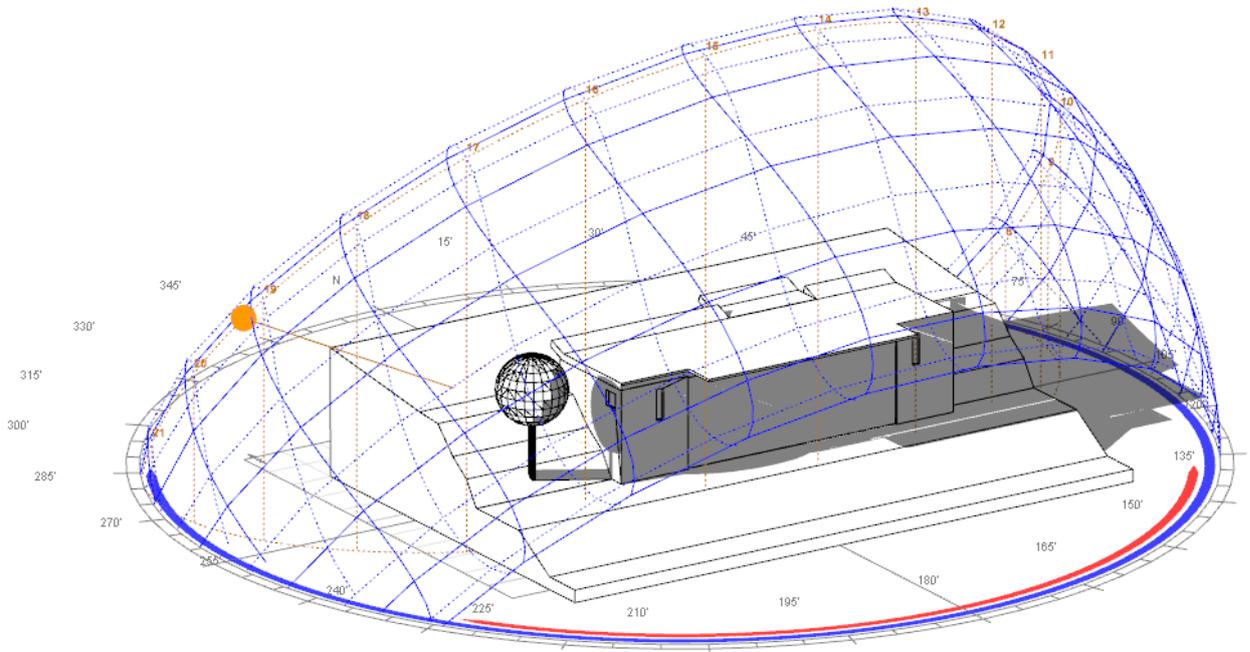




[PFC DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR (ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS)]



OnClick Navegación 3D



AUTOR: JAVIER SIERRA ARÉVALO
DIRECTOR: PEDRO ACISCLO RODRÍGUEZ AUMENTE

INGENIERÍA INDUSTRIAL (DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TÉRMICA Y DE FLUIDOS)
UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	v
NOTACIÓN	1
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Uso pasivo de la energía solar	8
1.1.1. Antecedentes de la arquitectura solar	8
1.1.2. Conclusiones obtenidas tras el análisis de la tecnología utilizada en la primera mitad del siglo XX:	10
1.1.3. Década de los sesenta. Entran en escena dos importantes aportaciones, que son: el muro acumulador térmico o <i>muro trombe</i> y el muro solar.	11
1.1.4. Cambio de escenario: crisis de 1973	13
1.2. Toma de conciencia sobre el cambio climático	13
1.3. Clima en España y tendencia	14
1.4. Modelos de impacto del cambio climático	14
1.5. Reducción de emisiones en el sector residencial	15
1.6. Energía solar activa y su uso residencial	20
1.6.1. Aplicaciones fotovoltaicas.	20
- Evolución hacia el uso actual de los sistemas activos de energía solar fotovoltaica:	20
- Estado actual del sector:	21
1.6.2. Aplicaciones térmicas.	22
- Evolución hacia el uso actual de los sistemas activos de energía solar térmica:	22
- Estado actual del sector	22
1.7. Uso residencial de los sistemas solares	24
1.8. Hacia los edificios de energía cero	25
1.8.1. Estrategias propuestas por [3] (SHC task 40), hacia los edificios de energía cero	25
1.8.2. Algunos ejemplos estudiados por [3] (SHC task 40)	26
- Estrategias verdes:	26
- Consumo energético	27
1.9. Bibliografía del capítulo	29

2. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS	30
3. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA Y DEL PROCESO DE DISEÑO	32
3.1. Vivienda de referencia	33
3.2. Vivienda diseñada	36
3.2.1. Simplificaciones sobre la vivienda de referencia	36
3.2.2. Breve descripción de la vivienda.	36
3.2.3. Soluciones de diseño	38
3.2.4. Planos	40
3.3. Bibliografía del capítulo	46
4. SOLUCIONES DE DISEÑO	47
4.1. Ganancia directa	47
4.1.1. Selección del vidrio de las superficies acristaladas	48
4.1.2. Selección de la carpintería de la superficie acristalada	49
4.1.3. Aislamiento térmico nocturno	51
4.1.4. Protecciones solares	52
1. Orientación sur	52
2. Orientación norte.	57
3. Orientación Oeste	60
4.2. Aislamiento capacitivo e inercia térmica	64
4.2.1. Parámetros que caracterizan un cerramiento	64
4.2.2. Amortiguamiento y desfase	65
4.2.3. Efecto estacional de la inercia térmica y aislamiento	67
4.3. Soterramiento de fachadas (analogía con cuevas habitadas)	69
4. Orientaciones este y oeste	70
5. Orientación norte	72
4.4. Cubierta vegetal	73
4.4.1. Balance energético	74
4.4.2. Efecto de la cubierta vegetal sobre la carga térmica	76
4.5. Bibliografía del capítulo	78
5. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA	79
5.1. Datos meteorológicos considerados para el cálculo.	79

5.2.	Emplazamiento y climatología	80
5.3.	Condiciones interiores de la vivienda	81
5.4.	Condiciones exteriores del proyecto	85
5.5.	Esquema general de cálculo de cargas térmicas	85
5.5.(1).	Cálculo de la radiación solar incidente	87
5.5.(2).	Temperatura sol-aire	92
5.5.(3).	Flujo de energía a través de una superficie acristalada	92
5.5.(4).	Flujo de calor a través de cerramientos opacos	98
5.5.(7).	Ganancia de calor debida iluminación y equipos/miscelánea	107
5.5.(8).	Ganancia de calor debida a los ocupantes	108
5.5.(10).	Dividir los flujos de calor en su parte convectiva	111
5.5.(11).	Flujo de calor por infiltraciones y ventilación	112
5.5.(13).	Procesado de los flujos de calor como series de tiempo radiantes y obtención de la parte de carga térmica por radiación	114
5.5.(14).	Cargas térmicas horarias	116
5.6.	Cumplimentación de las fichas justificativas del CTE	116
5.7.	Discusión de los resultados obtenidos	124
5.8.	Bibliografía del capítulo	142
6.	<i>Participación de las soluciones en la carga térmica total</i>	143
6.1.	Cargas sobre las que participan las soluciones bioclimáticas	144
6.1.1.	Conducción por cerramientos opacos	144
-	Muros	144
-	Cubierta	147
6.1.2.	Radiación por superficies acristaladas	150
6.2.	Cumplimentación de las fichas justificativas del CTE	153
6.3.	Vivienda de referencia sin ninguna solución bioclimática	154
6.4.	Cargas sobre las que no participan las soluciones bioclimáticas	155
6.5.	Rediseño de soluciones	156
6.6.	Bibliografía del capítulo	158
7.	<i>Contribución solar mínima de ACS</i>	159
7.1.	Método de cálculo	159
7.1.1.	Esquema del método de cálculo:	159
7.1.2.	HOJA C. Ecuaciones que caracterizan la actuación del colector y de la instalación	174
7.2.	Demanda de energía térmica	176

7.3. Energía solar térmica aportada	179
7.4. Fracciones solares mensuales y anuales	180
7.4.1. Comparación de pérdidas por inclinación y superposición arquitectónica	180
7.4.2. Restricciones sobre la contribución solar.	182
7.4.3. Comparación de resultados de pérdidas por inclinación y superposición arquitectónica.	182
7.5. Rendimiento medio anual	186
7.6. Dimensionado básico del circuito secundario	189
7.6.1. Acumulación de ACS	189
7.6.2. Sistema de intercambio	192
7.6.3. Sistema de energía auxiliar convencional	193
7.7. Resumen de elementos de la instalación	194
7.8. Comercial	194
7.9. Bibliografía del capítulo	195
8. AHORRO ENERGÉTICO	196
8.1. Ahorro económico	196
8.1.1. Calefacción	196
8.1.2. Refrigeración	198
8.1.3. ACS (Agua caliente sanitaria)	200
8.1.4. Estudio de viabilidad de la instalación de ACS	202
8.2. Ahorro de emisiones	204
8.2.1. Calefacción	204
8.2.2. Refrigeración	205
8.2.3. Agua caliente sanitaria	205
8.3. Bibliografía del capítulo	207
9. RESUMEN Y CONCLUSIONES	208
Anexo 1. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA TOTAL	214
Anexo.1.1. Conducción a través de los muros	214
Anexo.1.2. Conducción a través de techos	222
Anexo.1.3. Conducción a través de suelos	224
Anexo. 1.4 Carga a través de superficies acristaladas	226

Orientacion sur:	226
Anexo.1.4.1. Calculo de radiación (horizontal y plano inclinado), para una latitud e inclinación de la superficie dada	226
Orientación Oeste:	242
Orientación norte:	248
Orientacion este:	256
Anexo. 1.5. Cargas internas	263
Anexo 2. CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN DE ACS	267
Anexo. 2.1.- HOJA A -	267
Anexo. 2.2.- HOJA B – Cálculo de las pérdidas en el colector mediante resistencia térmicas, para la llamada OPCIÓN 1. Inclinación 40.45° y azimut = 0°	276
Anexo. 2.3. - HOJA C - Cálculo de las pérdidas en el colector (mediante resistencia térmicas) y de los parámetros de la instalación, para la llamada OPCIÓN 2. Inclinación 20° y azimut = 0°	293
Anexo 3. Hoja de características de los equipos de la instalación de ACS	317

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1 -INTRODUCCIÓN-

Fig. 1	Ángulo de incidencia de la radiación solar en las dos estaciones más representativas	8
Fig. 2	Ordenación urbana Mohenjo-Daro 2500-2110 A.C. [4]	9
Fig. 4	Vista del hipocampo de una vivienda romana [2]	10
Fig. 3	Vista del hipocampo de una villa romana [2]	10
Fig. 5	Representación de flujos de calor en muro trombe	12
Fig. 6	Vista de fachada con muro solar, colegio San Jorge (Wallasey, Inglaterra) [1]	12
Fig. 7	Cambio climático en diferentes escalas de tiempo - Eco-House: A design guide [5]	13
Fig. 8	Uso final de la energía en España para 2007 (Fte. Ministerio de industria, turismo y comercio)	15
Fig. 9	Evolución de las intensidades energéticas final y sectorial en España (Fte. IDAE/MITYC)[9]	15
Fig. 10	Progreso de la eficiencia energética global – ODEX. Indicadores de eficiencia energética, 2008 [10]	16
Fig. 11	Progreso medio anual de la Eficiencia Energética (1990-2007) - Indicadores de eficiencia energética, 2008 [10]	16
Fig. 12	Consumo Energético por Usos en el Sector Residencial en España y UE - [9]	18
Fig. 13	Círculo vicioso cambio climático - [5]	18
Fig. 14	Evolución de las emisiones de GEI en España (1990-2006)	19
Fig. 15	Evolución de la energía solar fotovoltaica en España 2004-2009 [Fte.CNE]	21
Fig. 16	Evolución de superficie instalada de paneles solares térmicos 05-10 y objetivo marcado	23
Fig. 17	Factores sobre los que afecta el uso de la tecnología solar de manera conjunta (solar activa y solar pasiva)	25
Fig. 19	Incidencia de rayos solares, invierno-verano [3]	27
Fig. 18	Fachada oeste de las viviendas [3]	27
Fig. 20	Comparación del uso de energía en una vivienda plus-energy en comparación con una casa media. [3]	27

Capítulo 3 -DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA Y DEL PROCESO DE DISEÑO-

Fig. 1	Perspectiva de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]	34
Fig. 2	Alzado sur de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]	34
Fig. 3	Alzado norte de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]	35
Fig. 4	Alzado oeste de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]	35
Fig. 5	Vista en perspectiva de la vivienda (fachada este-sur)	37
Fig. 6	Vista de la fachada este de la vivienda	37
Fig. 7	Vista de la fachada oeste de la vivienda	38
Fig. 8	Vista en perspectiva de la vivienda (fachada norte-oeste)	38
Fig. 10	Sombreamiento producido por el alero en el ventanal sur. 14:00h 21 de Diciembre	39
Fig. 9	Sombreamiento producido por el alero en el ventanal sur. 14:00h 21 de Julio	39

Capítulo 4 -SOLUCIONES DE DISEÑO-

Fig. 2	Aportación a través de vidrio simple (W/m^2) para unicación a 40º y diferentes orientaciones (Fte. [4])	47
Fig. 1	Esquema de ganancia directa	47
Fig. 3	Unidades de acristalamiento estandarizadas	49
Fig. 4	Vista esquemática del vidrio utilizado [Fte. [2]]	50
Fig. 5	Contraventana plegable con marco de tipo acordeón [Fte. [1]]	51
Fig. 6	Ventana retranqueada. Ángulos determinantes	52
Fig. 7	Ventana retranqueada con voladizo plano	53

Fig. 8	Comparación del % de ventana sombreada para el 21 de Julio algoritmo propio frente a ECOTEC	56
Fig. 9	Carta estereográfica del sol para Madrid [Fte. ECOTEC Solar tool]	57
Fig. 10	Vista y acotado del árbol para el sombreado (catalpa bignonioides)	61
Fig. 11	Simplificación de la geometría a la de un prisma rectangular, cotas en metros.	61
Fig. 12	Origen de coordenadas	62
Fig. 13	Sombra proyectada y ecuaciones para el cálculo de la proyección de los puntos característicos sobre la fachada	62
Fig. 14	Sección del muro (fachada sur)	65
Fig. 15	Representación del desfase y amortiguamiento de la onda de calor para el cerramiento diseñado	66
Fig. 16	Cálculo del desfase y amortiguamiento basado en series de Fourier, de acuerdo con lo expuesto en Manual de climatización: Tomo II, Cargas térmicas [3]	67
Fig. 17	Evolución de la temperatura de los muros para construcción de alta inercia	68
Fig. 18	Cuevas habitadas (Guadix, Granada)	69
Fig. 19	Sección del cerramiento en las fachadas en contacto con el terreno	70
Fig. 20	Transmitancia térmica de muros enterrados UT. [8]	70
Fig. 21	Variación del valor de U con la cota de soterramiento	71
Fig. 22	Sección de la fachada este. Detalle de las áreas de soterramiento	71
Fig. 23	Proceso de intercambio entre la cubierta y el medio [12]	74
Fig. 24	Sección de la cubierta vegetal considerada	76

Capítulo 5 -CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA-

Fig. 1	Diagrama psicrométrico para Madrid. El polígono amarillo muestra las condiciones de confort para otoño y en rojo para verano. Las condiciones interiores de diseño para refrigeración se muestran en verde.	83
Fig. 2	Diagrama psicrométrico para Madrid. El polígono amarillo muestra las condiciones de confort para otoño y en rojo para verano. Las condiciones interiores de diseño para refrigeración se muestran en verde.	84
Fig. 3	Diagrama psicrométrico con las zonas de confort para verano (rojo) e invierno (azul) representadas.	85
Fig. 4	Esquema del método de cálculo de las series de tiempo radiante	86
Fig. 5	Carta cilíndrica de Madrid para el primer semestre del año	90
Fig. 6	Carta cilíndrica de Madrid para el segundo semestre del año	90
Fig. 7	Evolución horaria (local) de la radiación incidente sobre la pared en cada orientación, para el 21 de Julio.	91
Fig. 8	Evolución horaria (solar) para la radiación incidente sobre las paredes (-Cargas térmicas: apuntes de la asignatura Calor y frío industrial-[4]), para el 21 de julio (latitud 40.45º)	91
Fig. 9	Balance de calor instantáneo para vidrio debido a la insolación.	93
Fig. 10	Valor del coeficiente de transferencia de calor para distintos tipos de acristalamientos (Fte. [2])	95
Fig. 11	Valores de los coeficientes de ganancia de calor, para radiación difusa e incidente como función del ángulo de incidencia (Fte. [2])	96
Fig. 12	Sección del tipo de acristalamiento doble de baja emisividad	97
Fig. 13	Coefficientes de atenuación interna (IAC) (Fte.[2])	98
Fig. 14	Sección muro semienterrado	101
Fig. 15	Coefficientes de las series de tiempo de conducción para la cubierta	104
Fig. 16	Flujos de calor a través del suelo	104
Fig. 19	Coefficientes F2 para solera a nivel del terreno	106
Fig. 17	Sistema de aislamiento vertical con perfil en "I" [Ref ASHRAE]	106
Fig. 18	Solera a nivel del terreno con aislamiento perimetral [Ref Ashrae]	106
Fig. 20	Interfaz del software PRF/RTF Generator con los tipos de superficie señaladas	114

Fig. 21	Coefficientes RTF para la vivienda, obtenidos de [ref PRF/RTF Generator] que son función del tipo de construcción _____	115
Fig. 22	Orientaciones de las fachadas _____	117
Fig. 24	Transmitancia térmica máxima [Fte HE1 CTE] _____	118
Fig. 25	Valores límite de los parámetros característicos medios _____	118
Fig. 26	Diagrama de decisión, cumplimentación de la opción simplificada _____	119
Fig. 27	Valores pico de la carga total y valores medios. Para los datos meteorológicos de medias mensuales _____	124
Fig. 28	Valores pico de la carga total. Para los datos meteorológicos de los días representativos _____	125
Fig. 29	Evolución de las cargas térmicas horarias para el período de refrigeración _____	125
Fig. 30	Evolución de las cargas térmicas horarias para el período de calefacción _____	126
Fig. 31	Evaluación de las cargas térmicas horarias para los días representativos _____	127
Fig. 32	Carga total hora a hora. Comparación del 21 de diciembre con la media del mes _____	128
Fig. 33	Carga total frente a carga a través de los acristalamientos para el 21 de Diciembre _____	128
Fig. 34	Carga total frente a carga a través de los acristalamientos para la media de Diciembre _____	129
Fig. 35	Carga total hora a hora. Comparación del 21 de Julio con la media del mes _____	129
Fig. 36	Carga total hora a hora. Comparación del 21 de Marzo con la media del mes _____	130
Fig. 37	Carga total hora a hora. Comparación del 21 de Septiembre con la media del mes _____	130
Fig. 38	Valores típicos de carga térmica de refrigeración para distintos tipos de construcciones y usos _____	132
Fig. 39	Comparativa de potencias instaladas [Ref. Instalaciones fluidotérmicas] _____	133

Capítulo 6 –Participación de las soluciones en la carga térmica

Fig. 1	Sección del muro de construcción ligera _____	144
Fig. 2	Sección de la cubierta convencional de construcción media _____	148
Fig. 3	Implicaciones sobre el diseño de la vivienda de minimizar la ganancia solar directa _____	150
Fig. 4	Transmitancias térmicas de distintos huecos (Fte.[2]) _____	151
Fig. 5	Valores de SHGC (ϑ) y SHGCD tabulados, para el tipo de acristalamiento utilizado (Fte.[3]) _____	151

Capítulo 7 -CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA DE ACS-

Fig. 1	Esquema simplificado de la instalación de ACS _____	161
Fig. 2	Representación esquemática del circuito primario de la instalación _____	162
Fig. 3	Esquema del intercambiador de calor _____	163
Fig. 4	Esquema del sistema de apoyo _____	163
Fig. 5	Esquema del depósito de acumulación _____	164
Fig. 6	Perfil de temperaturas de un tanque con estratificación _____	164
Fig. 7	Esquema de resistencias del colector _____	165
Fig. 8	Circuito de resistencias térmicas en el colector y representación de los flujos de calor _____	170
Fig. 9	Variación media del consumo mes a mes (Ref. [5]) _____	177
Fig. 10	Contribución solar mínima en % [Fte. CTE] _____	178
Fig. 11	Temperatura mínima media del agua de la red general [°C] [fte. censolar] _____	179
Fig. 12	OPCIÓN 2 Fig. 13 OPCIÓN 1 _____	180
Fig. 14	Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación en inclinación (Ref. [4]) _____	181
Fig. 15	Contribución solar, rendimiento obtenido y rendimiento según la curva de normalización para la OPCIÓN 1 _____	182
Fig. 16	Calor demandado y pérdidas en el colector, para la OPCIÓN 1 _____	183
Fig. 17	Contribución solar, rendimiento obtenido y rendimiento según la curva de normalización para la OPCIÓN 1.1 _____	183

Fig. 18	Calor demandado y pérdidas en el colector, para la OPCIÓN 1.1	184
Fig. 19	Contribución solar, rendimiento obtenido y rendimiento según la curva de normalización para la OPCIÓN 2	184
Fig. 20	Calor demandado y pérdidas en el colector, para la OPCIÓN 2	185
Fig. 21	Evolución mensual de las temperaturas de proceso medias en los puntos más relevantes de la instalación	186
Fig. 22	Datos técnicos del colector solar de energía Vitosol 100 w2.5	187
Fig. 23	Curva de normalización para el colector Vitosol 100 w2.5	188
Fig. 24	Variación del caudal para un edificio de viviendas en un día laboral (Ref.[5])	191

Capítulo 8 -AHORRO ENERGÉTICO-

Fig. 1	Emisiones de CO ₂ por tecnología de generación eléctrica [Ref.MITYC] (2009)	205
--------	--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1 -INTRODUCCIÓN-

Tabla 1	Consumo de energía final (ktep) en España: Global y Sectorial, 2008	17
Tabla 2	Usos residenciales más extendidos de los sistemas solares	24
Tabla 3	Consumo y producción energética	27

Capítulo 3 -DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA Y DEL PROCESO DE DISEÑO-

Tabla. 1	Impacto del tipo de solución sobre la carga térmica de cada estrategia	40
----------	--	----

Capítulo 4 -SOLUCIONES DE DISEÑO-

Tabla. 1	Anchos de marco estandarizados	50
Tabla. 2	Propiedades de los huecos, transmitancia	50
Tabla. 3	Parámetros que definen el hueco de la fachada sur	53
Tabla. 4	Ángulos solares para los días más representativos y profundidad del alero para sombreado completo	56
Tabla. 5	Parámetros que definen el hueco TIPO 1 de la fachada norte	58
Tabla. 6	Parámetros que definen el hueco TIPO 1 de la fachada norte	59
Tabla. 7	Parámetros que definen el hueco de la fachada oeste	60
Tabla. 8	Propiedades térmicas y mecánicas de los materiales (comparativa para selección del material de muros)	66
Tabla. 9	Áreas de las fachadas norte y sur. Coeficientes de transferencia de calor de los muros correspondientes	72
Tabla. 10	Áreas de las fachadas norte y sur. Coeficientes de transferencia de calor de los muros correspondientes	72
Tabla. 11	Comparación de las propiedades de la cubierta vegetal y la cubierta ventilada	74
Tabla. 12	Valores de absorptancia recomendada para la superficie del sustrato para usar en el análisis energético en edificios dotados con cubierta vegetal	76

Capítulo 5 -CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA-

Tabla. 1	Valores límite de las condiciones interiores	82
Tabla. 2	Valores típicos de las condiciones interiores	82
Tabla. 3	Valores utilizados para las condiciones interiores del proyecto	82
Tabla. 4	Muro tipo 1 (espesor y propiedades)	100
Tabla. 5	Muro tipo 2 (espesor y propiedades)	100
Tabla. 6	Cubierta vegetal (espesor y propiedades)	103
Tabla. 7	Solera (espesor y propiedades)	107
Tabla. 8	Calor emitido por ocupante considerado	109
Tabla. 9	Resumen de las ecuaciones usadas del punto 1-9 del esquema para el cálculo de los flujos de calor	110
Tabla. 10	Porcentajes convectivos y radiativos del flujo de calor sensible	111
Tabla. 12	Porcentaje de flujo convectivo	111
Tabla. 11	Porcentajes convectivos y radiativos del flujo de calor sensible utilizados	111
Tabla. 13	Caudales de ventilación mínimos exigidos (Fte.[8])	113
Tabla. 14	Caudales de ventilación de la vivienda por locales	113
Tabla. 15	Porcentaje de flujo radiativo	115
Tabla. 16	Comparación área de huecos y área de fachada	116

