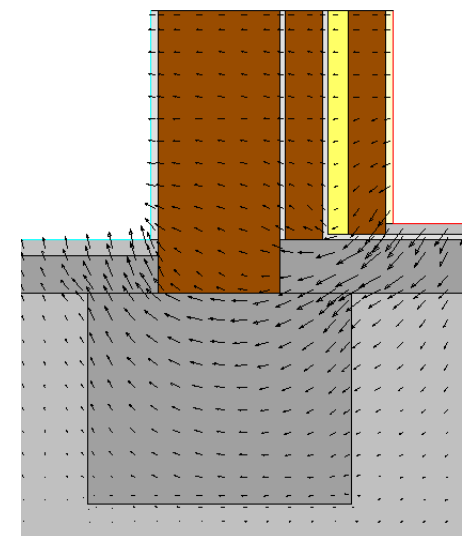


Figura 160. Fachada-Solera. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La temperatura fría del exterior aumenta a medida que penetra en el interior del edificio.

El aislante de la fachada influye positivamente en el interior, dando como resultado una temperatura superficial en la pared vertical de aproximadamente 19,5 °C.

En cambio, la ausencia de aislante térmico en el suelo hace que la temperatura superficial sea de alrededor de 16,8 °C.

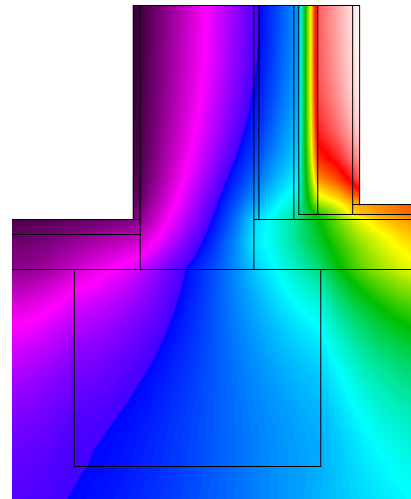
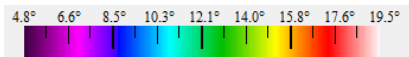


Figura 161. Fachada-Solera. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

El flujo de energía se transmite por los materiales con mayor conductividad térmica, en este caso, los materiales de la cimentación.

La fachada se mantiene prácticamente sin flujo de energía gracias a sus propiedades térmicas.

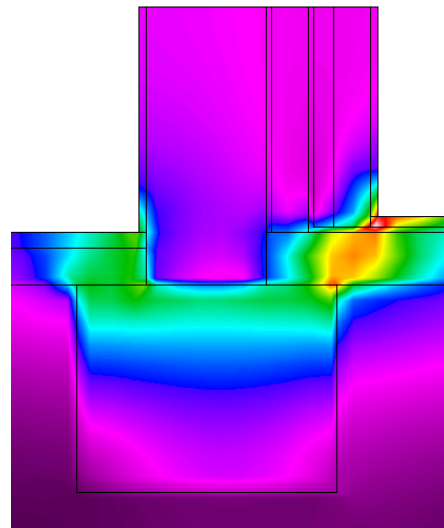
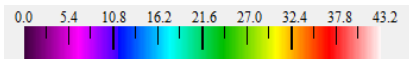


Figura 162. Fachada-Solera. Flujo de energía.

O16B) ENCUENTRO FACHADA-SOLERA. VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

En verano, el aislante térmico no permite que la temperatura del exterior se introduzca en el interior, pero por la zona de la solera, al no existir aislante, el calor exterior penetra con mayor facilidad.

El punto crítico se sitúa en la esquina interior de la fachada y la solera y está a una temperatura de 25,2 °C.

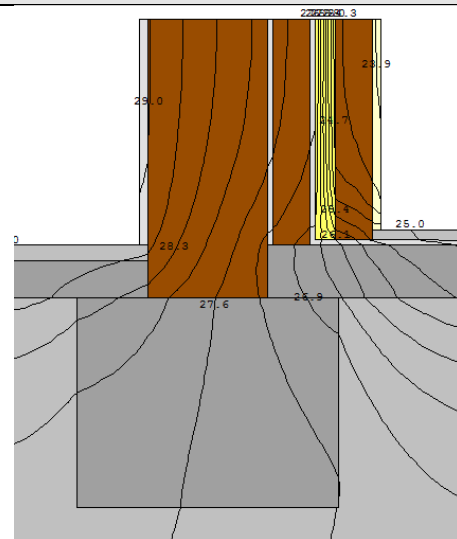


Figura 163. Fachada-Solera. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Del mismo modo que en invierno, los vectores de flujo evitan las zonas con mayor conductividad térmica, bordeando la fachada por la zona inferior. En este caso el flujo de energía cambia de sentido, puesto que el calor está en el exterior. En el punto crítico la densidad de vectores es mayor puesto que existe mayor magnitud de flujo. En las zonas donde el límite del cerramiento se aproxima a adiabático el flujo de energía es unidimensional, y en el puente térmico es bidimensional.

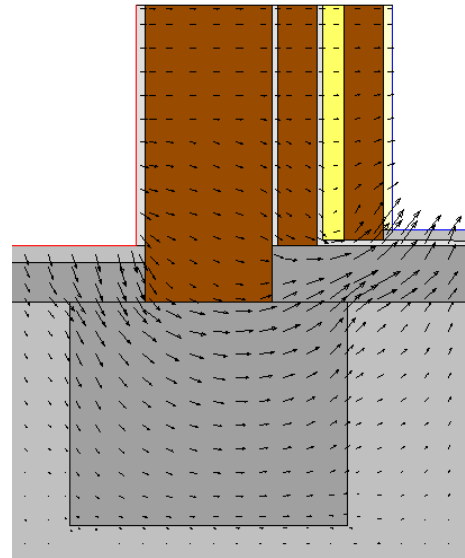


Figura 164. Fachada-Solera. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El aislante térmico evita que la temperatura del interior se transmita por la fachada hacia el exterior. Con mayor facilidad se transmite la temperatura por la solera, perdiendo energía por esta zona.

En la pared vertical la temperatura superficial está a 24 °C aproximadamente, mientras que la superficie del suelo está a alrededor de 25 °C.

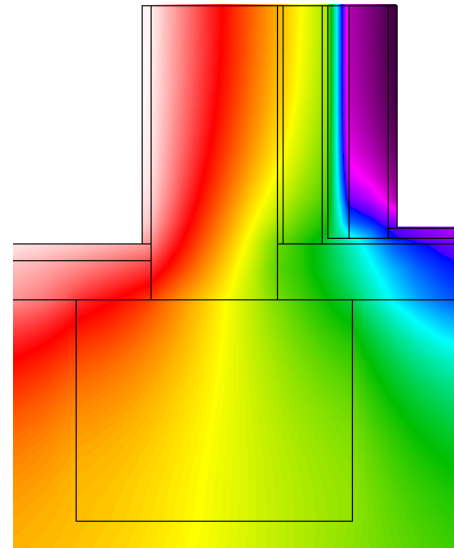
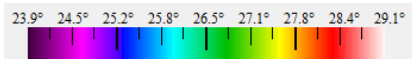


Figura 165. Fachada-Solera. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

Como se ha dicho anteriormente, el flujo de energía se transmite por la zona inferior a la fachada, dado que tiene una mayor conductividad térmica.

Por la fachada apenas hay flujo de energía debido, principalmente, a las propiedades térmicas del aislante y al reducido gradiente térmico.

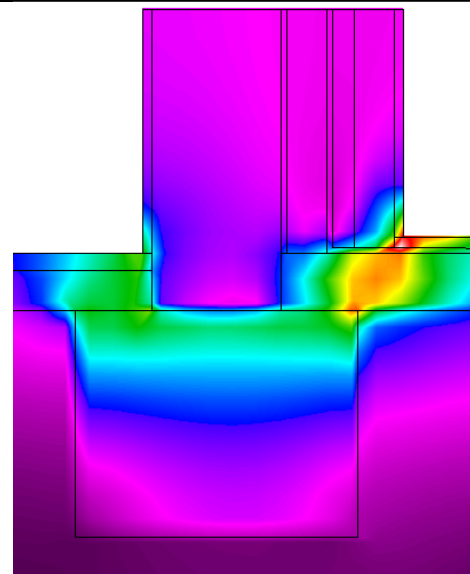
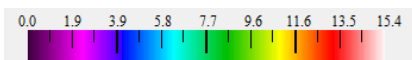


Figura 166. Fachada-Solera. Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Solera. Estado rehabilitado. Invierno.

FACHADA-SOLERA. REHABILITADO. OESTE. INVIERNO. T^a ext = 4,5°C; T^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,4432	0,47	-	0,4027	-	0,5812	0,3919	15,8	0,7063

Tabla 48. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera rehabilitado. Zona oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Solera. Estado rehabilitado. Verano.

FACHADA-SOLERA. REHABILITADO. OESTE. VERANO. T^a ext = 29,2°C; T^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,4432	0,47	-	0,4027	-	0,5812	0,3919	25,2	0,7018

Tabla 49. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Solera rehabilitado. Zona oeste. Verano.

O17A) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (BALCÓN). INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

En la planta primera, la fachada de fábrica de ladrillo se encuentra con el balcón, que se mantiene como el estado original, únicamente se trasdosa la fachada al igual que en toda la fachada oeste.

El elemento metálico de sujeción del balcón tiene una elevada conductividad térmica, que será la principal causa de las pérdidas o ganancias de energía.

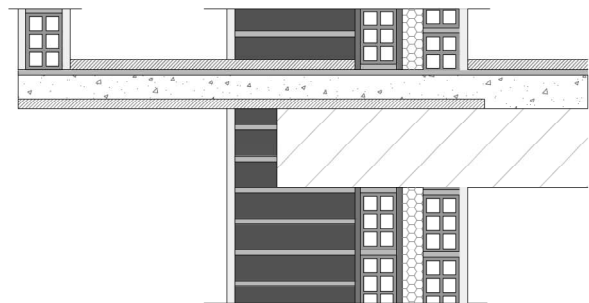


Figura 167. Fachada-Forjado (balcón). Zona oeste. Estado rehabilitado.

Líneas isotermas.

El aislante térmico limita la salida de energía por la fachada, cuando ésta se encuentra con el balcón, la madera posee características térmicas favorables, pero el elemento metálico no, por lo tanto, la energía del interior se pierde por ahí.

El punto crítico superficial se encuentra en la esquina superior al forjado, donde se encuentra con la fachada, y está a 14,3 °C, temperatura muy reducida.

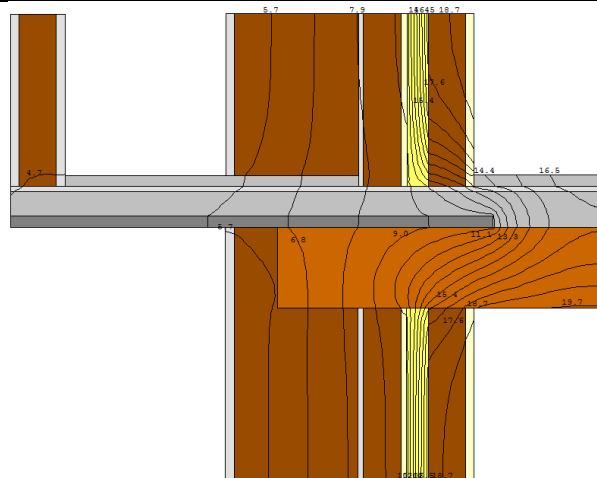


Figura 168. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

En la imagen se observa que el flujo de energía pasa casi únicamente por el elemento metálico, permitiendo que por éste se filtre la temperatura interior hacia el exterior.

Esto puede llevar a error, ya que por el resto de la sección sí existe flujo de energía, aunque en menor medida, como se verá en el gráfico de flujo.

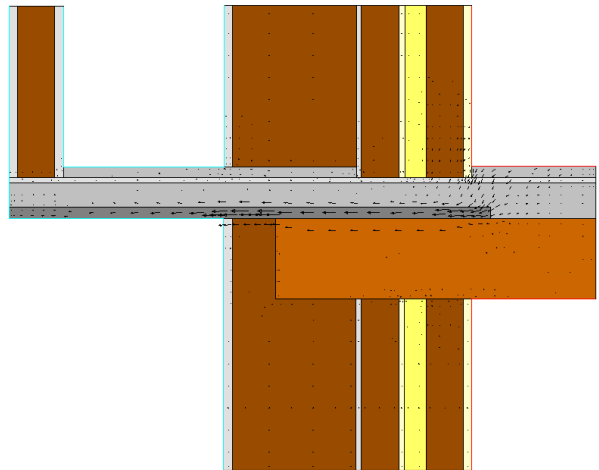


Figura 169. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La temperatura interior se disipa a través del cerramiento, manteniéndose mediante el aislante térmico. Cuando éste se corta, la temperatura se disipa con mayor facilidad, especialmente mediante el elemento metálico.

Las paredes verticales se encuentran a una temperatura aproximada de 19,5 °C.

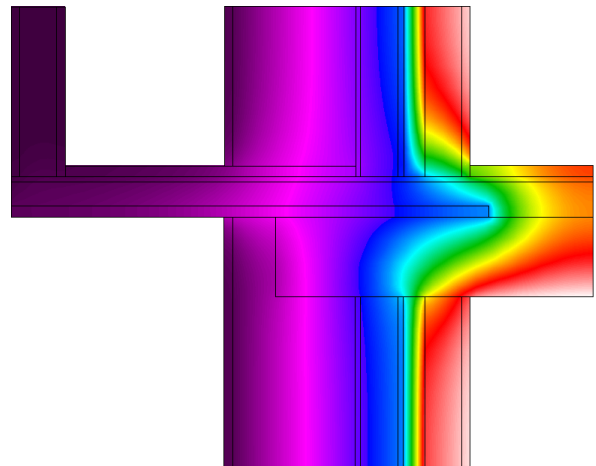
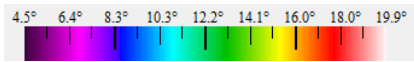


Figura 170. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

La gran conductividad del elemento metálico hace que los resultados del resto de la sección no sean claros, debido al gran flujo de energía que fluye por él, llegando a 400 W/m2 en algunos puntos.

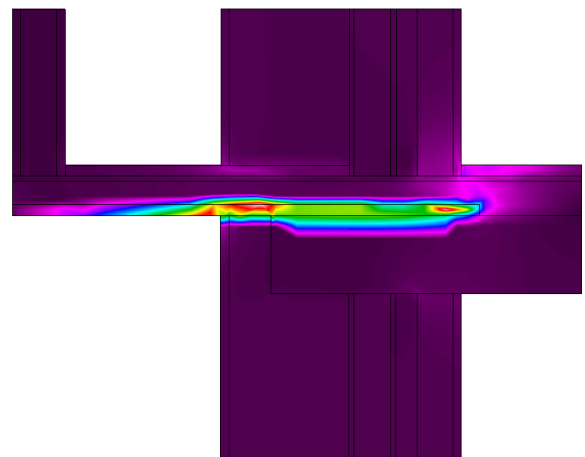
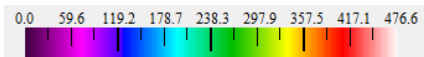


Figura 171. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

O17B) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (BALCÓN). VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

Igual que en el caso de invierno, las líneas isotermas muestran la gran conductividad de la chapa metálica, que introduce las altas temperaturas exteriores al interior de la vivienda.

El punto crítico de la sección se encuentra en la esquina superior del forjado, en el encuentro con la fachada, y se encuentra a una temperatura de 25,7 °C.

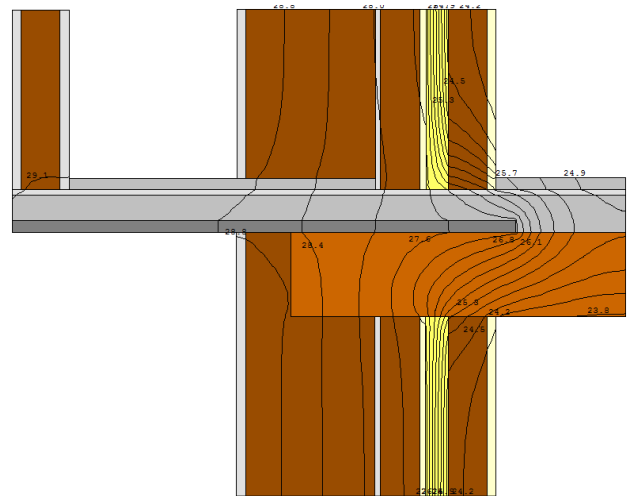


Figura 172. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Del mismo modo que en invierno, la gran conductividad térmica del elemento metálico se ve en la densidad de los vectores de flujo, dejando el resto de materiales sin una lectura clara.

Los vectores de las capas uniformes son unidireccionales mientras que en el puente térmico son bidimensionales.

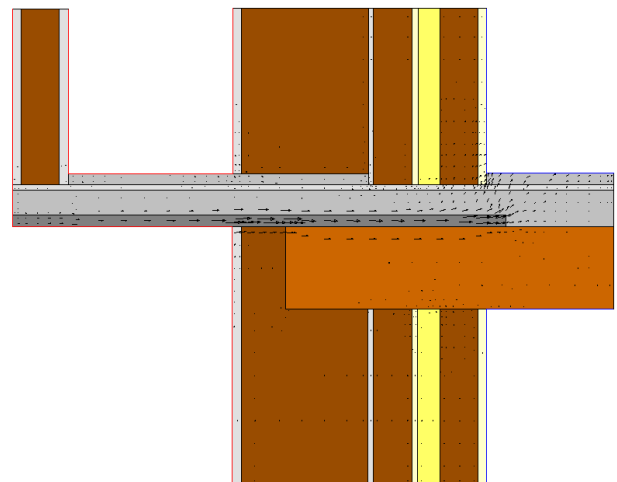


Figura 173. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La temperatura cálida del exterior se transmite a través de las capas del cerramiento, filtrando calor al interior de la vivienda. En este caso, especialmente, a través de la chapa metálica.

El aislante térmico introducido en la fachada permite que la temperatura superficial interior de los paramentos verticales se mantenga alrededor de los 24 °C.

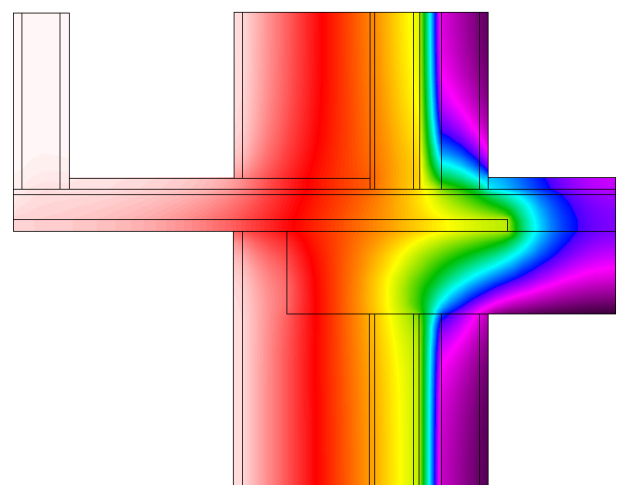
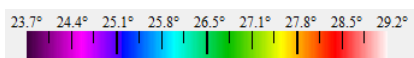


Figura 174. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Como en el caso de invierno, los resultados se ven alterados por el alto flujo de energía que pasa a través del elemento metálico, dejando al resto de materiales con una reducida magnitud, en comparación.

El flujo en la chapa metálica alcanza en algún punto los 150 W/m², mientras que en el punto crítico está alrededor de los 30 W/m².

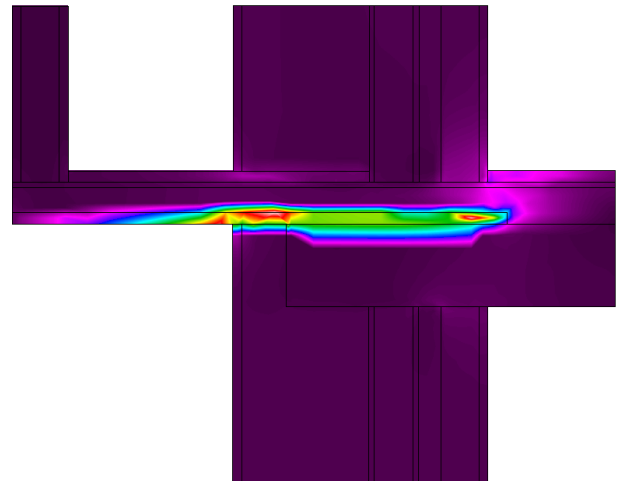
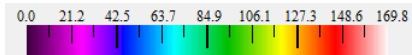


Figura 175. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Estado rehabilitado. Invierno.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). REHABILITADO. OESTE.								
INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,7131	0,47	-	0,6167	-	1,0564	0,7666	14,3	0,6125

Tabla 50. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) rehabilitado. Zona oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Estado rehabilitado. Verano.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). REHABILITADO. OESTE.								
VERANO. T ^a ext = 29,2°C; T ^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,7131	0,47	-	0,6167	-	1,0564	0,7666	25,7	0,6140

Tabla 51. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) rehabilitado. Zona oeste. Verano.

O18A) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA). INVIERNO.

Descripción

Detalle constructivo.

Al igual que en el estado original, la fachada de fábrica de ladrillo cerámico se encuentra con el forjado de viguetas de madera y revoltón, introduciéndose éste en la fachada para mejor distribución de cargas, en este caso se analiza la sección por la vigueta.

A esto añadimos el trasdosado con ladrillo hueco doble con aislante térmico de 4 cm. de espesor.

Detalle

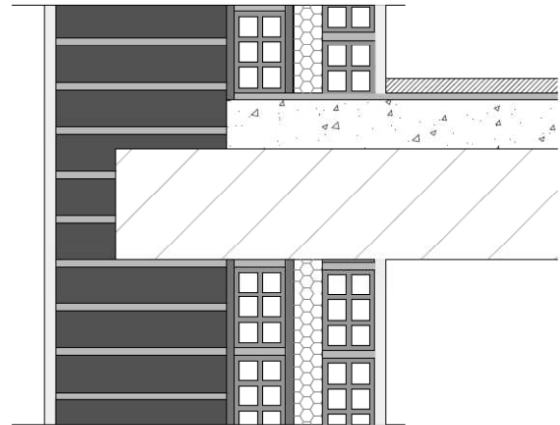


Figura 176. Fachada-Forjado (por vigueta). Zona oeste. Estado rehabilitado.

Líneas isotermas.

La transmitancia térmica de la fachada se ve mejorada por la introducción del aislante térmico. Cuando éste se corta por la entrada del forjado, se ve una disminución de las propiedades térmicas, permitiendo transferir con mayor facilidad la energía del interior al exterior.

Aún así, la madera de la vigueta posee características térmicas favorables, por tanto el resultado general es aceptable.

El punto crítico de la sección se encuentra en la esquina superior del forjado, y se encuentra a una temperatura de 18,7 °C.

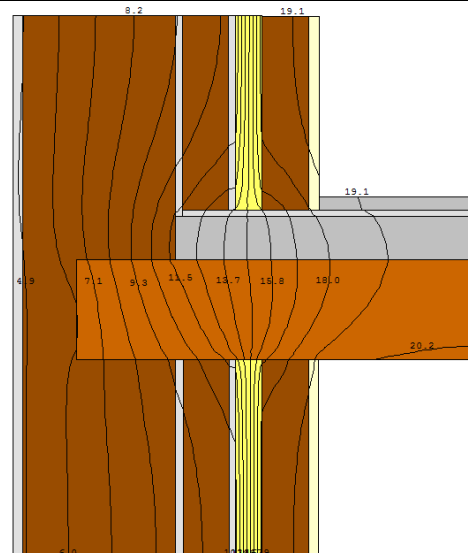


Figura 177. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

El flujo de energía es unidimensional cuanto más se aleja del encuentro, y bidimensional en el propio encuentro.

El sentido del flujo es del interior al exterior, y transitará por las zonas donde los materiales de la sección tengan una mayor conductividad térmica.

En este caso el flujo pasará por la zona del solado hasta el entrevigado, donde no hay aislante térmico, para llegar a la capa exterior del cerramiento.

También existe una acumulación de flujo de energía en la esquina inferior del forjado, bordeando superiormente el aislante térmico.

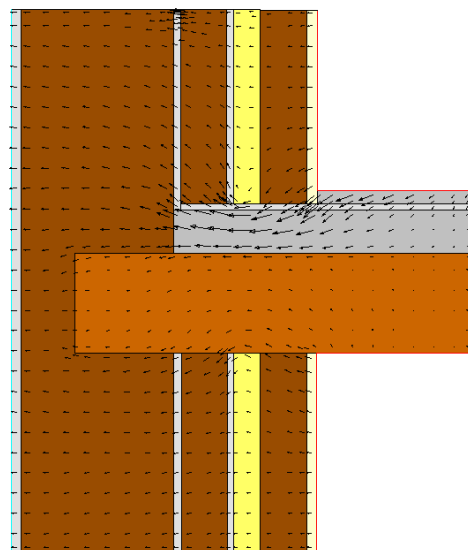


Figura 178. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

En la imagen de infrarrojos, se advierten las condiciones térmicas del puente térmico, que no permite que el frío exterior adentre en el interior, en primer lugar gracias al aislante térmico, y a la conductividad de la vigueta de madera.

Se consiguen temperaturas radiantes favorables, ya que la superficie interior de las paredes está a aproximadamente 19,7 °C.

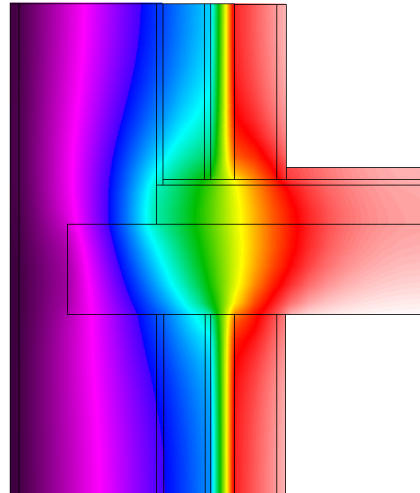
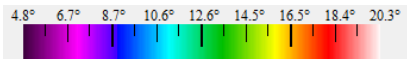


Figura 179. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

El flujo de energía, como se ha comentado, se acumula en las zonas faltas de aislamiento térmico, especialmente en las zonas con altas conductividades térmicas, como, en este caso, el escombro dispuesto en el entrevigado y sobre la vigueta de madera.

El flujo pasa a través del punto crítico, con una medida de aproximadamente 30 W/m2.

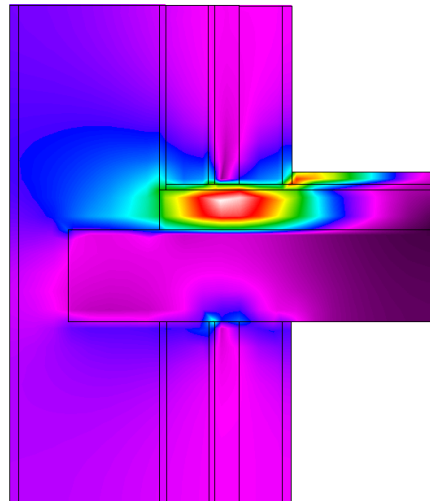
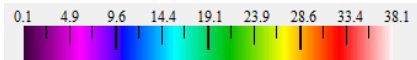


Figura 180 Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía.

O18B) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA). VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

De la misma manera que en invierno evita la salida de energía, en verano el aislante térmico disminuye la entrada de energía por el cerramiento vertical.

las líneas isotermas se agrupan a lo largo del espesor del aislante, mientras que, en ausencia de éste, las isotermas se separan, provocando que la entrada de calor se produzca por la zona sin aislar.

El punto crítico se encuentra a 24,1 °C de temperatura superficial y se localiza en el mismo punto que en invierno.

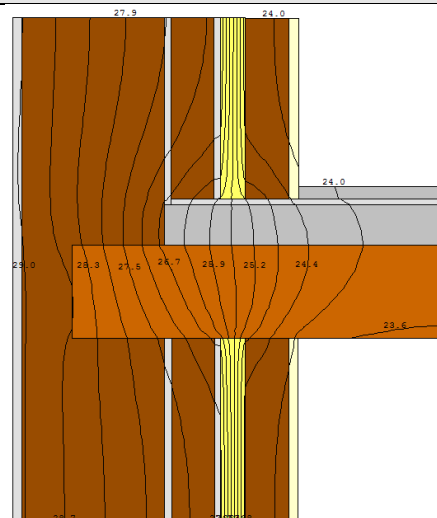


Figura 181. Fachada-Forjado (por vigueta). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

En este caso, los vectores de flujo cambian de sentido, ya que la temperatura en verano penetra del exterior al interior.

