



Escuela  
Politécnica  
Superior

# Estudio de las fachadas activas en la edificación



Grado en Arquitectura Técnica

Trabajo Fin de Grado

Autor:

Paula García García

Tutor/es:

Ada García-Quismondo Cartes

Julio 2017



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. JUSTIFICACIÓN .....	13
3. OBJETIVOS .....	16
4. ANTECEDENTES .....	17
5. METODOLOGÍA .....	22
6. ANALIZAR EL CONTEXTO ENERGÉTICO EN ESPAÑA .....	25
6.1. ENERGÍA A TIEMPO REAL EN ESPAÑA.....	25
6.2. COMPARACIÓN DEMANDA ENERGÍA EN ESPAÑA EN AGOSTO Y DICIEMBRE 2016 .....	26
6.3 PREVISIONES FUTURO ENERGÉTICO ESPAÑA Y EUROPA .....	29
6.4. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA SEGÚN EL IDAE.....	32
6.5. NORMATIVA RELATIVA A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	33
7. LA ENVOLVENTE.....	36
7.1. ENVOLVENTES PASIVAS.....	38
7.2. ENVOLVENTES ACTIVAS.....	39
8. FACHADAS ACTIVAS.....	40
8.1. FACHADAS VENTILADAS ACTIVAS.....	41
8.2. FACHADAS CINÉTICAS.....	57
8.3. OTRAS FACHADAS ACTIVAS .....	60
9. ESTUDIO COMPORTAMIENTO DE LAS FACHADAS ACTIVAS CONFORME A LAS HERRAMIENTAS OFICIALES DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA .....	73
9.1. DEFINICIÓN EDIFICIO DE ENSAYO .....	84
9.2 SIMULACIONES FACHADA VENTILADA.....	92
9.3 SIMULACIÓN MURO SOLAR.....	101
9.4 SIMULACIÓN MURO TROMBE.....	102
10. COMPARATIVA RESULTADOS SIMULACIONES EN HULC .....	104
10.1. COMPARATIVA SIMULACIONES FACHADA VENTILADA SEGÚN ORIENTACIONES ....	104

10.2. COMPARATIVA SIMULACIONES FACHADA VENTILADA SEGÚN ABSORTIVIDAD HOJA EXTERIOR.....	115
10.3. COMPARATIVA SIMULACIONES FACHADA VENTILADA SEGÚN ESPESOR CÁMARA DE AIRE.....	121
10.4. COMPARATIVA SIMULACIONES FACHADA VENTILADA CON SUPRESIÓN DE AISLANTE TÉRMICO.....	122
10.5. COMPARATIVA SIMULACIONES MURO SOLAR.....	131
10.6. COMPARATIVA SIMULACIONES MURO TROMBE.....	134
11. CONCLUSIONES.....	137
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141
13. ANEXOS.....	145

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Consumo eléctrico y proporción energías renovables y otros países. Fuente: IEA. International Energy Agency. Elaboración propia.....	29
Tabla 2. Ahorro energético al aplicar la FVA. Fuente: Informes de la construcción .....	44
Tabla 3. Valores relevantes demanda energética edificio objeto. Fuente: Elaboración propia...	90
Tabla 4. Resultados simulaciones fachada ventilada según orientaciones. Fuente: Elaboración propia .....	104
Tabla 5. Resultados simulaciones fachada ventilada según absorptividades. Fuente: Elaboración propia .....	115
Tabla 6. Resultados simulaciones fachada ventilada según espesor cámara. Fuente: Elaboración propia .....	121
Tabla 7. Resultados simulaciones fachada ventilada sin aislante. Fuente: Elaboración propia	122
Tabla 8. . Resultados simulaciones Muro Solar. Fuente: Elaboración propia.....	131
Tabla 9. Resultados Muro Trombe. Fuente: Elaboración propia.....	134

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Demanda energética de calefacción y refrigeración anual por conceptos. Fuente: IETcc-CSIC .....	15
Figura 2. Funcionamiento pilares generadores de "microclima". Fuente: Dadun. Depósito académico digital de Navarra. César Martín Gómez. ....	19
Figura 3. Sección vertical Torre Strawscraper. Fuente: Belatchew Arkitekter www.ecosiglos.com .....	20
Figura 4. Fotografía con prototipo de la Torre Strawcreper. Fuente: Belatchew Arkitekter. www.ecosiglos.com .....	20
Figura 5. Gráfico demanda energía eléctrica en tiempo real España. Fuente: Red Eléctrica España. ....	25
Figura 6. Diagrama procedencia energía eléctrica. Fuente: Red Eléctrica España .....	26
Figura 7. Balance eléctrico peninsular Agosto 2016. Fuente: Red Eléctrica España. Boletín mensual agosto 2016.....	27
Figura 8. Diagrama con porcentajes de energías renovables. Fuente: Red Eléctrica España. Boletín mensual agosto 2016. ....	27
Figura 9. Balance eléctrico peninsular diciembre 2016. Fuente: Red Eléctrica España. Boletín mensual diciembre 2016.....	28
Figura 10. . Diagrama con porcentajes de energías renovables. Fuente: Red Eléctrica España. Boletín mensual diciembre 2016 .....	28
Figura 11. Reducción emisiones CO2 mundiales con respecto a 1990. Fuente: European Comission .....	30
Figura 12. Objetivo 2020. Energías renovables. Fuente: IDAE.....	30
Figura 13. Estado objetivo 2020 energías renovables en 2015. Fuente: Eurostat. Comisión Europea.....	31
Figura 14. Gráfica evolución consumo energía según tecnologías, periodo 2000-2014. Fuente: MINETUR/IDAE.....	32
Figura 15. Diagrama circular de la estructura de generación eléctrica según tecnologías, 2014. Fuente: MINETUR/IDAE.....	33
Figura 16. Esquema de envolvente térmica de un edificio. Fuente: CTE-DB-HE (2006).....	36
Figura 17. Funcionamiento Fachada ventilada estática .....	41
Figura 18, Fachada ventilada. Fuente: Tempio.....	41
Figura 19. . Muro solar con cámara ventilada controlable. Fuente: Elaboración propia a partir de Informes de la construcción, fachadas ventiladas activas. ....	43

Figura 20. Muro trombe. Fuente: Proyecto RECONSOST.....	45
Figura 21. Muro trombe no ventilado. Fuente: Proyecto RECONSOST .....	46
Figura 22. Muro Trombe ventilado. Fuente: Proyecto RECONSOST .....	46
Figura 23. Posibilidades Muro Trombe ventilado. Fuente: Proyecto RECONSOST.....	47
Figura 24. Edificio Acciona Solar. Fuente: Grupo ACCIONA.....	48
Figura 25. . Aportación de energía de los sistemas constructivos instalados en la Sede Acciona Solar. Fuente: Grupo ACCIONA.....	48
Figura 26. Funcionamiento Sede ACCIONA Solar en verano. Fuente: Grupo ACCIONA.....	49
Figura 27. Funcionamiento Sede ACCIONA Solar en invierno. Fuente: Grupo ACCIONA.....	50
Figura 28. Esquema Efecto Peltier. Fuente: www.mundodigital.net.....	51
Figura 29. Esquema del primer prototipo de sistema de climatización termoeléctrico. Fuente: DADUN. Depósito académico digital Universidad de Navarra. ....	52
Figura 30. Esquema del comportamiento energético de la fachada activa termoeléctrica en invierno (izquierda) y verano (derecha). Fuente: DADUN. Depósito académico digital Universidad de Navarra.....	53
Figura 31. Fotografía de los dos prototipos de ensayo. Prototipo FV sin control (derecha) y prototipo FV con sistema de climatización termoeléctrica (izquierda). Fuente: DADUN. Depósito académico digital Universidad de Navarra. ....	54
Figura 32. Perspectiva del Solar Activated Facade (SAF). Fuente: <a href="http://www.saf-usa.com">http://www.saf-usa.com</a> .....	54
Figura 33. Funcionamiento SAF en invierno (izquierda) y en verano (derecha). Fuente: <a href="http://www.saf-usa.com">http://www.saf-usa.com</a> .....	55
Figura 34. Paneles fotovoltaicos sistema SAF. Fuente: <a href="http://www.saf-usa.com">http://www.saf-usa.com</a> .....	56
Figura 36. Esquema fachada cinética. Fuente: Yazdani Studio .....	57
Figura 35. Perspectiva de la fachada cinética. Fuente: Yazdani Studio .....	57
Figura 37. Café OPEN. Ventanas retráctiles. Fuente: <a href="https://ecosocialhouse.wordpress.com">https://ecosocialhouse.wordpress.com</a> ....	58
Figura 38. Sistema Sunbreak. Fuente: Archdaily .....	59
Figura 39, Funcionamiento Sunbreak. Fuente:Archdaily .....	59
Figura 40. Funcionamiento Sunbreak. Fuente:Archdaily .....	59
Figura 41. Cambio forma fachada homeostática. Temperaturas bajas (izquierda) frente a temperaturas altas (derecha). Fuente: <a href="http://internationalfacade.com">internationalfacade.com</a> .....	60
Figura 42. Fachada algas. Fuente: <a href="http://www.labioguia.com">www.labioguia.com</a> .....	61
Figura 43. Fachada fotovoltaica Hotel Tres Reyes, Pamplona. Fuente: Planinter Blog .....	62
Figura 44. Comportamiento de la fachada con acristalamiento triple activo en verano (izquierda) y en invierno (derecha). Fuente: Fenercom (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid) .....	63

Figura 45. Esquema Caso 1. Fuente: Fenercom .....	64
Figura 46. Oscilaciones térmicas Caso 1 en invierno (izquierda) y verano (derecha). Fuente: Fenercom .....	65
Figura 47. Esquema Caso 2. Fuente: Fenercom .....	66
Figura 48. Oscilaciones térmicas Caso 2 en invierno (izquierda) y verano (derecha). Fuente: Fenercom .....	67
Figura 49. Muro cortina UCLM con sistema Intelliglass. Fuente: Intelliglass .....	68
Figura 50. Circuito hidráulico muro cortina UCLM con sistema Intelliglass. Fuente: Intelliglass .	68
Figura 51. Zollverein School. Fachada hormigón activa. Fuente: <a href="https://thomasmayerarchive.de">https://thomasmayerarchive.de</a> .....	69
Figura 52. Esquema fachada hormigón activa. Fuente: Thermally active Surface in architecture. Kiel Moe. Google Books.....	69
Figura 54. Figura 54. Circuito agua circulante en forjado. Fuente: <a href="https://thomasmayerarchive.de">https://thomasmayerarchive.de</a> .....	70
Figura 53. Circuito agua circulante fachada hormigón activa. Fuente: <a href="https://thomasmayerarchive.de">https://thomasmayerarchive.de</a> .....	70
Figura 55. Sistema BIOPIX. Fuente: <a href="http://ruizlarrea.com/sistema/bio-pix">http://ruizlarrea.com/sistema/bio-pix</a> .....	71
Figura 56. Sección constructiva BIOPIX. Fuente: Foro de innovación en el sector de la Rehabilitación Energética de Edificios .....	72
Figura 57. Sistema BIOPIX en Agencia Andaluza de la Energía. Fuente: <a href="http://ruizlarrea.com/sistema/bio-pix">http://ruizlarrea.com/sistema/bio-pix</a> .....	72
Figura 58. Diferentes tipos de pixeles BIOPIX instalados. Fuente: <a href="http://ruizlarrea.com/sistema/pixel-bioclimatico">http://ruizlarrea.com/sistema/pixel-bioclimatico</a> .....	72
Figura 59. Interfaz Ce3. Fuente: Elaboración propia mediante Ce3. Calificación energética edificios existentes .....	74
Figura 60. Definición Constructiva Ce3. Fuente: Elaboración propia mediante Ce3. Certificación energética edificios existentes.....	75
Figura 61. Interfaz CE3X. Fuente: Elaboración propia mediante CE3X -RES.....	76
Figura 62. Base de datos cerramiento CE3X. Fuente: Elaboración propia mediante CE3X-RES.	77
Figura 63. Interfaz CERMA. Fuente: Elaboración propia mediante CERMA.....	78
Figura 64. Base de datos Cerramientos CERMA. Fuente: Elaboración propia mediante CERMA	78
Figura 65. Interfaz HULC. Fuente: Elaboración propia mediante CTE-HE (HULC) .....	79
Figura 66. Capacidades adicionales HULC. Fuente: Elaboración propia mediante CTE-HE (HULC) .....	79

Figura 67. Creación fachada ventilada en HULC. Fuente: Elaboración propia mediante CTE-HE (HULC) .....	81
Figura 68. Creación Muro Solar en HULC. Fuente: Elaboración propia mediante CTE-HE (HULC) .....	82
Figura 69. Creación Muro Trombe en HULC. Fuente: Elaboración propia mediante CTE-HE (HULC) .....	83
Figura 70. Modelo edificio documento IDAE. Fuente: IDAE .....	84
Figura 71. Modelo edificio objeto creado en HULC. Fuente: Elaboración propia .....	84
Figura 72. Elección Zona climática en el programa. Fuente: Elaboración propia .....	85
Figura 73. Zonas climáticas de la Península Ibérica. Fuente: CTE-DB-HE1 . Apéndice B. B1 Código Técnico Edificación .....	86
Figura 74. . Transmitancias térmicas cerramientos según la zona climática. Fuente: CTE-DB-HE1 .....	86
Figura 75. . Transmitancias térmicas huecos según la zona climática. Fuente: CTE-DB-HE1 .....	86
Figura 76. Base de datos cerramientos HULC. Fuente: Elaboración propia .....	87
Figura 77. Resultado Cumplimiento Demanda calefacción y refrigeración caso inicial. Fuente: Elaboración propia .....	88
Figura 78. Pérdidas y ganancias de calefacción del Edificio objeto. Fuente: Elaboración propia	89
Figura 79. Pérdidas y ganancias de refrigeración del Edificio objeto. Fuente: Elaboración propia .....	89
Figura 80. Demanda mensual energética Edificio objeto. Fuente: Elaboración propia .....	90
Figura 81. Demanda energética por elementos Edificio Objeto. Fuente: Elaboración propia ....	90
Figura 82. FVentilada interior. Fuente: Elaboración propia .....	92
Figura 83. Fventilada hoja exterior. Fuente: Elaboración propia .....	93
Figura 84. Parámetros definición Fachada Ventilada en HULC. Fuente: Elaboración propia .....	94
Figura 85. Absortividad media hoja exterior fachada ventilada. Fuente: Elaboración propia .....	95
Figura 86. Absortividad baja hoja exterior fachada ventilada. Fuente: Elaboración propia .....	95
Figura 87. Absortividad alta hoja exterior fachada ventilada. Fuente: Elaboración propia .....	96
Figura 88. Aumento cámara de aire a 5 cm. Fuente: Elaboración propia .....	96
Figura 89. Aumento cámara de aire a 10 cm. Fuente: Elaboración propia .....	97
Figura 90. Supresión del aislante térmico en todas las fachadas. Fuente: Elaboración propia ..	98
Figura 91. Zonas climáticas España CTE-DB-HE1 . Fuente: Código Técnico (CTE-DB-HE1) .....	98
Figura 92. Modificación de la zona climática a una zona A4. Fuente: Elaboración propia .....	99
Figura 93. Zonas climáticas España CTE-DB-HE1 . Fuente: Código Técnico (CTE-DB-HE1) .....	100
Figura 94. Modificación de la zona climática a una zona E1. Fuente: Elaboración propia .....	100

Figura 95. Parámetros definición Muro Solar en HULC. Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 96. Parámetros definición Muro Solar en HULC. Cámara abierta. Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura 97. Hoja interior Muro Trombe. Fuente: Elaboración propia .....	103
Figura 98. Definición características Muro Trombe. Fuente: Elaboración propia.....	103
Figura 99. Resultados anuales demanda simulación 1. Fuente: Elaboración propia.....	105
Figura 100. Resultados mensuales calefacción simulación 1. Fuente: Elaboración propia.....	106
Figura 101. Resultados mensuales refrigeración simulación 1. Fuente: Elaboración propia.....	106
Figura 102. Resultados HEI Simulación 1. Fuente: Elaboración propia.....	107
Figura 103. Resultados anuales demanda simulación 2. Fuente: Elaboración propia.....	108
Figura 104. Resultados mensuales calefacción simulación 2. Fuente: Elaboración propia.....	108
Figura 105. Resultados mensuales refrigeración simulación 2. Fuente: Elaboración propia.....	109
Figura 106. Resultados HEI Simulación 2. Fuente: Elaboración propia .....	109
Figura 107. Resultados anuales demanda simulación 3. Fuente: Elaboración propia.....	110
Figura 108. Resultados mensuales calefacción simulación 3. Fuente: Elaboración propia.....	111
Figura 109. Resultados mensuales refrigeración simulación 3. Fuente: Elaboración propia.....	111
Figura 110. Resultados HEI Simulación 3. Fuente: Elaboración propia.....	112
Figura 111. Resultados anuales demanda simulación 4. Fuente: Elaboración propia.....	113
Figura 112. Resultados mensuales calefacción simulación 4. Fuente: Elaboración propia.....	113
Figura 113. Resultados mensuales refrigeración simulación 4. Fuente: Elaboración propia.....	114
Figura 114. Resultados HEI Simulación 4. Fuente: Elaboración propia.....	114
Figura 115. Resultados anuales demanda simulación 5. Fuente: Elaboración propia.....	116
Figura 116. Resultados mensuales calefacción simulación 5. Fuente: Elaboración propia.....	116
Figura 117. Resultados mensuales refrigeración simulación 5. Fuente: Elaboración propia.....	117
Figura 118. Resultados HEI Simulación 5. Fuente: Elaboración propia.....	117
Figura 119. Resultados anuales demanda simulación 6. Fuente: Elaboración propia.....	118
Figura 120. Resultados mensuales calefacción simulación 6. Fuente: Elaboración propia.....	119
Figura 121. Resultados mensuales refrigeración simulación 6. Fuente: Elaboración propia.....	119
Figura 122. Resultados HEI Simulación 6. Fuente: Elaboración propia.....	120
Figura 123. Resultados anuales demanda simulación 9. Fuente: Elaboración propia.....	123
Figura 124. Resultados mensuales calefacción simulación 9. Fuente: Elaboración propia.....	124
Figura 125. Resultados mensuales refrigeración simulación 9. Fuente: Elaboración propia.....	124
Figura 126. Resultados HEI Simulación 9. Fuente: Elaboración propia.....	125
Figura 127. Resultados anuales demanda simulación 10. Fuente: Elaboración propia.....	126
Figura 128. Resultados mensuales calefacción simulación 10. Fuente: Elaboración propia.....	127

Figura 129. Resultados mensuales refrigeración simulación 10. Fuente: Elaboración propia..	127
Figura 130. Resultados HEI Simulación 10. Fuente: Elaboración propia.....	128
Figura 131. Resultados anuales demanda simulación 11. Fuente: Elaboración propia.....	129
Figura 132. Resultados mensuales calefacción simulación 11. Fuente: Elaboración propia.....	129
Figura 133. Resultados mensuales refrigeración simulación 11. Fuente: Elaboración propia...	130
Figura 134. Resultados HEI Simulación 11. Fuente: Elaboración propia.....	130
Figura 135. Resultados anuales demanda simulación 12. Fuente: Elaboración propia.....	131
Figura 136. Resultados mensuales calefacción simulación 12. Fuente: Elaboración propia.....	132
Figura 137. Resultados mensuales refrigeración simulación 12. Fuente: Elaboración propia...	132
Figura 138. Resultados HEI Simulación 12. Fuente: Elaboración propia.....	133
Figura 139. Resultados anuales demanda simulación 14. Fuente: Elaboración propia.....	134
Figura 140. Resultados mensuales calefacción simulación 14. Fuente: Elaboración propia.....	135
Figura 141. Resultados mensuales refrigeración simulación 14. Fuente: Elaboración propia...	135
Figura 142. Resultados HEI Simulación 14. Fuente: Elaboración propia.....	136

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Convencionalmente la construcción de edificios se ha realizado sin tener casi en cuenta la contaminación que ésta provoca, sobre todo durante la época del "boom inmobiliario", donde primaba la cantidad de edificios más que la calidad y sostenibilidad de los mismos. Esto provocó un gran consumo de energía y recursos finitos, además de manera injustificada ya que gran parte de todos esos edificios construidos se encuentran actualmente vacíos, al no haber tanta demanda como se esperaba.

Con todo ello, surgió la eficiencia energética, bioconstrucción, sostenibilidad, etc. El propósito de estas nuevas tendencias de construcción es paliar los efectos perjudiciales que ha causado el humano al medio ambiente, mediante el uso de materiales más sostenibles, uso de energías renovables, aprovechamiento de los recursos naturales, etc.

Actualmente, después de esos años de descontrol en la edificación, la sociedad está más concienciada en cuanto a la sostenibilidad y eficiencia energética. Falta mucho por recorrer, pero la tendencia que existe es a construir cada vez más sosteniblemente y ahorrando energía. Además, se está avanzando mucho en el campo de la eficiencia energética del edificio, ya sea por la mejor calidad de sus cerramientos, el uso de energías renovables, etc.

Para fomentar el ahorro energético, frenar el consumo de energía y la reducción de emisiones de gases perjudiciales para el medio ambiente, se han ido aprobando varios protocolos, decretos, normativas, etc., siendo los más relevantes:

- Protocolo de Kioto.

En 1997, se aprobó el Protocolo de Kioto, mediante el cual los países desarrollados se comprometían a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Pero este Protocolo no entró en vigor hasta el 2005, cuando se fijaron unos objetivos de reducción de las emisiones de gases, con un calendario que debían cumplir los principales países desarrollados. Las emisiones de gases se debían disminuir al menos en un 5% con respecto a los valores de 1990, en un primer período de compromiso entre 2008 y 2012. Posteriormente, se estableció un segundo período de compromiso, del 2013 hasta el 2020, donde el objetivo es reducir un 20% las emisiones de gases a la atmósfera, con respecto a 1990.

- Europa 2020. Estrategia Unión Europea.

Es una estrategia de la Unión Europea para el crecimiento y el empleo, que se inició en 2010. En cuanto al cambio climático y la sostenibilidad de la energía, se marcan unos objetivos, que se pretenden cumplir antes del final de 2020:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 20 % respecto a los valores de 1990.
- Que el 20% del consumo energético en la UE sea con fuentes de energías renovables.
- Mejorar la eficiencia energética para reducir un 20% de consumo energético de la UE.

- Acuerdo de París.

En diciembre del 2015, hubo una conferencia sobre el cambio climático, donde los Gobiernos de 195 países llegaron a un acuerdo, con repercusión mundial, llamado Acuerdo de París. El objetivo de este Acuerdo es mantener el aumento de la temperatura mundial muy por debajo de 2 °C e intentar que no se superen los 1'5 °C. El 22 de abril de 2016, se firmó el acuerdo oficialmente. Sin embargo, no entró en vigor hasta el 4 de noviembre de 2016, y en España el 11 de febrero de 2017. Además, la Unión Europea, ha ratificado el Acuerdo de París, con el objetivo principal de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 40 % con respecto a las emisiones del año 1990 antes de 2030.

- Marco 2030

En octubre de 2014, el Consejo Europeo aprobó el Marco de Políticas de Energía y Cambio climático 2021-2030, llamado "Marco 2030". Los objetivos son:

- Reducir las emisiones de gases efecto invernadero al menos en un 40%, con respecto a las de 1990.
- Que al menos el 27% de consumo energético provenga de energías renovables.
- Reducir un 27% el consumo energético de la UE mejorando la eficiencia energética.

Sin embargo, a pesar de los acuerdos, protocolos, etc. para reducir el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero, algunos países, entre ellos España, no están cumpliendo los objetivos fijados por los Gobiernos. En este artículo del periódico *El País*, se puede apreciar el retraso que lleva España con respecto a otros países en relación a los objetivos energéticos mencionados:

*"[...] Además de aumentar en más de un 3% las emisiones de gases efecto invernadero, España incumplió su propio objetivo de energías renovables: se quedó 1,1 puntos por debajo de lo que había estimado el Gobierno. [...]"*<sup>1</sup>

Aparte de España, hay otros países que también llevan retraso para cumplir los objetivos, al igual que España, según ese mismo artículo del periódico *El País*:

*"[...] Pero el informe de la Comisión Europea reduce a cuatro los Estados que están en peligro de no llegar a las metas a las que obliga la directiva europea de 2009: Irlanda (que tiene que alcanzar el 16% en 2020), Luxemburgo (11%), Países Bajos (14%) y Reino Unido (15%). [...]"*

Otra noticia destacable aparecida en el periódico *El País*, el pasado 2 de junio de 2017, fue la retirada de Estados Unidos del Acuerdo de París, lo que supondrá un gran retraso en la lucha contra el cambio climático, ya que es el segundo país que más gases nocivos emite:

*"[...] Tras semanas de debate interno, el presidente de Estados Unidos, Donald Trump, anunció este jueves la salida de la primera potencia mundial del Acuerdo de París. El presidente reveló que el segundo mayor emisor de gases contaminantes se retira del pacto. [...]"*<sup>2</sup>

Por tanto, después de analizar el estado actual en cuanto al cambio climático, es necesario y fundamental reducir al máximo las emisiones de gases de efecto invernadero<sup>3</sup>. Para ello, una de las medidas que se deberían contemplar a nivel mundial es la de reducir las emisiones en el sector de la edificación, ya que gran parte de esas emisiones de dióxido de carbono son producidas por el consumo energético en edificación. Además, los estudios apuntan a que la población mundial va a aumentar considerablemente en los años venideros<sup>4</sup>, por lo que habrá más demanda de viviendas y se liberarán mayor número de emisiones nocivas a la atmósfera.

---

<sup>1</sup>El País, Manuel Planelles. (31 Enero 2017)  
[http://economia.elpais.com/economia/2017/01/31/actualidad/1485871507\\_148415.html](http://economia.elpais.com/economia/2017/01/31/actualidad/1485871507_148415.html)

<sup>2</sup> El País. (2 Junio 2017)  
[http://internacional.elpais.com/internacional/2017/06/01/estados\\_unidos/1496334641\\_201201.html](http://internacional.elpais.com/internacional/2017/06/01/estados_unidos/1496334641_201201.html)

<sup>3</sup><http://www.ihobe.eus/Paginas/Ficha.aspx?IdMenu=d31b9f40-0755-48f9-949c-ac77c39c4eff&Idioma=es-ES>

<sup>4</sup> <http://www.conarquitectura.com/articulos%20tecnicos%20pdf/ca60.pdf>

## 2. JUSTIFICACIÓN

---

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, reducir el consumo energético del sector de la edificación es una buena estrategia para favorecer la reducción de emisiones de gases para alcanzar los objetivos marcados por los Gobiernos y la UE. Por todo esto, este proyecto se ha centrado en la eficiencia energética, más concretamente en la mejora de la envolvente térmica, para disminuir el consumo de energía y como consecuencia la reducción de esas emisiones de gases perjudiciales para el medio ambiente.

Dentro del campo de la eficiencia energética, en la última década, han surgido nuevos conceptos de edificación como PassivHaus, Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo (nZEB), uso de energías renovables en edificación, etc. para favorecer la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y fomentar el ahorro energético, mediante la eficiencia energética. En relación a esto, existen numerosas Directivas sobre eficiencia energética, que se han estudiado en otros apartados del proyecto, y recientemente, el día 6 de junio de 2017, se publicó una "*Modificación del Real Decreto 235/2013*", el cual aprueba el procedimiento para certificar la eficiencia energética de los edificios, incluyendo un apartado de los Edificios de consumo de energía casi nulo (nzeb). Han modificado la disposición adicional segunda del citado RD, cuya redacción es la siguiente:

*"«Disposición adicional segunda. Edificios de consumo de energía casi nulo<sup>5</sup>.*

*1. A más tardar el 31 de diciembre de 2020, los edificios nuevos serán edificios de consumo de energía casi nulo, definidos en la disposición adicional cuarta del Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía.*

*2. Los edificios nuevos que vayan a estar ocupados y sean de titularidad pública, serán edificios de consumo de energía casi nulo después del 31 de diciembre de 2018.*

*3. Los requisitos mínimos que deben satisfacer esos edificios serán los que en cada momento se determinen en el Código Técnico de la Edificación.»"*

---

<sup>5</sup> BOE nº154 (6 de junio de 2017) <http://www.boe.es/boe/dias/2017/06/06/pdfs/BOE-A-2017-6350.pdf>

Con esta modificación, queda fijada la fecha para que los edificios nuevos sean de consumo de energía casi nulo (nZEB), tanto los privados como los públicos. Además, los requisitos para que esos edificios sean de consumo de energía casi nulo, se fijarán en la actualización del *Código Técnico de Edificación*<sup>6</sup> (CTE-DB-HE), que estará disponible en 2018, sobre el que se ha publicado un documento de bases con las medidas para reducir el consumo energético y el uso de energías renovables. Por tanto, surge la necesidad de mejorar la envolvente térmica para la implantación de los nZEB que marca la mencionada Directiva y que es de obligado cumplimiento para todos los edificios nuevos.

Una de las estrategias para lograr que un edificio sea de consumo de energía casi nulo, es actuar sobre su envolvente, ya sea fachadas, cubiertas, suelos, etc. Mediante este proyecto, se ha estudiado la importancia y la contribución de las fachadas en cuanto a la eficiencia energética del edificio. Para analizar esto, en la revista *Informes de la construcción*, publicaron un artículo<sup>7</sup> en 2014 llamado "*Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto c.c. Eduardo Torroja-CSIC*", realizado por el IETcc-CSIC<sup>8</sup> en Madrid y trata de una propuesta de mejoras para hacer más eficiente un edificio del instituto construido en 1953. Algunas de esas propuestas de mejoras son: mejorar el rendimiento de las instalaciones, empleo de fuentes de energía renovable, etc. Hay un apartado sobre el "*Estudio del comportamiento energético a partir de la simulación energética*" en el que se estudian las exigencias del CTE-DB-HE1, en cuanto a las demandas de calefacción y refrigeración, y analizan los conceptos que interfieren en esas demandas. A continuación, se muestra una gráfica (Fig.1) que analiza los conceptos que influyen en la demanda. En la demanda de calefacción influye principalmente la infiltración, las fuentes internas, las ventanas y las paredes exteriores (fachadas). En la demanda de refrigeración influye sobre todo las fuentes internas, el factor solar de las ventanas y la infiltración.

Por tanto, una de las estrategias para lograr que un edificio sea eficiente y con ello ahorrar energía eléctrica es un buen diseño de las paredes exteriores del edificio, es decir las fachadas. Por ello mediante este proyecto se ha analizado la influencia de las mismas en el consumo energético.

---

<sup>6</sup> Documento de bases para la actualización del Documento Básico DB-HE. Ministerio de Fomento.

<sup>7</sup> Artículo Informes Construcción: Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto c.c. Eduardo Torroja-CSIC

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/3636/4107#S7>

<sup>8</sup> Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid.

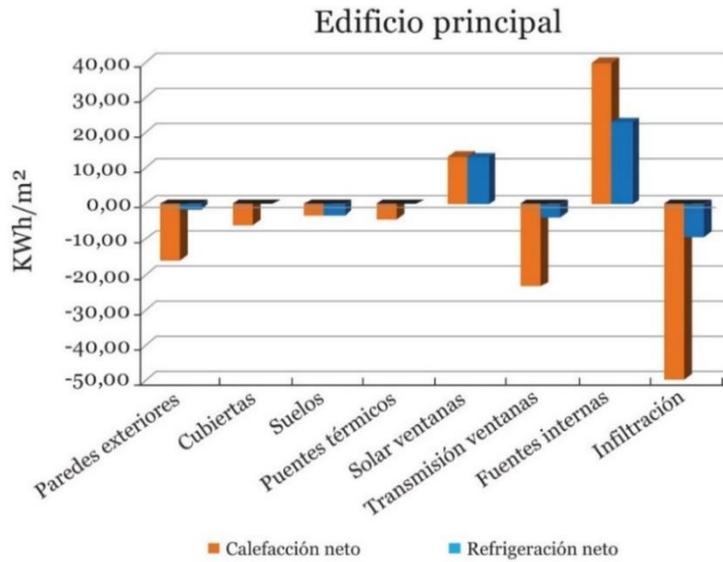


Figura 1. Demanda energética de calefacción y refrigeración anual por conceptos.  
Fuente: IETcc-CSIC

Por otro lado, se ha creído oportuno realizar este proyecto por la falta conocimiento sobre las fachadas activas ya que a día de hoy, no está incorporado este tipo de análisis en los planes de estudios de universidades y escuelas técnicas sobre construcción. Además existen pocos técnicos del sector que conozcan este tipo de fachadas activas y los edificios de bajo consumo que sean experimentados en el tema.

A su vez, existen varios artículos sobre las mismas y también información acerca de tecnologías innovadoras para mejorar la eficiencia de las fachadas, pero no se ha encontrado una recopilación de los sistemas de fachadas activas como tal. Por tanto, mediante este proyecto se ha buscado, entre otras cosas, recopilar información del tema para favorecer el uso de estos sistemas en un futuro. Para ello, se podría sistematizar o estandarizar la aplicación de algunos de los sistemas de fachadas activas en edificios para que sean sencillos de aplicar y que no sólo sean sistemas innovadores que nunca llegan a aplicarse, si no que se conviertan en sistemas habituales a la hora de diseñar los edificios.

### 3. OBJETIVOS

---

En primer lugar, el objetivo general del proyecto es estudiar las distintas posibilidades de mejora de la envolvente del edificio con el fin de obtener conocimientos a aplicar en la construcción de edificios que sean sostenibles y eficientes. Concretamente, se han estudiado algunos tipos fachadas activas, de qué materiales se componen, su facilidad de aplicación en el edificio. Asimismo, se ha estudiado el tratamiento que se hace de estos elementos en los programas oficiales de certificación energética y cómo afecta su aplicación en la demanda del edificio, además de las posibilidades y límites a la hora de usar estas aplicaciones para analizar las fachadas. Para llegar a ese objetivo general, se plantean unos objetivos específicos, tales como:

1. Examinar los compromisos de Europa y España para la mejora de la eficiencia energética y reducción de emisión de gases.
2. Analizar el contexto energético en España en cuanto a los compromisos de eficiencia energética.
3. Estudiar las exigencias actuales y futuras conforme a la normativa de la eficiencia energética.
4. Estudiar nuevos sistemas y tecnologías para la construcción de fachadas activas.
5. Aportar ejemplos reales de edificaciones en las que se haya aplicado algún tipo de fachada activa y su comportamiento en cuanto a la eficiencia energética.
6. Comprobar las posibilidades y limitaciones de la simulación de este tipo de fachadas con los programas oficiales del Ministerio sobre eficiencia energética.

Una vez se desarrollen los objetivos planteados, se procederá al análisis de los resultados de todo el estudio del proyecto y con ello se establecerán unas conclusiones finales.

## 4. ANTECEDENTES

---

Debido a la poca información oficial sobre las fachadas activas en libros sobre sistemas constructivos, normativa aplicada a la construcción, etc. se han consultado fuentes como tesis doctorales, revistas de arquitectura y eficiencia energética, otros proyectos de fin de carrera, etc. A continuación, se citan los documentos más relevantes e interesantes para el presente proyecto:

- Trabajo fin de grado de Patricia Domínguez Pérez<sup>9</sup> : "*Nuevas pieles. Tecnología en fachadas como estrategia de diseño sostenible*", que trata del estudio de nuevas tecnologías para el diseño de fachadas, y que éstas sean más eficientes energéticamente. Este TFG, ha sido interesante, ya que el presente proyecto tiene una estructura similar y se muestran varias tecnologías para fachadas que no se han encontrado en otros documentos, además de explicar la diferencia entre fachadas pasivas y activas.
- La ponencia "*Soluciones pasivas y activas en la envolvente térmica. Casos prácticos*"<sup>10</sup> de Raquel García Rodríguez, del *Congreso de Rehabilitación Eficiente en Edificios*, donde se muestra la importancia de actuar sobre la envolvente para mejorar la eficiencia energética del edificio. Esta ponencia tiene mucha relación con el presente proyecto ya que la autora expone casos reales (Hotel Tres Reyes) de aplicaciones de soluciones activas y pasivas en la envolvente térmica del edificio y gracias a ello se comprende perfectamente el concepto de soluciones activas y pasivas en la edificación.
- Documento "*Cómo diseñar un edificio de consumo de energía casi nulo*"<sup>11</sup> de Leticia Ortega. Este documento recopila todas las características del edificio que influyen en el consumo de energía del mismo y varias estrategias a la hora de diseñar el edificio para que el consumo de energía sea mínimo. Este documento ha sido de gran ayuda, ya que se explican de forma breve muchos conceptos básicos de la materia necesarios para la realización del presente proyecto, además de mostrar edificios reales con envolventes eficientes.

---

<sup>9</sup> Trabajo fin de grado de Patricia Dominguez Pérez *Nuevas pieles. "Tecnología en fachadas como estrategia de diseño sostenible"*. Universidad de Madrid. Madrid (2016)

<sup>10</sup> Ponencia :*Soluciones pasivas y activas en la envolvente térmica. Casos prácticos*. Raquel García Rodriguez. Santiago de Compostela (2011)

<sup>11</sup> Documento "*Cómo diseñar un edificio de consumo de energía casi nulo*", Leticia Ortega, Laura Soto. Valencia. (2016)

- Tesis doctoral. "*La implementación arquitectónica de los acristalamientos activos con agua circulante, y su contribución en edificios de consumo de Energía casi nulo*", Madrid (2017). Está escrita por Belén Pérez-Pujazón Millán, arquitecta por la Universidad Politécnica de Madrid. Esta tesis doctoral trata de la integración de un acristalamiento activo en las fachadas de los edificios y el estudio de su influencia en el consumo de energía. Se centra en el estado actual de este tipo de sistemas. Para el presente proyecto ha sido muy interesante esta tesis, ya que se dan a conocer sistemas de fachadas activas no muy comunes y los cuales están perfectamente definidos en la tesis, por tanto se comprende fácilmente su funcionamiento.

Además, otra fuente de información sobre las fachadas activas proviene de las propias empresas que han realizado este tipo de fachadas en el diseño de edificios. A continuación se muestran dos ejemplos de sistemas innovadores de fachadas, únicos y seguramente irrepetibles, debido a su complejidad de aplicación y coste económico, pero que resultan interesantes para el presente proyecto:

- Instalaciones del Pabellón de España en la Expo, Zaragoza.

Lo característico del edificio es que los materiales usados para su construcción son muy eficientes, al igual que sus instalaciones. Los materiales son reciclados o reciclables, como la madera, el acero, etc. Además, se desarrollan unas medidas, para reducir las elevadas cargas térmicas, que son capaces de crear un "microclima" propio en el edificio. Esas medidas son:

- Una amplia cubierta, para proporcionar sombra al Pabellón, y con ello reducir el calor de las estancias donde incide el sol en verano.
- La densidad de pilares es mayor en la fachada oeste para que no haya tanta radiación solar directa en esta orientación, la cual es muy molesta en verano.
- Se ha colocado una lámina de agua perimetral, que ayuda a reducir las oscilaciones térmicas en los alrededores del Pabellón.

Además, en el diseño de las instalaciones también se tuvo en cuenta la reducción de la demanda energética. Para ello, se agruparon la mayoría de instalaciones en la cubierta, lo que facilitaba su gestión y mantenimiento. En el semisótano, también hay instalaciones, y ambos espacios se encuentran conectados mediante un volumen vertical, situado en el baricentro del Pabellón. Gracias a este volumen técnico, se permiten distribuir las instalaciones horizontalmente mediante un forjado técnico.

Los pilares son metálicos y están forrados con piezas de barro. Éstos nacen de una lámina de agua y llegan hasta la cubierta. El funcionamiento de ese "microclima" es sencillo. (Fig. 2) Existe una cámara libre entre el pilar metálico y las piezas cerámicas, por donde circula el agua, proveniente de las aguas pluviales, y mediante unos rociadores sale agua pulverizada dentro del pilar y refresca esa cámara. Se produce un flujo de aire que a través de unas rejillas en el pilar que refresca las estancias, con lo que se favorece a la reducción de la temperatura interior del edificio.

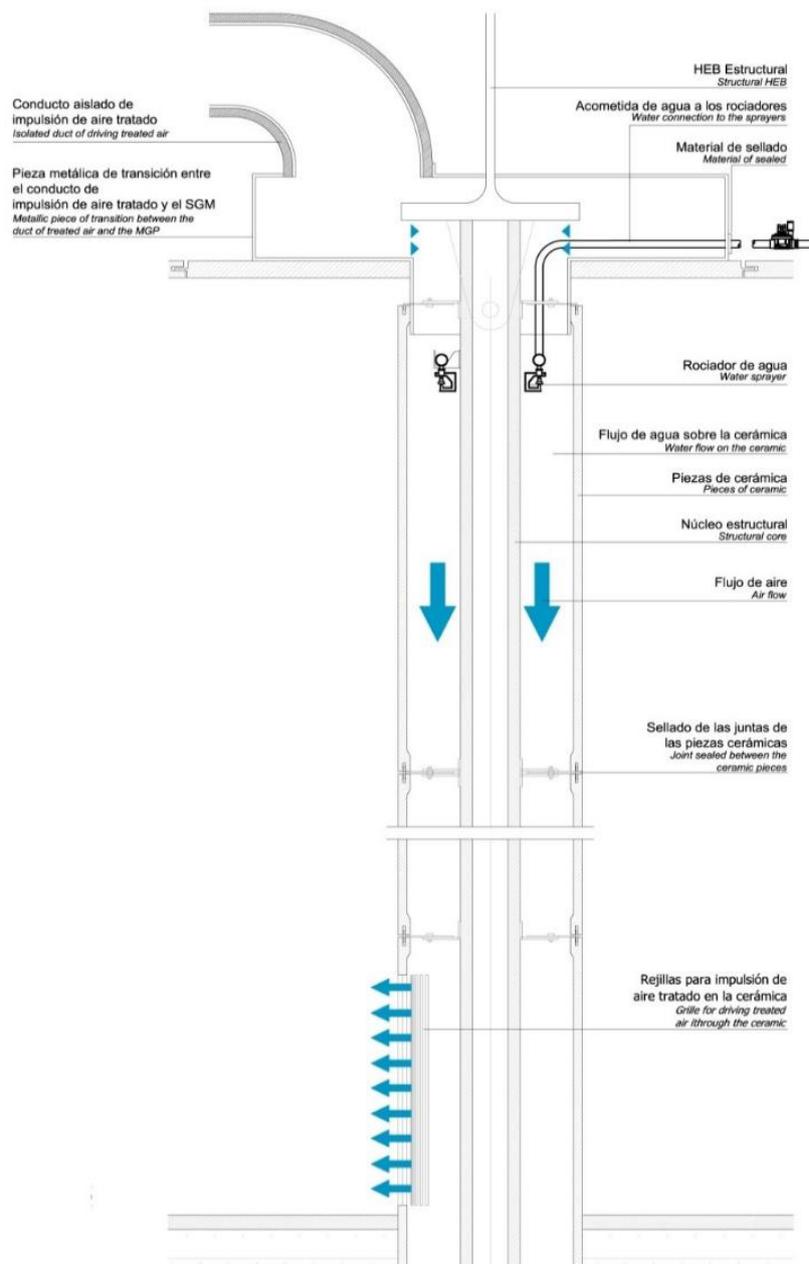


Figura 2. Funcionamiento pilares generadores de "microclima". Fuente: Dadun. Depósito académico digital de Navarra. César Martín Gómez.

- Torre Strawscraper.

El proyecto de la torre Strawscraper, en Estocolmo, consiste en revestir de "pelo" su fachada, mediante el cual se produce energía eólica. Esta torre es una de las más altas que se han construido en la zona y se pretende mejorar la eficiencia energética de la misma mediante este innovador revestimiento.

Ese "pelo" consiste no es más que un conjunto de fibras piezoeléctricas. Se confeccionan con un material compuesto, que tiene la capacidad de convertir el movimiento en electricidad. Básicamente es un núcleo de cerámica piezoeléctrica y revestido de polímeros flexibles. El viento agita esas fibras y a través de ellas se genera corriente eléctrica, como si fuera una turbina eólica, pero sin el consumo de energía ni ruido que ésta conlleva.

De hecho, las turbinas eólicas tradicionales, necesitan un viento constante en cuanto a intensidad y que vaya en la misma dirección, lo cual dificulta el funcionamiento de esas turbinas si el viento no cumple esas condiciones. Sin embargo, con este sistema, es independiente la intensidad o dirección del viento, ya que sólo se necesita el movimiento de la fibra para generar energía, independientemente de las características del viento.

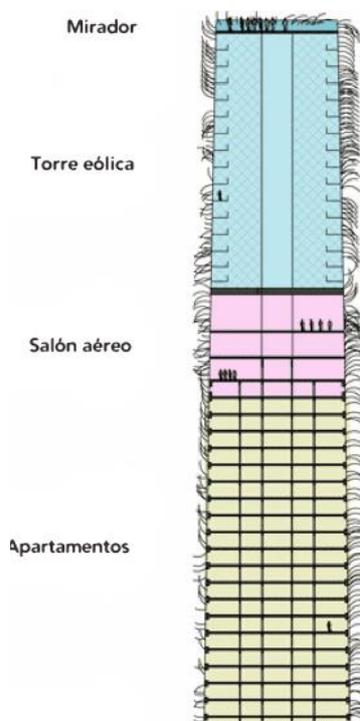


Figura 3. Sección vertical Torre Strawscraper. Fuente: Belatchew Arkitekter [www.ecosiglos.com](http://www.ecosiglos.com)



Figura 4. Fotografía con prototipo de la Torre Strawscraper. Fuente: Belatchew Arkitekter. [www.ecosiglos.com](http://www.ecosiglos.com)

Para entender mejor el concepto de piezoelectricidad, la compañía sueca Belatchew Arkitekter, que es la empresa que ha presentado el proyecto, explican que "*La piezoelectricidad se crea cuando la deformación de ciertos cristales se transforma en electricidad*"<sup>12</sup>. Dicha deformación es la que sufren las fibras al ser movidas por el viento.

Además, una de las ventajas de esta idea, es que no se necesita una gran velocidad de viento para que genere electricidad, basta con una leve corriente de aire. El llamado "recubrimiento eólico" sería suficiente para abastecer a la torre de la electricidad necesaria para sus ocupantes.

---

<sup>12</sup> Definición que aparece en el artículo sobre la torre Strawscaper  
<http://www.metrocubicos.com/articulo/consejos/2013/06/17/strawscaper-edificio-ecologico-y-autosuficiente>

## 5. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología empleada para la redacción del presente proyecto. En primer lugar, destacar que este proyecto tiene dos fases claramente diferenciadas:

1. Fase de búsqueda y recopilación bibliográfica para cumplir los cinco primeros objetivos específicos.
2. Fase de ensayos prácticos para cumplir el último objetivo específico.

Respecto a la primera fase, se ha recurrido a las siguientes fuentes bibliográficas:

- Bases de datos estadísticos nacionales y europeas. (Red Eléctrica Española, International Energy Agency, etc.)
- Fuentes normativas nacionales y europeas (véase apartado Documentos Normativos en las Referencias Bibliográficas)
- Trabajos académicos como tesis doctorales y proyectos finales de grado. (Trabajo fin de grado de Patricia Domínguez: "Nuevas pieles" de la Universidad de Madrid (2016), etc).
- Comunicaciones de congresos y artículos de revistas científicas (Como por ejemplo: Soluciones pasivas y activas en la envolvente térmica. Casos prácticos, de Raquel Rodríguez, en el Congreso Rehabilitación Eficiente en Edificios).
- Manuales técnicos de fabricantes de sistemas (Fachada ventilada Tempio)
- Manuales Técnicos de las aplicaciones informáticas oficiales (Manual de usuario Herramienta Unificada LIDER-CALENER, etc.)

En cuanto a la fase de ensayos prácticos (simulaciones) se han seguido los siguientes pasos:

- Análisis de las distintas herramientas oficiales de eficiencia energética y selección de la que se empleó en las simulaciones: Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC).
- Selección del edificio objeto de ensayo, su geometría, zona climática y determinación de las características de la envolvente.
- Modelización del edificio objeto en HULC.
- Modelización de tres versiones del edificio objeto: con fachada ventilada, con muro solar y con muro trombe, para a partir de ellas realizar distintas variaciones.

A partir de ese punto, y a la vista de las limitaciones que presentaba la herramienta, explicadas en el apartado 9 de este proyecto, se decidió comprobar lo siguiente:

- ¿Cómo afecta a la demanda el uso de una fachada ventilada en comparación con una fachada convencional?

Se han analizado las demandas energéticas de una fachada convencional (monocapa) frente a las demandas de una fachada ventilada, en varias situaciones (variando su orientación, absorptividad, etc).

- ¿Cómo afecta la orientación del edificio al funcionamiento de la fachada ventilada?

Se han realizado simulaciones aplicando la fachada ventilada primero en la fachada sur, y posteriormente añadiendo este tipo de fachadas en resto de orientaciones: fachada ventilada en la fachada con orientación sur, fachada ventilada en las fachadas con orientación sur y este, fachada ventilada en las fachadas con orientación sur, este y oeste y fachada ventilada en las fachadas de las cuatro orientaciones. Con ello, se ha comprobado que orientaciones provocan mayor variación de demanda al aplicarles una fachada ventilada.

- ¿Cómo afecta la absorptividad?

Se ha estudiado la variación de demanda modificando la absorptividad de la hoja exterior. Para ello se han realizado simulaciones con absorptividad baja, media y alta.

- ¿Cómo afecta el espesor de la cámara?

Para comprobar la variación de la demanda en cuanto a la cámara de aire de la fachada ventilada, se han comparado las demandas de una fachada con 3, 5 y 10 cm de espesor de cámara.

- ¿Cómo influye el aislamiento térmico en el efecto de la fachada ventilada?

Se comprobó la influencia en la demanda de la eliminación del aislante térmico de la fachada. Esta comprobación surgió debido a que en los resultados de las simulaciones anteriores, el efecto de la fachada ventilada fue inferior a lo esperado. Se planteó si podía ser debido a que se parte de un cerramiento convencional, con una transmitancia muy baja por lo que que el efecto de la fachada ventilada tiene poca incidencia. Por eso se decide realizar una simulación teórica con una fachada sin aislamiento y comprobar el comportamiento de la demanda.

- ¿Cómo afecta la instalación de un muro solar en una fachada?

Se han realizado simulaciones para ver como afecta la instalación de un Muro Solar en la fachada sur, tanto con la cámara de aire abierta como cerrada.

- ¿Cómo afecta la instalación de un Muro Trombe en una fachada?

Además, se ha realizado la simulación de un muro Trombe en la fachada sur, para comprobar la variación de las demandas al aplicarlo en fachada.

## 6. ANALIZAR EL CONTEXTO ENERGÉTICO EN ESPAÑA

En este apartado se hará una leve introducción al estado energético actual en España. Para ello, se ha recurrido a la consulta de organismos oficiales como la Red Eléctrica Española o el Instituto Diversificación y Ahorro Energía (IDAE). Los tres puntos a analizar para comprender el contexto de energía en España, son los siguientes:

### 6.1. ENERGÍA A TIEMPO REAL EN ESPAÑA.

Para comenzar, se va a mostrar cuánta energía se consume a día de hoy en España. Para ello, se adjunta la gráfica a tiempo real de la REE (Red Eléctrica Española) (Fig. 5), para observar la demanda de energía en España. Como dato, la gráfica mostrada a continuación, fue tomada un día de febrero, por lo que si la gráfica se consulta en otra época del año cambiarán los valores de las demandas de energía.