Tabla. 17	Valores máximos de transmitancias térmicas	120
Tabla. 18	Cálculo de los parámetros característicos medios	122
Tabla. 19	Comparación de los valores medios de diseño con los valores límite	123
Tabla. 20	Resultados de carga térmica. Medias mensuales y días significativos	124
Tabla. 21	Comparación potencia de instalación	133

Capítulo 6 -PARTICIPACIÓN DE LAS SOLUCIONES EN LA CARGA TÉRMICA TOTAL-

Tabla. 1	Flujos de calor sobre los que afectan cada una de las soluciones	143
Tabla. 2	Propiedades termo físicas del cerramiento	144
Tabla. 3	Propiedades de las distintas construcciones	145
Tabla. 4	Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (1)	146
Tabla. 5	Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (1)	146
Tabla. 6	Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (1)	147
Tabla. 7	Propiedades termo físicas de la cubierta convencional de construcción de tipo peso medio	147
Tabla. 8	Propiedades de las distintas construcciones	148
Tabla. 9	Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (2)	148
Tabla. 10	Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (2)	149
Tabla. 11	Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (2)	149
Tabla. 12	Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (3)	152
Tabla. 13	Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (3)	153
Tabla. 14	Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (2)	153
Tabla. 15	Comparación de los valores medios de diseño con los valores límite	154
Tabla. 16	Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (sin soluciones)	154
Tabla. 17	Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (sin soluciones)	154
Tabla. 18	Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (sin soluciones)	155
Tabla. 19	Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (sin cargas en las que no se actúa)	156
Tabla. 20	Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (sin cargas en las que no se actúa)	156
Tabla. 21	Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (cambio longitud de alero)	157
Tabla. 22	Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (cambio longitud de alero)	157

Capítulo 7 -CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA DE ACS-

Tabla. 1	Resistencias térmicas de conducción	166
Tabla. 2	Dirección del viento en % para Madrid	169
Tabla. 3	Tabla para el cálculo del número de personas por vivienda (Fte.[4])	176
Tabla. 4	Demanda de referencia a 60°C (Fte. [4])	177
Tabla. 5	Caudal corregido y gasto másico (tras corrección por estacionalidad)	178
Tabla. 6	Potencia de ACS demandada	180
Tabla. 7	Comparación de las opciones 1 y 1.1	184
Tabla. 8	Comparación de las opciones 1 y 2	185
Tabla. 9	Valores para la comparación de rendimientos (OPCIÓN 1)	188
Tabla. 10	Valores para la comparación de rendimientos (OPCIÓN 2)	189
Tabla. 11	Coefficientes para viviendas (Ref.[5])	190
Tabla. 12	caudal máximo horario medio	191

Capítulo 8 -AHORRO ENERGÉTICO-

<i>Tabla. 1</i>	<i>Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (ver Capítulo 6)</i>	<i>196</i>
<i>Tabla. 2</i>	<i>Simulación de facturación, para la demanda anual (ACS+Calefacción) de gas natural (Ref.[1])</i>	<i>197</i>
<i>Tabla. 3</i>	<i>Descripción del equipo de frío</i>	<i>199</i>
<i>Tabla. 4</i>	<i>Requerimientos para cumplir con la demanda ACS</i>	<i>200</i>
<i>Tabla. 5</i>	<i>Ahorro energético y económico debido al aporte solar (GN)</i>	<i>201</i>
<i>Tabla. 6</i>	<i>Ahorro energético y económico debido al aporte solar (GN)</i>	<i>201</i>
<i>Tabla. 7</i>	<i>Presupuesto de la instalación de ACS</i>	<i>202</i>
<i>Tabla. 8</i>	<i>Estructura de los costes de explotación de una instalación</i>	<i>202</i>
<i>Tabla. 9</i>	<i>Valor actual neto para cada año con el período de amortización y vida de la instalación resaltados</i>	<i>203</i>

NOTACIÓN

Radiación solar

R_b : Relación geométrica. Relación entre la radiación directa sobre el plano horizontal y el inclinado

F_{CS} : Factor de forma entre el colector y el cielo

F_{CG} : Factor de forma entre el colector y el suelo

I_T, G_T, H_T, E_T : Radiación incidente media sobre el plano inclinado

I_b, E_D : Radiación directa media

I_d, E_d : Radiación difusa media

I_r, E_r : Radiación reflejada media

I : Radiación global media sobre el plano horizontal

k_t : Índice de transparencia atmosférica

δ : Declinación anual

ω : Hora solar

ϕ : Latitud geográfica

β : Inclinación de la superficie

ψ : Orientación de la superficie

θ_z : Ángulo zenital

α_s : Altura solar

γ_s : Acimut solar

θ : Ángulo de incidencia respecto a la superficie orientada e inclinada

ω_s : Ángulos horarios de salida y puesta del sol

DD : Duración del día

α : Absortancia de la superficie a la radiación solar

β_v, HSA : Diferencia entre el acimut solar, γ_s y el acimut de la superficie, ψ

γ_v, VSA : Ángulo entre un plano que pasa por una recta horizontal (marco) de la ventana y el sol, con el plano horizontal

Flujos de Calor

Q : Flujo de calor a través del cerramiento

Q_b : Flujo de calor debido a la radiación directa

Q_d : Flujo de calor debido a la radiación difusa

Q_c : Flujo de calor debido a la diferencia de temperaturas

$Q_{i,\theta-n}$: Flujo de calor medio horario por conducción para una superficie, n horas antes. ($q_{i,\theta}$ procesado mediante los factores temporales de conducción)

Q_θ : Flujo de calor medio horario por conducción para una superficie, en el instante actual

Q_r : Flujos de calor medio horario (parte radiactiva), en el instante actual

$q_{i,\theta}$: Flujo de calor instantáneo por conducción, en el instante actual

$Q_{sensible}$: Carga sensible debida a ventilación

$Q_{latente}$: Carga latente debida a ventilación

$Q_{paralelo}$: Flujo de calor paralelo al terreno

$Q_{perpendicular}$: Flujo de calor perpendicular al terreno

Q_p : Ganancia de calor por ocupante

$Q_{útil}$: Calor útil obtenido del colector

Q_{abajo} : Pérdidas de calor en la parte inferior del colector

Q_{arriba} : Pérdidas de calor en la parte superior del colector

$Q_{ópticas}$: Pérdidas ópticas en el colector

Potencias

Q_{ACS} : Potencia calorífica demandada de ACS

Q_{max} : Potencia máxima demandada por la instalación

$P_{refrigeración}$: Potencia necesaria del equipo de frío

$P_{calefacción}$: Potencia necesaria del equipo de calefacción

P : Potencia necesaria del intercambiador de calor

$Q_{caldera}$: Potencia necesaria del sistema auxiliar, para cubrir la demanda de ACS en el período punta

Factores de corrección, coeficientes

F_s : Factor de simultaneidad

$F_{ocupación}$: Factor de ocupación

C : Coeficiente de mayoración para la carga de refrigeración

C_1, C_2 : Coeficientes de mayoración de la carga de calefacción

r_i : Factores temporales de radiación

c_0, c_1 , etc.: Factores temporales de conducción

F_2 : Coeficiente de transferencia de calor por metro de perímetro

np : Número de personas

Parámetro acristalamientos

F_u, F_g : cFracción de la ventana sin sombra

EAC : Coeficiente de atenuación externa

IAC : Coeficiente de atenuación interna

$SHGC(\theta)$: Coeficiente de ganancia de calor en función del ángulo de incidencia de la radiación solar

$\langle SHGC \rangle_d$: Coeficiente de ganancia de calor para la radiación difusa

Propiedades térmicas que caracterizan los elementos

e : Espesor

K : Conductividad térmica

C_p : Calor específico a presión constante

ρ : Densidad

h_{xx} : Coeficiente de convección para el medio xx

U : Transmitancia térmica media del cerramiento

A : Sección del cerramiento, perpendicular a la dirección del flujo de calor

P : Perímetro de borde o expuesto de la solera

Parámetros que caracterizan el ambiente

T_{sa} : Temperatura sol aire

$T_{sa,\theta-n}$: Temperatura sol aire n horas antes [°C]

T_0 , T_{aire} : Temperatura seca exterior

$T_{comfort}$: Temperatura de confort (presumida constante) [°C]

h_{fg} : Calor de cambio de fase vapor-agua líquida

W_e : Humedad específica del aire de entrada

W_L : Humedad específica del aire del local

HR : Humedad relativa

U_{aire} : Velocidad del aire exterior

Temperaturas

T_{cielo} : Temperatura cielo

$T_{cristal_abajo}$: Temperatura del parte inferior del vidrio

$T_{cubierta}$: Temperatura de la cubierta de vidrio

T_{placa} : Temperatura de la placa absorbadora

T : Temperatura del aire encerrado en la cavidad

T_{caja} : Temperatura caja

T_{rocio} : Temperatura caja

T_{agua} : Temperatura del fluido de trabajo

T_{ci} : Temperatura de entrada al colector

T_{co} : Temperatura de salida del colector

T_{ici} : Temperatura de salida del tanque

T_{ico} : Temperatura de entrada al tanque

T_t : Temperatura media del tanque

T_{cons} : Temperatura de consumo

T_{sum} : Temperatura de suministro

Gastos másicos y caudales

m_1 : Gasto másico del circuito primario

m_2 : Gasto másico del circuito secundario

$Q_{\text{corregido}}$: Caudal diario corregido

$V_{\text{ventilación}}$: Caudal volumétrico de aire este igual en caudales

Resistencias térmicas del colector

$R_{\text{cond}}|_{\text{placa}}, R_{\text{abs}}$: Resistencia de conducción de la placa absorbidora

$R_{\text{cond}}|_{\text{tubo}}, R_{\text{tubo}}$: Resistencia de conducción del tubo colector

$R_{\text{c_cub}}$: Resistencia de conducción de la cubierta

$R_{\text{c_caja}}$: Resistencia de conducción de la caja

$R_{\text{c_ais}}$: Resistencia de conducción del aislante

R_{rad_I} : Resistencia de radiación en la cavidad de aire formada entre placa y cubierta

R_{rad_E} : Resistencia de radiación en el exterior del cristal de la cubierta

R_{cl} : Resistencia de convección libre del aire atrapado en la cavidad

R_{t_w} : Resistencia térmica de convección interior del fluido caloportador

R_{ce} : Resistencia térmica de convección exterior, ya sea en la parte superior o inferior del colector

Propiedades de los fluidos

$\vartheta(T)$: Viscosidad cinemática del aire a la temperatura T, en J/m^3K

$\alpha(T)$: Difusividad térmica del aire a la temperatura T, en m^2/s

μ : Viscosidad cinemática del fluido de trabajo [$N \cdot s/m^2$]

k : Conductividad térmica del fluido a la temperatura de trabajo, en W/mK

C_p : Calor específico del fluido a la temperatura de trabajo, J/kgK

Números adimensionales

Re : Número de Reynolds

Nu : Número de Nusselt

Pr : Número de Prandtl

Ra : Número de Rayleigh

Gr : Número de Grashof

Parámetros del colector

η_0 : Rendimiento óptico del colector

η_c : Rendimiento del colector

η_{CN} : Rendimiento de la curva de normalización

a_0 : Coeficiente de la curva de normalización, W/m^2K

a_1 : Coeficiente de la curva de normalización, W/m^2K^2

Parámetros de la instalación de ACS

ε_{IC} : Eficiencia del intercambiador de calor

f : Contribución solar

E_t : Grado de estratificación del tanque

T : Período punta

f_f : Factor de forma del tanque

f_m : Factor de mezcla del tanque

T_p : Tiempo de preparación para el agua de consumo

V : Volumen necesario del depósito de acumulación

$A_{colectores}$: Área de colectores necesaria para satisfacer la demanda

Demanda de energía

$E_{sin_soluciones}$: Energía demandada de calefacción o refrigeración, sin soluciones de arquitectura solar

$E_{soluciones_bioclimaticas}$: Energía demandada de calefacción o refrigeración, con soluciones de arquitectura solar

$\Delta E_{calefacción}$: Ahorro de energía de calefacción

$\Delta E_{refrigeración}$: Ahorro de energía de refrigeración

ΔE_{ACS} : Ahorro de energía de ACS

Variables medioambientales

χ : Relación masa de CO_2 , masa de combustible

m_{comb} : Masa de combustible

PCI : Poder calorífico inferior del combustible

Δm_{CO_2} : Ahorro de emisiones de CO_2 motivado a la estrategia correspondiente

Términos económicos

VAN: Valor actual neto

$VA_n(VR_n)$: Valor actual del valor residual de la instalación

C_0 : Desembolso inicial

IN_m : Ingresos, que para la instalación es el ahorro de combustible

C_m : Coste de mantenimiento de la instalación

I : Tasa de inflación

c : Incremento del coste del combustible

i : Tipo de interés de referencia

C_e : Coste de la energía

C_{ec} : Coste de la energía cedida al producto

ΔC_{ec} : Ahorro económico motivado por la estrategia correspondiente

[Introducción]

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Uso pasivo de la energía solar	8
1.1.1. Antecedentes de la arquitectura solar	8
1.1.2. Conclusiones obtenidas tras el análisis de la tecnología utilizada en la primera mitad del siglo XX:	10
1.1.3. Década de los sesenta. Entran en escena dos importantes aportaciones, que son: el muro acumulador térmico o <i>muro trombe</i> y el muro solar.	11
1.1.4. Cambio de escenario: crisis de 1973	13
1.2. Toma de conciencia sobre el cambio climático	13
1.3. Clima en España y tendencia	14
1.4. Modelos de impacto del cambio climático	14
1.5. Reducción de emisiones en el sector residencial	15
1.6. Energía solar activa y su uso residencial	20
1.6.1. Aplicaciones fotovoltaicas.	20
- Evolución hacia el uso actual de los sistemas activos de energía solar fotovoltaica:	20
- Estado actual del sector:	21
1.6.2. Aplicaciones térmicas.	22
- Evolución hacia el uso actual de los sistemas activos de energía solar térmica:	22
- Estado actual del sector	22
1.7. Uso residencial de los sistemas solares	24
1.8. Hacia los edificios de energía cero	25
1.8.1. Estrategias propuestas por [3] (SHC task 40), hacia los edificios de energía cero	25
1.8.2. Algunos ejemplos estudiados por [3] (SHC task 40)	26
- Estrategias verdes:	26
- Consumo energético	27
1.9. Bibliografía del capítulo	29

[PFC DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR (ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS)]

[A lo largo de la introducción se hace un recorrido por los antecedentes de la arquitectura solar, y los eventos que han sentado las bases del estado del arte. Para analizar el estado del arte, es necesario enmarcar este tipo de construcción en la situación socioeconómica, legislativa y medioambiental actual]

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Ángulo de incidencia de la radiación solar en las dos estaciones más representativas	8
Fig. 2	Ordenación urbana Mohenjo-Daro 2500-2110 A.C. [4]	9
Fig. 3	Vista del hipocampo de una villa romana [2]	10
Fig. 4	Vista del hipocampo de una vivienda romana [2]	10
Fig. 5	Representación de flujos de calor en muro trombe	12
Fig. 6	Vista de fachada con muro solar, colegio San Jorge (Wallasey, Inglaterra) [1]	12
Fig. 7	Cambio climático en diferentes escalas de tiempo - Eco-House: A design guide [5]	13
Fig. 8	Uso final de la energía en España para 2007 (Fte. Ministerio de industria, turismo y comercio)	15
Fig. 9	Evolución de las intensidades energéticas final y sectorial en España (Fte. IDAE/MITYC)[9]	15
Fig. 10	Progreso de la eficiencia energética global – ODEX. Indicadores de eficiencia energética, 2008 [10]	16
Fig. 11	Progreso medio anual de la Eficiencia Energética (1990-2007) - Indicadores de eficiencia energética, 2008 [10]	16
Fig. 12	Consumo Energético por Usos en el Sector Residencial en España y UE - [9]	18
Fig. 13	Círculo vicioso cambio climático - [5]	18
Fig. 14	Evolución de las emisiones de GEI en España (1990-2006)	19
Fig. 15	Evolución de la energía solar fotovoltaica en España 2004-2009 [Fte.CNE]	21
Fig. 16	Evolución de superficie instalada de paneles solares térmicos 05-10 y objetivo marcado	23
Fig. 17	Factores sobre los que afecta el uso de la tecnología solar de manera conjunta (solar activa y solar pasiva)	25
Fig. 19	Incidencia de rayos solares, invierno-verano [3]	27
Fig. 18	Fachada oeste de las viviendas [3]	27
Fig. 20	Comparación del uso de energía en una vivienda plus-energy en comparación con una casa media. [3]	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Consumo de energía final (ktep) en España: Global y Sectorial, 2008	17
Tabla 2	Usos residenciales más extendidos de los sistemas solares	24
Tabla 3	Consumo y producción energética	27

1. INTRODUCCIÓN

Arquitectura solar o bioclimática. Se puede definir la arquitectura solar o bioclimática como aquella que permite alcanzar un bienestar térmico y lumínico con un consumo de energía menor que en las arquitecturas que podríamos llamar “convencionales”.

Para conseguirlo, este tipo de arquitectura busca la adaptación al medio ambiente. Minimizando el impacto provocado sobre la naturaleza, el consumo energético y por tanto, la contaminación ambiental. En este proyecto me centraré en la reducción de consumo energético así como en la reducción de emisiones que implica.

Dentro de este tipo de arquitectura hay que distinguir entre dos modalidades, los pasivos y los activos. Cada uno de ellos cumple una función propia, orientada a la consecución del objetivo común de reducción de la demanda de energía. Esta reducción de la demanda supone abaratar el coste de las instalaciones necesarias, así como el de su mantenimiento.

1.1. Uso pasivo de la energía solar

1.1.1. Antecedentes de la arquitectura solar

La arquitectura solar no es una cuestión nueva. Desde la antigüedad el ser humano es consciente de la importancia del sol y de la facultad del mismo de compensar las bajas temperaturas del invierno aprovechando las calorías solares incidentes obtenidas al orientar sus construcciones al mediodía.

Así pues, se pueden encontrar escritos que *Jenofonte*¹ atribuye a Sócrates en los que habla del efecto calorífico, lumínico y beneficioso que tienen los rayos de sol. Parafraseando a Sócrates: (...) “¿No es cierto que el que tenga la intención de hacerse con una casa como es debido lo que debe procurar es que sea lo más agradable de habitar y lo más útil?”. Y toda vez que esto se le concedía: “Agradable pues será tenerla que sea en verano fresca, y agradable que sea abrigada en el invierno.” Y ya que también en esto convenían: “Bien, pues en las casas que miran al mediodía el sol en el invierno se cuele entre los soportales, más que en el verano, al pasar por la cima de nuestras cabezas y de los techos, proporciona sombra. Así que si bueno es que así las cosas se presenten, habrá que construir más altas las partes que den al mediodía, para que el sol invernal no halle estorbos, y más bajas las que den al septentrión para que no den contra ella los vientos fríos (...).

De donde se deduce que ya desde la antigüedad el ser humano tenía en cuenta las distintas alturas del sol en invierno y en verano y era capaz de utilizarlo en su beneficio; aprovechando los rayos solares en invierno y evitándolos en verano. Por tanto se puede decir que **la casa de Sócrates es la primera casa pasiva de la historia**, o al menos de la primera que se tiene constancia escrita.

Este conocimiento de la arquitectura solar no supone una tendencia aislada históricamente, sino que su uso continuó dando lugar incluso a un ordenamiento urbanístico. Aristóteles, a través de diferentes tratados, concluye que la ciudad en su conjunto debería estar expuesta al mediodía con el fin de aprovechar el sol de invierno.

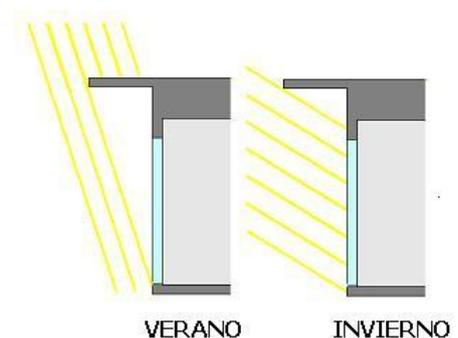


Fig. 1 Ángulo de incidencia de la radiación solar en las dos estaciones más representativas

¹

Jenofonte. Recuerdos de Sócrates. Libro III. Capítulo VIII. Ed. Salvat, 1971.

La mayoría de los asentamientos urbanos de la Antigüedad buscaron un clima templado, como ejemplo se tienen las civilizaciones de la costa mediterránea. Obtuvieron gran ventaja de la latitud, que asegura un buen soleamiento, así como del clima favorable que se aproxima a las condiciones higrométricas de bienestar del ser humano; logro que asegura una **reducción de las necesidades de calefacción y refrigeración**.

En general las civilizaciones más prosperas orientaron los trazados de sus ciudades con componente predominantemente sur, es el caso de Mesopotamia, Egipto, India, China y Japón.

Uno de los primeros ejemplos de ciudades con tratado regular cuyas calles principales seguían las direcciones N-s y E-O, lo que indica un control de la orientación, es la ciudad de Mohenjo-Daro a orillas del Indo.

Otros ejemplos importantes de ciudades trazadas que atienden a los movimientos del sol son algunas ciudades griegas, (Mileto).

Este modelo será utilizado por Roma, posteriormente por los españoles en América y más tarde en la ciudad norteamericana.

Los modelos de cuadrícula cayeron en desuso durante la Edad Media por razones de defensa, tendiendo a modelos radio céntricos, circulares o elípticos, dejando de lado por tanto la problemática del soleamiento.

La ciudad renacentista recupera la geometría del mundo antiguo. La construcción de invernaderos iniciada en el siglo XVI adquirió gran desarrollo en el siglo XIX motivado por los nuevos usos de los materiales (acero y vidrio fundamentalmente) o su producción en masa durante la revolución industrial.

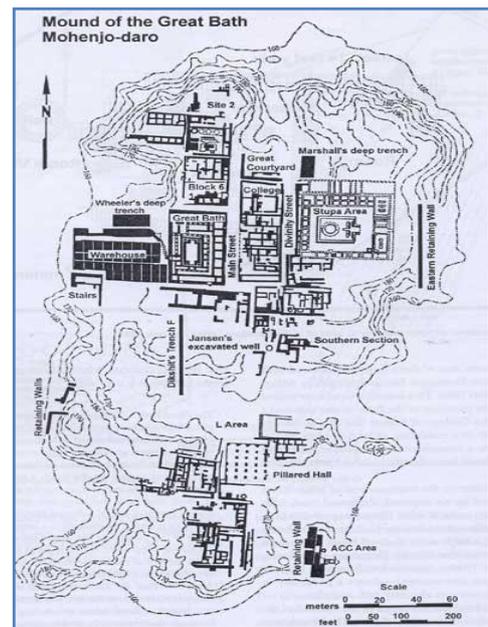


Fig. 2 Ordenación urbana Mohenjo-Daro 2500-2110 A.C. [4]

El siguiente avance que tuvo lugar en lo que a arquitectura solar se refiere, fue el uso provechoso del efecto invernadero. El *efecto invernadero*² fue descrito en primer lugar por los egipcios, sin embargo no se aplica directamente a la construcción hasta el esplendor de Roma, a partir de siglo I a. de C con el uso del vidrio en las ventanas (vidrio producido a partir de capas delgadas de mica).

El vasto territorio ocupado por el Imperio Romano supuso un reto tecnológico: era necesario hacer frente a muy diferentes condiciones climáticas, en ciertos lugares variaban de manera considerable a lo largo del año. Se encontraron ante una situación en la que el diseño arquitectónico no era suficiente para la obtención del confort necesario. Ante tal reto desarrollaron diferentes soluciones:

- **Mover los espacios interiores de las viviendas en las diferentes estaciones**, o incluso el uso de residencias por temporadas. En la actualidad, esta solución aún se aplica en antiguos protectorados o ciudades romanas del norte de África.