El flujo flanquea el aislante, ya que busca transmitirse por los materiales con más elevada conductividad térmica.

Por lo tanto, se acumulan principalmente, al igual que en invierno, en la zona de escombros, encima de la vigueta de madera.

En los extremos de la sección, el flujo tiende a ser unidimensional, mientras que en el puente térmico se vuelve bidimensional.

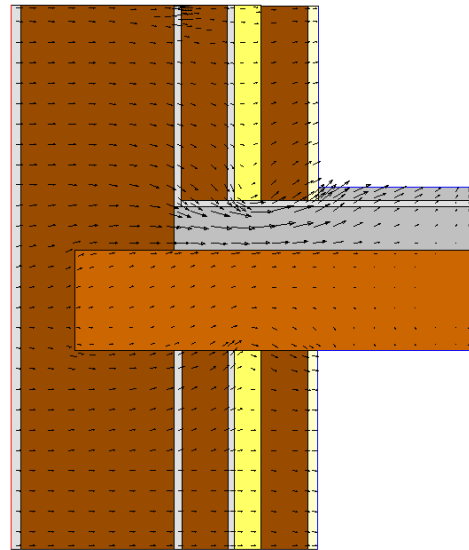


Figura 182. Fachada-Forjado (por vigueta). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La imagen de infrarrojos muestra que la temperatura caliente del exterior no logra penetrar en el interior de la vivienda, ya que la temperatura superficial de las paredes interiores está a alrededor de 23,8 °C.

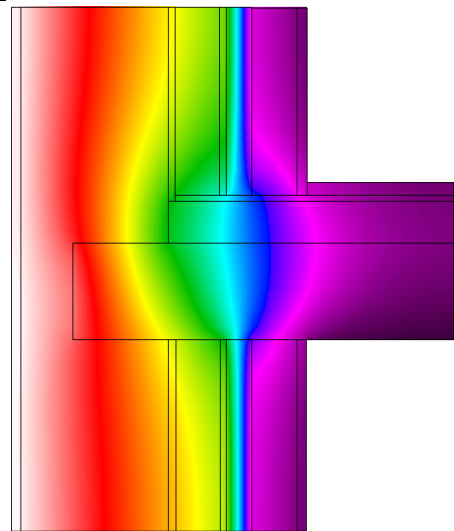
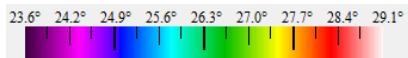


Figura 183. Fachada-Forjado (por vigueta). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Como en invierno, la energía se transmite por los materiales con más elevada conductividad térmica, en este caso el material de relleno del revoltón.

El aislante térmico no deja transmitir a través suyo la energía, dando resultados casi nulos de flujo.

El punto crítico tiene un flujo de energía de 12 W/m² aproximadamente, muy reducido debido al bajo gradiente térmico en verano.

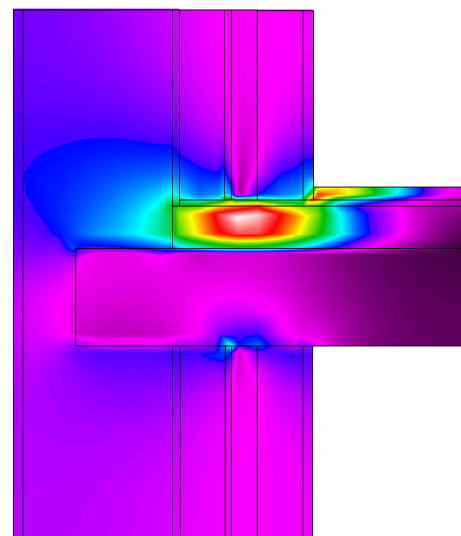
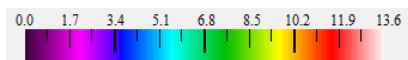


Figura 184. Fachada-Forjado (por vigueta). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta). Estado rehabilitado. Invierno.

FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA). REHABILITADO. OESTE. INVIERNO. Tª ext = 4,5°C; Tª int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
0,7469	0,47	-	0,5691	-	0,4251	0,1576	18,7	0,8875

Tabla 52. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) rehabilitado. Zona oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (por vigueta). Estado rehabilitado. Verano.

FACHADA-FORJADO (POR VIGUETA). REHABILITADO. OESTE. VERANO. Tª ext = 29,2°C; Tª int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
0,7469	0,47	-	0,5691	-	0,4251	0,1576	23,9	0,9298

Tabla 53. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por vigueta) rehabilitado. Zona oeste. Verano.

O19A) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN). INVIERNO.

Descripción

Detalle constructivo.

En el encuentro de la fachada por la zona del entrevigado, el revoltón, las condiciones térmicas, previsiblemente, no serán demasiado desfavorables, ya que el aislante térmico es discontinuo por poca longitud (aprox. 7-8 cm.).

Detalle

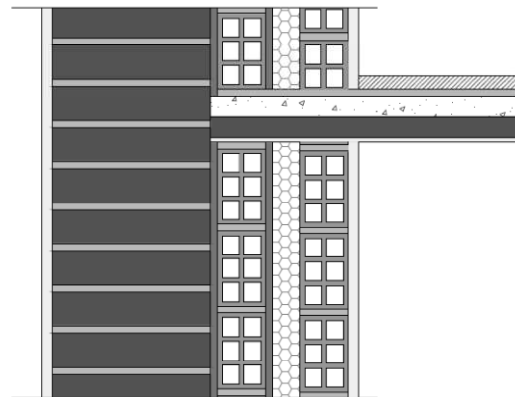


Figura 185. Fachada-Forjado (por revoltón). Zona oeste. Estado rehabilitado.

Líneas isotermas.

Las líneas isotermas permanecen unidas a lo largo del aislante, mientras que se separan en la discontinuidad de éste, por tanto, será por la discontinuidad por donde filtre la energía del interior de la vivienda hacia el exterior.

El punto crítico está en la zona inferior del forjado, a una temperatura de 18,2 °C.

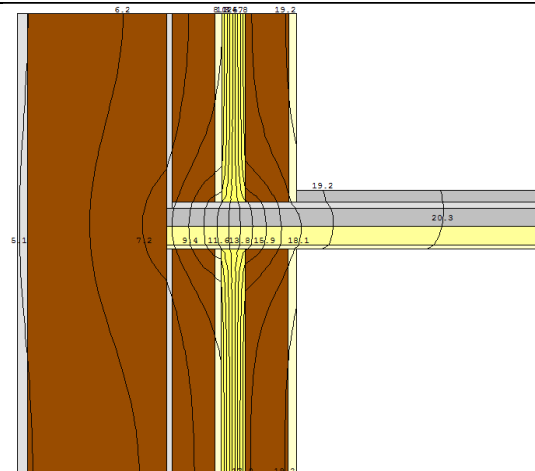


Figura 186. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo de energía se acumulan en la zona con más elevada conductividad térmica, que es por donde discurrirá la energía.

En este caso, el calor interior se filtrará hacia el exterior por la zona de relleno del revoltón, por la ausencia de aislamiento térmico, llegando a la capa exterior del cerramiento, y de ahí hasta el exterior.

El flujo es unidimensional cuando la sección es uniforme y no tiene discontinuidades, cuando la fachada se encuentra con el forjado se convierte en bidimensional.

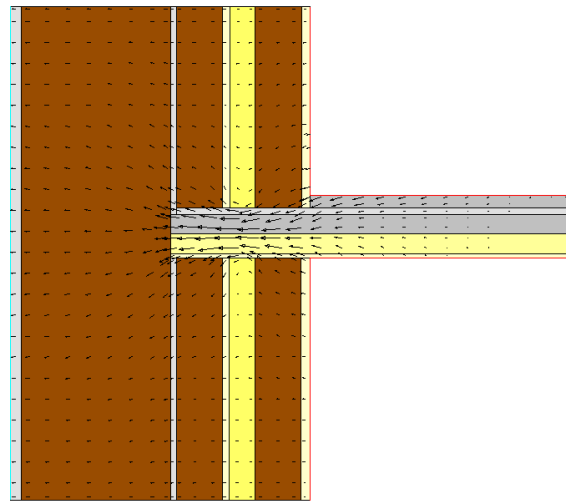


Figura 187. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El aislante térmico evita que el frío exterior se introduzca en la vivienda, manteniendo la superficie de las paredes interiores a aproximadamente 19,5 °C

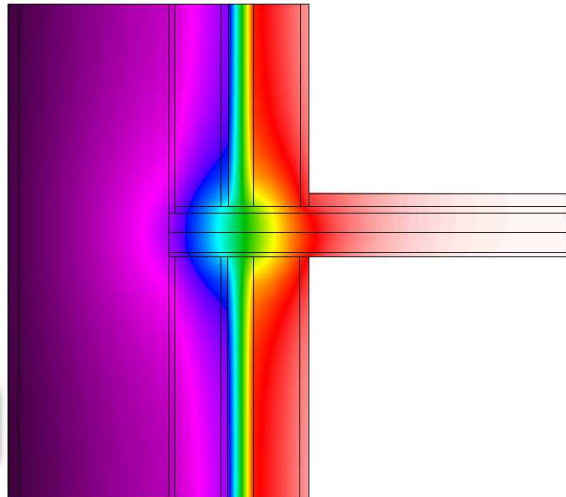
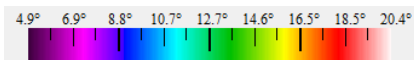


Figura 188. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Como se ha dicho, la energía fluye, principalmente, por la zona con mayor conductividad térmica, en este caso, el relleno del revoltón, llegándose a una magnitud de más de 70 W/m².

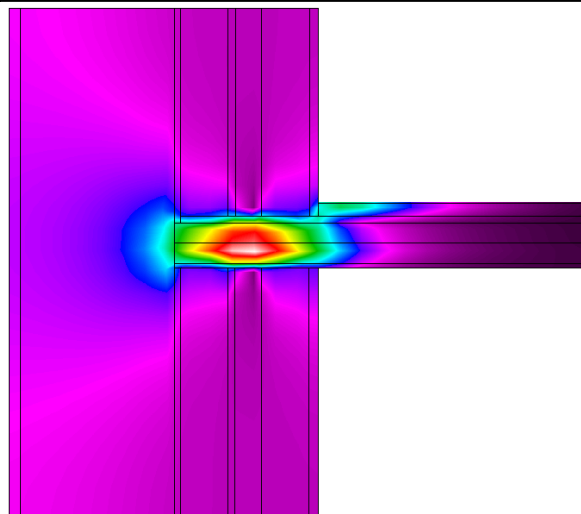
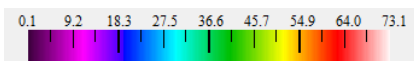


Figura 189. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía.

O19B) ENCuentRO FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN). VERANO.

Descripción

Líneas isotermas.
 Sucede lo mismo en verano, las líneas isotermas se juntan en el aislante térmico y se separan en ausencia de éste, donde se producirá la mayor parte de intercambio de energía y temperatura. El punto crítico de la sección se ubica en el mismo sitio y, en este caso, está a una temperatura de 24,3 °C.

Detalle

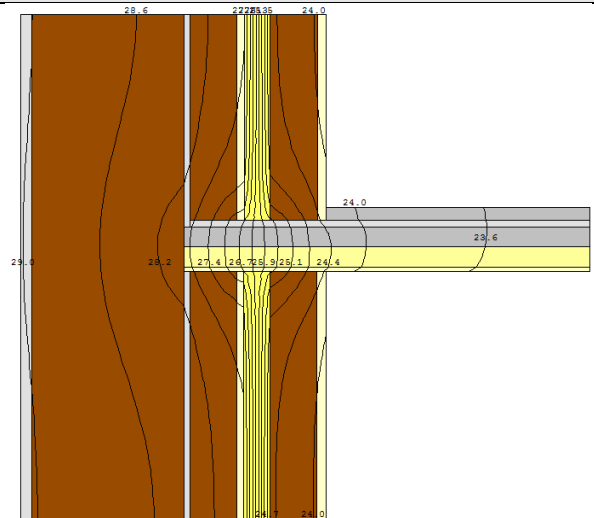


Figura 190. Fachada-Forjado (por revoltón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo de energía modifican el sentido, ya que, en verano, la energía penetra del exterior al interior.
 La energía fluye esencialmente por la zona donde no hay aislamiento térmico, ya que existe mayor conductividad térmica.
 En las zonas uniformes del cerramiento, el flujo es unidimensional, mientras que en la zona del encuentro constructivo el flujo de energía es bidimensional.

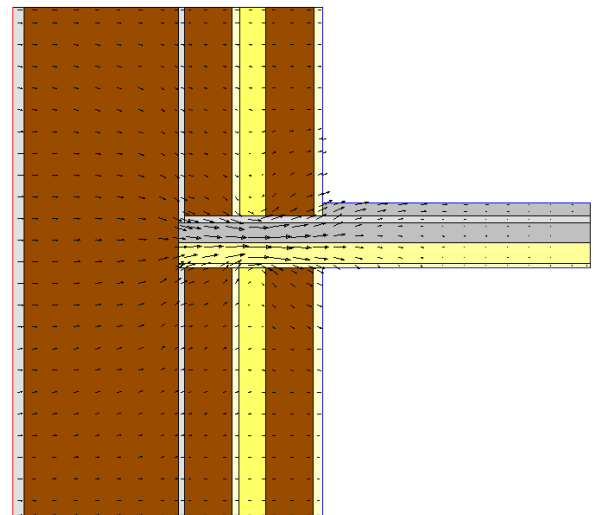


Figura 191. Fachada-Forjado (por revoltón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La temperatura caliente del exterior penetra en la capa exterior del cerramiento, gracias al aislamiento.
 La temperatura fresca del interior se mantiene, en gran medida, por la ubicación del aislante.
 La superficie interior de la fachada está a aproximadamente 23,8 °C.

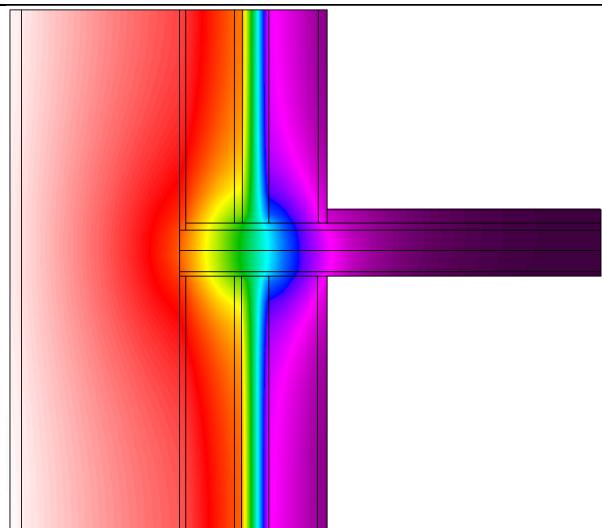
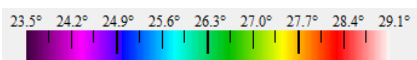


Figura 192. Fachada-Forjado (por revoltón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

Al igual que en invierno, el flujo de energía discurre por donde los materiales con mayor conductividad térmica.

En este caso, la energía fluye por el material de relleno del entrevigado, ya que es el de mayor conductividad.

El punto crítico está sobre los 15 W/m², un flujo reducido debido a la situación de verano y su menor gradiente térmico.

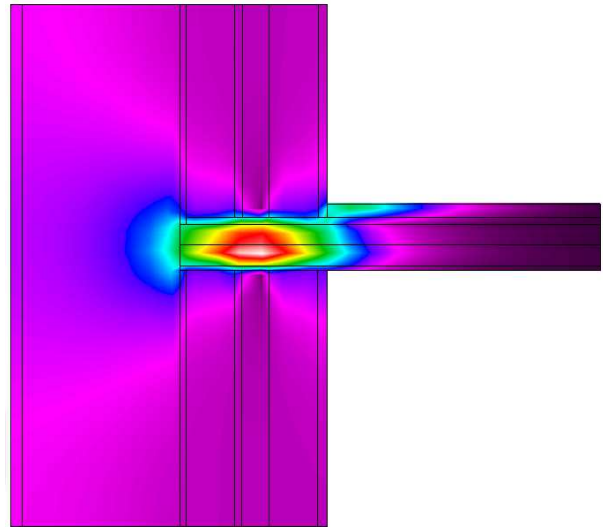
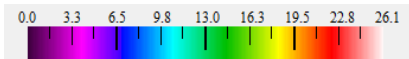


Figura 193. Fachada-Forjado (por revoltón). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Fachada-Forjado (por revoltón). Estado rehabilitado. Invierno.

FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN). REHABILITADO. OESTE.								
INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
0,8745	0,47	-	0,6598	-	0,5770	0,2669	18,2	0,8563

Tabla 54. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) rehabilitado. Zona oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Fachada-Forjado (por revoltón). Estado rehabilitado. Verano.

FACHADA-FORJADO (POR REVOLTÓN). REHABILITADO. OESTE.								
VERANO. T ^a ext = 29,2°C; T ^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
0,8745	0,47	-	0,6598	-	0,5770	0,2669	24,3	0,8596

Tabla 55. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (por revoltón) rehabilitado. Zona oeste. Verano.

O20A) ENCUENTRO FACHADA-CUBIERTA. INVIERNO.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

En la zona oeste, la fachada termina con una cubierta transitable, acabada con un tejado a base de tabiquillos conejeros como formación de pendientes, que se considera como cámara de aire ligeramente ventilada.

La formación de pendientes de la cubierta plana es a base de hormigón celular.

La sección dispone de aislamiento térmico bajo la cubierta, así como en el trasdosado de la fachada.

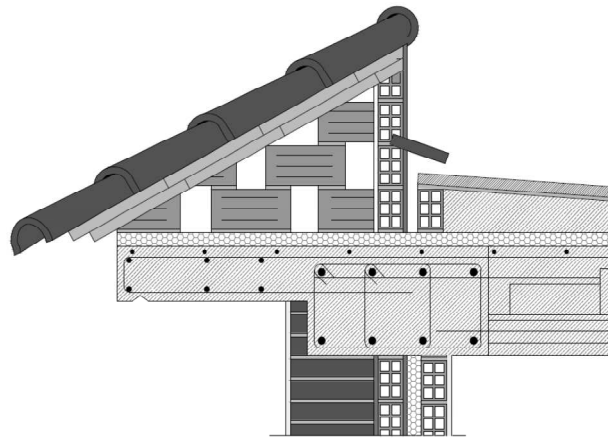


Figura 194. Fachada-Cubierta. Zona oeste. Estado rehabilitado.

Líneas isotermas.

Las líneas isotermas muestran la evolución de la temperatura a través de la sección constructiva.

El aislante tiene una discontinuidad en el encuentro con el forjado de hormigón, por esta zona tendrá la mayor parte de pérdida de energía de la vivienda.

El punto crítico se encuentra en la esquina interior que forman el forjado y la fachada, y está a una temperatura de 16,1 °C.

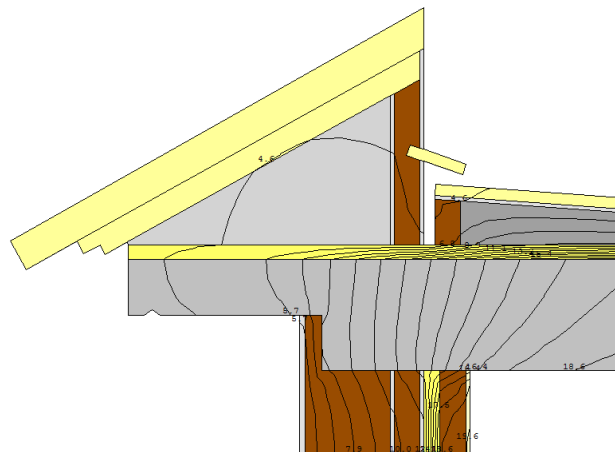


Figura 195. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de energía muestran claramente que el flujo de energía evita las zonas con aislante térmico (fachada y cubierta), y discurre a través de la discontinuidad de éste (forjado), ya que busca el camino con mayor conductividad térmica.

En la zona más alejada del puente térmico el flujo es unidimensional, mientras que en la zona más cercana al encuentro, el flujo es bidimensional.

El punto crítico tiene una gran densidad de vectores de flujo.

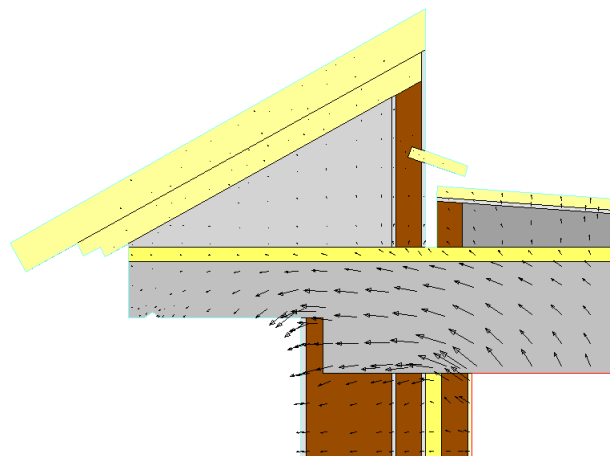


Figura 196. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

Los infrarrojos muestran que entre la discontinuidad entre los aislantes térmicos (fachada y cubierta) se transmite gran parte de la energía.

La pared interior está a una temperatura superficial de aproximadamente 19,8 °C, mientras que la superficie interior del techo está a alrededor de 19,5 °C. Por lo tanto los aislantes trabajan favorablemente, la problemática se encuentra en la discontinuidad entre ellos.

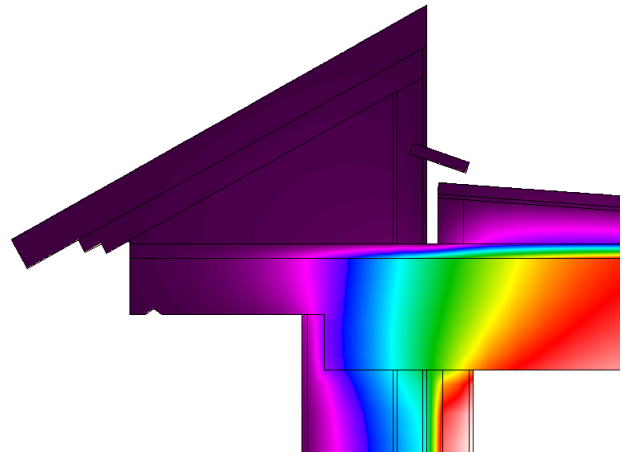
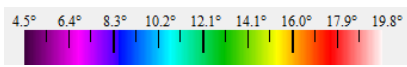


Figura 197. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

El flujo de energía circula por el forjado de hormigón, atravesando el punto crítico con una capacidad de unos 40 W/m².

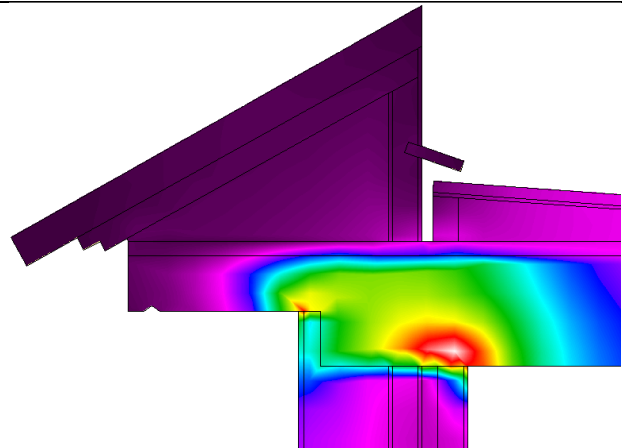
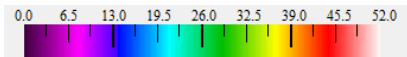


Figura 198. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.

O20B) ENCUENTRO FACHADA-CUBIERTA. VERANO.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

En verano el calor del exterior pretende alcanzar el ambiente interior.

En este caso, los aislante térmicos no están correctamente situados, ya que por el espacio que queda entre ellos transita la energía.

El punto crítico se mantiene en el mismo lugar, esta vez a una temperatura radiante de 25,1 °C, algo elevada, ya que, por radiación, calentará el ambiente interior, empeorando el confort térmico.

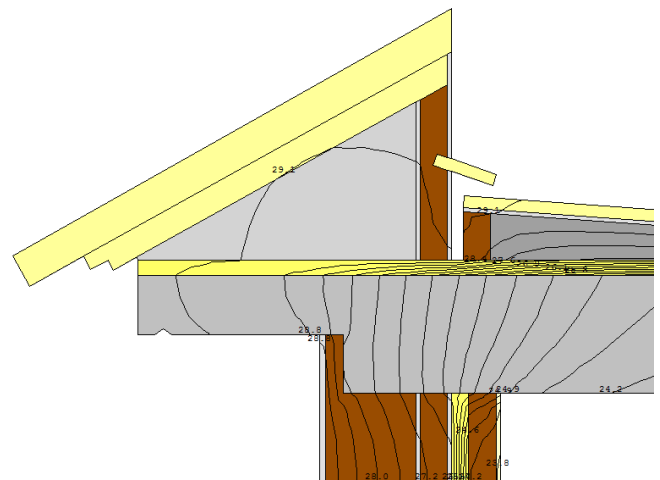


Figura 199. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

En la figura se observa que la mayoría del flujo se transporta por el forjado de hormigón, ya que no posee aislamiento térmico y, por tanto, posee una mayor conductividad térmica.

En el punto crítico existe una gran densidad de vectores de energía, lo que indica la gran cantidad de energía que fluye por dicho punto, en comparación con el resto de la sección.

El flujo en el puente térmico es bidimensional, cuando se aleja de éste vuelve a ser unidimensional.

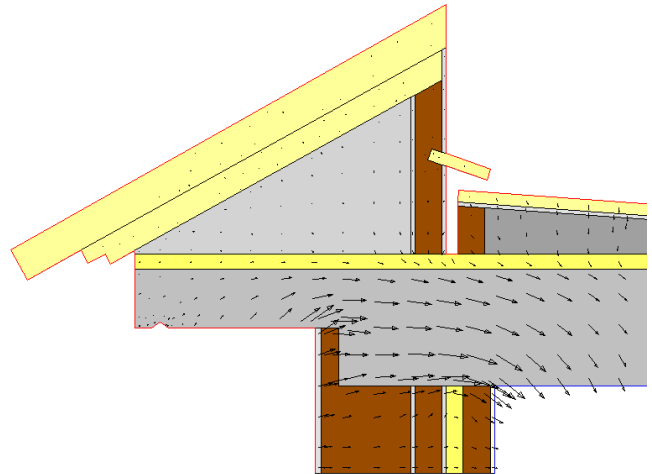


Figura 200. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El calor del exterior se filtra por el forjado de hormigón, penetrando en la vivienda por el punto crítico.

La temperatura aproximada de las superficies interiores es: en la pared vertical de 23,7 °C y; en el techo de 23,9 °C.

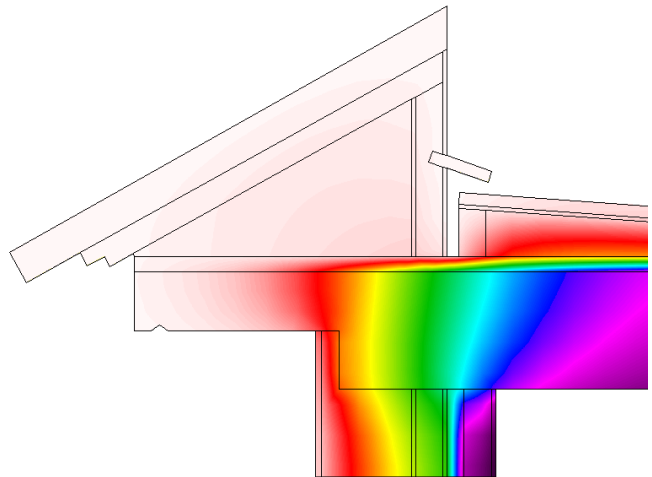
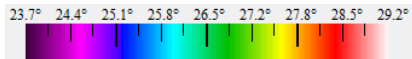


Figura 201. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

El flujo de energía discurre rodeando las zonas con menor conductividad térmica, en este caso, las zonas con aislante térmico.

En el punto crítico se alcanza un flujo de energía de aproximadamente 16 W/m², pero en la zona más desfavorable se alcanzan los 18 W/m². No son valores muy significativos, debido al reducido gradiente térmico que existe en la climatología estudiada.