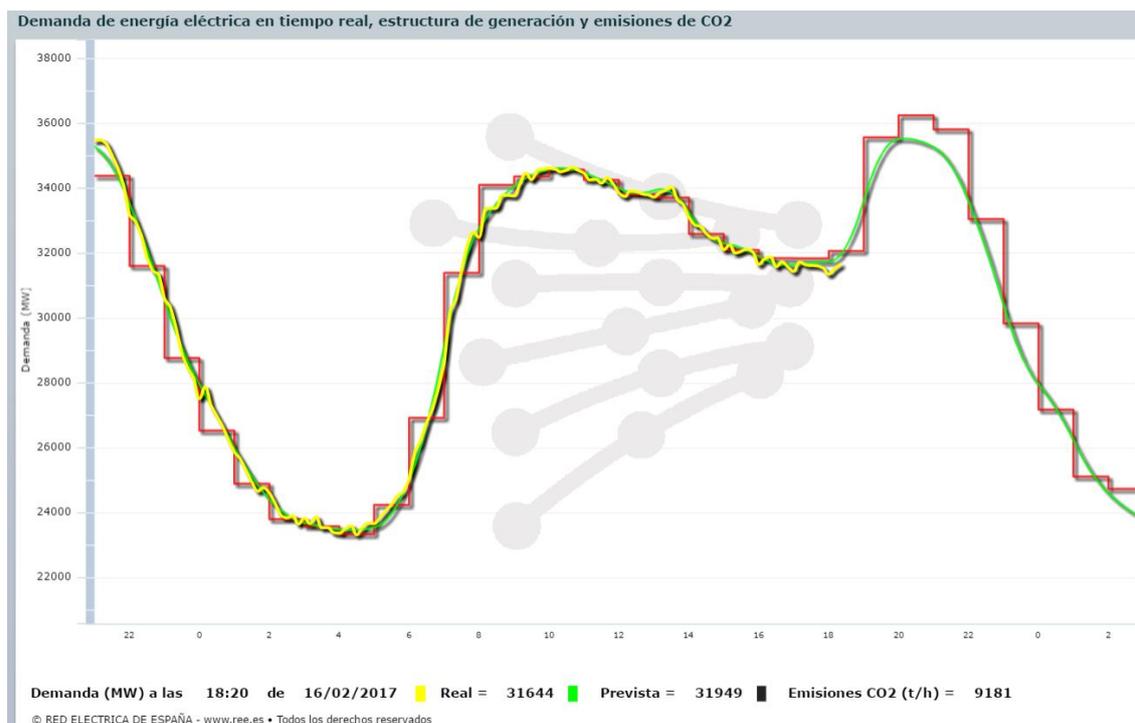


Figura 5. Gráfico demanda energía eléctrica en tiempo real España. Fuente: Red Eléctrica España.

En cuanto a las líneas del gráfico, representan:

- La curva amarilla, muestra el valor instantáneo de la demanda de energía eléctrica.
- La curva verde, la elabora la Red Eléctrica, con los datos de consumo anteriores y en situaciones similares.

- La línea roja, es la programación horaria operativa. Es decir, la producción que está programada según los horarios de uso de la energía.

Por otro lado, en el mismo documento aparece un diagrama circular (Fig. 6) con la descomposición de la procedencia de la energía demandada. Cabe destacar, que casi la mitad de la energía procede de la energía nuclear y del carbón. En cuanto a las energías renovables, la que más aporta al total es la energía hidráulica.



Figura 6. Diagrama procedencia energía eléctrica. Fuente: Red Eléctrica España

## 6.2. COMPARACIÓN DEMANDA ENERGÍA EN ESPAÑA EN AGOSTO Y DICIEMBRE 2016

A continuación, después de una visión general del consumo a tiempo real en España, se van a mostrar una serie de gráficos y tablas con datos del año 2016, tanto de verano como de invierno, para analizar la diferencia entre dos épocas del año tan distintas y observar las variaciones en la demanda energética.

### DEMANDA ELÉCTRICA EN AGOSTO 2016

Mensualmente, la REE (Red Eléctrica Española) crea un boletín de acceso público con los datos de demandas de energía, los balances eléctricos, el estado del mercado, la producción, etc. Como datos a destacar del *Boletín de Agosto del 2016* son:

*“La demanda de energía eléctrica alcanzó los 21.449 GWh representando una variación del 2,7 % respecto a agosto del 2015 [...] Este mes las temperaturas medias han sido superiores a las del año anterior con 25 °C frente a los 24,5 °C de agosto del 2015 [...] Durante este mes la generación procedente de fuentes de energía renovable alcanzó el 37,1 % de la producción total, frente al 31,2 % de agosto del 2015 (...).”*

En cuanto al balance eléctrico, en la Figura 7 se muestran los datos del mes de agosto. En la Figura 8 se muestra la obtención de las energías renovables, la mayoría de la energía eléctrica proviene en su mayoría de la energía hidráulica y eólica.

### Balance eléctrico peninsular. Agosto 2016

Nuclear	25,0%	Hidráulica <sup>(1)</sup>	9,8%
Carbón	16,4%	Eólica	17,6%
Ciclo combinado	9,9%	Solar fotovoltaica	4,1%
Cogeneración	10,1%	Solar térmica	4,0%
Residuos	1,5%	Otras renovables	1,6%
<b>No renovables 62,9 %</b>		<b>Renovables 37,1 %</b>	

Figura 7. Balance eléctrico peninsular Agosto 2016. Fuente: Red Eléctrica España. Boletín mensual agosto 2016.

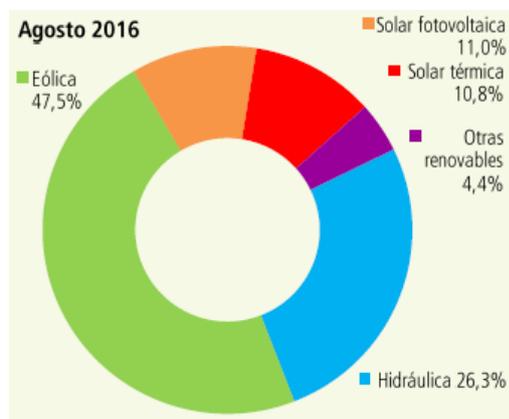


Figura 8. Diagrama con porcentajes de energías renovables. Fuente: Red Eléctrica España. Boletín mensual agosto 2016.

### DEMANDA ELÉCTRICA EN DICIEMBRE 2016

Igualmente, se van a mostrar gráficas y tablas con los datos del *Boletín de Diciembre del 2016* y luego se ha comparado con los datos obtenidos de Agosto de 2016.

Según la REE (Red Eléctrica española):

*“La demanda de energía eléctrica alcanzó los 21.344 GWh representando una variación del -2,1 % frente al mismo mes del año anterior. [...]Este mes las temperaturas medias han sido inferiores a las del año anterior con 10,5 ° C frente a los 11,8 ° C de diciembre del 2015. [...] Durante este mes la generación procedente de fuentes de energía renovable alcanzó el 26,2 % de la producción total, frente al 28,3 % de diciembre del 2015 [...]”.*

Cabe destacar la gran similitud que existe entre la demanda energética en agosto y en diciembre, siendo 21.449 GWh y 21.344 GWh, respectivamente. En diciembre, suele ser mayor la demanda energética que en verano, debido a la gran necesidad de calefacción que hay debido a las temperaturas, además del mayor consumo de luz eléctrica por la reducción de horas de luz. En cambio la demanda en agosto debería ser menor, ya que además de haber más horas de luz natural, muchas fábricas se encuentran en período vacacional. Por tanto, el motivo por el cual la demanda en agosto es tan elevada puede el de la gran afluencia de turistas en el panorama español en esa época del año (alta ocupación de hoteles, restaurantes, etc).

En cuanto al balance eléctrico, en la Figura 9 se muestran los datos del mes de diciembre. Con respecto a las energías renovables, la obtención de energía eléctrica proviene en su mayoría de la energía hidráulica y eólica, como puede observarse en el siguiente diagrama (Fig. 10).

### Balance eléctrico peninsular. Diciembre 2016

Nuclear	21,1%	Hidráulica <sup>(1)</sup>	8,9%
Carbón	24,5%	Eólica	13,1%
Ciclo combinado	16,1%	Solar fotovoltaica	1,8%
Cogeneración	11,1%	Solar térmica	0,6%
Residuos	1,0%	Otras renovables	1,5%
		Residuos <sup>(2)</sup>	0,3%
No renovables 73,8 %		Renovables 26,2 %	

Figura 9. Balance eléctrico peninsular diciembre 2016. Fuente: Red Eléctrica España. Boletín mensual diciembre 2016.

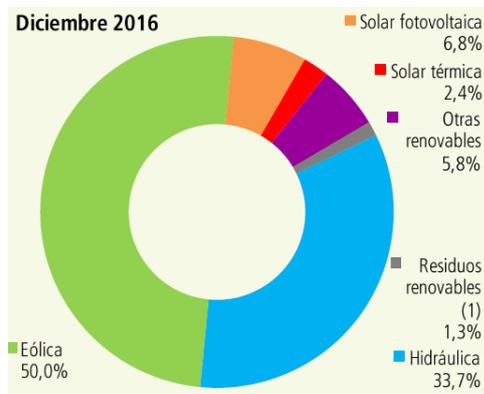


Figura 10. . Diagrama con porcentajes de energías renovables. Fuente: Red Eléctrica España. Boletín mensual diciembre 2016

### ANÁLISIS COMPARATIVO AGOSTO Y DICIEMBRE 2016

Si se compara toda la información de las gráficas de los dos meses analizados, cabe destacar:

- En cuanto a las demandas, tanto en diciembre como en agosto, ha aumentado la misma con respecto al mismo mes del año anterior. También cabe destacar que la demanda energética en ambos meses es muy similar.
- El porcentaje de energías renovables con respecto a la demanda energética total es mayor en agosto (37,1 %) que en diciembre (26,2 %).
- Centrándonos en el diagrama de las energías renovables, se puede observar:
  - Energía Eólica. En invierno aumenta la producción de la misma, comparándola con la época de verano.
  - Energía Hidráulica. También sufre un aumento de la producción de ésta en diciembre con respecto a agosto.
  - Energía Solar. Contrariamente, esta energía renovable aumenta su producción en verano.

Si se analizan las posibles causas de todo esto, se puede deducir que:

- En diciembre, al aumentar las precipitaciones y el viento<sup>13</sup>, resulta lógico que haya más producción tanto de energía hidráulica como de eólica. También al haber menos radiación solar, la producción de energía solar disminuye.
- Por el contrario, en agosto, como hay menos precipitaciones<sup>14</sup>, existe una menor disponibilidad de agua para generar energía hidráulica. Con la energía eólica ocurre lo mismo, ya que en verano hay menos viento. En cambio, en verano, al haber mayor radiación solar, da lugar a un aumento de la producción de energía solar, tanto fotovoltaica como térmica.

### 6.3 PREVISIONES FUTURO ENERGÉTICO ESPAÑA Y EUROPA

En este apartado se ha analizado de forma breve el estado actual del consumo eléctrico, y uso de energías renovables, en España y otros países. Además también se muestran las previsiones de futuro en cuanto a emisiones de CO2 y uso de energías renovables.

En primer lugar, se ha realizado una tabla con los datos de consumo eléctrico de 2016 (Tabla 1), además del porcentaje de esa energía procedente de energías renovables. Se ha optado por escoger los países de España, Alemania, Francia e Italia, ya que se buscaba analizar el consumo de dos países con temperaturas más frías y otros dos con clima más cálido.

Consumo eléctrico y uso de energías renovables en varios países europeos.

PAÍSES	CONSUMO ELÉCTRICO (GWh)		ENERGÍAS RENOVABLES			
	Agosto 2016	Noviembre 2016	Agosto 2016		Noviembre 2016	
ESPAÑA	22,311	21,974	7,547	33,82 %	6,260	28,48 %
ALEMANIA	48,104	56,669	12,285	25,54 %	11,133	19,64 %
FRANCIA	35,823	45,189	6,251	17,44 %	6,944	15,36 %
ITALIA	22,267	24,118	8,688	39,01 %	6,252	28,07 %

Tabla 1. Consumo eléctrico y proporción energías renovables y otros países. Fuente: IEA. International Energy Agency. Elaboración propia.

<sup>13</sup> AEMET. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Resúmenes climáticos.

<sup>14</sup> AEMET. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Resúmenes climáticos.

Se puede observar que el consumo eléctrico es mayor en Francia y Alemania, lo cual es lógico ya que hay mayor población en esos países. Por otro lado, tanto en Italia como en España, la proporción de las energías renovables es mayor que en los otros dos países.

Por otro lado, se muestra una gráfica (Fig. 11) con la reducción de CO<sub>2</sub> respecto a las emisiones de 1990 y las previsiones para los próximos años. La línea amarilla es la tendencia actual que tiene la reducción de emisiones y la línea verde es lo que se debería reducir para cumplir el Acuerdo de París, mencionado anteriormente, que exige una reducción del 40 % con respecto a las emisiones de 1990.

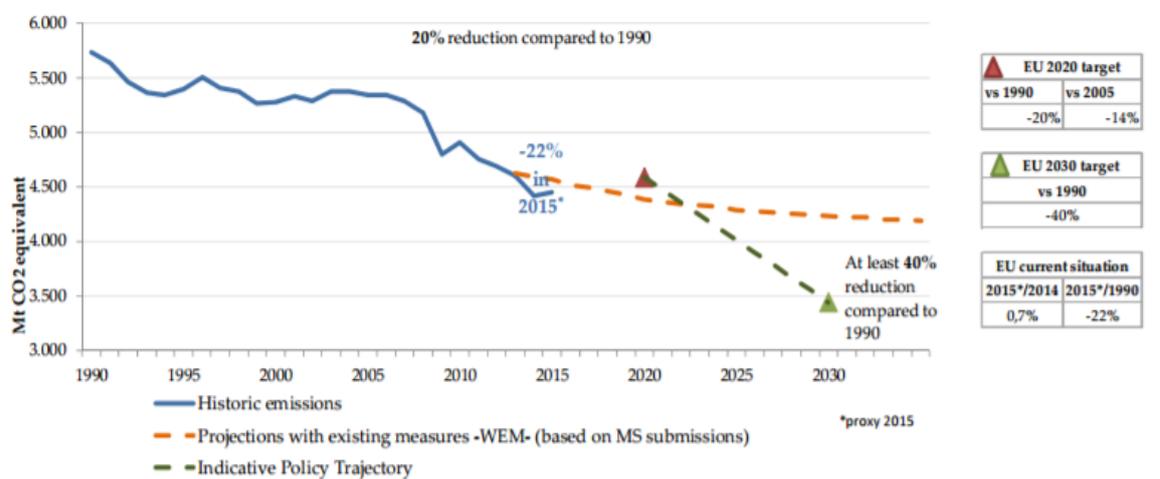


Figura 11. Reducción emisiones CO<sub>2</sub> mundiales con respecto a 1990. Fuente: European Commission

También se muestra una gráfica (Fig. 12) con el objetivo de 2020 de alcanzar un 20% de media europea de energía procedente de renovables. El porcentaje asignado a cada país, tiene en cuenta su consumo de 2005, el PIB de cada uno de ellos y su potencial en energías renovables. En España, el objetivo para 2020 es el de alcanzar el 20%.

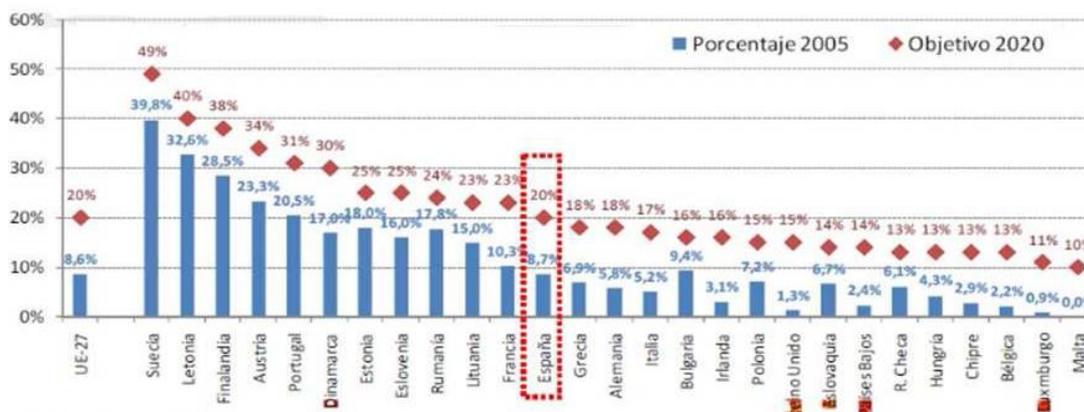


Figura 12. Objetivo 2020. Energías renovables. Fuente: IDAE

En cuanto al uso de renovables, el EUROSTAT realizó otra gráfica con el porcentaje de renovables alcanzado en 2014 y en 2015, junto con los objetivos del 2020. Los círculos representan el porcentaje de renovables a alcanzar de cada país. Los países marcados con círculo verde, ya han alcanzado el objetivo marcado de 2020, y los que están marcados en naranja todavía no lo han logrado. Como se puede apreciar, en 2015 España todavía no ha alcanzado su objetivo. (Fig. 13)

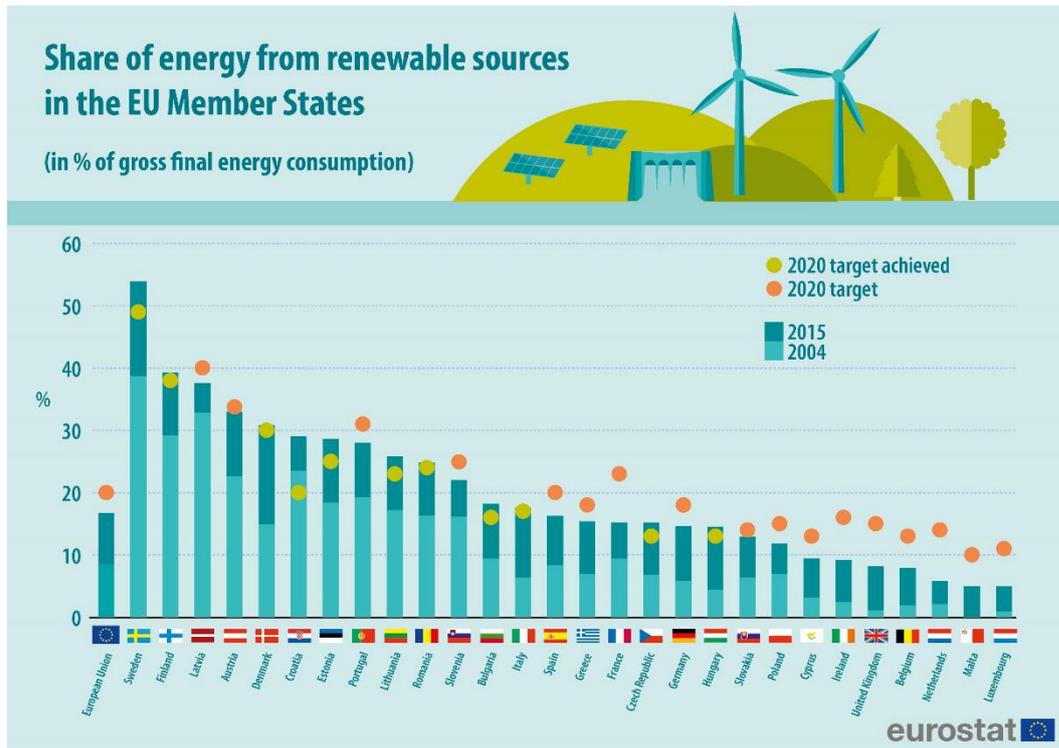


Figura 13. Estado objetivo 2020 energías renovables en 2015. Fuente: Eurostat. Comisión Europea

## 6.4. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA SEGÚN EL IDAE<sup>15</sup>

Ahora se va a mostrar un resumen del contexto energético en España, según la Memoria Anual del 2014<sup>16</sup> del IDAE (*Instituto Diversificación y Ahorro Energía*), que es la última que está publicada.

El suministro energético ha ido evolucionando últimamente, de tal forma que ha ido aumentando la participación de las fuentes de energías renovables y el gas natural. A partir del año 2000 hubo una tendencia al aumento de la demanda energética hasta que en 2007, se produjo un punto de inflexión, debido a la crisis económica que comenzó en el 2008. Desde ese momento, se registra una tendencia a la baja en la demanda energética, principalmente del petróleo y el gas natural.

En cuanto a las energías renovables, su situación se ha mantenido estable hasta el 2014, pero a partir de ese momento se empezó a ver una evolución favorable de las mismas. Destaca la energía solar (solar fotovoltaica y solar térmica) con una contribución del 18% y la energía hidráulica con una contribución del 19,5 % del consumo total de energías renovables. En la Figura 14 se muestra un gráfico con la evolución del consumo de energías renovables, dividido por tecnologías.

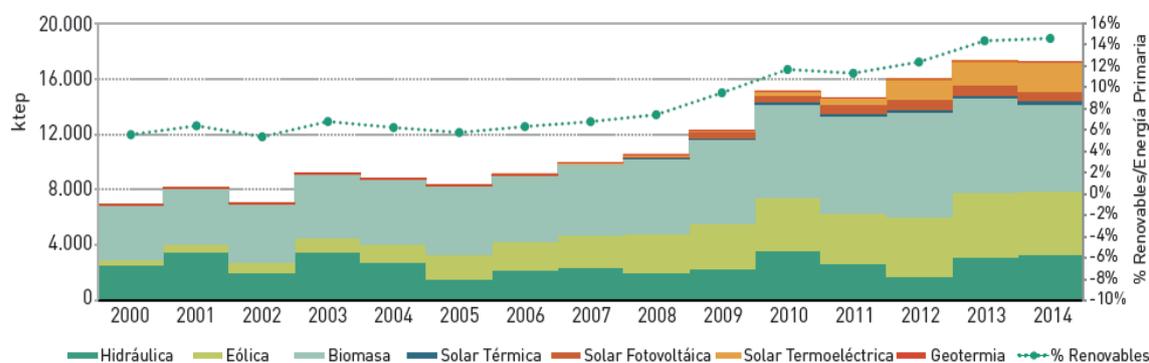


Figura 14. Gráfica evolución consumo energía según tecnologías, periodo 2000-2014. Fuente: MINETUR/IDAE.

La evolución de las energías renovables, ha convertido a éstas en un recurso energético importante en la generación eléctrica. En 2014, la contribución de las energías renovables llegó a ser el 39,5 % de la energía eléctrica total, lo que supone un aumento del 0,6 % con respecto al año anterior. La Figura 15, muestra un diagrama circular con los porcentajes de generación de energía eléctrica dividido en tecnologías. Además, en el diagrama se divide a su vez la energía

<sup>15</sup> MINETUR/IDAE. Instituto Diversificación y Ahorro Energía.

<sup>16</sup> Memoria anual 2014 del IDAE. Pág. 9

procedente de energías renovables en las tecnologías usadas para obtener esa energía, dónde destaca la energía eólica y la hidráulica por encima de las demás tecnologías.

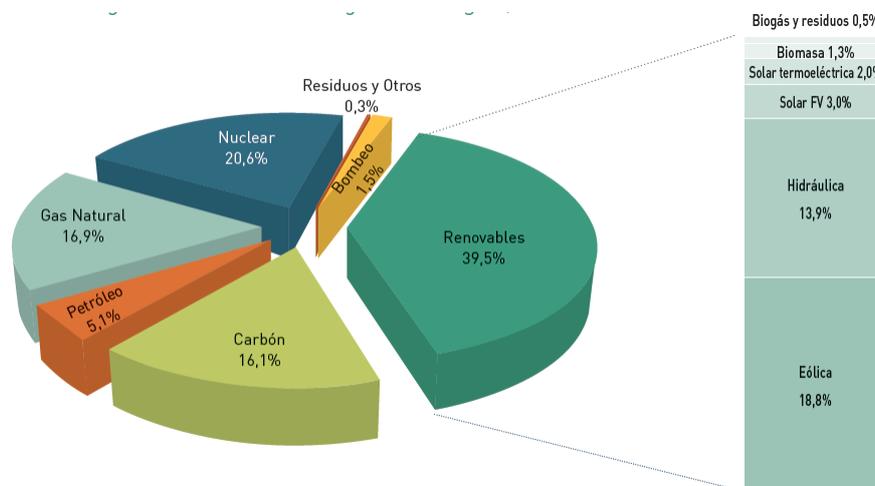


Figura 15. Diagrama circular de la estructura de generación eléctrica según tecnologías, 2014. Fuente: MINETUR/IDAE

Después de observar la evolución de las energías renovables, la tendencia hacia los años posteriores es favorable y se prevé un aumento en el consumo de las mismas.

## 6.5. NORMATIVA RELATIVA A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Pese a que las energías renovables cada vez son más comunes a la hora de producir energía, actualmente se ha publicado nueva normativa y actualizaciones de las mismas para fomentar un mayor uso de este tipo de energía y con ello favorecer la reducción del consumo energético y emitir menos gases nocivos al medio ambiente.

Además, mediante estas nuevas normativas se busca alcanzar los objetivos establecidos por el Consejo Europeo, el cual adoptó en 2007 unos objetivos para el 2020, citados anteriormente, los cuales eran: "*reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20 %, aumentar hasta un 20 % la cuota de energías renovables y alcanzar un 20 % de eficiencia energética*" (Objetivo 20/20/20). En 2010, el Consejo Europeo realizó una evaluación del impacto del Plan de Eficiencia Energética y se dieron cuenta de que no iban a alcanzarse los objetivos de 2020. Fue entonces cuando se lanzó la "*DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE*".<sup>17</sup>

<sup>17</sup> DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. Diario Oficial de la Unión Europea.

Otra normativa, que también ha surgido para cumplir los objetivos europeos, es el "Documento de bases para la actualización del Documento Básico DB-HE", el cual actualiza el Código Técnico de la Edificación (CTE)<sup>18</sup> de 2013 de acuerdo a la Directiva 2010/31/UE<sup>19</sup>, que posteriormente fue modificada por la Directiva 2012/27/UE. A continuación, se van a resumir las exigencias en cuanto a la eficiencia energética de los documentos normativos nombrados:

- *Directiva 2010/31/UE*. En primer lugar, en el *Artículo 7*, establece que los edificios existentes que vayan a sufrir reformas importantes deberán mejorar la eficiencia energética. Por otro lado, otro apartado destacable de esta directiva es el *Artículo 9*, *Edificios de consumo de energía casi nulo*, en el que se establece lo siguiente:
  - Todos los edificios nuevos serán de consumo de energía casi nulo, antes del 31 de diciembre de 2020.
  - Los edificios nuevos que se encuentren ocupados y sean públicos, serán edificios de consumo de energía casi nulo, antes del 31 de diciembre de 2018.
  
- *Documento de bases para la actualización del Documento Básico DB-HE*. Este documento surge por la *Directiva 2010/31/UE*, ya que las exigencias de la misma deben implantarse en este documento básico para actualizar los requisitos mínimos en cuanto a la eficiencia energética y también definir los Edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB). Algunos de los objetivos de esta actualización son:
  - Limitar el consumo de energía primaria no renovable.
  - Limitar el consumo de energía primaria total.
  - Promover el uso de fuentes renovables para obtener energía.
  - Asegurar la eficiencia de la envolvente térmica
  - Asegurar el control solar de las carpinterías
  
- *Directiva 2012/27/UE*. Esta directiva modifica la del 2010 citada anteriormente. Lo más destacable en cuanto a eficiencia energética, es la obligación que tienen los Estados miembros a que el consumo energético de la Unión Europea debe ser como mucho 1474 Mtep de energía primaria o 1078 Mtep de energía final.<sup>20</sup>

---

<sup>18</sup> Ministerio de Vivienda. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

<sup>19</sup> DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. Diario Oficial de la Unión Europea.

<sup>20</sup> DIRECTIVA 2012/27/UE. Artículo 3. Pág. 12.

El término de edificios de consumo de energía casi nulo aparece en varias ocasiones en la normativa, por lo que se ha creído conveniente adjuntar su definición oficial de la *Directiva 2010/31/UE*<sup>21</sup>: "«edificio de consumo de energía casi nulo»: edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno".

- *Modificación del Real Decreto 235/2013*

Esta modificación, ya citada en el Apartado 2 de este proyecto, define la fecha exacta para aplicar la *Directiva 2012/27/UE* en cuanto a edificios de consumo de energía casi nulo. Establece que los edificios nuevos serán de consumo de energía casi nulo antes del 31 de diciembre del 2020, y los nuevos ocupados por una entidad pública, tienen hasta el 31 de diciembre del 2018 para que sean edificios de consumo de energía casi nulo. Además, remite al Código Técnico de la Edificación para conocer los requisitos mínimos de esos edificios.

Con todo esto, para lograr el cumplimiento de los objetivos de toda la normativa mencionada se deben llevar a cabo ciertas estrategias para mejorar la eficiencia energética de los edificios y para reducir los gases tóxicos emitidos a la atmósfera. En definitiva, lo que se pretende es que en el futuro gran parte del parque edificatorio esté formado por edificios de consumo de energía casi nulo, y por tanto sean en gran parte edificios que se autoabastezcan. Algunas de esas estrategias o soluciones para conseguirlo son:

- Mejorar la envolvente térmica de los edificios.
- Emplear materiales más eficientes y sostenibles con el medio ambiente.
- Fomentar el uso de energías renovables (solar, eólica, hidráulica, etc).
- Uso de nuevas tecnologías o sistemas constructivos más eficientes y sostenibles.

Dentro de todo ese conjunto de estrategias para el ahorro de energía, en el presente proyecto, se ha optado por estudiar las mejoras en la envolvente térmica, concretamente mediante el uso de fachadas activas, para analizar su influencia en la mejora de la eficiencia energética del edificio y que los edificios sean de consumo energético casi nulo.

---

<sup>21</sup> DIRECTIVA 2010/31/UE. Artículo 2. Pág. 18

## 7. LA ENVOLVENTE

Como se ha comentado, este proyecto se va a centrar en el estudio de la influencia de la envolvente para la mejora de la eficiencia energética. Por ello, en primer lugar, se introduce al lector en el tema principal del proyecto, para que los conceptos más importantes que se emplean en el mismo sean perfectamente comprendidos. En cuanto al concepto de envolvente, a continuación se presentan varias definiciones de la misma:

### Definición envolvente térmica

- Definición según Raquel García, *Congreso Rehabilitación eficiente en edificios*:

*"Envolvente térmica: es la superficie de cerramiento del edificio que separa los recintos habitables/climatizados del edificio con el ambiente exterior."*

- Definición según documento *"Diseño de una fachada termoeléctrica activa"*

*"La envolvente de los edificios es la barrera que existe entre el ambiente interior y el exterior de los edificios y que, por tanto, debe cumplir con un gran número de funciones vitales que influyen en el consumo global del edificio."*

- Definición según *CTE-DB-HE (Código Técnico de la Edificación)*

*"La envolvente térmica del edificio 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."* En la Figura 16 la parte sombreada en gris oscuro es lo que representa la envolvente en un edificio.

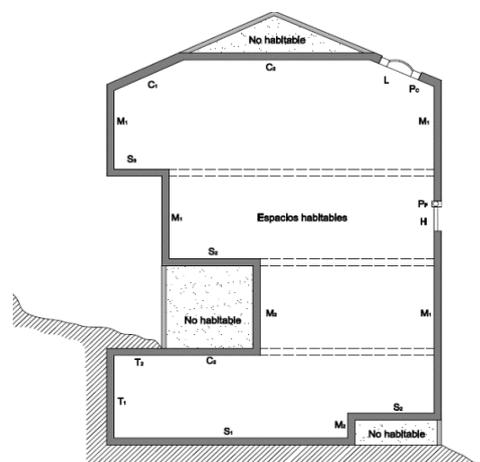


Figura 16. Esquema de envolvente térmica de un edificio. Fuente: CTE-DB-HE (2006)

Por tanto, la envolvente la definen todos los cerramientos (verticales u horizontales) que separan la superficie exterior/ superficies no habitables de la interior del edificio. De ese modo, si se clasifican los tipos de envolventes según el sistema constructivo con el que están realizados, se distinguen los siguientes tipos de envolventes:

- Cubiertas. Según el DB-HE1 una cubierta es *"cerramiento en contacto con el aire exterior en su cara superior, cuya inclinación sea inferior a 60ª respecto a la horizontal"*.
- Fachadas. Según el DB-HE1 una fachada es *"cerramiento en contacto con el aire exterior cuya inclinación es superior a 60ª respecto a la horizontal. "*
- Carpintería exterior. Según el DB-HE1 un hueco es *"cualquier elemento transparente o semitransparente de la envolvente del edificio."*
- Medianeras. Según el DB-HE1 una medianera es *"cerramiento que linda con otro edificio ya construido o que se construya a la vez y que conforme una división común"*
- Suelos. Según el DB-HE1 un suelo es *"cerramiento horizontal o ligeramente inclinado que esté en contacto por su cara inferior con el aire, con el terreno o con un espacio no habitable"*.
- Puente térmico. Según el DB-HE1 un puente térmico es *"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 diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento."*

Una vez que se ha comprendido el concepto de envolvente térmica, resulta evidente que, si se busca mejorar la eficiencia energética del edificio, hay que actuar sobre dicha envolvente, ya que es donde se producen grandes pérdidas de energía térmica. Para mejorar la eficiencia de la envolvente, hay infinitas soluciones. En este proyecto vamos a analizar varias de ellas. Para definir mejor esas soluciones, se han distinguido dos tipos de envolvente:

- Envolventes pasivas
- Envolventes activas

## 7.1. ENVOLVENTES PASIVAS

Una envolvente pasiva es aquella que mejora la eficiencia energética, de forma pasiva, es decir que la envolvente pasiva no se adapta a las necesidades de la fachada, sino que es una solución constructiva que se aplica en la envolvente y sus características son las mismas a lo largo de toda su vida útil. Estas mejoras se aplican a la hora de construir la vivienda o a posteriori, una vez finalizado el edificio. Además, son muy comunes en la actualidad y algunos tipos de envolventes pasivas llevan usándose durante años en la construcción. Existen numerosas estrategias o medidas de mejora dentro de las envolventes pasivas, algunas de ellas son:

- Colocación de mayor aislamiento en fachada. Con ello se logra un menor intercambio de temperaturas entre el ambiente exterior e interior, por tanto, en la estancia se consigue una mayor estabilidad térmica.
- Ventilación natural. Con la ventilación se consigue que haya un intercambio de aire, lo cual resulta muy útil, sobre todo en verano ya que evita el sobrecalentamiento de la estancia. Una de las posibilidades de ventilar naturalmente es a través de las carpinterías, ya que según su permeabilidad al aire colaboran con esa ventilación.
- Colocación de una fachada ventilada en vez de una tradicional. Este sistema tiene numerosas ventajas, entre ellas, reducir la incidencia solar en la estancia en verano y la eliminación de los puentes térmicos.
- Protección contra la radiación solar. Se cubre la superficie exterior, para que no haya incidencia directa del sol. A la hora de colocar protecciones solares, hay que tener en cuenta varios factores como la necesidad de entrada de sol en invierno y la gestión de la luz solar en el interior de la estancia. Los sistemas de protección solar pueden ser fijos (marquesinas, voladizos, etc.) o móviles (persianas, lamas metálicas, etc).
- Fachadas/Cubiertas vegetales. Evitan el sobrecalentamiento de la estancia interior, ya que, en verano, al haber mayor radiación solar y al propio ciclo de las plantas, éstas tienen más hojas, creando una pared vegetal más amplia y con ello proporcionan más sombra al interior de la estancia; en invierno, por el contrario, hay menos follaje y eso permite a la radiación solar penetrar en la estancia y colaborar a que haya una temperatura agradable en la estancia.
- Instalación captadores solares pasivos. Un ejemplo sería el Muro Solar o invernaderos adosados. La radiación solar incide en un vidrio o muro, se acumula el calor y éste calienta la estancia.

## 7.2. ENVOLVENTES ACTIVAS

El concepto de una envolvente activa es bastante amplio. Es un tipo de envolvente que mejora la eficiencia energética, de una forma activa. Es decir, no es una envolvente estática, sino que es capaz de modificar sus características en función de la climatología, adaptándose a las necesidades del cerramiento en cualquier época del año. Algunas envolventes activas, requieren energía para su correcto funcionamiento, mientras que otras son capaces de generar o aportar energía al propio edificio gracias a instalaciones integradas en la envolvente. Existen muchas estrategias de mejora dentro de las envolventes activas. Algunas de ellas son:

- Producción de energía. La misma envolvente dispone en su diseño de sistemas de producción de energía renovable. Por ejemplo, sistemas de captura solar, sistemas de captura de energía eólica, etc.
- Adaptación a la climatología. Consiste en diseñar el cerramiento de tal forma que se puede adaptar a las condiciones ambientales (temperatura, rayos solares, etc.) a lo largo del año. Requieren muy poco consumo energético. Un ejemplo sería la fachada ventilada activa, que varía su cámara de aire en función de la época del año. Otro ejemplo serían las fachadas móviles o cinéticas.
- Uso de materiales "inteligentes". Estos materiales se adaptan a las necesidades de cada edificio, dependiendo de la zona climática, temperatura, tipo de edificio, etc. para conseguir el menor consumo de energía posible. Un ejemplo serían los vidrios inteligentes.

Al contrario que en las envolventes pasivas, no es muy habitual todavía su uso a la hora de construir o de diseñar los edificios, ya que es algo muy innovador y no existe demasiada información ni referencias sobre este tipo de envolventes.

Por tanto, la gran diferencia entre las fachadas pasivas y activas, es que las pasivas son soluciones constructivas que se aplican en el diseño del edificio y durante toda su vida útil cumplen su función de ahorro energético sin cambiar sus características, siendo un sistema estático, mientras que las activas pueden generar energía y además se adaptan al clima o a las necesidades del edificio, lo que las convierte en un sistema activo y cambiante.

## 8. FACHADAS ACTIVAS

---

Como se ha comentado anteriormente, el presente proyecto se centra en el estudio y análisis las envolventes activas y más concretamente en las fachadas activas, por su aportación a mejorar la eficiencia energética. En este apartado, se muestran diversas tecnologías y sistemas de fachadas activas que se han aplicado en algunos edificios y otras que se encuentran en fase de proyecto. Lo que tienen todas en común es la contribución al ahorro energético. Algunas son más factibles que otras, sin embargo, se ha optado por analizar una gran variedad de fachadas activas para obtener una visión global de las mismas. Para organizar todos los sistemas de este tipo de fachadas, se han dividido por categorías, según la clase de sistema al que pertenezcan. Se presenta, seguidamente, un pequeño listado de todas las fachadas activas que se han analizado en los siguientes apartados:

### 8.1. FACHADAS VENTILADAS ACTIVAS

- Fachada ventilada activa (FVA) (muro solar)
- Muro Trombe
- Fachada ventilada termoeléctrica activa
- Sistema Solar Activated Façade (SAF)

### 8.2 FACHADAS CINÉTICAS

- Centro investigación y desarrollo CJ de Cheijedang (Seúl, Corea del Sur)
- Café restaurante OPEN
- SUN BREAK SISTEMA

### 8.3 OTRAS FACHADAS ACTIVAS

- Sistema Fachada Homeostática
- Sistema uso de microalgas en la fachada
- Fachada fotovoltaica
- Vidrio activo en fachadas. Primer muro cortina activo
- Fachada activa de hormigón
- Fachada Biopix

## 8.1. FACHADAS VENTILADAS ACTIVAS

Antes de analizar las fachadas ventiladas activas, se ha realizado una breve clasificación de los sistemas de fachadas ventiladas en general, tanto activas como pasivas, para entender mejor el funcionamiento de cada una de ellas en cuanto a la eficiencia energética. La clasificación dentro de las fachadas ventiladas es la siguiente:

- A. Fachadas ventiladas estáticas o pasivas
- B. Fachadas ventiladas activas
  - Muro Solar (activo)
  - Muro Trombe (activo)

A continuación, se han analizado cada una de ellas, para apreciar sus diferencias:

### A. Fachadas ventiladas estáticas o pasivas (Figuras 17 y 18)

Es la fachada ventilada tradicional. No es un sistema de fachada activa, sino pasiva. Es un sistema de fachada de doble piel y que dispone de una cámara de aire ventilada, además de un aislamiento colocado en la parte exterior de la hoja interior de la fachada. La cámara no es accesible desde el interior ni es controlable, siempre está abierta y no existe posibilidad de cerrarla. En esa cámara se produce una ventilación natural gracias a las juntas que quedan entre las piezas de la hoja exterior y/o a las aberturas que hay en la parte inferior y superior de la fachada y ese flujo de aire está provocado por el cambio de densidades del aire (frío/caliente).

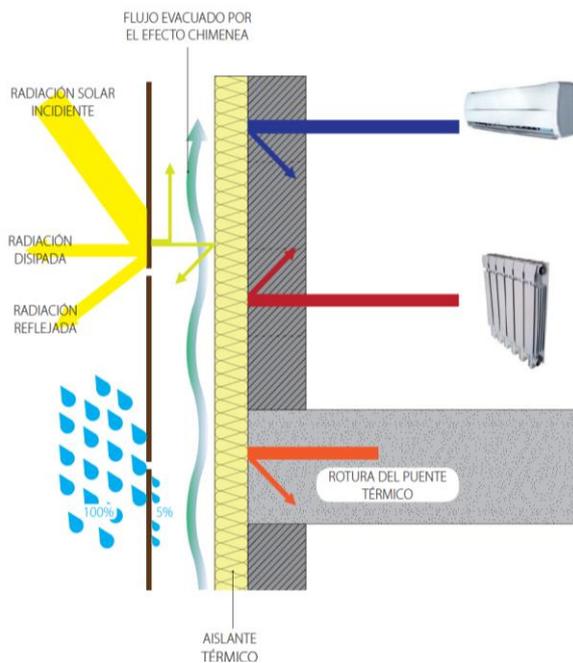


Figura 17. Funcionamiento Fachada ventilada estática

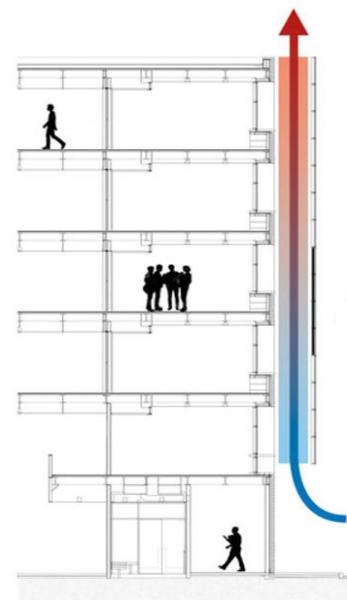


Figura 18, Fachada ventilada.  
Fuente: Tempio

Al ser una fachada pasiva o estática, las características de ésta en verano y en invierno son las mismas. El funcionamiento de esta fachada en esas épocas del año son:

- Verano: La radiación solar incide en la hoja exterior, que está formada por el revestimiento, y gracias a la cámara ventilada el calor acumulado se ventila naturalmente a través de ella, por el cambio de densidades del aire, y no penetra en la hoja interior. Además, el aislamiento colabora a que se reduzca el salto térmico entre el interior y exterior.
- Invierno: El aislamiento que reviste la fachada impide que el calor aportado por la calefacción salga al exterior, además evita los puentes térmicos ya que ese aislante se coloca linealmente a lo largo de toda la fachada.

#### B. Fachadas ventiladas activas (FVA)

A diferencia de las anteriores, son fachadas ventiladas activas, es decir, que son sistemas de fachadas de doble piel y que igualmente disponen de una cámara de aire ventilada pero controlable. La gran diferencia con respecto a las fachadas ventiladas convencionales es la posibilidad de abrir o cerrar la cámara de aire, para controlar la ventilación y así adaptarse al clima de ese momento. Ese juego de apertura de la cámara puede hacerse mecánicamente o manualmente. Además, se puede extraer el aire de la cámara a través de un extractor. Se pueden distinguir dos tipos que son el Muro Trombe (activo) y el Muro Solar (activo), los cuales se han considerado como fachadas ventiladas activas, ya que disponen de una cámara ventilada controlable. A continuación, se han analizado estos dos tipos de FVA:

##### ▪ Muro solar (activo)

Es una fachada ventilada activa, con posibilidad de abrir o cerrar la cámara, pero no existe un intercambio de aire con el interior del edificio, sino que ese flujo de aire sólo se produce entre el exterior y la propia cámara de aire. En la Figura 19 se puede apreciar el funcionamiento del sistema:

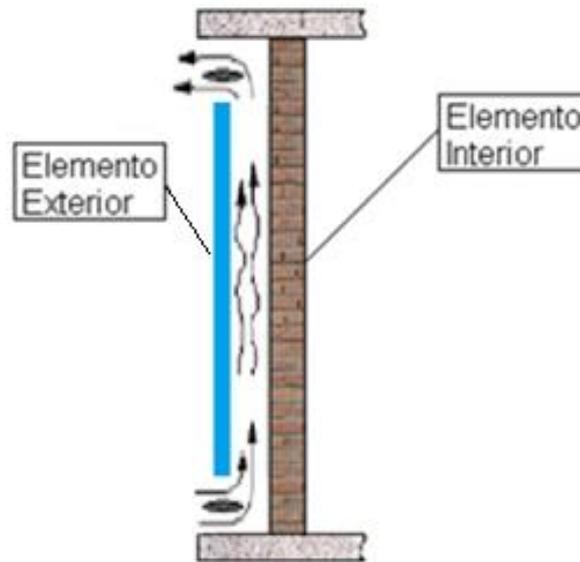


Figura 19. . Muro solar con cámara ventilada controlable. Fuente: Elaboración propia a partir de Informes de la construcción, fachadas ventiladas activas.

El funcionamiento de este sistema según la época del año es la siguiente:

- En invierno: Gracias a la radiación solar, el muro de gran inercia térmica se calienta y transfiere el calor a la vivienda mediante convección natural. La cámara se cierra para evitar pérdidas de calor del muro.
- En verano: La cámara se deja abierta para que esté ventilada, dejando al aire caliente que salga al exterior y así evitar que se recaliente la vivienda.

Para el estudio de este tipo de fachadas activas, se ha analizado el documento "*Fachadas ventiladas activas para reducir la demanda de calefacción en los edificios de oficinas. El caso de España*"<sup>22</sup>, ya que en él se explica de forma bastante detallada este sistema. En este documento se analiza la mejora de la eficiencia energética, reduciendo la demanda de calefacción, mediante el sistema de las FVA.

Además, en este artículo se hizo un estudio de varios edificios tipo en distintas zonas climáticas para ver cómo afectaría la implantación de este tipo de fachadas en sus envolventes. Lo más destacable, es que la incorporación de una FVA es una buena estrategia para ahorrar energía en calefacción, sobre todo en zonas climáticas más cálidas (zonas A y B). En las zonas más frías (D y E) no supone tanto ahorro energético. En general, la FVA es más eficiente en edificios con una superficie acristalada del 30 % respecto a la superficie total de fachada frente

<sup>22</sup> Documento Fachadas ventiladas activas para reducir la demanda de calefacción en los edificios de oficinas. El caso España. O. Irulegi. Informes de la construcción.

a una superficie acristalada es del 60 %. Esto se debe a que si hay mayor superficie de vidrio, la superficie disponible para aplicar la FVA es menor, por tanto, no favorece tanto al ahorro energético. Para entender estas conclusiones, se muestra la tabla final con los resultados del estudio (Tabla 2):

Ahorro energético en calefacción dependiendo de las zonas climáticas del CTE

	Superficie acristalada en fachada	Zonas climáticas del CTE											
		A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1
<i>Edificio tipo U</i>	30%	Dark Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	60%	Dark Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
<i>Edificio en torre con núcleo de comunicaciones en fachada</i>	30%	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	60%	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
<i>Edificio en torre con núcleo de comunicaciones central</i>	30%	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	60%	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
<i>Edificio tipo anillo</i>	30%	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	60%	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
<i>Edificio tipo L</i>	30%	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	60%	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
<i>Edificio tipo lineal</i>	30%	Dark Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Light Green	Yellow
	60%	Dark Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Light Green	Yellow
<i>Edificio tipo disperso</i>	30%	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	60%	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
<i>Edificio tipo compacto</i>	30%	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	60%	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

Ahorro energético < 10%

Ahorro energético 20-40%

Ahorro energético 10-20%

Ahorro energético superior a 40%

Tabla 2. Ahorro energético al aplicar la FVA. Fuente: Informes de la construcción

- Muro Trombe

**Definición según CTE-DB-HE.** "Muro Trombe: *Cerramiento que aprovecha la energía solar para el calentamiento por recirculación del aire interior del edificio. Generalmente está formado por una hoja interior de fábrica, una cámara de aire y un acristalamiento exterior. La circulación del aire puede ser natural (termosifón) o forzada. También se denomina muro solar ventilado.*"

El Muro Trombe es un sistema diseñado para captar la radiación solar, que colabora con la climatización del edificio y que supone un importante ahorro energético. El muro se orienta hacia la posición donde existe mayor radiación solar a lo largo del día (orientación sur en el hemisferio norte y orientación norte en el hemisferio sur). El funcionamiento del sistema es sencillo: el muro recibe la radiación solar directa, se calienta la cámara de aire y mediante las perforaciones que posee el muro, se produce una circulación de aire entre el exterior y el interior de la estancia. Proporciona aire caliente en invierno y permite una buena refrigeración en verano, debido a esa circulación del aire. Los componentes del Muro Trombe son (Fig. 20):

- Acumulador. Es un muro que suele ser de piedra, hormigón o adobe, pintado de negro para mejorar su absorción. Es la capa que está más al interior de la vivienda y la encargada de transmitir el calor a la vivienda.
- Una lámina de vidrio de doble o triple cámara. Ese vidrio será lo que reciba la radiación solar y la transmitirá al muro y a la cámara. El vidrio actúa de efecto invernadero, ya que permite a la radiación solar penetrar en el muro pero no permite que esa radiación salga hacia el exterior.
- Una cámara de aire, entre el muro y el vidrio, la cual tendrá una temperatura elevada con respecto al exterior y al interior debido a la radiación solar y el efecto invernadero que se crea. Puede ser ventilada o no. el espesor de la misma no será ni mayor de 15 cm ni menor de 3 cm, siendo lo idóneo 9 cm.
- Orificios de ventilación (superiores e inferiores) para crear esa circulación del aire.
- Un alero en la parte superior, para proteger el espacio interior del muro cuando la compuerta está abierta. Además, también creará sombra en verano. No es obligatorio este elemento, pero es muy recomendable para los meses con temperaturas más cálidas, sobre todo en climas suaves.