2

El efecto invernadero consiste en que un cuerpo expuesto a la radiación solar dentro de un recinto de cristal se calienta más que el aire libre. Esta aplicación en la arquitectura supone que cuando los rayos de sol pasan a través de una ventana de vidrio, ésta a penas si se calienta y la energía es absorbida por el suelo, las paredes, el mobiliario, etc. que al calentarse emiten radiación de longitud de onda mayor que la solar, esta radiación no puede atravesar el vidrio, de modo que la temperatura del hábitat se eleva progresivamente hasta alcanzar un equilibrio entre la energía solar recibida y las pérdidas caloríficas.

- **Implementación de sistemas de calefacción complementados con el efecto invernadero.** El sistema de calefacción que desarrollaron fue el *hipocausto*³. Ejemplos de estos sistemas mixtos los podemos encontrar en las termas en los que se conjugaba el uso del hipocausto con el aporte de energía solar en el *caldarium*⁴.

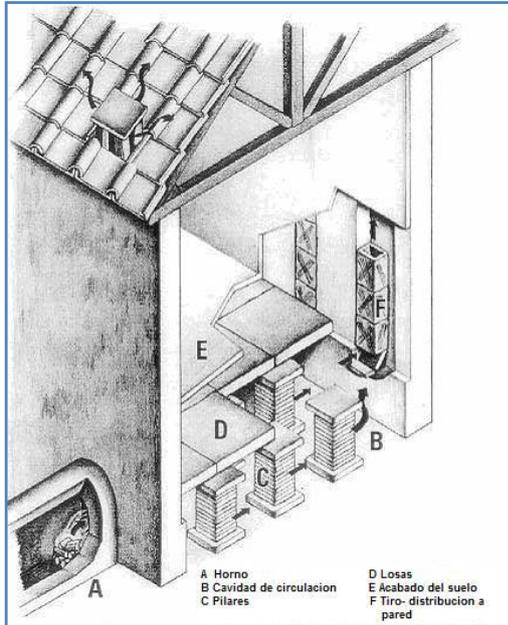


Fig. 4 Vista del hipocausto de una vivienda romana [2]

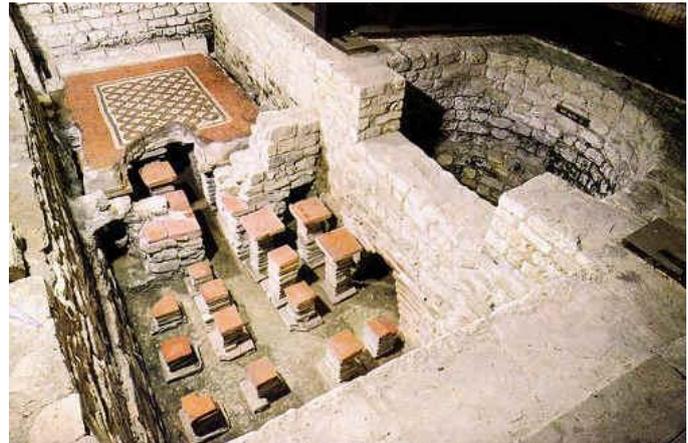


Fig. 3 Vista del hipocausto de una villa romana [2]

El sucesor del hipocausto es la *gloria* castellana utilizada desde la Edad Media, y como sucesor en nuestros días tenemos el suelo radiante, una de las soluciones consideradas para el proyecto.

Tomando como referencia los conocimientos de los romanos sobre el efecto invernadero, empiezan a aparecer los primeros invernaderos en Europa durante el siglo XVI. Como ya se ha dicho la **unión del acero con el vidrio**, durante la Revolución Industrial, supuso la creación de macros estructuras.

En la Europa de los **siglos XVIII y XIX** se crean normativas urbanísticas que preveían el derecho al sol de las edificaciones (se contemplaba la problemática de su obstaculización de unos edificios sobre otros) [6].

1.1.2. Conclusiones obtenidas tras el análisis de la tecnología utilizada en la primera mitad del siglo XX:

Las arquitecturas tipo invernadero desarrolladas durante la Revolución Industrial son el precedente de los edificios de acero y cristal del siglo XX. Durante prácticamente la totalidad de la segunda mitad de este siglo los edificios pierden su implicación solar, implicación que se ha recuperado en la actualidad.

³

El hipocausto es un sistema de calefacción utilizado en la antigua roma (aunque ya era conocido por los griegos en el siglo IV a.c.), que literalmente significa "calor o encendido, desde abajo". Era usado en baños públicos o termas y en villas. En el exterior del edificio se construía un horno que caldeaba el aire, dicho aire caliente se llevaba a través de canalizaciones situadas bajo el suelo, cuyas baldosas se sustentaban sobre pilas de ladrillos. La altura del espacio vacío por el que circulaba el aire era de unos 40 a 60 cm. Podía añadirse tubos de barro cocido en los muros que servía además de tiro para los humos de paso del aire caliente que circulaba por el hipocausto consiguiendo un mayor calentamiento. La temperatura de las estancias rondaría los 30°C. <http://es.wikipedia.org/wiki/Caldarium>

⁴

El *caldarium* era la estancia caliente y vaporosa de las termas, se calentaba a través del hipocausto, así como a través de la radiación solar incidente a través del vidrio colocado convenientemente sobre la cubierta o pared de las termas. Estaban orientadas regularmente al noroeste, buscando la máxima captación solar en horas de la tarde y fundamentalmente durante el invierno.

Durante la primera mitad del siglo XX se llevan a cabo importantes estudios relativos al soleamiento de los edificios, desarrollándose el concepto de **orientación helio térmica**. El valor helio térmico se obtiene de la combinación de la energía solar recibida y la temperatura del aire.

Otras importantes contribuciones durante esta etapa, son la creación de las **cartas solares** con la finalidad de usarlas en el soleamiento de edificios e iluminación natural.

Las décadas de los 30 y 40 fueron proliferas en la incorporación de avances tecnológicos en lo que a sistemas de captación solar pasiva se refiere. Apareció el **doble acristalamiento con cámara de aire** intermedia herméticamente sellada (de la Libbey-Owens-Ford-Glass-Company), que conseguía reducir las pérdidas a aproximadamente la mitad que con los vidrios convencionales. Este tipo de acristalamiento comenzó a usarse en las fachadas de las viviendas con orientación sur, dando lugar al denominado sistema de **ganancia directa**.

1. La vivienda solar debe tener una relación adecuada entre la superficie acristalada orientada hacia el sur y la superficie en planta de la casa. La superficie acristalada recomendable depende de diversos factores como: carga térmica, clima, uso, confort-térmico, masa térmica y coste de la energía auxiliar, para climas templados se suele situar entre 10-20% de la superficie útil del local a calentar (esta proporción puede aumentar según lo haga la inercia térmica).
2. La arquitectura solar supone un esfuerzo importante en lo que a aislamiento se refiere, sobredimensionar las superficies acristaladas implica mayores saltos térmicos que la vivienda convencional. Durante el día se calentaría de manera más rápida y durante la noche se enfriaría a su vez más rápidamente. Estos saltos térmicos hacen necesaria la de aislamiento nocturno en invierno y protección solar en verano. Para mitigar la oscilación térmica es necesario incluir dispositivos de acumulación de calor (colocar materiales de gran masa hacia la parte de la que vienen las pérdidas y aislamiento exterior).
3. Las viviendas solares pasivas necesitan un sistema de calefacción convencional de apoyo.
4. Los dispositivos más útiles para obstaculizar el paso de los rayos en verano, son los toldos regulables frente a los aleros fijos. Los aleros fijos resultan sistemas mucho más rígidos, lo que impide la entrada de sol en primavera cuando aún se necesite.
5. La arquitectura solar pasiva **encarecía el precio de la vivienda en torno a un 10-15%⁵ [7]** respecto del precio de la vivienda convencional, encarecimiento que se compensa debido al ahorro de energía en calefacción convencional.

En el aspecto económico, a pesar de que las casas solares pasivas resultaban rentables económicamente, se dieron dos hechos que obstaculizaron su crecimiento: la reducción de los precios del petróleo; y la implantación en gran escala de los sistemas de aire acondicionado y calefacción por aire caliente.

1.1.3. Década de los sesenta. Entran en escena dos importantes aportaciones, que son: el muro acumulador térmico o *muro trombe* y el muro solar.

1. *Muro acumulador térmico o muro trombe.*

Consiste en una pared gruesa de espesor variable, entre 20 y 40 cm y enfrentado a ella un vidrio a unos 20 a 150 cm, con lo que se genera un espacio pequeño o **cámara de aire**, en la cual **no se producen efectos conductivos**.

Es un sistema pasivo indirecto de recolección de energía solar. Indirecto, puesto que la captación de la energía solar se realiza en un elemento interpuesto entre el cristal exterior y el interior de la vivienda y pasivo, ya que no se necesitan elementos mecánicos para su funcionamiento.

⁵

En el citado artículo se hacía una síntesis sobre el estado del arte de la investigación del aprovechamiento de la energía solar por métodos pasivos. Presentando resultados de 48 edificios pasivos situados en distintas localidades de Estados Unidos.

Se utiliza para el calentamiento interno de casas, utilizando transferencia de calor, ya sea por conducción, convección y/o radiación.

El muro acumulador térmico se basa en tres principios fundamentales, a saber:

- **Captación de energía solar.** Absorbe radiación solar en la cara exterior y transfiere este calor a través del muro por conducción. Es posible añadir orificios de ventilación en el muro para distribuir el calor dentro de una habitación por convección natural exclusivamente durante las horas de día (para evitar pérdidas durante la noche estos orificios han de disponer de trampillas, que permitan su cerrado). Durante la noche el calor almacenado por el muro es radiado hacia el interior del habitáculo.
- **Aislamiento térmico.** Anulando la transmisión por radiación se disminuye notablemente las pérdidas caloríficas, esto se consigue haciendo que una de las superficies refleje el infrarrojo.
- **Acumulación de calorías.** Materiales pesados; hormigón, piedra o adobe, en general los de baja difusividad térmica⁶ y como caloportador el agua, resultan los más eficientes para superar el período nocturno. En definitiva, lo que se busca es un gran almacenamiento de energía durante el día y en la noche una lenta transferencia del calor acumulado en el muro hacia el interior de la vivienda.

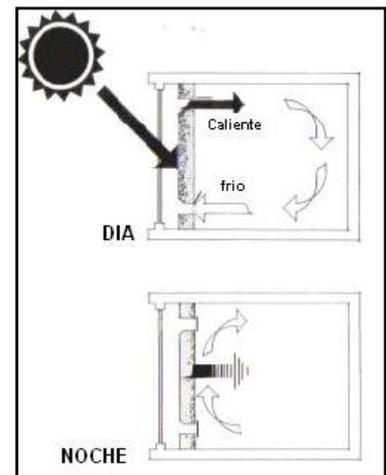


Fig. 5 Representación de flujos de calor en muro trombe

2. El *muro solar* consta de dos láminas de vidrio enfrentadas separadas un espacio suficiente que permita el mantenimiento. La lámina exterior es transparente, mientras que la interior es oscura (excepto donde se encuentran las ventanas que será transparente), dando lugar a una iluminación interior difusa en mayor o menor medida y a radiación infrarroja. El interior del edificio es calentado por el muro solar mediante efecto invernadero.

Aclarar que esta configuración solo es útil durante las horas de sol, puesto que al contrario del muro trombe se trata de un **sistema pasivo directo que no permite la acumulación de calor para las horas de noche.**



Fig. 6 Vista de fachada con muro solar, colegio San Jorge (Wallasey, Inglaterra) [1]

⁶ Es la conductividad térmica dividida por el producto del calor específico y la densidad. Sus unidades del S.I. son m²/s. Se usa para determinar las velocidades de transferencia de calor en sólidos*

Como resumen se puede decir que durante los primeros 70 años del siglo XX la tendencia fue la de la adaptación del edificio al clima en conjunción con los sistemas pasivos de ganancia directa o indirecta, para lo que cobran vital importancia los estudios de soleamiento.

1.1.4. Cambio de escenario: crisis de 1973

Los años setenta siguieron la senda de los 30 y 40, supusieron un resurgimiento de la arquitectura solar. No se trató de una toma de conciencia de la necesidad de aumentar la eficiencia energética de los edificios ni de reducir las emisiones derivadas de los mismos, sino que fue una respuesta a la manifiesta vulnerabilidad de las economías occidentales frente a cambios bruscos del precio del petróleo. Se empezó a contemplar la necesidad de un escenario futuro independizado energéticamente de los combustibles fósiles (combustibles que derivan de un recurso no renovable: el petróleo, o al menos no renovable en una escala de tiempo lógica).

Los mejores ejemplos de arquitectura solar de los 70 pueden ser sendas construcciones en Kentucky y Tokio, estas casas usaban energía solar pasiva y sistemas de agua caliente en lecho pétreo y sistemas de almacenaje en el suelo entre estaciones. Estos ejemplos sentarían las **bases de las casas ecológicas del siglo XXI**.

1.2. Toma de conciencia sobre el cambio climático

Durante la década de los 80 se produjo una nueva contracción: el **cambio climático**. Fue entonces cuando la proporción de destrucción de la capa de ozono y el incremento de los gases de efecto invernadero, con el consecuente calentamiento climático se hicieron patentes. La década de los 90 fue la que registro las mayores lecturas de temperatura de las que se tiene constancia.

En la figura que sigue se expone la variación de temperaturas en distintas escalas de tiempo, es destacable como de la década de los 80 a la década del dos mil se ha producido un incremento en la temperatura de cerca de un grado Celsius. Esta evolución comparada con los siglos anteriores en la que suscita las predicciones más catastrofistas.

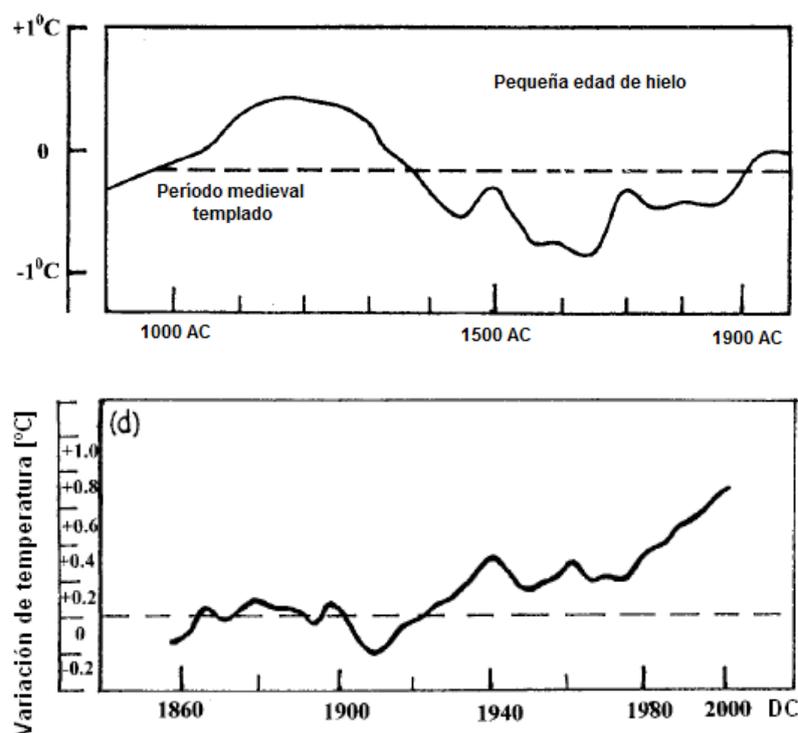


Fig. 7 Cambio climático en diferentes escalas de tiempo - *Eco-House: A design guide* [5]

1.3. Clima en España y tendencia

La ubicación geográfica de España supone la existencia de grandes contrastes térmicos y pluviométricos. El clima invernal en España presenta similitudes con el del resto de Europa, mientras que el verano las presenta con el norte de África. Esta transición supone la existencia de olas de frío y calor de manera recurrente, potenciadas por la naturaleza ondulatoria de la circulación global de la atmósfera. De manera análoga las precipitaciones descargan de manera errática; periodos de sequía se alternan con periodos de abundantes precipitaciones.

Atendiendo a los registros de precipitaciones y temperaturas de que se disponen se observa que la temperatura muestra una tendencia de aumento con variaciones de temperatura que oscilan entre los 1 y 2 °C entre 1850 y 2005. Como no puede ser de otra manera, tratándose del clima estas variaciones no siguen una tendencia lineal, sin embargo se pueden distinguir tres ciclos:

- Ascenso de las temperaturas entre 1901 y 1949.
- Descenso de las temperaturas desde 1949 hasta 1972.
- Aumento de las temperaturas desde 1973 hasta el presente (es este último período el más alarmante, puesto que ha sido el de más rápido crecimiento).

A nivel estacional el calentamiento ha sido mayor en primavera y verano y dentro de estas estaciones sobre las temperaturas máximas.

El reparto sobre el territorio ha sido a su vez desigual, afectando en mayor medida a la mitad oriental peninsular.

Este análisis se puede hacer extensivo al planeta de manera global. Atendiendo a la Fig. 20, presentada por el *ministerio de meteorología del reino unido* se comprueba como la tendencia es generalizada.

1.4. Modelos de impacto del cambio climático

Existen numerosas predicciones sobre el impacto que el cambio climático puede tener sobre el medio ambiente. Personalmente considero que este tipo de predicciones no han llevado a una toma de conciencia por parte de la sociedad, sino todo lo contrario. Es común escuchar en los medios frases como *'el clima del mundo siempre ha cambiado'* o *'las predicciones sobre el cambio climático no encuentran un consenso entre los expertos'*, sin duda estas afirmaciones están íntimamente ligadas al "bienestar" que ha generado el uso de fuentes de energía derivadas de los combustibles fósiles, del cual disfrutamos actualmente. Sin embargo no se puede obviar la escala y magnitud que el cambio climático está alcanzando.

Además de cuestionar el efecto que estas predicciones tienen sobre la conciencia colectiva es fácil que surjan dudas sobre su precisión. Generar un modelo lo suficientemente estable como para considerarlo infalible teniendo en cuenta el gran número de variables que influyen, es en mi opinión, prácticamente imposible. Por este motivo las predicciones derivadas no están exentas de gran incertidumbre.

Sin embargo creo conveniente exponer alguna de estas predicciones aunque sirva solo de indicativo de los efectos que el cambio climático, de seguir con la tendencia actual, puede tener sobre el medio ambiente. De varios de los estudios como el de la agencia medioambiental del Reino Unido o de [8] los efectos más representativos son:

- Aumento de la temperatura de 3°C para 2080 sobre la media del período de 1961 a 1990.
- Disminución de la masa forestal en selvas tropicales y praderas con el consecuente descenso de sumideros de CO₂ que implica.
- Aumento del nivel del mar en 40 cm y del número de riadas. lo que implicaría un aumento en del número de afectados por ellas desde los 13 millones actuales hasta los 94 millones en 2080.
- La repercusión sobre la salud será diversa. Aumentará el riesgo de malaria con mayor propensión en China y Asia central, aumento del número de muertes relacionadas con las altas temperaturas, aumento del riesgo de contraer cáncer de piel, etc.

1.5. Reducción de emisiones en el sector residencial

La principal emisión causante del efecto invernadero es el CO₂ y una importante fuente de emisiones de CO₂ es el sector residencial⁷. El caso concreto de España, el consumo final de energía destinada a este sector es menor que el de la media europea y en general que el de los países más industrializados.

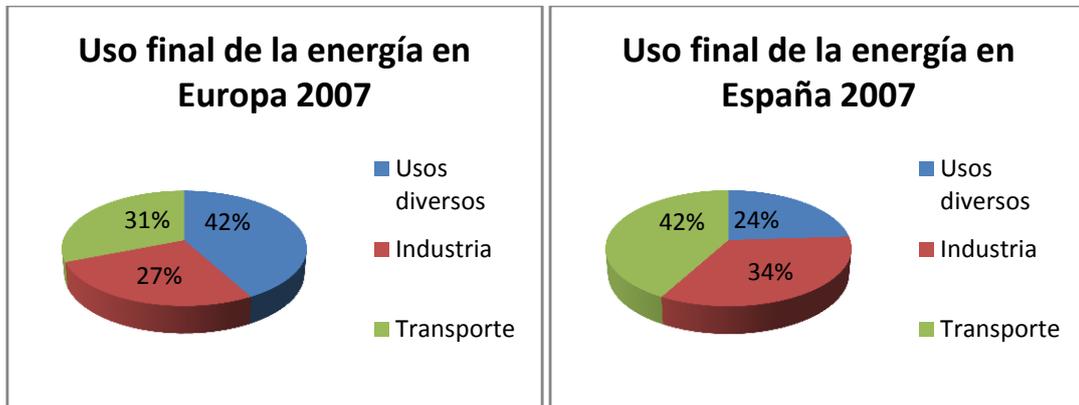


Fig. 8 Uso final de la energía en España para 2007 (Fte. Ministerio de industria, turismo y comercio)

(*) Por usos diversos se entiende el sector residencial, terciario, agricultura y pesca

Comparando ambas gráficas es evidente el desequilibrio modal del caso de España en relación con Europa: el sector de usos diversos pierde protagonismo y lo adquiere el sector transporte, aunque la intensidad energética⁸ es mayor que la de los otros dos sectores.

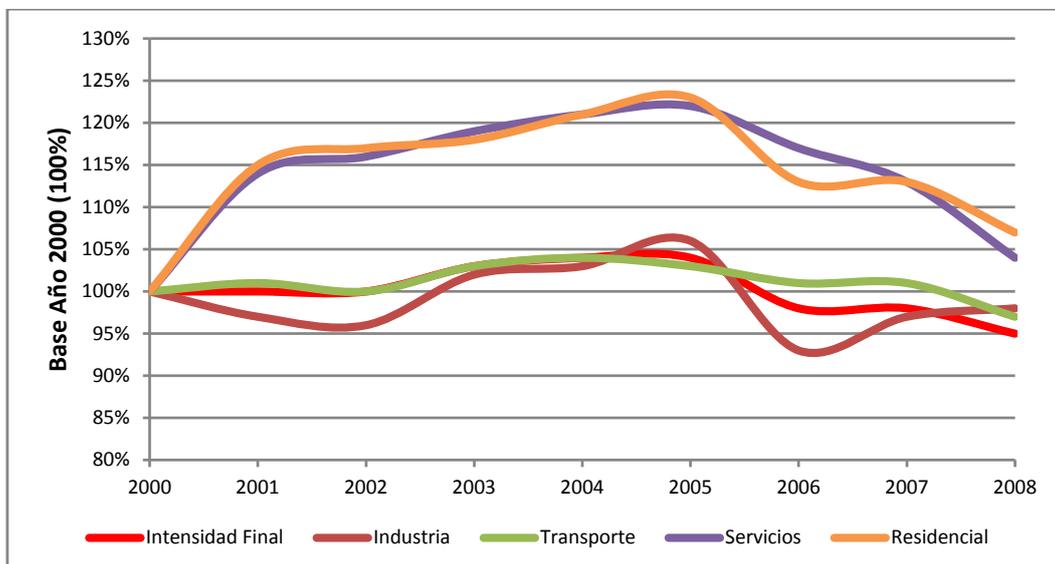


Fig. 9 Evolución de las intensidades energéticas final y sectorial en España (Fte. IDAE/MITYC)[9]

⁷ las agencias encargadas de los estudios estadísticos suelen considerar el sector residencial el comprendido por hogares, oficinas, centros comerciales e instalaciones dependientes de la administración pública.

⁸ Un indicador de la evolución de la eficiencia energética es la intensidad energética. Se define la intensidad energética como la razón entre el consumo de energía, primaria o final, por la unidad de producto interior bruto descontado (o a precios constantes). En aplicaciones que no contribuyen directamente al PIB, se puede redefinir como la razón entre el consumo de energía y el bien producido. Aplicado al sector residencial se puede expresar en consumo de energía/hogar.

Atendiendo a la Fig. 9, los sectores residencial y servicios son los que han experimentado un mayor aumento en su intensidad energética, como contraste, el sector industrial (que es el que ha contribuido en mayor medida a la mejora acumulada de la intensidad final).

Siendo la intensidad energética un indicador de la eficiencia, la afirmación anterior supone concluir que los esfuerzos por la mejora de ésta (en el sector residencial y servicios) han sido menores que en el resto de sectores.

El uso de la intensidad energética como termómetro de la eficiencia energética está cayendo en desuso, a favor de otros índices como los ODEX⁹.