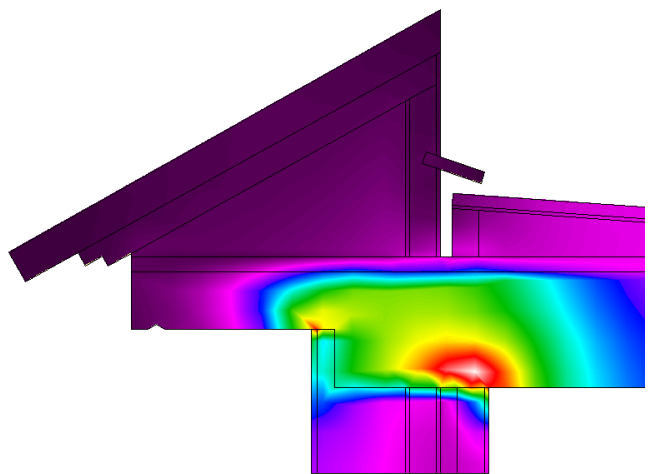
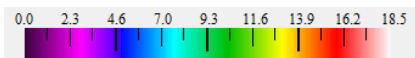


Figura 202. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Estado rehabilitado. Invierno.

FACHADA-CUBIERTA. REHABILITADO. OESTE. INVIERNO. T^a ext = 4,5°C; T^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,0950	0,47	0,45	0,2227	0,8591	1,1845	0,6933	16,1	0,7250

Tabla 56. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta rehabilitado. Zona oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Estado rehabilitado. Verano.

FACHADA-CUBIERTA. REHABILITADO. OESTE. VERANO. T^a ext = 29,2°C; T^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,0950	0,47	0,45	0,2227	0,8591	1,1845	0,6933	25,1	0,7193

Tabla 57. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta rehabilitado. Zona oeste. Verano.

5.4.3. RESUMEN ESTADO REHABILITADO

A pesar de haber introducido el aislante térmico, continúan existiendo encuentros constructivos donde la transmitancia térmica lineal no cumple con la normativa vigente. La transmitancia térmica de los muros opacos cumple sobradamente los límites establecidos por el CTE DB HE, pero al existir discontinuidad del aislamiento y, por tanto, puentes térmicos, la transmitancia térmica pierde eficacia en estos puntos y deja de trabajar favorablemente.

A efectos de condensaciones, todos los encuentros cumplen la limitación normativa.

	Cód.	Puente térmico	E. rehabilitado	Normativa	E. rehabilitado	Normativa
			Ψ	Ψ _{máx}	FRsi	FRsi, mín
Zona este	E11)	Solera-Fachada	0,5944	0,75	0,6827	0,56
	E12)	Fachada-Forjado	0,8519	0,75	0,7553	0,56
	E13)	Fachada-Forjado (balcón)	1,1254	0,75	0,7065	0,56
	E14)	Pilar esquina	0,3022	0,75	0,8761	0,56
	E15)	Fachada-Cubierta	1,1302	0,50	0,7159	0,56
Zona oeste	O16)	Solera-Fachada	0,3919	0,75	0,7040	0,56
	O17)	Fachada-Forjado (balcón)	0,7666	0,75	0,6133	0,56
	O18)	Fachada-Forjado (por vigueta)	0,1576	0,75	0,9087	0,56
	O19)	Fachada-Forjado (por revoltón)	0,2669	0,75	0,8579	0,56
	O20)	Fachada-Cubierta	0,6933	0,50	0,7221	0,56

Tabla 58. Resumen Estado rehabilitado. Cumplimiento Normativa.

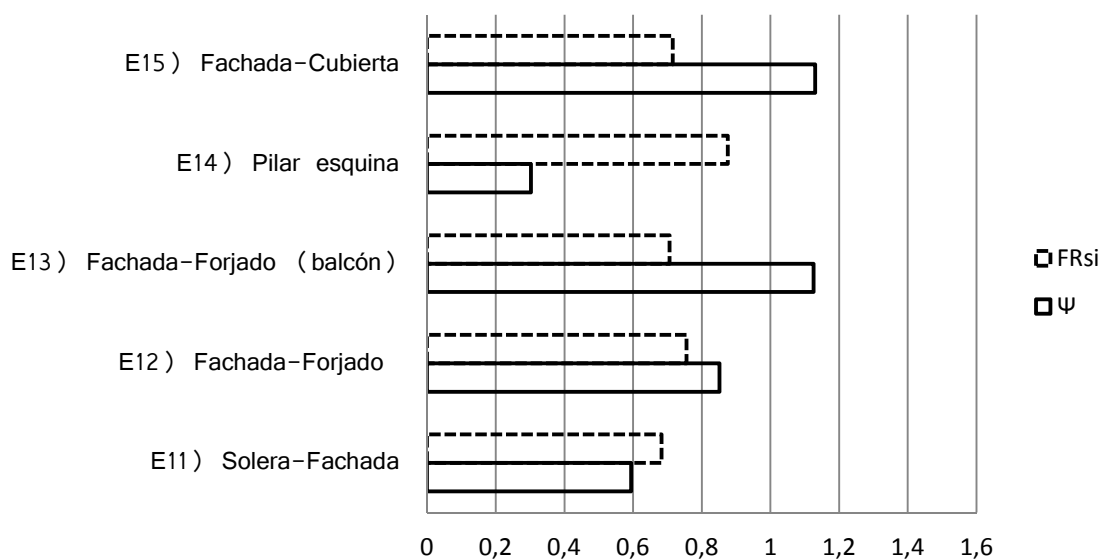


Figura 203. Gráfica Resumen de valores de transmitancia térmica lineal y factor de resistencia superficial interior de los puentes térmicos. Zona Este. Estado rehabilitado.

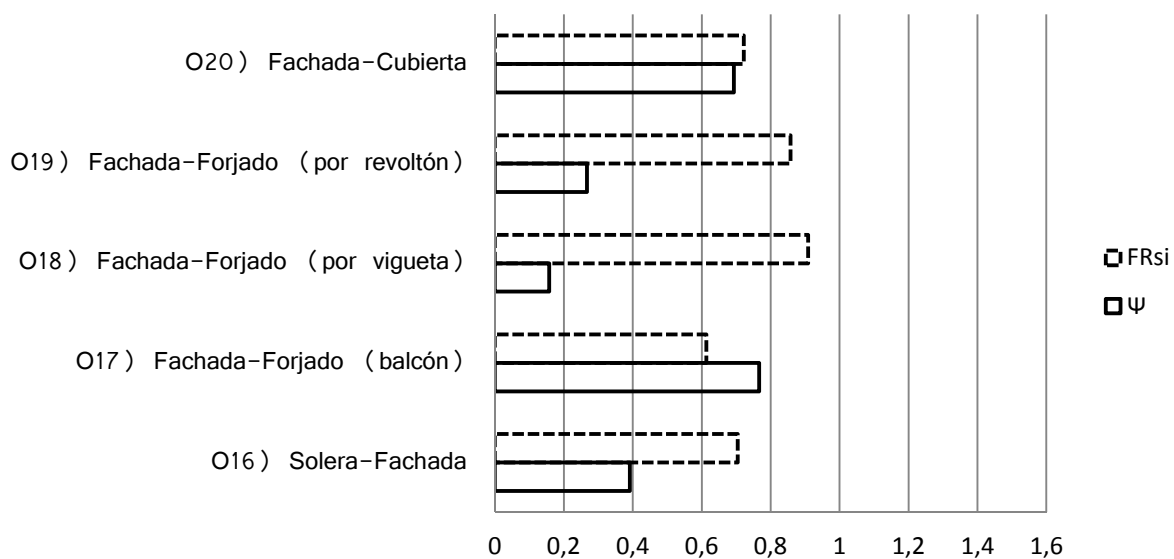


Figura 204. Gráfica Resumen de valores de transmitancia térmica lineal y factor de resistencia superficial interior de los puentes térmicos. Zona Oeste. Estado rehabilitado.

En cuanto a las temperaturas superficiales interiores, y teniendo en cuenta la diferencia de 2 °C con la temperatura ambiental de confort, continúa sin cumplir en algunos puntos en invierno, a pesar de haber mejorado de forma considerable, ya que en la zona climática que corresponde el invierno es más desfavorable.

Cód.	Puente térmico	Tª punto crítico		Intervalo Tª límites	
		Tsi verano	Tsi invierno	Tsi verano máx.	Tsi invierno mín.
Zona este	E11) Solera-Fachada	25,3	15,4	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	E12) Fachada-Forjado	24,9	16,6	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	E13) Fachada-Forjado (balcón)	25,1	15,6	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	E14) Pilar esquina	24,2	18,5	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	E15) Fachada-Cubierta	25,1	15,9	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
Zona oeste	O16) Solera-Fachada	25,2	15,8	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	O17) Fachada-Forjado (balcón)	25,7	14,3	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	O18) Fachada-Forjado (por vigueta)	23,9	18,7	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	O19) Fachada-Forjado (por revoltón)	24,3	18,2	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)
	O20) Fachada-Cubierta	25,1	15,9	21-26 (+2 °C)	18-23 (-2 °C)

Tabla 59. Resumen Estado rehabilitado. Cumplimiento temperaturas superficiales interiores.

5.5. COMPARATIVA DE RESULTADOS. ORIGINAL-REHABILITADO

En este apartado se comparan los resultados obtenidos con el cálculo, tanto de transmitancia térmica lineal del encuentro constructivo, como de temperatura superficial más desfavorable y condiciones de confort.

Se plasman los resultados de los puentes térmicos, en primer lugar el estado original y, de forma seguida, el estado rehabilitado:

Cód. Puentes térmicos	ESTADO ORIGINAL				
	ψ	FRsi	Tsi invierno	Tsi verano	
	W/mK		°C	°C	
Zona este	E1) Solera-Fachada	0,51	0,66	15,2	25,5
	E2) Fachada-Forjado (por vigueta)	0,37	0,77	16,8	24,8
	E3) Fachada-Forjado (por revoltón)	0,29	0,79	17,2	24,7
	E4) Fachada-Forjado (balcón)	0,90	0,57	13,8	26,0
	E5) Fachada-Cubierta	1,06	0,79	17,2	24,7
Zona oeste	O6) Solera-Fachada	0,56	0,72	16,0	25,1
	O7) Fachada-Forjado (balcón)	1,50	0,55	13,3	26,1
	O8) Fachada-Forjado (por vigueta)	0,64	0,77	16,8	24,8
	O9) Fachada-Forjado (por revoltón)	0,72	0,76	16,7	24,9
	O10) Fachada-Cubierta	1,47	0,79	17,1	24,7

Tabla 60. Resumen Estado original.

Cód. Puentes térmicos		ESTADO REHABILITADO			
		ψ	FRsi	Tsi invierno	Tsi verano
		W/mK		°C	°C
Zona este	E11) Solera-Fachada	0,59	0,68	15,4	25,3
	E12) Fachada-Forjado	0,85	0,76	16,6	24,9
	E13) Fachada-Forjado (balcón)	1,13	0,71	15,6	25,1
	E14) Pilar esquina	0,30	0,881	18,5	24,2
	E15) Fachada-Cubierta	1,13	0,72	15,9	25,1
Zona oeste	O16) Solera-Fachada	0,39	0,70	15,8	25,2
	O17) Fachada-Forjado (balcón)	0,77	0,61	14,3	25,7
	O18) Fachada-Forjado (por vigueta)	0,16	0,91	18,7	23,9
	O19) Fachada-Forjado (por revoltón)	0,27	0,86	18,2	24,3
	O20) Fachada-Cubierta	0,69	0,72	15,9	25,1

Tabla 61. Resumen Estado rehabilitado.

Como se observa en las tablas anteriores, todos los puentes térmicos de la fachada oeste mejoran sustancialmente. En la fachada este no cabe comparación, ya que la envolvente se modifica íntegramente, pero se observa cómo, incluso, los puentes térmicos empeoran, ya que el espesor del cerramiento de fachada disminuye de forma considerable, por lo tanto la temperatura exterior penetra con más facilidad por las zonas donde no hay aislamiento térmico.

De forma gráfica, se observa la evolución de éstos encuentros constructivos, comparando los que pueden ser comparados, ya que, por ejemplo, en la zona este el pilar en esquina no tiene precedentes. Por facilidad de lectura se presentan por separado cada zona, tanto la transmitancia térmica lineal como el factor de resistencia superficial interior de cada encuentro constructivo.

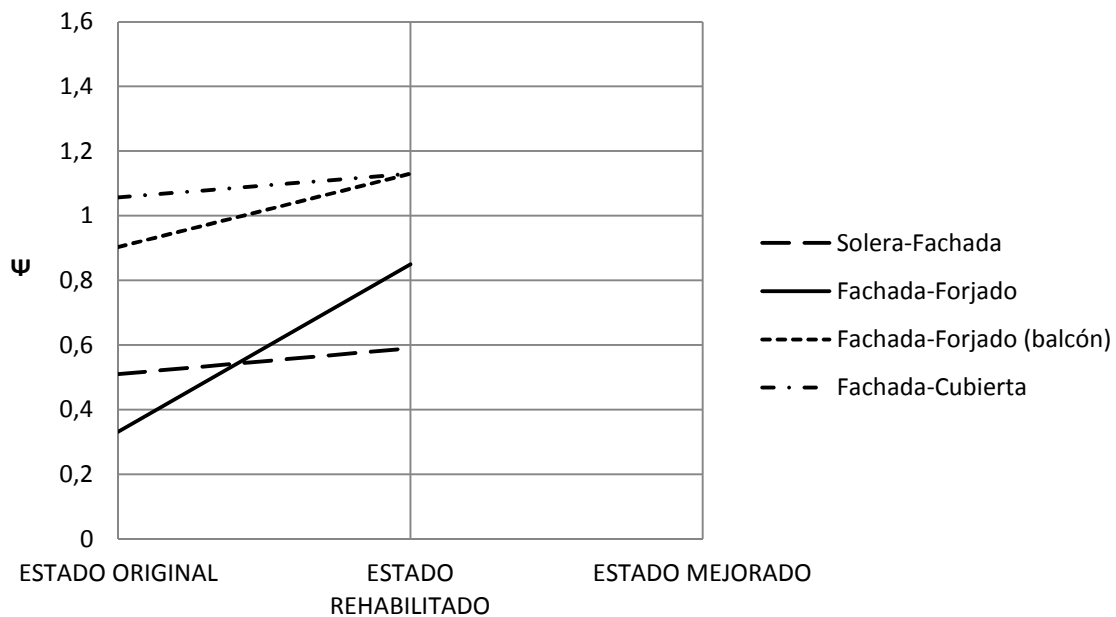


Figura 205. Evolución de la transmitancia térmica lineal. Zona este.

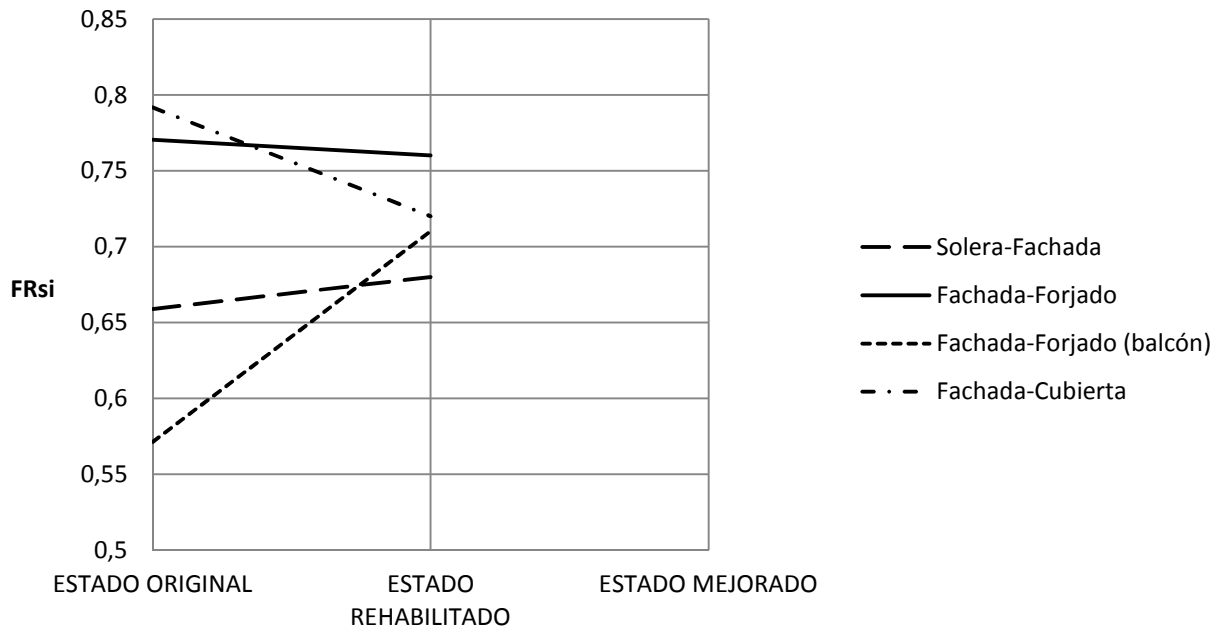


Figura 206. Evolución del factor de resistencia superficial interior. Zona este.

Se observa que, en la zona este, aumenta la transmitancia térmica lineal de todos los encuentros constructivos comparados, en algunos casos, ligeramente, pero en otros, de manera importante. Se han reducido las transmitancias térmicas de los cerramientos, pero no se ha trabajado bien en cuestiones de puentes térmicos, cayendo en un error habitual en la construcción española.

Por otro lado, en materia de condensaciones, los resultados fluctúan, ya que en algunos casos se mejora, mientras que en otros se empeora.

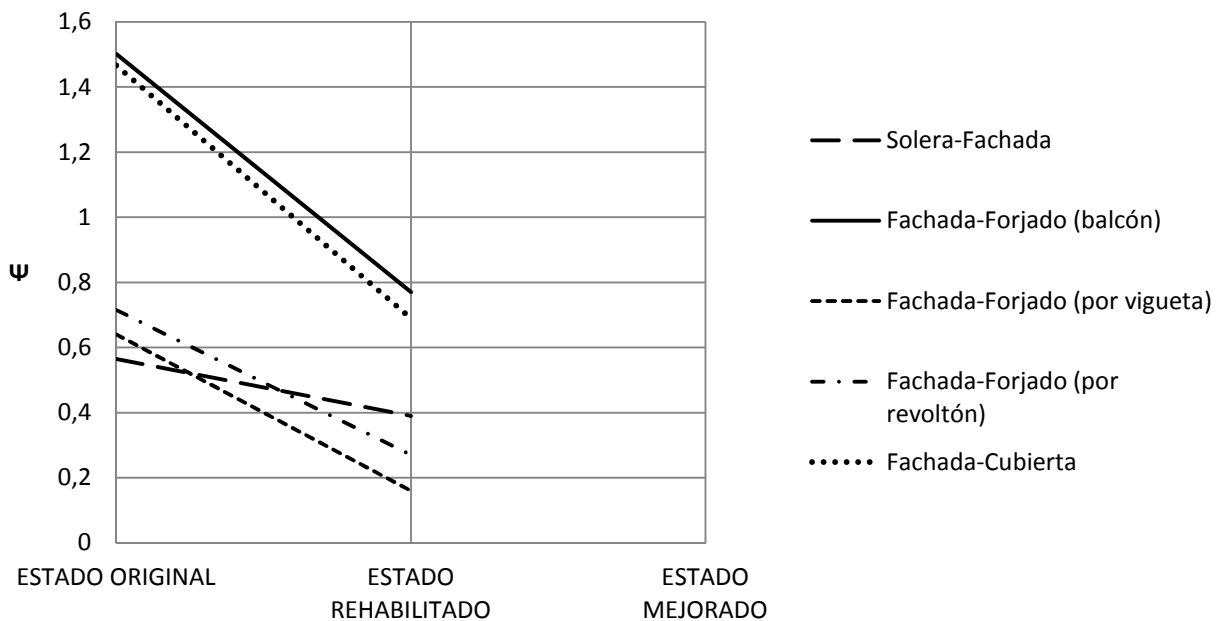


Figura 207. Evolución de la transmitancia térmica lineal. Zona oeste.

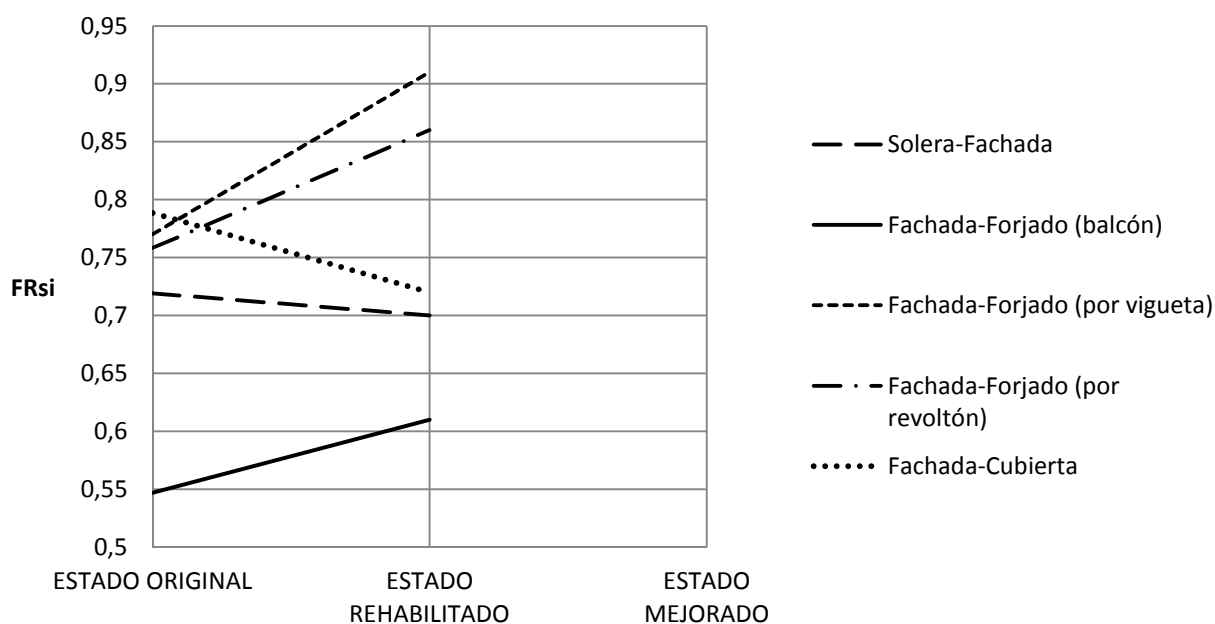


Figura 208. Evolución del factor de resistencia superficial interior. Zona oeste.

En el caso de la zona oeste, la transmitancia térmica lineal de los elementos constructivos mejora de forma significativa, dando buenos resultados. Mientras que, para las condensaciones, los resultados generalmente mejoran, aunque en algún caso se ve reducido, cumpliendo, en todo caso, las exigencias normativas.

5.6. OPTIMIZACIÓN DE RESULTADOS. MEJORAS.

Para los puentes térmicos que, en el estado rehabilitado, no han alcanzado los límites establecidos por la normativa, se proponen una serie de medidas de mejora para alcanzar la eficiencia energética. Los puentes a optimizar son los siguientes:

- E12) Encuentro Fachada-Forjado. Zona este.
- E13) Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Zona este.
- E15) Encuentro Fachada-Cubierta. Zona este.
- O17) Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Zona oeste.
- O20) Encuentro Fachada-Cubierta. Zona oeste.

La mejora propuesta en todos los puentes térmicos es colocar aislante térmico interior en una profundidad de 1 metro de techo perimetralmente, solapando 20 cm con el aislante térmico del cerramiento, ya que el falso techo permite 20 cm libres. Bajo el solado se ubicará 4 cm de mortero de arcilla expandida (arlita), que permitirá una mejor nivelación del pavimento y apoyo de tabiques y solado y, sobretodo, un mejor aislamiento térmico del suelo. Estas dos medidas no ascenderán excesivamente el presupuesto, especialmente el aislante en techo, y proporcionarán un aislamiento adecuado del puente térmico.

5.6.1. ANÁLISIS DE LOS PUENTES TÉRMICOS MEJORADOS

E12A) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO. INVIERNO. MEJORA.

Descripción	Detalle
-------------	---------

Detalle constructivo.

Se coloca perimetralmente, en el techo, una banda de aislante térmico de 1,20 m. de anchura, cubriendo el primer tramo de forjado.

A su vez, se coloca una capa de 4 cm. de arlita (mortero de cemento con adición de fibras) bajo el solado, como base del pavimento, mejorando las características térmicas y acústicas, así como las condiciones de apoyo del solado y tabiquería.

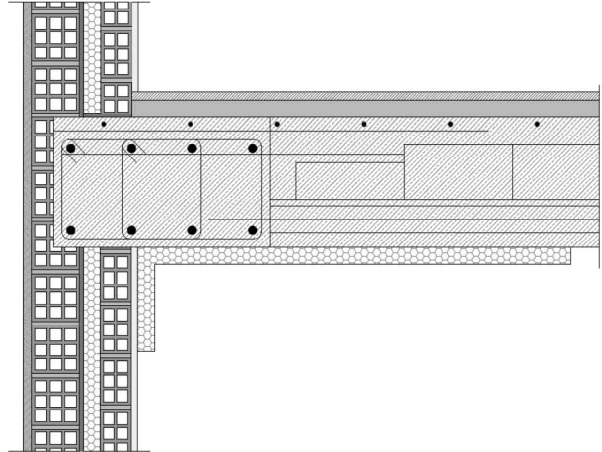


Figura 209. Fachada-Forjado. Zona este. Mejora.

Líneas isotermas.

La temperatura interior se mantiene, ya que el aislante y la arlita no permite que se disperse.

El punto crítico se sitúa en la esquina del pavimento, donde se encuentra con la fachada, siendo la temperatura superficial de 17,2 °C.

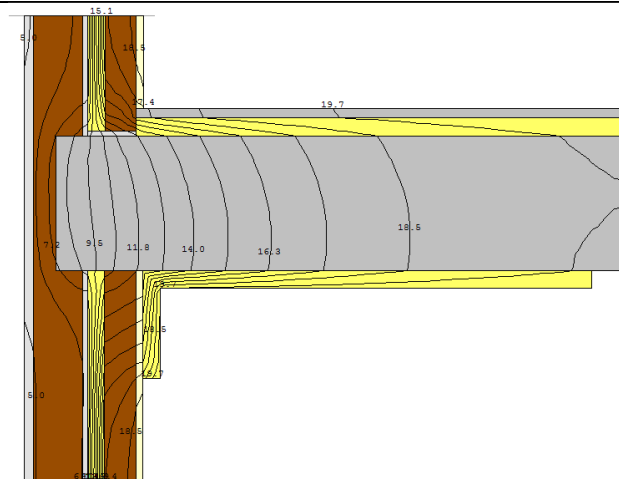


Figura 210. Fachada-Forjado. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo se acumulan en el forjado, pero no llegan a las capas superficiales de la vivienda.

Los vectores pretenden esquivar las zonas con menor conductividad térmica, que son los aislantes. por tanto, la capa interior de fábrica de ladrillo hueco doble se ve muy influenciada por el flujo de energía.

En las proximidades del puente térmico el flujo es bidimensional, mientras que en el resto es unidimensional.

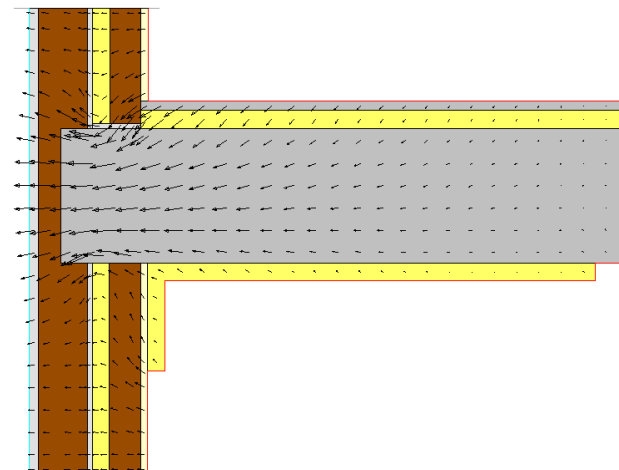


Figura 211. Fachada-Forjado. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La temperatura del interior permanece dentro, debido a la mejora introducida.

Las paredes se hallan a una temperatura superficial de más de 19 °C, el techo más de 20 °C y el suelo a aproximadamente 19,5 °C. Temperaturas radiantes muy favorables en invierno.