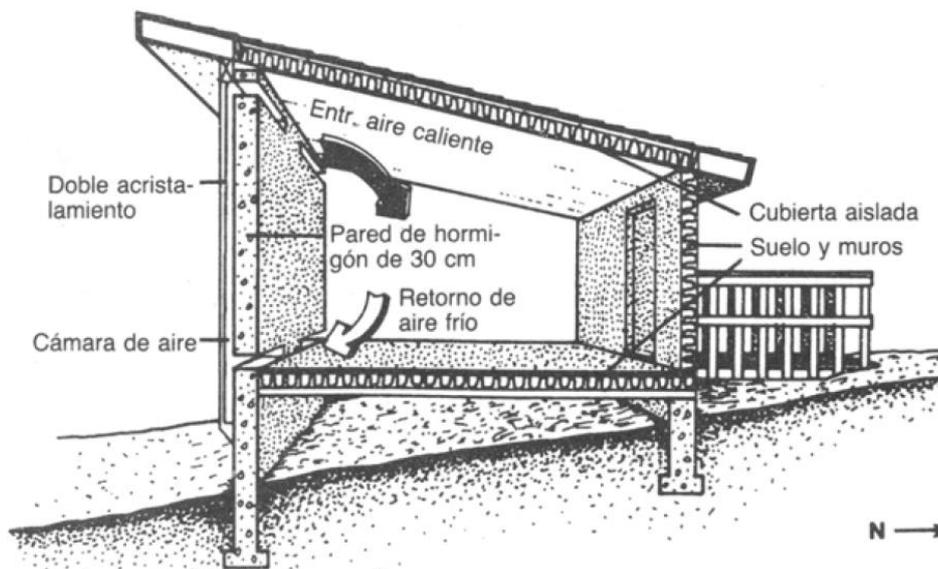


Figura 20. Muro trombe. Fuente: Proyecto RECONSOST

Por otro lado, existen dos tipos de Muro Trombe; el ventilado y el no ventilado:

- GII<sup>23</sup>. Muro Trombe no ventilado (Fig. 21). Al tener la cámara completamente cerrada, las temperaturas que se alcanzan dentro de la misma son elevadas. Además, la transferencia de calor al interior del edificio es más lenta que en el Muro Trombe ventilado.
- GI2. Muro Trombe ventilado (Fig. 22). Dispone de orificios en el muro, tanto en la parte superior como la inferior. Estos orificios, disponen de unas ventanillas o compuertas, por lo que se pueden abrir o cerrar esos orificios para controlar la circulación del aire.

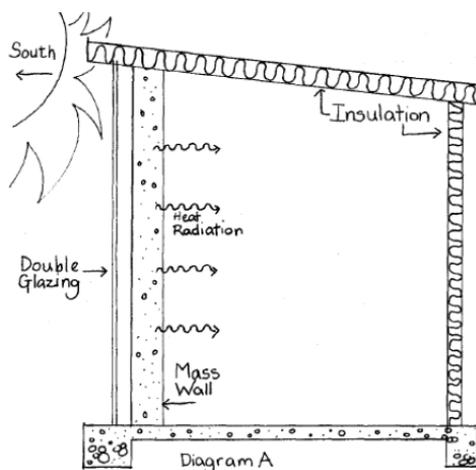


Figura 21. Muro trombe no ventilado. Fuente: Proyecto RECONSOST

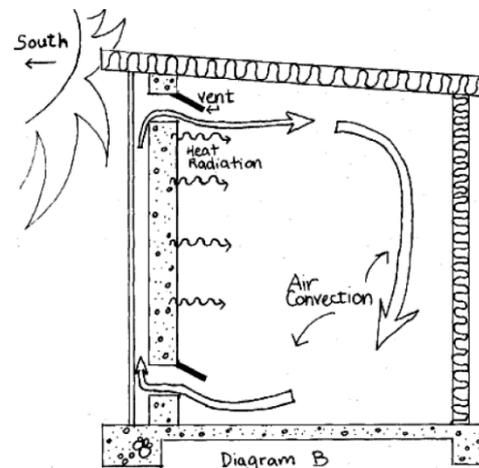


Figura 22. Muro Trombe ventilado. Fuente: Proyecto RECONSOST

Además, a través de estas ventilaciones, se pueden ir modificando de acuerdo a las condiciones ambientales (Fig. 23):

- En invierno, la radiación solar que absorbe el muro favorece la calefacción de la estancia, por tanto los orificios de la cámara ventilada conviene dejarlos cerrados para acumular en ella el máximo calor posible, y cuando ya no haya radiación solar, se transmita ese calor acumulado a la estancia.
- En verano, se pueden cambiar las direcciones de las compuertas abriendo las compuertas de la ventilación de la cámara para favorecer que se ventile la vivienda y por tanto, se refresque ya que se extrae el aire caliente del interior de la estancia.

<sup>23</sup> GII. Denominación muro trombe no ventilado según el Proyecto RECONSOST.

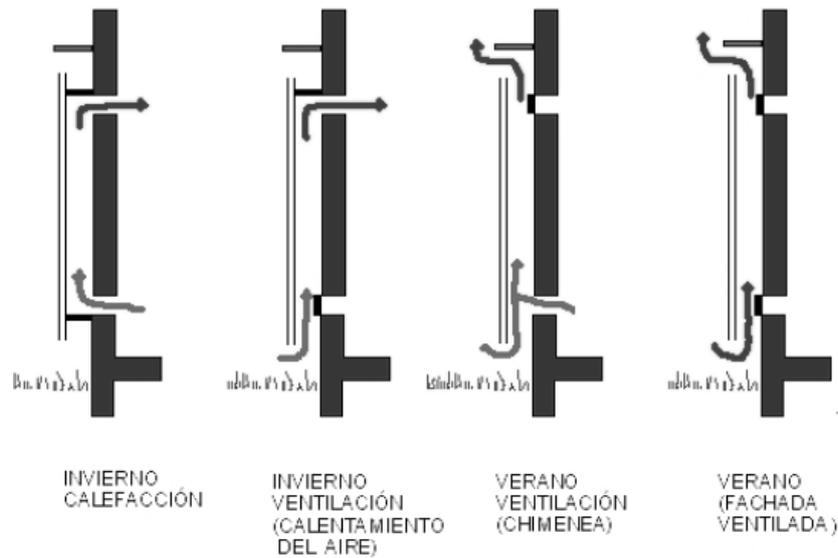


Figura 23. Posibilidades Muro Trombe ventilado. Fuente: Proyecto RECONSOST

Por tanto, el sistema del Muro Trombe es un sistema para mejorar la eficiencia energética, y se puede mejorar su efectividad si se regulan esas ventilaciones mediante algún mecanismo que controle la apertura o cerramiento de las mismas, incluso que ese mecanismo controle la orientación de las protecciones solares si las hubiera. Con todo esto, otra estrategia de mejora sería un Muro Trombe Activo, mediante un sistema de sensores de luz y temperatura que favorezca el ahorro de consumo de energía.

A continuación, se va a mostrar un ejemplo de un edificio en el que se ha aplicado un Muro Trombe. Dicho edificio es la Sede de ACCIONA SOLAR, el primer edificio "cero emisiones" construido en España. Este edificio está situado en Navarra y se construyó en 2006. (Fig.24). Lo destacable de este edificio, es que consume un 52% menos que un edificio convencional. Para ello, se han usado varias estrategias de mejora de la eficiencia energética a la hora de diseñar el edificio. Algunas de esas mejoras son: fachada ventilada, aislamiento en el exterior de la fachada, carpinterías con rotura de puente térmico, sistema geotérmico mediante tuberías subterráneas, uso de paneles fotovoltaicos tanto en fachada como cubierta, muro trombe en fachada sur, etc.



Figura 24. Edificio Acciona Solar. Fuente: Grupo ACCIONA

Mediante las estrategias o soluciones que se han llevado a cabo en este edificio, se ha conseguido que este edificio produzca tanta energía como la que consume. La propia empresa ACCIONA, ha realizado un análisis para detallar los consumos de energía del edificio. (Fig. 25).

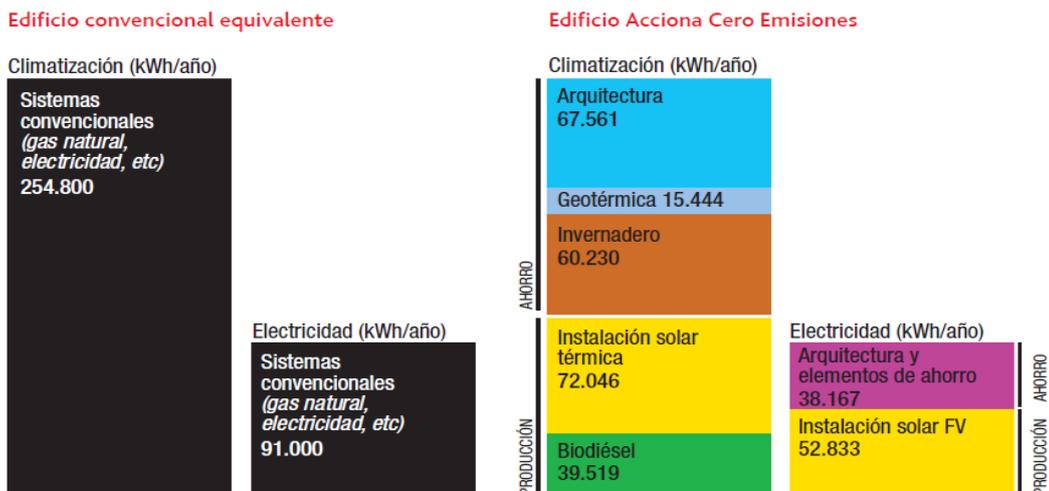


Figura 25. . Aportación de energía de los sistemas constructivos instalados en la Sede Acciona Solar. Fuente: Grupo ACCIONA

En cuanto a las estrategias para mejorar la eficiencia, se encuentra la instalación de un muro trombe en una parte de la fachada sur, donde la fachada es un muro cortina. Además, en esa misma fachada, se han instalado módulos fotovoltaicos. En cuanto al funcionamiento del edificio dependiendo de la época del año, es el siguiente:

- En verano. (Fig. 26). Para reducir la demanda de refrigeración, por un lado, gracias al sistema geotérmico instalado, se ingresa aire frío a través de las tuberías subterráneas y este aire se difunde por los conductos que climatizan el edificio para enfriar las estancias. Por otro, la ventilación de la cámara del muro trombe, se evita que se recaliente la estancia. Además, los captadores solares térmicos que están instalados absorben energía y ésta se transforma en aire frío que se distribuye a su vez mediante los suelos y techos radiantes.

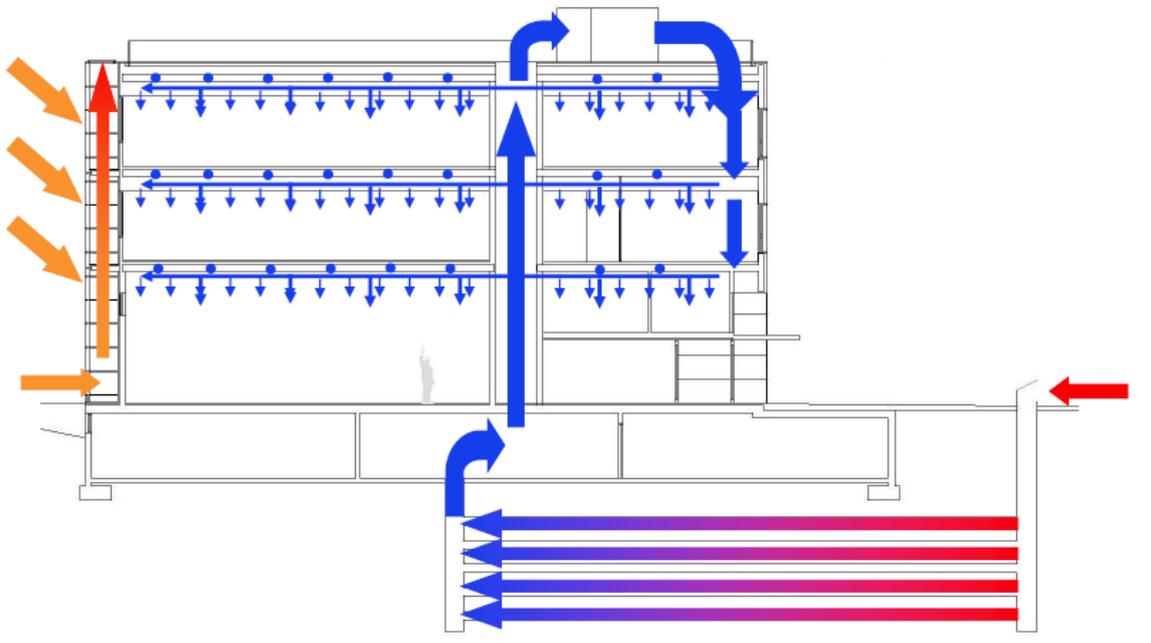


Figura 26. Funcionamiento Sede ACCIONA Solar en verano. Fuente: Grupo ACCIONA

- En invierno. (Fig. 27). Para reducir la demanda de calefacción, en primer lugar mediante las tuberías subterráneas se calienta el aire, que se le hace circular hasta la fachada sur donde está el Muro Trombe y el invernadero adosado y con ello se eleva más la temperatura del aire procedente de la geotermia. Una vez caliente, se distribuye al edificio a través de los conductos de climatización. A su vez, el calor absorbido por los paneles solares, se distribuye por los suelos y techos radiantes para contribuir a la calefacción del edificio.

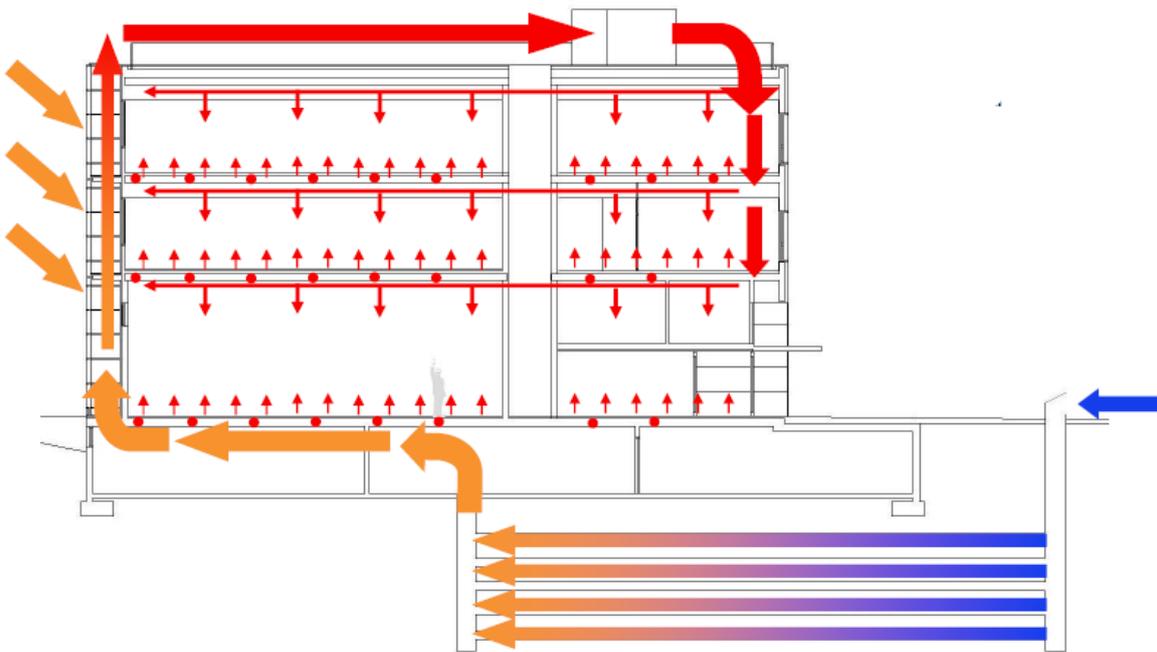


Figura 27. Funcionamiento Sede ACCIONA Solar en invierno. Fuente: Grupo ACCIONA

- Fachada ventilada termoeléctrica activa

Para explicar este sistema se ha usado un proyecto que está realizando la Universidad de Navarra denominado "*Desarrollo, construcción y análisis de un cerramiento de fachada activo con células Peltier*". El sistema de cerramiento consiste en una fachada ventilada opaca, de altas prestaciones y que se adapta a los cambios ambientales y que además dispone en su interior de un sistema de climatización por medio de las células Peltier. Dichas células son unos componentes electrónicos formados por unas placas de un material semiconductor con propiedades para generar calor o frío. La climatización en este sistema está fundamentado en el efecto Peltier, que consiste en dos materiales con distinta conductividad (uno negativo y otro positivo) que están unidos entre sí mediante dos conexiones y que generan energía por la diferencia de temperatura cuando se les aplica una corriente. Por tanto, una de las conexiones absorbe calor y la otra lo desprende. En la Figura 28, se muestra un pequeño esquema explicativo de este efecto Peltier.

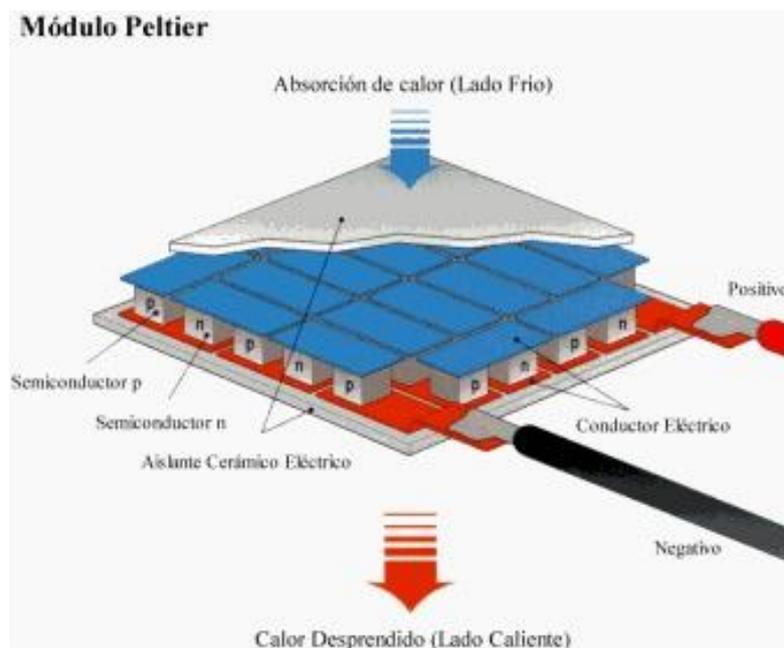


Figura 28. Esquema Efecto Peltier. Fuente: [www.mundodigital.net](http://www.mundodigital.net)

Tradicionalmente, las fachadas se han tratado como "sistemas rígidos", inalterables y con propiedades fijas, sin adaptarse a los cambios de estación o temperatura. En cambio, la fachada ventilada activa (FVA), sí que se adapta mejor al ambiente, ya que este sistema permite controlar la cámara de aire exterior. Lo curioso de este sistema es que además de ser una fachada ventilada, se ha añadido un sistema de climatización termoeléctrico, mediante el efecto Peltier antes mencionado y en la Figura 29 se distinguen las distintas capas que lo componen:

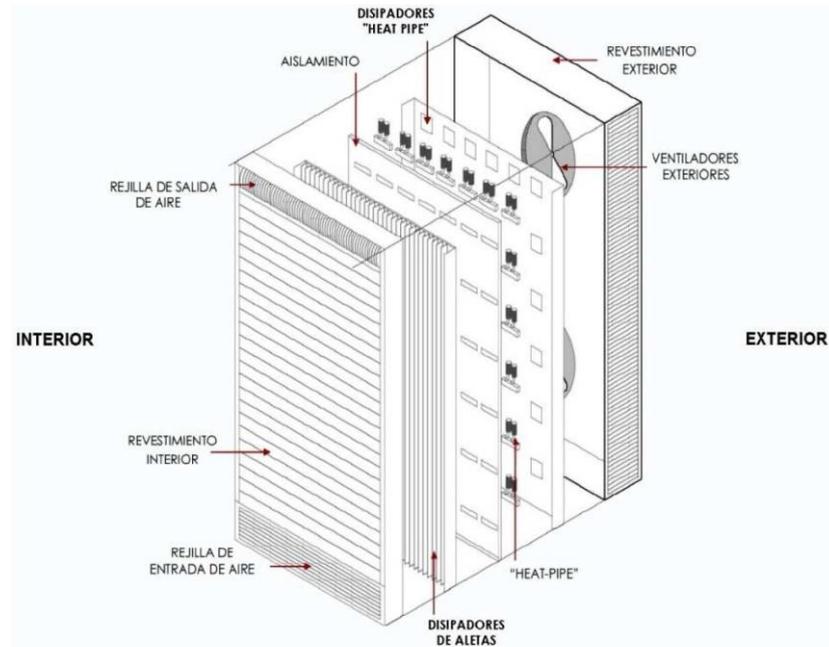


Figura 29. Esquema del primer prototipo de sistema de climatización termoeléctrico. Fuente: DADUN. Depósito académico digital Universidad de Navarra.

#### VENTAJAS QUE OFRECE EL SISTEMA

- Una de las ventajas de este sistema es que se puede calentar y refrigerar una estancia con una misma instalación.
- Los costes de mantenimiento son muy bajos
- Es un sistema más sostenible con el medio ambiente que un sistema de climatización tradicional, ya que no emite CO<sub>2</sub>.
- No necesita instalaciones previas o auxiliares, como calderas, conductos, etc., con lo cual reduce el volumen de la instalación.

#### INCONVENIENTES DEL SISTEMA

- Es un sistema con un alto precio, si se compara con otros sistemas tradicionales.

Por otro lado, su funcionamiento según la época del año es el siguiente (Fig 30):

- En verano, el sistema evita las ganancias térmicas, para eso extrae el exceso de calor del interior de la estancia hacia la cámara y la ventilación de la cámara está abierta para que el calor fluya hacia el exterior.
- En invierno, contrariamente, se cierra la ventilación de la cámara para que se acumule el calor en ésta y dicho calor se transfiere a la estancia a través de las células Peltier.

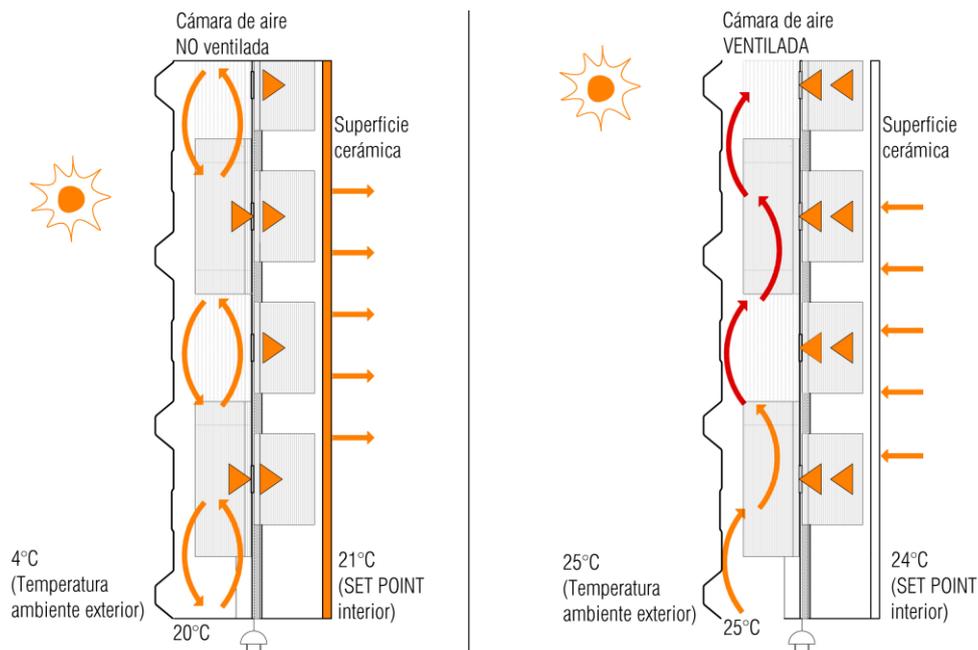


Figura 30. Esquema del comportamiento energético de la fachada activa termoeléctrica en invierno (izquierda) y verano (derecha). Fuente: DADUN. Depósito académico digital Universidad de Navarra.

Este estudio, se centra sobre todo en el estudio de cómo influye el control de la cámara exterior del cerramiento sobre el consumo energético y su funcionamiento en conjunto con el sistema de climatización termoeléctrico. Se han construido dos prototipos de envolventes, uno con fachada ventilada simple y otro añadiendo la climatización termoeléctrico a una fachada ventilada (Fig 31). Sin embargo, no hay resultados claros, ya que es todavía un estudio experimental y se han recogido muy pocos datos hasta el momento.



Figura 31. Fotografía de los dos prototipos de ensayo. Prototipo FV sin control (derecha) y prototipo FV con sistema de climatización termoeléctrica (izquierda). Fuente: DADUN. Depósito académico digital Universidad de Navarra.

- Sistema Solar Activated Façade (SAF)

Este sistema consiste en la instalación de unos paneles prefabricados, compuestos por un cerramiento de vidrio y unas lamas fijas de madera, y entre medias una cámara de aire. Dicha cámara se calienta a lo largo del día y por la noche se enfría, en un período de 4-12 horas. Este período de enfriamiento provoca que haya menos pérdidas de calor. En la Figura 32 se adjunta una perspectiva del sistema SAF.



Figura 32. Perspectiva del Solar Activated Façade (SAF). Fuente: <http://www.saf-usa.com>

Con ese proceso de enfriamiento, se consigue un aislamiento de alto rendimiento, que funciona tanto en verano como en invierno. En la Figura 33, se muestra el funcionamiento del sistema, según la época del año:

- En invierno, la radiación solar incide en el vidrio y calienta la cámara de aire a través, y ese calor a su vez se introduce en la partición interior de la fachada a través de las lamas de madera inclinadas.
- En verano, debido a que el ángulo de incidencia solar es mayor que en invierno, muchos de los rayos solares que inciden en el vidrio se reflejan hacia la dirección contraria, con lo cual la cámara se calienta menos que en invierno ya que las lamas de madera están inclinadas de tal forma que crean sombra a la partición interior, por tanto, se evita que se alcancen temperaturas elevadas.

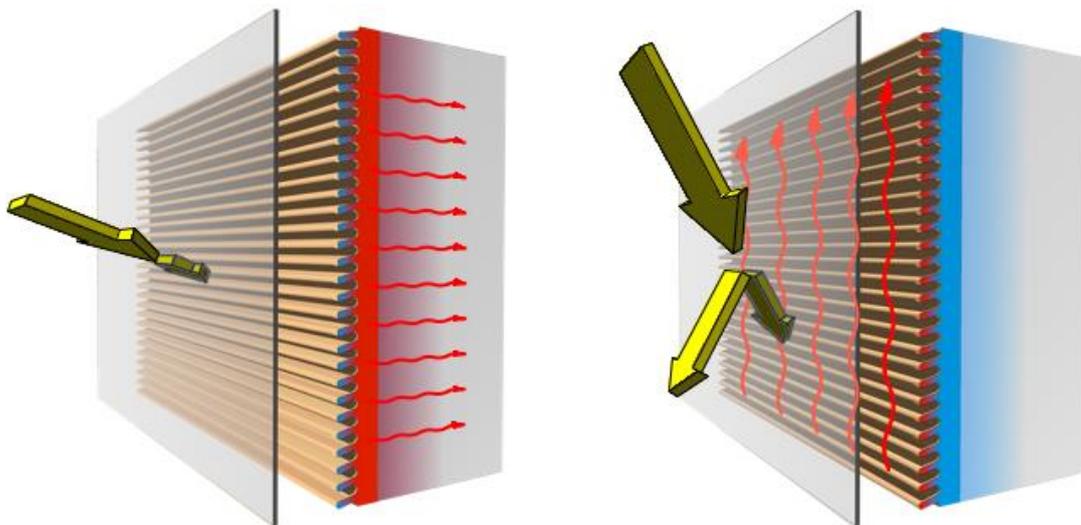


Figura 33. Funcionamiento SAF en invierno (izquierda) y en verano (derecha). Fuente: <http://www.saf-usa.com>

El sistema SAF puede ser utilizado tanto en edificios de uso residencial, tanto como comerciales y públicos. Se ha probado repetidas veces en el Laboratorio federal de la ciencia de los materiales y tecnología (Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology) en Suiza. Además, se ha aplicado en muchos edificios, tanto de nueva construcción como rehabilitados.

Incluso, este sistema dispone de paneles especiales con módulos solares fotovoltaicos, por lo que además del beneficio energético que aporta el sistema SAF, se puede usar la radiación solar que incide en la fachada para transformarla en energía y contribuir aún más al ahorro energético. (Fig. 34)



Figura 34. Paneles fotovoltaicos sistema SAF. Fuente: <http://www.saf-usa.com>

Por tanto, las ventajas que ofrece el Sistema SAF son:

- Se consigue un gran ahorro energético en la vivienda, tanto en verano, como en invierno.
- Se emplean materiales eficientes, con los que se consigue una alta calidad pero ahorrando recursos y energía para su fabricación.
- Se gana superficie útil de vivienda, ya que este sistema de fachada tiene menor grosor que otros del mercado.
- Hace falta poco mantenimiento.
- Su vida útil es larga.
- Fácilmente reciclable.
- Supone un buen ahorro de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub> a la hora de construir el sistema.

## 8.2. FACHADAS CINÉTICAS

Este tipo de fachadas son sistemas que consisten en una doble fachada, con una estructura formada por lamas, paneles, carpinterías, etc. que giran o se desplazan según la radiación solar que se necesite. Para explicar este tipo de sistemas se van a exponer varios ejemplos de edificios o prototipos en los que se ha aplicado el mismo:

- Fachada cinética "paraguas"

Este proyecto de edificio hasta ahora no es más que un prototipo. Fue diseñado para construirse en Seúl, y se compone de una doble fachada, formada por una estructura en forma de acordeón, con una serie de lamas orientables y plegables que permiten el control solar. La idea del sistema está basada en la apertura de un paraguas. Las lamas o bandas perforadas de acero, que protegen al edificio del sol, están fijados a unos brazos que pueden abrirse o cerrarse mecánicamente, para conseguir la radiación solar adecuada. Cada "brazo" está diseñado de tal forma que permite que la ventana esté totalmente expuesta al sol o completamente tapada. En cuanto a las perforaciones realizadas en las bandas metálicas, suponen un 30-50 % de la superficie total de la banda. Este rango varía dependiendo de la orientación solar; más perforaciones en el norte y menos en el sur. En la Figura 35 y 36, se muestran dos imágenes donde se aprecia el movimiento de la estructura en reacción con el sol.<sup>24</sup>

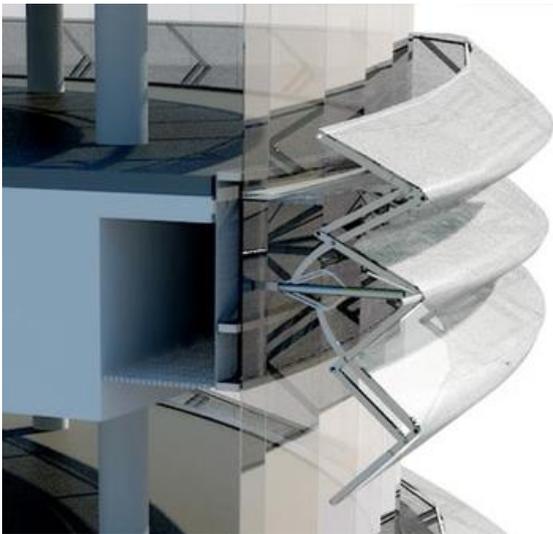


Figura 35. Perspectiva de la fachada cinética.  
Fuente: Yazdani Studio

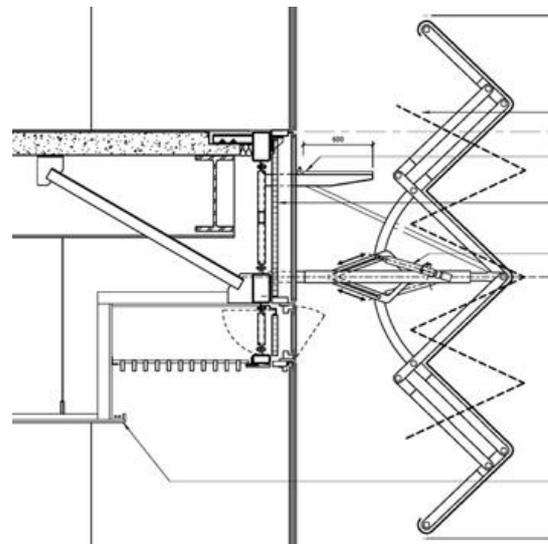


Figura 36. Esquema fachada cinética. Fuente: Yazdani Studio

<sup>24</sup> Kinetic architecture. Designs for Active Envelopes. Rusell Fortmeyer. Google Books.

- Fachada acristalada ventanas retráctiles

Este edificio situado en Amsterdam, está formado por una fachada acristalada con ventanas retráctiles. Cada módulo de ventana se compone de dos hojas que se pliegan en torno a un eje, lo que permite que la ventana se abra totalmente o que esté totalmente cerrada. Todas las ventanas que componen la fachada se mueven electrónicamente. Se han basado en las tradicionales puertas pivotantes de los garajes. Desde el punto de vista energético, esta fachada permite ventilación cruzada gracias a la apertura de las ventanas, lo que favorece la eficiencia energética en los meses de verano. En la Figura 37 se muestra una fotografía de las ventanas.



Figura 37. Café OPEN. Ventanas retráctiles. Fuente: <https://ecosocialhouse.wordpress.com>

- Fachada cinética SUNBREAK

Otro sistema de fachada cinética es el diseñado por la compañía NBBJ, llamado Sunbreak. Consiste en una "sombrija" inteligente, que se pliega o despliega según la radiación solar. Además, dispone de unos sensores que permiten detectar si hay personas en la estancia, proximidad de las nubes, etc. Mediante una aplicación móvil existe la posibilidad de controlar totalmente el sistema, y con todo ello, conseguir regular la temperatura de la estancia y mejorar la eficiencia energética. En su diseño consta de tres bisagras lo que permite modificar automáticamente el ángulo de apertura de la "sombrija", incluso se pueden bajar las persianas del todo para impedir la entrada de sol. Con eso, se ayuda a controlar la temperatura interior. A día de hoy no se ha aplicado a ningún edificio, se trata de un prototipo del sistema. En las figuras 38, 39 y 40, se muestra una fotografía y esquemas del funcionamiento de este sistema.



Figura 38. Sistema Sunbreak. Fuente: Archdaily

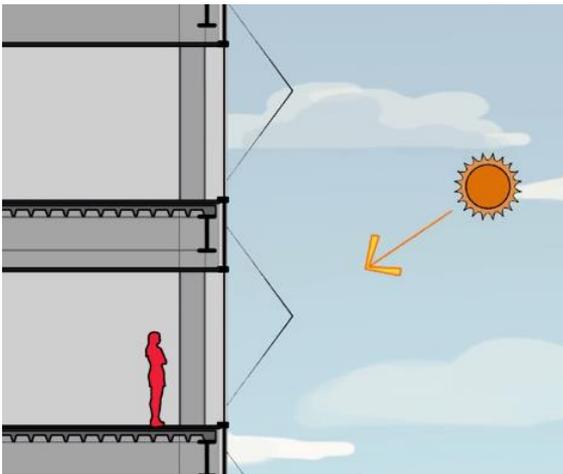


Figura 40. Funcionamiento Sunbreak. Fuente: Archdaily

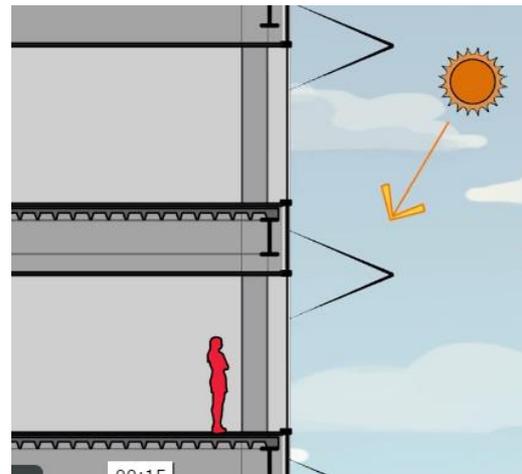


Figura 39. Funcionamiento Sunbreak.  
Fuente: Archdaily

### 8.3. OTRAS FACHADAS ACTIVAS

Además de las fachadas cinéticas y las fachadas ventiladas activas, existen otras fachadas activas con distintas tecnologías. Algunas de ellas son:

- Sistema Fachada Homeostática

El sistema Homeostatic Building Facade, es un prototipo experimental que reacciona con la temperatura que se le aporta a la fachada. Se adapta automáticamente a los cambios del ambiente exterior, como la radiación solar o las variaciones de temperatura. El sistema se compone de una banda o cinta, situada dentro de la doble piel de la fachada, que está compuesta por un material flexible y que reacciona con la temperatura, lo cual le permite doblarse con los cambios de radiación solar, filtrando el sol gracias al cambio de forma que sufre. La banda o cinta, por un lado, se expande cuando recibe temperaturas altas, y además al ser un material reflectante evita que el interior de la estancia se recaliente. Por otro, se contrae cuando se enfría, dejando pasar los rayos solares más suaves. Con ello se controla la radiación solar que entra en las estancias y ayuda a la fachada a regular la temperatura en el interior del edificio, ya que responde de forma automática a las condiciones ambientales del exterior, y con muy poco consumo de energía. En la Figura 41 se puede apreciar el cambio de forma cuando reacciona a las temperaturas.

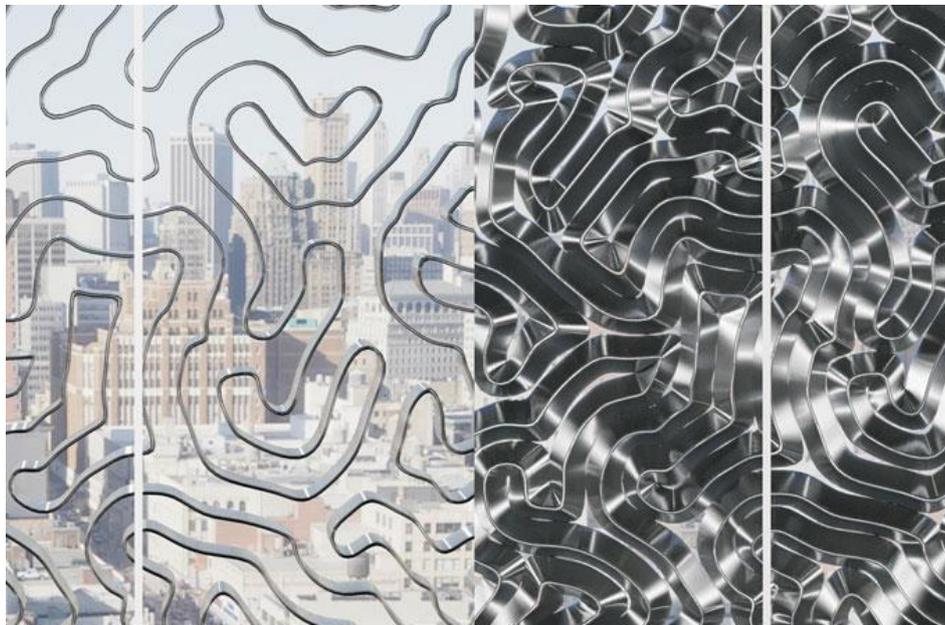


Figura 41. Cambio forma fachada homeostática. Temperaturas bajas (izquierda) frente a temperaturas altas (derecha). Fuente: [internationalfacade.com](http://internationalfacade.com)

- Sistema uso de microalgas en la fachada

En Alemania se ha construido un edificio, llamado Biq House, en el que parte de su fachada está formada por paneles de algas. Este sistema consiste en introducir unas microalgas en unos paneles biorreactores, que mantiene el interior del panel biológicamente activo<sup>25</sup>, y estos a su vez son los que sirven para revestir las fachadas. En el interior de estos paneles hay agua y algas, y mediante un proceso bioquímico generan calor y energía. Además, las algas ayudan al aislamiento del edificio y proporcionan sombra al mismo. Mediante un circuito de agua en la fachada suministran nutrientes y CO<sub>2</sub> a las algas. Estas algas crecen rápido al recibir la radiación solar, proporcionando sombra al interior de la estancia. El efecto invernadero que se produce en las capas internas de los paneles de la fachada favorecen la reproducción de las algas rápidamente. Con ello se consigue generación de calor en los paneles se envía a un centro de gestión de energía y posteriormente se emplea para calentar el edificio y el agua caliente sanitaria del mismo. El sistema es ideal tanto para invierno como para verano, ya que en verano la radiación solar es mayor, por tanto, las algas se reproducen más rápidamente y crean mayor sombra y haciendo más oscuros los paneles, evitando el sobrecalentamiento de la estancia; en invierno, por el contrario, al haber menos rayos solares, no se reproducen tantas algas y éstas dejan pasar mayor radiación solar a la estancia colaborando a su calefacción. En la figura 42 se muestra una fotografía de esta fachada. Además de generar calor, este sistema también es capaz de crear biomasa. Cuando los paneles se limpian de las algas, éstas se escurren y se prensan, obteniendo biomasa que se usa para generar electricidad al tratarlo en una planta especializada.



Figura 42. Fachada algas. Fuente: [www.labioguia.com](http://www.labioguia.com)

<sup>25</sup> <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion>

- Fachada fotovoltaica

Otro sistema de fachada activa es la fachada fotovoltaica, que consiste en colocar unos paneles de captación solar en la fachada. El funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos es sencillo. Un panel fotovoltaico está formado por un conjunto de células solares o células fotoeléctricas, que son las que transforman la energía lumínica en energía eléctrica. Esas células son simplemente unos dispositivos semiconductores de la electricidad. La generación de energía eléctrica depende de varios factores como la intensidad de la radiación solar, la temperatura, el número de módulos que haya instalados, la inclinación del módulo con respecto a la luz solar, etc. Una instalación de energía solar fotovoltaica está formada por una sucesión de estos paneles fotovoltaicos conectados entre sí para generar energía.<sup>26</sup>

Por otro lado, la energía fotovoltaica se puede integrar en la edificación de varias formas. Lo más usual es la instalación de paneles fotovoltaicos en la cubierta del edificio, pero también pueden integrarse en fachadas, parasoles, pavimentos, marquesinas, etc. En el presente trabajo, se va a analizar la integración de paneles fotovoltaicos en fachada, que constituye otro tipo de fachada activa. A modo de ejemplo, se muestra el hotel de 4 estrellas "Tres Reyes", en Navarra (Fig. 43). Este edificio sufrió varias modificaciones en una reforma en 2010, entre ellas, la colocación de paneles fotovoltaicos en gran parte de su fachada principal, y también en una porción de otras de sus fachadas. En total hay instalados 1263 módulos fotovoltaicos. Estos paneles, además de generar electricidad a través del sol, mejoran el aislamiento del edificio y facilitan la climatización del edificio.<sup>27</sup>



Figura 43. Fachada fotovoltaica Hotel Tres Reyes, Pamplona. Fuente: Planinter Blog

<sup>26</sup> TFG. Arquitectura y energía fotovoltaica. Javier de Montero Fontán.  
[http://oa.upm.es/39231/1/TFG\\_Javierde\\_Montero-Fontan.pdf](http://oa.upm.es/39231/1/TFG_Javierde_Montero-Fontan.pdf)

<sup>27</sup> Planinter Blog. <https://planinter.wordpress.com/2010/11/30/hotel-tres-reyes-ejemplo-de-integracion-arquitectonica-fotovoltaica-en-el-sector-hoteler-espanol/>

- Vidrio activo en fachadas. <sup>28</sup>(PRIMER MURO CORTINA ACTIVO)

Este sistema consiste en un acristalamiento doble o triple, según el modelo, con cámara de agua en el interior de un circuito. El agua en circulación suprime la carga térmica solar antes de que penetre en el interior del edificio. El triple vidrio tiene varias ventajas; es un gran aislante, bloquea la radiación infrarroja y permite una alta transmisión lumínica pero impide la radiación solar directa. El vidrio activo se adapta a las condiciones climatológicas, tanto en invierno como en verano (Fig. 44):

- En invierno, la temperatura exterior es inferior a la que hay en la cámara de aire, por lo que la fachada de vidrio actúa como un radiador de calor hacia la estancia interior. Además, gracias a la cámara de aire hay menos pérdidas de energía hacia el exterior.
- En verano, el calor acumulado gracias a la radiación solar, se absorbe en la cámara de agua. Si la temperatura en esa cámara es superior a la del interior del edificio, se eliminará esa carga interna que se crea por los equipos, iluminación y la misma ocupación de las personas.

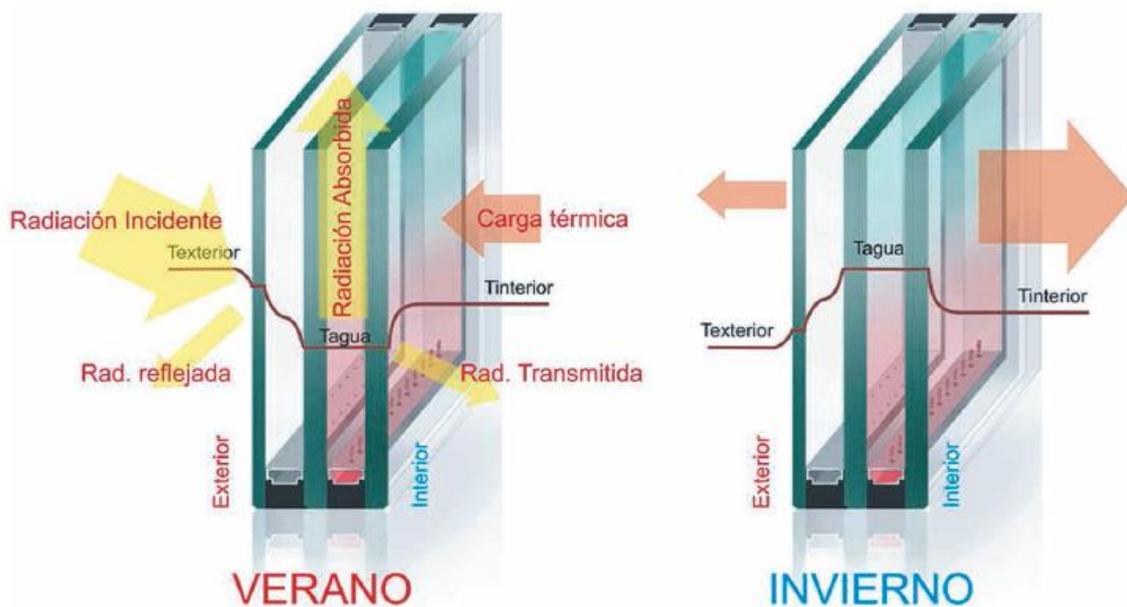


Figura 44. Comportamiento de la fachada con acristalamiento triple activo en verano (izquierda) y en invierno (derecha). Fuente: Fenercom (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid)

<sup>28</sup> Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios. Capítulo 2. Fenercom (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid)

Si se colocan vidrios activos en una fachada con exposición solar, la radiación se convierte en energía calorífica que causa que el agua eleve su temperatura. El circuito dispone además de un intercambiador de calor, para regular la temperatura y que no se produzca un sobrecalentamiento de la estancia interior.

Sin embargo, un problema muy común en las fachadas de vidrio es que al ser cerramientos tan ligeros suelen tener una inercia térmica muy pequeña, lo que provoca que haya grandes oscilaciones de temperatura a lo largo del día ya que reciben una radiación solar constante durante las horas de sol. En cambio, este sistema de vidrio activo pone solución a esto. La inercia térmica de este sistema es independiente del cerramiento, ya que se puede trasladar esa inercia térmica a depósitos enterrados, piscinas, etc.

A continuación, se van a exponer dos ejemplos de aplicación de este sistema junto con unos análisis realizados por la empresa que ofrece el sistema de vidrio activo, *IntelliGlass*, para comprobar la eficiencia del mismo para regular las temperaturas de las estancias y por tanto su influencia en la demanda energética del edificio. Se analizan dos casos de aplicación del sistema:

- **Caso 1** (Fig. 45)

Se trata de una fachada sur, de un edificio en Madrid. El vidrio activo está conectado a un depósito de inercia mediante un intercambiador de calor. La simulación se realiza con dos depósitos con volúmenes diferentes.

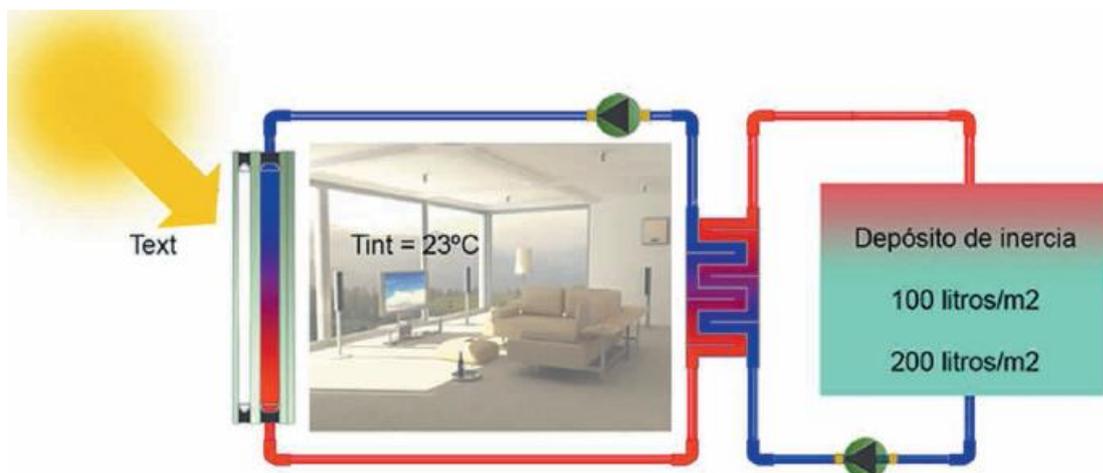


Figura 45. Esquema Caso 1. Fuente: Fenercom

A continuación, se muestra un gráfico que representa las oscilaciones de temperatura a lo largo del día, tanto en invierno como en verano, con tres posibilidades:

- Circuito apagado (línea roja)
- Circuito encendido, usando un depósito de inercia de 100 l/m<sup>3</sup> (línea verde)
- Circuito encendido, usando un depósito de inercia de 200 l/m<sup>3</sup> (línea azul)

Si se analizan las gráficas (Fig. 46):

- En invierno (izquierda), si el circuito está apagado, también se alcanzan unas temperaturas muy altas al mediodía, debido a que hay una gran incidencia solar por la posición del sol en esta época del año. Esto puede ser una buena forma de ayudar a climatizar la estancia, pero con demasiada oscilación térmica. Al encender el circuito, se reducen esas oscilaciones de temperatura, por lo que se puede aprovechar esa radiación solar activando o desactivando el circuito en función de la temperatura deseada.
- En verano (derecha), debido a las altas temperaturas se llegan a alcanzar 45 °C en el vidrio y existen grandes oscilaciones de temperatura debido a la poca inercia térmica que tiene el vidrio por sí sólo. Al activar el circuito de agua, las máximas temperaturas alcanzadas son unos 33 °C, y esas oscilaciones de temperatura son menores debido a que la inercia térmica es mayor. No hay grandes diferencias entre usar un depósito u otro, pero se observa una pequeña diferencia de oscilaciones de temperatura; en el depósito mayor esas oscilaciones son menores.