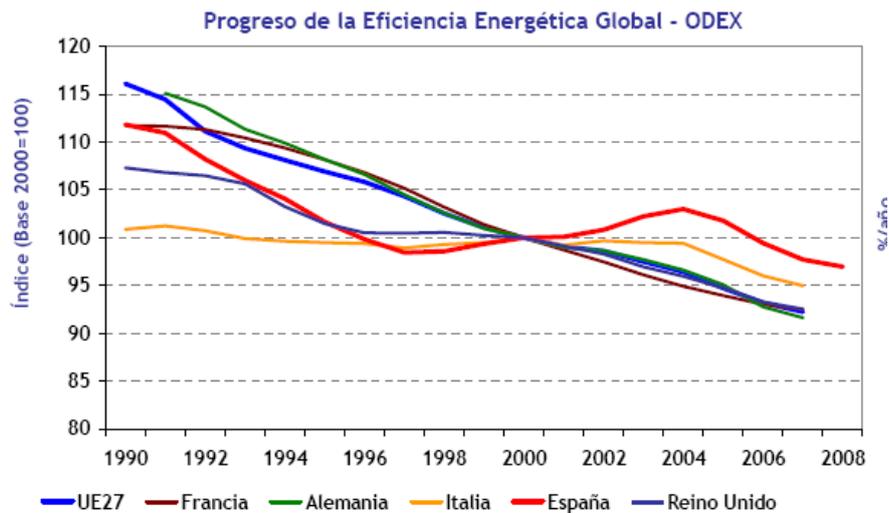


Fig. 10 Progreso de la eficiencia energética global – ODEX. *Indicadores de eficiencia energética, 2008* [10]

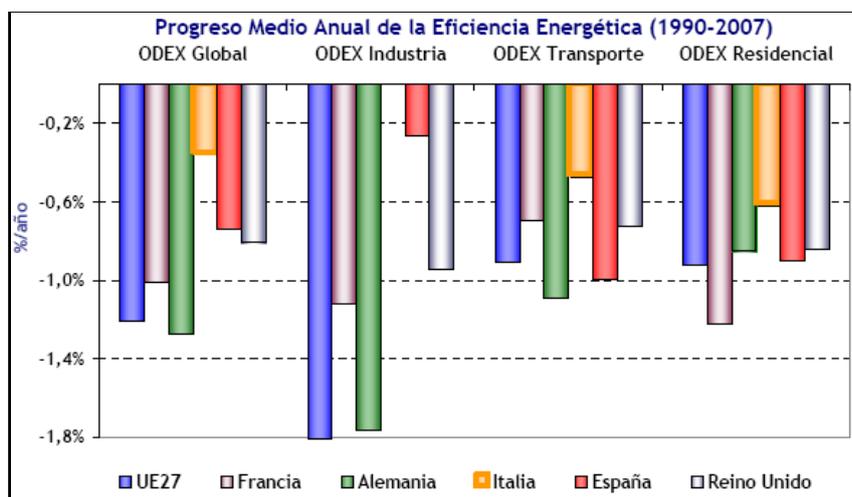


Fig. 11 Progreso medio anual de la Eficiencia Energética (1990-2007) - *Indicadores de eficiencia energética, 2008* [10]

⁹ Están basados en la metodología Bottom-up (metodología para inventario de consumos energéticos, que utiliza informaciones sobre el consumo de combustibles en cada fuente, permitiendo la gestión individualizada de cada una). Se basan en la agregación en un único indicador de las tendencias de los consumos unitarios de distintos sectores o subsectores de manera ponderada según el peso de los consumos energéticos de éstos respecto al consumo total. Proporciona un sustituto de indicadores más convencionales como las intensidades energéticas, facilitando una mejor estimación de la eficiencia energética a nivel agregado, al estar exentos de factores ajenos a la eficiencia energética, como los cambios estructurales. Una disminución del índice, implica una mejora de la eficiencia energética. [www.odyssee-indicators.org]

En la Fig. 11, el mayor aporte al progreso de la eficiencia global es el del sector transporte seguido del sector residencial. En comparación con la Fig. 9, la tendencia es completamente distinta. Es por esto que la intensidad energética no es un indicativo infalible de la eficiencia energética.

En 2008, el consumo del sector residencial disminuyó en un 2.1% respecto a 2007. Tomando un valor de 16471 ktep¹⁰ lo que **supone un 16.7% del consumo final total**. Esta reducción se debe a la disminución en el consumo de los productos petrolíferos y sobre todo del carbón, cuya demanda en este sector va disminuyendo progresivamente a favor de otros combustibles, como las energías renovables y el gas natural (registrando este último un aumento del 10,6% en su demanda). En el caso de las energías renovables, cabe destacar su penetración en este sector, alcanzando el 13% de la contribución a la demanda del mismo [9].

Esta reducción se puede atribuir, solo en parte, a los avances en la legislación que afectan a la edificación (plan de eficiencia energética y su trasposición en el CTE). La mayor introducción de las fuentes de energía renovables hasta el momento, ha sido en la producción de electricidad. Por tanto, el 13% de contribución de demanda citado, ha de deberse a la mayor presencia de las fuentes de energía renovables en el *mix de producción eléctrica* y no tanto al uso de las mismas de manera directa en el sector residencial.

Sector	Carbón	Productos petrolíferos	Gases	Energías renovables	Energía eléctrica	Total	2008/2007	2007
Industria	2.059	4.477	12.518	1.498	9.410	29.962	0	29.957
Transporte	0	38.529	0	610	479	39.617	-2.9%	40.804
Usos diversos	20	9.891	4.614	2.315	12.224	29.064	-4.8%	30.540
Residencial	17	5.153	3.613	2.155	5.532	16.471	-2.1%	16.830
Servicios	3	2140	728	115	6.225	9.211	-6.4%	9.841
Agricultura	0	2597	273	44	467	3.382	-12.6%	3.869
TOTAL	20.79	52.896	17.132	4.423	22.113	98.643	-2.6%	101.300

Fte. IDEÁ/MITYC/INE
Están excluidos los usos no energéticos

Tabla 1 Consumo de energía final (ktep) en España: Global y Sectorial, 2008

Sin embargo, la tendencia actual es la del aumento de consumo. El efecto mitigador que la climatología en España (sobre todo en el levante y sur peninsular) tiene sobre el consumo energético de sistemas de calefacción en el sector residencial, se está viendo enfrentado últimamente con el de los sistemas de aire acondicionado. El acceso de estos equipos al gran público es relativamente reciente y en la última década se ha visto aumentado sus bajos precios (en el año 2004 se construyeron en España unas 500 000 viviendas y se vendieron casi 700 000 equipos de aire acondicionado). Equipos, que por otra parte también suelen ser de baja certificación energética. Aunque la participación de estos equipos sea baja, menor del 1%, resulta problemático en cuanto a su impacto en las puntas de demanda. Este efecto es más acusado en períodos estivales.

¹⁰

Kilo toneladas equivalentes de petróleo. La tep es una unidad energética, su valor equivale a la energía liberada mediante la combustión completa de una tonelada de petróleo (la composición del mismo puede variar), pero se asume un valor de 41 868 000 000 Julios.

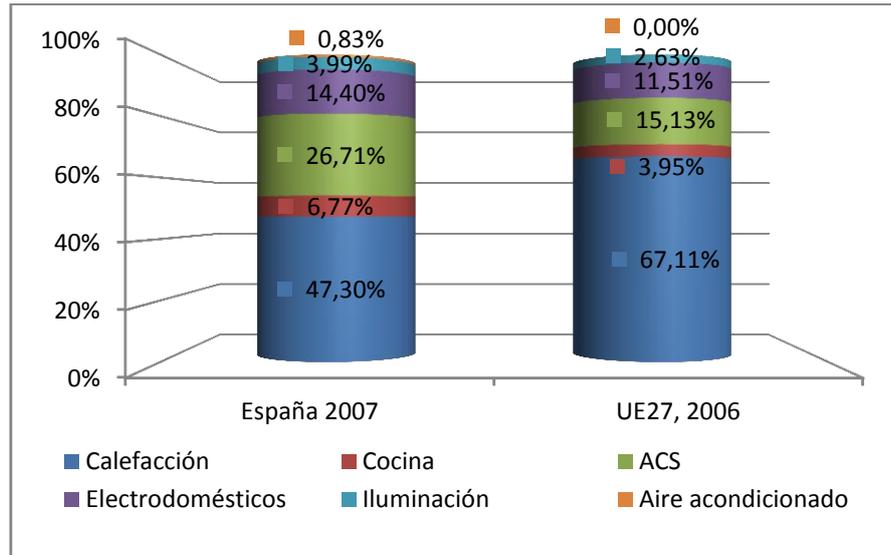


Fig. 12 Consumo Energético por Usos en el Sector Residencial en España y UE - [9]

Puesto que la demanda energética no se cubre con energías renovables, el consumo energético tiene asociado una emisión de contaminantes, entre los que se incluyen los gases de efecto invernadero. Dentro de estos gases de efecto invernadero el de mayor proporción es el CO₂.

Es imprescindible puntualizar que los sistemas de aire acondicionado que repercuten sobre las emisiones de CO₂, son aquellos que obtienen la energía para su funcionamiento del mix de energías no renovables (exceptuando a la energía nuclear). Es decir, habría que excluir los sistemas que dependen exclusivamente de energías renovables (energía solar fotovoltaica-máquina de compresión mecánica, energía solar térmica-máquina de absorción).

Calentamiento global y consumo de energía están estrechamente relacionados, con la Fig. 1 se pretende explicar la relación entre ambos:

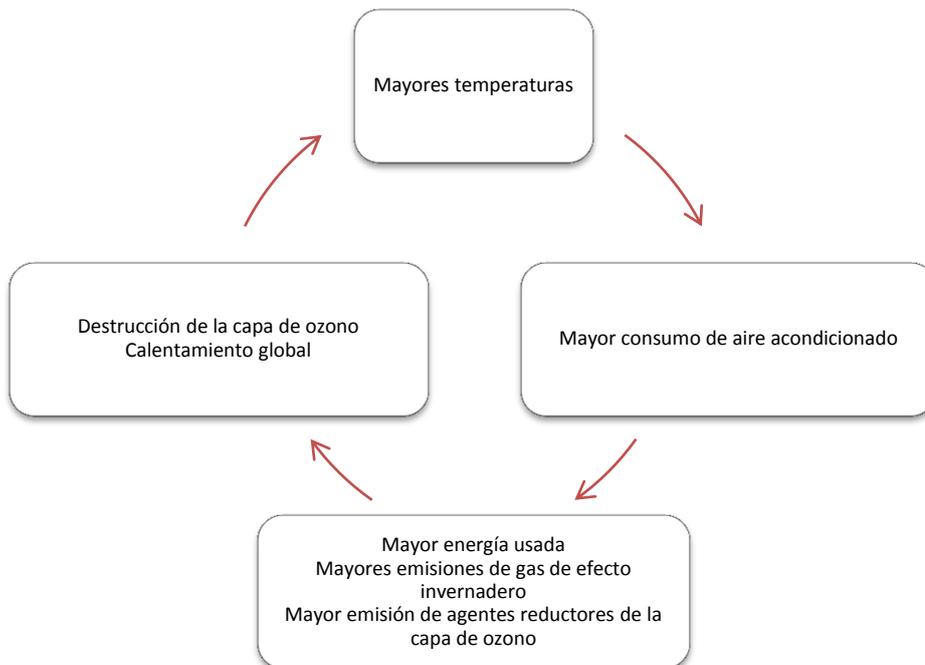


Fig. 13 Círculo vicioso cambio climático - [5]

Las emisiones de CO₂ correspondientes al sector residencial **suponen el 46% del total de las emisiones producidas en España** (en 2007 están un 52.3% por encima de las de 1990 Kioto propone un aumento del 15% sobre el año base para 2012) (ref. IDAE). En este sentido, en el marco del protocolo de Kioto, la tendencia actual no es de reducción de las emisiones sino de aumento. Aunque España fue suscriptor de dicho tratado, las intenciones iniciales se han ido diluyendo absorbidas por el crecimiento económico y la sociedad del bienestar, que en ningún caso han evolucionado teniendo como base la sostenibilidad.

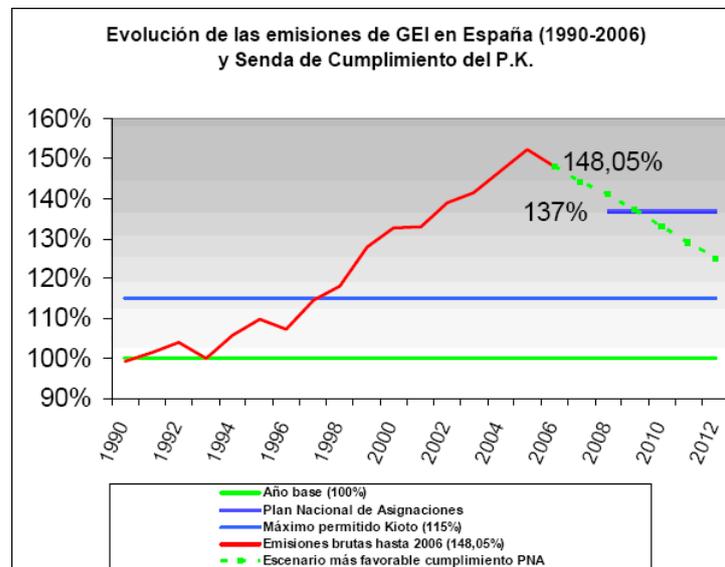


Fig. 14 Evolución de las emisiones de GEI en España (1990-2006) y senda de cumplimiento del protocolo de Kioto. FTE MITyC

A tenor de lo expuesto, no cabe duda de que la senda actual no es la correcta. En el sector residencial en particular, es necesario aprovechar los avances en energías renovables (sistemas que podemos denominar como activos) en conjunción con los sistemas pasivos.

En definitiva, es necesaria una toma de conciencia que ha de ser promocionada por parte de los poderes públicos. Si bien es cierto que estrategias como el *Plan Nacional de Asignación 2008-2012* para los sectores difusos¹¹ son necesarias, se puede recriminar que tal vez llegan tarde o adolecen de falta de previsión (nuevo código técnico de la edificación, que obliga al aporte de energía solar térmica para agua caliente sanitaria y climatización de piscinas entra en vigor después del llamado “boom inmobiliario”).

Plan Nacional de asignación 2008-2012. Está orientado a conseguir que las emisiones de gases de efecto invernadero no superen en un 37% a las del año base (tomando el 2007 como año base). El texto, por tanto, no contempla la reducción de emisiones sino tan solo la frenada de su crecimiento. El citado plan alberga otro, de nombre *Plan de Acción 2008-2012 de eficiencia energética*.

Los objetivos para el sector residencial del Plan de Acción 2008-2012 de eficiencia energética son:

- Mejora de la eficiencia energética en los edificios, tanto en la envolvente como en el equipamiento de la misma.
- Promoción de medidas que incidan sobre el comportamiento del consumidor.
- Seguimiento de los objetivos del Código Técnico de la Edificación y puesta en marcha de sistemas de calificación energética en los edificios.
- Promoción de la utilización de energías renovables.
- Desarrollo de programas ejemplarizantes en los edificios públicos.

¹¹ Los sectores difusos son aquellos sectores no incluidos en la Ley 1/2005 en la que se regula el régimen de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. Éstos son el sector de transporte; residencial, comercial e institucional; agrario; residuos y gases fluorados

1.6. Energía solar activa y su uso residencial

No se pretende en este apartado hacer una intensiva clasificación de los sistemas solares activos¹² aplicados al campo residencial, sino, siguiendo el guión de lo expuesto en sistemas pasivos, dar una breve descripción de los mismos, tratándose de manera más extensa la evolución hacia el estado actual.

Los sistemas solares activos pueden agruparse en **térmicos** o **fotovoltaicos** en función del método por el cual generan energía para ser transformada o convertida.

1.6.1. Aplicaciones fotovoltaicas.

Obtienen corriente continua mediante la captura de la energía fotónica de la luz en materiales con una estructura molecular específica. El efecto fotoeléctrico permite crear una carga eléctrica en un sustrato semiconductor que ha sido dopado¹³ con aditivos químicos para crear capas positivas y negativas enfrentadas. Los fotones de la luz solar golpean esta superficie facilitando el movimiento de un electrón desde la capa positiva cargada a la negativa. De este modo se crea una corriente eléctrica. Esta transferencia de electrones ocurre sin la necesidad de partes móviles y es proporcional a la cantidad de luz incidente sobre la superficie. Como dato indicativo de la amortización y viabilidad de estos dispositivos, decir que el período de garantía medio ofrecido por los fabricantes es de 25 años, aunque su durabilidad es mucho mayor.

- *Evolución hacia el uso actual de los sistemas activos de energía solar fotovoltaica:*

La primera aplicación práctica del efecto fotovoltaico (enunciado por primera vez en 1838) se desarrolló en *Bell Laboratories* en 1953, con la fabricación de una célula fotovoltaica de silicio que tras ciertas modificaciones era capaz de proporcionar la suficiente cantidad de energía eléctrica como para que se considerara un sistema de producción de energía (los resultados hasta el momento no producían valores significativos).

El siguiente impulso vino de mano de la carrera espacial. El coste de la energía producida no era un impedimento debido al alto presupuesto del programa espacial. Para esta aplicación en concreto la energía solar fotovoltaica debido a su alta fiabilidad (aunque aún baja eficiencia) era muy competitiva.

La reducción de costes de fabricación de la tecnología fotovoltaica supuso en la década de los 70 la extensión de su uso espacial a aplicaciones terrestres, fundamentalmente para aplicaciones con funcionamiento en modo isla. Los costes eran todavía muy superiores a los sistemas de generación convencional, sin embargo este inconveniente se compensaba al suprimir el trazado de una nueva línea eléctrica.

La **generalización de su uso** se viene produciendo desde finales de los años 90, no solo para pequeñas aplicaciones en modo isla sino para la producción energética (con puntos de consumo alejados de los de producción; huertos solares) con conexión a la red. El vertiginoso ascenso de la potencia instalada ha sido motivado por las medidas de apoyo de los gobiernos al sector.

Medidas como las **leyes de primas**¹⁴ y las **ayudas directas**¹⁵ han sido determinantes al minimizar el periodo de amortización de las instalaciones. También se han concedido importantes inversiones que han facilitado la adquisición de los equipos.

¹² Se denominan sistemas activos a aquellos que aprovechan la energía solar para almacenarla o convertirla para otras aplicaciones. Estas aplicaciones incluyen el almacenamiento de calor para calentar agua, uso del calor para aplicaciones industriales o generación de electricidad de manera directa o a través de turbinas de vapor.

¹³ [REF] Solar revolution

Se denomina dopaje de un semiconductor, al proceso intencional de agregar impurezas en un semiconductor extremadamente puro (también referido como intrínseco) con el fin de cambiar sus propiedades eléctricas. [ref Wikipedia]

¹⁴

Se entiende por prima un pago económico a la producción, adicional al precio de venta, y realizado a cargo de fondos públicos.

¹⁵ Una ayuda directa es el abonar una fracción de coste de adquisición. Puede entenderse como ayuda directa, el conceder préstamos a un bajo interés e incluso la desgravación fiscal por inversiones en sistemas de energías renovables.

- Estado actual del sector:

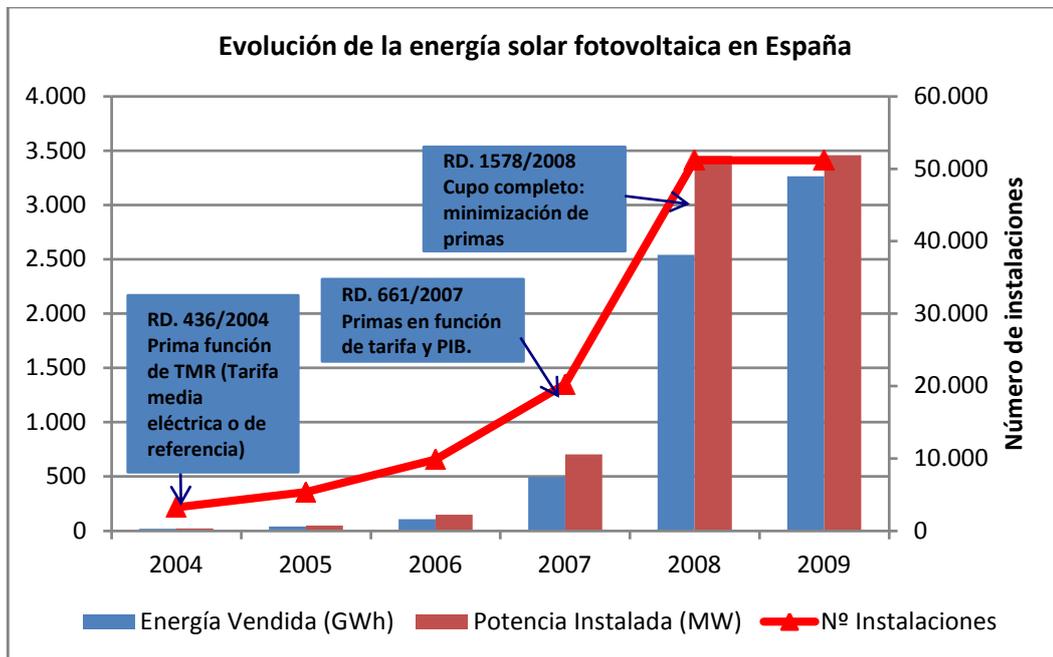


Fig. 15 Evolución de la energía solar fotovoltaica en España 2004-2009 [Fte.CNE]

De la gráfica anterior se sacan tres eventos que han sido fundamentales para la implantación de la tecnología fotovoltaica en España, estos tres eventos coinciden con sendos Reales Decretos Ley.

- Real Decreto 436/2004 de 12 de marzo, por el que se establece el régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Define que la revisión de las tarifas, primas e incentivos se realizará cada 4 años a partir de 2006, y sólo afectará a las nuevas instalaciones. Se deroga el RD 2818/98 de 23 de diciembre. Para las instalaciones fotovoltaicas de hasta 100 kW se da una retribución del 575 % de la TMR (Tarifa Media o de Referencia) durante los primeros años y luego el 80 % de esa cantidad durante toda la vida de la instalación. Estas condiciones se mantendrán hasta que se tengan instalados en España 150 MW

No obstante, el mayor incremento en número de instalaciones se ha producido entre los años 2007 y 2008. Este espectacular aumento se puede analizar en dos secuencias de tiempo:

- *Tras el RD.661/2007.* Define que la revisión de las tarifas, primas e incentivos se realizará cada 4 años a partir de 2010 en que se procederá a la primera revisión. Se deroga el RD 436/2004 de 12 de marzo. Se anula la retribución de las instalaciones con respecto a la TMR, y se indexa su retribución con respecto al Índice de Precios al Consumo (IPC). Estas condiciones se mantendrán hasta que se tengan instalados en España 371 MW

La consolidación del sistema de primas y tarifas supuso el despertar de un auge inversionista en el sector, mediante la explotación de huertos solares (divididos en parcelas de 100 kW con el fin de acogerse a la tarifa más beneficiosa y rentabilizar más rápido la inversión, en este caso 44,0381 c€/kWh. Fijada en 0,470181 c€/kWh en la última revisión de Enero de 2009)

- *Hasta la entrada en vigor del RD 1578/2008.* La redacción de dicho Real Decreto está motivada por el cumplimiento del objetivo de potencia (371 MW), asignado en el Plan de Energías Renovables 2005-2010. Este nuevo Real Decreto reduce el valor monetario de las primas, quedando en el mejor de los

casos en 34 c€/kWh. Desde la entrada en vigor del mismo se han detectado irregularidades y fraudes en la puesta en marcha de instalaciones fotovoltaicas¹⁶.

La potencia instalada correspondiente a instalaciones fotovoltaicas que se pueden considerar destinadas a uso residencial (aquellas con potencia entre 5 y 20 KW) es de 238 Mw, significa por tanto menos del 10% del total de potencia instalada. El estado actual muestra por tanto una tendencia hacia las instalaciones de vertido a red sin autoconsumo, hay quien en estos datos podría encontrar un afán especulativo. Datos extraídos de la información estadística sobre las ventas de Energía del Régimen Especial (publicado en Enero de 2010 por [ref CNE]) y del Registro de Instalaciones de Producción en Régimen Especial del MITYC [11].

1.6.2. Aplicaciones térmicas.

Incluyen todos los usos de la energía solar en mecanismos operados por calor, con base en el calentamiento de agua o cualquier otro líquido conductivo.

- *Evolución hacia el uso actual de los sistemas activos de energía solar térmica:*

De nuevo la **década de los 30** del pasado siglo cobra especial relevancia. En **1938** se desarrollan en el MIT (Massachusetts Institute Technology) proyectos de casas-laboratorio solares con la intención de producción de agua caliente mediante el aprovechamiento de la energía solar.