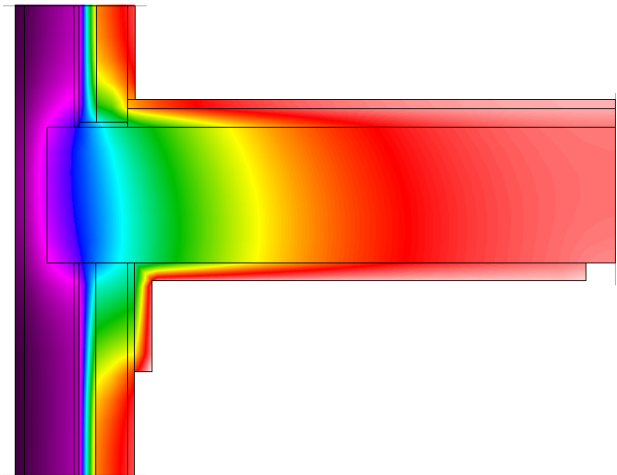
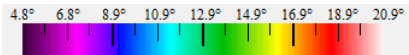


Figura 212. Fachada-Forjado. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

El flujo de energía discurre por el forjado de hormigón, no tiene contacto con la zona inferior de éste (techo), sí, en cambio, tiene contacto con el suelo, especialmente el punto crítico.

Gracias a la colocación de los aislantes, se logra que la magnitud de flujo se reduzca considerablemente.

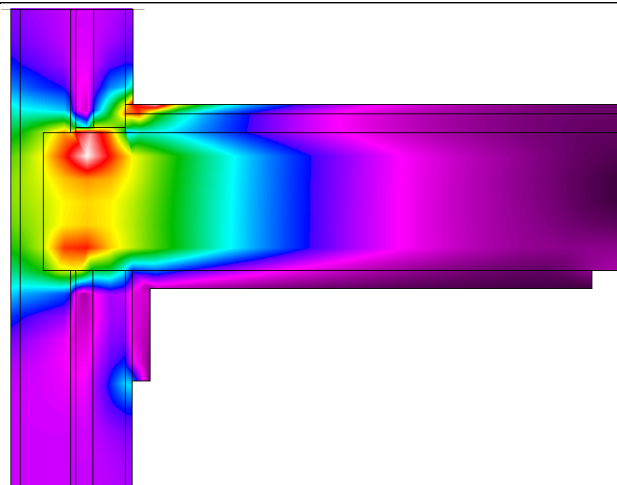
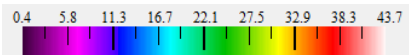


Figura 213. Fachada-Forjado. Flujo de energía.

E12B) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO. VERANO. MEJORA.

Descripción	Detalle
-------------	---------

Líneas isotermas.

En verano el calor del exterior penetra en las capas del cerramiento, y se transmite por los materiales con mayor conductividad térmica. En este caso, se transmite por el forjado de hormigón hasta disiparse.

Otro punto conflictivo es la fábrica de ladrillo doble, ya que el calor entra por el frente de forjado y, por conducción, transmite el calor al interior de la vivienda por las zonas sin aislante térmico, en este caso la fábrica.

El punto crítico se mantiene en la esquina del solado, y alcanza una temperatura de 24,7 °C.

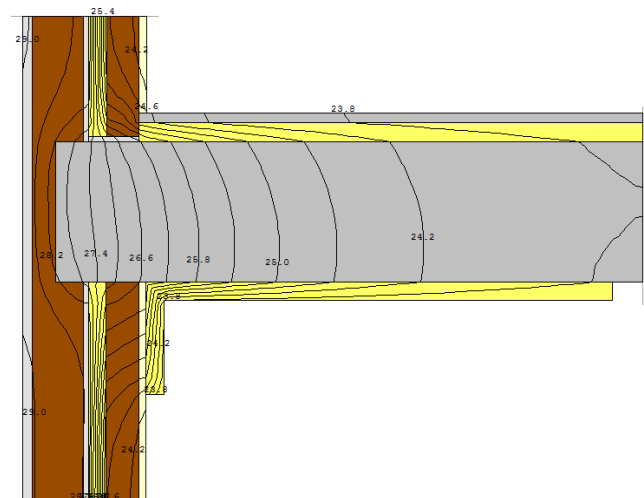


Figura 214. Fachada-Forjado. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Al igual que en invierno, los vectores de energía se acumulan en el frente de forjado, ya que es el elemento con mayor conductividad, donde se secciona el aislante de la fachada.

En este caso los la dirección del flujo es inversa, ya que la mayor magnitud de energía se encuentra en el exterior.

El flujo es unidimensional cuando las capas del cerramiento son homogéneas y uniformes, mientras que es bidimensional en el puente térmico.

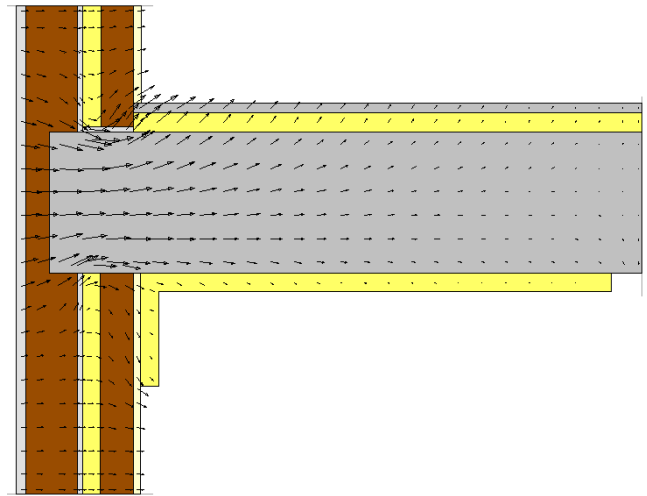


Figura 215. Fachada-Forjado. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El calor del exterior se mantiene en la capa exterior del cerramiento, y penetra por el frente del forjado, sin llegar al interior de la vivienda, gracias a ambas mejoras introducidas.

Consiguiéndose temperaturas superficiales de aproximadamente 23,6 °C en suelo y techo, y de 24 °C en las paredes interiores.

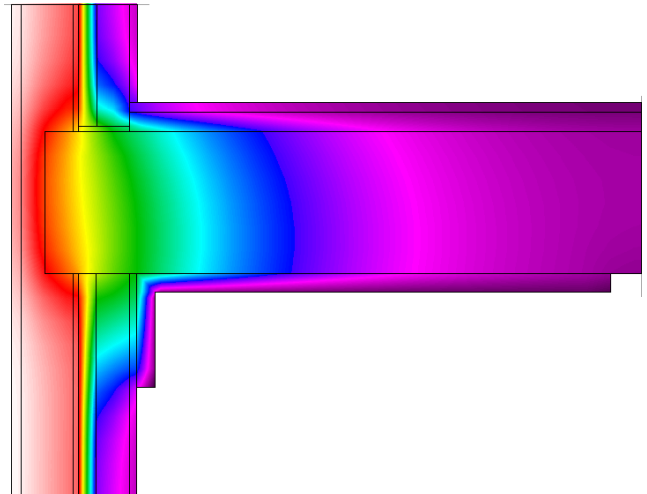
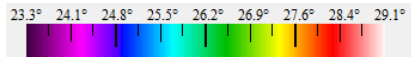


Figura 216. Fachada-Forjado. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

El flujo circula por las zonas con mayor conductividad térmica, en este caso el canto de forjado y, a medida que penetra por el forjado va menguando, ya que la transmitancia térmica es inversamente proporcional al espesor del material.

También accede el flujo por la fábrica del trasdosado, aunque en menor medida.

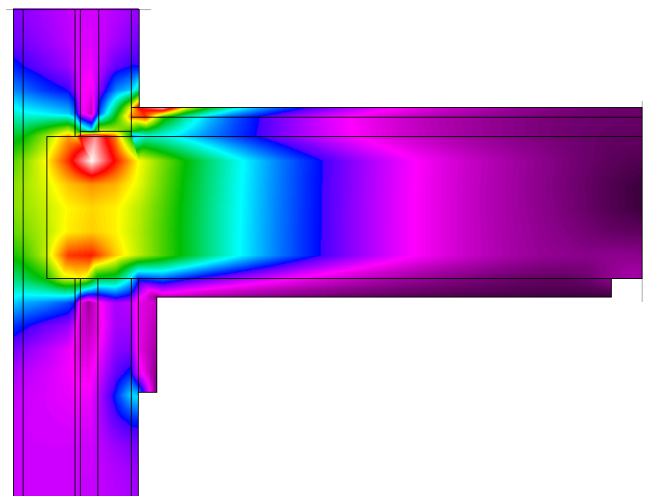
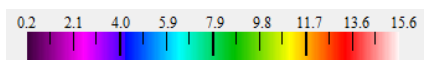


Figura 217. Fachada-Forjado. Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado. Mejora. Invierno.

FACHADA-FORJADO. MEJORA. ESTE. INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,5190	0,49	-	0,6750	-	1,0254	0,6946	17,2	0,7938

Tabla 62. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado mejora. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado. Mejora. Verano.

FACHADA-FORJADO. MEJORA. ESTE. VERANO. T ^a ext = 29,2°C; T ^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,5190	0,49	-	0,6750	-	1,0254	0,6946	24,7	0,7895

Tabla 63. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado mejora. Zona este. Verano.

E13A) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (BALCÓN). INVIERNO. MEJORA.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

Se toma la misma solución: aislamiento perimetral en techo con una profundidad de 1 m., descendiendo 20 cm. por la pared vertical, y arlita bajo el solado.

En este caso el contacto con el exterior es mayor. ya que el canto del forjado está en voladizo, la energía se adentrará con mayor facilidad.

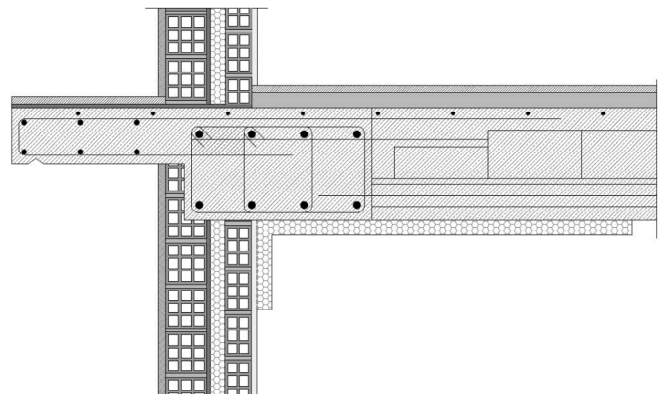


Figura 218. Fachada-Forjado (balcón). Zona este. Mejora.

Líneas isotermas.

En las líneas isotermas se advierte cómo los aislantes térmicos detienen el paso de energía, mientras que por el forjado se transmite hasta llegar a una profundidad donde la temperatura es favorable.

El punto crítico se encuentra en la esquina de la fachada con el solado, y está a una temperatura superficial interior de 17,4 °C.

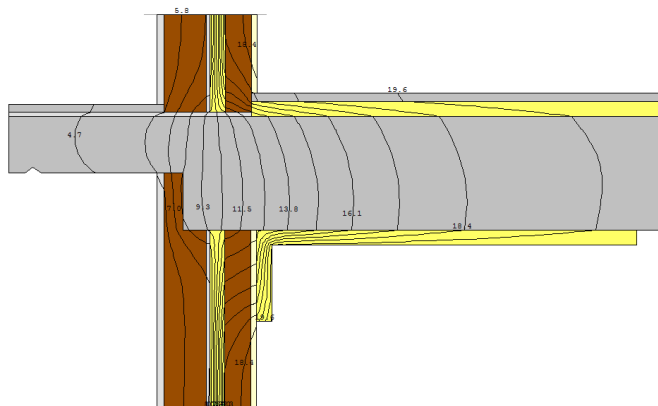


Figura 219. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

El flujo de energía se transmite principalmente por el canto del forjado, pasando por el punto crítico, donde la densidad de los vectores es muy elevada, ya que será por aquí por donde fluya prácticamente toda la energía del interior de la vivienda.

En el resto de la sección el flujo es unidimensional y reducido en cuanto a magnitud, debido a la colocación de los aislante térmicos.

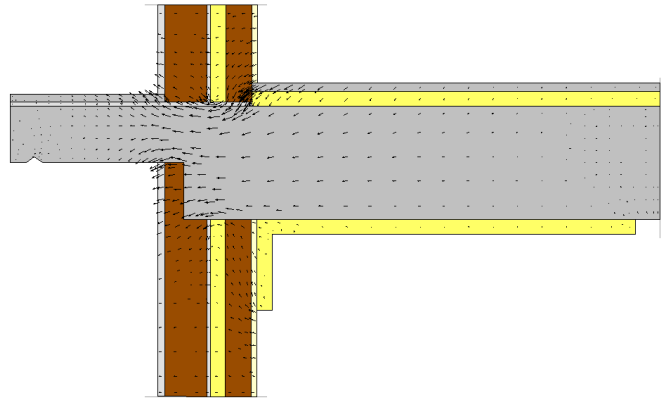


Figura 220. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El calor del interior permanece dentro de la vivienda, ya que, tanto el aislante de techo como la arlita, no permiten que se fugue excesivamente.

El suelo y el techo se mantienen a una temperatura superficial de alrededor de 20 °C, mientras que las paredes verticales a aproximadamente 19,4 °C.

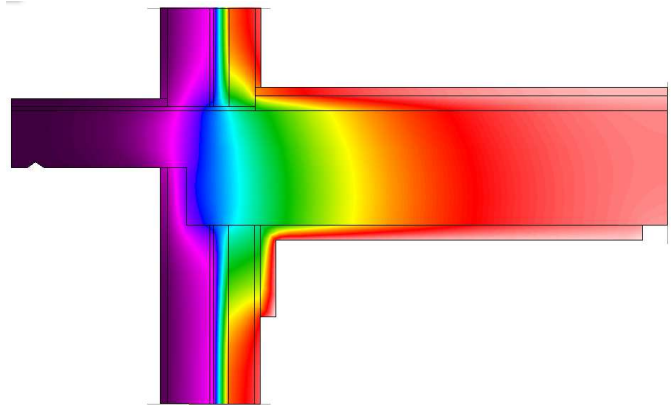
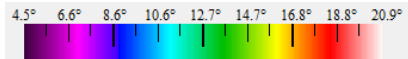


Figura 221. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

El flujo de energía se transmite, esencialmente, por el canto del forjado, transmitiendo la energía del interior por el punto crítico hacia el exterior, ya que la energía busca los materiales más conductivos térmicamente para transmitirse.

El punto de flujo más elevado se da en el punto crítico, que está alrededor de los 60 W/m².

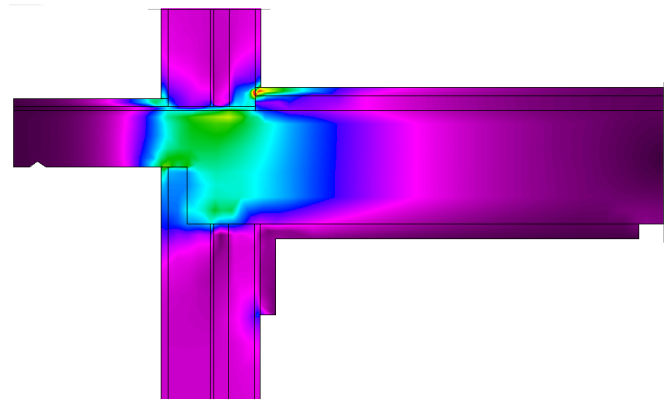
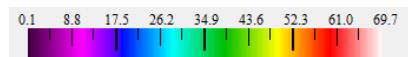


Figura 222. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

E13B) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (BALCÓN). VERANO. MEJORA.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

Las isotermas muestran que los aislantes térmicos trabajan muy bien, manteniendo la temperatura cálida del exterior en la capa externa del cerramiento.

Sin embargo, por el forjado se transmite el calor del exterior y, por conducción, transmite calor a la fábrica interior.

El punto crítico continúa siendo el encuentro entre la fachada y el solado, y está a una temperatura de 24,7 °C.

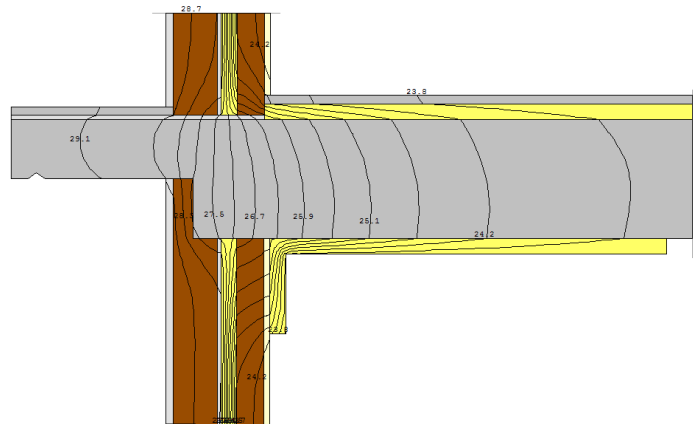


Figura 223. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

El calor del exterior penetra por el canto del forjado en su mayoría, discurriendo a través de éste hasta dispersarse, pero también se transmite a través de la fábrica cerámica interior, transmitiendo el calor al interior.

El flujo es bidimensional a lo largo de todo el puente térmico, cuando los cerramientos se vuelven continuos y uniformes, el flujo pasa a ser unidimensional.

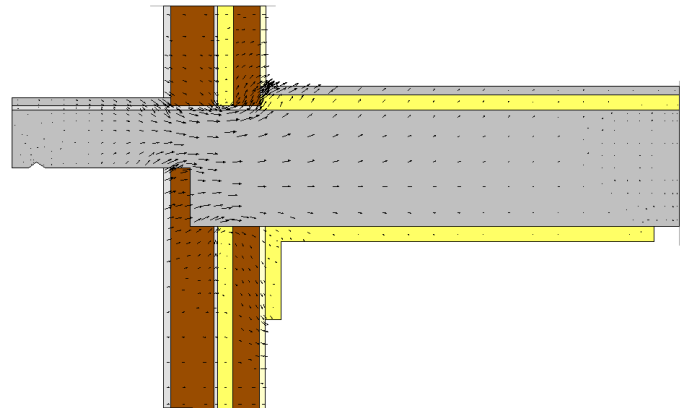


Figura 224. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

En verano la temperatura exterior se mantiene en la capa exterior del cerramiento, puesto que está el aislante térmico. Cuando éste se corta por la introducción del forjado, el calor discurre con mayor facilidad, debido a su mayor conductividad térmica, pero en la capa interior se corta la transmisión por medio del aislante térmico en el techo, y la arlita en el suelo.

La temperatura es de alrededor de: 19,5 °C en paredes y; 20 °C en suelo y techo.

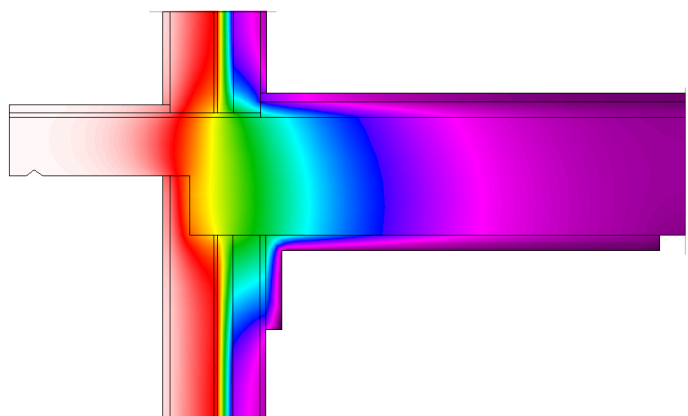
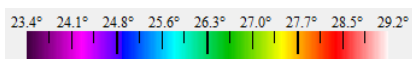


Figura 225. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.



Flujo de energía (W/m²)

Como en invierno, el flujo de energía discurre por el frente del forjado, introduciéndose hasta el interior de la vivienda, en mayor medida pasando por el punto crítico que, en este caso, se encuentra a aproximadamente 23 W/m².

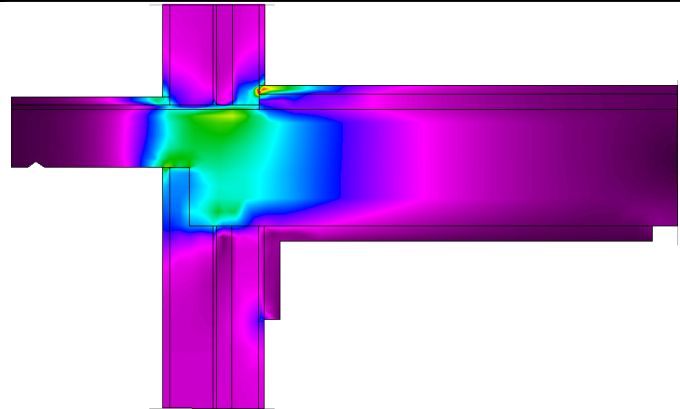
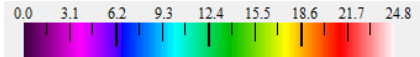


Figura 226. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Mejora. Invierno.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). MEJORA. ESTE. INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,4552	0,49	-	0,6750	-	0,9823	0,6516	17,4	0,8063

Tabla 64. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) mejora. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Mejora. Verano.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). MEJORA. ESTE. VERANO. T ^a ext = 29,2°C; T ^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,4552	0,49	-	0,6750	-	0,9823	0,6516	24,7	0,7895

Tabla 65. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) mejora. Zona este. Verano.

E15A) ENCuentro FACHADA-CUBIERTA. INVIERNO. MEJORA.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

En la parte superior, se encuentra con la cubierta inclinada de teja cerámica.

Se propone ubicar una lámina de aislante térmico en la parte inferior del forjado, solapando 20 cm. con el aislante de la fachada. De esta forma se evita el flujo de energía por la parte sin aislar y se minimizan pérdidas.

Únicamente el flujo discurrirá por entre ambos aislantes, por la fábrica de ladrillo doble.

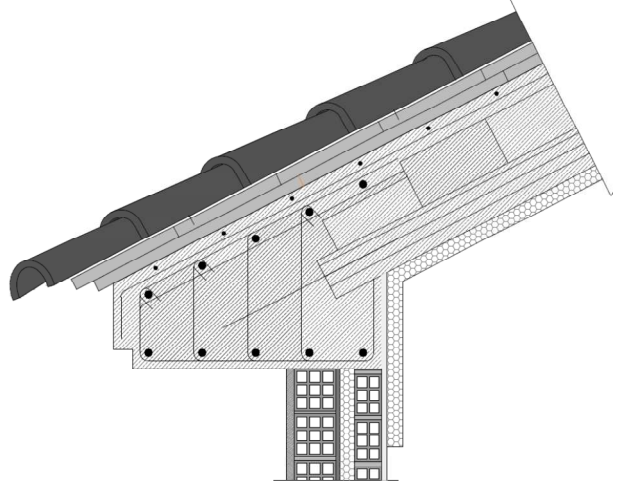


Figura 227. Fachada-Cubierta. Zona este. Mejora.

Líneas isotermas.

Las líneas isotermas muestran que la temperatura fría del exterior penetra por las capas superficiales del cerramiento. En cambio, la temperatura del interior se mantiene.

El punto crítico está en el extremo del aislante del techo, ya que la temperatura se filtra por la capa interior de la fachada, dando una temperatura en dicho punto de 17,9 °C.

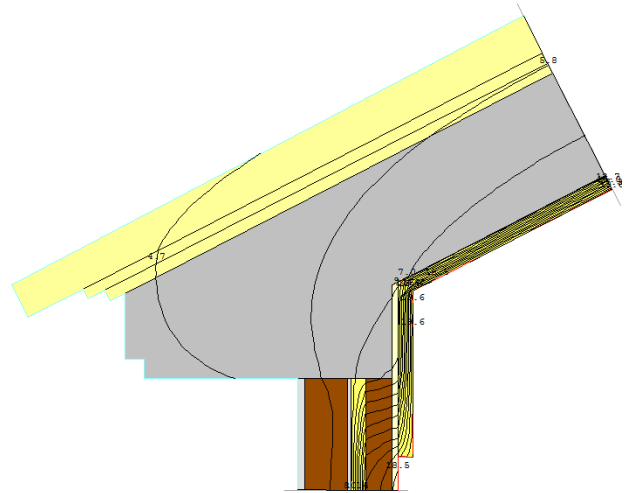


Figura 228. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Los vectores de flujo indican que la energía se disipa a través de la fábrica interior, en el solape de ambos aislantes térmicos, pasando por el punto crítico del puente térmico. Esta zona es el punto débil del puente térmico mejorado, por lo tanto, cuanto mayor sea el solape, dentro de las posibilidades, mejor funcionará térmicamente. El flujo es unidimensional a lo largo de la sección de la envolvente, excepto en los puentes térmicos, que evoluciona a bidimensional.

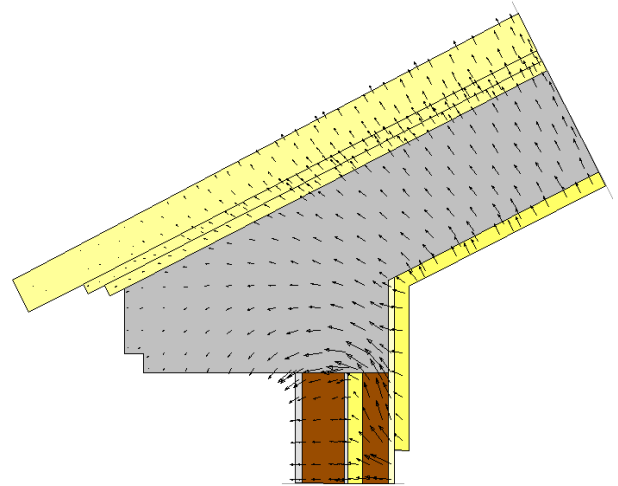


Figura 229. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El calor del interior se mantiene, ya que los aislantes evitan filtraciones de temperatura. La temperatura fría se transmite por la mayor parte del cerramiento, hasta llegar al aislante. En algunos puntos, el aislante llega a disminuir la temperatura hasta 12 °C de una cara a otra del cerramiento.

En las paredes se alcanzan temperaturas de 19 °C, mientras que en el techo aproximadamente 19,6 °C, temperaturas muy favorables en cuanto al confort térmico interior.

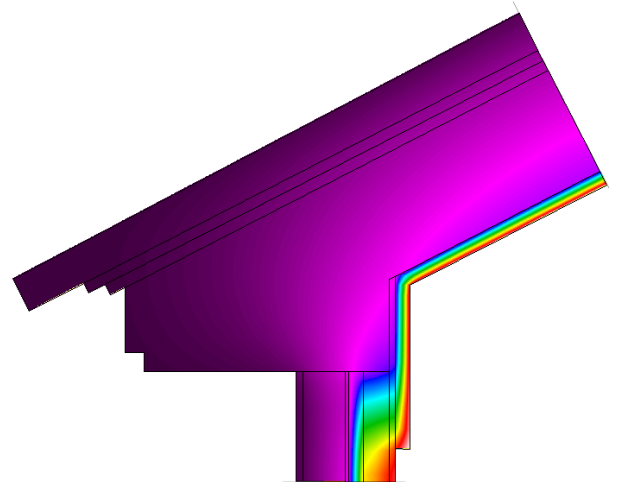
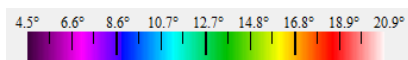


Figura 230. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

El punto débil de la sección es el solape de los aislamientos, por aquí se transmite la mayor parte de la energía, evitando los materiales con menor conductividad térmica. Por otro lado, con la ubicación del aislante en el techo, se ha reducido el flujo de energía a casi un cuarto con respecto al estado rehabilitado, descendiendo desde casi 80 W/m² hasta el nuevo valor de 20 W/m², aproximadamente, en el punto más desfavorable.

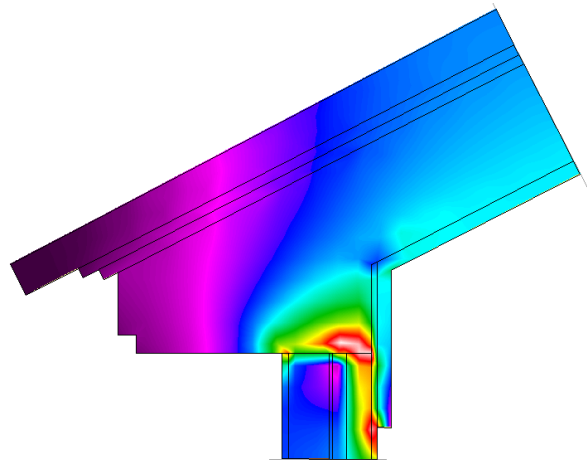
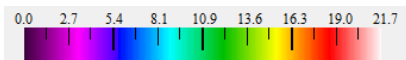


Figura 231. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.