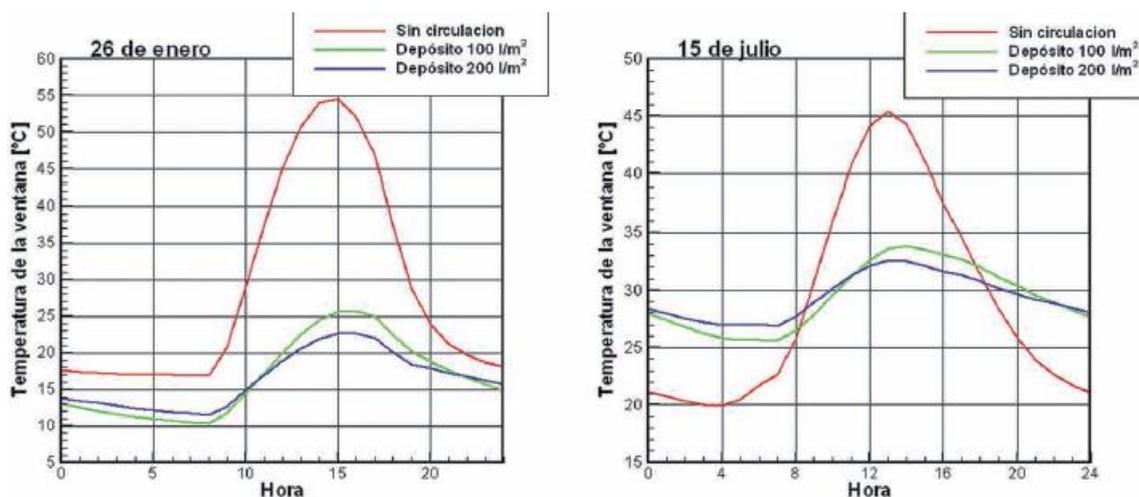


Figura 46. Oscilaciones térmicas Caso 1 en invierno (izquierda) y verano (derecha). Fuente: Fenercom

- **Caso 2** (Fig. 47)

En este caso, es el mismo que el Caso 1, con la diferencia de que se ha instalado además un aerotermo, que aumenta la disipación de energía por la noche. El resto de características son las mismas.



Figura 47. Esquema Caso 2. Fuente: Fenercom

En el gráfico donde se muestran las oscilaciones de temperatura a lo largo del día, tanto en invierno como en verano, hay tres posibilidades:

- Depósito aislado con disipación (aerotermo) (línea verde)
- Depósito sin aislar (línea azul)
- Depósito aislado (sin aerotermo) (línea roja)

Si se analizan las gráficas (Fig. 48):

- En invierno (izquierda), si el depósito no está aislado, se alcanzan temperaturas de casi 10 °C en la ventana, y la máxima es de unos 22 °C. Por el contrario, si está aislado y con disipación esas temperaturas aumentan, favoreciendo la obtención de una temperatura agradable en el interior del edificio.
- En verano (derecha), se ha comparado el depósito aislado sin aerotermo y aislado con aerotermo. El sistema funciona mejor con el aerotermo, ya que se consiguen unas temperaturas menores y hay menos oscilación térmica.

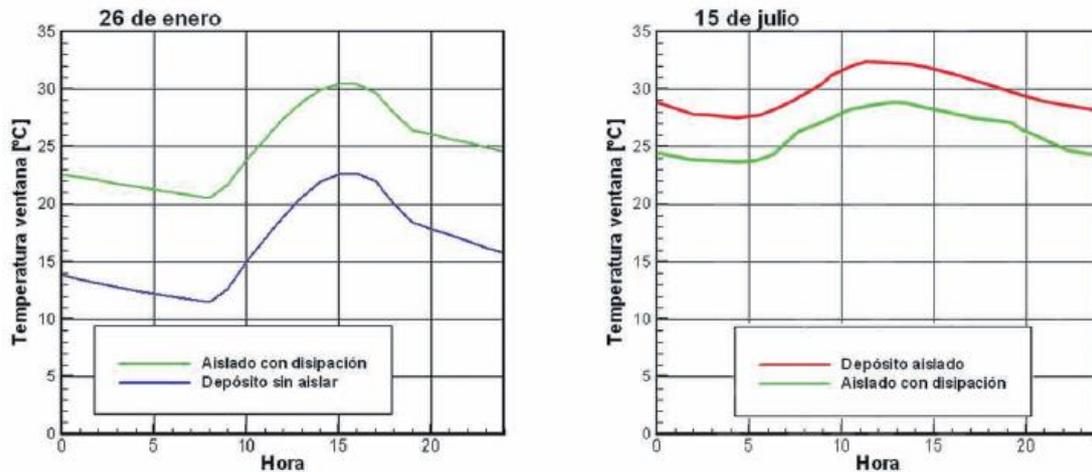


Figura 48. Oscilaciones térmicas Caso 2 en invierno (izquierda) y verano (derecha). Fuente: Fenercom

Se observa que el sistema de vidrio activo funciona mejor si está aislado el depósito, tanto en invierno como en verano. La inercia térmica del depósito disminuye las oscilaciones de temperatura y el aerotermo reduce la temperatura en verano. El objetivo del sistema es mantener el depósito a una temperatura media todo el año. Para esto, en invierno se aprovecha la radiación solar para almacenarla en el depósito. En verano, se disipa la energía excedente para evitar el sobrecalentamiento de la estancia.

La conclusión final del estudio de este sistema, es que si se emplea un depósito de inercia y complementándolo, en verano, con un aerotermo, se consigue un gran ahorro energético en cuanto a la climatización del edificio, ya que gracias al mismo sistema de vidrio activo se alcanza un confort térmico sin necesidad de climatización externa.

Este sistema de Intelliglass, se ha instalado en edificios reales de España, como en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos de la UPM o en un muro cortina del Aulario de la universidad de Castilla la Mancha (UCLM). En este último ejemplo, según un estudio realizado por la empresa, ha supuesto un ahorro de refrigeración en el vestíbulo del 80 %.<sup>29</sup> En las Figuras 49 y 50 se muestran dos fotografías del sistema de acristalamiento activo implantado en el edificio.

<sup>29</sup> Tesis doctoral de Belén Pérez. La implementación arquitectónica de los acristalamientos activos con agua circulante y su contribución en edificios de consumo de energía casi nulo. Universidad Politécnica de Madrid (UPM)



Figura 49. Muro cortina UCLM con sistema Intelliglass. Fuente: Intelliglass



Figura 50. Circuito hidráulico muro cortina UCLM con sistema Intelliglass. Fuente: Intelliglass

- Fachada activa de hormigón<sup>30</sup>

Este tipo de fachada consiste en una fachada con un circuito termoactivo por el que discurre agua, que procede de la energía geotérmica, y se produce un intercambio de calor. Varias investigaciones<sup>31</sup> han llegado a la conclusión de que el aire es la forma de intercambio de calor con el cuerpo humano menos efectiva, y sin embargo, la mayoría de los sistemas de refrigeración o calefacción usan el aire como transmisor del calor. El aire no es un buen medio para distribuir la energía, no es buen conductor de energía debido a su poca densidad y a su capacidad aislante. Además, el transporte de calor a través del aire es complicado de controlar e impredecible, debido a fenómenos como las corrientes de aire, flotabilidad, etc. Por el contrario, el agua almacena mayor cantidad de calor porque tiene una gran densidad. Además, el transporte de energía mediante el agua es más controlable y fiable que el aire. Por todo eso, las fachadas activas que utilizan agua circulante resultan ser muy efectivas para el ahorro de energía eléctrica.

<sup>30</sup> Tesis doctoral de Belén Pérez. La implementación arquitectónica de los acristalamientos activos con agua circulante y su contribución en edificios de consumo de energía casi nulo. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

<sup>31</sup> Libro Thermally active Surface in architecture. Kiel Moe.

Un ejemplo de este tipo de fachadas se encuentra en la Escuela de administración de empresas situado en Zollverein (Alemania) (Fig 51)<sup>32</sup>, donde hay un sistema radiante formado por tuberías de plástico por las que discurre agua caliente que procede de energía geotérmica, obtenida de unas minas de carbón antiguas que están en la zona y que proporciona agua caliente (Fig. 52).



Figura 51. Zollverein School. Fachada hormigón activa. Fuente: <https://thomasmayerarchive.de>

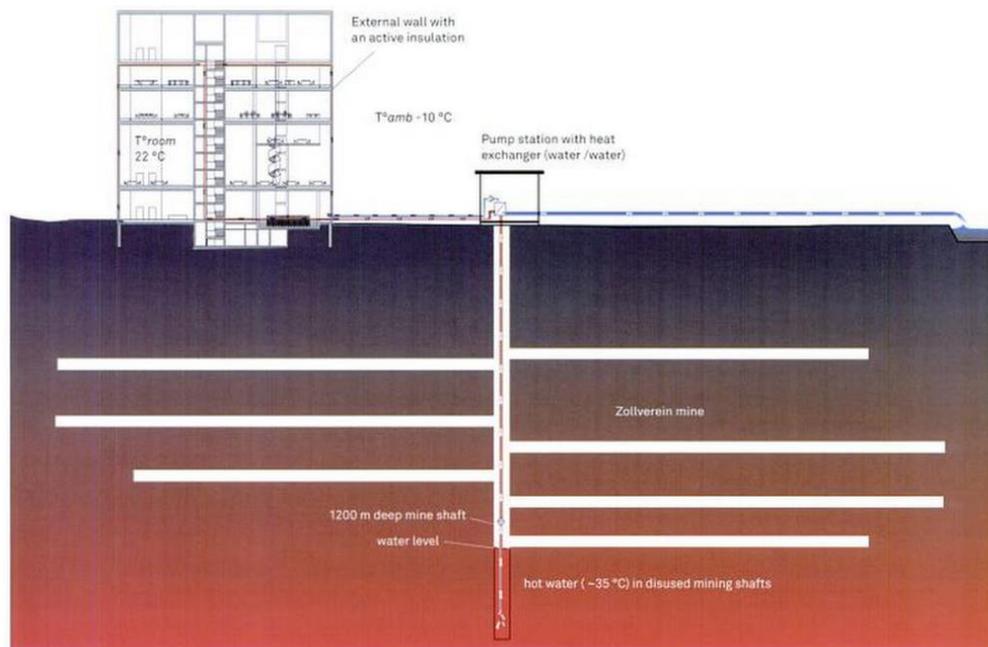


Figura 52. Esquema fachada hormigón activa. Fuente: Thermally active Surface in architecture. Kiel Moe. Google Books

<sup>32</sup>[https://thomasmayerarchive.de/categories.php?cat\\_id=694&sessionid=db544a81fa002c40f3dbba9fd77f91b0&l=e](https://thomasmayerarchive.de/categories.php?cat_id=694&sessionid=db544a81fa002c40f3dbba9fd77f91b0&l=e)nglish

Este circuito de agua en circulación, queda totalmente integrado en la fachada (Fig 53). Con esta solución, se puede eliminar el aislamiento térmico ya que el agua ayuda a estabilizar la temperatura del interior del edificio. Mediante este sistema se consigue un sistema de energía libre de expulsión de CO<sub>2</sub>, barato y que supone una gran ahorro del consumo energético, en torno al 75 % y un ahorro económico de unos 7000 € anuales en calefacción<sup>33</sup>. Además, este sistema reduce la necesidad de aislamiento en el muro exterior del edificio y a su vez, reduce el espesor de la fachada. Este sistema puede usarse también para bombear agua fresca a través del edificio en los meses calurosos, enfriando el edificio. Además, los forjados también disponen de este sistema de circulación de agua (Fig. 54), lo que colabora con el ahorro de consumo energético.<sup>34</sup>



Figura 54. Circuito agua circulante fachada hormigón activa. Fuente: <https://thomasmayerarchive.de>

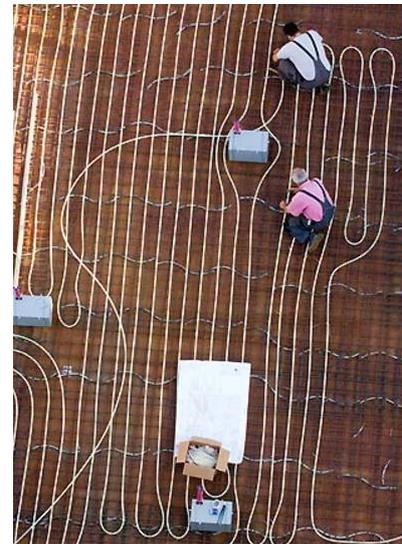


Figura 53. Figura 54. Circuito agua circulante en forjado. Fuente: <https://thomasmayerarchive.de>

<sup>33</sup> Libro Thermally active Surface in architecture. Kiel Moe.

<sup>34</sup> <http://www.zigersnead.com/current/blog/post/zollverein-school-building-active-thermal-insulation/02-09-2008/769/>

- Fachada biopix

El sistema BIOPIX consiste en construir la fachada mediante "*píxeles bioclimáticos*", que aprovechan al máximo los recursos energéticos que ofrece la naturaleza como el sol, viento, etc. El BIOPIX es capaz de adaptarse a la demanda del edificio, ya que existen varios tipos de píxeles (Fig. 55) y (Fig. 56) específicos para cada necesidad: píxel antirradiación, píxel fotovoltaico, píxel reflectante, píxel celosía, píxel colector, píxel translúcido, etc. y tienen una dimensión de 1 m x 1 m.

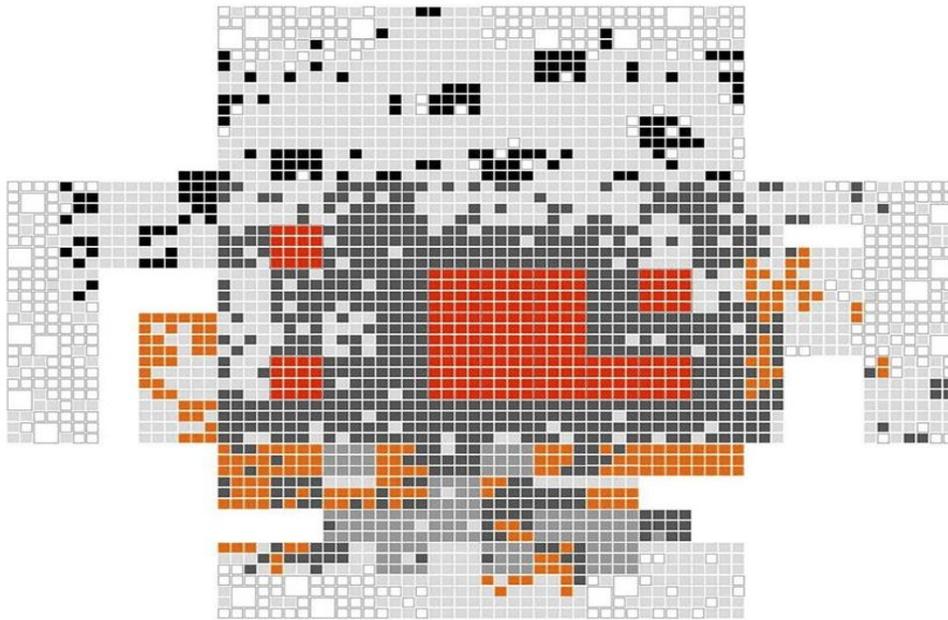


Figura 55. Sistema BIOPIX. Fuente: <http://ruizlarrea.com/sistema/bio-pix>

El montaje de este tipo de fachada es sencillo. Se colocan una serie de perfiles metálicos, a modo de rastreles, y los píxeles se anclan a estos rastreles mediante un anclaje mecánico en el centro del píxel. Esto permite poder sustituir o intercambiar los píxeles fácilmente. Además, la estructura de BIOPIX es totalmente independiente del edificio y va colocada por el exterior de la fachada, por lo que se puede aplicar en cualquier edificio ya construido a modo de mejora del mismo. La estructura de BIOPIX está formada por canales metálicos que sirven para anclar el revestimiento del edificio, es decir, los píxeles, que pueden variar según las necesidades del edificio. Además, los canales están colocados de tal forma que permiten el paso de instalaciones y acceso a ellas. El sistema es muy similar al de una partición de PYL, donde los montantes forman la estructura donde van ancladas las placas de yeso y se crean cámaras por donde se pasan las instalaciones.

La estructura del sistema está formada por los siguientes elementos (elementos citados desde la cara interior hacia la cara que da al exterior) (Fig. 56):

- Elementos de inercia térmica (hormigón o vidrio) en la cara interior
- Estructura reticular de dimensiones 1.25 m x 1.25 m, formada por perfiles de aluminio y que van anclados a una estructura portante.
- Bastidor de aluminio fijado a la estructura.
- Píxeles que van fijados al bastidor en un punto central de anclaje.

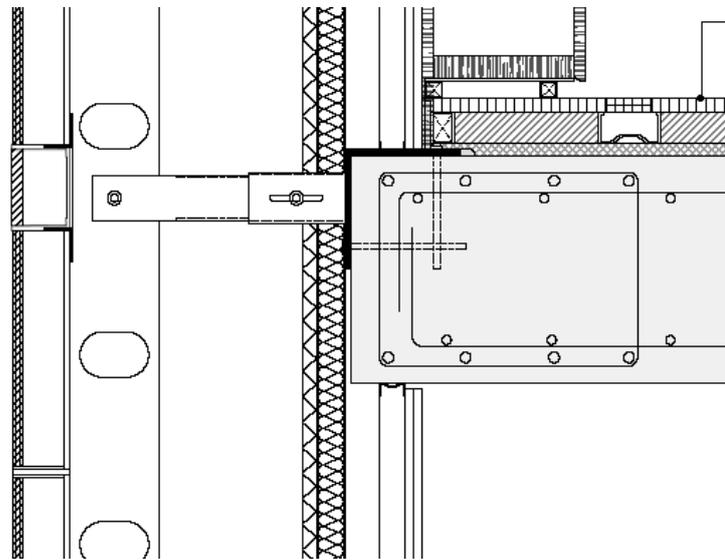


Figura 56. Sección constructiva BIOPIX. Fuente: Foro de innovación en el sector de la Rehabilitación Energética de Edificios

Un ejemplo de la aplicación de este sistema de fachada activa es el de la Agencia Andaluza de la Energía (Fig. 57 y 58).

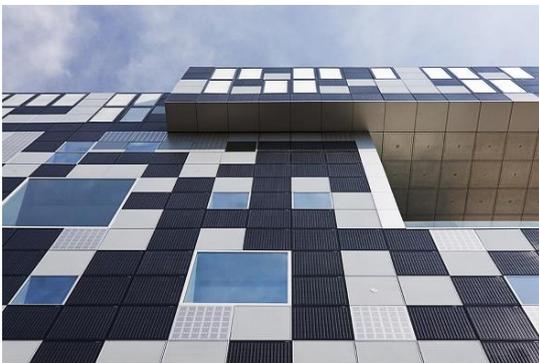


Figura 57. Sistema BIOPIX en Agencia Andaluza de la Energía. Fuente: <http://ruizlarrea.com/sistema/bio-pix>

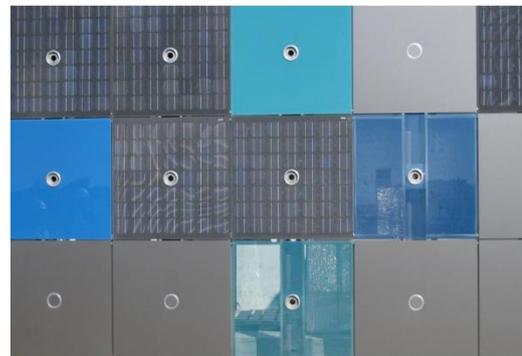


Figura 58. Diferentes tipos de píxeles BIOPIX instalados. Fuente: <http://ruizlarrea.com/sistema/pixel-bioclimate>

## 9. ESTUDIO COMPORTAMIENTO DE LAS FACHADAS ACTIVAS CONFORME A LAS HERRAMIENTAS OFICIALES DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

---

A continuación, después de haber analizado las numerosas fachadas activas existentes, se han realizado una serie de simulaciones mediante las aplicaciones informáticas oficiales del Ministerio. A pesar de la gran variedad de fachadas activas que hay, los programas informáticos oficiales que calculan la eficiencia energética no contemplan apenas fachada activa, por lo que sería interesante que se crearan nuevas aplicaciones con sistemas más novedosos de envolventes o que actualicen las aplicaciones existentes en el mercado.

Existen varias aplicaciones informáticas oficiales para el cálculo de la eficiencia energética de los edificios. El Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, ha creado varios programas oficiales para el cálculo de la eficiencia energética. Además, se han diferenciado dos tipos de procedimiento a seguir para el cálculo de la eficiencia energética:

- Procedimiento General: para edificios en fase de proyecto, terminados y existentes.
  - Programa Herramienta Unificada Lider-Calener
    - Edificios de viviendas unifamiliares
    - Edificios de viviendas en bloque
    - Viviendas individuales que pertenecen a edificios en bloque
    - Edificios terciarios
- Procedimientos Simplificados: para edificios existentes
  - Programa Ce3
  - Programa Ce3X

Los dos programas con procedimientos simplificados permiten la calificación energética de los siguientes edificios:

- Edificios de viviendas unifamiliares
- Edificios de viviendas en bloque
- Viviendas individuales que pertenecen a edificios en bloque

-Edificios terciarios

- Procedimientos Simplificados: para edificios de viviendas
  - Programa CERMA

Permite la calificación energética de:

- Edificios de viviendas unifamiliares
- Edificios de viviendas en bloque
- Viviendas individuales que pertenecen a edificios en bloque

A continuación, se ha analizado la posibilidad de simular alguna fachada activa mediante los programas CE3, CE3X, CERMA y HULC.

- Programa Ce3

En este programa, no existe ningún apartado específico en cuanto a fachadas activas o singulares, como se puede apreciar en la Figura 59:

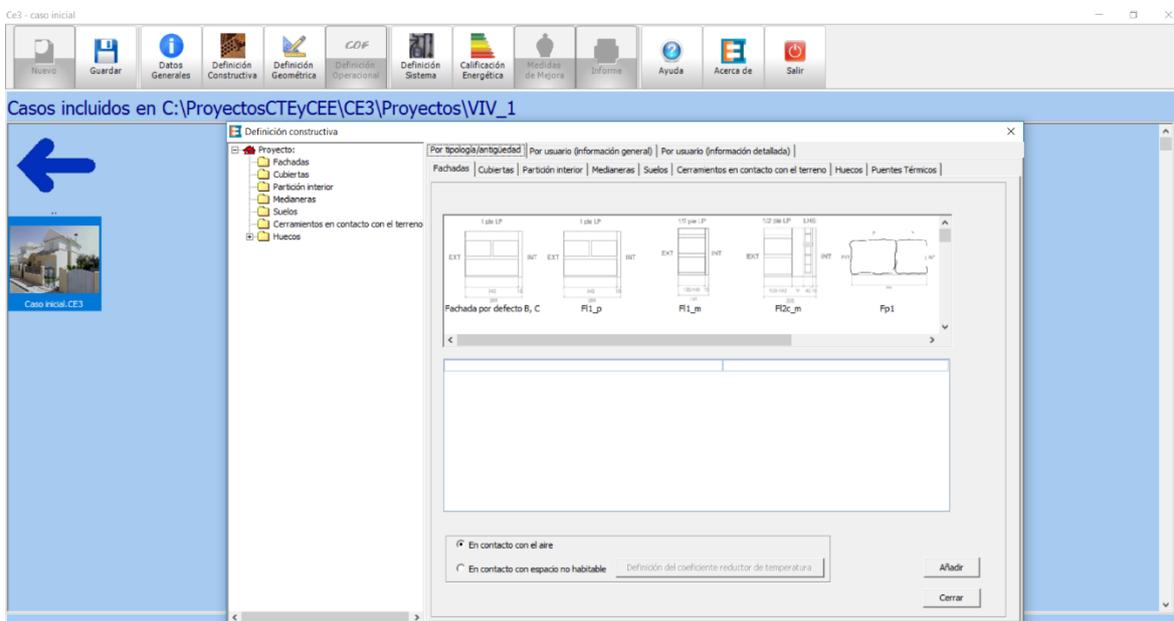


Figura 59. Interfaz Ce3. Fuente: Elaboración propia mediante Ce3. Calificación energética edificios existentes

En el apartado de base de datos, el programa toma como referencia los cerramientos tipo del programa, donde no figura ningún cerramiento singular como fachada ventilada, muro trombe, etc. La única opción disponible es crear una fachada "Por usuario", es decir,

seleccionando capa por capa la fachada y crear, por ejemplo, una fachada ventilada añadiendo la cámara de aire entre la hoja exterior e interior, como se puede apreciar en la Figura 60:

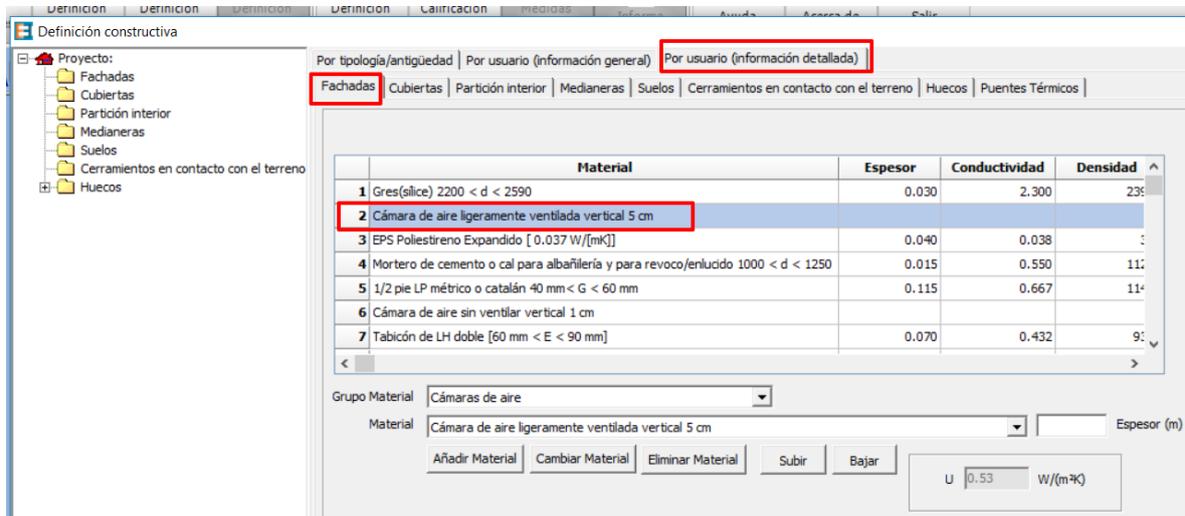


Figura 60. Definición Constructiva Ce3. Fuente: Elaboración propia mediante Ce3. Certificación energética edificios

Sin embargo, aunque esa fachada disponga de cámara no actúa como una fachada ventilada real, por tanto a la hora de calcular la eficiencia energética el resultado obtenido sería incorrecto e insuficiente para el análisis que se ha realizado en este proyecto.

- Programa C3X

Al igual que con el programa anterior, tampoco existe un apartado concreto para fachadas activas o en general, cerramientos singulares (Fig 61).

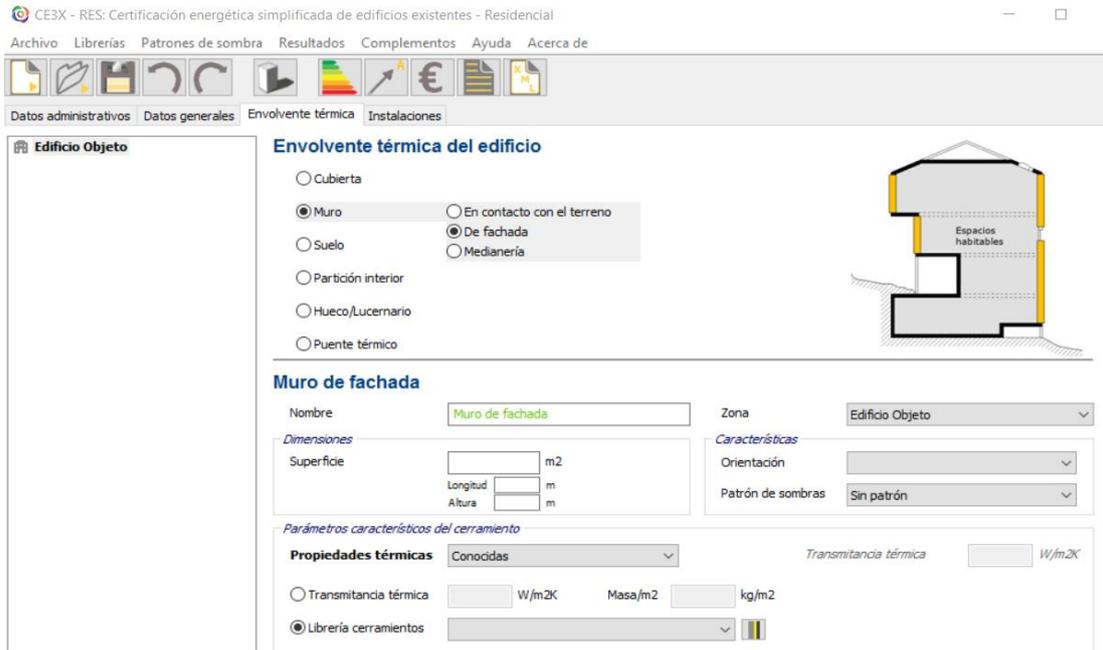


Figura 61. Interfaz CE3X. Fuente: Elaboración propia mediante CE3X -RES

Del mismo modo que el programa Ce3, se puede crear una fachada ventilada "ficticia" en el apartado de Envoltente Térmica, introduciendo capa a capa del cerramiento (Fig 62), pero igualmente se obtendría un resultado muy impreciso para el análisis que se ha ejecutado.

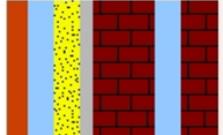
### Librería de cerramientos

Nombre

*Características del cerramiento*

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior); Horizontales (Materiales ordenados de arriba a abajo)

Material	Grupo	R. (m2 K.)
Gres(silice) 2200 < d < 2590	Cerámicos	0.017
Cámara de aire ligeramente ventilada vertical 5 cm	Cámaras de aire	0.09
MW Lana mineral [0.031 W/mK]	Aislantes	1.613
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d >2000	Morteros	0.014
1/2 pie LP métrico o catalán [40 mm < G < 60 mm]	Fábricas de ladrillo	0.172
Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm	Cámaras de aire	0.18



$R1+...+Rn$   
2.29 m2K/W

*Características del material*

Grupo de materiales

Material

Espesor  m       $\lambda$   W/mK

$\rho$   kg/m3      Calor específico  J/kgK

Añadir  
Modificar  
Borrar  
Limpiar campos

Cargar al proyecto

Guardar cerramiento    Modificar cerramiento    Borrar cerramiento

Figura 62. Base de datos cerramiento CE3X. Fuente: Elaboración propia mediante CE3X-RES

- Programa CERMA (Calificación energética residencial método abreviado)

Al igual que los dos programas anteriores, CERMA no dispone de apartado específico para cerramientos singulares (Fig. 63) y tampoco es posible crear una fachada ventilada o similar en el apartado de cerramientos (Fig. 64) ya que aunque se pueda colocar una cámara entre las distintas capas de la fachada, no sería una fachada ventilada real.

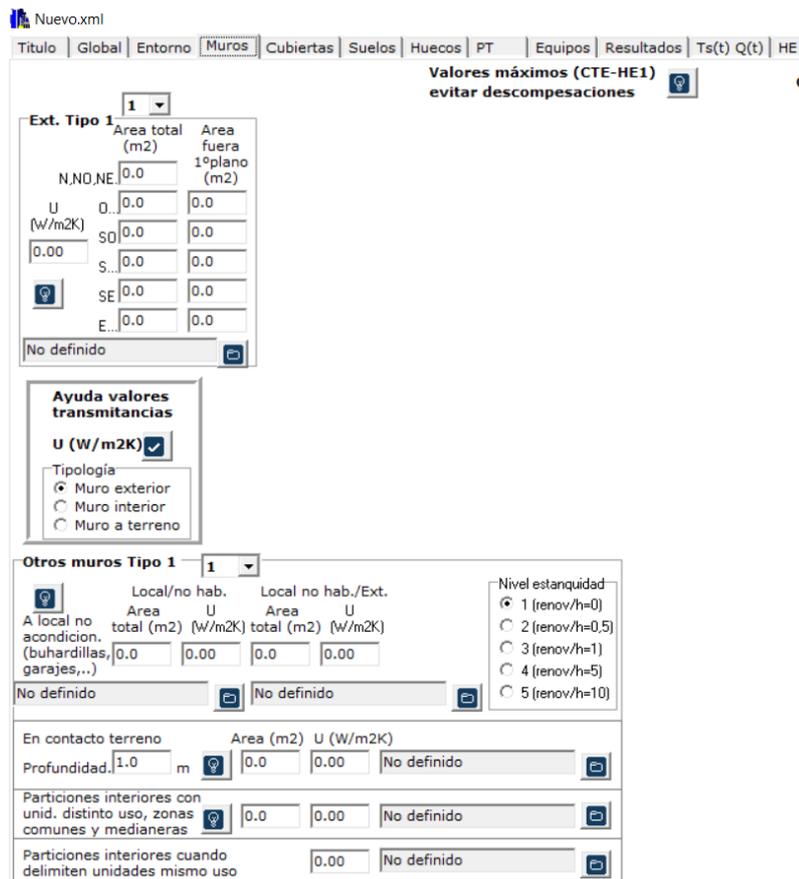


Figura 63. Interfaz CERMA. Fuente: Elaboración propia mediante CERMA

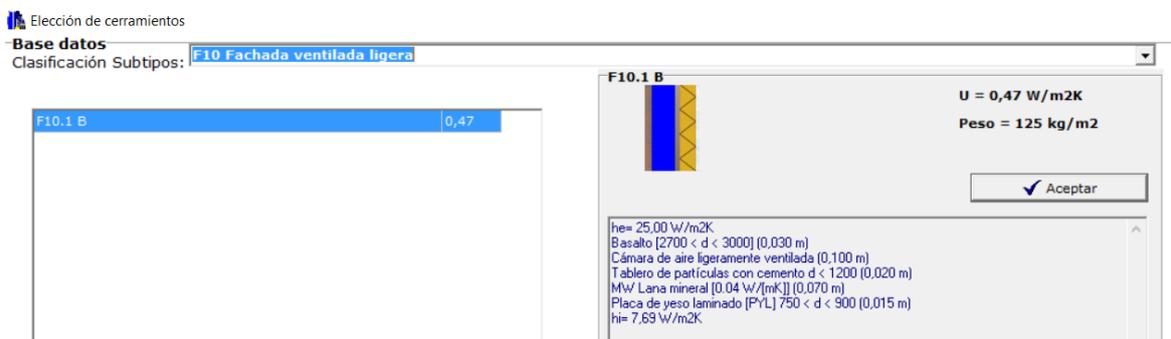


Figura 64. Base de datos Cerramientos CERMA. Fuente: Elaboración propia mediante CERMA

- Programa HULC (Herramienta Unificada Lider Calener) en su versión más reciente del 3 de marzo de 2017 <sup>35</sup>

Este programa oficial, al contrario de los otros mencionados, dispone de un apartado específico en cerramientos singulares. HULC, dispone de un apartado en su interfaz de "Capacidades Adicionales" (Fig. 65) dónde se puede aplicar un cerramiento singular en la envolvente.

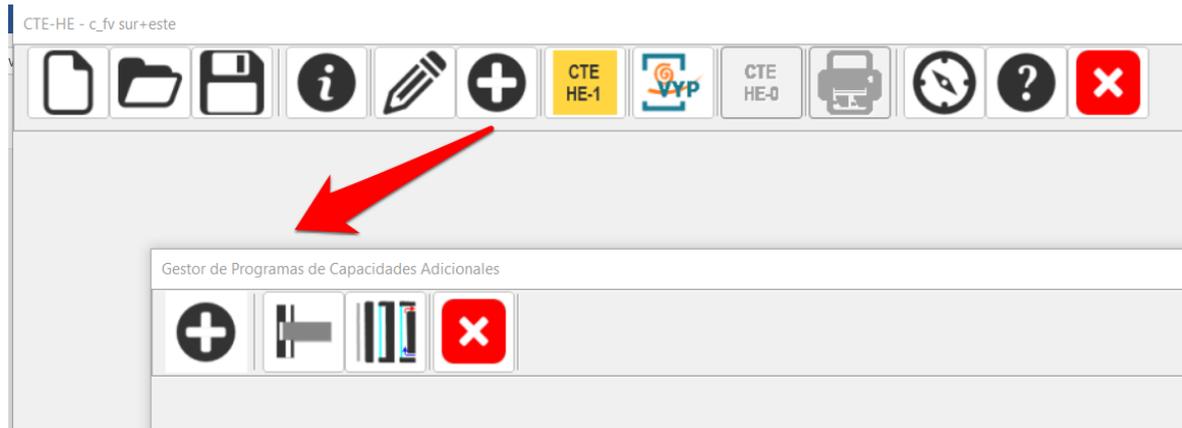


Figura 65. Interfaz HULC. Fuente: Elaboración propia mediante CTE-HE (HULC)

En este apartado, el programa permite asignar un cerramiento convencional además de la Fachada Ventilada, el Muro Solar y el Muro Trombe. (Fig. 66)

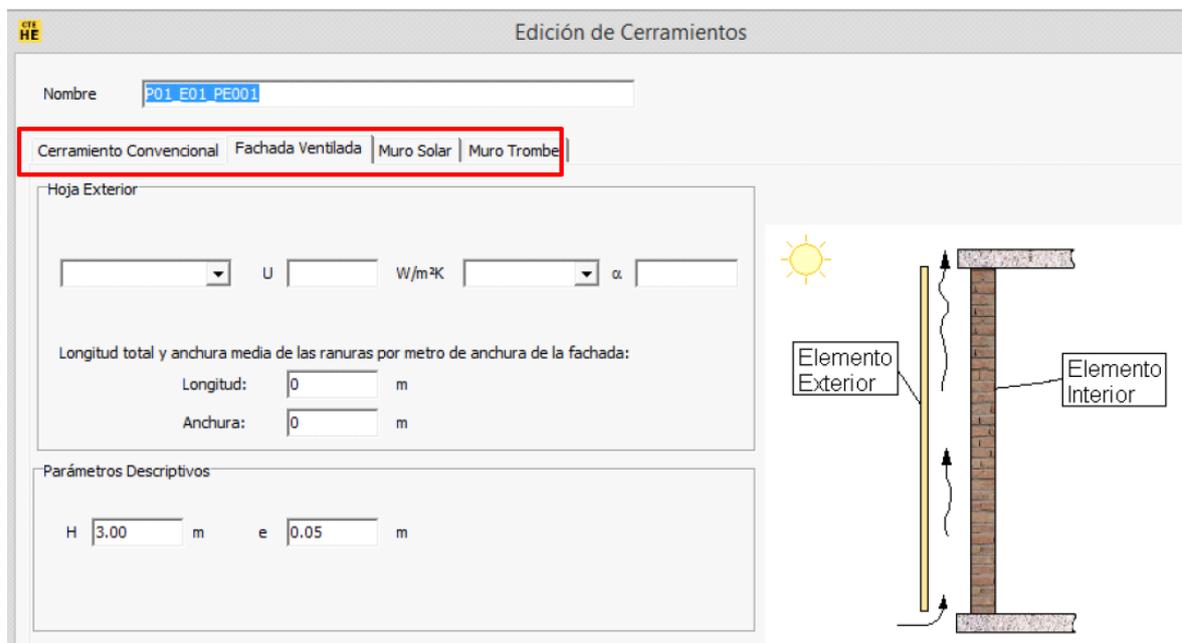


Figura 66. Capacidades adicionales HULC. Fuente: Elaboración propia mediante CTE-HE (HULC)

<sup>35</sup> HULC. <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener>

Por todo ello, después de estudiar la posibilidad de cada programa en cuanto a simular fachadas activas, el programa que se ha elegido para realizar las simulaciones ha sido el HULC, por diversas razones:

- Al contrario que otros programas, el HULC permite la simulación de Fachada Ventilada, Muro Solar y Muro trombe.
- Los resultados obtenidos con el HULC son más fiables en comparación con el resto de programas, ya que al ser el procedimiento general y no el simplificado, permite introducir más características del edificio y por tanto el cálculo es más preciso y real que con los otros programas.
- Además, es el programa más completo ya que permite la certificación energética de edificios nuevos y existentes, edificios de viviendas, terciarios y grandes terciarios. Por ello se puede hacer la certificación energética de cualquier edificio.

A continuación, se muestra como se modeliza la Fachada Ventilada, el Muro Solar y el Muro Trombe en HULC:

- Fachada ventilada

Para la modelización de la fachada ventilada, el programa considera que se compone de una hoja exterior, que puede tener carpintería exterior, y de una hoja interior. La colocación cámara ventilada la tiene en cuenta por defecto el programa. El programa permite seleccionar las características de la fachada ventilada, tanto espesor de la cámara, espesor y longitud de las juntas, absortividad y transmitancia de la hoja exterior. (Fig. 67)



Figura 67. Creación fachada ventilada en HULC. Fuente: Elaboración propia mediante CTE-HE (HULC)

- Muro Solar

La modelización del Muro Solar en HULC (Fig. 68), es muy similar al de la Fachada ventilada, ya que el programa también considera que hay una hoja exterior e interior y por defecto el propio programa incorpora la cámara de aire que en este caso puede ir abierta al exterior o no. La diferencia con respecto a la Fachada Ventilada, es que el programa no permite asignar un Muro Solar a una fachada que tenga carpintería exterior. Es decir, para que el programa permita simular este Muro Solar, ha de ser una fachada, o porción de fachada, sin huecos de ningún tipo. HULC permite modificar algunas características de la hoja exterior e interior, la altura de la fachada, el espesor de la cámara y además permite dejar la cámara de aire cerrada o abierta al exterior, incluso aplicar un factor solar en verano.

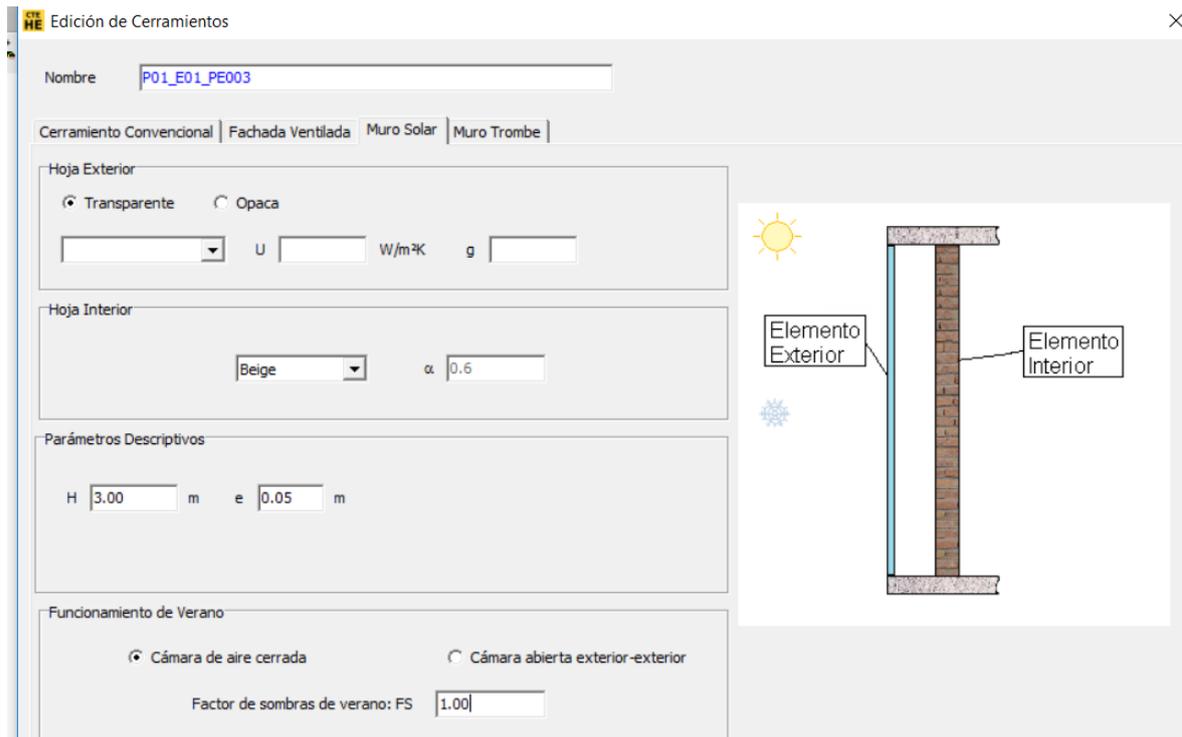


Figura 68. Creación Muro Solar en HULC. Fuente: Elaboración propia mediante CTE-HE (HULC)

- Muro Trombe

La modelización del Muro Trombe (Fig. 69) en HULC es muy similar al de los otros dos cerramientos anteriores. Tampoco se permite asignar un Muro Trombe en una fachada, o porción de fachada, en la que haya carpintería exterior. Del mismo modo, considera la existencia de una hoja interior y una exterior, y por defecto, se tiene en cuenta la cámara de aire. Permite modificar algunas características de la hoja exterior e interior, la altura de la fachada, el espesor de la cámara, la posibilidad de la convección del aire de la cámara libremente o con impulsión mecánica y además permite dejar dicha cámara abierta al exterior o cerrada en verano. Esa posibilidad de poder modificar las características de la cámara en verano, convierte a esta fachada en una fachada activa, por lo que es ideal para observar los resultados de ésta en cuanto a la variación de la demanda de refrigeración y calefacción.

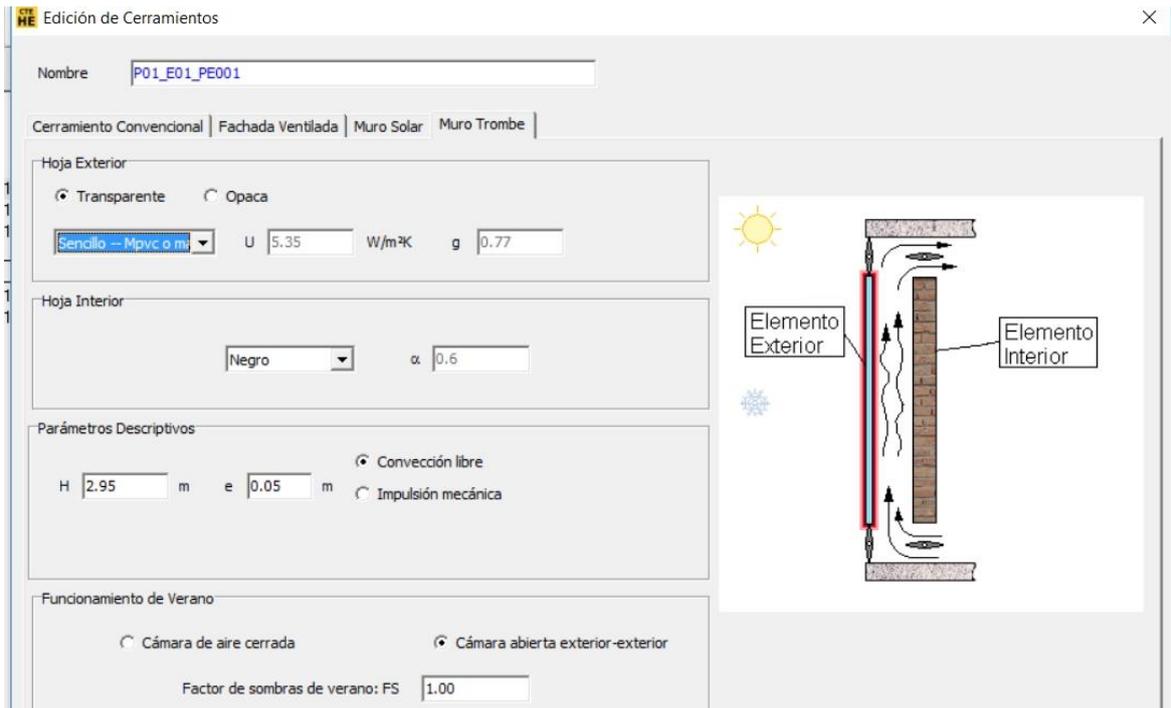


Figura 69. Creación Muro Trombe en HULC. Fuente: Elaboración propia mediante CTE-HE (HULC)

## 9.1. DEFINICIÓN EDIFICIO DE ENSAYO

A continuación, se han realizado las simulaciones en HULC de fachada ventilada, muro trombe y muro solar y han sido analizadas en detalle los resultados obtenidos para ver la contribución que tienen en la eficiencia energética del edificio. Para ello, en primer lugar, se ha creado el edificio objeto al que se le van a aplicar las simulaciones. Para definir el edificio a ensayar, ha sido necesario seguir el siguiente proceso:

### A. DISEÑAR EL EDIFICIO OBJETO DE ENSAYO

Para ello, se define la morfología del edificio. Se ha optado por un edificio con una forma simple, con líneas rectas en forma de rectángulo, y con una altura de 6 metros, formado por 2 plantas. Para la elección de este diseño, se ha tomado como referencia un documento que ha realizado el IDAE (Instituto de Diversificación Ahorro de Energía) una guía de uso para el programa HULC. En ese documento, se muestran varios modelos de edificios, y se ha escogido uno de ellos para modelar uno de características similares, ya que todos los modelos cumplen el CTE-DB-HE1, en cuanto a los valores de demanda energética de calefacción y refrigeración, por lo que son modelos fiables para analizar porque han sido probados por el IDAE. En este proyecto, el diseño de edificio va a ser similar al del "Bloque 1" del apartado "1.2 Bloques de vivienda" (Fig. 70), ya que es un edificio sencillo de modelar en HULC y se sabe que cumple el CTE. Se ha modificado la forma inicial de este modelo, ya que es una "L", pero en el modelo analizado se ha diseñado un rectángulo, para que sea más sencillo de apreciar en los resultados de las modificaciones de cada fachada y la influencia de cada una de ellas en la eficiencia energética del edificio. El edificio en sí, consiste en un bloque de unas dimensiones de 10 m x 7.5 m (superficie 75 m<sup>2</sup> por planta) (Fig. 71), con dos plantas, y ventanas en todas las fachadas, con una distribución similar al del modelo del IDAE. En cuanto a las características constructivas, se ha realizado una fachada convencional con monocapa y una cubierta plana transitable.

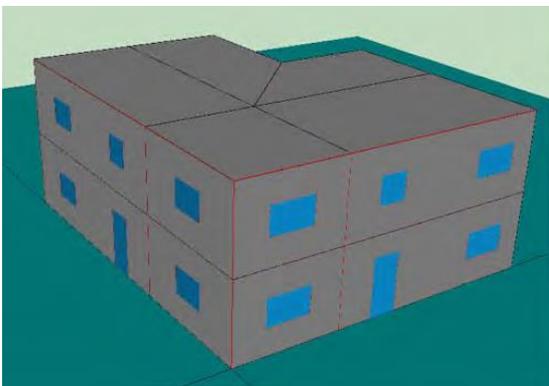


Figura 70. Modelo edificio documento IDAE. Fuente: IDAE

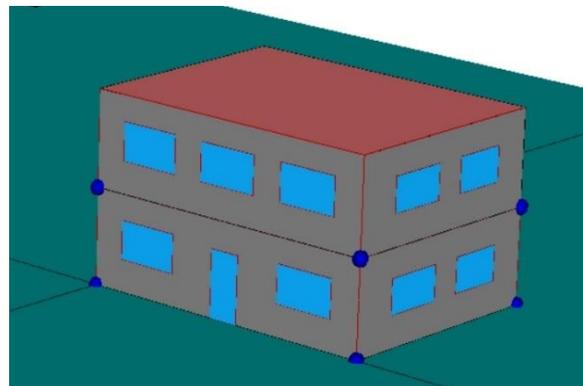


Figura 71. Modelo edificio objeto creado en HULC. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los huecos para carpintería exterior, se ha mantenido la forma y distribución del modelo del IDAE, aunque son de mayores dimensiones que los huecos del modelo de referencia para que cumpliera el DB-HEI. Por último, con respecto a la orientación del edificio, se ha orientado a sur la fachada con mayor número de huecos, al igual que en el documento del IDAE.