Sin embargo no es hasta **1973** con la crisis del petróleo, cuando la investigación en energía solar recibe apoyos por parte del gobierno estadounidense en forma de subvenciones para la implementación de la energía solar en los edificios. La conclusión principal que derivó de estos estudios fue la mayor viabilidad de la energía solar como método de producción de agua caliente a bajas temperaturas.

En la **década de los 80** la Unión Europea toma el relevo de EEUU en lo referente a ahorro energético y uso de las energías renovables.

Aunque no es hasta el siglo XXI y más concretamente en 2006, en parte como consecuencia de la firma del protocolo de Kioto y en parte por el alza del precio del petróleo, cuando los gobiernos toman conciencia de la necesidad de incentivar la eficiencia energética, ahorro de energía y disminución de la dependencia energética del exterior.

Todas estas necesidades se traducen en inversión en energías renovables por parte de los organismos públicos.

- *Estado actual del sector*

El caso de España y la energía solar térmica culmina con la aprobación del código técnico de la edificación y más concretamente con el documento de aplicación al código (DAC), Exigencia Básica (HE) 4: **Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.**

Esta sección obliga a que en los edificios *nuevos o los que se rehabiliten*, cuando exista una demanda de agua caliente sanitaria, un porcentaje de las necesidades energéticas derivadas de esa demanda se cubran mediante la incorporación en los mismos de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar de baja temperatura. Esta norma se extiende además a la *climatización de las piscinas*.

El porcentaje de aporte con energía solar se calcula a través de una tabla de dos entradas con las siguientes variables:

¹⁶

Estas irregularidades han suscitado la redacción de un nuevo Real Decreto ley aun en redacción, en el borrador del mismo se lee: *Como consecuencia de la ejecución del plan de inspecciones a instalaciones fotovoltaicas propuesto por la Comisión Nacional de Energía y aprobado por la Dirección General de Política Energética y Minas, en cumplimiento de lo preceptuado en la disposición adicional novena de la Orden ITC/1857/2008, de 25 de junio, se ha puesto de manifiesto la existencia de frecuentes supuestos de instalaciones con anomalías graves. Dichas anomalías consisten, en particular, en que, pese a que han pretendido ser beneficiarias del régimen previsto en el Real Decreto 661/2.007 y pese a que han obtenido el acta de puesta en marcha, no tenían instalados, a 30 de septiembre de 2.008, todos los paneles fotovoltaicos comprometidos en el respectivo proyecto ni los equipos técnicos necesarios para el funcionamiento normal de la central. La situación detectada podrá determinar, en su caso, la aplicación del régimen punitivo, administrativo o penal, que corresponda, aparte de la revisión de los actos administrativos que fuera procedente*

1. Demanda energética del edificio. Su cálculo se realiza con una tabla de consumos unitarios, repartidos por usos y a 60 °C, existiendo la posibilidad de reducir esta temperatura a la hora de diseñar la instalación en función de la legislación vigente en materia sanitaria.
2. Zona climática en la que se encuentre el edificio objeto de la instalación. El documento se acompaña un mapa con las cinco zonas en las que se ha dividido España.

Estas prescripciones técnicas, tienen un *carácter de mínimos*, que se pueden completar con las que establezcan las Comunidades Autónomas y Entidades locales para sus territorios.

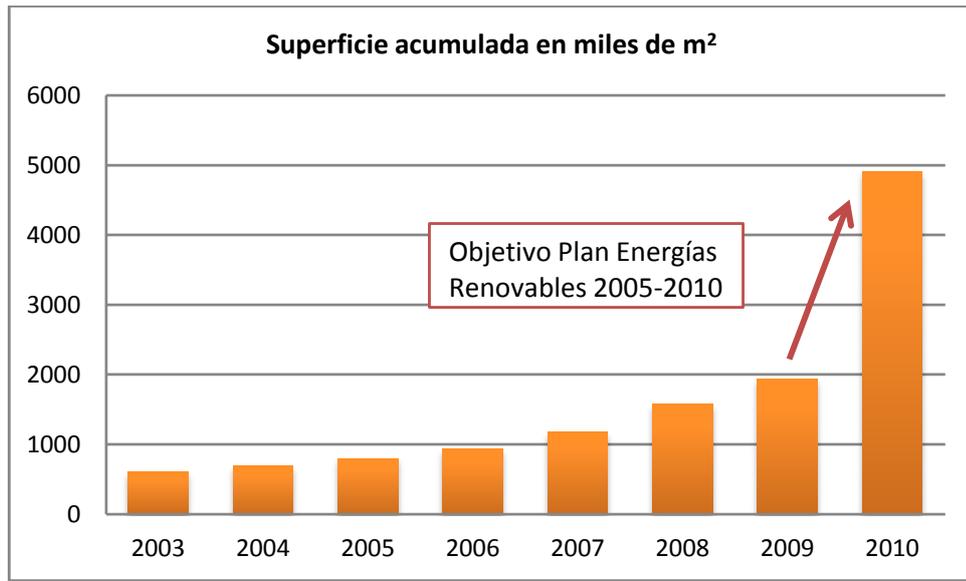


Fig. 16 Evolución de superficie instalada de paneles solares térmicos 05-10 y objetivo marcado

En contraste con el caso de la energía solar fotovoltaica el objetivo marcado por el PER está lejos de conseguirse. Si se tiene en cuenta que el impulso para ambos casos viene desde la misma fuente, (planes de gobierno en forma de decretos regulatorios) el desequilibrio en la implantación de ambas tecnologías debe responder a intereses lucrativos.

En la actualidad el uso principal de la energía solar térmica se da en instalaciones de captadores solares de baja temperatura, para el consumo de agua caliente sanitaria en edificios residenciales y sector hotelero.

Ya se ha comentado como, en contraste, el principal uso de la energía solar fotovoltaica es el de producción de energía eléctrica para comercialización y no para autoabastecimiento.

En mi opinión, si se quiere llegar al objetivo de superficie instalada será necesaria una mayor política de subvenciones

1.7. Uso residencial de los sistemas solares

Solar térmica	Aplicaciones principales	Con captador plano: A.C.S. y climatización de piscinas
	Otras aplicaciones	Con captador plano de alto rendimiento y vacío: Calefacción por elementos radiantes, procesos industriales, refrigeración con energía solar
Solar fotovoltaica	Aplicaciones principales	Instalaciones sobre edificaciones con conexión a red.
	Otras aplicaciones	Instalaciones sobre edificaciones en modo isla.

Tabla 2 Usos residenciales más extendidos de los sistemas solares

1.8. Hacia los edificios de energía cero

Los principales sistemas pasivos descritos en el apartado de antecedentes siguen teniendo validez en la actualidad, es más, no es posible hablar de arquitectura solar sin ellos. Aunando estos sistemas, con los activos que permite la tecnología actual se obtiene un efecto sinérgico.

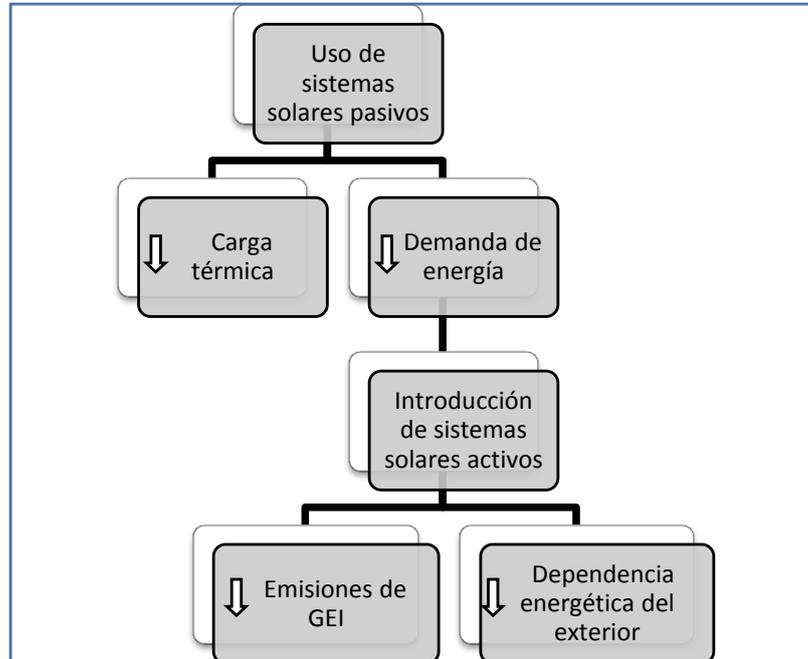


Fig. 17 Factores sobre los que afecta el uso de la tecnología solar de manera conjunta (solar activa y solar pasiva)

Actualmente existe una corriente de ingenieros y arquitectos que abogan por el diseño de *edificios de energía cero*. Para conseguir esta meta, además de necesitar un trabajo conjunto, son necesarias muchas más medidas que el aumento de la eficiencia energética de los edificios. Según la *International Energy Agency*- [3], este movimiento necesita del respaldo de programas gubernamentales.

1.8.1. Estrategias propuestas por [3] (SHC task 40), hacia los edificios de energía cero

La **primera estrategia** es la de reducir la demanda energética a través de un diseño arquitectónico óptimo y envolventes eficientes. Las medidas necesarias para lograr este objetivo dependen de:

- Clima.
- Tipo de edificio.
- Soleamiento.
- Mejoras en los acristalamientos.
- Ventilación natural.
- Sombreamiento activo o pasivo como control de la ganancia solar.
- Mejora de la eficiencia de los sistemas de climatización.
- Regulación y control de los sistemas de climatización así como de los de iluminación.

Todas estas medidas son imprescindibles en la denominada arquitectura pasiva, para climas fríos y moderados.

La **segunda estrategia**, complementaria de la primera, supone el uso intensivo de las energías renovables, incluyendo producción de calor y frío a través de colectores solares térmicos y fotovoltaicos, uso de biocombustibles y de otras fuentes de energía limpias.

El conseguir **edificios autónomos** a través de estas estrategias supone en la actualidad un reto técnico, económico y ecológico. El desacople entre demanda y disponibilidad en las energías renovables implica el sobredimensionamiento de los sistemas de suministro (puesto que de momento el almacenamiento de la misma no es lo suficientemente eficiente).

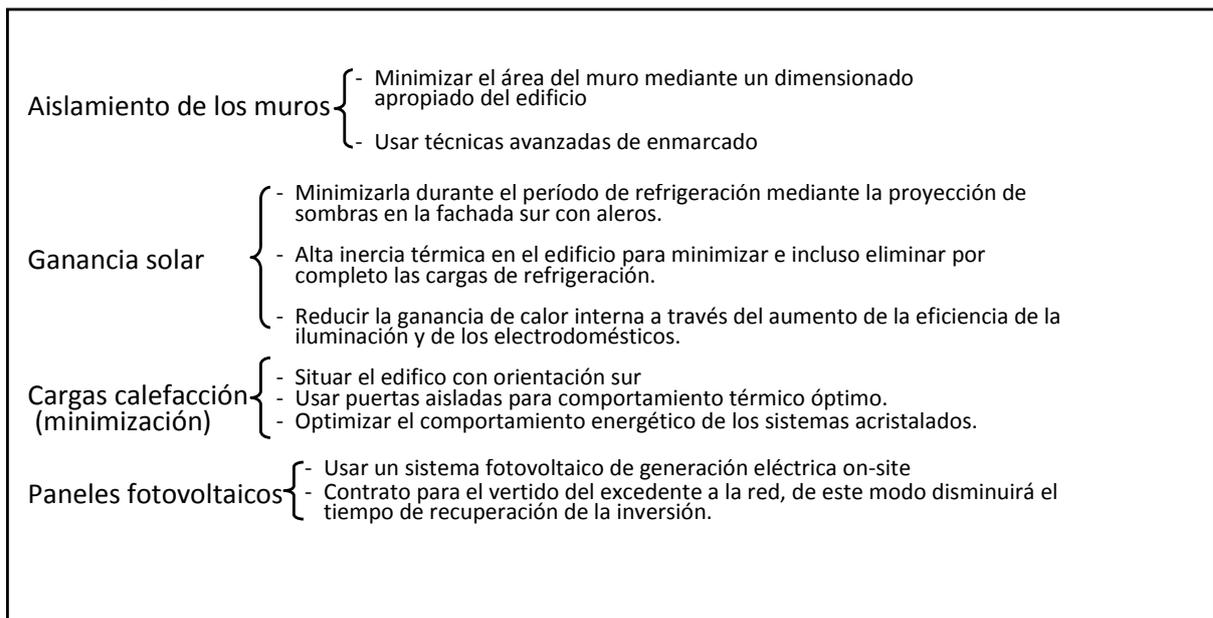
1.8.2. Algunos ejemplos estudiados por [3] (SHC task 40)

La IEA (International Energy Agency) en lo que ellos denominan su tarea 40, Towards Net Zero Energy Solar Buildings, propone a través de su página web, ejemplos de construcciones que fueron diseñados siguiendo las pautas de los edificios de energía cero y que realmente lo consiguen.

Aunque la vivienda objeto del proyecto no se pretende que sea autosuficiente energéticamente, el estudio de las soluciones conseguidas para minimizar la demanda energética en los edificios enmarcados en la *task 40* es de interés para este proyecto.

Conjunto residencial en Friburgo. Se trata de un conjunto residencial que utiliza los conceptos de las casas pasivas, con altos niveles de insolación. El asentamiento está conectado a una red de calor de distrito, la planta de generación de calor se alimenta a través de biomasa. Dispone de paneles fotovoltaicos integrados en la cubierta y conectados a la red eléctrica.

- *Estrategias verdes:*



En la Fig. 19, se observa como la cubierta rematada por placas fotovoltaicas cumple una doble misión; por un lado proporciona sombreadamiento y por otro lado produce energía eléctrica.

Se diseñan los aleros de modo que permitan el paso de los rayos solares invernales (baja altura solar) y bloqueen los estivales (alta altura sola). Los acristalamientos por efecto del sombreadamiento asociado al alero previenen de ganancias de calor indeseadas. En la Fig. 18 se representan estos dos sucesos.



Fig. 19 Incidencia de rayos solares, invierno-verano [3]

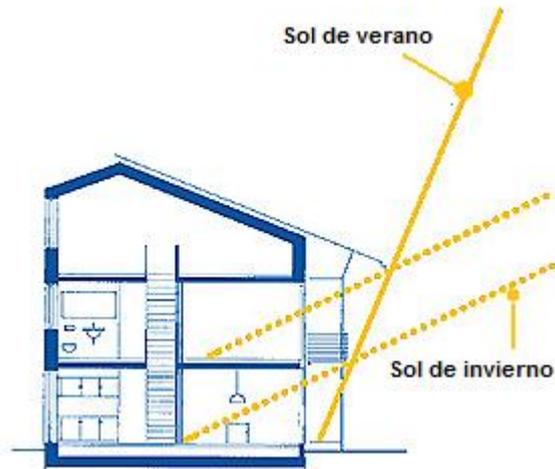


Fig. 18 Fachada oeste de las viviendas [3]

- Consumo energético

Este conjunto residencial no es autosuficiente, aunque el mayor consumo de energía es abastecido con la producción en el propio edificio, necesita un aporte externo de una fuente renovable como es la biomasa (calor de distrito).

Combustible	MJ	MJ/m ²
Adquirido	1 340 000	166
Producido	1 930 000	237
Total	3 270 000	403

Tabla 3 Consumo y producción energética

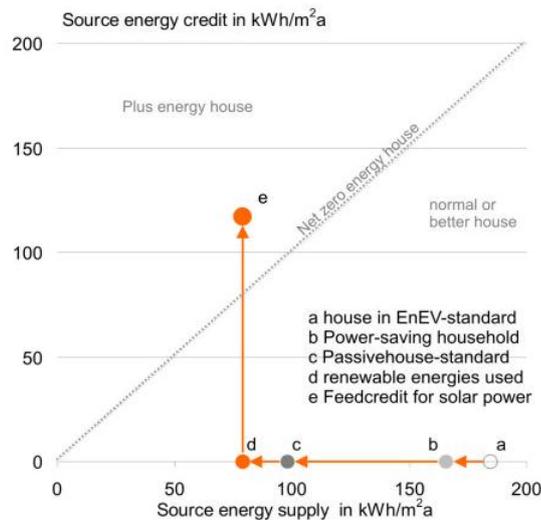


Fig. 20 Comparación del uso de energía en una vivienda plus-energy en comparación con una casa media. [3]

En este proyecto pretendo ser coherente con las estrategias propuestas hacia la obtención de edificios de energía cero. No pretendo que el objetivo del diseño de la vivienda, se obtener un edificio autosuficiente. Pero sí, que con soluciones constructivas razonables (tanto en lo económico como en lo operativo), aunque en algunos casos poco convencionales, presente unos requerimientos de energía menores que los que presentan los edificios del mismo tipo. En este caso, las viviendas unifamiliares. En posteriores capítulos expondré las soluciones de diseño conducentes a la consecución del objetivo de minimización de demanda. Soluciones que son coherentes tanto con ref SHC task 40, como con la arquitectura bioclimática.

1.9. Bibliografía del capítulo

1. <http://www.building.co.uk/>.
2. *Hypocaust*.
3. Agency, I.E. *Towards Net Zero Energy Solar Buildings*. 2008; Available from: <http://www.iea-shc.org/>.
4. Yañez Parareda, G., *Arquitectura solar : aspectos pasivos, bioclimatismo e iluminación natural*. Monografías. 1988, Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Dirección General para la Vivienda y Arquitectura. 192 p.
5. Roaf, S., M. Fuentes, and S. Thomas, *Ecohouse : a design guide*. 3rd ed ed. 2008, Amsterdam: Architectural Press. VI, 479 p.
6. Butti, K., J. Perlin, and J. Corral, *Un hilo dorado : 2500 años de arquitectura y tecnología solar*. Energía, clima y diseño. 1985, Madrid: Blume. XII, 291 p.
7. Balcomb, J.D., *PASSIVE SOLAR RESEARCH AND PRACTICE*. *Energy and Buildings*, 1984. **7**(4): p. 281-295.
8. Neumann, A.L., *La contaminación atmosférica, fuentes y fenómenos*. Apuntes de la asignatura Ingeniería Ambiental. Nov-2004.
9. IDAE, *Análisis Global y Sectorial de la evolución del consumo y de la intensidad energética en España. Comparación a nivel europeo*. 2009, Boletín electrónico del IDAE.
10. IDAE, *Informe anual de indicadores energéticos. Año 2008*. Publicaciones IDAE, 2008.
11. Energía), C.C.N.d.l., *Información Estadística sobre las Ventas de Energía del Régimen Especial*. 2010.

[Motivación y objetivos]

[PFC DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR
(ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS)]

Motivación

España, se encuentra en una situación en la que la tendencia actual, es la de reconocer el ahorro y la eficiencia energética como un instrumento del crecimiento económico y bienestar social.

Este ahorro energético, viene motivado desde la administración del estado, en forma de normativa y planes al efecto. En el caso concreto del sector residencial, los principales referentes son: el *Código Técnico de la Edificación (CTE)* a través de sus exigencias básicas de ahorro de energía (*HE*) y el *Plan de Energías Renovables para España 2005-2010 (PER)*.

Si la superficie de colectores solares térmicos y los $\text{kW}_{\text{eléctricos}}$ instalados (potencias entre los 5 y 20 $\text{kW}_{\text{eléctricos}}$), son indicadores válidos de la penetración de las energías renovables en el sector residencial, de acuerdo con lo expuesto en la introducción, esta penetración es baja. El principal motivo, puede ser que estas tecnologías hayan sido consideradas durante cierto período de bonanza una inversión, más que una necesidad.

A través de las energías renovables, se obtiene un ahorro energético de fuentes de energía convencionales. Una estrategia complementaria del uso intensivo de las fuentes de energía renovables es la reducción de la demanda energética. Es correcto suplir la mayor proporción de demanda de energía a través de fuentes de energía renovables, pero *¿no será aún mejor no tener demanda?*

Reducir la demanda de energía de las viviendas sin penalizar el confort térmico, es una de las medidas sobre las que se tiene margen de maniobra y es compatible, con un escenario futuro sostenible y con menor grado de dependencia energética (de los combustibles fósiles y por tanto, de terceros países).

La motivación del proyecto es conseguir hacer frente (a través del conocimiento adquirido) al diseño y análisis de *Sistemas conducentes a la reducción de la demanda de energía de manera pasiva (sistemas pasivos, basados en la arquitectura solar)*, por un lado y de *sistemas conducentes a la reducción de la demanda de energía derivada de fuentes convencionales (sistemas activos)*, por otro. Cada sistema sigue una senda, por tanto, pueden considerarse de manera aislada. Sin embargo, ambas deben **converger**, siendo el resultado último de esta convergencia los **edificios de energía cero**.

Si bien es cierto que en la mayoría de las ocasiones las construcciones están supeditadas a modelos urbanísticos no adecuados/no compatibles con la arquitectura solar (el acceso de los equipos de calefacción y refrigeración al gran público, hizo perder la implicación solar), hay soluciones que pueden ser aplicadas, incluso en zonas urbanas. Siendo la punta de lanza, de este tipo de construcción, las viviendas unifamiliares. **Con este proyecto pretendo demostrar, como se puede conseguir un importante ahorro energético. Siguiendo pautas de diseño, que por otro lado, no son nuevas, sino que han caído en desuso.**

Objetivos

El objetivo primario del proyecto, es ser capaz de acometer diseño de una vivienda ubicada en Madrid, basada en la arquitectura solar. Tanto en lo que se refiere a elementos activos como pasivos. La vivienda diseñada, debe resultar una vivienda pasiva con altos niveles de insolación, cuya definición de pasiva no dependa de la incertidumbre derivada que del uso de la vivienda hacen los ocupantes y que reduzca la carga térmica en comparación con otra de “construcción convencional”

Diseño de sistemas solares pasivos. Estos sistemas son los que condicionan o definen el diseño del conjunto de la vivienda. Se pretende conseguir un diseño en detalle, desde el punto de vista térmico y que el cálculo justificativo sea lo más preciso posible.



Fig. 1 Pautas de diseño de los sistemas solares pasivos

Diseño de sistemas solares activos. Diseño de una instalación de ACS solar térmica de baja temperatura para el suministro de agua caliente sanitaria (ACS). No generar incompatibilidades con una posible instalación de calefacción por suelo radiante (esta última no se calcula).

De este objetivo primario, derivan objetivos secundarios:

- Tener en cuenta las posibles incompatibilidades entre soluciones
- Cuantificar la participación de cada una de las soluciones adoptadas, sobre la carga térmica total.
- Cumplir con las directivas HE 1 y HE 4 del CTE.
- Cálculo de la carga térmica y de la demanda de ACS.
- Comprobar cómo este tipo de arquitectura, reduce las necesidades de calefacción y refrigeración, en comparación con la “convencional”.
- Análisis del consumo y ahorro energético (tanto de climatización, como de ACS). Si se quiere hacer un análisis energético preciso, es necesario recurrir a modelos/herramientas no estandarizadas.
- Comparación de la demanda energética de este tipo de construcciones frente a las convencionales. Una primera comparación mediante datos generalistas y otra más detallada (diseño de una vivienda alternativa de similar planta, sin implicación solar).
- Cálculo de emisiones de CO₂, derivadas del consumo de energía demandada para los dos tipos de construcción considerados.

[Descripción de la vivienda y proceso de diseño]

ÍNDICE

3. Descripción de la vivienda y del proceso de diseño	32
3.1. Vivienda de referencia	33
3.2. Vivienda diseñada	36
3.2.1. Simplificaciones sobre la vivienda de referencia	36
3.2.2. Breve descripción de la vivienda.	36
3.2.3. Soluciones de diseño	38
3.2.4. Planos	40
3.3. Bibliografía del capítulo	46

[PFC DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR (ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS)]

[En este capítulo se presenta la vivienda diseñada y se enumeran las medidas afines a la arquitectura solar que se aplicarán en el diseño (objeto de este PFC). Si bien, por ahora no se justifican los cálculos que las afectan, lo que se pretende es centrar al lector en los objetivos del proyecto]

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Perspectiva de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]	34
Fig. 2	Alzado sur de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]	34
Fig. 3	Alzado norte de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]	35
Fig. 4	Alzado oeste de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]	35
Fig. 5	Vista en perspectiva de la vivienda (fachada este-sur)	37
Fig. 6	Vista de la fachada este de la vivienda	37
Fig. 7	Vista de la fachada oeste de la vivienda	37
Fig. 8	Vista en perspectiva de la vivienda (fachada norte-oeste)	38
Fig. 10	Sombreamiento producido por el alero en el	39
Fig. 9	Sombreamiento producido por el alero en el ventanal sur. 14:00h 21 de Julio	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1	Impacto del tipo de solución sobre la carga térmica de cada estrategia	40
----------	--	----

3. Descripción de la vivienda y del proceso de diseño

De acuerdo con lo expuesto en la introducción y en los objetivos del proyecto, el diseño de la vivienda será coherente con el tipo de arquitectura solar o bioclimática (tanto en lo que se refiere a los sistemas activos como a los pasivos). Las estrategias necesarias para conseguirlo serán del tipo de las consideradas por la IEA en su task 40.