E15B) ENCUENTRO FACHADA-CUBIERTA. VERANO. MEJORA.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

La elevada temperatura del exterior se transmite a lo largo del puente térmico, hasta llegar al aislante térmico, donde la temperatura desciende bruscamente (4-5 °C de una superficie a otra del aislante).

La situación del punto crítico de la sección se mantiene en el extremo inferior del aislamiento, y está a una temperatura de 24,4 °C.

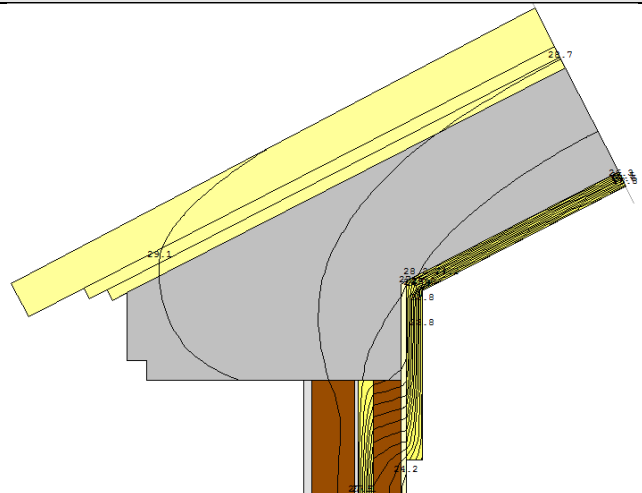


Figura 232. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

La energía se transmite, principalmente, por el solape producido por los aislamientos, donde la conductividad térmica es mayor.

El flujo cambia de sentido con respecto a la situación de invierno, ya que, en este caso, la energía se desplaza del exterior al interior.

El flujo es unidimensional en los extremos, y bidimensional en el encuentro.

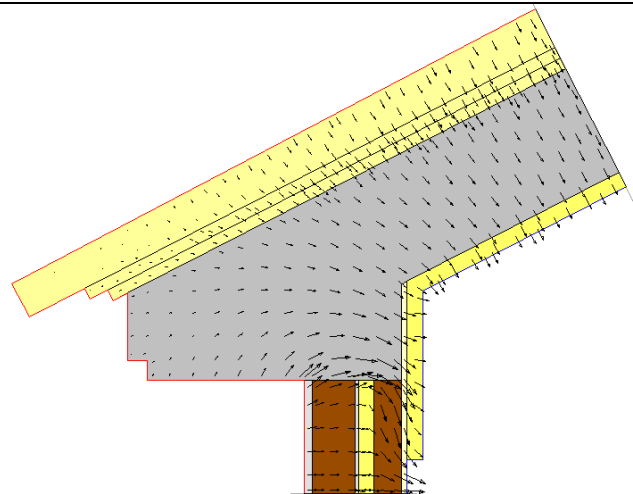


Figura 233. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

El calor del exterior se transmite por conducción capa por capa hacia el interior de la vivienda.

En la superficie interior se logran temperaturas de menos de 24 °C, tanto en pared como en techo. Siendo éste un resultado favorable temperaturas radiantes superficiales interiores.

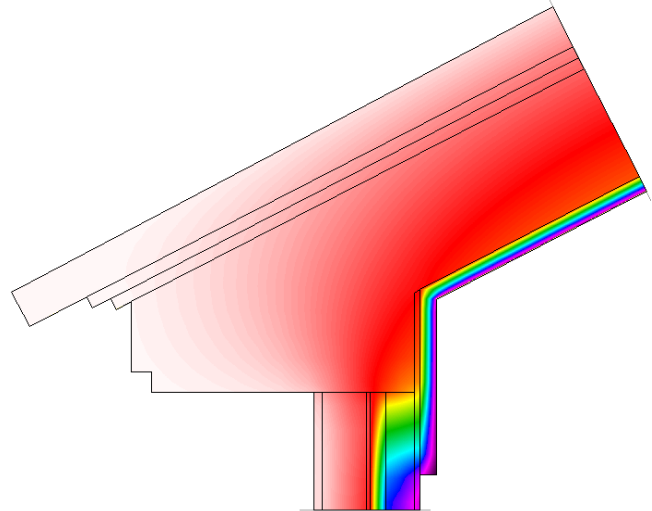
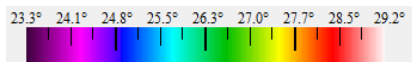


Figura 234. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

De la misma manera que en invierno, el flujo de energía discurre por las zonas con mayor conductividad térmica, en este caso, por la zona de solape entre los dos aislamientos.

El flujo es mínimo, por la reducida diferencia entre la temperatura interior y exterior.

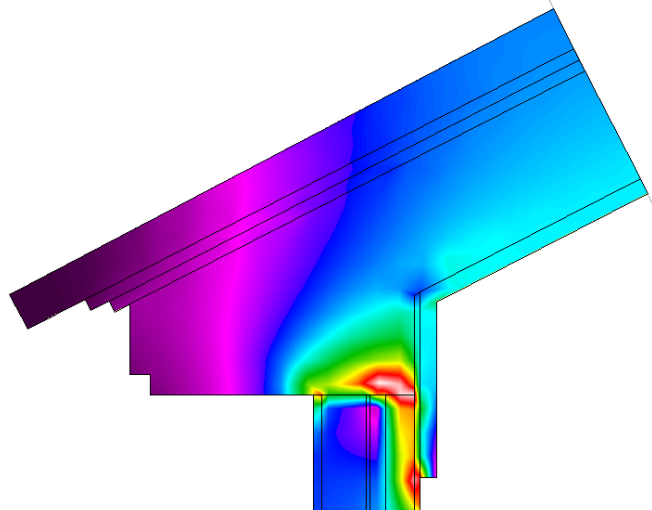
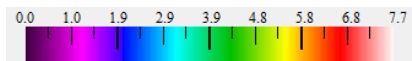


Figura 235. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Mejora. Invierno.

FACHADA-CUBIERTA. MEJORA. ESTE. INVIERNO. T ^a ext = 4,5°C; T ^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
0,8227	0,49	0,54	0,5598	0,5852	0,9420	0,3517	17,9	0,8375

Tabla 66. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta mejora. Zona este. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Mejora. Verano.

FACHADA-CUBIERTA. MEJORA. ESTE. VERANO. T ^a ext = 29,2°C; T ^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
0,8227	0,49	0,54	0,5598	0,5852	0,9420	0,3517	24,4	0,8421

Tabla 67. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta mejora. Zona este. Verano.

O17A) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (BALCÓN). INVIERNO. MEJORA.

Descripción

Detalle constructivo.

Se recurre a la misma medida de mejora, ubicando el aislante térmico perimetralmente en tiras de 1,20 m., solapando 20 cm. con la fachada. A su vez, se propone un mortero autonivelante como base del pavimento, compuesto de arlita, que aísla térmicamente.

Detalle

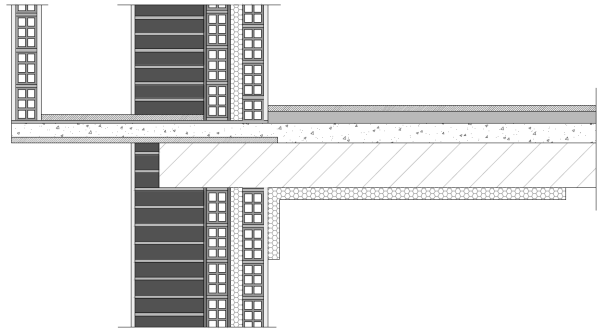


Figura 236. Fachada-Forjado (balcón). Zona Oeste. Mejora.

Líneas isotermas.

El elemento metálico tiene una alta conductividad térmica, permitiendo que la energía térmica circule rápidamente por él. Por lo tanto, la temperatura del interior tiende a buscar este elemento para transmitirse a través suyo.

El punto crítico de la sección se encuentra en la esquina de la fachada con el pavimento, que está a 16,4 °C.

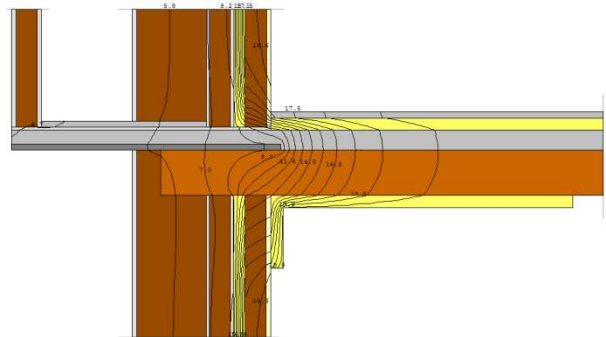


Figura 237. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

La gran conductividad de la chapa de hierro hace que se desvirtúen los resultados.

La energía se transmite a través de los elementos con mayor conductividad térmica, circulando por el punto crítico.

Como en el resto de secciones constructivas, el flujo se unidimensional cuando las capas son uniformes, y bidimensional en el puente térmico.

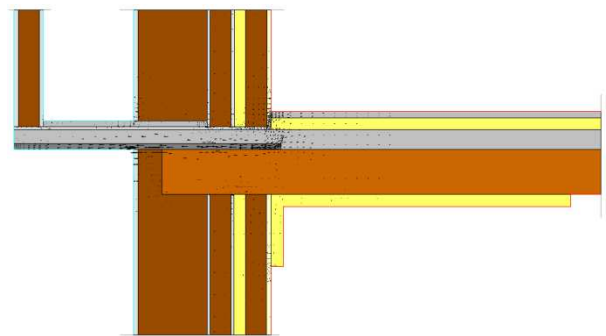


Figura 238. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La introducción del aislamiento en el techo y la arlita en el suelo, minimiza las pérdidas de energía en invierno.

Las paredes verticales alcanzan temperaturas de 19,5 °C, y el techo y el suelo 20,5 °C aproximadamente.

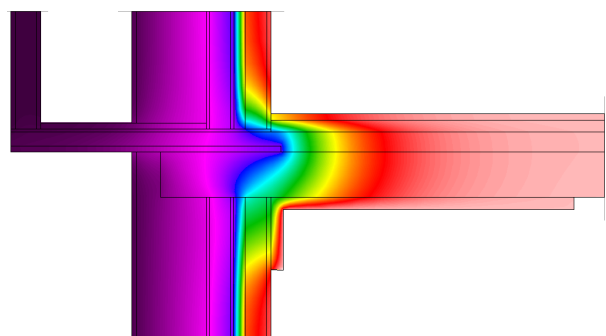
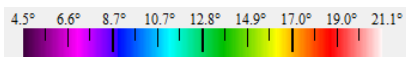


Figura 239. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m²)

La elevada conductividad del hierro hace que los resultados del resto de la sección no sean claros.

La energía se transmite, principalmente, por el punto crítico (esquina suelo-fachada) hacia el elemento metálico, y de éste al exterior

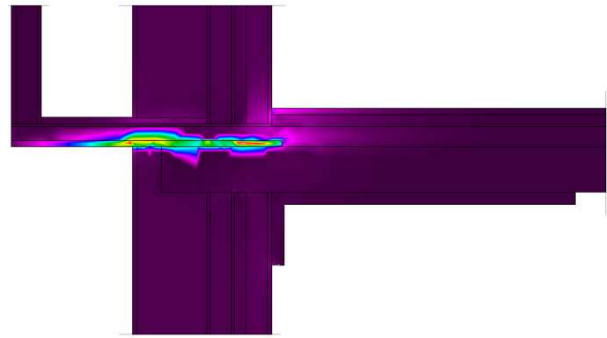
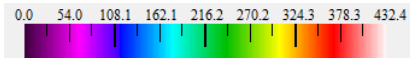


Figura 240. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

O17B) ENCUENTRO FACHADA-FORJADO (BALCÓN). VERANO. MEJORA.

Descripción	Detalle
-------------	---------

Líneas isotermas.

En verano la energía del exterior penetra por el elemento metálico, transmitiendo el calor al interior de la vivienda por las zonas con mayor conductividad térmica.

El punto crítico del puente térmico se mantiene en la esquina del solado con la pared vertical, y está a 25 °C.

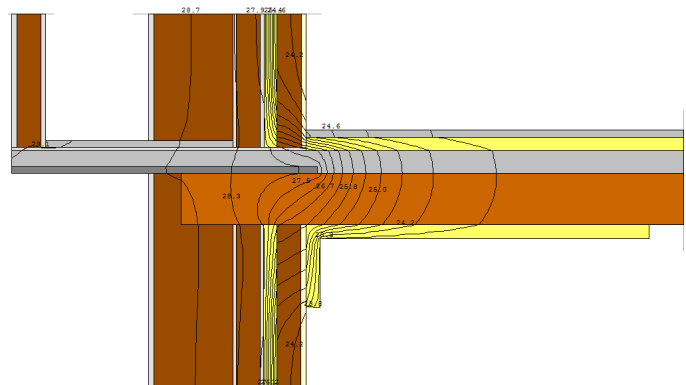


Figura 241. Fachada-Forjado (balcón). Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

Cambia el sentido de los vectores de flujo, ya que, en verano, la energía se transmite del exterior al interior.

El calor exterior discurre por la chapa metálica hasta el solado por el punto crítico.

La elevada magnitud de flujo en el hierro hace que los resultados sean confusos.

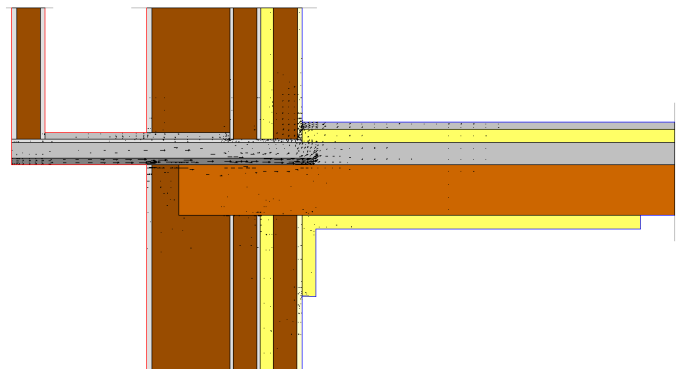


Figura 242. Fachada-Forjado (balcón). Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

La temperatura del exterior no alcanza la superficie interior gracias al aislamiento térmico.

En este caso, la superficie interior vertical no supera, en ningún caso, los 24 °C, mientras que la superficie del suelo y del techo está aproximadamente a 23,5 °C.

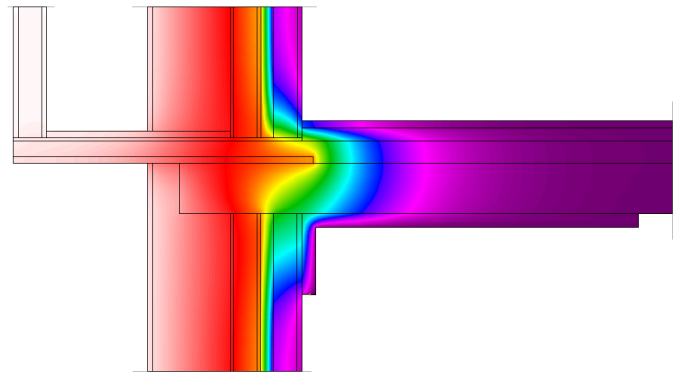
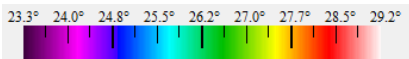


Figura 243. Fachada-Forjado (balcón). Infrarrojos.

Flujo de energía (W/m2)

Como en invierno, la alta conductividad del hierro falsea los resultados, de manera que no se observan con claridad. Aún así, la energía se transmite a través del elemento metálico hasta alcanzar el solado por el punto crítico.

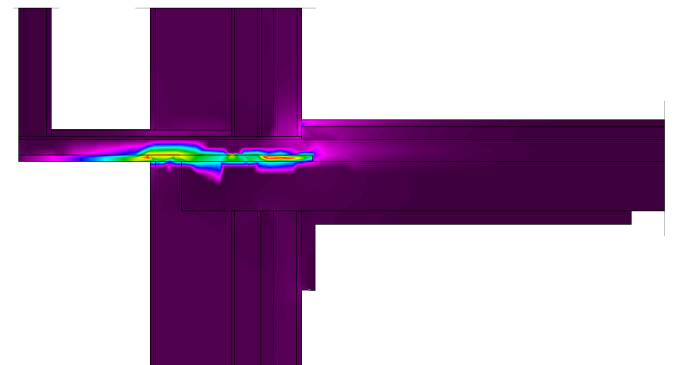
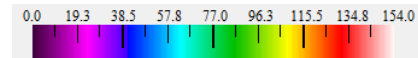


Figura 244. Fachada-Forjado (balcón). Flujo de energía.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Mejora. Invierno.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). MEJORA. OESTE. INVIERNO. T^a ext = 4,5°C; T^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,1703	0,47	-	0,8049	-	0,9419	0,5636	16,4	0,7438

Tabla 68. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) mejora. Zona Oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Forjado (balcón). Mejora. Verano.

FACHADA-FORJADO (BALCÓN). MEJORA. ESTE. VERANO. T^a ext = 29,2°C; T^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro	L1	L2	L2D	ψ	Tsi	FRsi
	(W/m2K)		(m)			(W/mK)	°C	-
1,1703	0,47	-	0,8049	-	0,9419	0,5636	25,0	0,7368

Tabla 69. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Forjado (balcón) mejora. Zona Oeste. Verano.

O20A) ENCUENTRO FACHADA-CUBIERTA. INVIERNO. MEJORA.

Descripción

Detalle

Detalle constructivo.

En la cubierta oeste se opta por la misma solución, en este caso únicamente el aislante perimetral en el techo, doblándose en la esquina para solapar con el aislante de la fachada.

El resto de componentes se mantienen como en proyecto, demostrando la sencillez de la solución adoptada, de forma que la cubierta plana cuenta con un aislante térmico en la cara exterior, y otro perimetral en la cara interior.

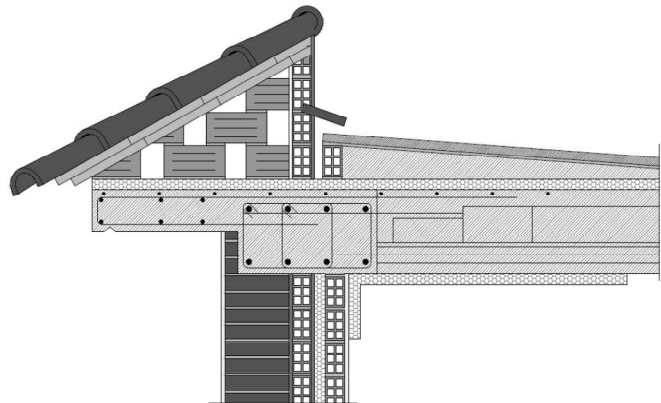


Figura 245. Fachada-Cubierta. Zona Oeste. Mejora.

Líneas isotermas.

Cuando las líneas están comprimidas, indican que el material tiene una menor conductividad térmica y, por lo tanto, la energía busca otros elementos con mayor conductividad para transmitirse.

El punto crítico, en este caso, está en el extremo del aislamiento perimetral, en la parte del techo, donde se encuentra a una temperatura superficial de 17,2 °C.

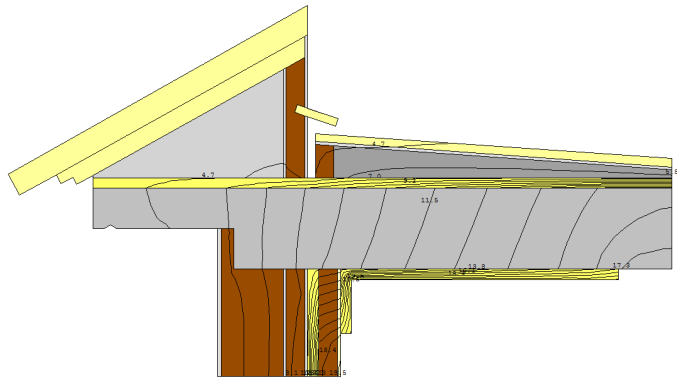


Figura 246. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

El flujo de energía se dirige del interior al exterior, y tiene sus mayores valores en el punto crítico, especialmente, y en la capa interior del cerramiento (fábrica de ladrillo hueco doble), en la zona del solape de ambos aislantes.

El flujo es unidimensional mientras la envolvente es uniforme, en cambio, en el puente térmico, el flujo es bidimensional.

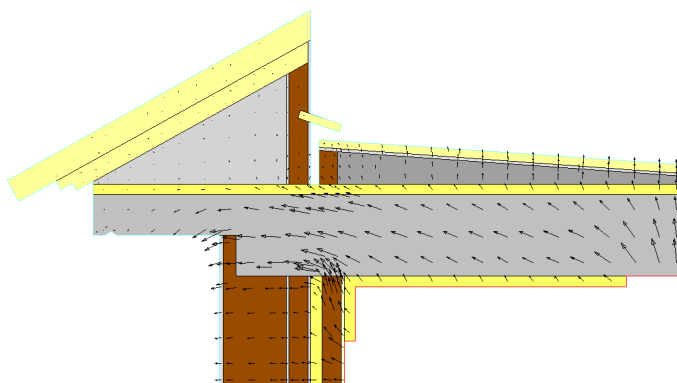


Figura 247. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

Las capas más externas de la envolvente están a una temperatura reducida, no obstante no tiene efectos sobre el confort térmico interior.

La temperatura del interior no se pierde por el cerramiento, gracias a la colocación del aislante en la esquina.

La temperatura superficial en el interior es de aproximadamente: 19,7 °C en la pared vertical; y 18 °C en el techo.

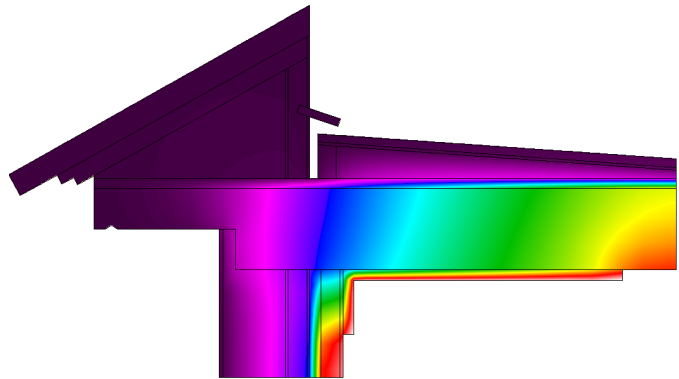
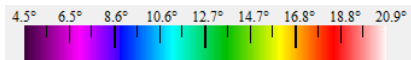


Figura 248. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.



Flujo de energía (W/m2)

Como se ha dicho anteriormente, el mayor valor de flujo de energía se da en el punto crítico.

Aplicando la solución descrita, se logra rebajar la magnitud de flujo de energía a aproximadamente la mitad, reduciendo el valor en punto crítico de la sección de 50 W/m2 del estado rehabilitado, a los 25 W/m2 de la mejora.

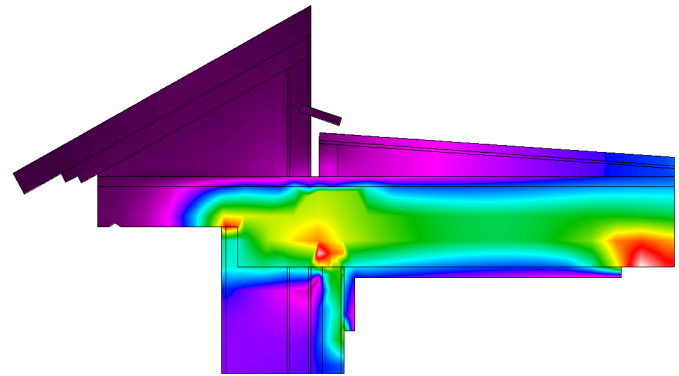
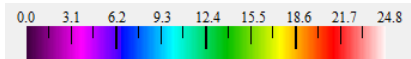


Figura 249. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.



O20B) ENCUENTRO FACHADA-CUBIERTA. VERANO. MEJORA.

Descripción

Detalle

Líneas isotermas.

En verano, el calor del exterior penetra por los materiales más térmicamente conductivos, influyendo en la temperatura interior, aplicando la solución propuesta, el punto crítico (que se mantiene idéntico que en invierno, límite del aislamiento interior, en el techo) alcanza los 24,7 °C.

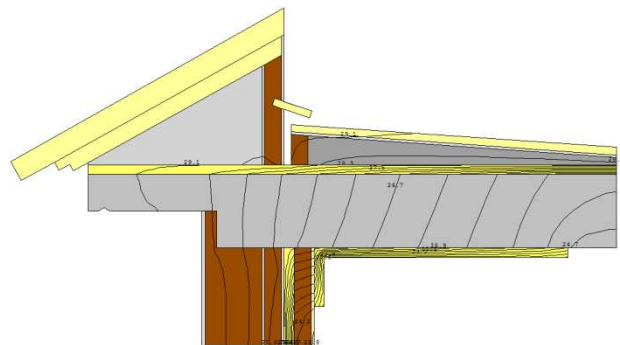


Figura 250. Fachada-Cubierta. Isotermas.

Vectores de flujo de energía.

El sentido de los vectores de flujo de energía se invierte, ya que, en verano, el calor se transmite del exterior al interior.

Donde existe mayor densidad de vectores de flujo es, en la fábrica interior de ladrillo que separa los dos aislantes de fachada, y en el punto crítico.

Como se ha dicho anteriormente, el flujo es unidimensional en las capas uniformes de la envolvente, y bidimensional en las proximidades del puente térmico.

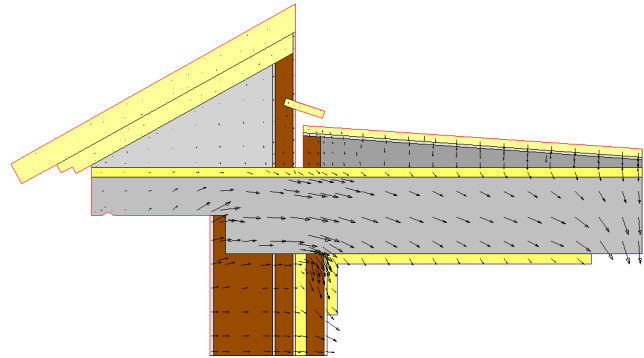


Figura 251. Fachada-Cubierta. Vectores flujo.

Infrarrojos (°C)

En verano, la energía del exterior se transmite por las capas del cerramiento, hasta llegar a los elementos con menor conductividad térmica, los aislantes térmicos.

La temperatura superficial interior en la pared vertical es de aproximadamente 23,8 °C, mientras que en el techo ronda los 24,4 °C.

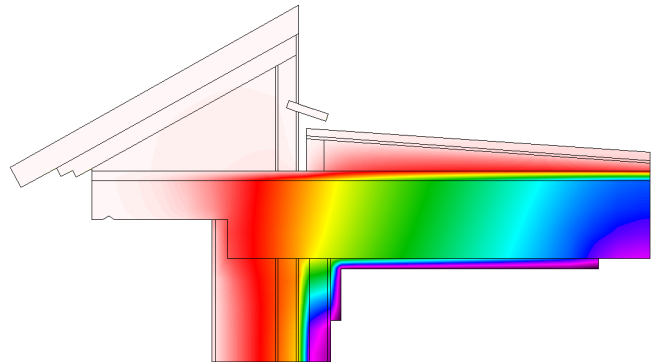
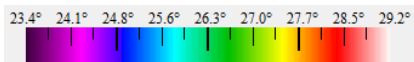


Figura 252. Fachada-Cubierta. Infrarrojos.



Flujo de energía (W/m²)

Al igual que en invierno, la energía se transmite, principalmente, por las zonas con mayor conductividad térmica, en este caso, por el punto crítico y por la fábrica de ladrillo en la zona del solape.

En este caso, también se reduce a la mitad el flujo transmitido en el punto crítico, pasando de los 18 W/m² del estado rehabilitado, a los 9 W/m² de la solución propuesta.

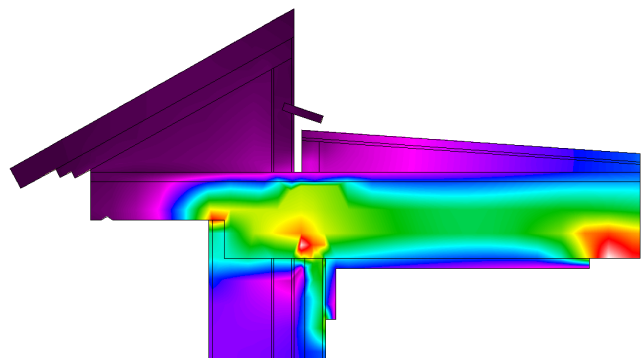
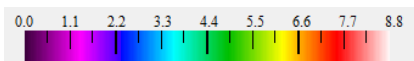


Figura 253. Fachada-Cubierta. Flujo de energía.



- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Mejora. Invierno.

FACHADA-CUBIERTA. MEJORA. OESTE. INVIERNO. T^a ext = 4,5°C; T^a int = 20,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
0,5216	0,47	0,45	0,4036	1,2389	0,8567	0,1095	17,2	0,7938

Tabla 70. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta mejora. Zona Oeste. Invierno.

- Tabla resumen. Encuentro Fachada-Cubierta. Mejora. Verano.

FACHADA-CUBIERTA. MEJORA. OESTE. VERANO. T^a ext = 29,2°C; T^a int = 23,5 °C.								
Ufactor	Umuro fachada	Umuro cubierta	L1	L2	L2D	Ψ	Tsi	FRsi
	(W/m ² K)		(m)			(W/mK)	°C	-
0,5216	0,47	0,45	0,4036	1,2389	0,8567	0,1095	24,7	0,7895

Tabla 71. Tabla resumen puente térmico. Fachada-Cubierta mejora. Zona Oeste. Verano.

5.6.2. RESUMEN ESTADO MEJORADO

Con la mejora propuesta, cumplimos los requisitos normativos de todos los puentes térmicos, algunos de ellos con holgura.

Cód. Puente térmico	E. mejorado		Normativa	
	Ψ	Ψ _{máx}	FRsi	FRsi _{mín}
E12) Fachada-Forjado	0,69	0,75	0,79	0,56
E13) Fachada-Forjado (balcón)	0,65	0,75	0,80	0,56
E15) Fachada-Cubierta	0,35	0,50	0,84	0,56
O17) Fachada-Forjado (balcón)	0,56	0,75	0,74	0,56
O20) Fachada-Cubierta	0,11	0,50	0,79	0,56

Tabla 72. Resumen Estado mejorado. Cumplimiento Normativa.

En cuanto a las condiciones de temperaturas radiantes superficiales, comparándolas con el confort térmico en el interior, también cumplimos en todos los casos, más, si cabe, teniendo en cuenta la temperatura superficial del resto de la superficie, cumpliendo sobradamente las exigencias, como se ha visto en el análisis de los puentes térmicos.

Cód. Puente térmico	T ^a punto crítico		Intervalo T ^a límites	
	Tsi verano	Tsi invierno	Tsi verano máx.	Tsi invierno mín.
E12) Fachada-Forjado	24,7	17,2	21-26 (+2)	18-23 (-2)
E13) Fachada-Forjado (balcón)	24,7	17,4	21-26 (+2)	18-23 (-2)
E15) Fachada-Cubierta	24,4	17,9	21-26 (+2)	18-23 (-2)
O17) Fachada-Forjado (balcón)	25,0	16,4	21-26 (+2)	18-23 (-2)
O20) Fachada-Cubierta	24,7	17,2	21-26 (+2)	18-23 (-2)

Tabla 73. Resumen Estado mejorado. Cumplimiento temperaturas superficiales interiores.

Por lo tanto, la solución propuesta da resultados muy favorables a efectos térmicos.

Cód. Puentes térmicos	ESTADO MEJORADO			
	ψ	FRsi	Tsi invierno	Tsi verano
	W/mK		°C	°C
E12) Fachada-Forjado	0,69	0,79	17,2	24,7
E13) Fachada-Forjado (balcón)	0,65	0,80	17,4	24,7
E15) Fachada-Cubierta	0,35	0,84	17,9	24,4
W O17) Fachada-Forjado (balcón)	0,56	0,74	16,4	25,0
W O20) Fachada-Cubierta	0,11	0,79	17,2	24,7

Tabla 74. Resumen Estado mejorado.

Las temperaturas superficiales no son comparables con la temperatura ambiental interior, pero la experiencia (y la buena práctica), dice que no deben desviarse más de 2-3 °C. En este caso los encuentros constructivos cumplen tanto el límite para condensaciones como el límite de temperaturas superficiales establecido.

5.7. COMPARATIVA DE RESULTADOS. REHABILITADO-OPTIMIZADO

La diferencia entre el estado rehabilitado y la solución propuesta para la mejora, es sustancial.

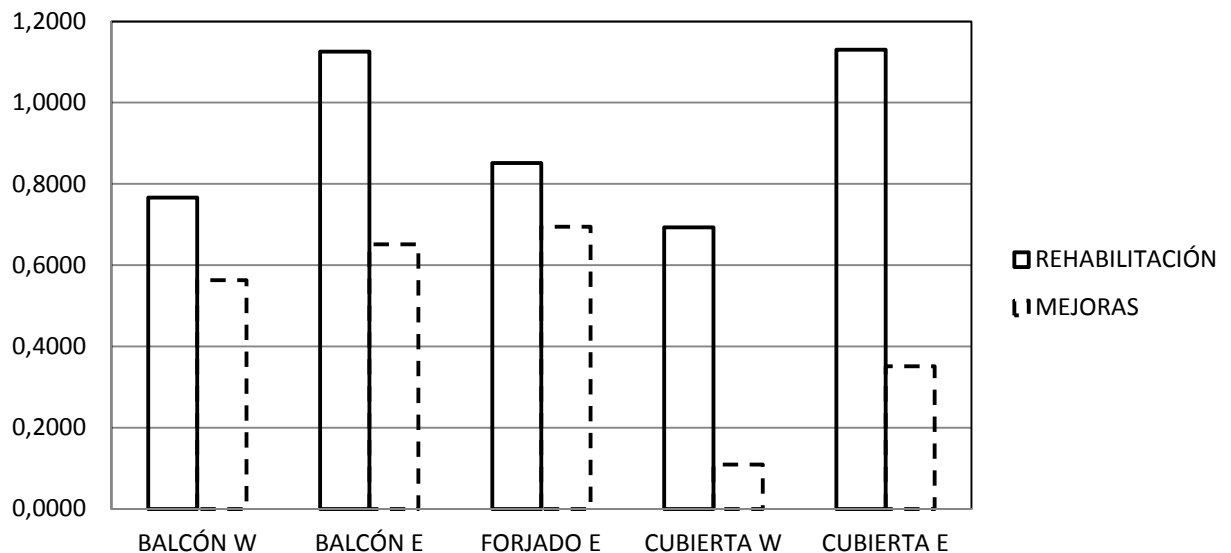


Figura 254. Comparación Rehabilitación-Mejoras. Transmitancia térmica lineal (W/mK).

En algunos casos, los encuentros constructivos pierden eficiencia con la rehabilitación, dando lugar a puentes térmicos desfavorables, a pesar de mejorar, en todos los casos, la transmitancia térmica global de la envolvente. Con las mejoras propuestas, se solucionan los problemas originados en la rehabilitación, y se consigue ahorrar una gran cantidad de energía.

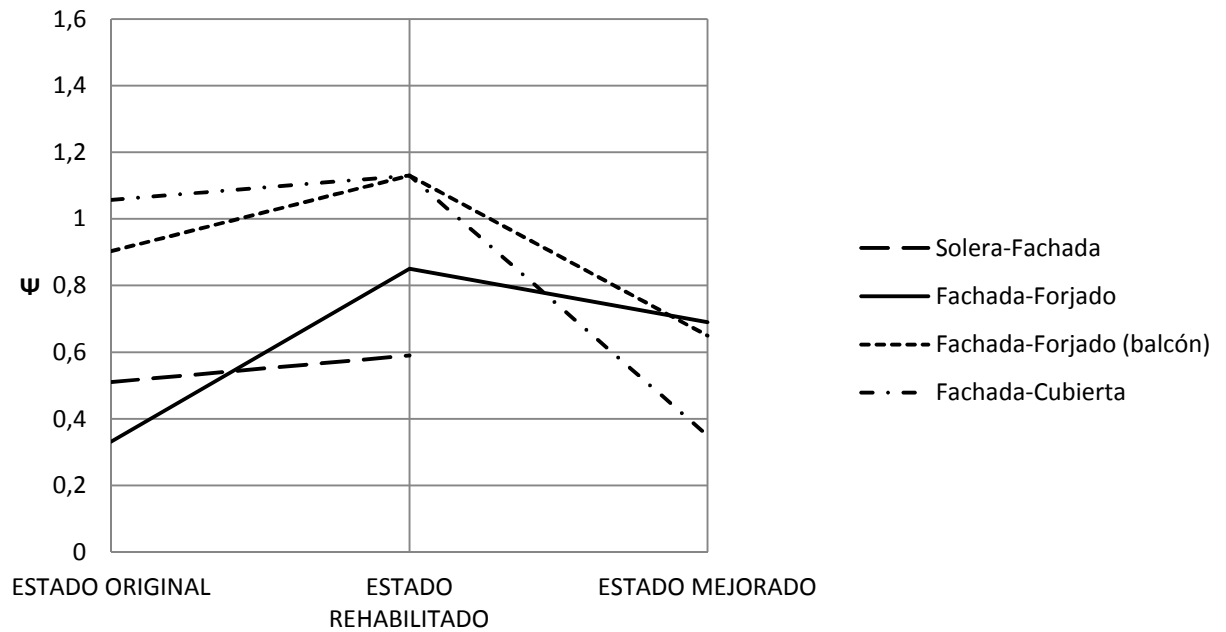


Figura 255. Evolución de la transmitancia térmica lineal. Zona este.

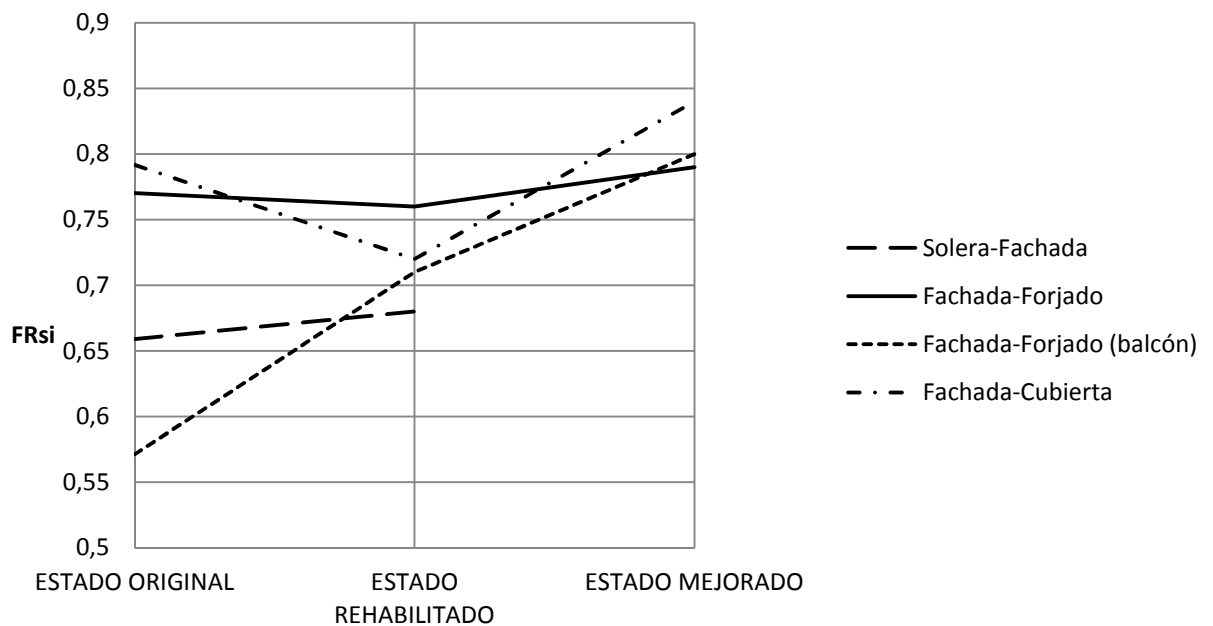


Figura 256. Evolución del factor de resistencia superficial interior. Zona este.

Una vez mejorados los encuentro constructivos, mejoran de manera significativa todos los puentes térmicos optimizados, cumpliendo las exigencias establecidas en todos los casos.

Con la solución planteada, en la zona este, todas las características de los puentes térmicos mejoran, tanto la transmitancia térmica lineal, como el factor de resistencia superficial interior, incluso en, algunos casos, las condiciones técnicas constructivas.

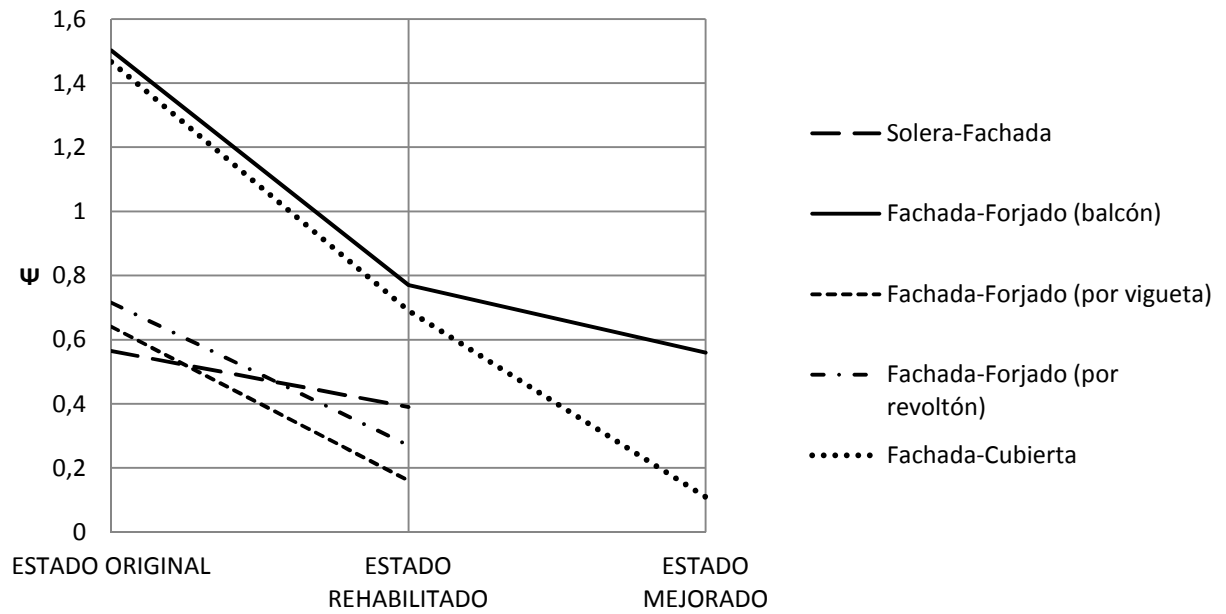


Figura 257. Evolución de la transmitancia térmica lineal. Zona oeste.

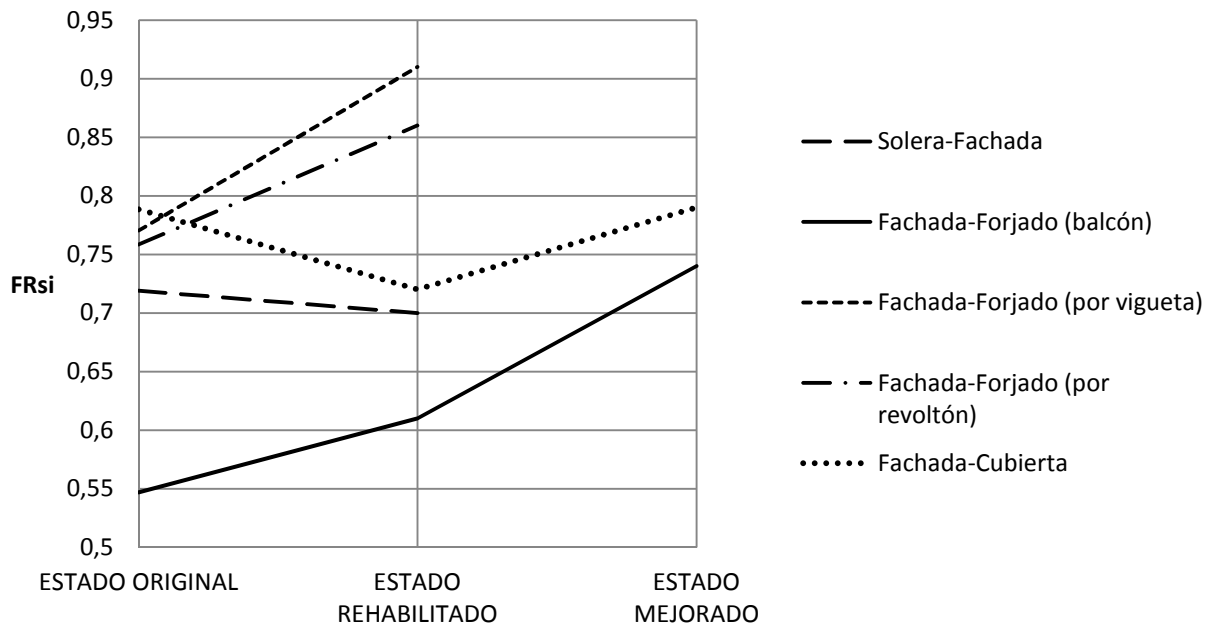


Figura 258. Evolución del factor de resistencia superficial interior. Zona oeste.

Sucede lo mismo en la zona oeste, ya que todos los puentes térmicos corregidos mejoran sus características térmicas de forma muy clara, disminuyendo la transmitancia térmica lineal del encuentro constructivo, y aumentando el factor de resistencia superficial, reduciendo la posibilidad de crear humedades por condensación.

Con las gráficas comparativas queda suficientemente claro que las medidas de mejora en los encuentros constructivos, suponen una mejora significativa de las condiciones térmicas de la envolvente y, por tanto, un ahorro energético y económico para la vivienda.

En cuanto a los precios de materiales y mano de obra necesarios para realizar dichas mejoras, se han extraído de las bases de precios del Instituto Valenciano de Edificación, con precios de 2.014. Con los siguientes resultados:

Descripción	Uds	Longitud	Anchura	Total	Medición	Precio	Importe
m2. Aislamiento térmico por el interior 1 m. perimetral, solapando 20 cm. en fachada, a base de poliestireno expandido EPS de 40 mm de espesor, con una conductividad térmica de 0,029 W/mK, incluso parte proporcional de sujeción y corte del aislante.							
Zona este	3	4,32	1,20	15,55			
	2	5,17	1,2	12,41			
Zona oeste	1	9,70	1,20	11,64			
					39,60	14,50	574,20
m2. Aislamiento térmico por el interior de cubiertas inclinadas, colocado entre las viguetas de madera que sustentan el tablero de formación de la vertiente de la cubierta, con paneles de poliestireno expandido EPS de 40 mm de espesor mecanizado lateral recto y superficie lisa, con una conductividad térmica de 0,029 W/mK, incluso parte proporcional de sujeción y corte del aislante.							
Zona este	1	4,32	9,68	41,82			
	1	5,17	9,68	50,05			
Zona oeste	1	9,70	1,20	11,64			
					103,51	14,81	1.532,98
m2. Formación de mortero de arcilla expandida ligada con lechada de 4 cm. de espesor, incluso replanteo, parte proporcional de tabiquillos guía y limas maestreado de los mismos, mermas y roturas y limpieza.							
Zona este	3	4,32	6,55	84,89			
	2	5,17	6,55	67,73			
Zona oeste	1	9,70	8,67	84,10			
					236,72	22,97	5.437,46
							7.544,64

Tabla 75. Mediciones y presupuesto. Mejoras.

Por lo tanto, las mejoras propuestas se podrían aplicar en la rehabilitación por un importe de 7.544,64 €, teniendo en cuenta que el presupuesto total de la rehabilitación es de 182.383,18 €, las mejoras suponen poco más de un 4% del presupuesto total. No es excesivo teniendo en cuenta el ahorro, tanto energético como económico, que van a llevar a cabo, y la vida útil del edificio y de las propias mejoras.

5.8. CONCLUSIONES

En ocasiones, cuando el técnico realiza un proyecto de rehabilitación residencial, pretendiendo reducir la transmitancia térmica de la envolvente, toma decisiones que pueden llegar a producir otra problemática, en este caso relacionada con los puentes térmicos.

Es muy habitual, en los proyectos de rehabilitación, trasdosar interiormente las fachadas con placas de yeso laminado con rastreles metálicos (u otros sistemas equivalentes), introduciendo el aislamiento en el interior. Pero, es posible que, pretendiendo resolver problemas energéticos, se creen unos nuevos.

Por ejemplo, el técnico proyectista (o el director de obra) del proyecto de rehabilitación, se puede encontrar ante la existencia de sistemas constructivos antiguos: El encuentro entre un muro de piedra, con una alta transmitancia térmica y, por tanto, que no trabaja bien térmicamente, con un forjado de viguetas de madera.

En este caso, como se ha analizado en el presente estudio, apenas se da la existencia de puente térmico, ya que las líneas isotermas apenas modifican su paralelismo y, por tanto, la unidimensionalidad del flujo de energía.

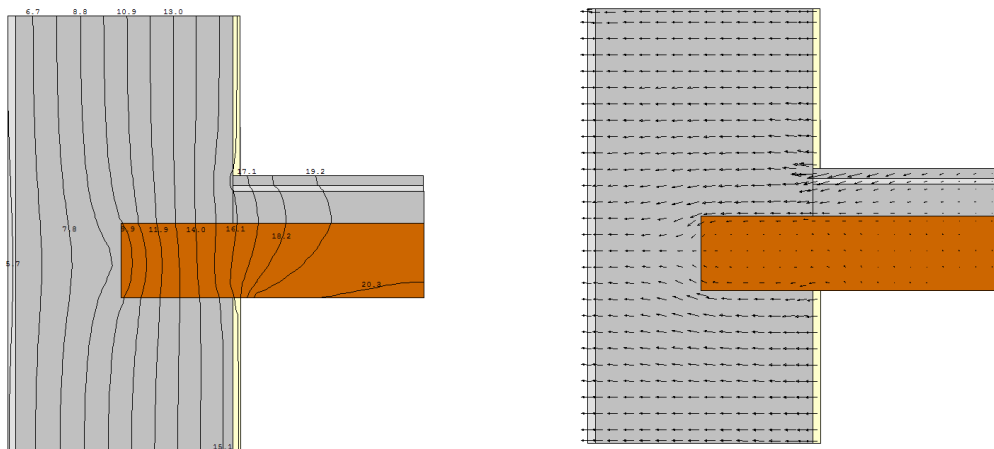


Figura 259. Líneas isotermas y vectores de flujo de energía (respectivamente), de encuentro constructivo de muro de piedra con forjado de viguetas de madera.

Para reducir la transmitancia térmica del cerramiento, una solución muy extendida es trasdosar con placa de yeso laminado únicamente las fachadas, con aislante térmico en su interior, y, efectivamente, se reduce considerablemente la transmitancia térmica de la fachada. Pero se origina un inconveniente añadido: se crea el puente térmico, ya que se corta la continuidad del aislamiento por el forjado.

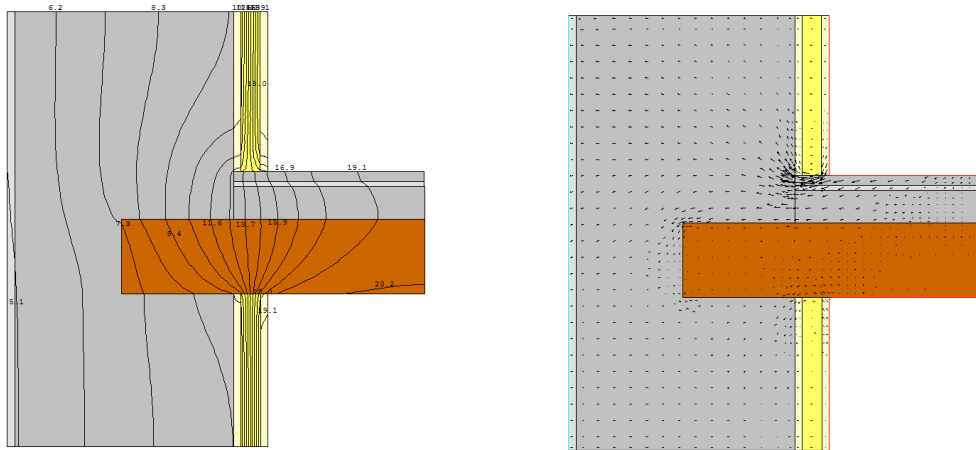


Figura 260. Líneas isotermas y vectores de flujo de energía (respectivamente), de encuentro constructivo de muro de piedra, trasdosado con PVL y aislante de lana de roca, con forjado de viguetas de madera.

Llegados a este punto, se puede llegar a la conclusión de cubrir toda la vivienda con falso techo cubierto de lana de roca, para evitar el flujo de energía por el techo. Esta solución es errónea, ya que se crea una cámara de aire susceptible de condensaciones y, por tanto, de humedades y, lo que es peor, no se observan a simple vista.

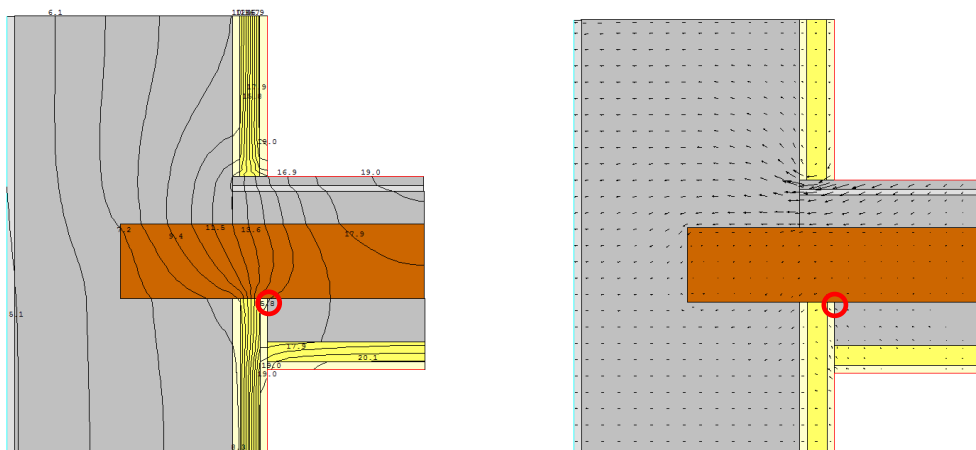


Figura 261. Líneas isotermas y vectores de flujo de energía (respectivamente), de encuentro constructivo de muro de piedra, trasdosado con PVL y aislante de lana de roca, con forjado de viguetas de madera, incluyendo falso techo con lana de roca.

En el presente estudio se ha demostrado que los problemas de los encuentros constructivos en proyectos de rehabilitación son fácilmente solucionables y baratos. Ya que no presentan dificultades técnicas ni de mano de obra ni de control de ejecución.

Realizando una correcta ejecución de los encuentros constructivos, se pueden reducir las pérdidas energéticas de forma considerable, a la vez que se combate contra las condensaciones superficiales.

Es recomendable también comparar los puentes térmicos que mayor predominio tienen en la envolvente edificatoria, actuando en los más repetitivos, o los que más longitud tienen. No resulta eficiente invertir muchos recursos en reducir la transmitancia térmica de un puente térmico que no tiene mayor influencia en la eficiencia energética del edificio o vivienda.

Es importante dar continuidad a las soluciones adoptadas en toda la longitud del puente térmico, resolviendo todas las discontinuidades, para minimizar las pérdidas de energía y condensaciones interiores en esos puntos. En caso de que la solución sea continua, se tendrá en cuenta el espesor, la calidad y las condiciones térmicas del aislante seleccionado.

6. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Moreno Domingo, Javier (Junio 2011) Evaluación Energética de los Puentes Térmicos en Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. Trabajo Fin de Máster.

Castro, Carlos (Julio 2008) Puentes Térmicos en Edificación. "Dow Building Solutions".

Cantó Blanquer, Juan. Análisis de Puentes Térmicos en Edificación. Soluciones Tradicionales e Innovadoras.

Bedoya, C.; Neila, F. J. (1999) Rehabilitación y control de puntos singulares del edificio: los puentes térmicos. Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Madrid. Munilla Lería.

Camps, J (1995) Técnicas de rehabilitación térmica de edificios. Montajes e instalaciones.

Díaz, M. I.; Tenorio, J. A. (2005) Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios. Jornadas de investigación en construcción. Instituto Eduardo Torroja. Madrid.

Ward, T.; Sanders, C. (2007) Conventions for calculating linear thermal transmittance and temperature factors. BRE Electronic Publications.

ARTICULOS

Evola, G.; Margani, G; Marletta, L. (Septiembre 2011) Energy and cost evaluation of thermal bridge correction in Mediterranean climate.