## B. ZONA CLIMÁTICA EDIFICIO ENSAYO

Se ha escogido una zona climática D3, que es la zona climática de Madrid, ya que es la zona central de España, la capital, tiene un clima medio (ni el más cálido ni el más frío) y es una buena representación del clima nacional. En la Figura 72 se muestra la elección de la zona climática en el programa:

Datos generales

Datos administrativos | Datos generales | Fuentes de energía | Opciones generales del edificio | Imágenes y otros datos

Definición del caso

**Verificación CTE-HE y Certificación de Eficiencia Energética**

- Edificio NUEVO
- Edificio EXISTENTE: Ampliación
- Edificio EXISTENTE: Intervención importante
- Edificio EXISTENTE: Cambio de uso característico

**Solo Certificación de Eficiencia Energética**

- Edificio EXISTENTE: Solo Certificación

Tipo de edificio

- Vivienda unifamiliar
- Viviendas en bloque
  - Una Vivienda de un bloque
- Edificio Terciario Pequeño o Mediano (PMT)
  - Un local de un Edificio PMT
- Gran Edificio Terciario (GT)
  - Un local de un Edificio GT

Localidad, Datos Climáticos

Comunidad autónoma: Madrid

Provincia: Madrid

Localidad: Madrid

Altitud: 667.00 m

Zona climática: D3

Ventilación del edificio residencial

Se acepta el valor de ventilación por defecto (0.63 renovaciones por hora)

Valores por defecto de los espacios habitables

Tipo de Uso: Residencial

Figura 72. Elección Zona climática en el programa. Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la zona climática se ha tenido en cuenta la tabla del Código Técnico (CTE) de las zonas climáticas de la Península Ibérica (Fig. 73). En cuanto a los parámetros característicos de la envolvente térmica, se emplearán los valores de la *Tabla E.1* y *Tabla E.2* del apartado *E.2* del *Apéndice E*, del *DB-HEI*, que establecen los valores de la transmitancia del elemento (fachada, suelos y cubiertas) y la transmitancia térmica de los huecos (Fig. 74) y (Fig. 75):

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677									h < 450			h < 950				h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250				h < 700			h ≥ 700				
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400			h < 800			h ≥ 800				
Ávila	E1	1054													h < 550	h < 850		h ≥ 850
Badajoz	C4	168							h < 400	h < 450				h ≥ 450				
Barcelona	C2	1									h < 250			h < 450	h < 750			h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214									h < 250			h < 250				
Burgos	E1	861													h < 600			h ≥ 600
Cáceres	C4	385							h < 600					h < 1050				h ≥ 1050
Cádiz	A3	0	h < 150				h < 450				h < 600	h < 850		h < 850				
Castellón/Castelló	B3	18					h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000			h ≥ 1000
Ceuta	B3	0					h < 50							h < 600	h < 1000			h ≥ 1000
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500		h ≥ 500				
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550			h ≥ 550				
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975												h < 800	h < 1050			h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143										h < 100		h < 600				h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800		h < 1300				h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708												h < 950	h < 1000			h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350			h < 800			h < 800				
Huesca	D2	432									h < 200			h < 400	h < 700			h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750			h < 1250				h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131									h < 100			h < 600				h ≥ 600
Logroño	D2	379											h < 200		h < 700			h ≥ 700
Lugo	D1	412														h < 500		h ≥ 500
Madrid	D3	589									h < 500			h < 950	h < 1000			h ≥ 1000
Málaga	A3	0						h < 300			h < 700			h ≥ 700				

Figura 73. Zonas climáticas de la Península Ibérica. Fuente: CTE-DB-HE1. Apéndice B. B1 Código Técnico Edificación

**Tabla E.1. Transmitancia del elemento [W/m<sup>2</sup> K]**

Transmitancia del elemento [W/m <sup>2</sup> K]	Zona Climática					
	α	A	B	C	D	E
U <sub>M</sub>	0.94	0.50	0.38	0.29	0.27	0.25
U <sub>S</sub>	0.53	0.53	0.46	0.36	0.34	0.31
U <sub>C</sub>	0.50	0.47	0.33	0.23	0.22	0.19

U<sub>M</sub>: Transmitancia térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

U<sub>S</sub>: Transmitancia térmica de suelos (forjados en contacto con el aire exterior)

U<sub>C</sub>: Transmitancia térmica de cubiertas

Figura 74. . Transmitancias térmicas cerramientos según la zona climática. Fuente: CTE-DB-HE1

**Tabla E.2. Transmitancia térmica de huecos [W/m<sup>2</sup> K]**

Transmitancia térmica de huecos [W/m <sup>2</sup> K]		α	A	B	C	D	E
		Captación solar	Alta	5.5 – 5.7	2.6 – 3.5	2.1 – 2.7	1.9 – 2.1
Media	5.1 – 5.7		2.3 – 3.1	1.8 – 2.3	1.6 – 2.0	1.6 – 1.8	1.6 – 1.7
Baja	4.7 – 5.7		1.8 – 2.6	1.4 – 2.0	1.2 – 1.6	1.2 – 1.4	1.2 – 1.3

Figura 75. . Transmitancias térmicas huecos según la zona climática. Fuente: CTE-DB-HE1

### C. DEFINICIÓN CERRAMIENTOS EDIFICIO

A continuación, se han definido los cerramientos del edificio, tanto las fachadas, cubiertas, forjados, suelo en contacto con el terreno, etc. Todos estos cerramientos han de cumplir las tablas de transmitancias mencionadas anteriormente. A modo de ejemplo, el límite para las fachadas es  $0.27 \text{ W/m}^2\text{K}$ , por tanto como la fachada monocapa realizada (Fig. 76) tiene una transmitancia de  $0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$  es correcta la transmitancia de la misma. Después de realizar la base de datos con todos los cerramientos se ha asignado a cada parte de la envolvente el cerramiento correspondiente. En este caso, se ha asignado una fachada con monocapa a todas las fachadas del edificio.

Base de datos -

Opacos | Semitransparentes | Puentes térmicos

Materiales y productos | Cerramientos y particiones interiores

Grupo monocapa

Nombre monocapa

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).  
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.015	0.550	1125	1000	
2	BC con mortero aislante espesor 140 mm	0.140	0.324	1020	1000	
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.015	0.700	1350	1000	
4	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [	0.100	0.025	38	1000	
5	Cámara de aire sin ventilar vertical 1 cm					0.150
6	Tabicón de LH doble Gran Formato 60 mm <	0.070	0.212	630	1000	
7	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.015	0.700	1350	1000	
8	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0.015	0.570	1150	1000	
9						

Grupo Material: Morteros

Material: Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 12'

0.020 Espesor (m)

Añadir | Cambiar | Eliminar | Subir | Bajar

U 0.19 W/(m²K)

Figura 76. Base de datos cerramientos HULC. Fuente: Elaboración propia

#### D. DEMANDAS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN (CTE-HE1) EDIFICIO OBJETO

Una vez definidas todas las características mencionadas anteriormente (morfología, zona climática, fachada monocapa, etc), se han aplicado al edificio objeto y se han calculado los valores de demanda de calefacción y refrigeración, los cuales cumplen las exigencias del CTE-HE1, Esos valores son: 39.88 kWh/m<sup>2</sup> año en calefacción y 14.95 kWh/m<sup>2</sup> año de refrigeración.(Fig. 77)

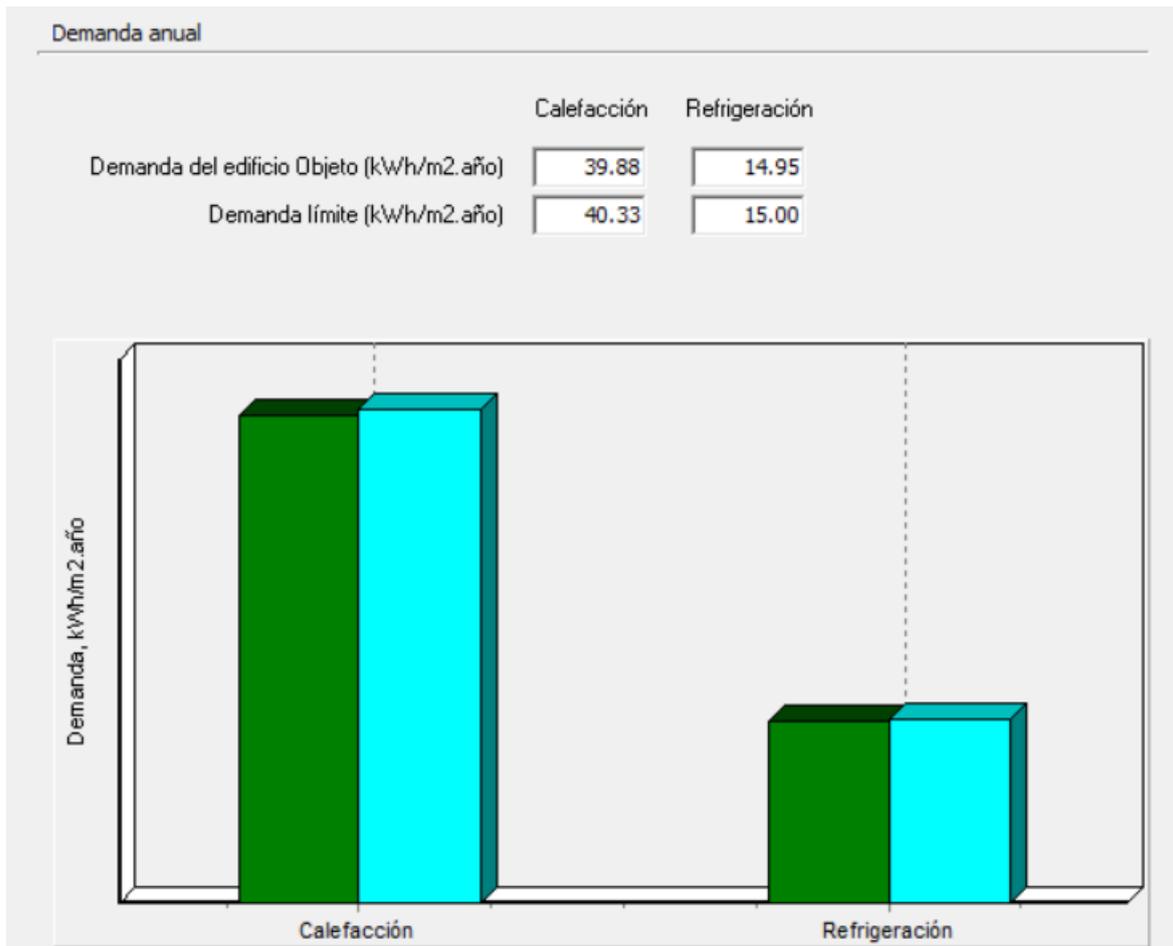


Figura 77. Resultado Cumplimiento Demanda calefacción y refrigeración caso inicial. Fuente: Elaboración propia

Además de estos resultados que ofrece HULC, se ha usado una extensión de Excel, llamada Hulc\_res\_v2, diseñada por Óscar Redondo Rivera, que permite una lectura mucho más ampliada de los resultados de HULC. A continuación se muestran los resultados de las demandas del edificio objeto:

En primer lugar, en cuanto a las pérdidas y ganancias de calefacción (Fig. 78), se aprecia que en las pérdidas influye sobre todo la ventilación (39 %) y en las ganancias tiene gran influencia la radiación solar de las ventanas (60 %). En refrigeración (Fig.79), en las pérdidas influye mucho la ventilación (73 %) y en las ganancias las fuentes internas (34%) y la radiación solar de las ventanas (32%)

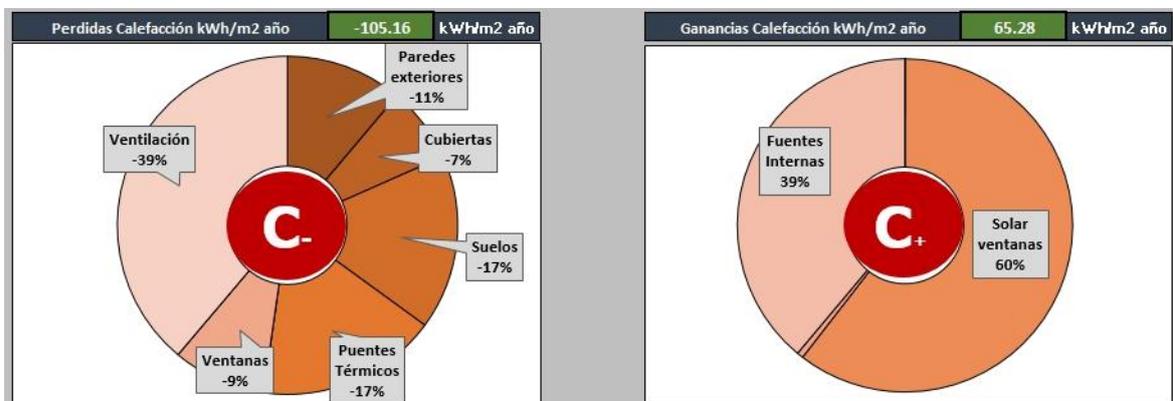


Figura 78. Pérdidas y ganancias de calefacción del Edificio objeto. Fuente: Elaboración propia

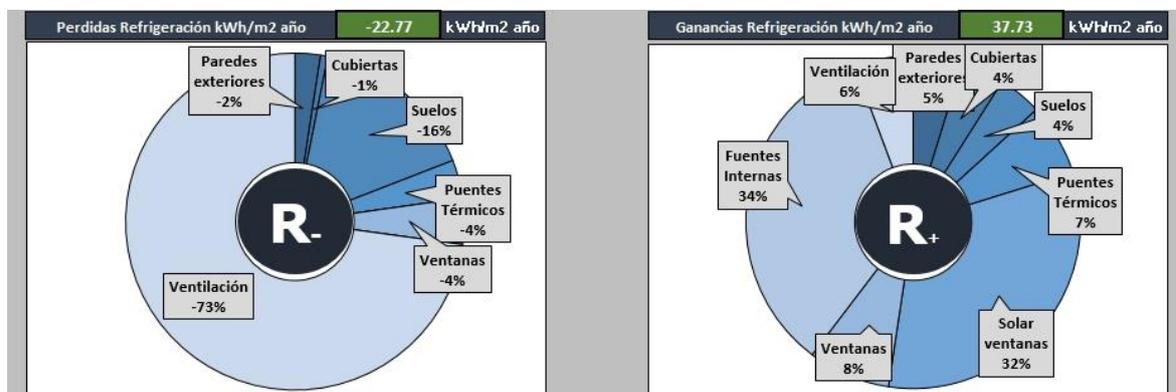


Figura 79. Pérdidas y ganancias de refrigeración del Edificio objeto. Fuente: Elaboración propia

También se muestra una gráfica con la demanda mensual de energía (Fig.80), dónde se puede apreciar que en enero y diciembre hay gran demanda de calefacción, y en julio y agosto una gran demanda de calefacción.

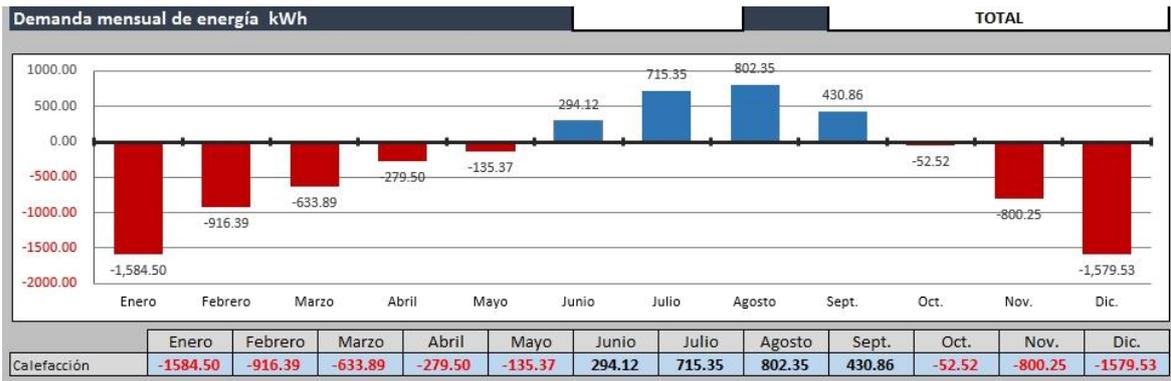


Figura 80. Demanda mensual energética Edificio objeto. Fuente: Elaboración propia

En la siguiente gráfica (Fig. 81), se puede observar que los valores más extremos de la demanda se producen por la radiación solar de las ventanas, las fuentes internas y la ventilación e infiltración. Las paredes exteriores (fachadas) no provocan una gran demanda de energía.

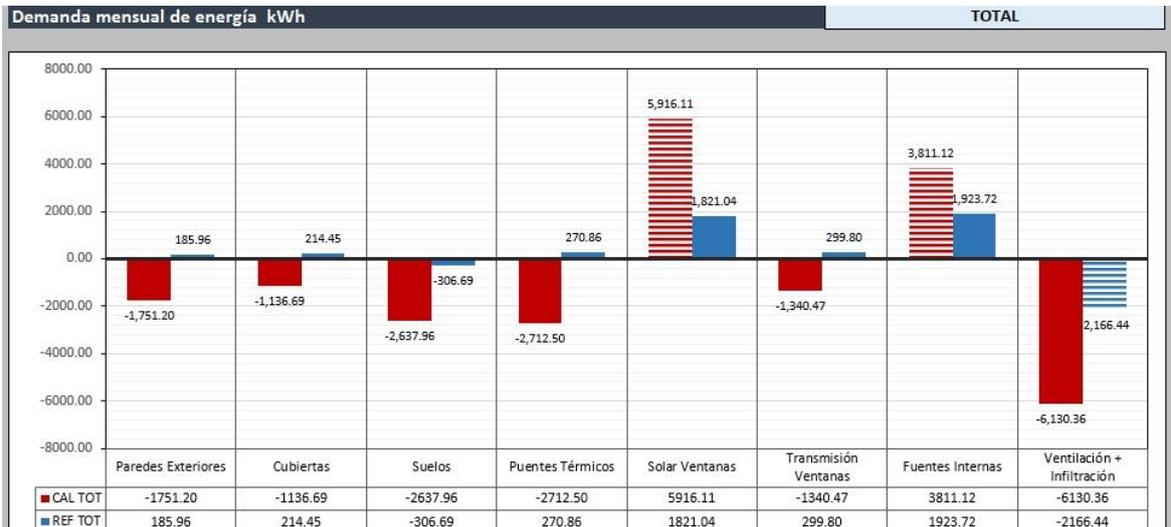


Figura 81. Demanda energética por elementos Edificio Objeto. Fuente: Elaboración propia

Por último, en la Tabla 3, aparecen los valores generales de pérdidas y ganancias de refrigeración y calefacción, incluyendo las de las paredes exteriores (fachadas), así como la demanda total para tener una visión global de los valores más relevantes. Respecto a las paredes exteriores, lo más destacable es la pérdida de demanda de calefacción.

	Calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	Refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> año)
Pérdidas	-105.16	-22.77
Ganancias	65.28	37.73
Pérdidas paredes exteriores	-11.68	0.55
Ganancias paredes exteriores	0.01	1.79
<b>Demanda (inicial)</b>	<b>-39.88</b>	<b>14.95</b>

Tabla 3. Valores relevantes demanda energética edificio objeto. Fuente: Elaboración propia

#### E. SIMULACIONES REALIZADAS MEDIANTE LA HERRAMIENTA UNIFICADA LIDER-CALENER

A continuación, una vez que el edificio objeto de ensayo cumple el CTE-DB-HE1 en cuanto a las demandas de refrigeración y calefacción, se han realizado una serie de simulaciones para estudiar las variaciones de los resultados en las demandas. Las simulaciones a realizar son las siguientes:

- SIMULACIONES FACHADA VENTILADA SEGÚN ORIENTACIONES
  - Simulación 1. Fachada ventilada en la fachada con orientación sur
  - Simulación 2. Fachada ventilada en las fachadas con orientación sur y este
  - Simulación 3. Fachada ventilada en las fachadas con orientación sur, este y oeste
  - Simulación 4. Fachada ventilada en las fachadas de las cuatro orientaciones
- SIMULACIONES FACHADA VENTILADA SEGÚN ABSORTIVIDAD HOJA EXTERIOR
  - Simulación 5. Simulación 4 con absortividad baja de hoja exterior
  - Simulación 6. Simulación 4 con absortividad alta de hoja exterior
- SIMULACIONES FACHADA VENTILADA SEGÚN ESPESOR CÁMARA DE AIRE
  - Simulación 7. Simulación 4 aumento cámara aire a 5 cm
  - Simulación 8. Simulación 4 aumento cámara aire a 10 cm
- SIMULACIONES FACHADA VENTILADA CON SUPRESIÓN AISLANTE TÉRMICO
  - Simulación 9. Simulación 4 con supresión del aislante en fachadas
  - Simulación 10. Simulación 4 con supresión del aislante en fachadas y modificación de la zona climática (A4)
  - Simulación 11. Simulación 4 con supresión del aislante en fachadas y modificación de la zona climática (E1)
- SIMULACIONES MURO SOLAR
  - Simulación 12. Muro solar en planta primera fachada sur (cámara cerrada)
  - Simulación 13. Muro solar en planta primera fachada sur (cámara abierta)
- SIMULACIONES MURO TROMBE
  - Simulación 14. Muro Trombe en fachada sur

## 9.2 SIMULACIONES FACHADA VENTILADA

Se han realizado las simulaciones aplicando una fachada ventilada en varias situaciones. Previamente a realizar las simulaciones, se ha adaptado el edificio objeto para la simulación de la fachada ventilada y para ello se han realizado varios cambios al edificio. A continuación se muestran los cambios realizados en el edificio objeto para poder asignar a sus cerramientos una fachada ventilada:

- Modificación cerramientos

En primer lugar, se ha definido el cerramiento de la fachada ventilada, tanto la hoja exterior como la interior. En la Figura 82, se aprecia el aislante en la cara exterior del cerramiento, tal y como están definidas las fachadas ventiladas por defecto. En la Figura 83, aparece la hoja exterior del cerramiento de fachada ventilada. En cuanto al espesor de la hoja exterior, se ha tomado como referencia el catálogo comercial de la marca Tempio (fabricante de fachadas ventiladas), donde aparecen varios modelos de piezas de 20 mm de espesor, por lo que ese ha sido el espesor elegido.

Grupo FV\_INT

Nombre fv\_hoja\_interior

Composición del Cerramiento:  
Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).  
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Poliamida 6.6 [PA6.6] 25%fibra vidrio	0.001	0.300	1450	1600	
2	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [	0.060	0.025	38	1000	
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.015	0.550	1125	1000	
4	BC con mortero aislante espesor 140 mm	0.140	0.324	1020	1000	
5	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.015	0.550	1125	1000	
6	Cámara de aire ligeramente ventilada vertical 1					0.075
7	Tabicón de LH doble Gran Formato 60 mm <	0.070	0.212	630	1000	
8	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.015	0.550	1125	1000	
9	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0.015	0.570	1150	1000	
10						

Grupo Material Plásticos

Material Poliamida 6.6 [PA6.6] 25%fibra vidrio

0.020 Espesor (m)

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U 0.28 W/(m²K)

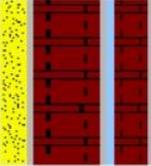


Figura 82. FVentilada interior. Fuente: Elaboración propia

Nombre

Composición del Cerramiento:  
Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).  
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Gres(silíce) 2200 < d < 2590	0.020	2.300	2395	1000	
2						

Grupo Material

Material   Espesor (m)

U  W/(m²K)

Figura 83. Fventilada hoja exterior. Fuente: Elaboración propia

- Espesor cámara ventilada

Con relación al espesor de la cámara ventilada, según la "*Guía de DITE 034 Kits for external Wall claddings*" (Kits para el revestimiento de fachadas), que fue elaborada por la EOTA (European Organisation for Technical Aproveals) establece que se considera que una cámara es ventilada cuando el espesor de la misma alcanza los 20 mm o más. Por otro lado, según el "*CTE-DB-HSI*" (Código Técnico Edificación), elaborado por el Ministerio de Fomento, se considera una cámara ventilada cuando tiene un espesor entre 3 y 10 cm. Por tanto, se considera un mínimo de 3 cm de cámara, ya que es lo más restrictivo en cuanto a normativa se refiere.

- Ventilación cámara

También se han definido las perforaciones para que la fachada ventilada tenga una correcta circulación del aire. Para ello, se han tenido en cuenta las exigencias del "*CTE-DB-HSI*" (Apartado 2.3.2.), en cuanto a las cámaras ventiladas, según el cual: "*deben disponerse aberturas de ventilación cuya área efectiva total sea como mínimo igual a 120 cm<sup>2</sup> por cada 10 m<sup>2</sup> de paño de fachada entre forjados repartidas al 50% entre la parte superior e inferior.*" Por tanto, las perforaciones que se han dejado para la ventilación del edificio del aire cumplen como mínimo las exigencias citadas en la normativa.

- Junta entre piezas

En cuanto a la junta entre las piezas que posee la hoja exterior de la fachada ventilada, se ha escogido un modelo de pieza cerámica, de la marca Tempio, y en su catálogo establecen una junta entre piezas de 8-12 mm. En el análisis se ha optado por simular la fachada con 8 mm de espesor de junta. En la Figura 84, se muestran todos los parámetros mencionados:

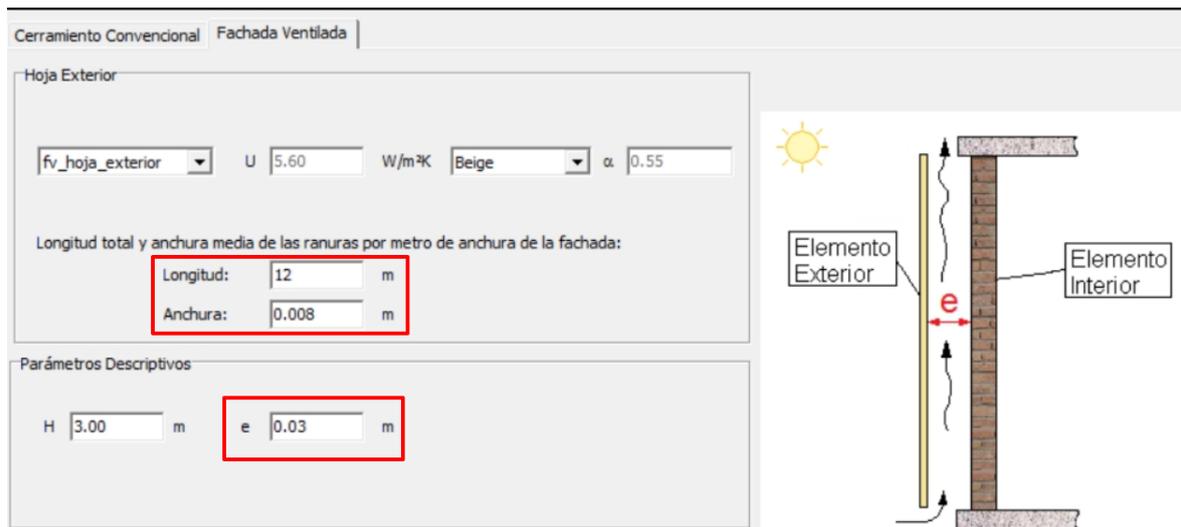


Figura 84. Parámetros definición Fachada Ventilada en HULC. Fuente: Elaboración propia

A continuación, una vez modificado el edificio objeto para poder realizar las simulaciones de la fachada ventilada, se muestra cada una de las simulaciones realizadas:

- Simulación 1. Fachada ventilada en la fachada con orientación sur

En primer lugar se ha asignado una fachada ventilada en la fachada orientada al sur, en ambas plantas.

- Simulación 2. Fachada ventilada en las fachadas con orientación sur y este

A la simulación anterior se le ha añadido una fachada ventilada en la orientación este.

- Simulación 3. Fachada ventilada en las fachadas con orientación sur, este y oeste

Se ha realizado la simulación aplicando una fachada ventilada en orientación sur, este y oeste.

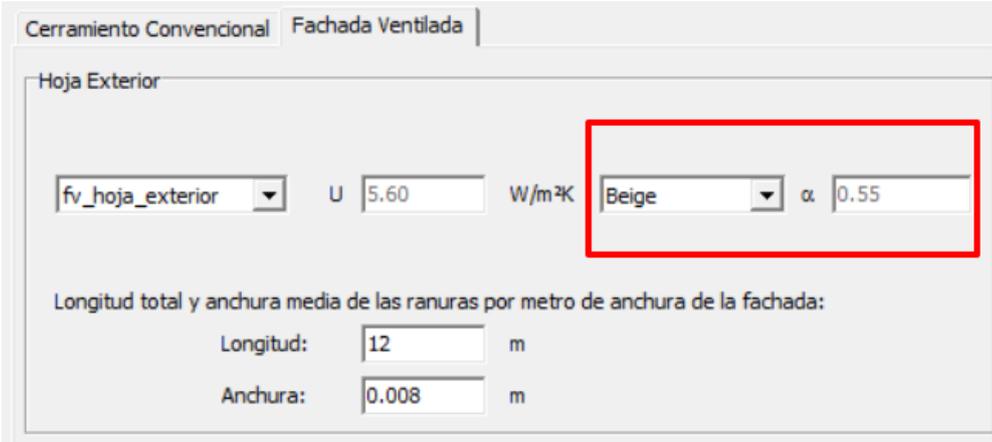
- Simulación 4. Fachada ventilada en las fachadas de las cuatro orientaciones

La fachada ventilada se ha aplicado en las cuatro orientaciones de fachada. En esta simulación, los resultados de variación de demanda han sido más notables que en el resto de

simulaciones, por lo que se ha decidido hacer el resto de simulaciones siguientes a partir de esta simulación 4 para que se aprecien mejor esas variaciones.

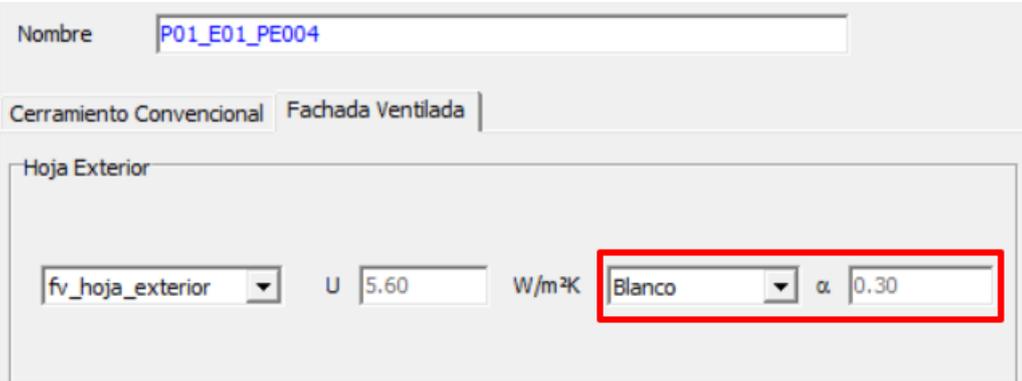
- Simulación 5. Simulación 4 con absorptividad baja de hoja exterior

Otra de las simulaciones que se han realizado es la modificación de la absorptividad de la hoja exterior de la fachada ventilada. En el caso inicial se ha elegido una absorptividad media ( $\alpha=0.55$ ) (Fig. 85) y en la simulación 5 se ha elegido una absorptividad baja ( $\alpha=0.30$ ) (Fig. 86), con la hoja exterior en color blanco.



The screenshot shows a software interface for configuring a 'Fachada Ventilada' (ventilated facade). The 'Hoja Exterior' (outer leaf) settings are visible. A dropdown menu is set to 'fv\_hoja\_exterior'. The thermal conductivity 'U' is 5.60 W/m²K. The color is set to 'Beige' and the absorptivity  $\alpha$  is 0.55. Below this, the 'Longitud total y anchura media de las ranuras por metro de anchura de la fachada' (total length and average width of slits per meter of facade width) are specified: 'Longitud' (length) is 12 m and 'Anchura' (width) is 0.008 m.

Figura 85. Absortividad media hoja exterior fachada ventilada. Fuente: Elaboración propia



The screenshot shows the same software interface as Figure 85, but with the 'Hoja Exterior' settings changed. The color dropdown is now set to 'Blanco' and the absorptivity  $\alpha$  is 0.30. The 'U' value remains 5.60 W/m²K. The 'Nombre' field at the top is 'P01\_E01\_PE004'.

Figura 86. Absortividad baja hoja exterior fachada ventilada. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 6. Simulación 4 con absorptividad alta de hoja exterior

En esta simulación, se ha elegido una absorptividad alta ( $\alpha=0.96$ ), con la hoja exterior de la fachada ventilada en color negro. (Fig. 87)

Cerramiento Convencional | Fachada Ventilada

Hoja Exterior

fv\_hoja\_exterior U 5.60 W/m<sup>2</sup>K Negro α 0.96

Longitud total y anchura media de las ranuras por metro de anchura de la fachada:

Longitud: 12 m

Anchura: 0.008 m

Figura 87. Absortividad alta hoja exterior fachada ventilada. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 7. Simulación 4 aumento cámara aire a 5 cm

Otra de las modificaciones elaboradas en las simulaciones de la fachada ventilada, es el aumento de la cámara de aire. En las simulaciones iniciales la cámara es de 3 cm, pero en esta simulación se ha aumentado a 5 cm (Fig 88).

Cerramiento Convencional | Fachada Ventilada

Hoja Exterior

fv\_hoja\_exterior U 5.60 W/m<sup>2</sup>K Beige α 0.55

Longitud total y anchura media de las ranuras por metro de anchura de la fachada:

Longitud: 12 m

Anchura: 0.008 m

Parámetros Descriptivos

H 3.00 m e 0.05 m

Figura 88. Aumento cámara de aire a 5 cm. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 8. Simulación 4 aumento cámara aire a 10 cm

En esta simulación la cámara de aire se ha aumentado a 10 cm (Fig. 89)

Cerramiento Convencional | Fachada Ventilada

Hoja Exterior

fv\_hoja\_exterior U 5.60 W/m<sup>2</sup>K Beige α 0.55

Longitud total y anchura media de las ranuras por metro de anchura de la fachada:

Longitud: 12 m

Anchura: 0.008 m

Parámetros Descriptivos

H 3.00 m e 0.1 m

Figura 89. Aumento cámara de aire a 10 cm. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 9. Simulación 4 con supresión del aislante en fachadas

Otra simulación ejecutada en la fachada ventilada es la eliminación del aislante en las fachadas de las cuatro orientaciones, para apreciar realmente la influencia de la fachada ventilada sin tener en cuenta el aislante. Como se puede apreciar en la Figura 90 al suprimir el aislante, la transmitancia térmica de la fachada aumenta a 0.84 W/m<sup>2</sup>K, lo que es un gran cambio respecto al valor de 0.28 W/m<sup>2</sup>K de transmitancia previa con el aislante colocado.

Nombre

Composición del Cerramiento:  
Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).  
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.015	0.550	1125	1000	
2	BC con mortero aislante espesor 140 mm	0.140	0.324	1020	1000	
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.015	0.550	1125	1000	
4	Cámara de aire sin ventilar horizontal 1 cm					0.150
5	Tabicón de LH doble Gran Formato 60 mm <	0.070	0.212	630	1000	
6	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.015	0.550	1125	1000	
7	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0.015	0.570	1150	1000	
8						

Grupo Material

Material   Espesor (m)

**U**  **W/(m²K)**

Figura 90. Supresión del aislante térmico en todas las fachadas. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 10. Simulación 4 con supresión del aislante en fachadas y modificación de la zona climática (A4)

En esta simulación, además de suprimir el aislante térmico en todas las fachadas, se ha cambiado la zona climática de una zona D3 (Madrid), con clima medio, a una zona A4 (Almería), con clima cálido. En la Figura 91, se muestra la tabla de las zonas climáticas del CTE-DB-HE1, y en la Figura 92 aparece el cambio de zona climática. El dato de la altitud de Almería se ha obtenido de AEMET.

**Tabla B.1.- Zonas climáticas de la Península Ibérica**

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054													h < 550	h < 850	h ≥ 850	
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1											h < 250		h < 450	h < 750	h ≥ 750	
Bilbao/Bilbo	C1	214												h < 250			h ≥ 250	
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000

Figura 91. Zonas climáticas España CTE-DB-HE1. Fuente: Código Técnico (CTE-DB-HE1)

Datos generales

Datos administrativos | Datos generales | Fuentes de energía | Opciones generales del edificio | Imágenes y otros datos

Definición del caso

**Verificación CTE-HE y Certificación de Eficiencia Energética**

Edificio NUEVO

Edificio EXISTENTE: Ampliación

Edificio EXISTENTE: Intervención importante

Edificio EXISTENTE: Cambio de uso característico

**Solo Certificación de Eficiencia Energética**

Edificio EXISTENTE: Solo Certificación

Tipo de edificio

Vivienda unifamiliar

Viviendas en bloque

Edificio Terciario Pequeño o Mediano (PMT)

Gran Edificio Terciario (GT)

Localidad, Datos Climáticos

Comunidad autónoma: Andalucía

Provincia: Almería

Localidad: Almería

Altitud: 16 m

Zona climática: A4

Ventilación del edificio residencial

Se acepta el valor de ventilación por defecto (0.63 renovaciones por hora)

Valores por defecto de los espacios habitables

Tipo de Uso: Residencial

Figura 92. Modificación de la zona climática a una zona A4. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 11. Simulación 4 con supresión del aislante en fachadas y modificación de la zona climática (E1)

En esta simulación, a la supresión del aislante se le añade la modificación de la zona climática de una zona D3 (Madrid), con clima medio, a una zona E1 (Almería), con clima frío. En la Figura 93, se muestra la tabla de las zonas climáticas del CTE-DB-HE1, y en la Figura 94 aparece el cambio de zona climática. El dato de la altitud de León se ha obtenido de AEMET.

Tabla B.1.- Zonas climáticas de la Península Ibérica

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1										h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750	
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250					
Burgos	E1	861														h < 250	h ≥ 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0	h < 150				h < 450					h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18					h < 50					h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0					h < 50											
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143											h < 100					h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131										h < 100			h < 600			h ≥ 600

Figura 93. Zonas climáticas España CTE-DB-HE1. Fuente: Código Técnico (CTE-DB-HE1)

Datos administrativos | Datos generales | Fuentes de energía | Opciones generales del edificio | Imágenes y otros datos

**Definición del caso**

**Verificación CTE-HE y Certificación de Eficiencia Energética**

- Edificio NUEVO
- Edificio EXISTENTE: Ampliación
- Edificio EXISTENTE: Intervención importante
- Edificio EXISTENTE: Cambio de uso característico

**Solo Certificación de Eficiencia Energética**

- Edificio EXISTENTE: Solo Certificación

**Tipo de edificio**

- Vivienda unifamiliar
- Viviendas en bloque
  - Una Vivienda de un bloque
- Edificio Terciario Pequeño o Mediano (PMT)
  - Un local de un Edificio PMT
- Gran Edificio Terciario (GT)
  - Un local de un Edificio GT

**Localidad, Datos Climáticos**

Comunidad autónoma: Castilla y León

Provincia: León

Localidad: León

Altitud: 837 m

Zona climática: E1

Peninsular  
 Extrapeninsular

**Ventilación del edificio residencial**

Se acepta el valor de ventilación por defecto (0.63 renovaciones por hora)

**Valores por defecto de los espacios habitables**

Tipo de Uso: Residencial

Figura 94. Modificación de la zona climática a una zona E1. Fuente: Elaboración propia

### 9.3 SIMULACIÓN MURO SOLAR

- Simulación 12. Muro solar en planta primera fachada sur (cámara cerrada)

Se ha simulado también un Muro Solar, con valores predefinidos del propio programa ya que no se ha encontrado ningún catálogo de fabricantes de Muro Solar. Se ha colocado un vidrio sencillo como hoja exterior, una cámara aire de 5 cm, la cual se ha dejado cerrada, tanto en verano como en invierno. En la Figura 95, aparecen las características del Muro Solar. Cabe destacar, que edificio objeto para estas simulaciones, es uno con la planta primera sin ventanas, para que el programa permita la aplicación de un Muro Solar.

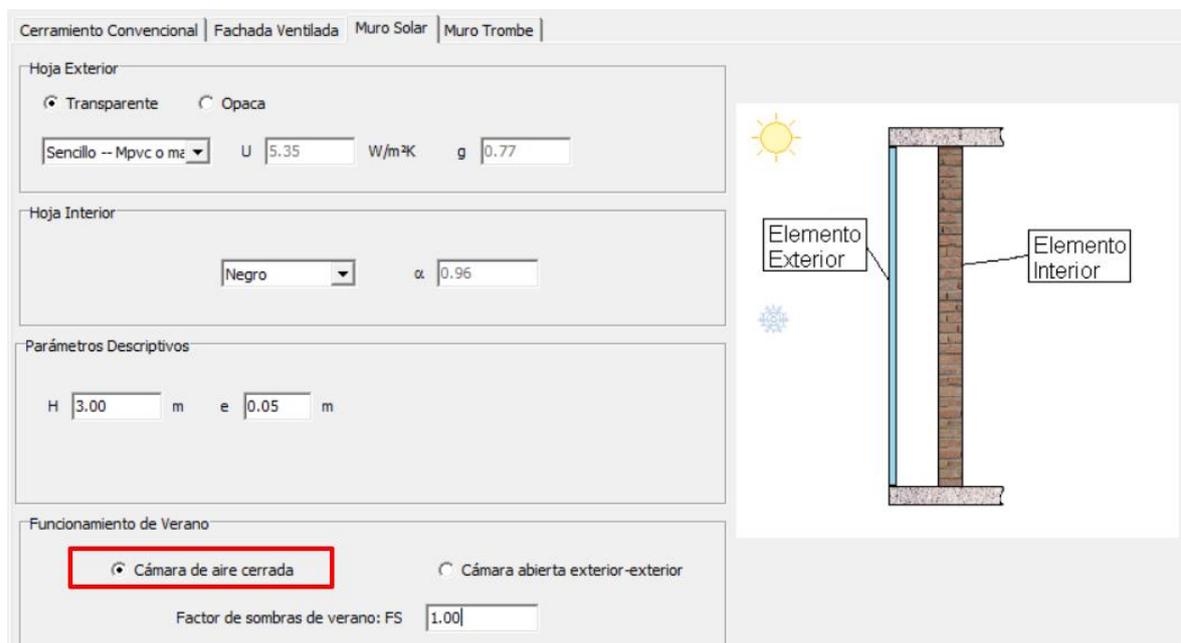


Figura 95. Parámetros definición Muro Solar en HULC. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 13. Muro solar en planta primera fachada sur (cámara abierta)

En este caso se ha simulado también un Muro Solar, con los mismos valores que la simulación anterior, a excepción de la cámara que se deja abierta al exterior, en la época de verano. En la Figura 96, se muestran las características del Muro Solar.

Cerramiento Convencional | Fachada Ventilada | Muro Solar | Muro Trombe |

Hoja Exterior

Transparente  Opaca

Sencillo -- MpvC o mē ▾ U 5.35 W/m²K g 0.77

Hoja Interior

Negro ▾ α 0.96

Parámetros Descriptivos

H 3.00 m e 0.05 m

Funcionamiento de Verano

Cámara de aire cerrada  Cámara abierta exterior-exterior

Factor de sombras de verano: FS 1.00

Figura 96. Parámetros definición Muro Solar en HULC. Cámara abierta. Fuente: Elaboración propia

## 9.4 SIMULACIÓN MURO TROMBE

- Simulación 14. Muro Trombe en fachada sur

En esta simulación, se ha asignado un Muro Trombe en la fachada sur. En la hoja interior, se ha colocado un bloque cerámico de 24 cm, y la hoja exterior queda definida en las capacidades adicionales. En la Figura 97 aparece la definición de la hoja interior, y en la Figura 98, la definición de las características del Muro Trombe. Se ha dejado una cámara de aire de 9 cm, y se ha dejado abierta al exterior, con convección del aire libre.

Grupo muro trombe\_hoja\_interior

Nombre

Composición del Cerramiento:  
Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).  
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	BC con mortero convencional espesor 240	0.240	0.424	1090	1000	
2						

Grupo Material

Material   Espesor (m)

U  W/(m²K)

Figura 97. Hoja interior Muro Trombe. Fuente: Elaboración propia

Edición de Cerramientos

Nombre

Cerramiento Convencional | Fachada Ventilada | Muro Solar | Muro Trombe

Hoja Exterior  
 Transparente  Opaca  
 U  W/m²K g

Hoja Interior  
  $\alpha$

Parámetros Descriptivos  
H  m e  m  Convección libre  Impulsión mecánica

Funcionamiento de Verano  
 Cámara de aire cerrada  Cámara abierta exterior-exterior  
Factor de sombras de verano: FS

Figura 98. Definición características Muro Trombe. Fuente: Elaboración propia

## 10. COMPARATIVA RESULTADOS SIMULACIONES EN HULC

A continuación, se muestran todos los resultados al aplicar esas simulaciones y una comparativa con los resultados de la demanda energética del edificio objeto mencionado anteriormente:

### 10.1. COMPARATIVA SIMULACIONES FACHADA VENTILADA SEGÚN ORIENTACIONES

En primer lugar, se muestra una tabla resumen (Tabla 4) de los resultados de las demandas, tanto calefacción como refrigeración de las simulaciones con la aplicación de fachada ventilada según las orientaciones, además de los valores de la demanda del Edificio Objeto. Se puede observar que la aplicación de una fachada ventilada en el edificio objeto, ya sea en una fachada o en varias, supone un aumento de la demanda de calefacción, y en cuanto a la demanda de refrigeración, se produce una reducción de la misma si se aplica en la fachada sur (-2.74 %), pero en el resto de simulaciones provoca un aumento de dicha demanda. La mayor variación de la demanda de calefacción se produce en las cuatro orientaciones con fachada ventilada (19.70%) y la mayor variación en la demanda de refrigeración se produce en la simulación de fachada sur + este (10.03%)

	Edificio objeto	FV S	FV S+E	FV S+E + O	FV S+E+O+N
<b>Demanda calefacción</b>	39.88	41.74	44.45	45.52	47.74
<b>Variación demanda calefacción (%)</b>	-	4.66%	11.45%	14.14%	19.70%
<b>Demanda refrigeración</b>	14.95	14.54	16.45	15.10	15.60
<b>Variación demanda refrigeración (%)</b>	-	-2.74%	10.03%	1.01%	4.34%

Tabla 4. Resultados simulaciones fachada ventilada según orientaciones. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran los resultados de cada una de las simulaciones (demanda anual, mensual de calefacción, mensual de refrigeración y resultados del cumplimiento del CTE):

- Resultados simulación 1. Fachada ventilada en la fachada con orientación sur

En la gráfica (Fig. 99), se observa que la variación de las demandas anuales, con respecto a las demandas convencional, tanto de calefacción como refrigeración ha sido muy leve. En calefacción, la demanda aumenta levemente con respecto a la fachada original. En refrigeración, al contrario, disminuye levemente la demanda con la fachada ventilada.

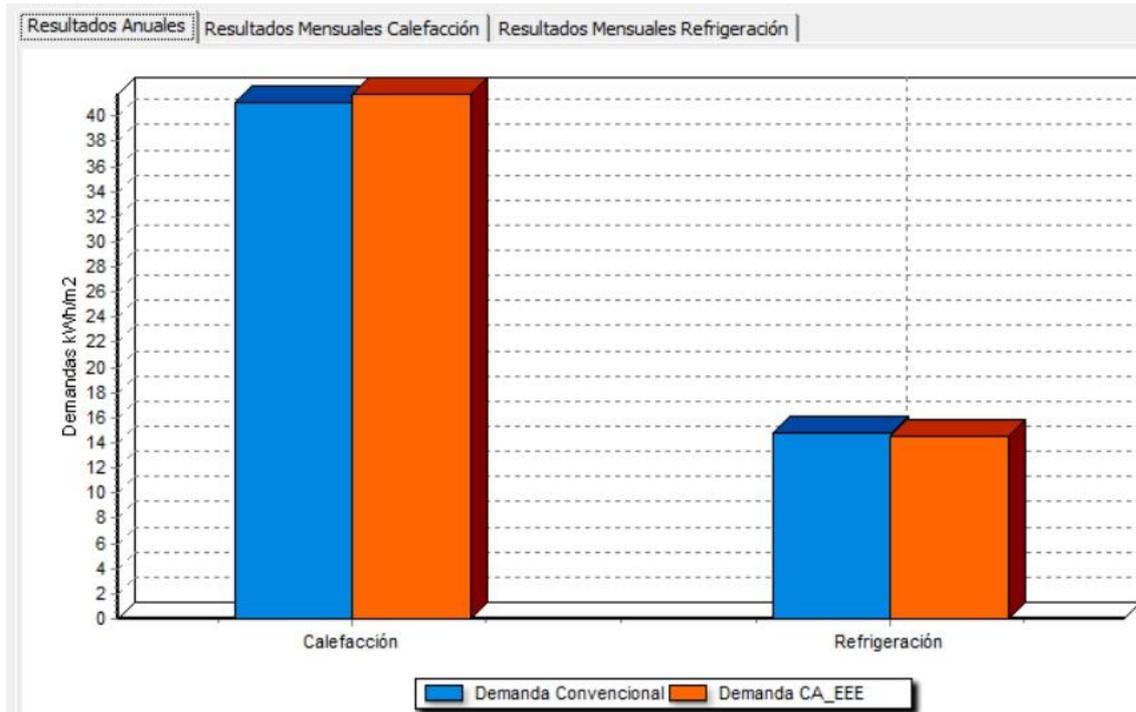


Figura 99. Resultados anuales demanda simulación I. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los resultados de la demanda mensuales de calefacción (Fig. 100), en los meses más fríos (enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre) la variación entre la demanda convencional y la demanda con la fachada ventilada es más notable. Además, en diciembre y enero hay mucha más demanda de calefacción debido a las temperaturas más extremas de esos meses. En el resto de meses, esa variación es mínima. Lógicamente en los meses de verano, no hay demanda de calefacción. Por otro lado, respecto a los resultados mensuales de refrigeración (Fig. 101), en los meses de julio y agosto hay mayor demanda de refrigeración, pero la variación entre la demanda convencional y la demanda con las capacidades adicionales es muy similar en todos los meses de verano. En los meses restantes del año, no hay demanda de refrigeración.

Además, en la Figura 102, se muestra el cálculo de la demanda anual según el CTE, de la fachada ventilada. En el valor de calefacción no cumple el HE1, ya que hay mayor demanda que la permitida. La variación de ambas demandas respecto al CTE no han variado mucho.