El primer paso que he dado en el diseño de la vivienda, es realizar un estudio en el que se tienen en cuenta todos los aspectos que lo condicionan. Habrá aspectos objetivos y otros con un carácter más subjetivo que harán difícil cuantificar la repercusión que tienen sobre el diseño.

Dentro de los aspectos “objetivos”:

1. Localización de la vivienda

Es necesario fijar latitud, altitud y longitud del emplazamiento de la vivienda. Un factor determinante que depende de la localización, es la meteorología de la zona. Será necesario obtener datos acerca de la evolución de las condiciones climáticas en el emplazamiento.

2. Características de la parcela

Se define la orientación de la parcela según el eje cardinal predominante.

Se evalúa el posible bloqueo de la radiación solar que la presencia de edificios u obstáculos cercanos pueda causar.

3. Futuro uso de la vivienda. Habrá que dar respuesta a las siguientes preguntas:

¿Será la vivienda una primera o segunda residencia?

¿Cuál será el número de habitantes?

¿Su uso será exclusivo residencial?

Como aspectos “subjetivos”:

1. Situación personal de los ordenantes del proyecto

Es necesario conocer el poder adquisitivo de éstos, o al menos el tamaño de la inversión que estén dispuestos a acometer.

¿Motivación por la sostenibilidad y el medio ambiente?

Tratándose de un Proyecto Fin de Carrera. He dado respuesta a las anteriores preguntas de modo que éstas fueran lo más satisfactorias posibles y conducentes a **validar el diseño, desde el punto de vista bioclimático**:

Como **localización** he elegido Madrid (latitud: 40.45º Norte, Longitud: 3.40º Oeste, altura: 600 m sobre el nivel del mar). De esta localización he obtenido dos paquetes de datos meteorológicos de distinta procedencia y tipología, que se expondrán en detalle en sucesivos capítulos)

Características de la parcela: Se trata de una amplia parcela de planta rectangular, en la que el eje cardinal predominante es el eje Este-Oeste. Por tanto, apta para la orientación sur de la vivienda. Libre de proyección de sombras por viviendas u obstáculos cercanos. El solar es inclinado lo que facilita el diseño en dos niveles.

Uso de la vivienda. Se trata de una primera vivienda para una familia compuesta por cinco miembros. Su uso no será exclusivamente residencial, sino que además será la sede de un despacho profesional formado por los cabeza de familia.

Situación personal de los dueños-ofertantes del proyecto. Se trata de profesionales liberales, con buen poder adquisitivo y preocupados por el medio ambiente. Puesto que además de cómo residencia, la vivienda es un local de trabajo, no imponen importantes restricciones en cuanto al coste del proyecto. **Este hecho es determinante para justificar el mayor coste que la vivienda bioclimática tiene en comparación con una vivienda convencional** (sin tener en cuenta los beneficios derivados del ahorro energético que tienen este tipo de construcciones).

3.1. Vivienda de referencia

Para el diseño de la vivienda, he manejado tanto bibliografía específica sobre viviendas bioclimáticas (*Eco House: A design guide* [1], *Análisis de proyectos de arquitectura sostenible* [2]) así como bibliografía genérica a cerca de ahorro energético. De esta documentación, la principal premisa para el diseño es: **la vivienda diseñada, debe resultar una vivienda pasiva con altos niveles de insolación, cuya definición de pasiva no dependa de la incertidumbre derivada que del uso de la vivienda hacen los ocupantes.**

Sin partir de un modelo base, realizar un diseño desde los cimientos creo que excede del alcance del proyecto. En la labor de documentación, a cerca de los tipos y evolución de las construcciones bioclimáticas, autores como *Yáñez o de Garrido*, coinciden en que uno de los ejemplos más significativos de construcciones que consideran al edificio como un gran captador y acumulador de la energía solar es la casa *Jacobs o "hemisiclo solar" de F.L.Wright*.

Será este edificio el que sirva de modelo para el diseño de la vivienda del proyecto. De hecho, se puede decir que se trata del mismo boceto con una simplificación de sus geometrías. Su concepción solar en lo que a sistemas pasivos refiere, será coincidente y a grandes rasgos se puede resumir en:

- Grandes ventanales al sur para **ganancia solar directa**. El vidrio transmite hacia el interior de la vivienda la radiación solar incidente que es absorbida por las superficies internas, a su vez, el vidrio impide la transmisión hacia el exterior de la radiación solar de onda larga (efecto invernadero).
- El uso de **materiales constructivos de gran masa térmica**, favorece el almacenamiento del calor entrante, principalmente en paredes y muros. Este calor almacenado, debido a la alta inercia térmica es cedido de manera lenta al aire interior en forma de convección y radiación. Este calor, también es almacenado por el suelo. Sin embargo, teniendo en cuenta el carácter activo del que se quiere dotar a la vivienda, el uso de suelos de alta inercia térmica supondría penalizar el rendimiento de una posible instalación de suelo radiante (estas instalaciones necesitan para su buen funcionamiento una baja inercia térmica, de modo que los períodos de calentamiento-enfriamiento, sean lo más rápidos posible).
- Para evitar el sobrecalentamiento de la zona sur respecto a la norte es necesaria una distribución del aire caliente por el interior de la vivienda, a ser posible mediante convección natural. La apertura de huecos ha de ser tal, que facilite el tránsito de calor de las zonas calientes a las más frías.

Características de la vivienda.

La vivienda proyectada por Wright se encuentra en Madison (40.74° N y 74.42° W), Wisconsin, Estados Unidos. El clima de la región es continental, asimilable al de Madrid.

La construcción consta de dos plantas:

- La distribución de la planta baja está compuesta por salón, sala de estar y cocina.
- La planta superior se cuelga mediante uso tirantes de la viga del techo, dejando la planta baja libre de construcciones de soporte para la planta superior. En esta planta se encuentran los dormitorios. La galería se retira 1 m del plano de fachada, asomándose a la planta baja y permitiendo que el calor suba hacia las habitaciones.

Los materiales utilizados en la construcción son:

- El exterior de los muros se compone de piedra de Wisconsin de color amarillento.
- Las divisiones interiores y la estructura del piso es de madera

A continuación se exponen una serie de vistas de la vivienda de referencia, para facilitar la comprensión del lector:

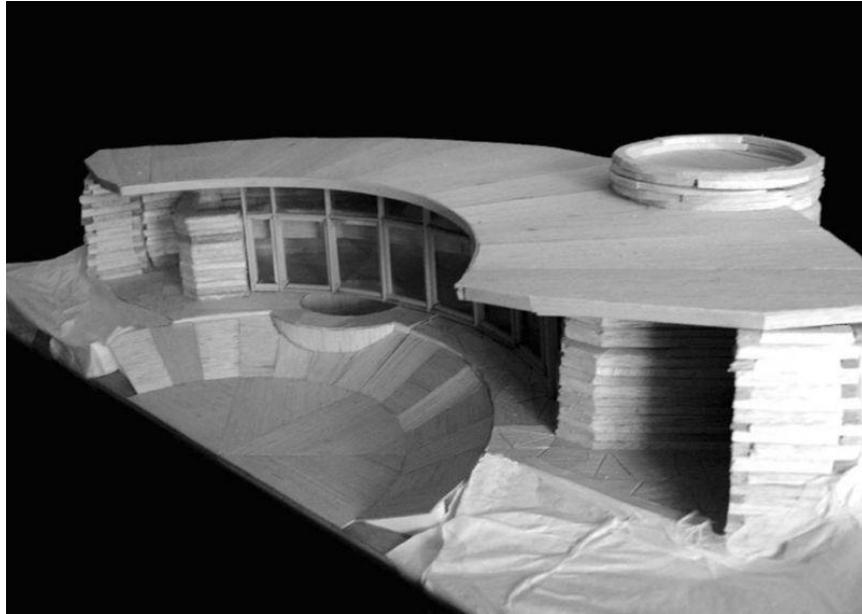


Fig. 1 Perspectiva de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]

La Fig. 1 muestra una vista en perspectiva de la fachada sur de la vivienda de referencia, en ella se aprecia el alero que sirve de protección solar, así como los ventanales que proporcionan la ganancia solar directa.

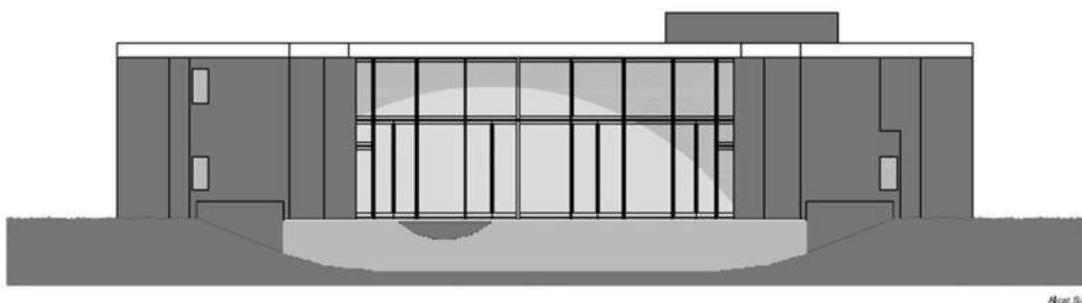


Fig. 2 Alzado sur de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]

Fig. 2, fachada sur con detalle de sombreado parcial del ventanal. Por la proyección de la sombra del alero, la posición del sol está cambiando del este de la vivienda al sur.

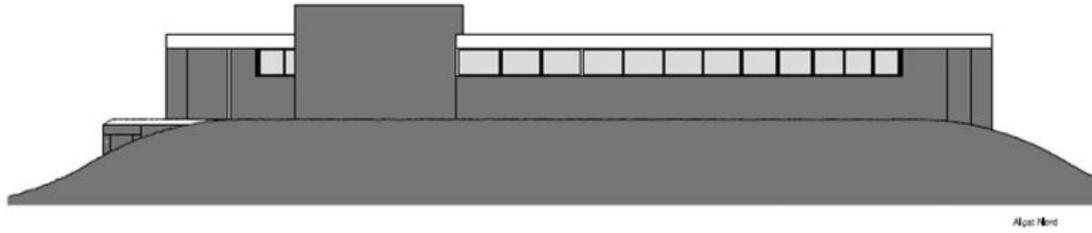


Fig. 3 Alzado norte de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]

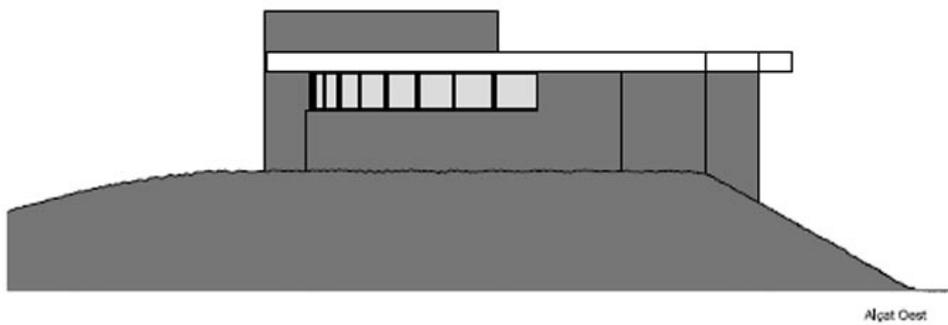


Fig. 4 Alzado oeste de la vivienda Herbert Jacobs 2 [Fte. Wikiarquitectura -[3]-]

En la Fig. 4 , se muestra el soterramiento de la fachada oeste. Toda la fachada permanece semienterrada a la misma cota desde la fachada norte (Fig. 3), salvo una pequeña porción en la intersección con la fachada sur.

3.2. Vivienda diseñada

3.2.1. Simplificaciones sobre la vivienda de referencia

- Se cambia la estructura en forma de arco de circunferencia por otra recta.
- La fachada norte permanece semienterrada a una cota constante a lo largo de la misma de 4.5 m.
- Las fachadas este y oeste conservan el soterramiento de la vivienda de referencia. Con la diferencia de que el terreno en estas fachadas presenta un gradiente o pendiente, que va desde los 4.5 m de la fachada norte hasta los 0 m cerca de la intersección con la fachada sur. Lo que supone que parte de los muros de estas fachadas se encuentren completamente descubiertos.
- Se eliminan: el pequeño estanque interior (despreciando el efecto de refrigeración evaporativa), la chimenea de la planta baja y el cilindro que acoge escalera y baños.
- Se mantiene el uso del alero norte, sin embargo, se le da una ligera inclinación de 20°. La inclinación tiene una doble misión: por un lado, facilitar la salida de aire por el ventanal norte por convección natural y por otro servir de apoyo a los paneles solares, evitando su implantación directamente sobre estructura en la cubierta y las sombras proyectadas sobre la misma. Es necesario evitar la proyección de sombras en la cubierta, por el efecto pernicioso que el bloqueo de la radiación solar tiene sobre la vegetación.

3.2.2. Breve descripción de la vivienda.

Tiene una superficie total de 296 m² repartidos en dos plantas, en los que está incluido el hueco de la escalera (156.42 m² en la planta baja y 140 m² en la primera planta).

La distribución es similar a la de la casa de referencia:

- Planta baja: Zona de trabajo, zona de estar, baño, trastero, cuarto de instalaciones y cocina.
- Planta alta: Se ubican los tres dormitorios y dos baños, además de una zona de estar diáfana que mira a través de la balconada a la planta baja.
- Se mantiene el sistema de soporte de la planta alta: uso tirantes de la viga del techo. Del mismo modo la galería se retira 1 m del plano de fachada, favoreciendo la convección natural.
- Superficies acristaladas.

La pretendida ganancia solar directa se obtiene mediante un ventanal en dos tramos de 88.3 m² en la **fachada sur**. En el sur, se abren dos huecos más, en cada uno de los dormitorios hacia la fachada sur (con ellos se pretende evitar el aislamiento de estos dormitorios del contorno sur de la parcela). La magnitud del ventanal sur se presenta en la Fig. 5

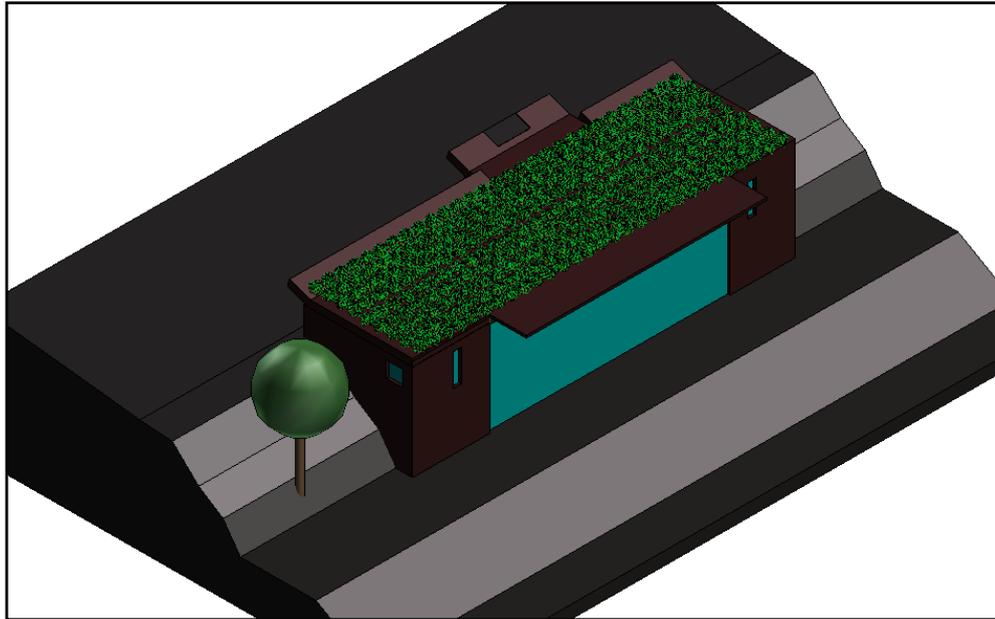


Fig. 5 Vista en perspectiva de la vivienda (fachada este-sur)

Se minimizan los huecos en las fachadas este y oeste, puesto que son las más desfavorables desde el punto de vista solar-térmico. En la **fachada este** se abre un ventanal para la iluminación de la cocina y en la **fachada oeste** otro en el dormitorio.

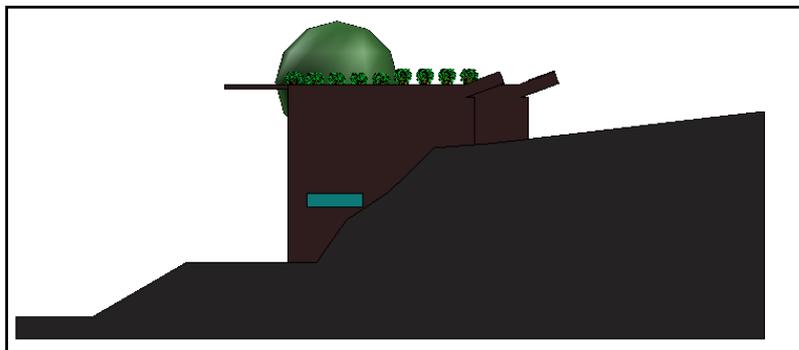


Fig. 6 Vista de la fachada este de la vivienda

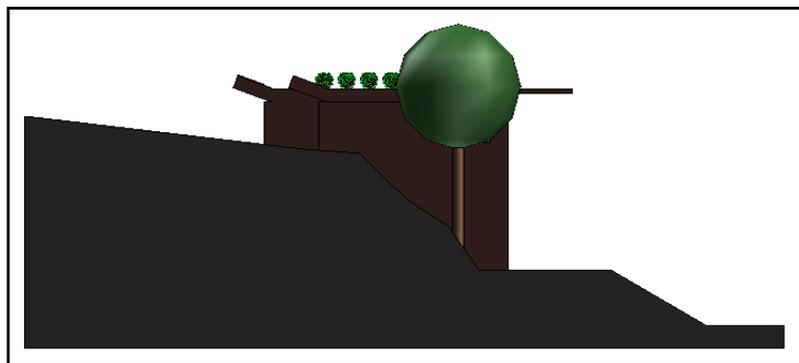


Fig. 7 Vista de la fachada oeste de la vivienda

La **fachada norte** a través de sus huecos será la encargada de **iluminar** con luz difusa las estancias de la primera planta, cuenta con un ventanal por estancia (un total de seis ventanales).

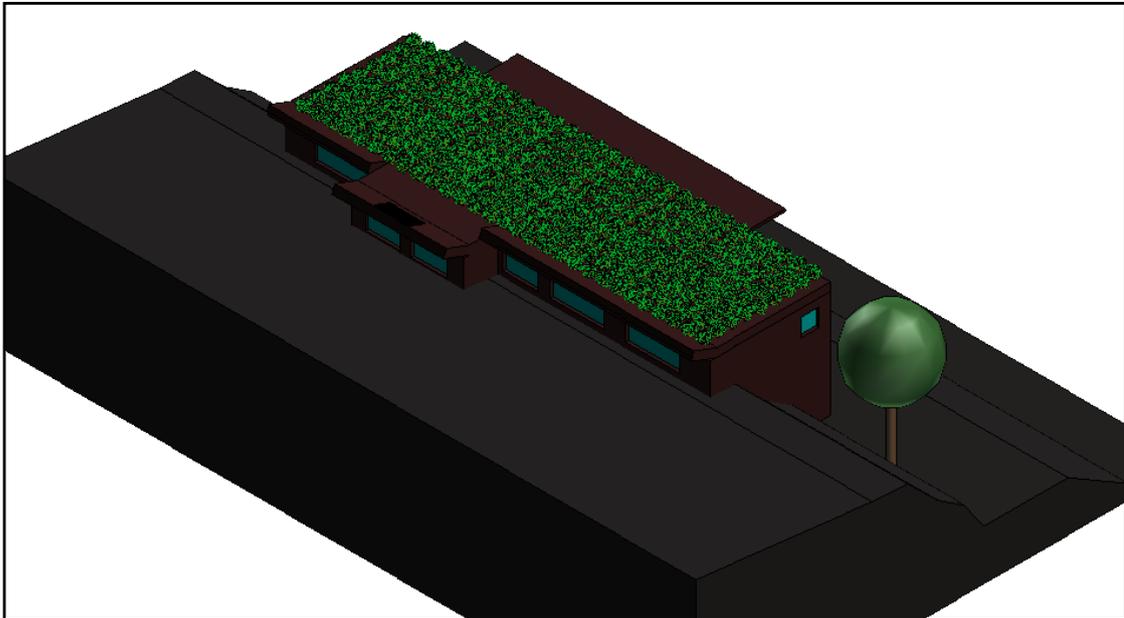


Fig. 8 Vista en perspectiva de la vivienda (fachada norte-oeste)

3.2.3. Soluciones de diseño

En este apartado se exponen de manera somera, las distintas *soluciones o estrategias verdes* que se han incluido y analizado en la vivienda (una descripción más detallada y su justificación numérica se presentan en el **Capítulo 4**):

1. Ganancia solar directa. La gran amplitud de las oscilaciones de temperaturas propias del clima de Madrid, pueden conseguir estabilizarse integrando las tres funciones inherentes a la ganancia directa: captación solar, acumulación y aislamiento térmico.

Captación solar. A través del citado ventanal en la orientación sur de superficie de 90m^2 .

Acumulación. Garantizada por los muros de alta capacidad térmica. El espesor y la composición de muros y cubierta hacen que la construcción sea de tipo pesado (kg/m^2). La masa térmica se localiza en el interior, mientras que el aislamiento será exterior, con esto se consigue el calor acumulado radie hacia el interior.

Aislamiento térmico. Es una estrategia complementaria de la acumulación. Además del aislamiento en cubiertas, soleras y muros, es necesario un aislamiento nocturno variable del acristalamiento de captación solar. En este caso se usarán contraventanas correderas, con lo que se pretende mitigar el aumento que sobre la conductividad térmica supone el uso de "muro acristalado" en relación con un muro opaco¹.

En los climas de tipo continental como el de Madrid, la ganancia solar presenta mayores exigencias que en los climas más fríos. Es necesario contemplar los aspectos de insolación que conciernen tanto a invierno como a verano:

¹

Un cerramiento opaco con un aislamiento razonable tiene una transmitancia térmica del orden de $0.5\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, mientras que un cerramiento acristalado de altas prestaciones tiene una transmitancia del orden de $2\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Lo que implica que hay que en ganancia directa hay que calcular los huecos cuidadosamente de modo que no las pérdidas cuando no haya radiación incidente no superen a las ganancias.

El alto nivel de radiación en verano puede conducir a un sobrecalentamiento indeseado, que aumente la temperatura interna, lo que hace imprescindible el bloqueo de la radiación solar incidente. En el caso del invierno se pretende permitir el paso de la radiación solar al interior de la vivienda.

Lo más recomendable es el uso de protecciones solares variables (p.e. toldos), sin embargo, este tipo de protecciones solares presentan un inconveniente: dependen del buen uso de los ocupantes de la vivienda y por tanto generan cierta incertidumbre.

La solución que me parece más razonable y que cumple las premisas de diseño, es el uso de protecciones solares fijas. Si bien, pueden bloquear el paso de la radiación solar entre estaciones (cuando la altura solar es aún baja y su calor necesario), se asegura que bajo las peores condiciones estivales el efecto del sobrecalentamiento es evitable.