Evans, J.M.; Schiller, S. (2007) Procedimiento de auditorías y evaluación de servicio energético: Desarrollo, aplicación y transferencia. ISSN 0329-5184

NORMATIVA DE REFERENCIA

Puentes térmicos en la edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados. UNE-EN ISO 10211:2012.

Prestaciones térmicas de edificios. Transmisión de calor por el terreno. Métodos de cálculo. UNE-EN ISO 13370:2010.

Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo. UNE-EN ISO 13788:2002.

Prestaciones térmicas de los edificios. Coeficientes de transferencia de calor por transmisión y ventilación. Método de cálculo. UNE-EN ISO 13789:2010.

Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo. UNE-EN ISO 6946:2012.

Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 1: Métodos generales de cálculo. UNE-EN ISO 10211-1:1995.

Aislamiento térmico. Magnitudes físicas y definiciones. UNE-EN ISO 7345:1996.

Puentes térmicos en edificación. Transmitancia térmica lineal. Métodos simplificados y valores por defecto. UNE-EN ISO 14683:2011.

Materiales y productos para la edificación. Procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño. UNE-EN ISO 10456:2001.

Puentes térmicos en edificación. Cálculo de flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 1: Métodos generales. UNE-EN ISO 10211-1/AC:2002.

Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 2: Puentes térmicos lineales. UNE-EN ISO 10211-2:2002.

Directiva 2002/91/CE. Eficiencia energética en los edificios.

Directiva 2006/32/CE. Eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

Directiva 2010/31/CE. Eficiencia energética de edificios.

Ley 38/1999. Ley Ordenación de Edificación.

Real Decreto 314/2006. Aprobación del Código Técnico de la Edificación.

Real Decreto 1027/2007. Reglamento sobre instalaciones térmicas en los edificios.

Real Decreto 47/2007. Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General para la Vivienda y la Arquitectura. Norma Básica Edificación, Condiciones Térmicas en los Edificios. NBE-CT-79. 1979.

Ministerio de la Vivienda. Código Técnico de la Edificación. 2006.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

<http://www.pachecoam.com/site1/rehabilitacion-puentes-termicos-fachadas/>

http://www.apabcn.cat/documentacio/comunicacio/activitats/construmat/agora/ponencies/Francesc_Montolio.pdf

<http://es.climate-data.org/location/56964/>

<http://www.andimat.es/wp-content/uploads/2008/08/capitulo-de-rehabilitacion-de-fachadas-con-aislamiento-termico.pdf>

<https://www.construible.es/comunicaciones/ii-congreso-eccn-incidencia-puentes-termicos-en-edificio-rehabilitado>

<http://es.slideshare.net/gaverbloom/catlogo-de-puentes-trmicos>

<http://www.ecoeficiente.es/aprende-a-calcular-puentes-termicos-con-therm/>

<http://tematicas.org/indicadores-economicos/indicadores-de-produccion-y-demanda-nacional/construccion/eoe-visados-direccion-obra-nueva-edificios-destinados-a-viviendas/>

<http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t07/a081/a1998/&file=pcaxis>

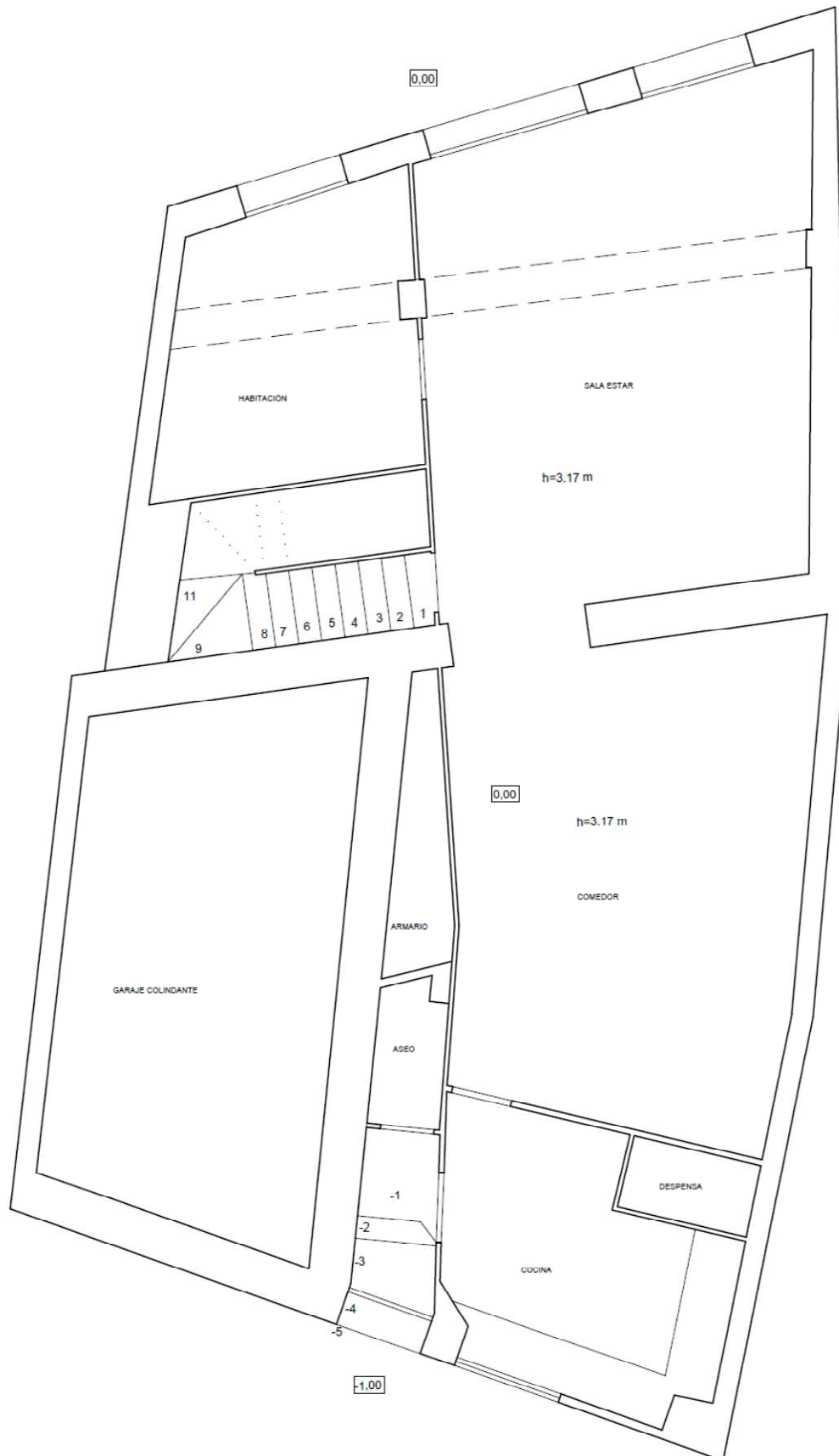
http://www.construmatica.com/construpedia/Puente_T%C3%A9rmico

ANEXO I. PLANOS

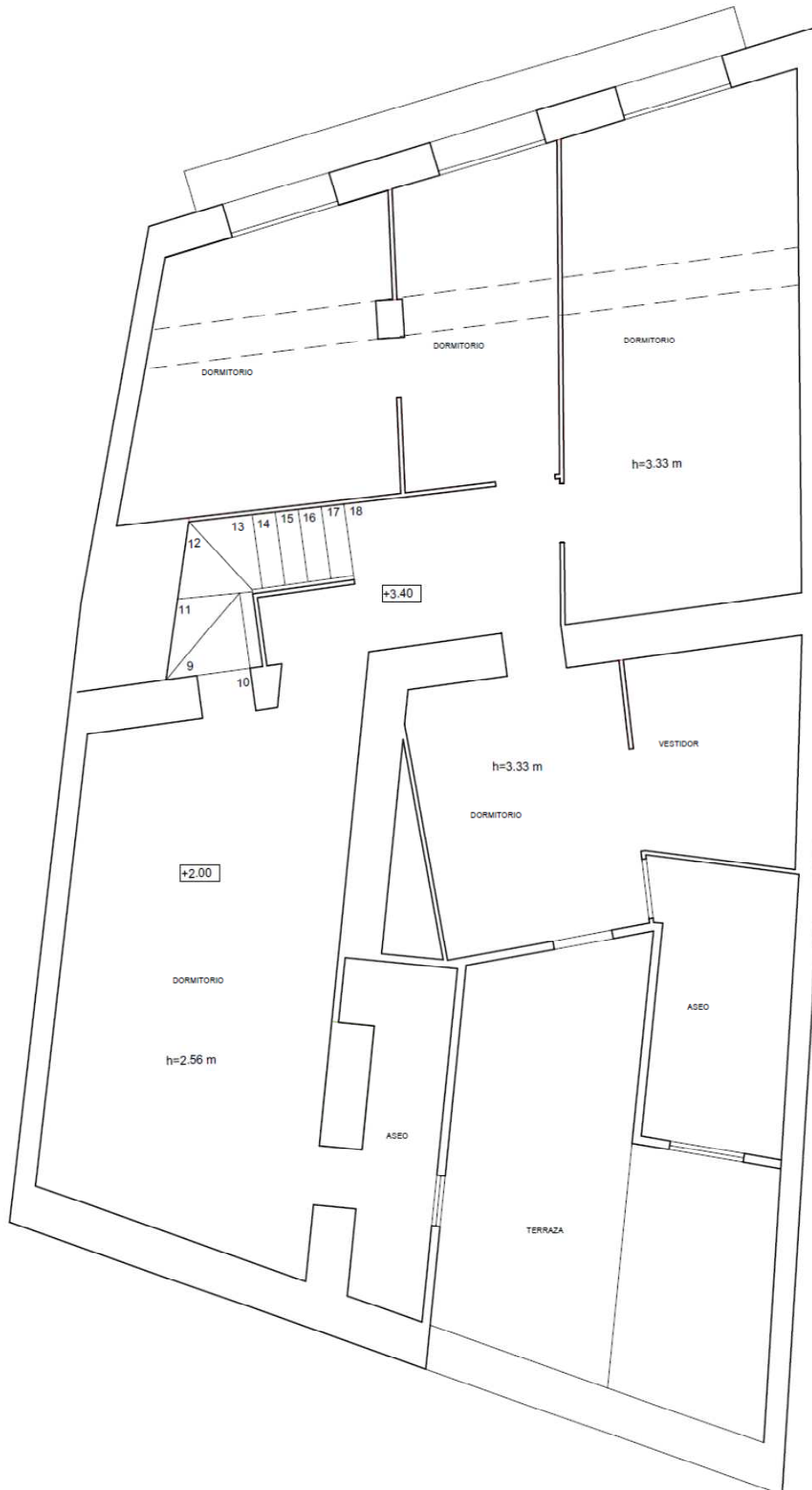
ÍNDICE

- AI1. PLANTA BAJA. ESTADO ORIGINAL. s/e.
- AI2. PLANTA PRIMERA. ESTADO ORIGINAL. s/e.
- AI3. PLANTA SEGUNDA. ESTADO ORIGINAL. s/e.
- AI4. PLANTA APROV. BAJO CUBIERTA. ESTADO ORIGINAL. s/e.
- AI5. SECCIÓN A-A'. ESTADO ORIGINAL. s/e.
- AI6. SECCIÓN B-B'. ESTADO ORIGINAL. s/e.
- AI7. PLANTA BAJA Y ENTRESUELO. ESTADO REHABILITADO. s/e.
- AI8. PLANTA PRIMERA. ESTADO REHABILITADO. s/e.
- AI9. PLANTA SEGUNDA. ESTADO REHABILITADO. s/e.
- AI10. PLANTA APROV. BAJO CUBIERTA. ESTADO REHABILITADO. s/e.
- AI11. PLANTA CUBIERTA. ESTADO REHABILITADO. s/e.
- AI12. SECCIÓN A-A'. ESTADO REHABILITADO. s/e.
- AI13. FACHADA OESTE. ESTADO REHABILITADO. s/e.
- AI14. FACHADA ESTE. ESTADO REHABILITADO. s/e.
- AI15. SECCIÓN B-B'. ESTADO REHABILITADO. s/e.

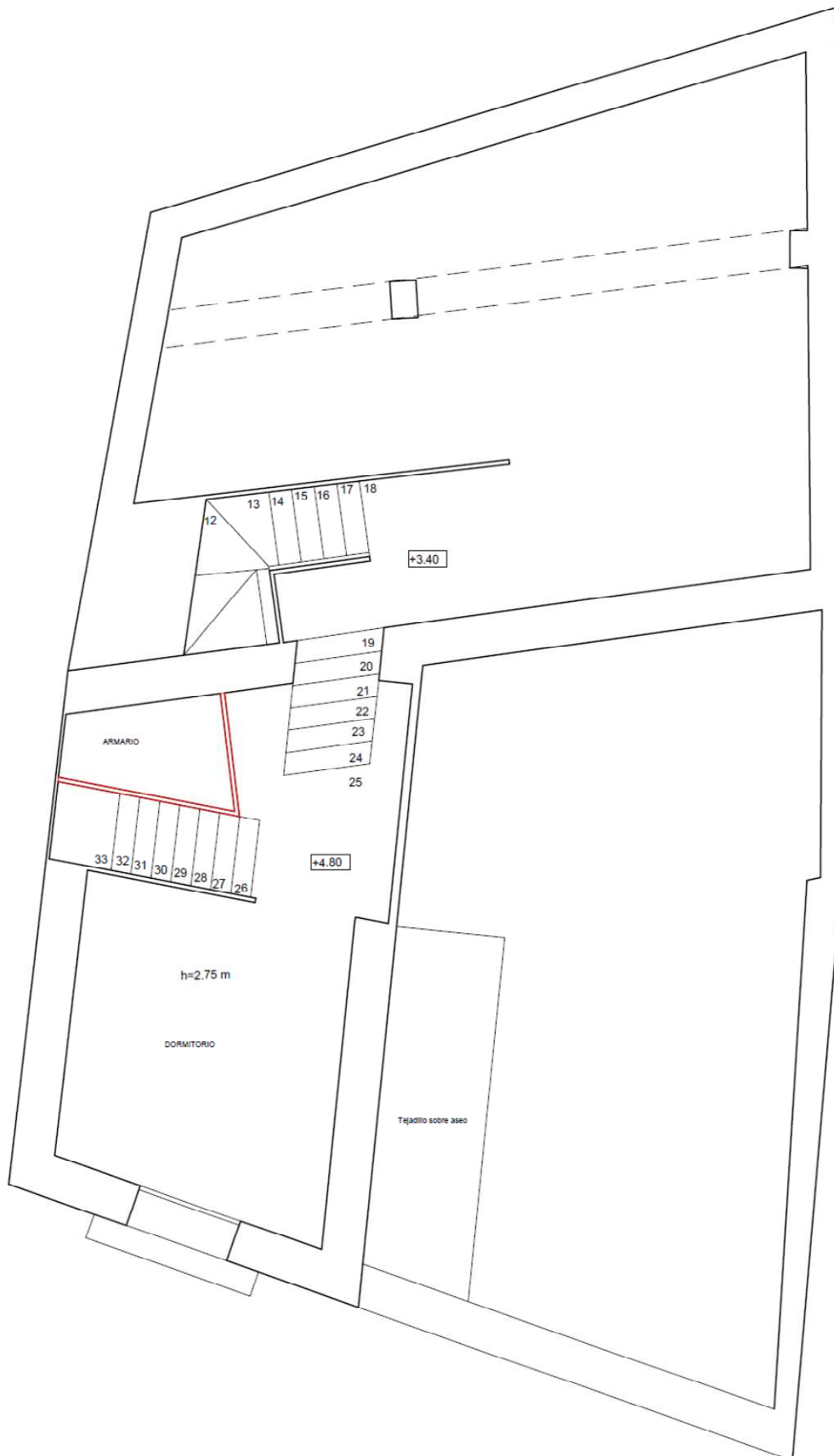
AI1. PLANTA BAJA. ESTADO ORIGINAL. s/e.



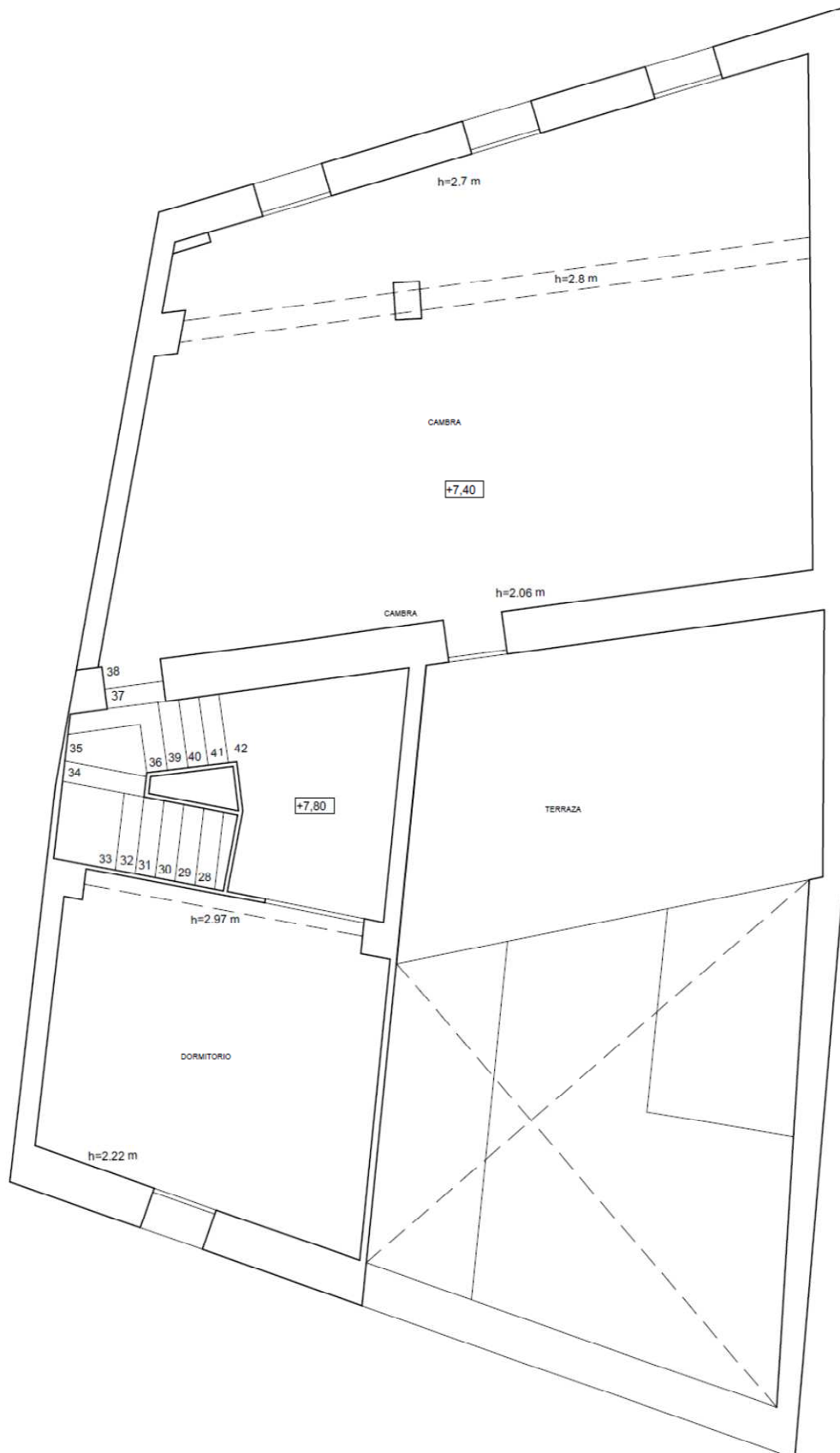
AI2. PLANTA PRIMERA. ESTADO ORIGINAL. s/e.



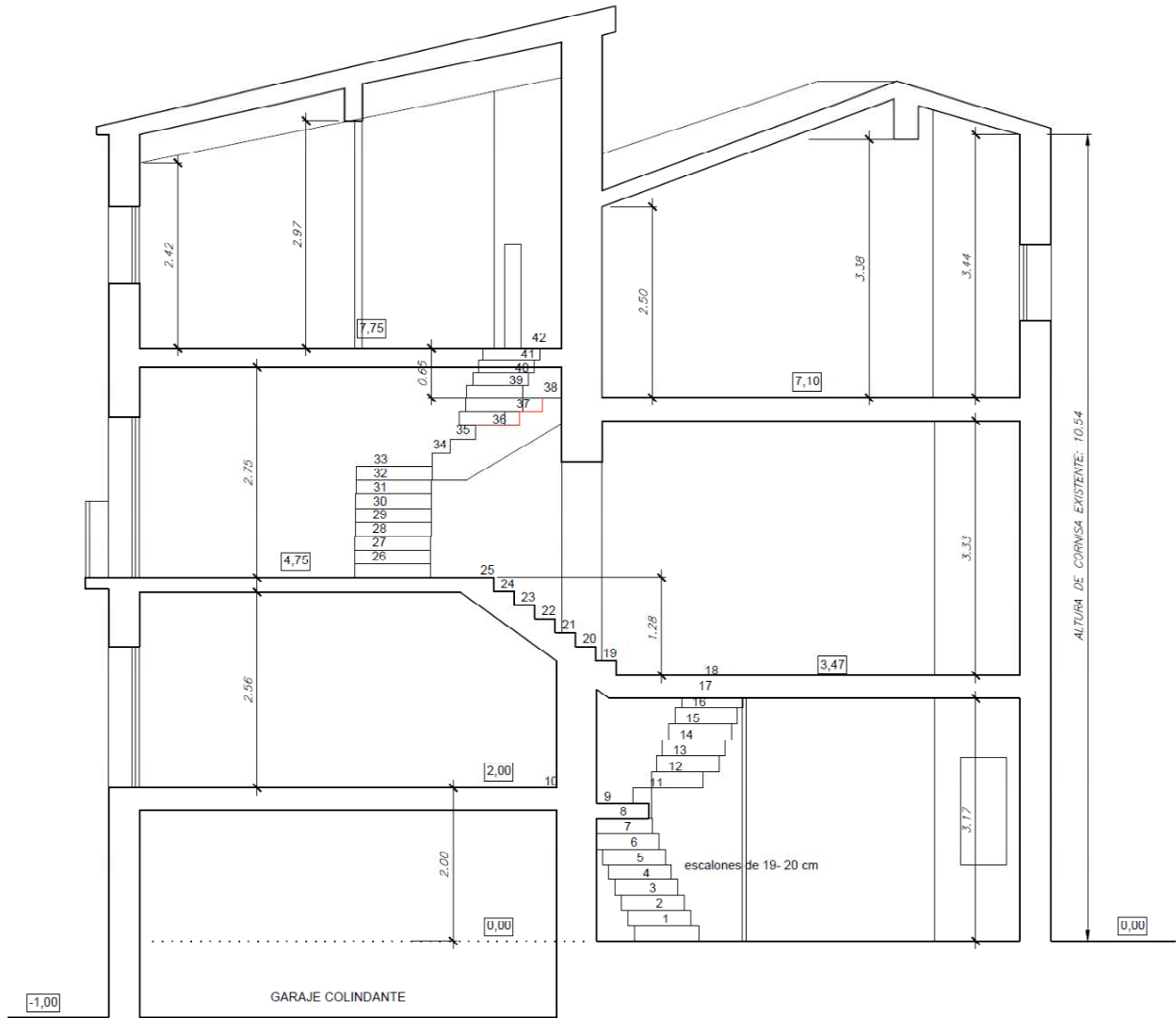
AI3. PLANTA SEGUNDA. ESTADO ORIGINAL. s/e.



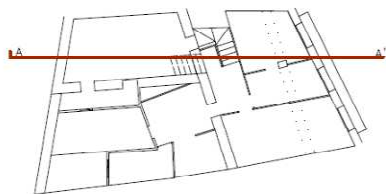
AI4. PLANTA APROV. BAJO CUBIERTA. ESTADO ORIGINAL. s/e.



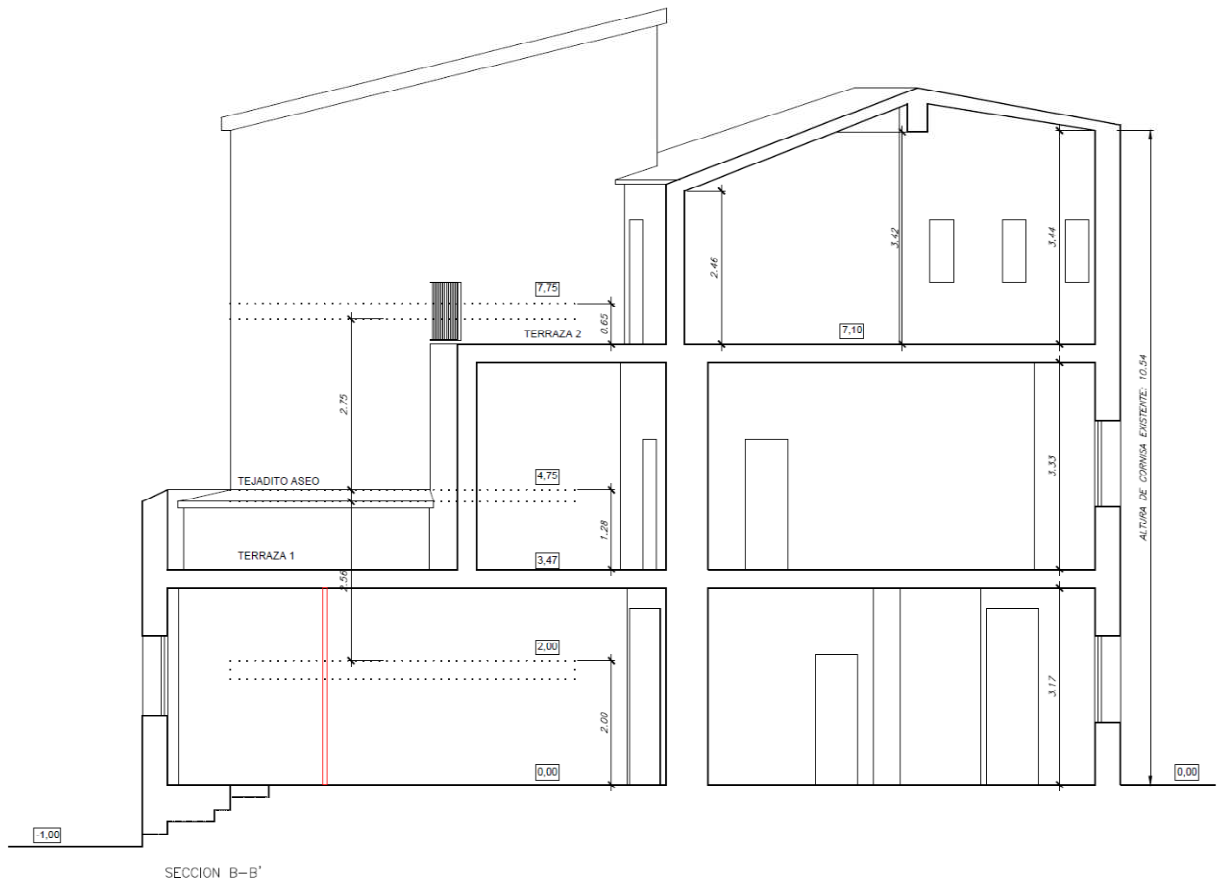
AI5. SECCIÓN A-A'. ESTADO ORIGINAL. s/e.