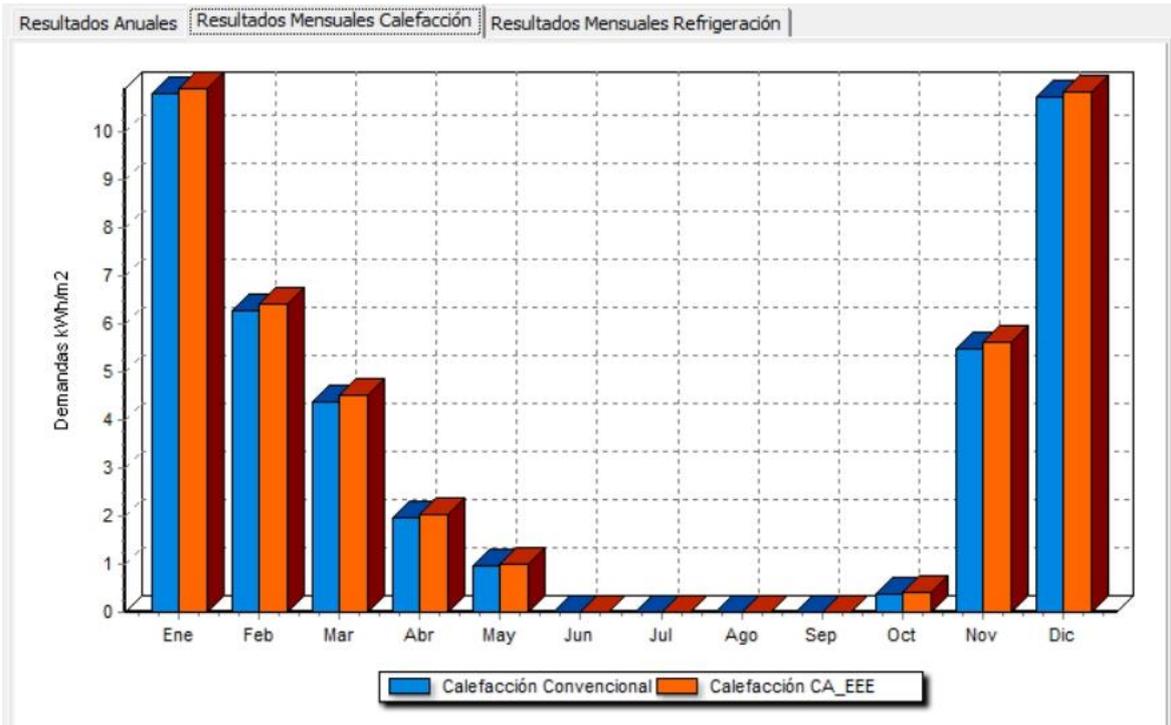


Figura 100. Resultados mensuales calefacción simulación 1. Fuente: Elaboración propia

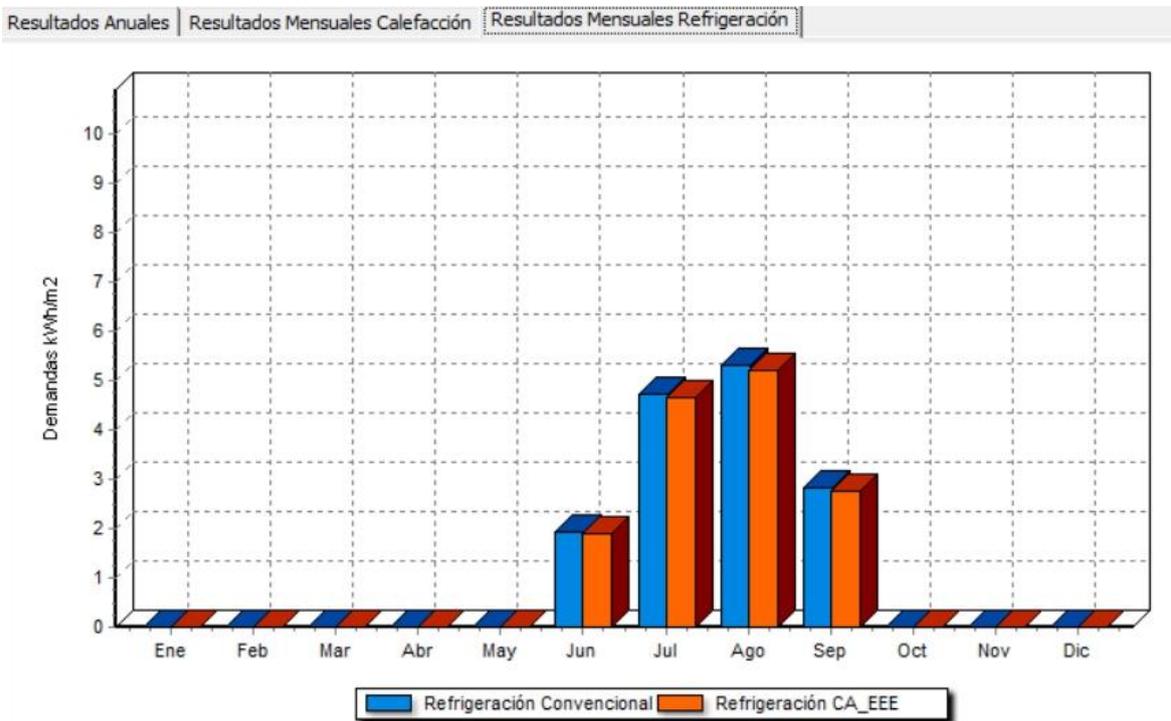


Figura 101. Resultados mensuales refrigeración simulación 1. Fuente: Elaboración propia

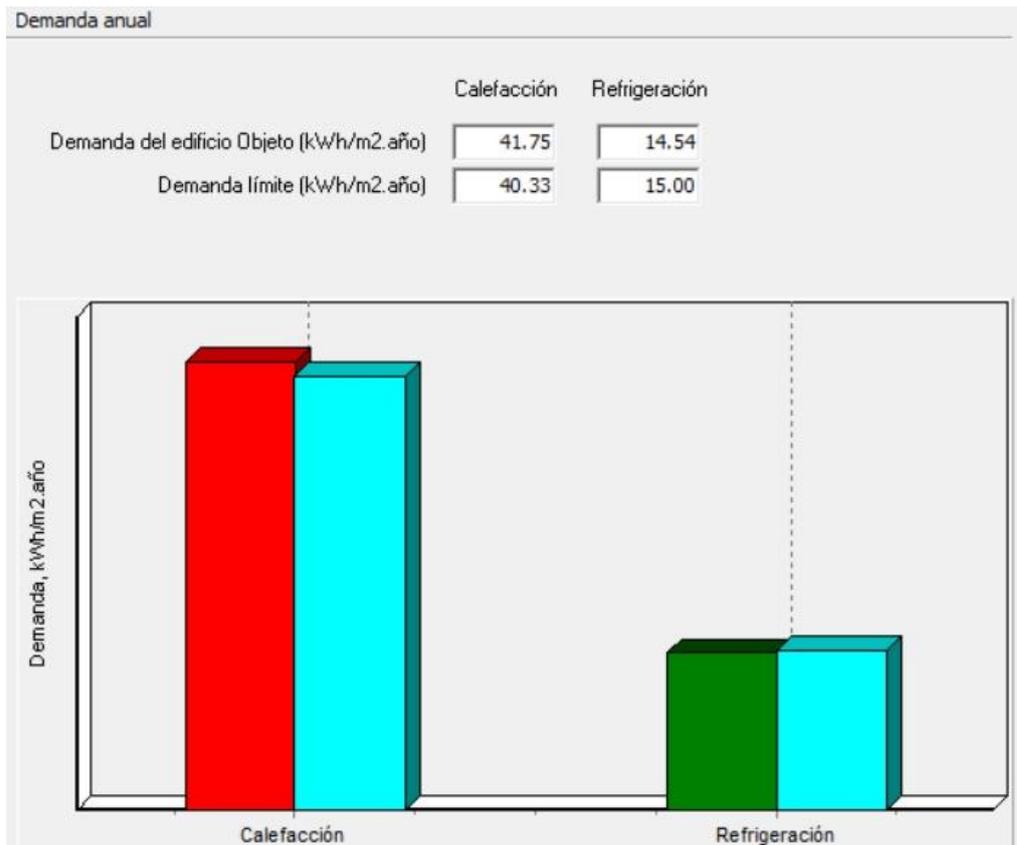


Figura 102. Resultados HEI Simulación 1. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 2. Fachada ventilada en las fachadas con orientación sur y este

En la gráfica (Fig. 103), se observa que la diferencia de las demandas anuales, con respecto a las demandas iniciales, es leve. En calefacción, la demanda crece levemente con respecto a la fachada original. En refrigeración, al contrario, disminuye ligeramente la demanda.

En cuanto a los resultados de la demanda mensuales de calefacción (Fig. 104), la variación entre la demanda inicial y la demanda con la fachada ventilada es similar en todos los meses. En diciembre y enero hay mayor demanda de calefacción.

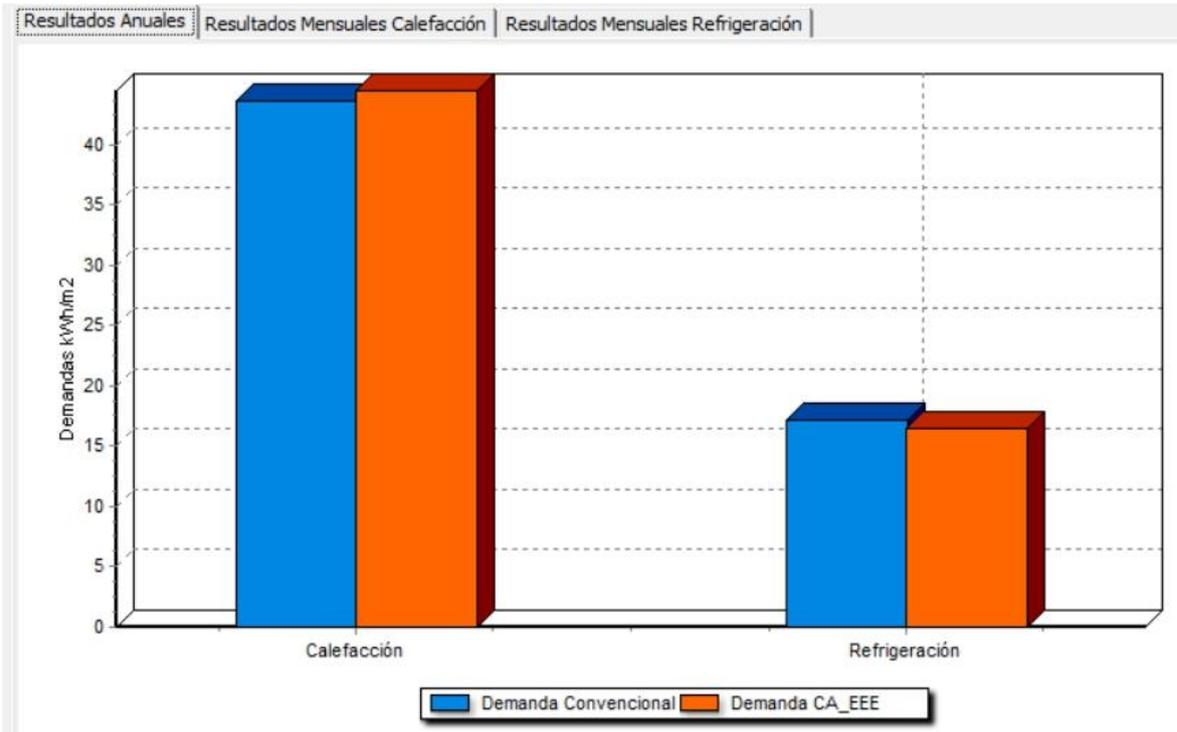


Figura 103. Resultados anuales demanda simulación 2. Fuente: Elaboración propia

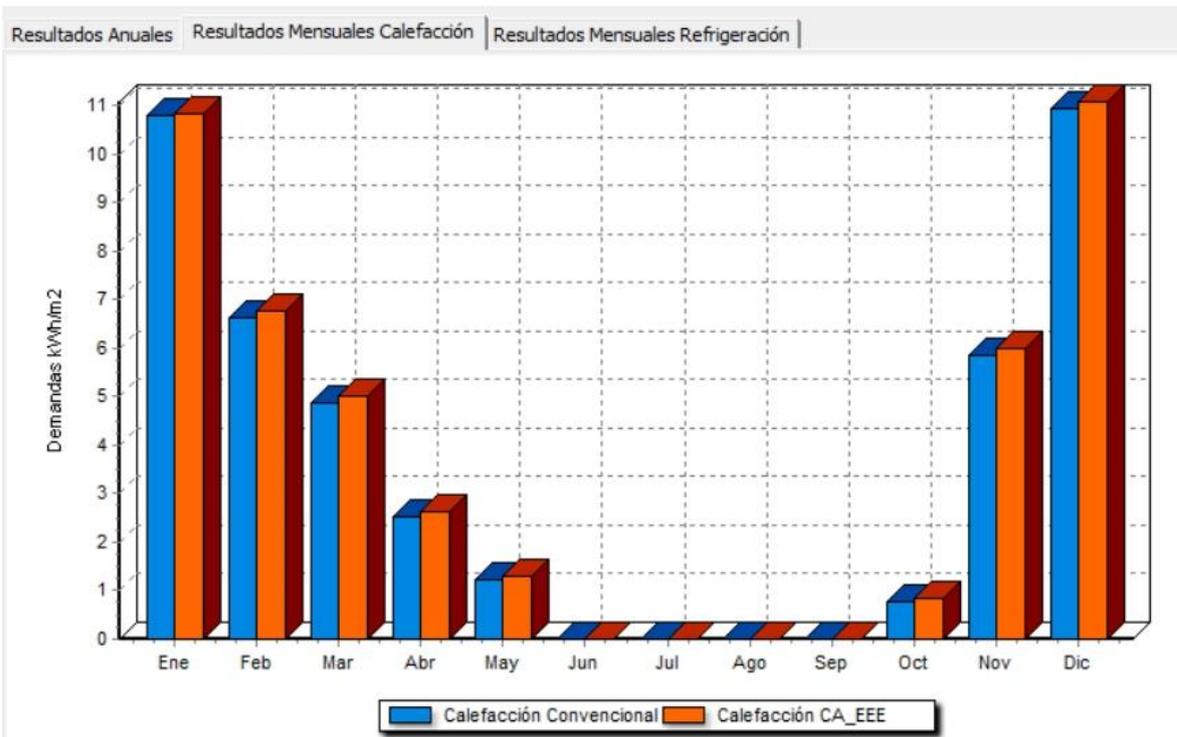


Figura 104. Resultados mensuales calefacción simulación 2. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, respecto a los resultados mensuales de refrigeración (Fig. 105), julio y agosto hay mayor demanda de refrigeración. La variación entre la demanda inicial y la demanda con las capacidades adicionales es muy similar en todos los meses de verano. Respecto a los valores del CTE (Fig. 106), ambas demandas sufren un pequeño aumento respecto a la simulación anterior.

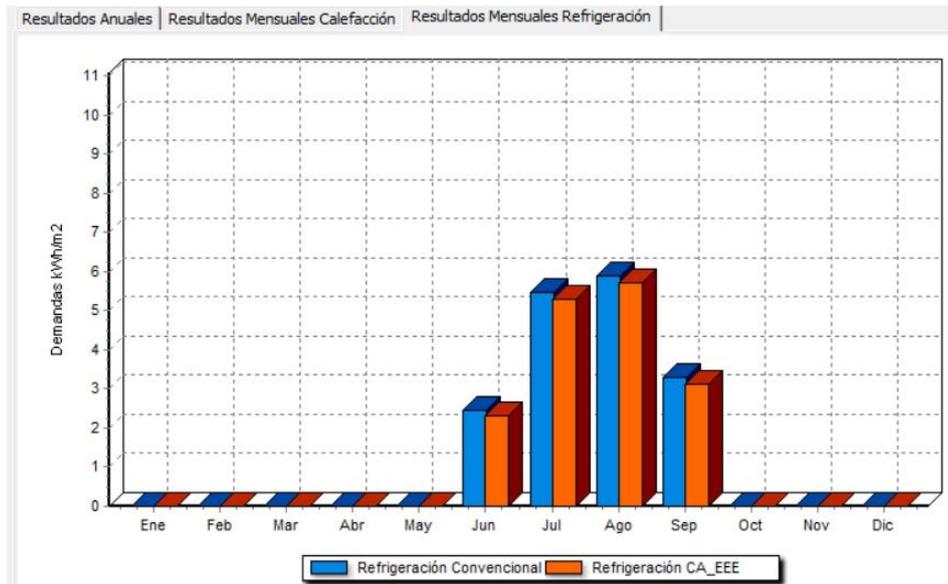


Figura 105. Resultados mensuales refrigeración simulación 2. Fuente: Elaboración propia

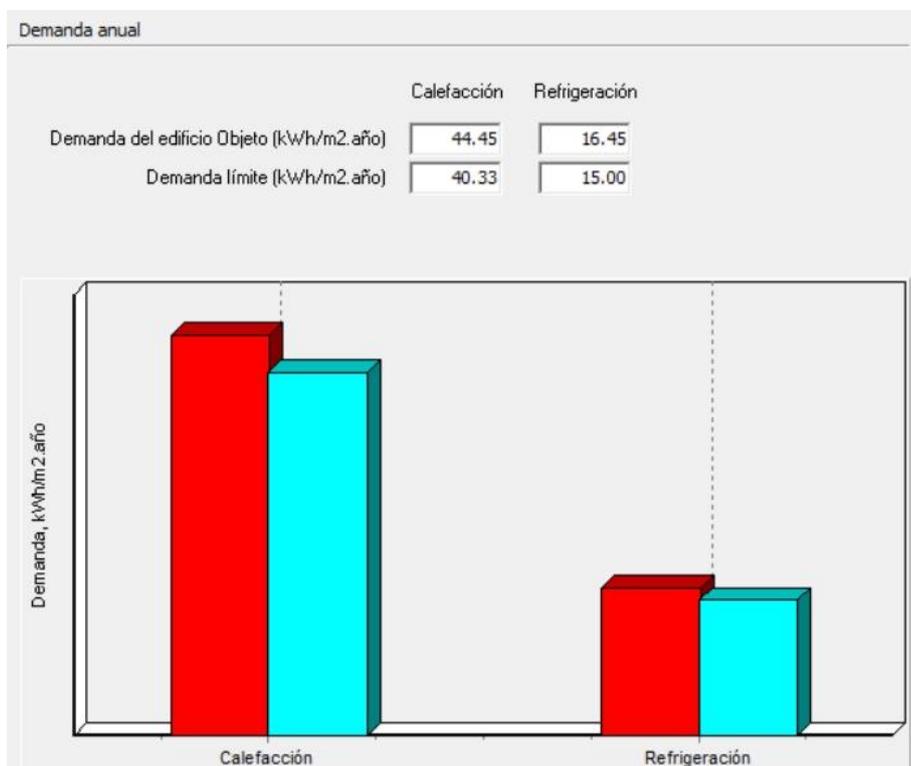


Figura 106. Resultados HEI Simulación 2. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 3. Fachada ventilada en las fachadas con orientación sur, este y oeste

En la gráfica (Fig. 107), se observa que la diferencia de las demandas anuales, con respecto a las demandas iniciales, es algo superior a la de la simulación anterior. En calefacción, la demanda de la fachada ventilada es superior a la de la fachada original. En refrigeración, al contrario, disminuye la demanda de la fachada ventilada.

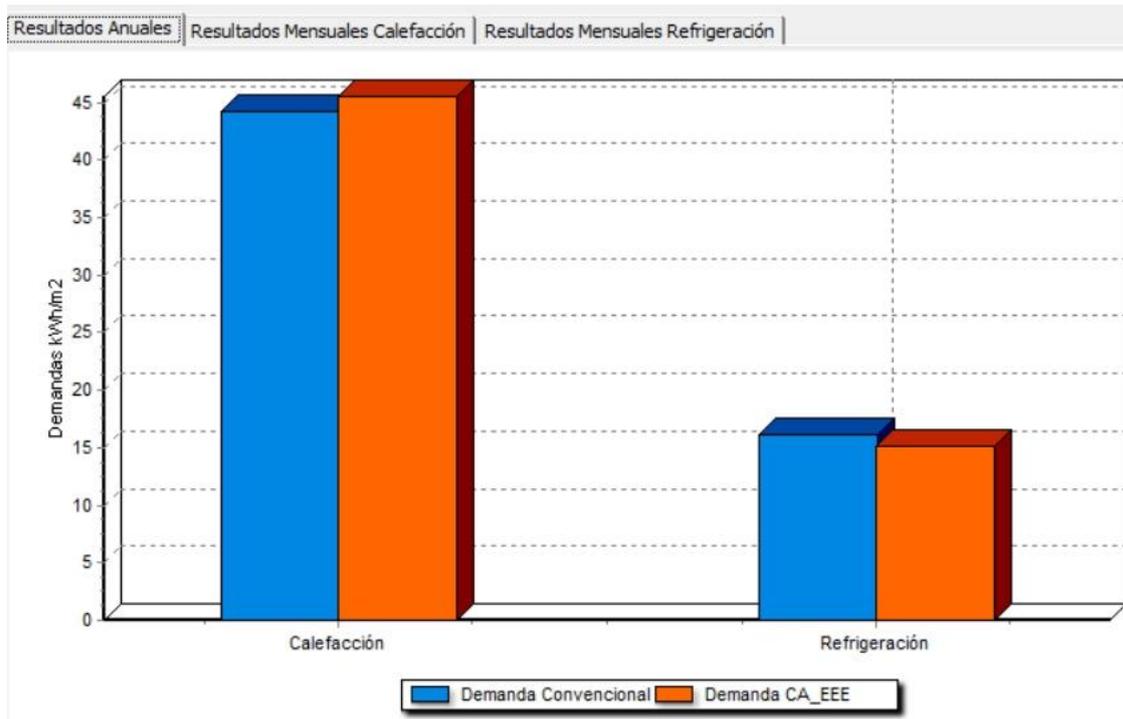


Figura 107. Resultados anuales demanda simulación 3. Fuente: Elaboración propia

En resultados de la demanda mensual de calefacción (Fig. 108), la variación entre la demanda inicial y la demanda con la fachada ventilada es parecida en todos los meses. En diciembre y enero la demanda de calefacción es mayor. En la demanda mensual de refrigeración (Fig. 109), la variación de las demandas es similar en todos los meses de verano.

Respecto a los resultados del cumplimiento del CTE (Fig. 110), la demanda de calefacción ha aumentado un poco y la de refrigeración ha crecido levemente.

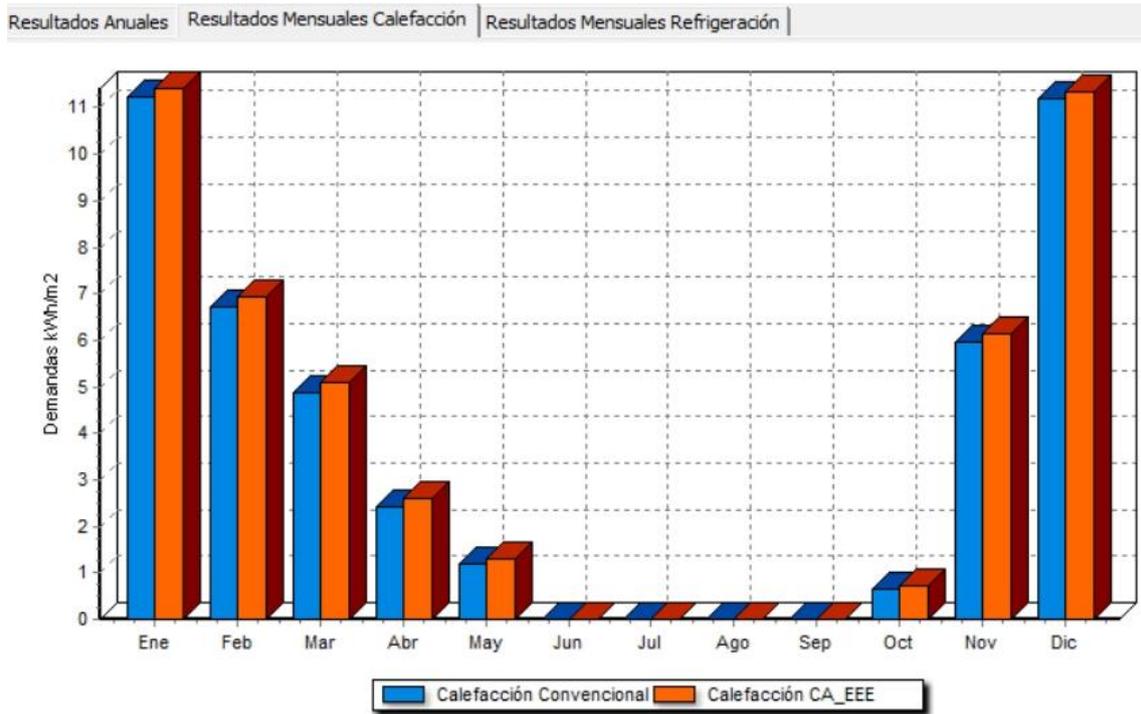


Figura 108. Resultados mensuales calefacción simulación 3. Fuente: Elaboración propia

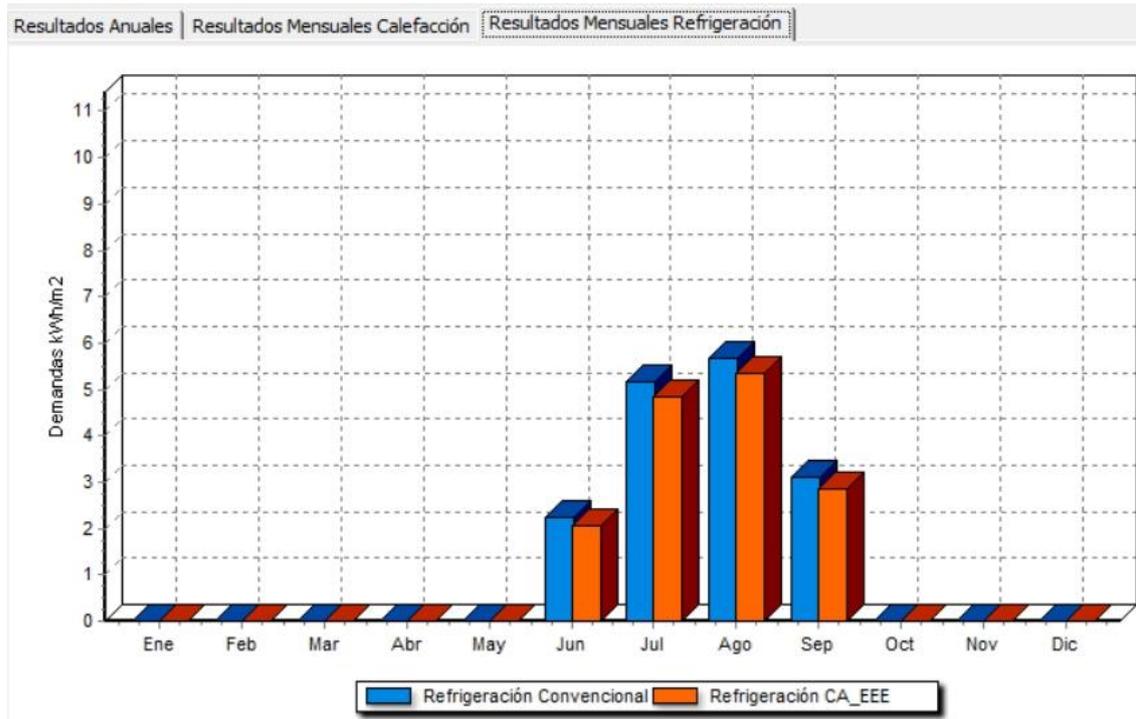


Figura 109. Resultados mensuales refrigeración simulación 3. Fuente: Elaboración propia

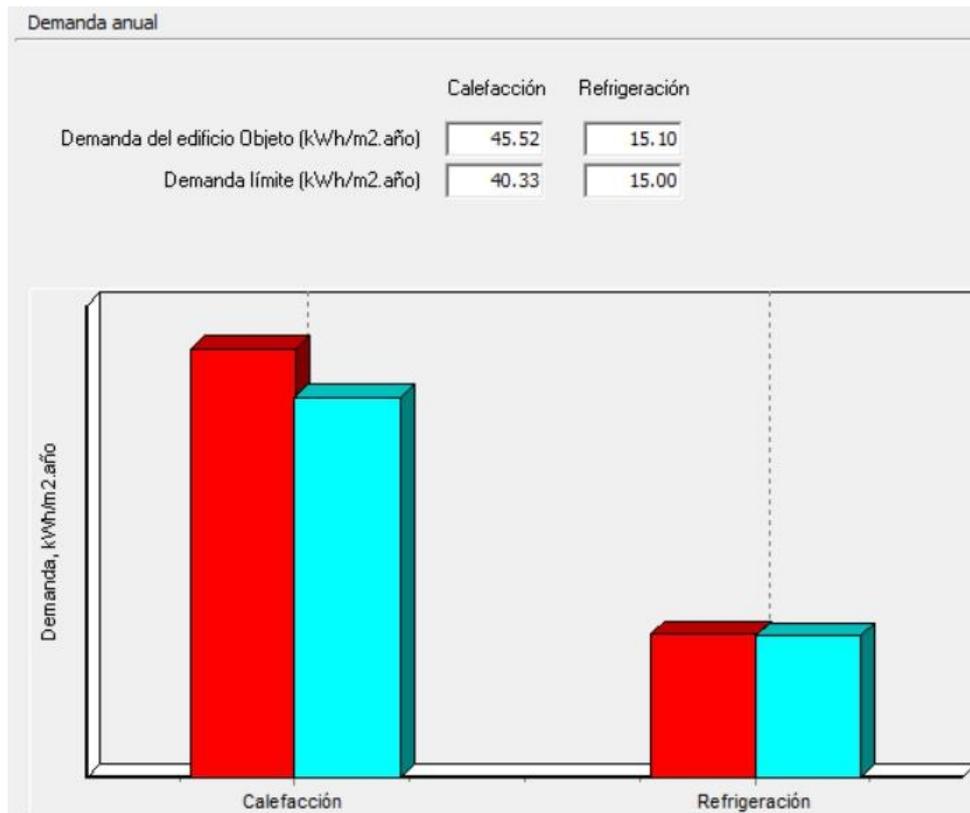


Figura 110. Resultados HEI Simulación 3. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 4. Fachada ventilada en las fachadas de las cuatro orientaciones

Al simular una fachada ventilada en todas las fachadas, la variación de las demandas es mayor que en el resto de las simulaciones anteriores, aunque sigue siendo una diferencia suave entre ambas demandas. Del mismo modo, la demanda en calefacción aumenta, mientras que la de refrigeración disminuye. (Fig. 111)

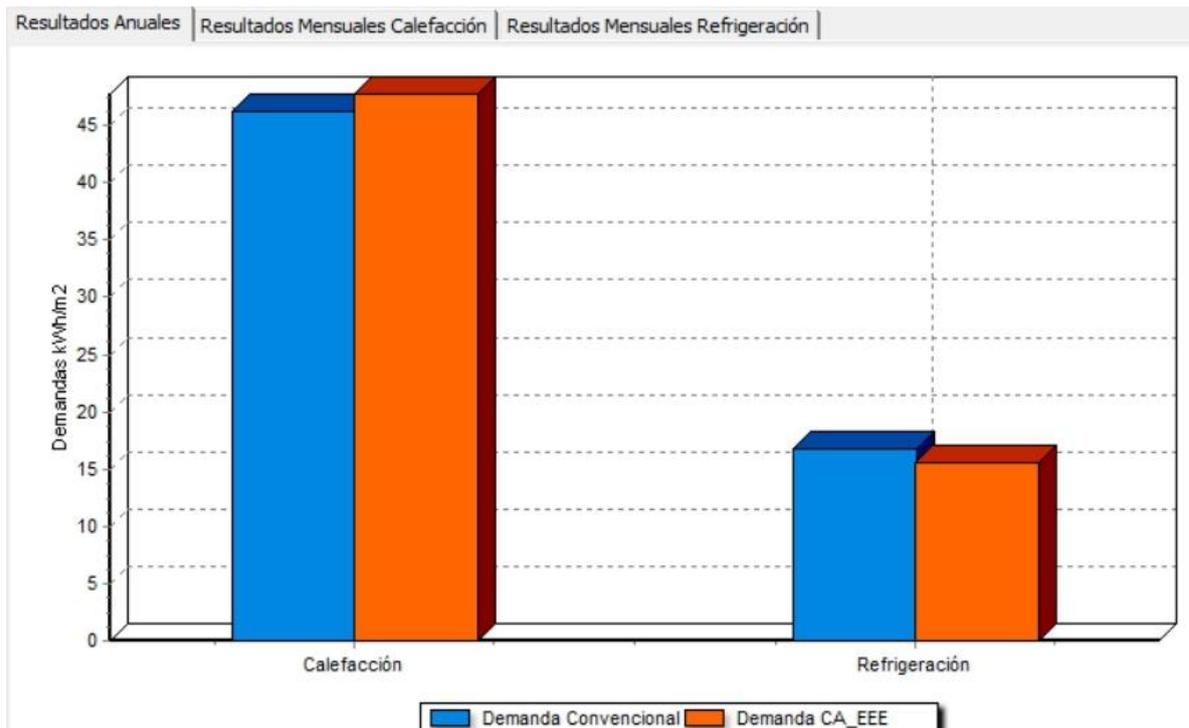


Figura 111. Resultados anuales demanda simulación 4. Fuente: Elaboración propia

Mensualmente, la variación de la demandas sigue siendo muy similar todos los meses (Fig.112) , siendo de nuevo diciembre y enero los meses con mayor demanda de calefacción y julio y agosto los meses con mayor demanda de refrigeración (Fig. 113).

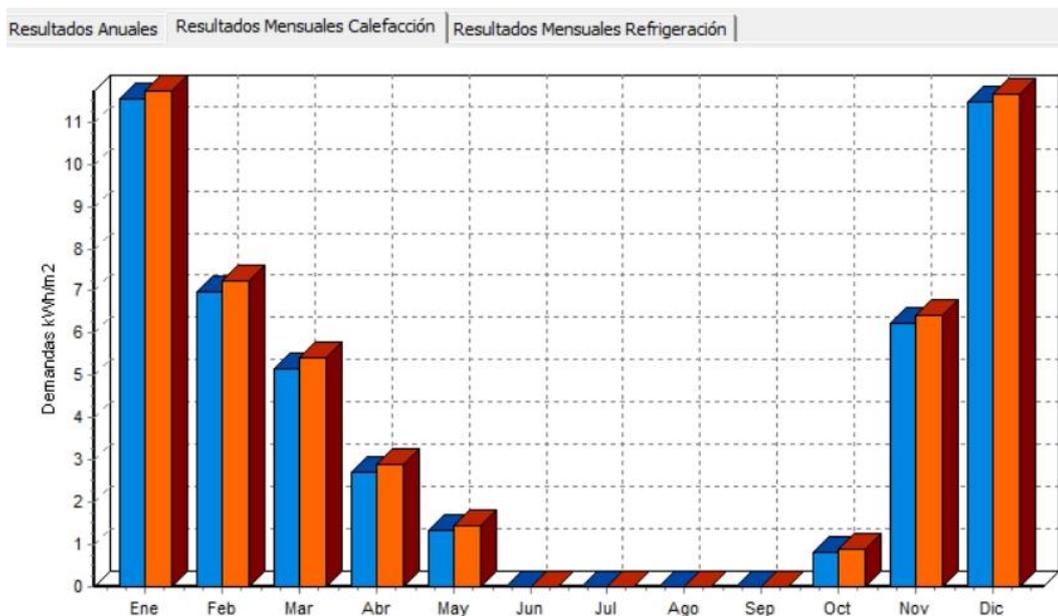


Figura 112. Resultados mensuales calefacción simulación 4. Fuente: Elaboración propia

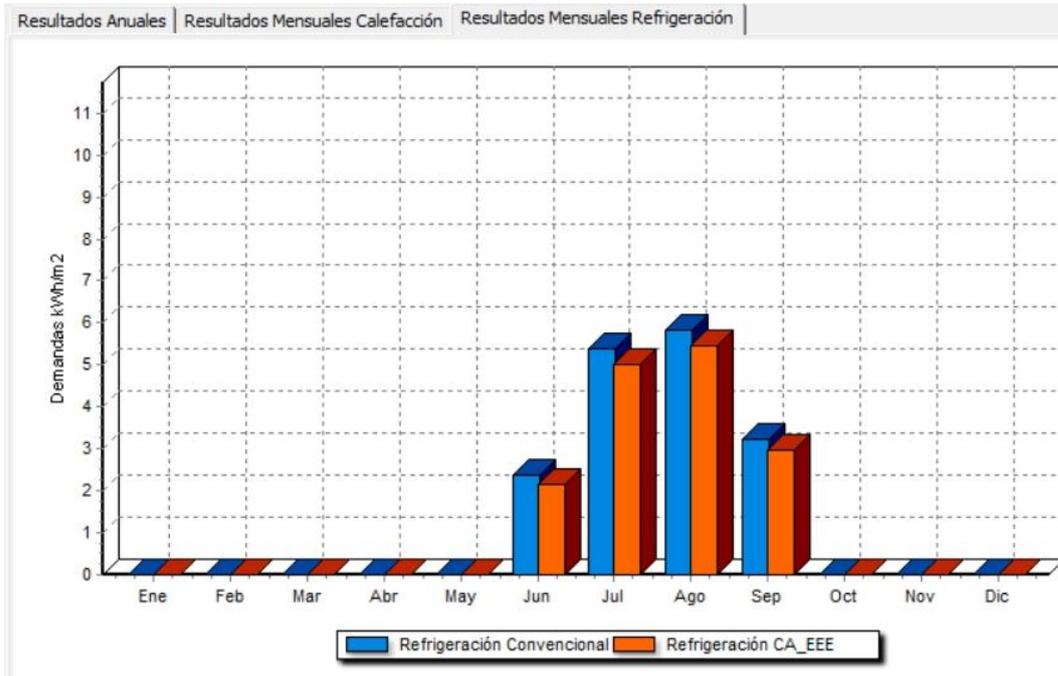


Figura 113. Resultados mensuales refrigeración simulación 4. Fuente: Elaboración propia

En los resultados del HEI (Fig. 114), se observa el incremento de ambas demandas respecto a las simulaciones anteriores. La demanda de refrigeración apenas ha incrementado su valor, pero el valor de la demanda de calefacción ha aumentado en mayor medida.

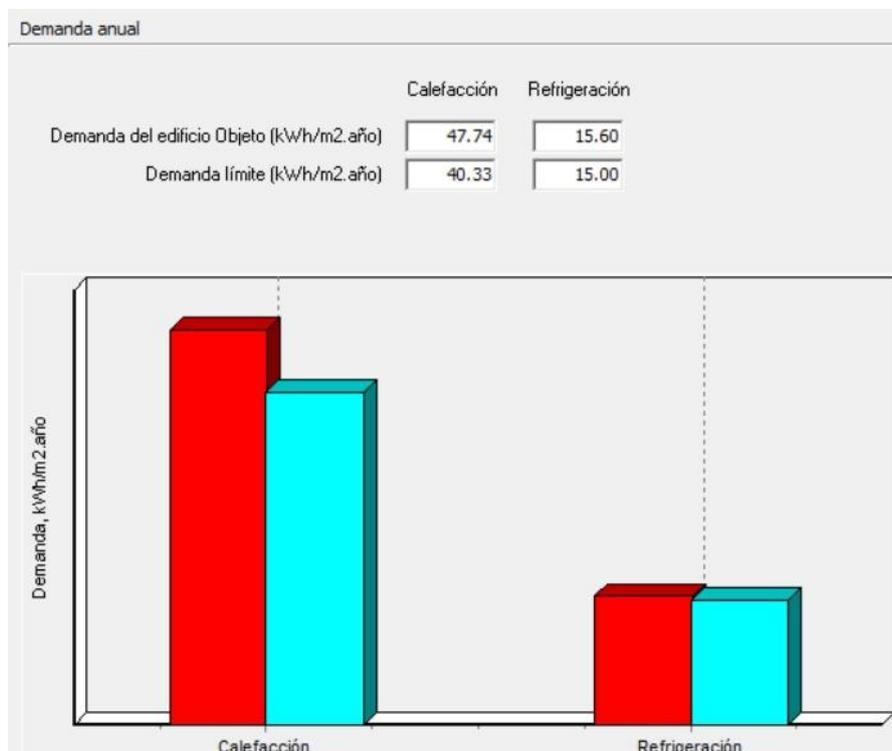


Figura 114. Resultados HEI Simulación 4. Fuente: Elaboración propia

## 10.2. COMPARATIVA SIMULACIONES FACHADA VENTILADA SEGÚN ABSORTIVIDAD HOJA EXTERIOR

En primer lugar, se muestra una tabla resumen (Tabla 5) de los resultados de las demandas, tanto calefacción como refrigeración de las simulaciones con la aplicación de fachada ventilada según la absortividad de la hora exterior y los valores de la demanda del Edificio Objeto. Al modificar la absortividad de media a alta, se produce un aumento mínimo de la demanda de calefacción, al contrario que la demanda de refrigeración que sufre una ligera disminución. Por otro lado, si se escoge una absortividad alta, la demanda de calefacción disminuye muy ligeramente y la demanda de refrigeración disminuye.

	Edificio Sim 4 Abs media	Abs baja	Abs alta
Demanda calefacción	47.74	47.86	47.59
Demanda refrigeración	15.60	15.48	15.73

Tabla 5. Resultados simulaciones fachada ventilada según absortividades. Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se muestran los resultados de cada una de las simulaciones realizadas modificando la absortividad de la hoja exterior de la fachada ventilada.

- Simulación 5. Simulación 4 con modificación de absortividad de hoja exterior (absortividad baja)

En esta simulación, se ha modificado la absortividad de la hoja exterior de la fachada ventilada, de una absortividad media a una baja, y se ha usado como punto de referencia la simulación 4 (fachada ventilada en todas las fachadas de las cuatro orientaciones). En la Figura 115, se observa que los resultados de las demandas tanto de calefacción como de refrigeración son prácticamente los mismos que los de la simulación 4, con variaciones muy leves.

Mensualmente, la variación de la demandas sigue siendo muy similar todos los meses (Fig.116). Diciembre y enero son los meses con mayor demanda de calefacción y julio y agosto los meses con mayor demanda de refrigeración (Fig. 117).

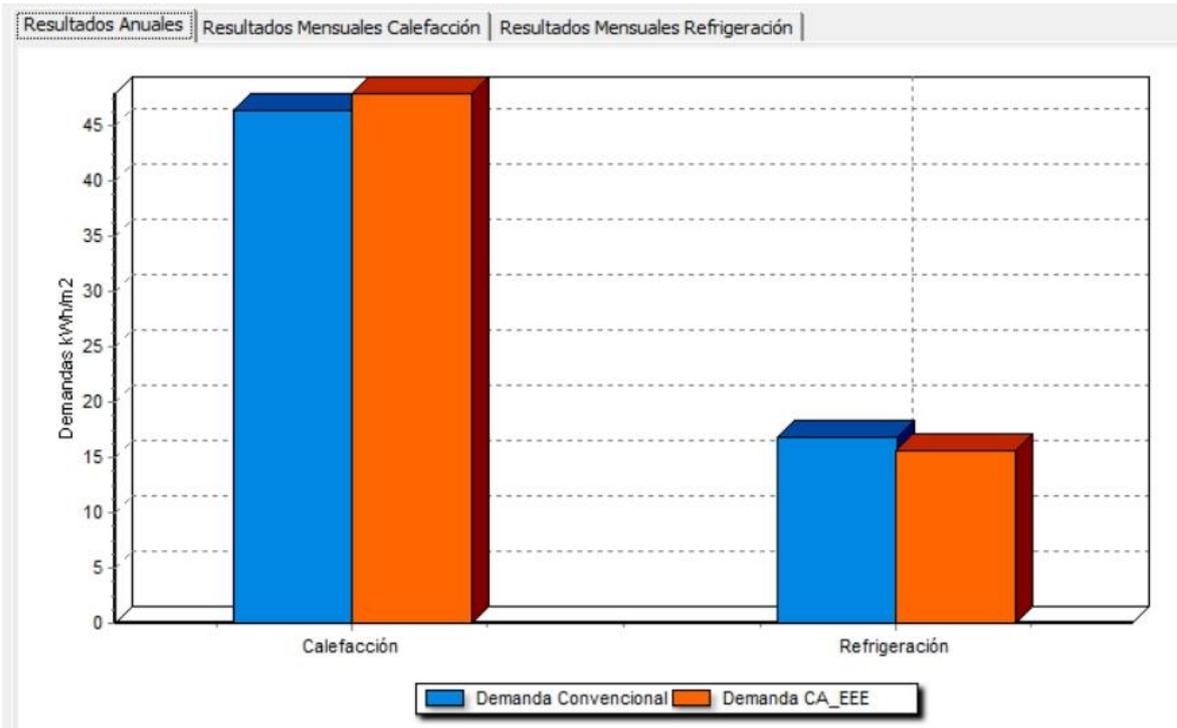


Figura 115. Resultados anuales demanda simulación 5. Fuente: Elaboración propia

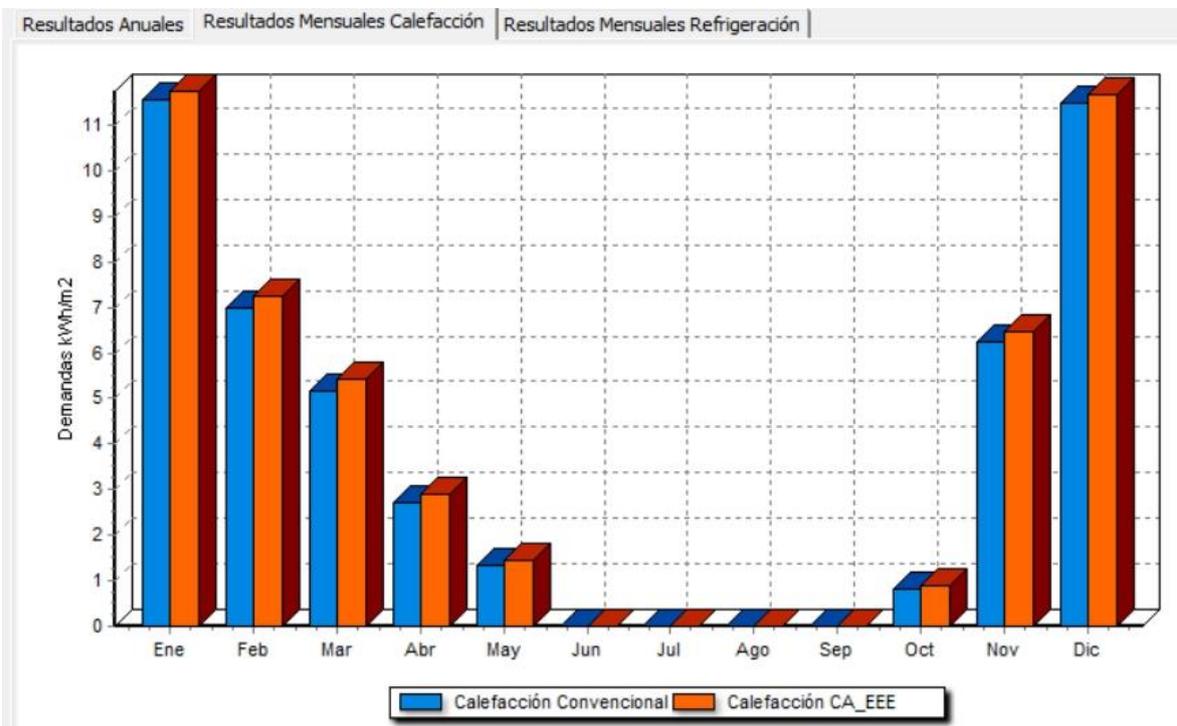


Figura 116. Resultados mensuales calefacción simulación 5. Fuente: Elaboración propia

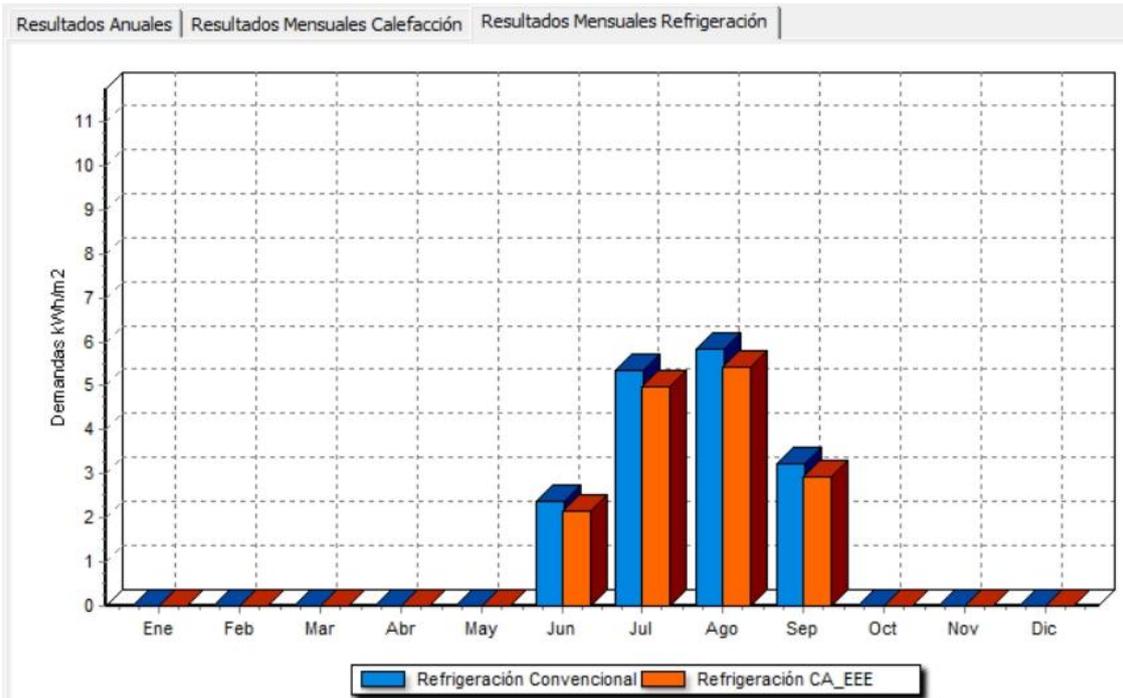


Figura 117. Resultados mensuales refrigeración simulación 5. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los resultados del cumplimiento del CTE, se muestran unos valores muy similares a los de la simulación 4. (Fig. 118)

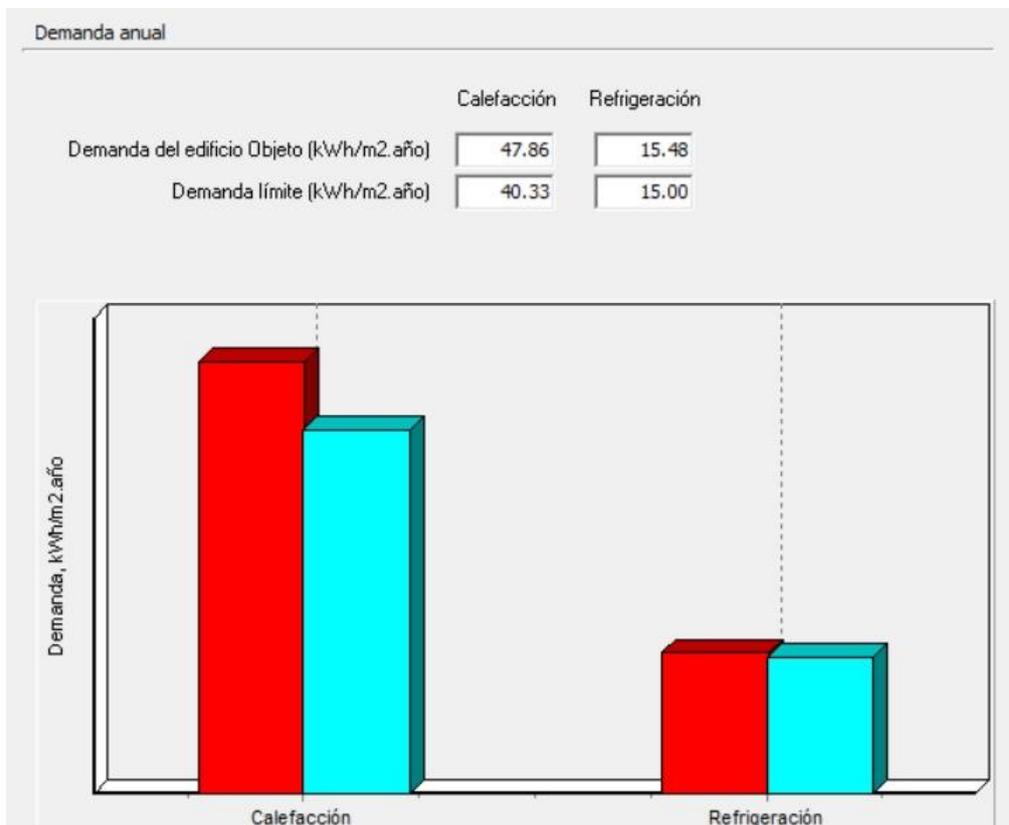


Figura 118. Resultados HE1 Simulación 5. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 6. Simulación 4 con modificación de absorptividad de hoja exterior (absortividad alta)

En esta simulación, donde se modifica la absorptividad de media a alta, al igual que en la simulación anterior, los resultados anuales de demanda, muestran unos valores similares a los de la anterior simulación. La demanda de calefacción de la simulación es mayor que la convencional, y por el contrario, la demanda de refrigeración es algo inferior que la demanda convencional. (Fig. 119)

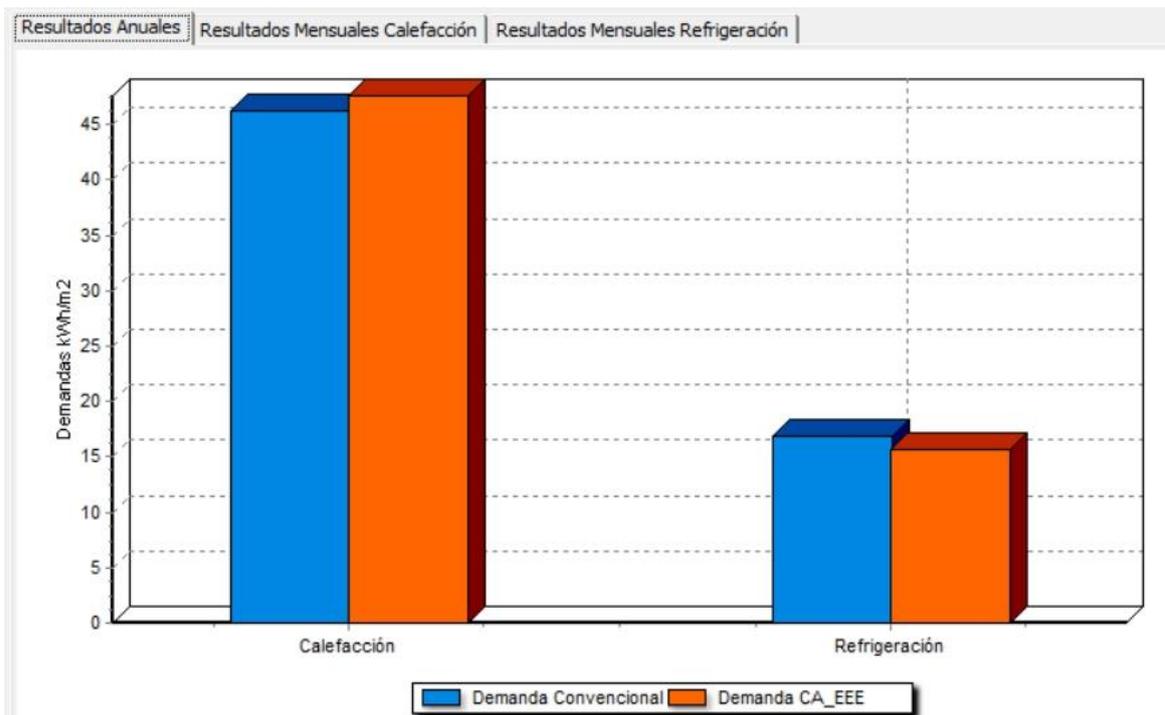


Figura 119. Resultados anuales demanda simulación 6. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en cuanto a los resultados mensuales de calefacción (Fig. 120), destacan los valores de diciembre y enero, los cuales son más elevados que el resto de meses. Y en los resultados mensuales de refrigeración (Fig. 121) destacan los valores de julio y agosto por ser superiores al resto de meses de verano. Además, en los resultados del CTE (Fig. 122), aparecen unos valores muy similares a los de la anterior simulación.