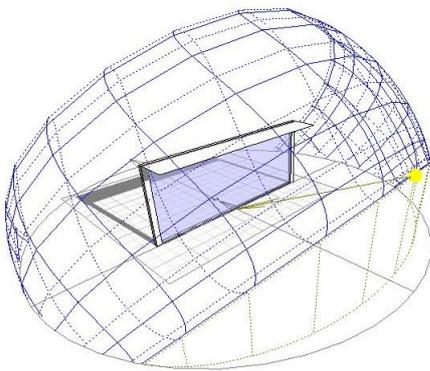


Fig. 10 Sombreamiento producido por el alero en el ventanal sur. 14:00h 21 de Diciembre

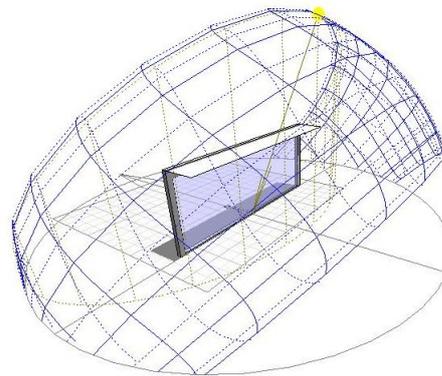


Fig. 9 Sombreamiento producido por el alero en el ventanal sur. 14:00h 21 de Julio

2. Protecciones solares fijas: Aleros.

Alero sur. Asimilable a un voladizo, su material es hormigón y su acabado es de color claro. Se apoya sobre las vigas que salen desde la cubierta hacia la fachada.

Alero norte. Voladizo con ángulo de perfil de 20°, del mismo color y composición que el alero de la fachada sur.

En las Fig. 9 y Fig. 10 se muestra el alero diseñado y se representa según sea invierno o verano el paso o el bloqueo de la radiación solar incidente.

Las orientaciones este y oeste no responden bien ante el uso de aleros debido a la inclinación del sol cuando incide sobre ellas, por tanto una buena solución que garantiza el sombreado son los árboles.

3. Árboles como protecciones solares. Es de interés el uso de árboles de hoja caduca, de modo que al desnudar sus ramas en invierno garantizan el paso de la radiación solar y al poblarlas de nuevo en verano lo impiden. Para el sombreado de la fachada oeste se ha utilizado un árbol de hoja caducifolia y copa redondeada; la **catalpa americana**.

4. Soterramiento de fachadas. La inclinación de la hipotética parcela facilita el diseño semienterrado de las fachadas norte-sur y este. La principal ventaja que aportan, es que los muros enterrados o semienterrados es que no sufren los cambios bruscos de temperatura exterior, gracias a la masa térmica que proporcionan la tierra que rodea el edificio. Es aconsejable combinar soterramientos con el uso de cubierta vegetal.

5. Cubierta vegetal. Reduce el impacto de la radiación solar en verano, reduciendo por tanto la temperatura superficial de la cubierta, al tiempo que aumenta el aislamiento e inercia térmica en invierno. La reducción de temperaturas se debe, principalmente a la radiación invertida en los procesos biológicos de la vegetación. Toda radiación absorbida por la vegetación, será radiación no absorbida por la cubierta.

Todas estas soluciones se expondrán y analizarán de manera detallada en un capítulo al efecto (**Capítulo 4**)

6. ACS por energía solar. Se dimensionarán los paneles solares térmicos necesarios para garantizar la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (ACS), fijada en el CTE.

El análisis numérico y la normativa aplicable se exponen en el **Capítulo 8**.

Hasta aquí se han expuesto las soluciones que se han incluido y calculado para la vivienda. Sin embargo me parece interesante señalar otras soluciones, que si bien no se han calculado. Han condicionado en cierto modo el diseño de la vivienda. Estas serían:

7. Suelo radiante por energía solar térmica. Al igual que en el caso del ACS, una parte de la demanda se cubre con colectores solares y otra con una fuente auxiliar. Habiendo acometido una primera inversión de dicho equipo, incluir suelo radiante por energía solar térmica ayudaría a disminuir el período de retorno de la misma.

8. Aire acondicionado mediante máquina de compresión mecánica y energía fotovoltaica. Para confirmar esta solución, sería necesario hacer una comparación económica con una opción alternativa, que sería el uso de techos o paredes radiantes para frío.

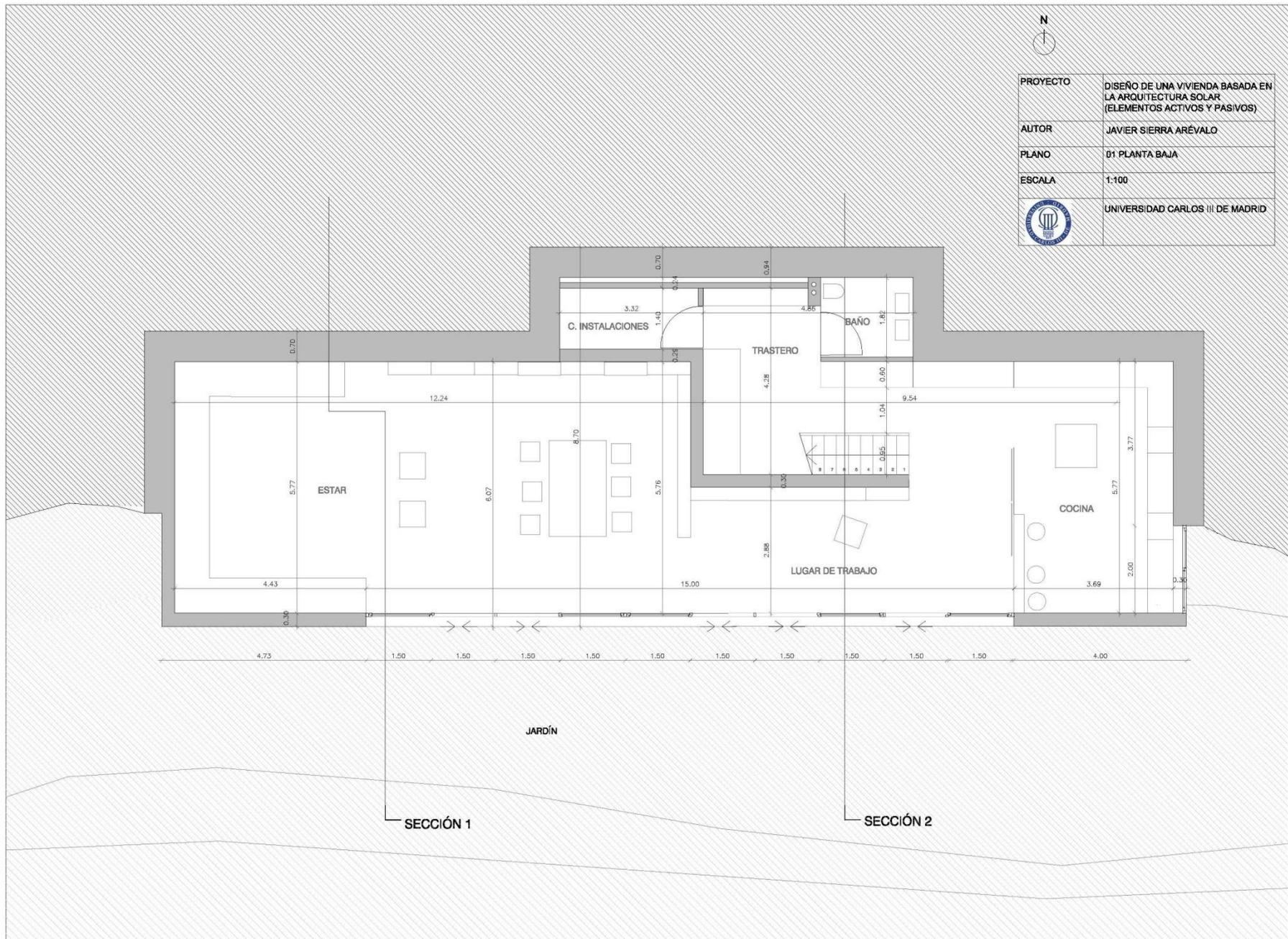
Esta segunda opción, puede ser más interesante al aprovechar el equipo auxiliar o de apoyo necesario para calefacción y ACS. Por otro lado sería necesario incluir una máquina de absorción, el inconveniente es que las máquinas de absorción para tan bajas potencias no están estandarizadas debido al bajo rendimiento.

En la Tabla. 1 Impacto del tipo de solución sobre la carga térmica de cada estrategia que se muestra a continuación, se expone un pequeño análisis cualitativo del impacto que las soluciones usadas, tienen sobre las cargas térmicas para las distintas estrategias. En el capítulo de *participación de las soluciones en la carga térmica total* (**Capítulo 6**) se hará un análisis exhaustivo de dicho impacto, en el que se cuantificará dicha participación.

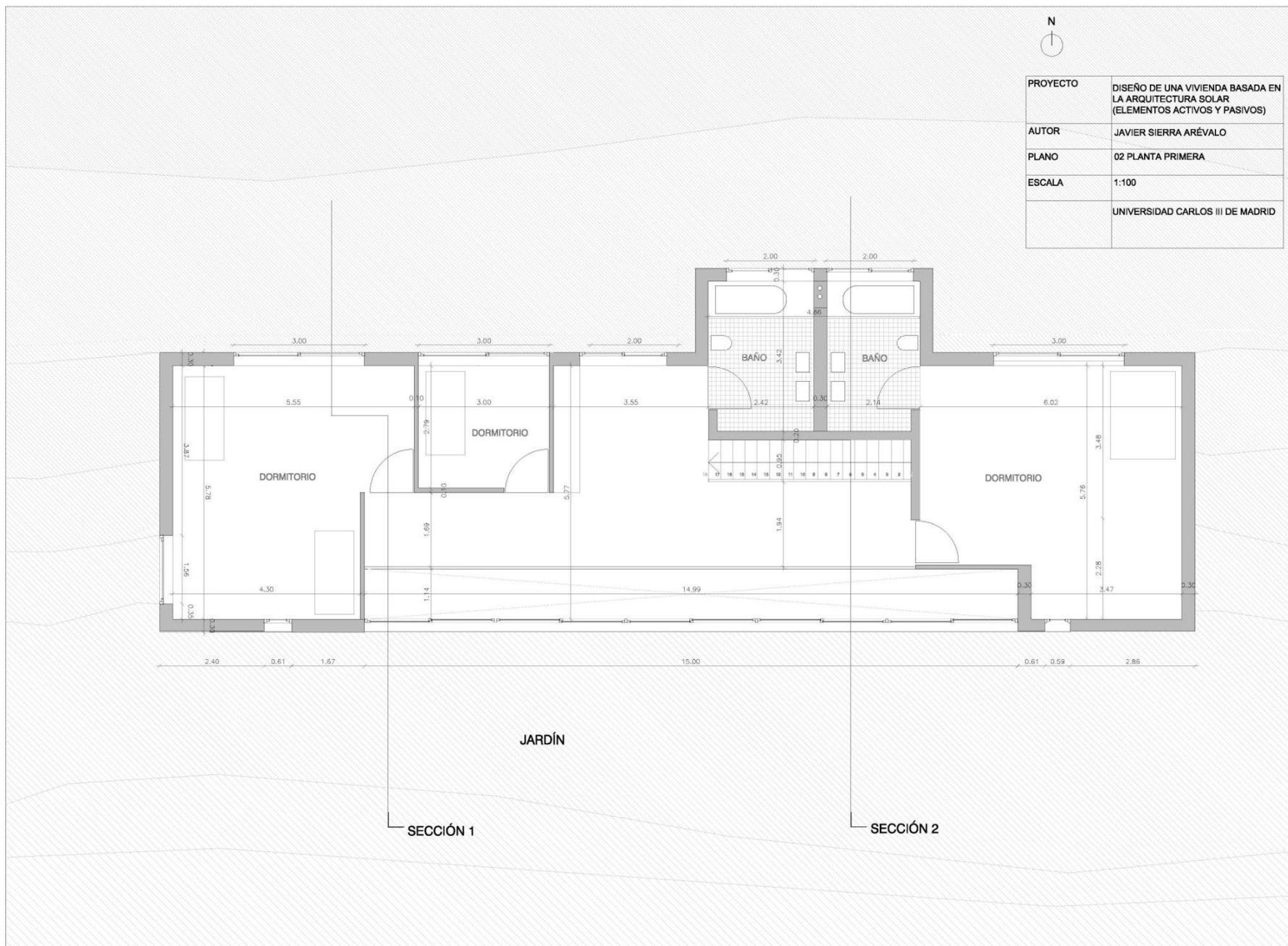
Solución	Impacto		Parámetros característicos
	Estrategia de refrigeración	Estrategia de calefacción	
Ganancia directa	Medio	Alto	$A_{\text{acristalada}} = 90.35 \text{ m}^2$ $\% A_{\text{acristalada}} = 59.7 \%$
Protección solar	Alta	Baja	F_s
Soterramiento de fachadas	Alta	Alta	U
Cubierta vegetal	Alta	Media	α
Energía solar activa	Alta	Media-Baja	f

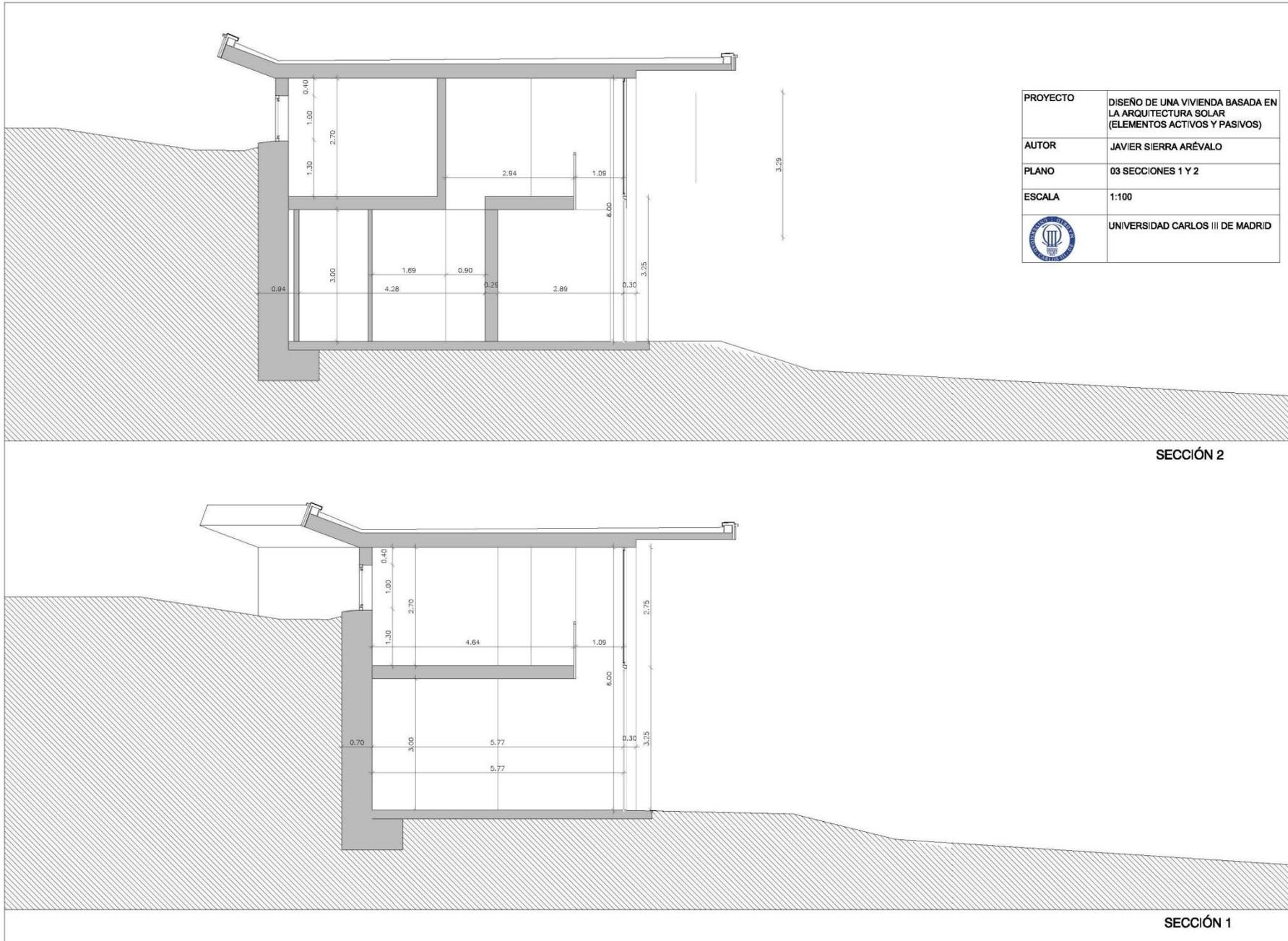
Tabla. 1 Impacto del tipo de solución sobre la carga térmica de cada estrategia

3.2.4. Planos



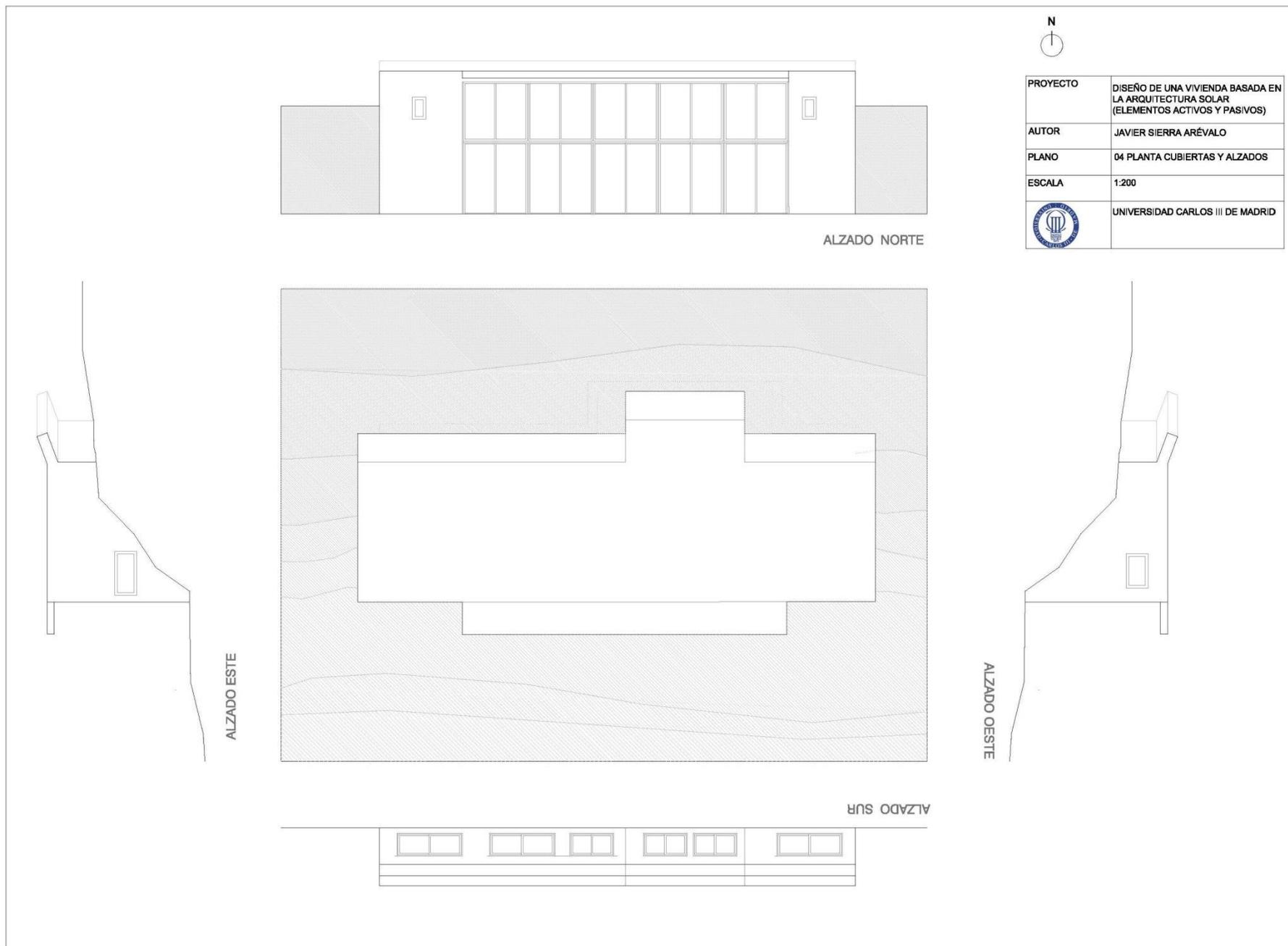
PROYECTO	DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR (ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS)
AUTOR	JAVIER SIERRA ARÉVALO
PLANO	01 PLANTA BAJA
ESCALA	1:100
	UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



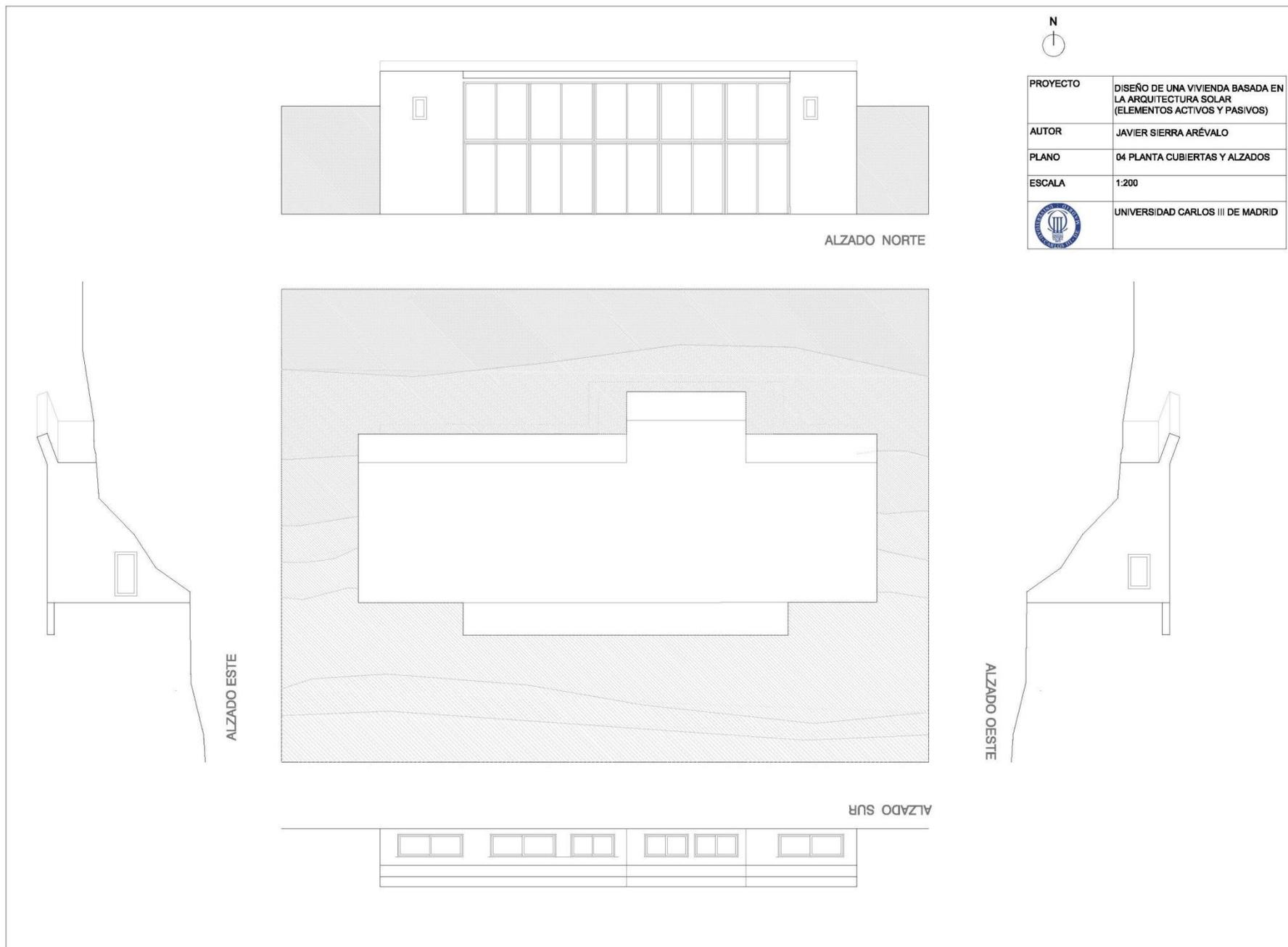


SECCIÓN 2

SECCIÓN 1



PROYECTO	DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR (ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS)
AUTOR	JAVIER SIERRA AREVALO
PLANO	04 PLANTA CUBIERTAS Y ALZADOS
ESCALA	1:200
	UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



3.3. Bibliografía del capítulo

1. Roaf, S., M. Fuentes, and S. Thomas, *Ecohouse : a design guide*. 3rd ed ed. 2008, Amsterdam: Architectural Press. VI, 479 p.
2. Garrido, L.d., *Análisis de proyectos de arquitectura sostenible : naturalezas artificiales 2001-2008 / Luis de Garrido*. 2009, Aravaca (Madrid): MacGraw-Hill. XXIII, 483 p.
3. <http://www.wikiarquitectura.com/>.