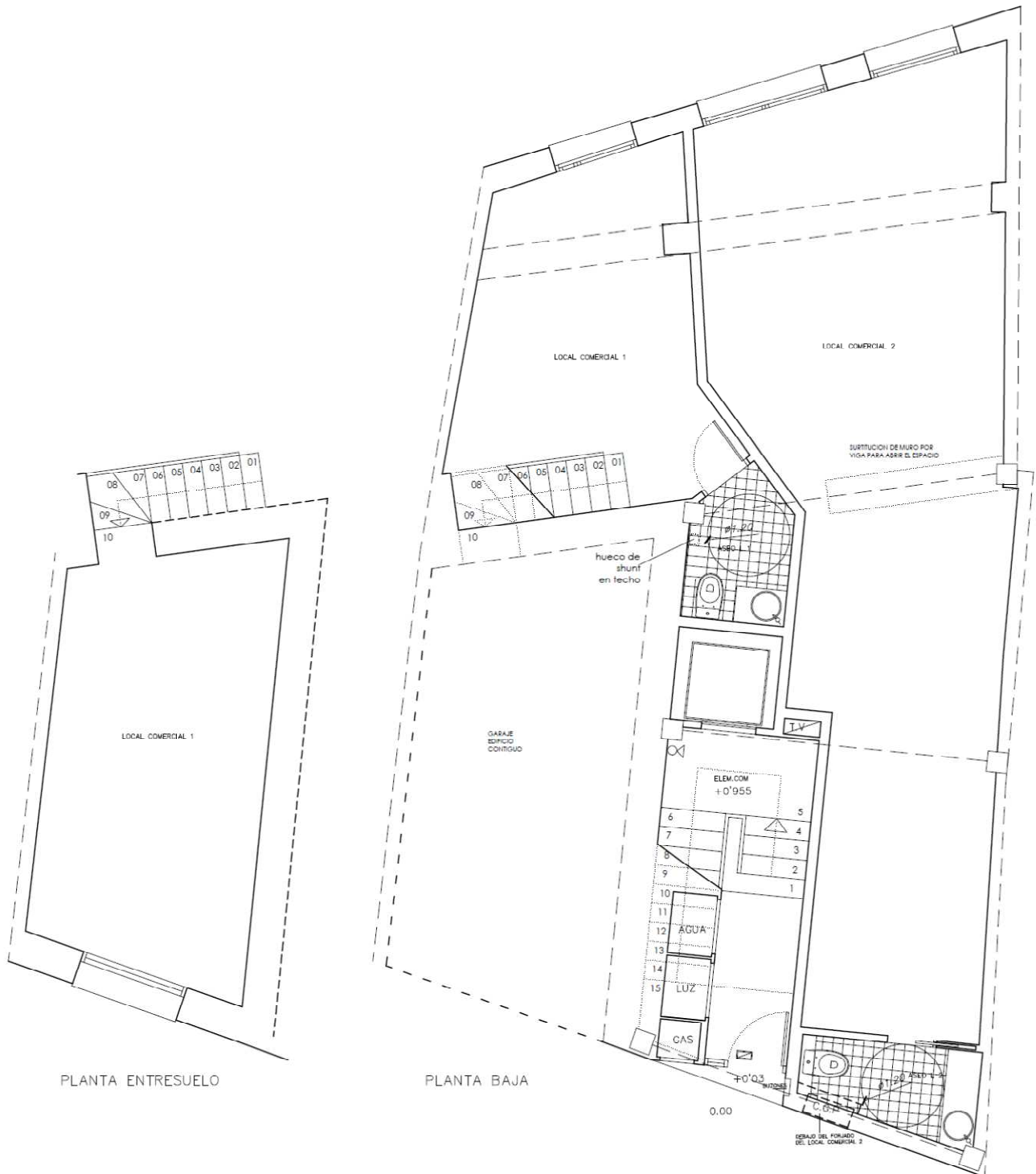
SECCION A-A'



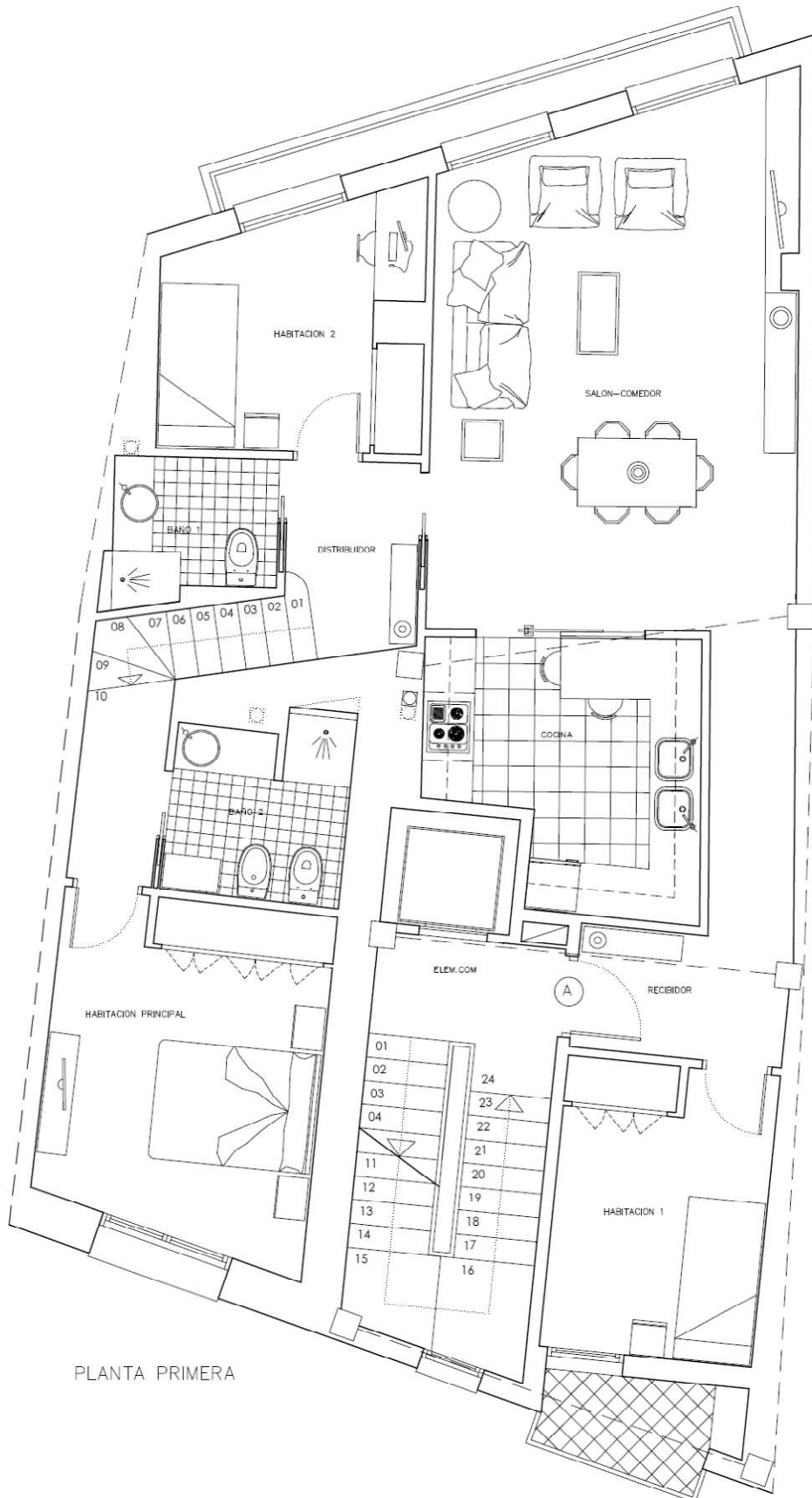
AI6. SECCIÓN B-B'. ESTADO ORIGINAL. s/e.



AI7. PLANTA BAJA Y ENTRESUELO. ESTADO REHABILITADO. s/e.

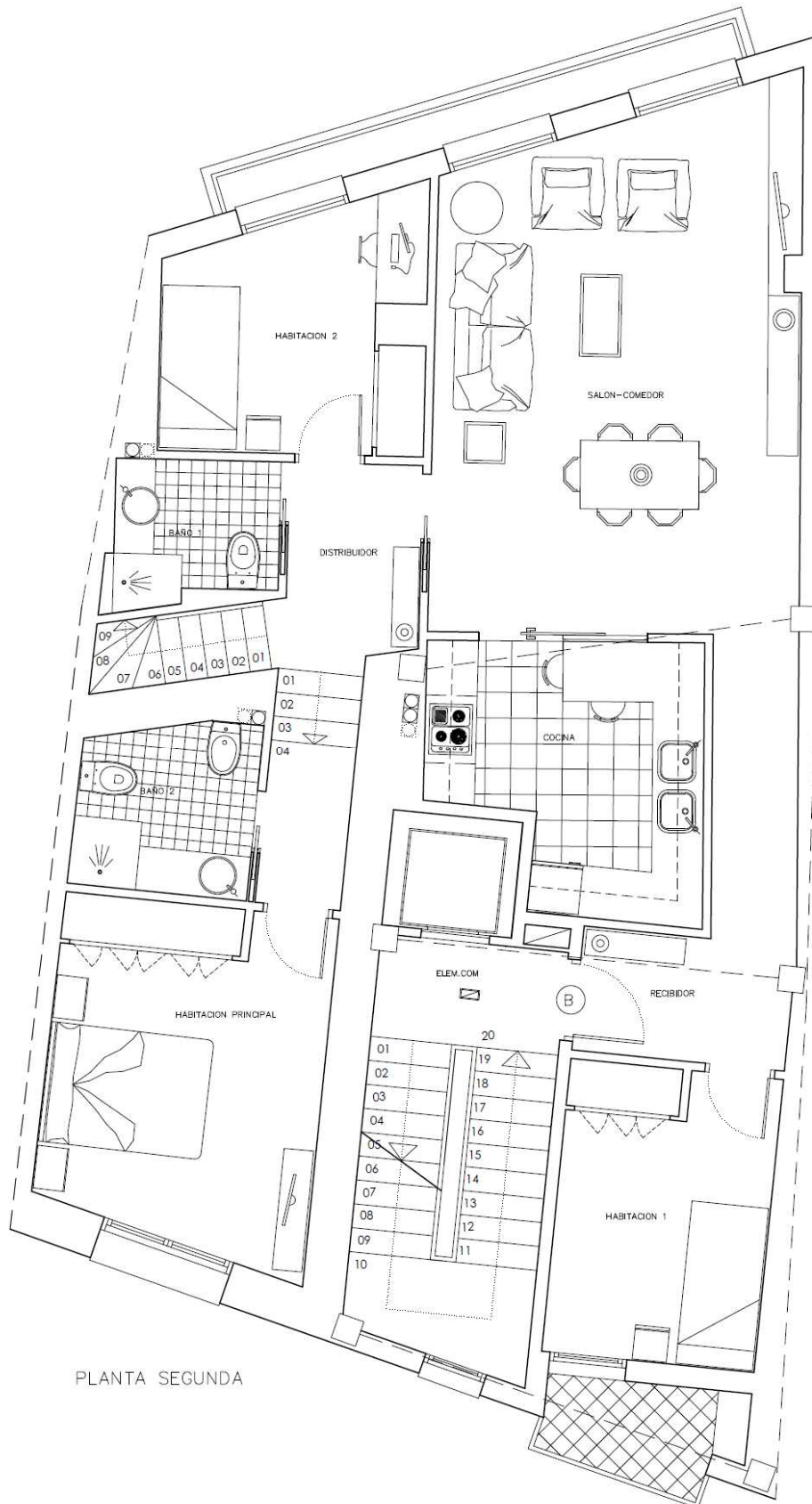


AI8. PLANTA PRIMERA. ESTADO REHABILITADO. s/e.

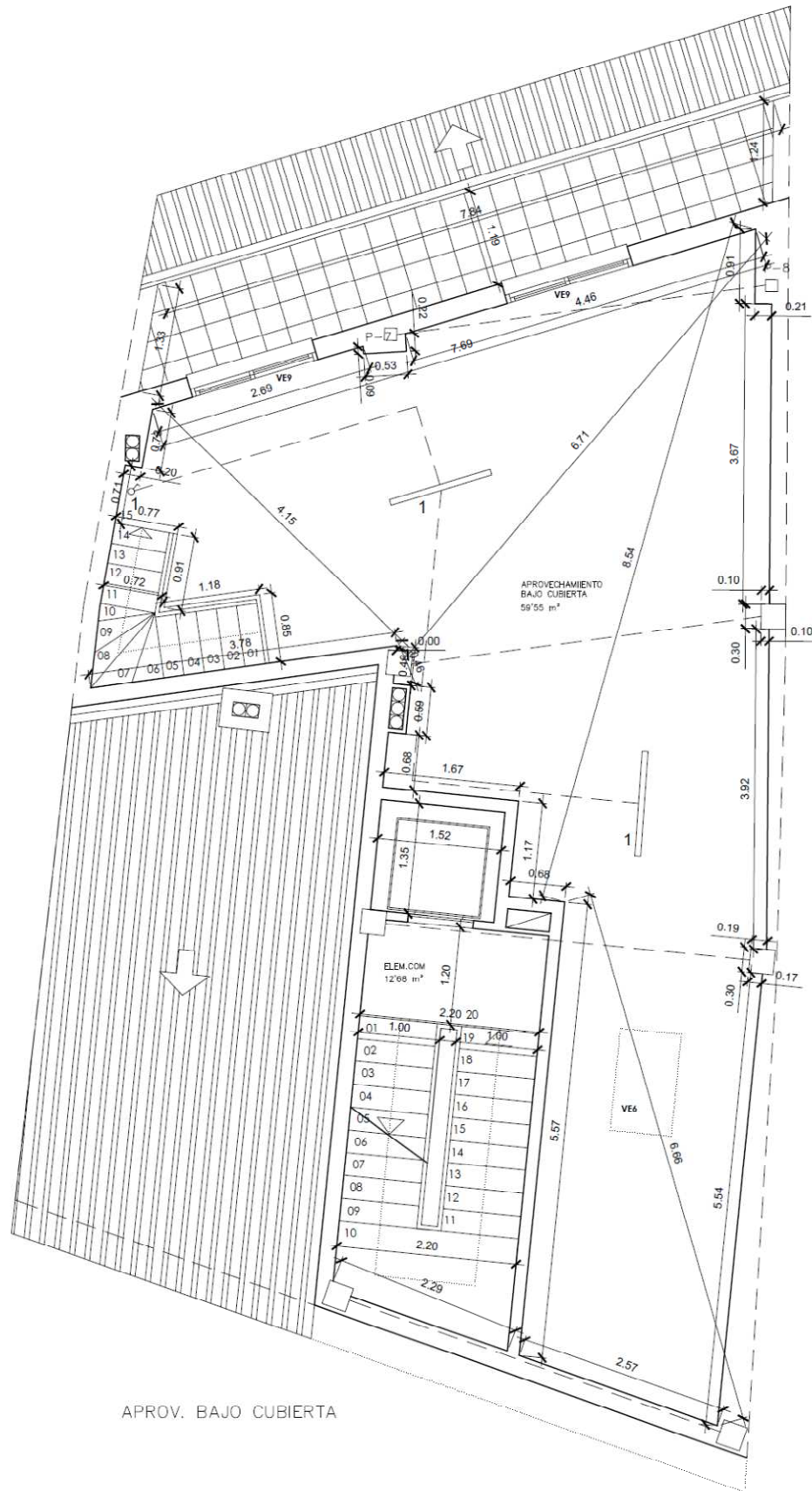


PLANTA PRIMERA

AI9. PLANTA SEGUNDA. ESTADO REHABILITADO. s/e.

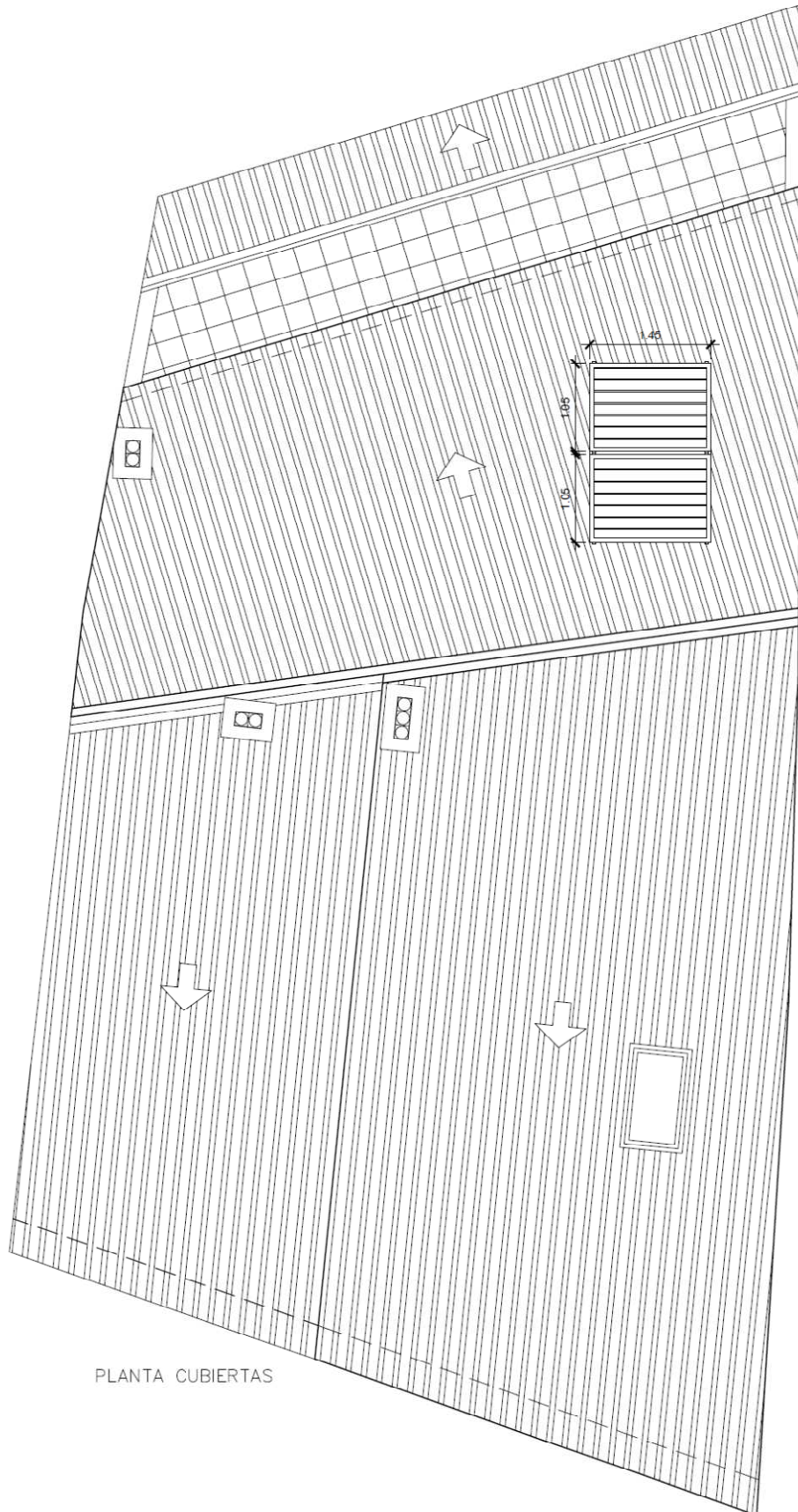


AI10. PLANTA APROV. BAJO CUBIERTA. ESTADO REHABILITADO. s/e.



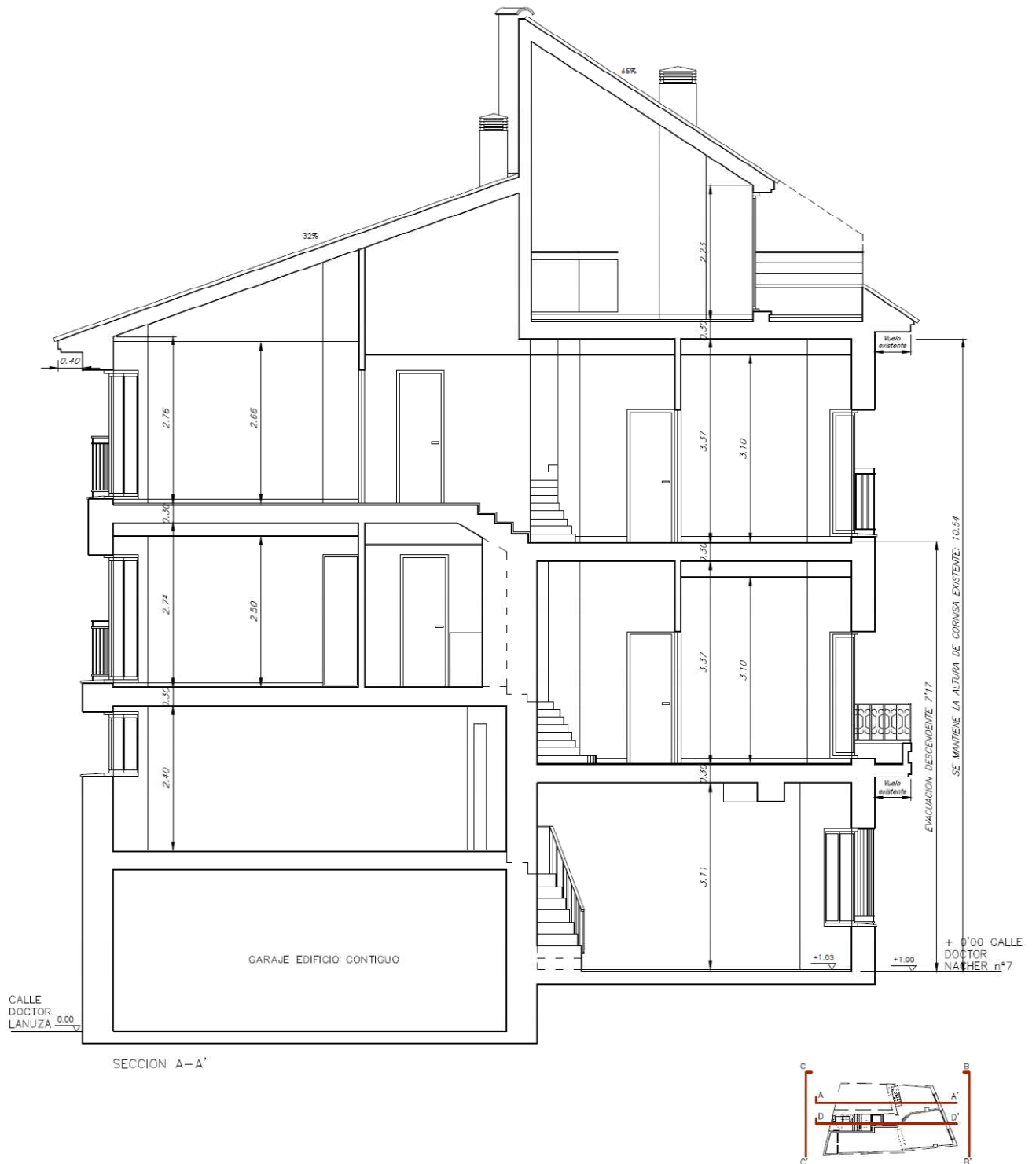
APROV. BAJO CUBIERTA

AI11. PLANTA CUBIERTA. ESTADO REHABILITADO. s/e.



PLANTA CUBIERTAS

AI12. SECCIÓN A-A'. ESTADO REHABILITADO. s/e.



AI13. FACHADA OESTE. ESTADO REHABILITADO. s/e.

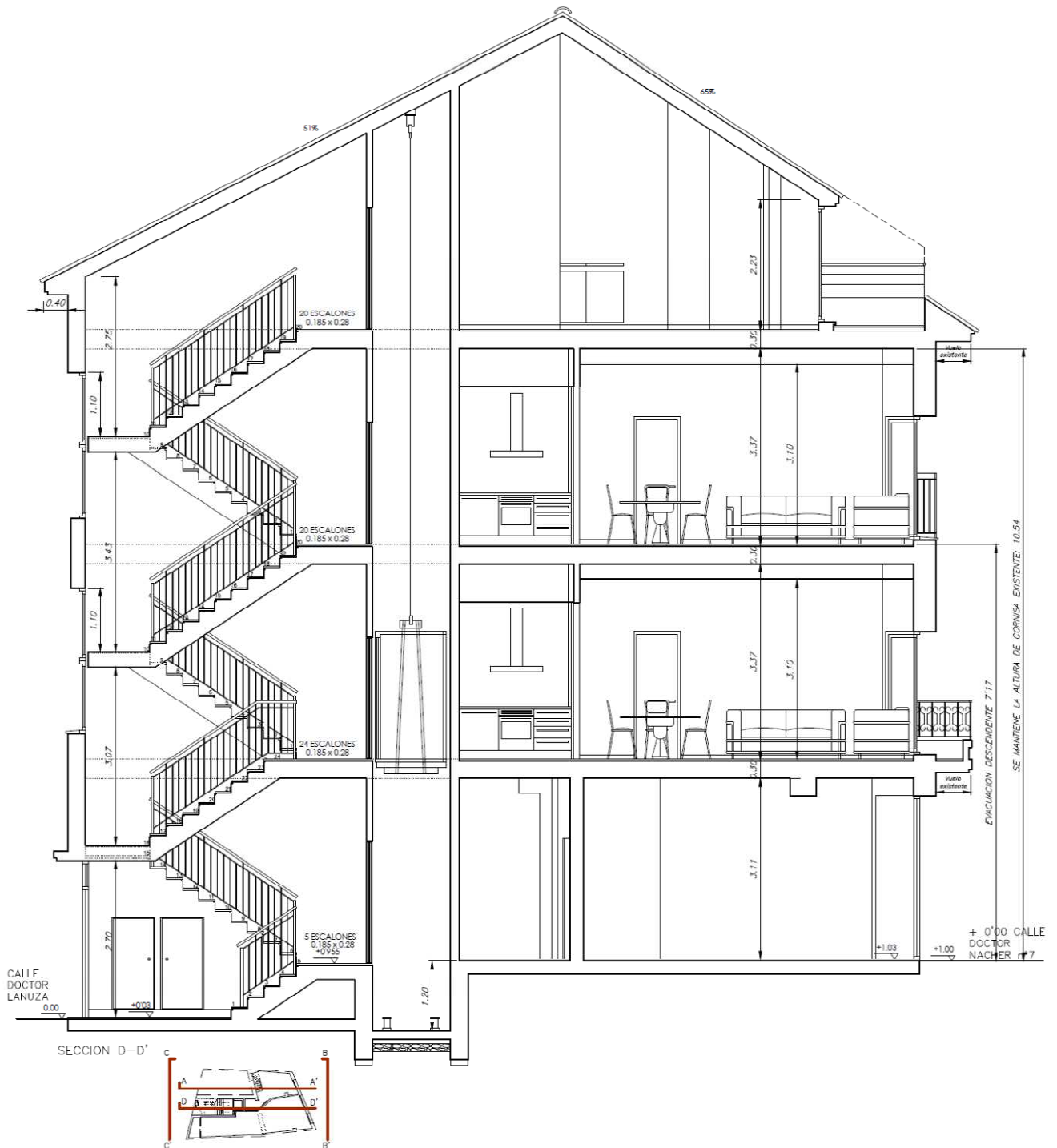


FACHADA CALLE DOCTOR NACHER n° 7 B-B'
FACHADA OESTE

AI14. FACHADA ESTE. ESTADO REHABILITADO. s/e.



AI15. SECCIÓN B-B'. ESTADO REHABILITADO. s/e.



ANEXO II. GALERÍA FOTOGRÁFICA

ÍNDICE

- AII1. FACHADA OESTE (I). ESTADO ORIGINAL.
- AII2. FACHADA OESTE (II). ESTADO ORIGINAL.
- AII3. FACHADA ESTE (I). ESTADO ORIGINAL.
- AII4. FACHADA ESTE (II). ESTADO ORIGINAL.
- AII5. ENCUESTRO FACHADA OESTE - FORJADO. ESTADO ORIGINAL.
- AII6. ENCUESTRO FACHADA ESTE - FORJADO. ESTADO ORIGINAL.
- AII7. ENCUESTRO FACHADA OESTE - CUBIERTA. ESTADO ORIGINAL.
- AII8. FACHADA ESTE. ESTADO REHABILITADO.
- AII9. ENCUESTRO FACHADA ESTE - BALCÓN. ESTADO REHABILITADO.
- AII10. FORJADOS ORIGINAL Y REHABILITADO. ESTADO REHABILITADO.
- AII11. ENCUESTRO FACHADA ESTE - FORJADO. ESTADO REHABILITADO.

AII1. FACHADA OESTE (I). ESTADO ORIGINAL.



AII2. FACHADA OESTE (II). ESTADO ORIGINAL.



AI13. FACHADA ESTE (1). ESTADO ORIGINAL.



AII4. FACHADA ESTE (II). ESTADO ORIGINAL.



AII5. ENCUESTRO FACHADA OESTE - FORJADO. ESTADO ORIGINAL.



AII6. ENCUESTRO FACHADA ESTE - FORJADO. ESTADO ORIGINAL.



AII7. ENCUENTRO FACHADA OESTE - CUBIERTA. ESTADO ORIGINAL.



AII8. FACHADA ESTE. ESTADO REHABILITADO.



AII9. ENCUENTRO FACHADA ESTE - BALCÓN. ESTADO REHABILITADO.



AII10. FORJADOS ORIGINAL Y REHABILITADO. ESTADO REHABILITADO.



AII11. ENCUENTRO FACHADA ESTE - FORJADO. ESTADO REHABILITADO.