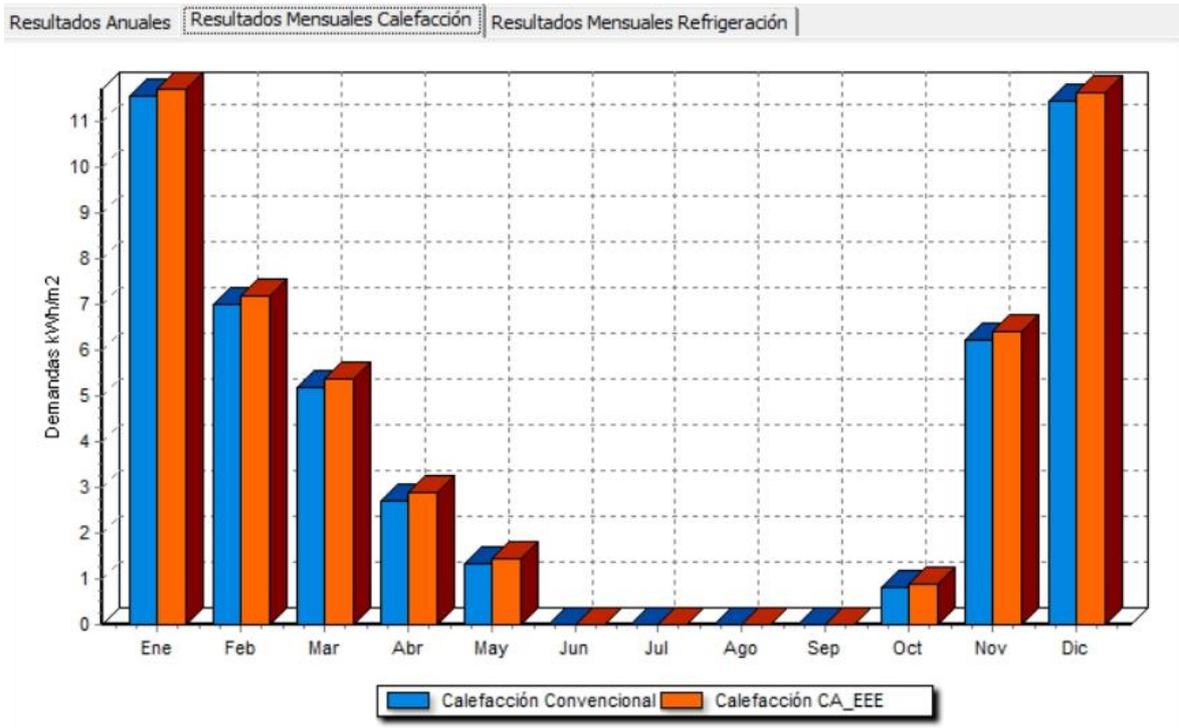


Figura 120. Resultados mensuales calefacción simulación 6. Fuente: Elaboración propia

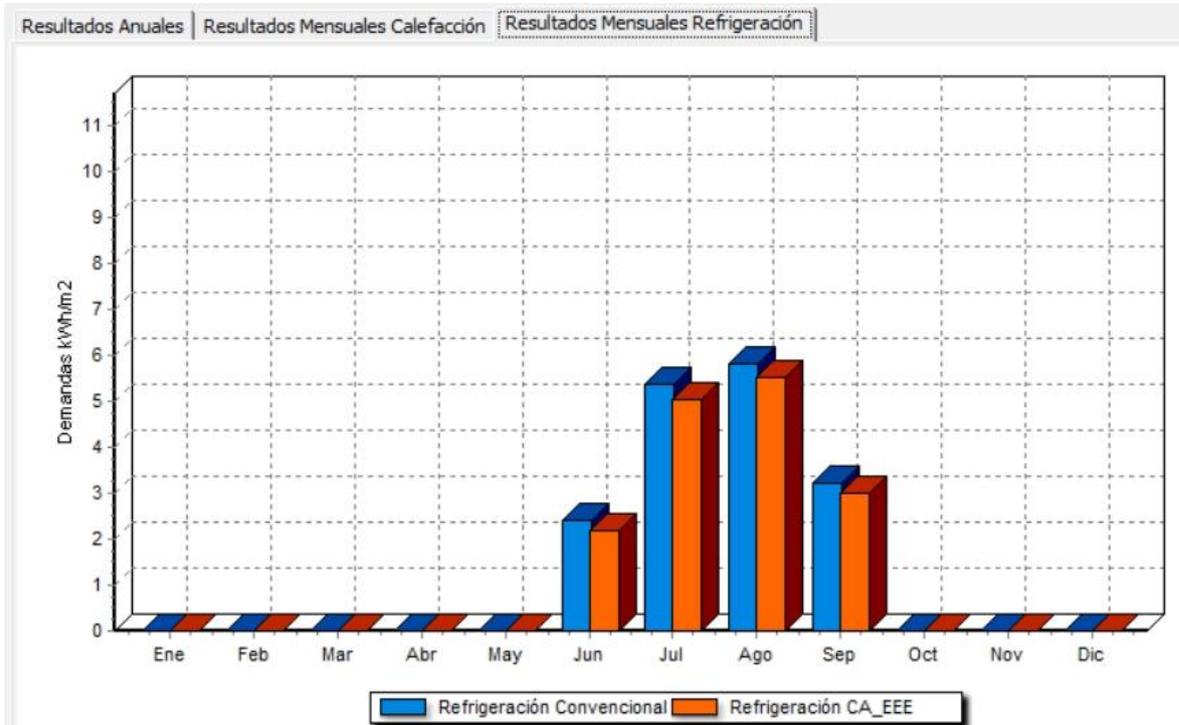


Figura 121. Resultados mensuales refrigeración simulación 6. Fuente: Elaboración propia

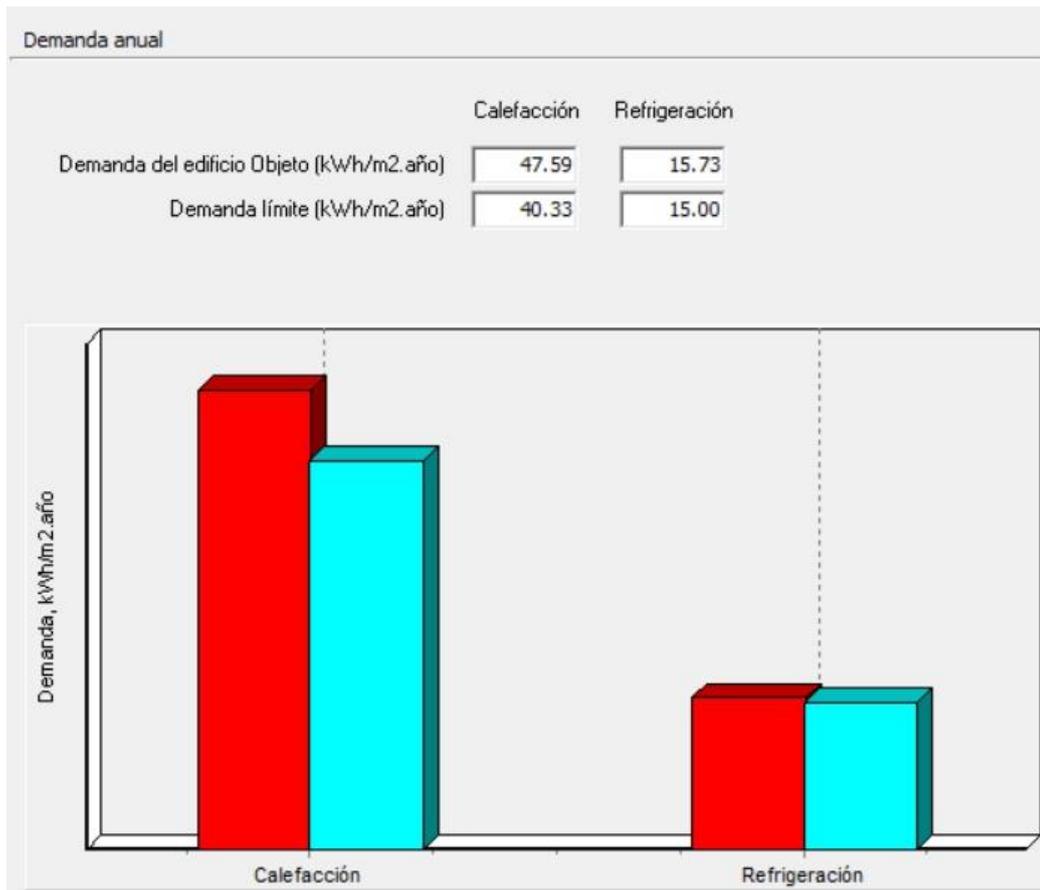


Figura 122. Resultados HEI Simulación 6. Fuente: Elaboración propia

### 10.3. COMPARATIVA SIMULACIONES FACHADA VENTILADA SEGÚN ESPESOR CÁMARA DE AIRE

Primeramente, en la tabla resumen (Tabla 6) aparecen los resultados de las demandas, de las simulaciones con la aplicación de fachada ventilada modificando el espesor de la cámara de aire. Si se amplía la cámara a 5 cm, en vez de los 3 cm iniciales, no se produce ninguna variación en las demandas. Si se aumenta a 10 cm, los valores de la demanda no varían.

	Ed. Sim 4: cámara 3 cm	cámara 5 cm	cámara 10 cm
<b>Demanda calefacción</b>	47.74	47.74	47.74
<b>Demanda refrigeración</b>	15.60	15.60	15.60

Tabla 6. Resultados simulaciones fachada ventilada según espesor cámara. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 7. Simulación 4 cambiando cámara aire a 5 cm

En esta simulación, donde la cámara se ha aumentado a 5 cm de espesor, no ha habido ninguna variación en los valores de las gráficas de demandas de energía, por lo que no se han adjuntado las gráficas de estas simulaciones al ser las mismas que la simulación 4.

- Simulación 8. Simulación 4 cambiando cámara aire a 10 cm

Del mismo modo, al aumentar la cámara a 10 cm sigue sin haber una variación en los valores de demandas de energía, ni en calefacción ni en refrigeración, por lo que no se han mostrado las gráficas de estas simulaciones al ser iguales que la simulación 4.

## 10.4. COMPARATIVA SIMULACIONES FACHADA VENTILADA CON SUPRESIÓN DE AISLANTE TÉRMICO

En esta comparativa, se han realizado simulaciones de fachada ventilada suprimiendo el aislante térmico de la misma y modificando la zona climática, con el objetivo de ver cómo afecta una fachada ventilada a edificios en distintas zonas climáticas, sin que influya el poder del aislante. Para ello, posteriormente a eliminar el aislante del edificio, se han comparado los valores de demanda con la fachada convencional frente a ese edificio con fachada ventilada en todas sus orientaciones. En la Tabla 7, se muestran los valores de demanda de calefacción y refrigeración, tanto los de la fachada convencional como los de la fachada ventilada, además de un porcentaje con la variación de la demanda.

En la zona D3, al aplicar la fachada ventilada se produce un incremento del 7.80 % en la demanda de calefacción y una reducción del 16.58% en la demanda de refrigeración. En la zona A4, la fachada ventilada provoca que la demanda de calefacción aumente un 29.58% y la de refrigeración reduce la demanda un 13.23 %. En la zona E1, aumenta la demanda de calefacción en un 6.28 %, y por el contrario, se reduce un 58.03% la demanda de refrigeración. Por tanto, la mayor variación de demanda de calefacción es en la zona A4, y la mayor variación en refrigeración se produce en la zona E1.

	Sin aislante ZC D3		Sin aislante ZC A4		Sin aislante ZC E1	
	Conv	C.Adic	Conv	C.Adic	Conv	C.Adic
<b>Demanda calefacción</b>	70.75	76.29	7.30	9.46	98.35	104.53
<b>Variación demanda calefacción (%)</b>	-	7.80%	-	29.58%	-	6.28%
<b>Demanda refrigeración</b>	14.83	12.37	23.50	20.39	1.12	0.65
<b>Variación demanda refrigeración (%)</b>	-	-16.58%	-	-13.23%	-	-58.03%

Tabla 7. Resultados simulaciones fachada ventilada sin aislante. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 9. Simulación 4 con supresión del aislante en fachadas

En esta simulación se ha eliminado el aislante térmico de todas las fachadas ventiladas. Si se compara la demanda convencional con la de la fachada ventilada, en calefacción se produce un aumento de la demanda y en refrigeración se reduce. (Fig. 123).

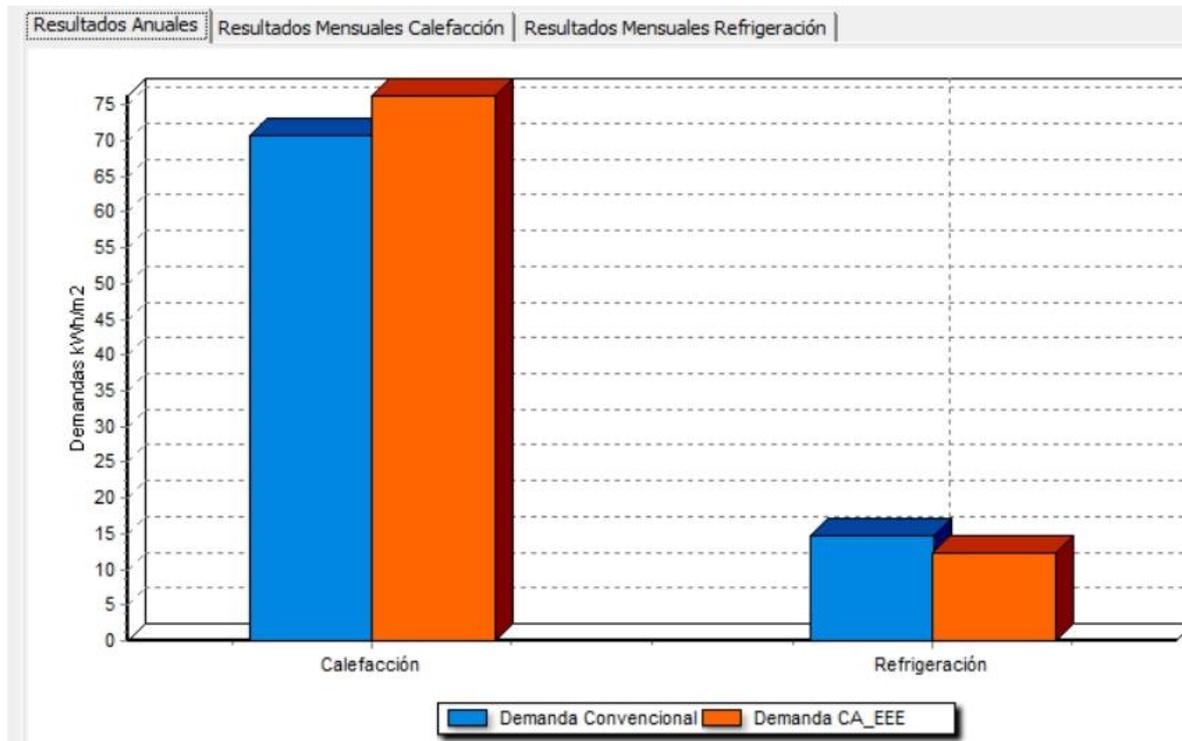


Figura 123. Resultados anuales demanda simulación 9. Fuente: Elaboración propia

En los resultados mensuales de calefacción (Fig. 124), la variación entre ambas demandas es muy parecida durante todos los meses, y los meses de diciembre y enero son los meses con mayor demanda de calefacción. Respecto a la demanda de refrigeración mensual (Fig. 125) las variaciones entre las demandas son similares en todos los meses de verano, y julio y agosto son los meses con mayor demanda de refrigeración.

Los resultados de las demandas del cumplimiento del CTE (Fig. 126), muestran el gran aumento de la demanda de calefacción respecto a los valores del CTE, y en refrigeración se reduce el valor.

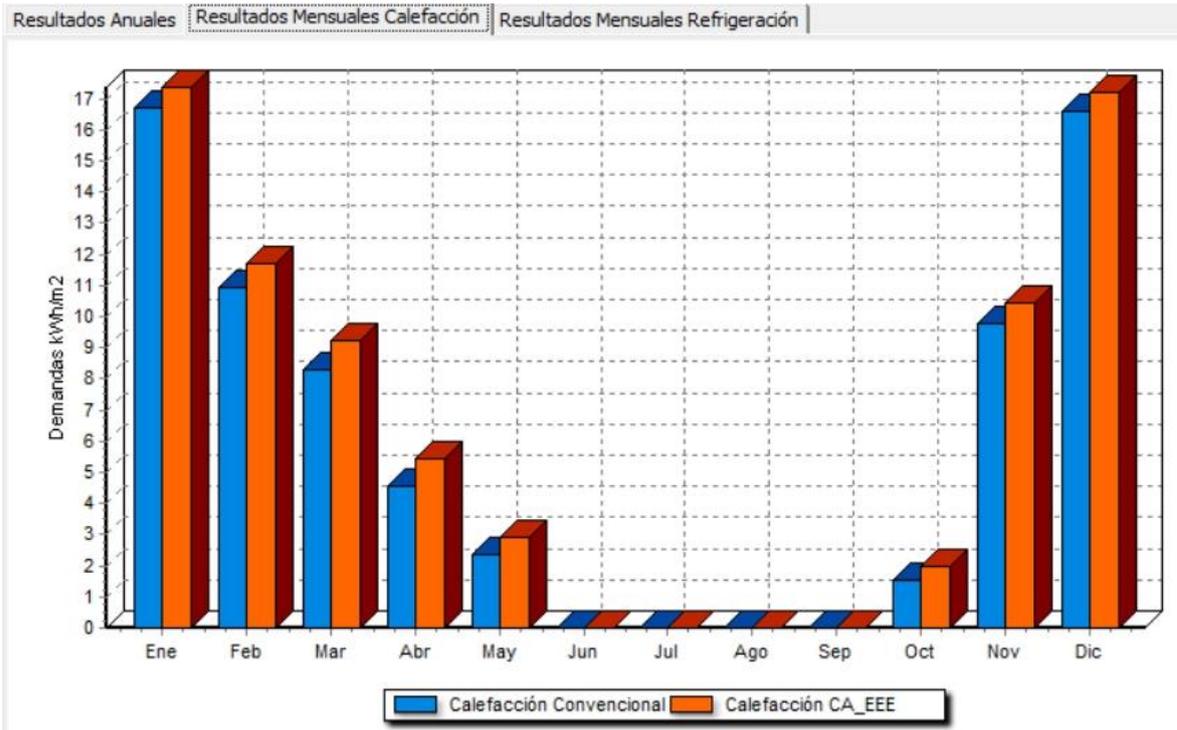


Figura 124. Resultados mensuales calefacción simulación 9. Fuente: Elaboración propia

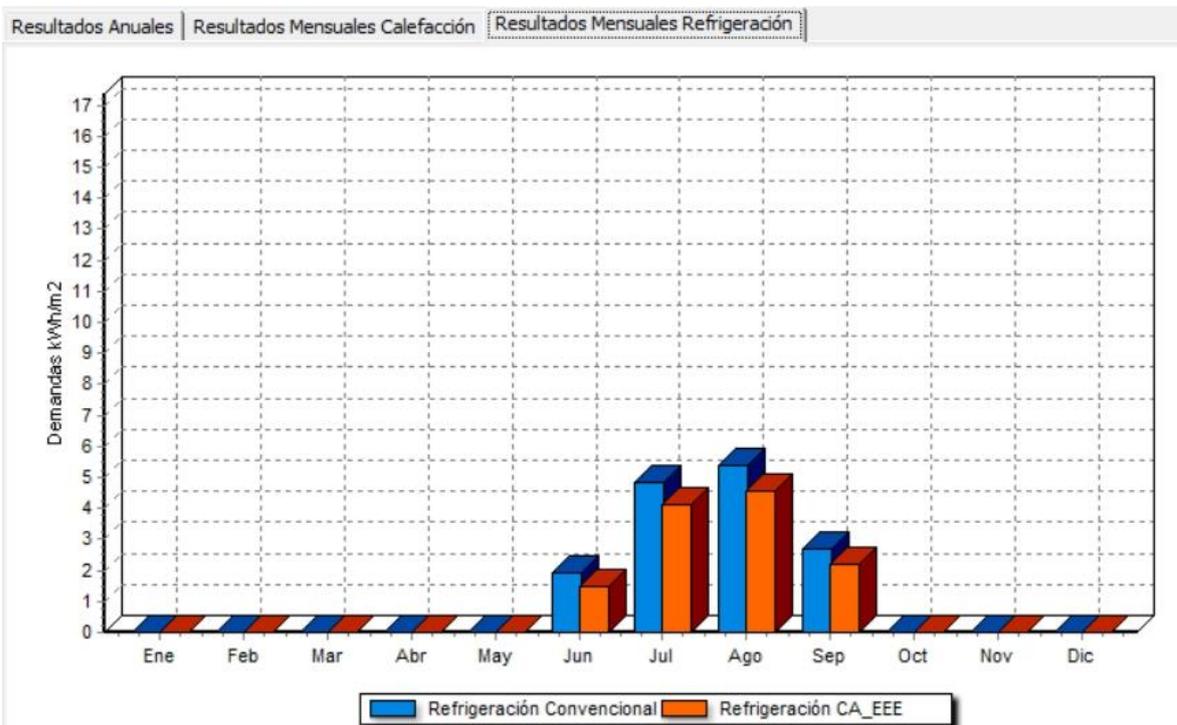


Figura 125. Resultados mensuales refrigeración simulación 9. Fuente: Elaboración propia

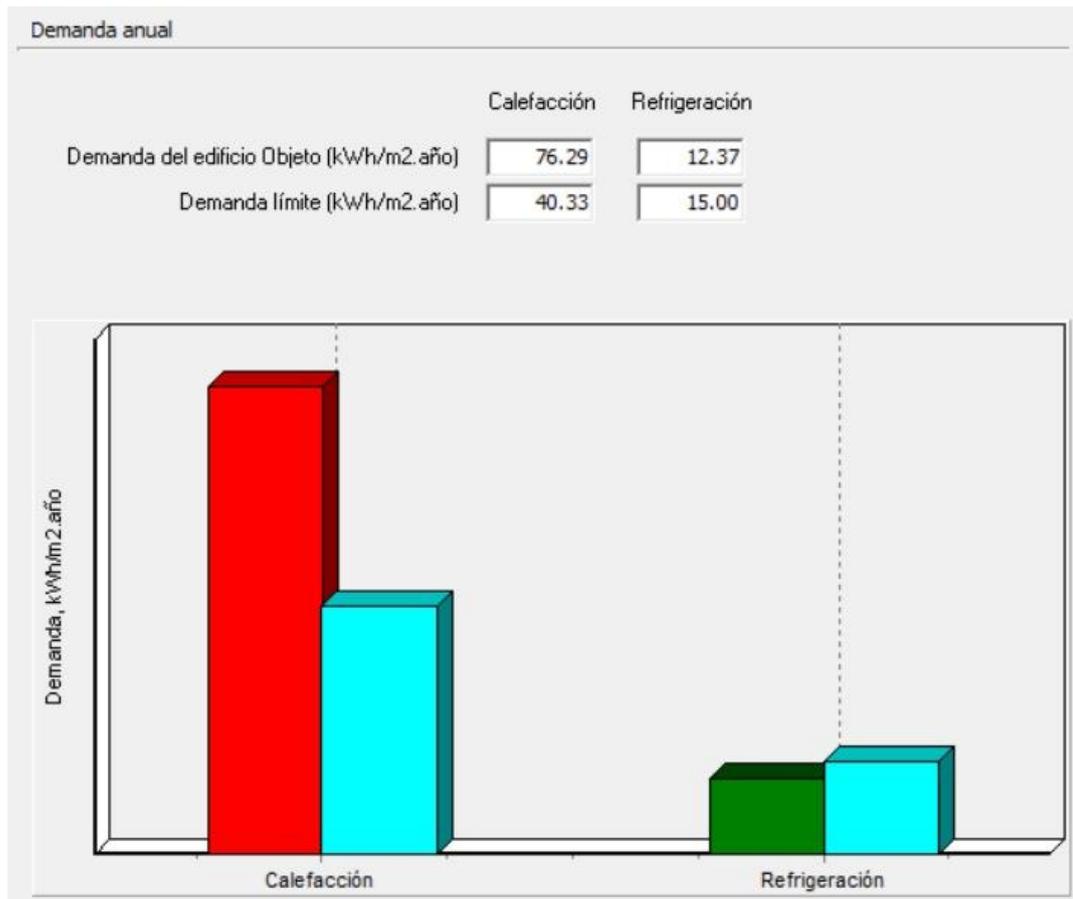


Figura 126. Resultados HEI Simulación 9. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 10. Simulación 4 con supresión del aislante en fachadas y modificación de la zona climática (A4)

En esta simulación se ha eliminado el aislante de todas las fachadas y se ha cambiado de ubicación el edificio, de la zona D3, Madrid a una zona A4, Almería. La demanda de las fachadas ventiladas con respecto a la demanda convencional, en calefacción aumenta y en refrigeración se reduce. (Fig. 127)

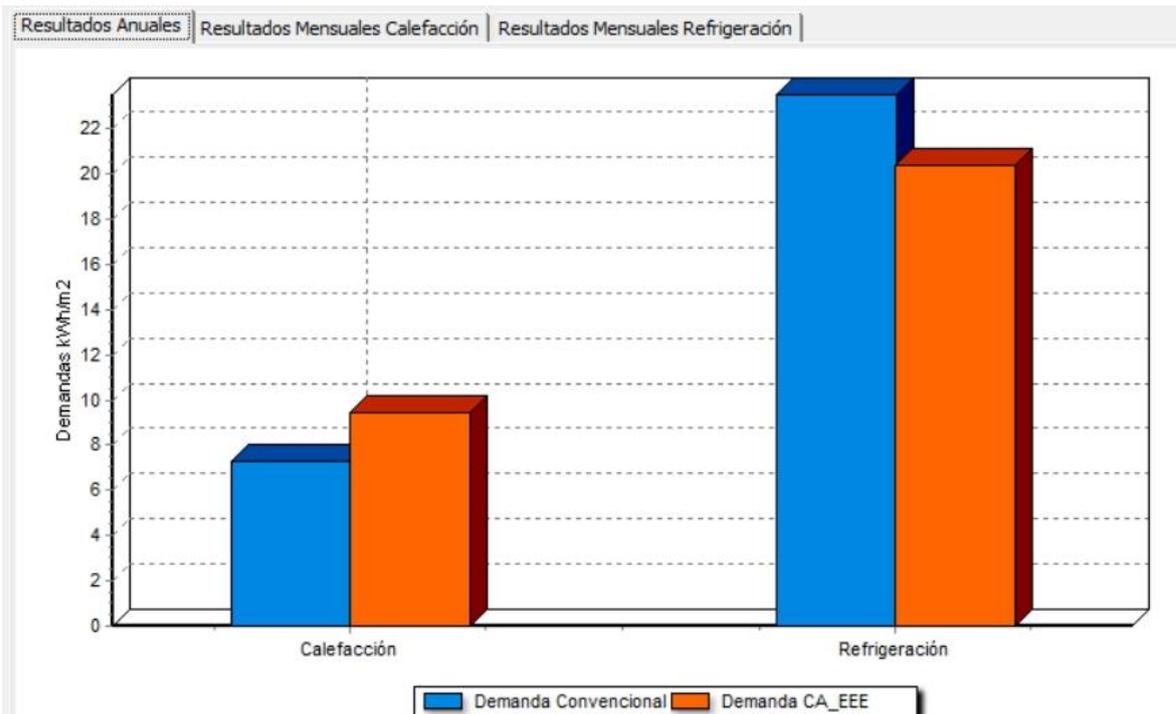


Figura 127. Resultados anuales demanda simulación 10. Fuente: Elaboración propia

Respecto a la demanda mensual de calefacción, la demanda con la fachada ventilada es mayor en todos los meses, con una variación similar en todos ellos. Los meses de enero, febrero y diciembre son los que mayor demanda de calefacción necesitan. (Fig.128). Por otro lado, en cuanto a la refrigeración, en todos los meses hay una variación similar de la demanda, siendo menor la demanda con la fachada ventilada. Los meses de julio y agosto registran los valores mayores de demanda. (Fig. 129)

Por último, respecto a los valores de la demanda del cumplimiento del CTE (Fig. 130), se aprecia la elevada reducción de la demanda de calefacción, y el aumento de la demanda de refrigeración.

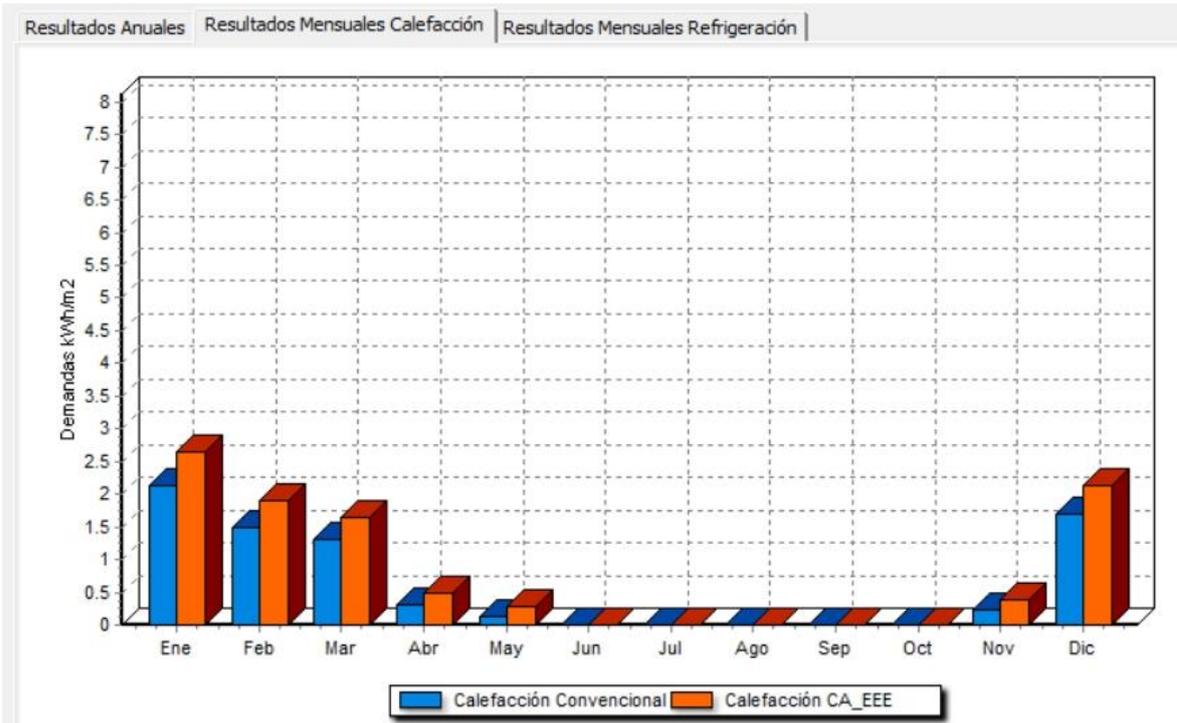


Figura 128. Resultados mensuales calefacción simulación 10. Fuente: Elaboración propia

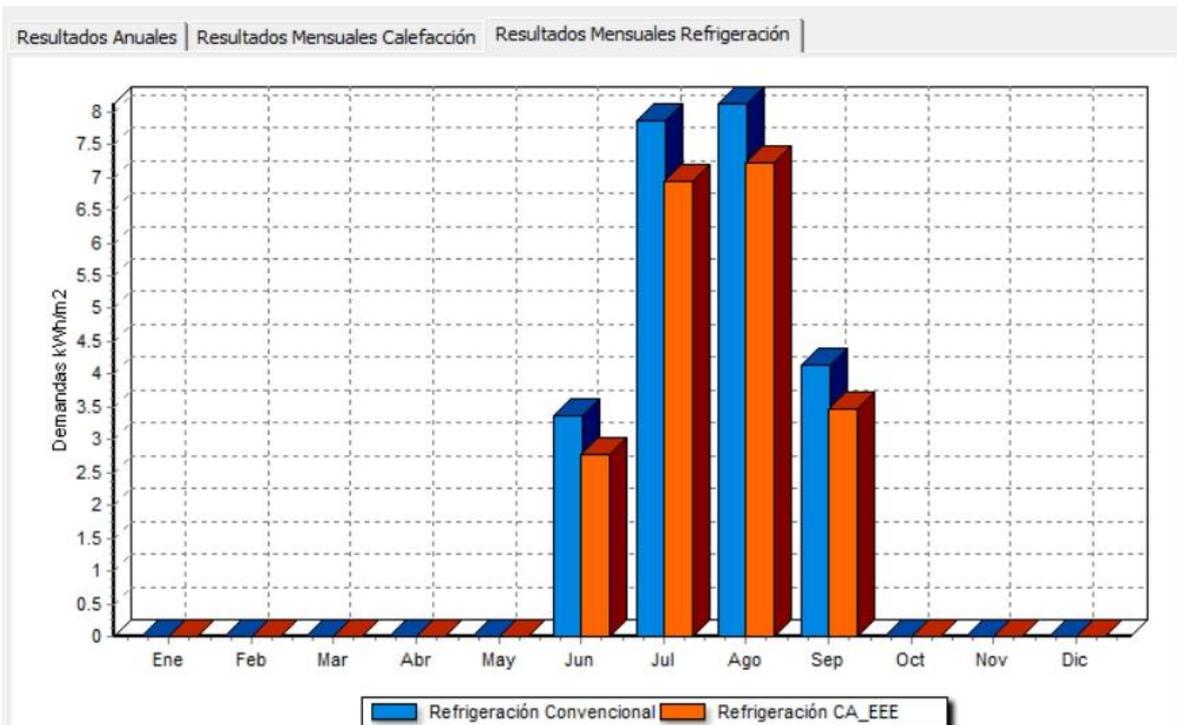


Figura 129. Resultados mensuales refrigeración simulación 10. Fuente: Elaboración propia

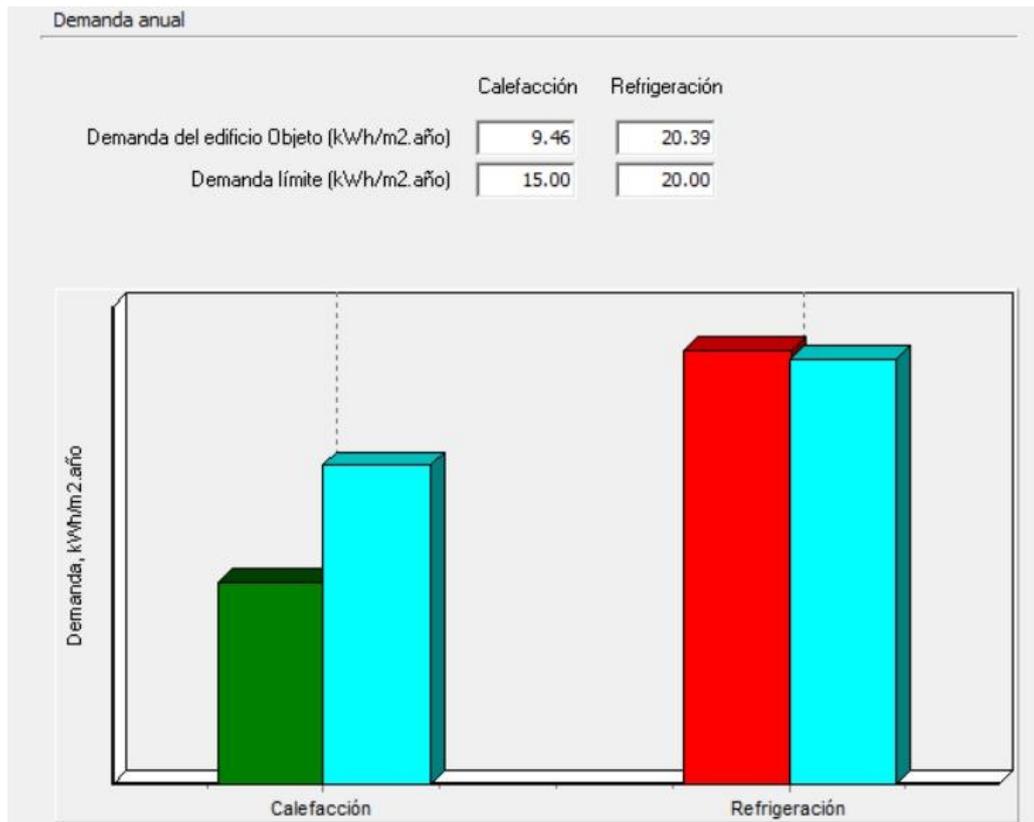


Figura 130. Resultados HE1 Simulación 10. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 11. Simulación 4 con supresión del aislante en fachadas y modificación de la zona climática (E1)

En esta simulación, en cuanto a calefacción es mayor la demanda con fachada ventilada. En cambio, en refrigeración, ambas demandas son mínimas, casi imperceptibles, pero la demanda de fachada ventilada es algo más pequeña. (Fig. 131).

En la calefacción dividida por meses, los meses más fríos, enero, febrero y diciembre, presentan unos valores de demanda de calefacción elevados, y el resto de meses es más suave esa demanda. (Fig. 132). Al contrario, en los meses de verano, no hay apenas demanda de refrigeración, sólo en julio y agosto hay una demanda muy leve de la misma. (Fig. 133)

Respecto a los valores de las demandas del CTE, se muestra una gran demanda de calefacción y la reducida, casi inexistente, demanda de refrigeración. (Fig. 134)

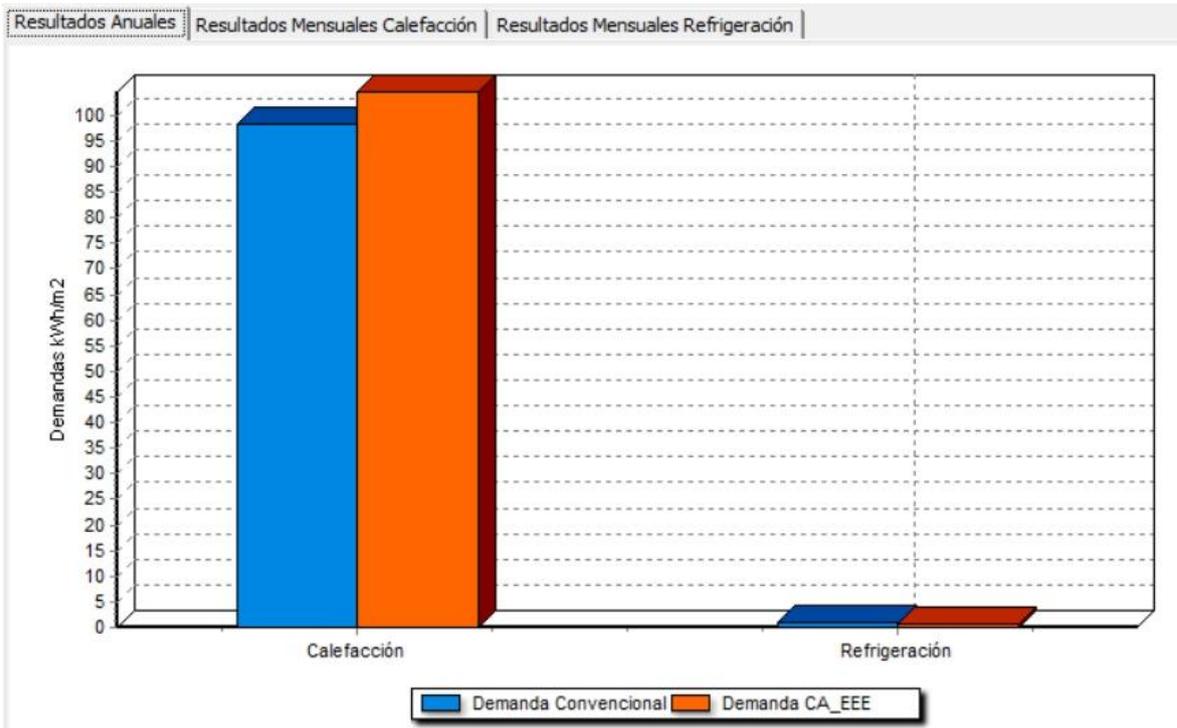


Figura 131. Resultados anuales demanda simulación 11. Fuente: Elaboración propia

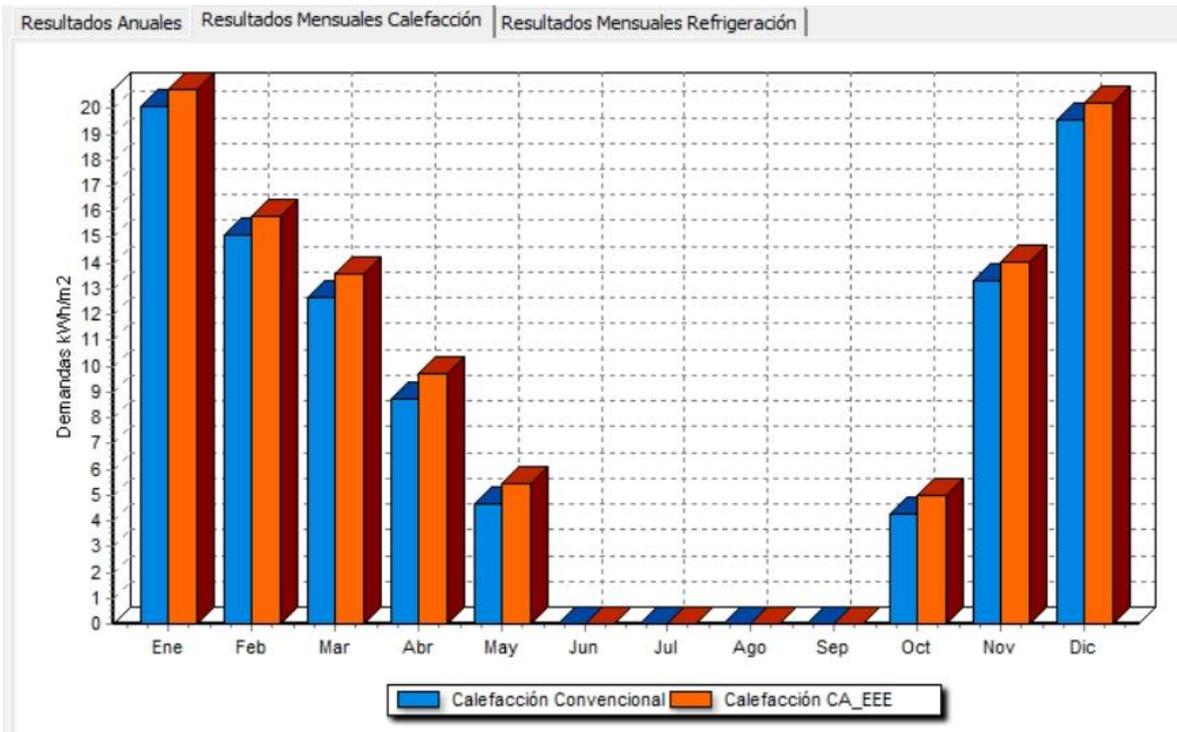


Figura 132. Resultados mensuales calefacción simulación 11. Fuente: Elaboración propia

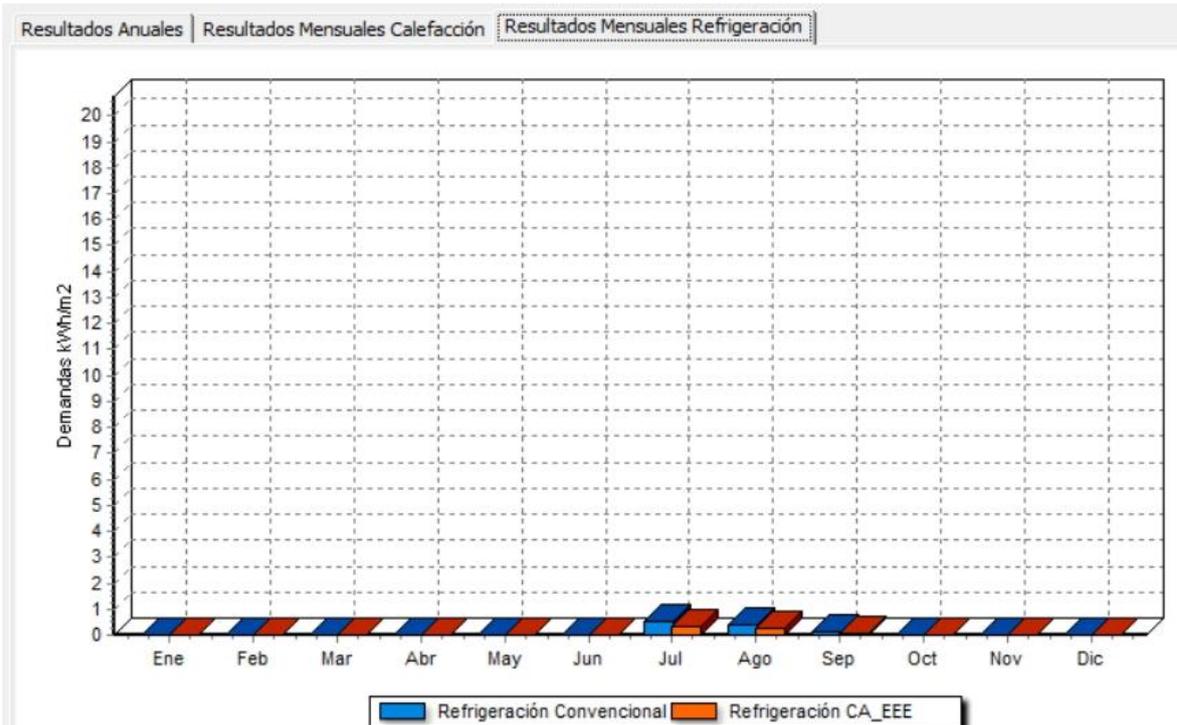


Figura 133. Resultados mensuales refrigeración simulación 11. Fuente: Elaboración propia

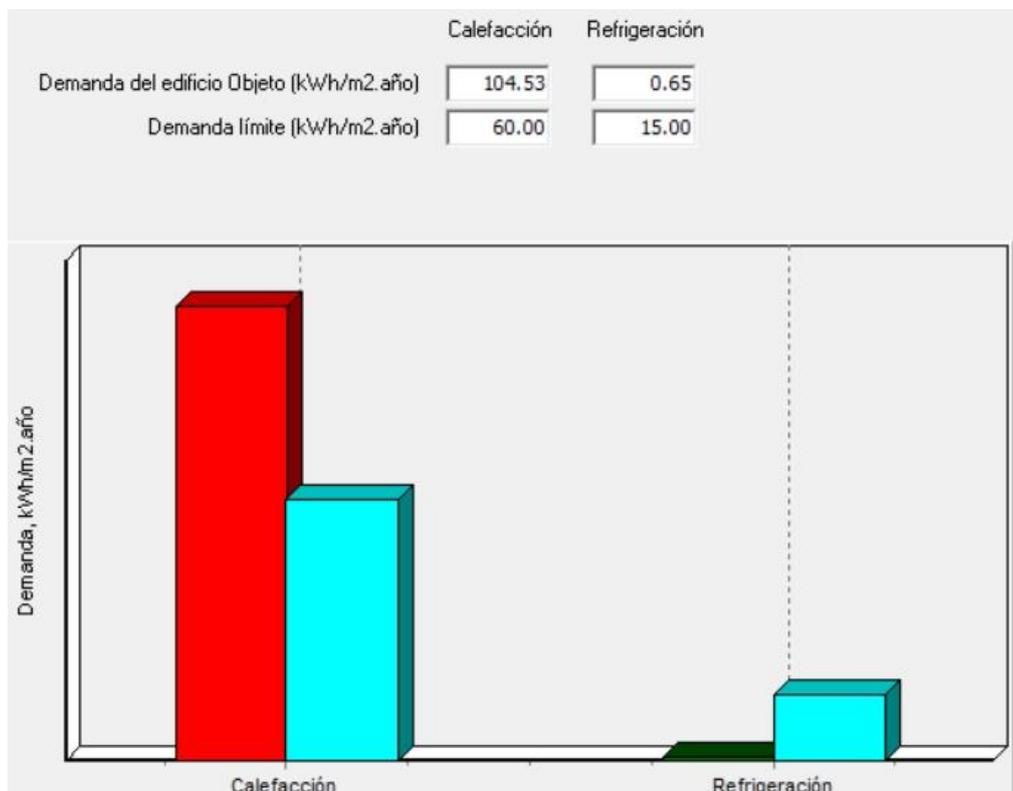


Figura 134. Resultados HE1 Simulación 11. Fuente: Elaboración propia

## 10.5. COMPARATIVA SIMULACIONES MURO SOLAR

En la tabla 8, se muestran los valores de demanda de calefacción y refrigeración de un edificio con un Muro Solar instalado en parte de su fachada sur. En cuanto al edificio objeto, como se ha comentado en el apartado 9 del presente proyecto, es uno distinto al que se ha tomado como referencia para el resto de simulaciones, puesto que en la planta primera de la fachada sur, se han eliminado las ventanas para aplicar el Muro Solar. Por tanto, si se comparan los valores de la tabla, en calefacción se produce una reducción de la demanda considerable y en refrigeración sólo se aumenta ligeramente con respecto al edificio inicial. Cabe destacar que no existe una variación entre las demandas si se deja la cámara de aire abierta o cerrada.

	Edificio objeto	Muro solar F Sur cam cerrada	Muro solar F Sur cam abierta
<b>Demanda calefacción</b>	46.23	43.38	43.38
<b>Demanda refrigeración</b>	12.91	13.92	13.92

Tabla 8. . Resultados simulaciones Muro Solar. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 12. Muro solar en planta primera fachada sur (cámara cerrada)

En la figura 135, aparecen los valores de las demandas de calefacción y refrigeración. Se aprecia la reducción en los valores de calefacción y un aumento de los de refrigeración.

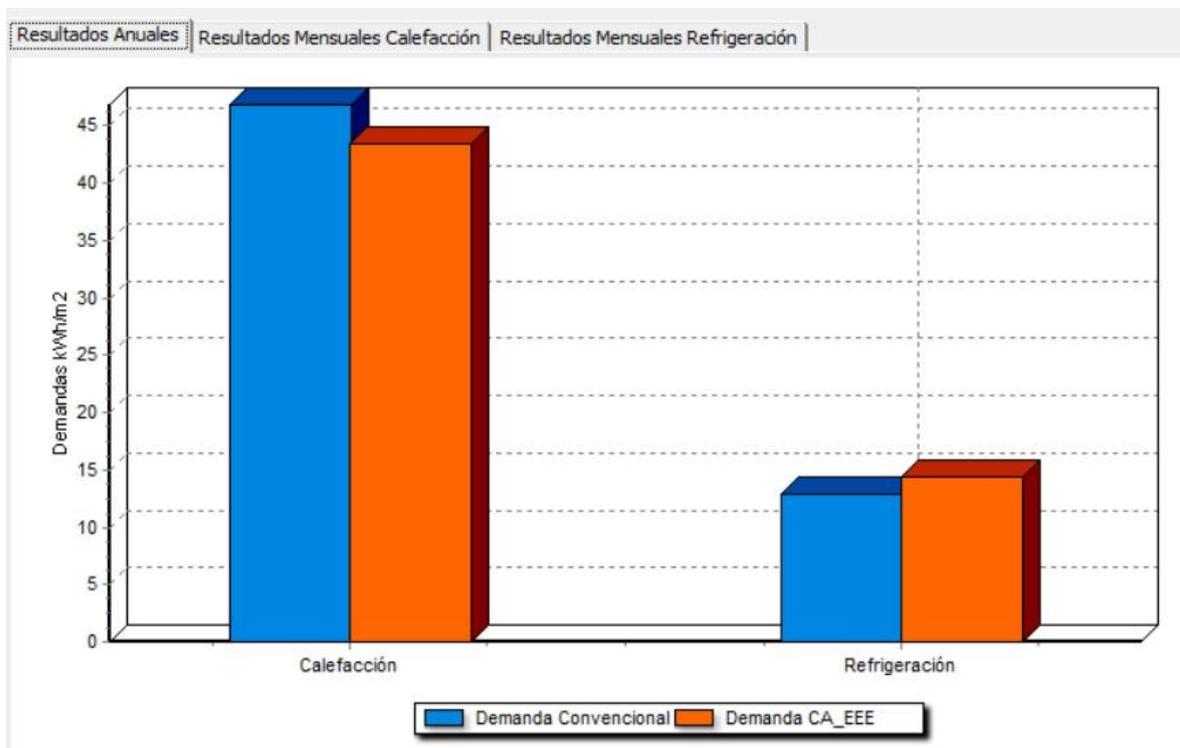


Figura 135. Resultados anuales demanda simulación 12. Fuente: Elaboración propia

En los valores mensuales de calefacción, los meses con mayor demanda son enero y diciembre. (Fig. 136) y los valores de refrigeración son más elevados en julio y agosto (Fig. 137).

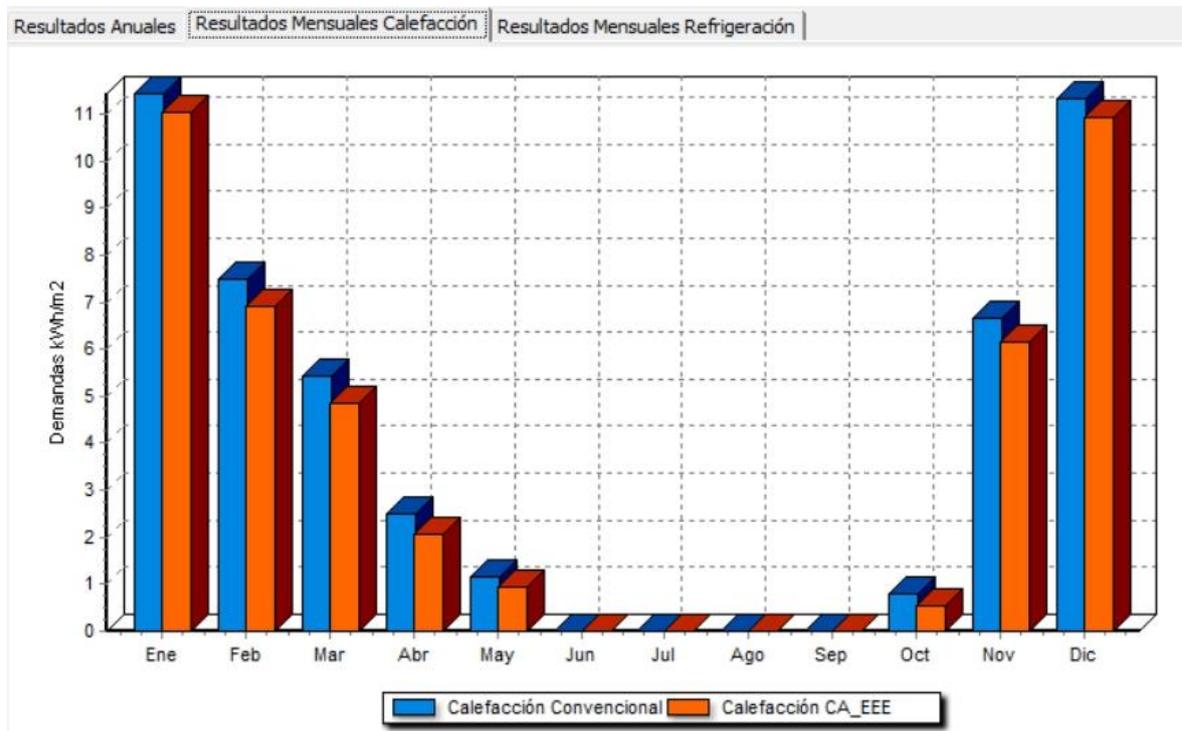


Figura 136. Resultados mensuales calefacción simulación 12. Fuente: Elaboración propia

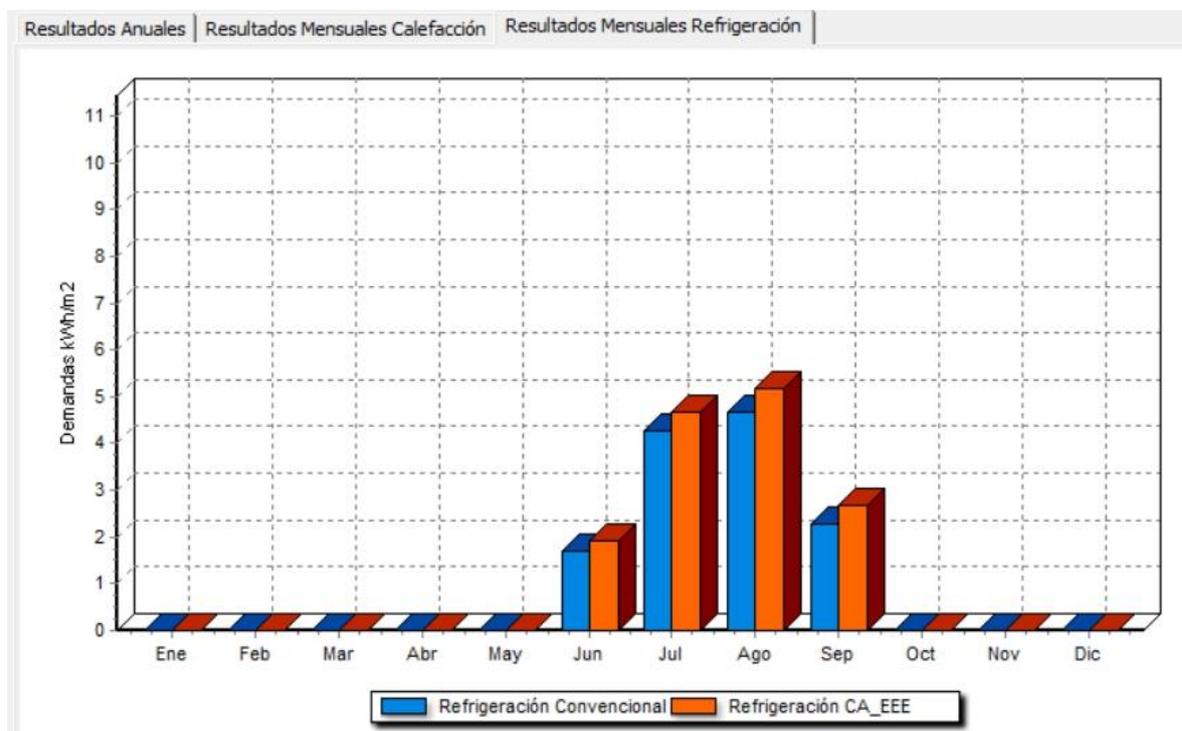


Figura 137. Resultados mensuales refrigeración simulación 12. Fuente: Elaboración propia

Por último, en cuanto a los valores del cumplimiento del CTE, se aprecia la reducción de la demanda en calefacción y el aumento de la demanda en refrigeración. (Figura 138)

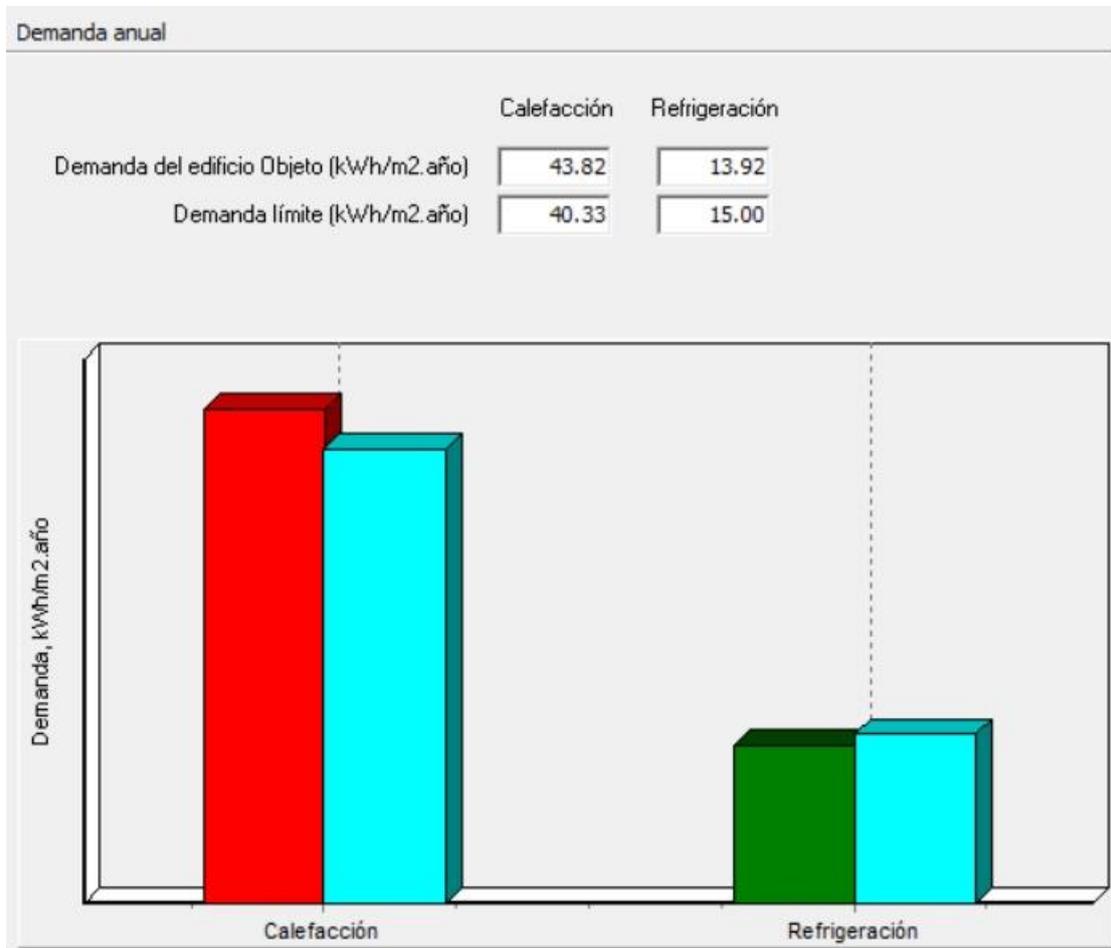


Figura 138. Resultados HE1 Simulación 12. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 13. Muro solar en planta primera fachada sur (cámara abierta)

En cuanto a los resultados del Muro solar con la cámara abierta, son exactamente los mismo que con la cámara cerrada, por lo que no se muestran las gráficas al ser las mismas.

## 10.6. COMPARATIVA SIMULACIONES MURO TROMBE

En primer lugar, en la Tabla 9, se muestran los valores de las demandas de calefacción y refrigeración del edificio objeto y del edificio con un Muro Trombe en su fachada sur. Como se ha dicho anteriormente en el proyecto, los resultados de este muro no son fiables, puesto el valor de la demanda de calefacción es totalmente irreal.

	Edificio objeto	Muro Trombe F Sur
Demanda calefacción	46.23	1979.10
Demanda refrigeración	12.91	15.12

Tabla 9. Resultados Muro Trombe. Fuente: Elaboración propia

- Simulación 14. Muro Trombe en fachada sur

Se adjuntan el resto de resultados, tanto la demanda anual (Fig. 139), como los resultados mensuales de calefacción (Fig. 140) y los resultados mensuales de refrigeración (Fig. 141). Aparece una desorbitada demanda de calefacción, mientras que la refrigeración muestra valores mucho más factibles.

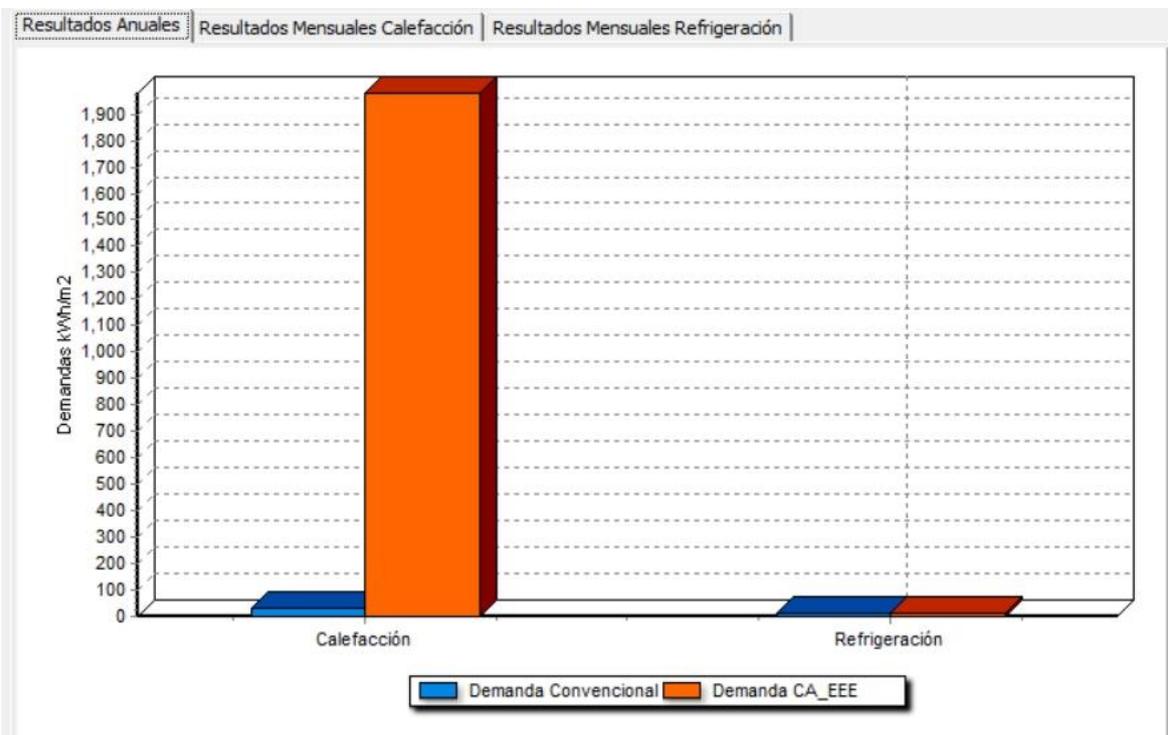


Figura 139. Resultados anuales demanda simulación 14. Fuente: Elaboración propia

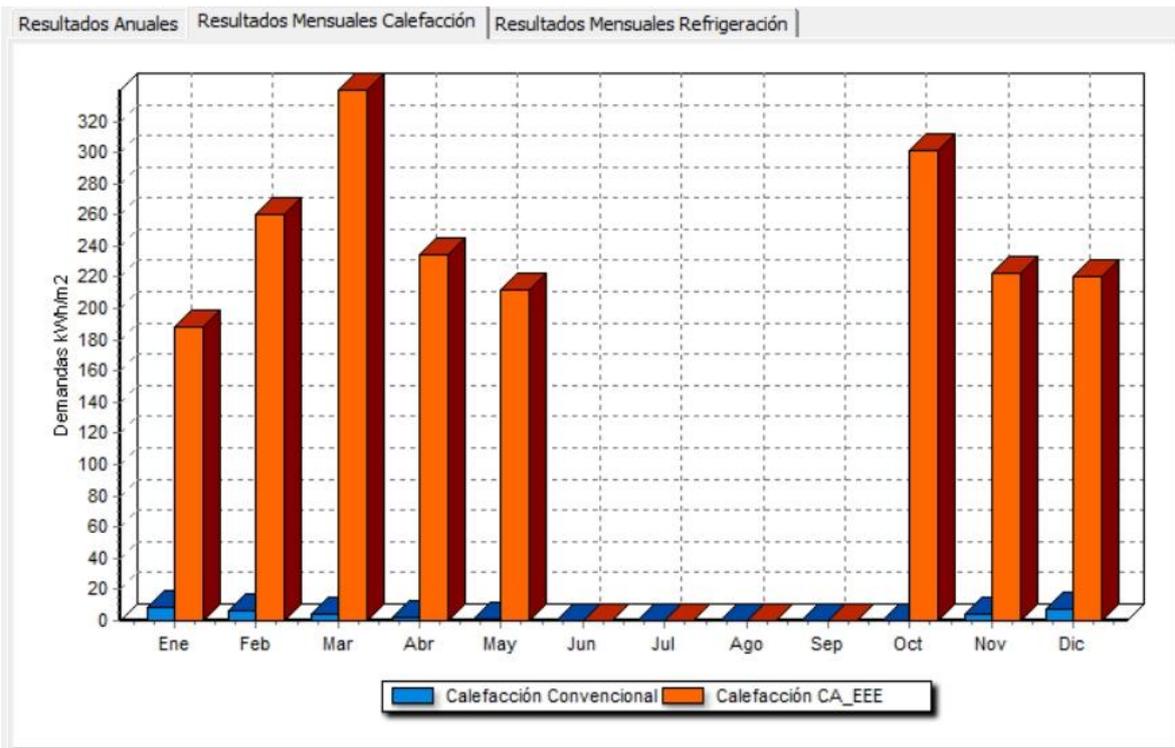


Figura 140. Resultados mensuales calefacción simulación 14. Fuente: Elaboración propia

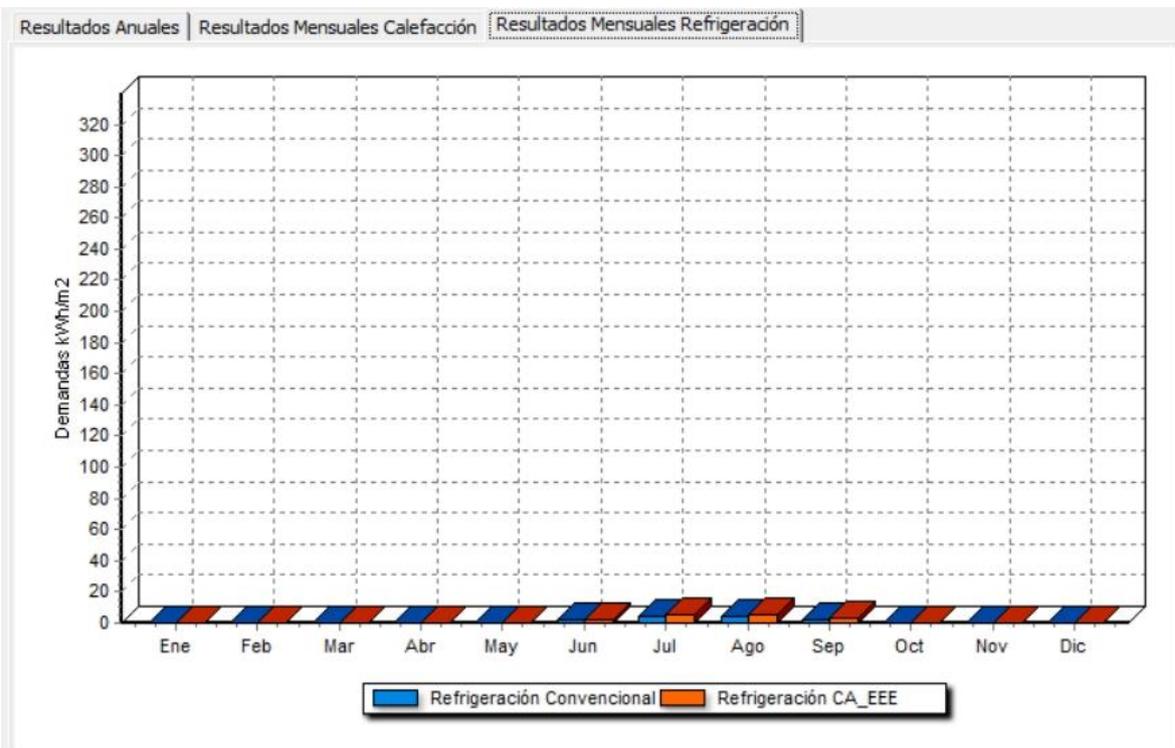


Figura 141. Resultados mensuales refrigeración simulación 14. Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, los resultados del cumplimiento del CTE, no son fiables. (Fig. 142)

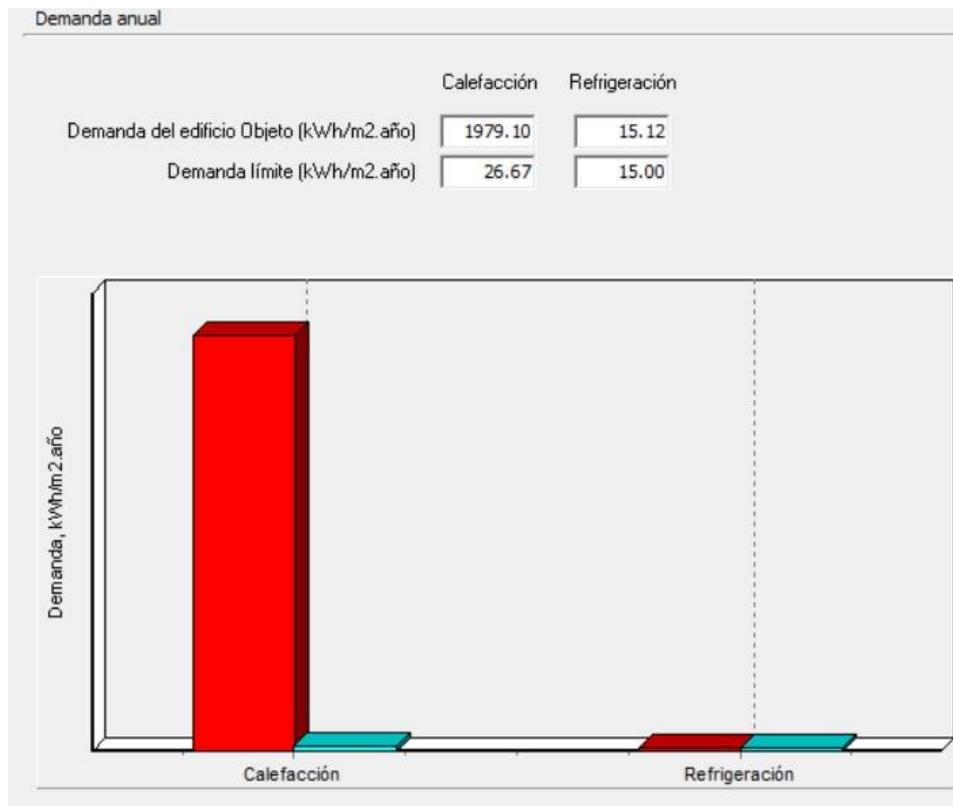


Figura 142. Resultados HEI Simulación 14. Fuente: Elaboración propia

## 11. CONCLUSIONES

---

Por último, se han obtenido unas conclusiones posteriormente al desarrollo del proyecto. En primer lugar, en relación a los compromisos que tienen España y Europa para la reducción de emisiones de gases, cabe destacar que se están reduciendo las emisiones de los mismos, pero según las previsiones será difícil cumplir los objetivos del Acuerdo de París en 2030, cuando se pretende reducir los gases de CO<sub>2</sub> a un 40 % respecto a los valores de 1990.

Respecto al uso de energías renovables, España ha ido aumentando a lo largo de los últimos años el uso de energías renovables, destacando sobre todo la energía eólica e hidráulica. En 2020 se han fijado unos objetivos europeos, entre ellos conseguir un porcentaje del 20 % de energía procedente de renovables. Algunos países ya han alcanzado ese objetivo, como Finlandia, Suecia o Dinamarca, pero otros no han alcanzado el objetivo aún, siendo España uno de ellos, y no se sabe con certeza que lo vayan a alcanzar en 2020. Concretamente en España, para favorecer la mejora de la eficiencia energética y con ello el cumplimiento de los objetivos mencionados, se lanzó una Directiva (2012/27/UE), de obligado cumplimiento, que exige que los edificios nuevos (públicos y privados) sean de consumo de energía casi nulo, antes del fin 2018 y 2020 respectivamente. Por tanto, en general se ha mejorado la situación energética, pero es posible que no se alcancen los compromisos antes de la fecha límite

En cuanto a las fachadas activas en general, cabe destacar que a pesar de la gran variedad de fachadas activas que existen, ya sean fachadas ventiladas activas, cinéticas, adaptables al medio ambiente, etc, no se están implantando apenas en la edificación. Esto es debido a varios motivos: por desconocimiento de este tipo de fachadas por parte de los técnicos, por su complejidad de aplicación en la realidad, por elevado coste económico, etc. Por tanto, son una buena estrategia de mejora de la eficiencia energética, pero se deben sistematizar algunos de esos sistemas de fachadas activas, para poder incorporarlos fácilmente al diseño de los edificios. Dentro de todos esos sistemas, cabe destacar que los más factibles, tanto por economía como por complejidad, son las fachadas ventiladas activas, las fachadas fotovoltaicas e incluso las fachadas con vidrio activo.

Por otro lado, se ha estudiado los programas informáticos oficiales que calculan la eficiencia energética y la posibilidad de éstos para introducir fachadas activas en sus cálculos y se ha obtenido un resultado negativo, debido a que no es posible introducir fachadas activas como tal en esos programas, por lo que sería interesante que se crearan nuevas aplicaciones con sistemas más novedosos de envolventes, incluyendo las envolventes activas, o que actualicen las aplicaciones existentes en el mercado.

Con relación a las conclusiones concretas del apartado de estudio del cálculo de fachadas activas mediante aplicaciones informáticas oficiales, hay que destacar que la herramienta más completa para ello es el HULC (Herramienta Unificada Lider-Calener). A pesar de ser la más completa, no tiene la posibilidad de introducir fachadas activas, pero permite la simulación de Fachadas Ventiladas, Muro Solar y Muro Trombe, lo que ha permitido realizar un estudio de ese tipo de fachadas que se asimilan a las características de una fachada activa.

Respecto a las simulaciones con el HULC, posteriormente al estudio de las mismas y la obtención de resultados con la variación de las demandas energéticas, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- ¿Cómo afecta a la demanda el uso edificio de una fachada ventilada en comparación con una fachada ventilada?

Gracias a las simulaciones, se ha comprobado que el uso de una fachada ventilada siempre aumenta el valor de la demanda de calefacción, y la demanda de refrigeración disminuye, si se compara con la demanda de la fachada convencional. El porcentaje de reducción o pérdida depende de la orientación de la fachada y de la zona climática del edificio, como se explica más adelante.

La reducción de la demanda de refrigeración era un efecto esperado, ya que la cámara ventilada hace la función de chimenea, favoreciendo el movimiento de aire caliente hacia el exterior en la parte superior, y con ello la reducción de transmisión de calor al aislante térmico. Además, la hoja exterior de la fachada ventilada es un elemento que da sombra a la hoja interior, por lo que se reduce la radiación directa sobre ella. A pesar de esto, la reducción de la demanda de refrigeración ha sido inferior a la esperada. Por otro lado, en relación a la demanda de calefacción, ésta aumenta debido al efecto sombra mencionado, ya que reduce las ganancias solares por radiación en invierno.

Por tanto, en general se considera que el uso de una fachada ventilada frente a una convencional es recomendable sólo en zonas cálidas (inviernos suaves y veranos calurosos), y se recomienda emplearla en orientación sur, pero no es recomendable ni en climas fríos, ni en orientación norte.

- ¿Cómo afecta la orientación del edificio al funcionamiento de una fachada ventilada?

Conforme a los resultados de las simulaciones por orientaciones cabe concluir que la fachada ventilada es aconsejable en la orientación sur, donde aumenta ligeramente la demanda de calefacción pero se reduce la de refrigeración, siempre que se trate de zonas cálidas como se

ha mencionado en el apartado anterior. En el resto de las orientaciones la fachada ventilada produce un efecto negativo aumentando tanto la demanda de calefacción como de refrigeración, sobre todo en la orientación norte que es donde hay mayores demandas, tanto de calefacción como de refrigeración.

- ¿Cómo afecta la absortividad de la hora exterior de la fachada al funcionamiento de una fachada ventilada?

Al comparar los resultados de las absortividades de la hoja exterior de la fachada ventilada (baja, media y alta), se ha comprobado que una absortividad baja aumenta la demanda de calefacción y reduce la de refrigeración. Contrariamente, una absortividad alta, reduce la demanda de calefacción y aumenta la de refrigeración. Sin embargo, esas variaciones en las demandas son tan leves (variaciones aproximadamente del 1% de la demanda si se compara la absortividad alta y baja), que no es justificable para condicionar la elección del color de la fachada ventilada.

- ¿Cómo afecta el espesor de la cámara al funcionamiento de una fachada ventilada?

Según los resultados obtenidos, no ha variado ninguna de las demandas, por tanto no afecta a la demanda el espesor de la cámara de la fachada ventilada. Esto puede ser debido a que si la fachada tiene una superficie de huecos suficiente para considerar la cámara como "muy ventilada", la herramienta HULC no considera el efecto aislante de la cámara, ni el de la hoja exterior, tal y como se explica en el *CTE DA-DB-HE1* Cálculo de parámetros característicos<sup>36</sup>.

- ¿Cómo afecta a la demanda energética la eliminación del aislante en fachadas?

Como se ha mencionado en otros apartados, los primeros resultados de las simulaciones con fachada ventilada mostraban unas variaciones de la demanda más pequeñas de lo esperado y se planteó si esto podía ser debido a que la fachada de partida tenía una transmitancia muy baja para poder cumplir los requisitos de demandas que exige CTE DB-HE1, y esto provocaba que la fachada ventilada no produjera casi efecto en la demanda. Al realizar las simulaciones con fachadas sin aislamiento se pudo comprobar mejor el efecto "teórico" de la fachada ventilada, sin tener en cuenta la función del aislante. Entonces, en estas simulaciones sin aislante, se ha comprobado que la fachada ventilada aumenta siempre la demanda de calefacción, incrementando un 7,8 %, 29.58 % y 6.28%, en las zonas D3, A4 y E1, respectivamente. En cambio,

---

<sup>36</sup> "Para cámaras de aire muy ventiladas, la resistencia térmica total del cerramiento se obtiene despreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y las demás capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior, e incluyendo una resistencia superficial exterior correspondiente al aire en calma, igual a la resistencia superficial interior del mismo elemento."

en refrigeración, supone una reducción de la demanda, siendo un 16,58% de reducción en una zona D3, un 13,23 % en zona A4 y un 58,03% en una zona E1.

- ¿Cómo afecta la instalación de un muro solar en una fachada?

Respecto a la instalación de un muro solar en una fachada, se esperaba el resultado obtenido de una reducción pequeña en la demanda de calefacción y un aumento leve en la de refrigeración. Sin embargo, este efecto de aumento de la demanda en verano se esperaba que fuera atenuado al dejar la cámara abierta para que ventilara, pero no ha sido así, ya que las demandas son las mismas si se deja abierta la cámara o se cierra. Por tanto, sólo se recomienda para zonas climáticas frías sin demanda de refrigeración en verano. Si se coloca en zonas más cálidas, sería recomendable colocar una sombra estacional (parasoles, lamas, etc) en la época de verano y con ello reducir la demanda de refrigeración.

- ¿Cómo afecta la instalación de un muro trombe en una fachada?

Como ya se ha mencionado anteriormente, los resultados de la aplicación del Muro Trombe son incoherentes, ya que los resultados de la demanda de calefacción son exageradamente elevados (1979.10 kWh/m<sup>2</sup>). Se ha realizado consulta al Ministerio de fomento<sup>37</sup> sobre la posible causa de este error en los resultados, pero a fecha de la conclusión de este trabajo todavía no se ha recibido respuesta. No obstante, en versiones anteriores de la herramienta ya se habían detectado problemas en la simulación de los muros trombe como refleja el documento de *Preguntas frecuentes sobre las herramientas de calificación de eficiencia energética de edificios (2012) publicado por el Institut Català d'Energia*<sup>38</sup>

Por todo ello, como conclusión general a la aplicabilidad de las herramientas de certificación energética para la evaluación de edificios con fachadas no convencionales o con capacidades adicionales, cabe destacar que tienen muchas limitaciones y los resultados no representan suficientemente el efecto sobre la demanda que representan estas soluciones realmente en los edificios. Esto tiene como consecuencia que, a día de hoy, los proyectistas sean reacios a su uso porque implica una justificación a efectos normativos mediante métodos de cálculo manuales aproximados.

---

<sup>37</sup> [arquitectura@fomento.es](mailto:arquitectura@fomento.es)

<sup>38</sup> “La solución de muro trombe, a pesar de formar parte de las versiones iniciales de LIDER y CALENER, finalmente fue descartada porque daba resultados poco robustos, convirtiéndose en una Solución Singular al margen del proceso normal.”  
[http://icaen.gencat.cat/web/.content/01\\_estalvi\\_i\\_eficiencia\\_energetica/documents/arxiu/faqs\\_certificaci\\_on\\_edificios\\_cast.pdf](http://icaen.gencat.cat/web/.content/01_estalvi_i_eficiencia_energetica/documents/arxiu/faqs_certificaci_on_edificios_cast.pdf)

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- BOE. (08 de junio de 2017). *Boletín Oficial del Estado*. Obtenido de <http://www.boe.es/boe/dias/2017/06/06/pdfs/BOE-A-2017-6350.pdf>
- Butech. (9 de junio de 2017). Obtenido de <http://www.butech.net/es/productos/fachadas-ceramicas/fachada-ventilada-ceramica>
- Cádiz, D. d. (7 de junio de 2017). *Dipucádiz*. Obtenido de [http://www.dipucadiz.es/export/sites/default/galeria\\_de\\_ficheros/agencia\\_provincial\\_de\\_la\\_energia/destacados/150326\\_Jornada\\_FV\\_Autoconsumo/150326\\_Jornada\\_FV\\_Autoconsumo-RENDER\\_202020.pdf](http://www.dipucadiz.es/export/sites/default/galeria_de_ficheros/agencia_provincial_de_la_energia/destacados/150326_Jornada_FV_Autoconsumo/150326_Jornada_FV_Autoconsumo-RENDER_202020.pdf)
- Consuegra, F. M. (6 de mayo de 2017). *SustPro*. Obtenido de [http://www.sustpro.com/upload/498/documents/223/reconsost\\_muros\\_trombe.pdf](http://www.sustpro.com/upload/498/documents/223/reconsost_muros_trombe.pdf)
- Cuchí, A. (8 de junio de 2017). Obtenido de Con arquitectura: <http://www.conarquitectura.com/articulos%20tecnicos%20pdf/ca60.pdf>
- Eco-Nomic Architecture*. (2 de marzo de 2017). Obtenido de <https://ecosocialhouse.wordpress.com/2015/03/11/fachadas-cineticas/>
- Ecosiglos*. (3 de marzo de 2017). Obtenido de <http://www.metroscubicos.com/articulo/consejos/2013/06/17/strawscaper-edificio-ecologico-y-autosuficiente>
- El país*. (8 de junio de 2017). Obtenido de [http://internacional.elpais.com/internacional/2017/06/01/estados\\_unidos/1496334641\\_201201.html](http://internacional.elpais.com/internacional/2017/06/01/estados_unidos/1496334641_201201.html)
- El país*. (2017).
- European Comission*. (7 de junio de 2017). Obtenido de [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_es#tab-0-0](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es#tab-0-0)
- Eurostat*. (7 de junio de 2017). Obtenido de [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy\\_from\\_renewable\\_sources](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_from_renewable_sources)
- Fomento, M. d. (16 de febrero de 2017). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía*. Obtenido de [www.idae.es](http://www.idae.es)
- Fortmeyer, R. (2014). *Kinetic Architecture*. Muldrava (Australia): Images Publishing.

- Galiano, J. R. (julio de 2014). Trabajo fin de grado. Estudio de la energía geotérmica en la eficiencia energética de las viviendas unifamiliares. Alicante: Universidad de Alicante.
- Generalitat de Catalunya. (Septiembre de 2012). *Institut Català d'Energia*. Obtenido de [http://icaen.gencat.cat/web/.content/01\\_estalvi\\_i\\_eficiencia\\_energetica/documents/arxiu/faqs\\_certificacion\\_edificios\\_cast.pdf](http://icaen.gencat.cat/web/.content/01_estalvi_i_eficiencia_energetica/documents/arxiu/faqs_certificacion_edificios_cast.pdf)
- Gómez, C. M. (16 de febrero de 2017). *DADUN. Depósito académico digital Universidad de Navarra*. Obtenido de <http://dadun.unav.edu/bitstream/10171/22825/1/Constructive%20Development%20of%20the%20Microclimate%20Generator%20Pillars%20from%20the%20Pavilion%20of%20Spain%20in%20Expo%20Saragossa.pdf>
- IETcc-CSIC. (14 de abril de 2017). *Informes de la construcción*. Obtenido de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/3636/4107#S7>
- Ihobe*. (7 de junio de 2017). Obtenido de <http://www.ihobe.eus/Paginas/Ficha.aspx?IdMenu=d31b9f40-0755-48f9-949c-ac77c39c4eff&Idioma=es-ES>
- Interior, M. d. (08 de junio de 2017). *Mapama*. Obtenido de [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_es#tab-0-0](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es#tab-0-0)
- International Energy Agency*. (20 de febrero de 2017). Obtenido de [www.iea.org](http://www.iea.org)
- International Facade Community*. (5 de febrero de 2017). Obtenido de <http://internationalfacade.com/news/general/homeostatic-building-facade/#.WTrvkmjyhPZ>
- La BIOguía*. (6 de marzo de 2017). Obtenido de <http://www.labioguia.com/notas/biq-house-un-edificio-vivo>
- Larrea, R. (8 de marzo de 2017). Obtenido de <http://www.sistemastdm.com/pdf/Z-P3-BIOPIX.pdf>
- Madrid, C. d. (2014). *Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios*. Madrid: Fenercom.
- Metros cúbicos*. (4 de marzo de 2017). Obtenido de <http://www.metroscubicos.com/articulo/consejos/2013/06/17/strawscrapper-edificio-ecologico-y-autosuficiente>

- Ministerio de Energía, T. y. (10 de junio de 2017). Obtenido de <http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>
- Ministerio de Energía, T. y. (11 de junio de 2017). *Minetad*. Obtenido de <http://www.minetad.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>
- Moe, K. (2010). *Thermally Active Surfaces in Architecture*. New York: Princeton Architectural Press.
- Ortega, L. (7 de julio de 2016). Como diseñar un edificio de consumo de energía casi nulo. 201. Valencia: Instituto Valenciano de la Edificación.
- Pérez, P. D. (2016). *Nuevas pieles. Tecnología en fachadas como estrategia de diseño sostenible*. Madrid.
- Planinter Blog*. (9 de febrero de 2017). Obtenido de <https://planinter.wordpress.com/2010/11/30/hotel-tres-reyes-ejemplo-de-integracion-arquitectonica-fotovoltaica-en-el-sector-hotelero-espanol/>
- Pujazón, B. P. (25 de febrero de 2017). *Archivo digital UPM*. Obtenido de [http://oa.upm.es/40150/1/BELEN\\_PEREZ\\_PUJAZON\\_MILLAN.pdf](http://oa.upm.es/40150/1/BELEN_PEREZ_PUJAZON_MILLAN.pdf)
- Rawn, E. (3 de march de 2017). *Archdaily*. Obtenido de <http://www.archdaily.com/540327/nbbj-creates-high-tech-shading-system-for-buildings>
- Red eléctrica española*. (16 de febrero de 2017). Obtenido de [www.ree.es](http://www.ree.es)
- Rodríguez, R. G. (2011). Soluciones pasivas y activas en la envolvente térmica. Casos prácticos. *Congreso Rehabilitación Eficiente en Edificios* (pág. 28). Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.
- Rodríguez, R. G. (19 de abril de 2017). *Acciona Energía*. Obtenido de [http://idaa.es/uploads/documentos/documentos\\_7\\_-\\_raquel\\_garcia-ACCIONA\\_ded3ceea.pdf](http://idaa.es/uploads/documentos/documentos_7_-_raquel_garcia-ACCIONA_ded3ceea.pdf)
- SAF-USA. (19 de febrero de 2017). Obtenido de <http://www.saf-usa.com/index.php/description>

Sellés, P. P. (julio de 2015). Trabajo fin de grado. Aplicación de la termografía en auditorías energéticas de edificios. Alicante: Universidad de Alicante.

*Ziger Snead*. (5 de abril de 2017). Obtenido de

<http://www.zigersnead.com/current/blog/post/zollverein-school-building-active-thermal-insulation/02-09-2008/769/>

#### NORMATIVA Y MANUALES DE REFERENCIA

*Manual de Herramienta Unificada Lider Calener*. Ministerio de Fomento. (2013) <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/aplicaciones/lider-calener/ManualDeUsuarioHULC-20151221.pdf>

*Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE3*. IDAE (2012)

*Código Técnico*. Ministerio de Fomento. (25 de mayo de 2017) Obtenido de

[https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/Documento\\_de\\_bases\\_HE2018.pdf](https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/Documento_de_bases_HE2018.pdf)

BOE. (08 de junio de 2017). *Boletín Oficial del Estado*. Obtenido de

Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Madrid : Boletín Oficial del Estado (Nº 89), 13 de abril de 2013. <http://www.boe.es/boe/dias/2013/04/13/pdfs/BOE-A-2013-3904.pdf>

*Proyecto de Real Decreto por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos, promoción de la eficiencia energética y contabilización de consumos energéticos*. Madrid : Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2014. <http://www.minetur.gob.es/energia/es-ES/Participacion/Documents/proyecto-rd-directiva-201227UE/proyecto-RD-directiva-eficiencia-energetica.pdf>.

*Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética*. Estrasburgo. Diario Oficial de la Unión Europea nº L 315, 14 de noviembre de 2012. <http://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>

## 13. ANEXOS

- Transmitancia vidrio empleado en las carpinterías exteriores. Catálogo de la marca Konner Ventanas. (<https://www.konnerventanas.com/>)



# 4 SOLUCIONES CON TRIPLE VIDRIO

**KONNER TERMIC**  
**MÁXIMO AISLAMIENTO TÉRMICO.**  
El tratamiento bajo emisivo de dos de los vidrios confiere a esta solución de triple vidrio óptimas características de aislamiento térmico.

- Aislamiento Térmico  $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{k}$
- Proyección solar  $G = 0,54$

**KONNER CONTROL SUN**  
**ELEVADA PROTECCIÓN SOLAR.**  
Refleja la mayor parte de la energía solar que llega al cristal exterior. Es la solución ideal para cerramientos expuestos al Sol.

- Vidrio con espejo
- Aislamiento Térmico  $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{k}$
- Proyección solar  $G = 0,35$
- A+++

**KONNER CONTROL SUN PLUS**  
**MÁXIMO AISLAMIENTO TÉRMICO Y PROTECCIÓN SOLAR.**  
Solución óptima para grandes ventanales expuestos a la luz solar.

- Vidrio con espejo
- Aislamiento Térmico  $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{k}$
- Proyección solar  $G = 0,35$
- A+++

**KONNER ACUSTIK**  
**AISLAMIENTO ACÚSTICO Y MÁXIMA SEGURIDAD.**  
Vidrio de seguridad con butiral que constituye la solución óptima para la contaminación acústica.

- Aislamiento Térmico  $U = 0,9 \text{ W/m}^2\text{k}$
- Proyección solar  $G = 0,55$
- Reducción acústica: - 38 dB.



33

- Transmitancia marcos de la Carpintería exterior. Casa comercial Climalit.  
(<http://www.climalit.es/>)

SGG COOL-LITE K y SK: prestaciones en doble acristalamiento SGG CLIMALIT PLUS												
Aspecto en reflexión		NEUTRO									AZUL	VERDE
Vidrio exterior SGG COOL-LITE		SKN054	SKN065	SKN154	SKN165 (1)	SKN174 (1)	KNT 140	KNT 155	KNT164	KBT140	KNT 455	
Vidrio interior		SGG DIAMANT			SGG PLANILUX							
Composición (Aire)	mm	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	6(12)6	
Posición de la capa de control solar y bajo emisiva	cara	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
<b>Factores luminosos</b>												
T/	%	51	63	50	59	67	37	47	57	36	39	
R/E	%	18	16	18	15	10	23	17	14	24	13	
R/I	%	20	18	20	17	12	12	10	10	17	10	
UV T <sub>UV</sub>	%	10	15	9	9	21	15	20	25	16	7	
<b>Factores energéticos</b>												
T <sub>e</sub>	%	25	33	24	30	36	23	31	39	24	20	
R <sub>e</sub>	%	43	42	32	31	27	24	19	16	22	9	
A e 1	%	30	24	42	37	33	50	47	40	51	70	
A e 2	%	2	1	2	2	3	3	4	5	3	2	
<b>Factor solar</b>												
g EN 410		0,29	0,34	0,27	0,34	0,41	0,29	0,37	0,46	0,30	0,26	
Shading coefficient		0,33	0,40	0,31	0,39	0,47	0,33	0,42	0,53	0,35	0,30	
Coefficiente U 6(12)6 Aire	W/(m <sup>2</sup> .K)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,9	1,9	1,8	1,9	
Coefficiente U 6(15)6 Aire	W/(m <sup>2</sup> .K)	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6	1,7	1,7	1,6	1,7	
Coefficiente U 6(15)6 Argón 90%	W/(m <sup>2</sup> .K)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	

(1) SGG COOL-LITE SKN 174 y SGG COOL-LITE SKN 165 cuentan con versiones "a templar", denominadas SGG COOL-LITE SKN 174 II y SGG COOL-LITE SKN 165 II. para más información, contacten con SAINT-GOBAIN GLASS

- Características aplacado fachada ventilada. Casa comercial: Tempio Fachadas Ventiladas. (<http://www.tempio.es/>)