ÍNDICE

4.	SOLUCIONES DE DISEÑO	47
4.1.	Ganancia directa	47
4.1.1.	Selección del vidrio de las superficies acristaladas	48
4.1.2.	Selección de la carpintería de la superficie acristalada	48
4.1.3.	Aislamiento térmico nocturno	51
4.1.4.	Protecciones solares	52
1.	Orientación sur	52
2.	Orientación norte.	57
3.	Orientación Oeste	60
4.2.	Aislamiento capacitivo e inercia térmica	64
4.2.1.	Parámetros que caracterizan un cerramiento	64
4.2.2.	Amortiguamiento y desfase	65
4.2.3.	Efecto estacional de la inercia térmica y aislamiento	67
4.3.	Soterramiento de fachadas (analogía con cuevas habitadas)	69
4.	Orientaciones este y oeste	70
5.	Orientación norte	72
4.4.	Cubierta vegetal	73
4.4.1.	Balance energético	74
4.4.2.	Efecto de la cubierta vegetal sobre la carga térmica	76
4.5.	Bibliografía del capítulo	78

[PFC DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR (ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS)]

[Se describen los beneficios asociados a cada una de las soluciones constructivas utilizadas, exponiendo el alcance de sus cálculos]

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2	Aportación a través de vidrio simple (W/m^2) para latitud de 40° y diferentes orientaciones (Fte. [4])	47
Fig. 1	Esquema de ganancia directa	47
Fig. 3	Unidades de acristalamiento estandarizadas	49
Fig. 4	Vista esquemática del vidrio utilizado [Fte. [2]]	50
Fig. 5	Contraventana plegable con marco de tipo acordeón [Fte. [1]]	51
Fig. 6	Ventana retranqueada. Ángulos determinantes	52
Fig. 7	Ventana retranqueada con voladizo plano	53
Fig. 8	Comparación del % de ventana sombreada para el 21 de Julio algoritmo propio frente a ECOTEC	56
Fig. 9	Carta estereográfica del sol para Madrid [Fte. ECOTEC Solar tool]	57
Fig. 10	Vista y acotado del árbol para el sombreado (catalpa bignonioides)	61
Fig. 11	Simplificación de la geometría a la de un prisma rectangular, cotas en metros.	61
Fig. 12	Origen de coordenadas	62
Fig. 13	Sombra proyectada y ecuaciones para el cálculo de la proyección de los puntos característicos sobre la fachada	62
Fig. 14	Sección del muro (fachada sur)	65
Fig. 15	Representación del desfase y amortiguamiento de la onda de calor para el cerramiento diseñado	66
Fig. 16	Cálculo del desfase y amortiguamiento basado en series de Fourier, de acuerdo con lo expuesto en Manual de climatización: Tomo II, Cargas térmicas [3]	67
Fig. 17	Evolución de la temperatura de los muros para construcción de alta inercia	68
Fig. 18	Cuevas habitadas (Guadix, Granada)	69
Fig. 19	Sección del cerramiento en las fachadas en contacto con el terreno	70
Fig. 20	Transmitancia térmica de muros enterrados UT. [8]	70
Fig. 21	Variación del valor de U con la cota de soterramiento	71
Fig. 22	Sección de la fachada este. Detalle de las áreas de soterramiento	71
Fig. 23	Proceso de intercambio entre la cubierta y el medio [12]	74
Fig. 24	Sección de la cubierta vegetal considerada	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1	Anchos de marco estandarizados	50
Tabla. 2	Propiedades de los huecos, transmitancia	50
Tabla. 3	Parámetros que definen el hueco de la fachada sur	53
Tabla. 4	Ángulos solares para los días más representativos y profundidad del alero para sombreado completo	57
Tabla. 5	Parámetros que definen el hueco TIPO 1 de la fachada norte	58
Tabla. 6	Parámetros que definen el hueco TIPO 1 de la fachada norte	59
Tabla. 7	Parámetros que definen el hueco de la fachada oeste	60
Tabla. 8	Propiedades térmicas y mecánicas de los materiales (comparativa para selección del material de muros)	66
Tabla. 9	Áreas de las fachadas norte y sur. Coeficientes de transferencia de calor de los muros correspondientes	72
Tabla. 10	Áreas de las fachadas norte y sur. Coeficientes de transferencia de calor de los muros correspondientes	72
Tabla. 11	Comparación de las propiedades de la cubierta vegetal y la cubierta ventilada	74
Tabla. 12	Valores de absortancia recomendada para la superficie del sustrato para usar en el análisis energético en edificios dotados con cubierta vegetal	76

4. Soluciones de diseño

4.1. Ganancia directa

La ganancia directa es uno de los sistemas pasivos que se presentaron en la introducción y que ha sido escogido como solución para minimizar la carga térmica durante el período de calefacción. El vidrio supone una barrera térmica al ambiente exterior, a este efecto se le une el efecto invernadero, considerándose el interior del local la superficie absorbente. Es fundamental reducir las pérdidas de calor a través del acristalamiento, pérdidas en forma de conducción, convección, radiación de onda larga e infiltraciones.

En la Fig. 1 se muestra el ingreso de la radiación solar dentro un local, las múltiples reflexiones que se producen en el interior y la radiación absorbida que posteriormente es devuelta en forma de calor.

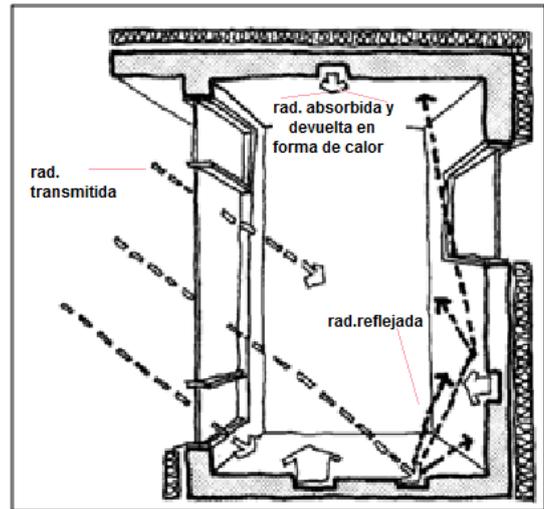


Fig. 1 Esquema de ganancia directa

Por tanto, la ganancia directa es función de la radiación solar global incidente, que a su vez varía según el ángulo de incidencia de la radiación solar, inclinación y azimut de la superficie considerada así como de la transmitancia del tipo de vidrio utilizado.

En la Fig. 2 se presenta el flujo de calor por unidad de superficie que atraviesa la superficie acristalada debido a la radiación solar, para distintas orientaciones y para una longitud de 40° , que corresponde con la longitud del proyecto. El mayor aporte anual de energía se da en la superficie horizontal, el máximo se produce en verano. Atendiendo a esta afirmación se pretende disminuir la carga derivada de este aporte a través de la instalación de una **cubierta vegetal**.

Mes de Julio. Latitud 40° .

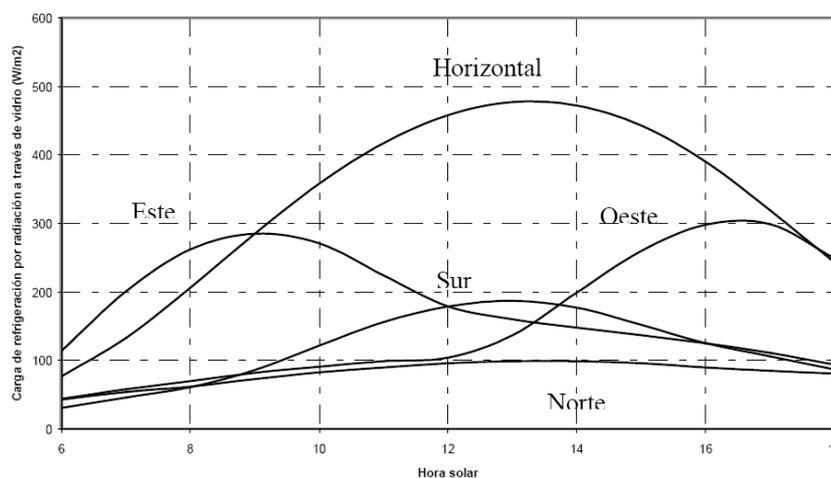


Fig. 2 Aportación a través de vidrio simple (W/m^2) para latitud de 40° y diferentes orientaciones (Fte. [4])

En el caso de la *orientación norte* la radiación que recibe es en su mayor parte en forma de radiación difusa, salvo en los meses de verano a primera y última hora del día.

La *orientación sur* recibe más radiación global en invierno que en cualquier otro plano vertical en cualquier orientación (siempre en el hemisferio norte). Es conveniente reducir los huecos orientados a este y oeste en favor de los orientados al sur. En sistemas de ganancia directa será la fachada con orientación sur la que proporcione capacidad de captación y controles solares. El control solar en la

fachada sur se puede tomar a través de diferentes dispositivos como el retranqueo de huecos o los dispositivos de protección solar. La captación será necesaria en invierno, siendo en el caso del verano necesaria su protección.

Minimización de pérdidas (aislamiento térmico en ventanas).

El objeto del aislamiento térmico en las ventanas es reducir las pérdidas por conducción y radiación a través del vidrio y de infiltraciones a través de la carpintería.

4.1.1. Selección del vidrio de las superficies acristaladas

Los vidrios se clasifican en función de tres características o propiedades inherentes a los mismos; transmitancia, reflectancia y absortancia. De modo que en función de dichas propiedades se puede establecer una clasificación en función del tipo de vidrio:

Vidrio claro: Es el que tiene la mayor transmitancia para todas las longitudes de onda del espectro de la radiación solar.

Vidrio absorbente: Es un tipo de vidrio con partículas de hierro que absorbe una parte del espectro infrarrojo de la radiación solar. Se coloca separado de la fachada para permitir la ventilación, aunque el calor absorbido radia hacia el edificio (típico de las dobles pieles).

Vidrio reflectante: Se pretende reflejar gran parte de la radiación luminosa e infrarroja colocando una fina capa metálica semitransparente en la superficie del vidrio.

Vidrio de baja emisividad: también llamados vidrios de baja irradiación o Low E. Estos vidrios constan de un recubrimiento de de plata que le proporciona una baja emisividad a la radiación de onda larga, por tanto reducen las pérdidas de calor desde el interior. La cara revestida con la capa de baja emisividad de un vidrio de estas características siempre debe quedar expuesta mirando hacia la cámara de aire de un doble vidrio hermético.

Están recomendados para zonas frías en las que es necesario aprovechar al máximo el calor generado en el interior, así como el que proviene del sol exterior y obtener el máximo aprovechamiento de la luz natural.

Se emplea exclusivamente como vidrio interior de unidades de doble vidrio hermético, mejorando en un 35% su capacidad de aislamiento térmico. Además contribuye a disminuir la carga que, por radiación solar, ingresa a través del doble vidrio hermético. El valor K de transmisión térmica para unidades con una cámara de aire de 12 mm de ancho con vidrio normal es de 2.8 W/m²K y con vidrio de baja emisividad el K=1.8 W/m²K [5]. *Este es el tipo de vidrio elegido para los acristalamientos.*

Vidrio súper aislante: Contiene tres vidrios, el interior con recubrimiento para baja emisividad y la cámaras de aire con gases inertes tipo argón o kriptón.

Según esta clasificación para **minimizar las pérdidas y maximizar la ganancia en invierno es necesario contar con vidrio doble de baja emisividad.**

4.1.2. Selección de la carpintería de la superficie acristalada

Carpintería de metal. Es duradera y con excelente comportamiento estructural, pero de bajo rendimiento térmico. El metal usado en las ventanas es casi exclusivamente el aluminio debido a su fácil procesado, bajo coste y masa. Su principal inconveniente es que su conductividad térmica es unas 1000 veces mayor que la de la madera o los polímeros -2001 *Ashrae Handbook: Fundamentals* [6]-. El bajo rendimiento térmico de los marcos metálicos puede mitigarse introduciendo un componente no metálico que separe la parte externa e interna del marco y que actué de ruptura del puente térmico.

Carpintería de madera. La madera tiene buena integridad estructural y valor de insolación, sin embargo tiene baja resistencia al clima, humedad y degradación orgánica.

Carpintería polimérica. Suelen ser de vinilo extruido o de fibra de carbono. Su comportamiento térmico y estructural es similar al de la madera, sin embargo para ventanas grandes necesitan un refuerzo estructural.

La **carpintería escogida será de madera**, al ser los ventanales en la fachada sur de gran altura, el uso de carpintería polimérica supondría incluir en el marco refuerzos para garantizar la seguridad estructural. Aunque es una técnica utilizada frecuentemente y los productores proponen abundantes soluciones de este tipo, el inconveniente es el de la consecución de los parámetros técnicos necesarios para los cálculos.

Propiedades y características del hueco elegido (vidrio + marco)

El *marco* elegido, ha sido un marco de madera. Como ya se ha comentado, tienen unas buenas propiedades estructurales, así como unas excelentes propiedades térmicas (su coeficiente de transferencia de calor es el más bajo después del de los materiales poliméricos).

A falta de un modelo comercial concreto, se ha partido de la normativa ASRHAE, en la siguiente figura se representan los acristalamientos más comunes y en la tabla que le sigue el tamaño estandarizado de sus marcos.

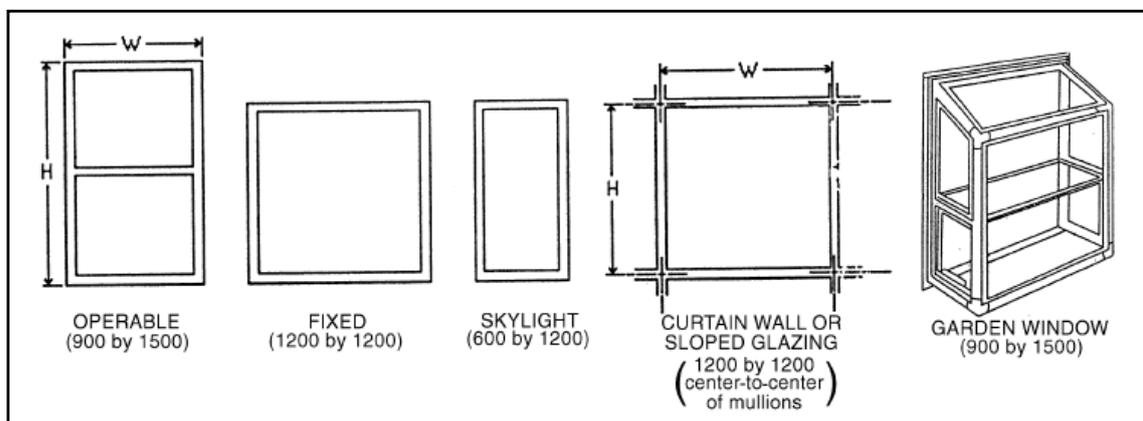


Fig. 3 Unidades de acristalamiento estandarizadas

Material del marco	Ancho del marco					
	Operable	Fixed	Garden window	SKYLIGHT	Curtain wall	Sloped/overhead glazing
Aluminio sin RPT ¹	38	33	44	18	57	57
Aluminio con RPT	53	33	n/a	18	57	57
Aluminio ligero / Madera / Vinilo reforzado	71	41	n/a	23	n/a	n/a
Madera / Vinilo	71	41	44	23	n/a	n/a
Fibra de vidrio aislada / Vinilo	79	46	n/a	n/a	n/a	n/a
Vidrio estructural	n/a	n/a	n/a	N/a	57	64

Tabla. 1 Anchos de marco estandarizados

Aunque se ha utilizado la normativa ASHRAE, según la *-Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado [2]-* para marcos de madera, la participación de éste sobre la ventana está entre 25-35%, con el pequeño calculo que sigue, se demuestra que ambas hipótesis coinciden.

$$H_{\text{cristal}} = 1500 - (71\text{mm} \cdot 3) = 1287 \text{ mm}$$

$$W_{\text{cristal}} = 900 - (71\text{mm} \cdot 2) = 758 \text{ mm}$$

$$A_{\text{cristal}} = 975546 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{marco}} = A_{\text{total}} - A_{\text{cristal}} = 374454 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{marco}} = 27.73\% \text{ y } A_{\text{vidrio}} = 72.27\%$$

El *sistema de vidrio* elegido ha sido de doble acristalamiento con cámara de argón interior, recubierto en una de las superficies por una capa de óxidos metálicos extremadamente fina, del orden de nanómetros que proporciona al vidrio una capacidad de aislamiento térmico reforzado. El uso de **vidrios de baja emisividad** permite altos niveles de aislamiento, no asumibles con el aumento de la cámara.

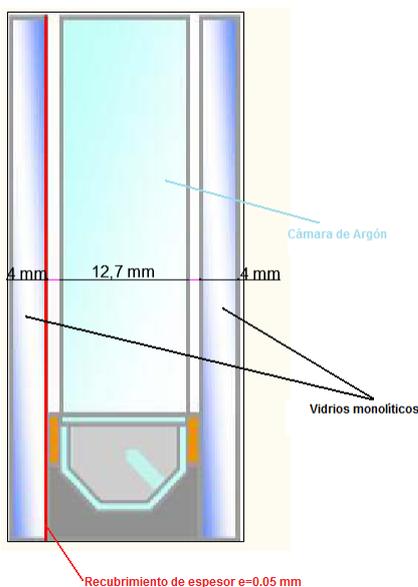


Fig. 4 Vista esquemática del vidrio utilizado [Fte. [2]]

	Acristalamiento con marco de madera	U (W/m ² K)	% A _{marco}	% A _{vidrio}	%(1)	%(2)
ASHRAE	Doble acristalamiento ATR 4/12/4	2.02	27.73	72.27	69	44
IDAE	Doble acristalamiento ATR 4/12/4	1.9	25-35	75-65	67	42
	Doble acristalamiento ATR 4/16/4	1.7	25-35	75-65	70	48

Tabla. 2 Propiedades de los huecos, transmitancia térmica del hueco

- (1) Reducción respecto al vidrio monolítico
- (2) Reducción respecto al climalit básico
- ATR: Aislamiento térmico reforzado (del tipo de recubrimiento de baja emisividad)

1

RPT: Ruptura de puente térmico

Tomando como referencia lo expresado en la tabla anterior, se cambia el tipo de acristalamiento de 4/12/4 a 4/16/4, manteniéndose el marco de madera. Este cambio supone asumir una simplificación, puesto que para el cálculo de la ganancia a través del hueco se necesitan los valores del coeficiente SGHC, que ASHRAE tabula solo para acristalamientos del tipo 4/12/4. La simplificación consistirá en asumir los valores de SGHC para el tipo 4/16/4 como los de 4/12/4.

Por simplicidad se ha elegido un hueco estandarizado para los acristalamientos de todas las fachadas sin discriminar según orientación.

4.1.3. Aislamiento térmico nocturno

Desde la puesta a la salida del sol no hay luz solar, por tanto, la ganancia solar a través de las superficies acristaladas se convierten en pérdidas. Para mitigar el efecto que sobre las pérdidas tiene el hecho de no usar muros opacos, es necesario un aislamiento térmico nocturno apropiado.

La resistencia térmica disminuye considerablemente en ventanas y acristalamientos respecto a las pared opaca. Mientras que el vidrio doble de baja emisividad y altas prestaciones usado, tiene un coeficiente de transmisión de $1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$, una pared de fabrica de ladrillo de un pie con aislamiento de 4 cm tiene un coeficiente de transferencia de calor más de tres veces menor ($0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$). Usar contraventanas de madera en conjunción con vidrio doble de baja emisividad puede acercar estos dos valores:

$$U(\text{vidrio doble de baja emisividad} + \text{contraventanas de madera}) = 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Contraventana fachada sur

Las contraventanas seleccionadas para la fachada sur son contraventanas plegables con marco de tipo acordeón.

Para facilitar su manipulación, se dispone en dos tramos, al igual que el ventanal (cada uno corresponde con piso) y su actuación será automatizada (mediante motor eléctrico con actuación sobre cremallera en la guía superior).

Contraventanas fachada norte

Las contraventanas de la fachada norte tienen la misma función de reducir las pérdidas que en la fachada sur. Sus horas de uso pueden aumentar en invierno con respecto a las anteriores puesto que no habrá ganancia directa en ninguna de las horas del día.

Puesto que la separación entre huecos de la fachada norte no permite el abatimiento completo de las contraventanas, la solución es el uso de contraventanas plegables, al igual que en la fachada sur. Las lamas son orientables, similares a las de las cortinas venecianas.

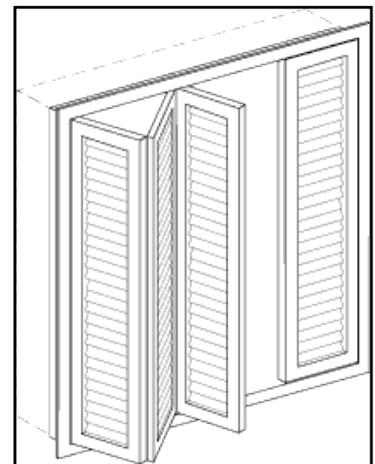


Fig. 5 Contraventana plegable con marco de tipo acordeón [Fte. [1]]

4.1.4. Protecciones solares

1. Orientación sur

El tipo de protección solar elegida para la fachada con orientación sur, es un alero plano perpendicular a la superficie del muro (asimilable a un voladizo).

Para el cálculo de la fracción de hueco sombreada hora a hora, se ha creado una hoja de cálculo en Mathcad, en base a las relaciones trigonométricas generadas entre la proyección de los rayos solares, la geometría del alero y la orientación del acristalamiento, según lo expuesto tanto por [ref Pinazo] en su capítulo 7 y por [ref Ashrae] en su capítulo 29 (Fenestration).

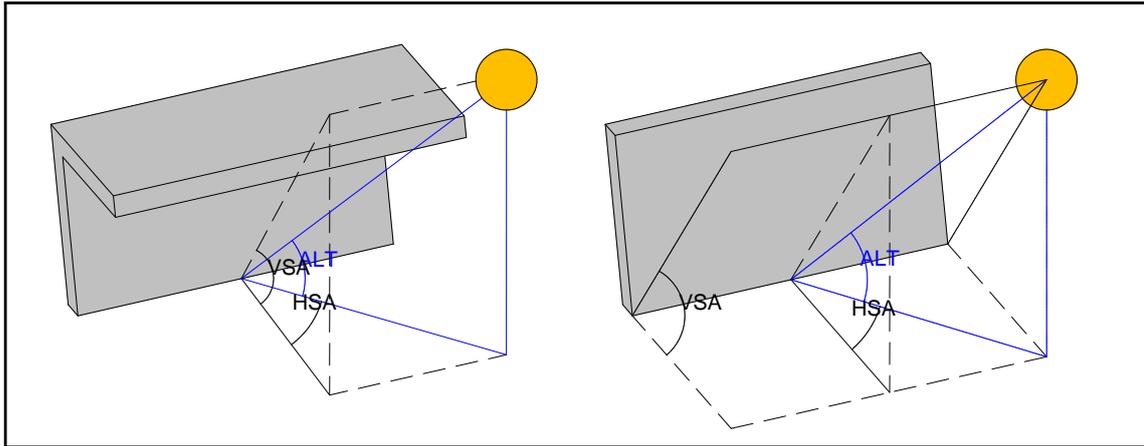


Fig. 6 Ventana retranqueada. Ángulos determinantes

Ángulos determinantes:

1. **hs o ALT.** Altura solar
2. **β_v o HSA.** Ángulo entre la proyección de los rayos solares sobre la superficie horizontal y la normal a la ventana (diferencia entre el acimut solar, γ_s y el acimut de la superficie de la ventana, ψ).
3. **γ_v o VSA.** Ángulo entre un plano que pasa por una recta horizontal (marco) de la ventana y el sol, con el plano horizontal.

$$\beta_v \equiv HSA = \gamma_s - \psi$$

$$\gamma_v \equiv VSA = \operatorname{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_s)}{\cos(HSA)}\right)$$

Estos dos ángulos (HSA y VSA) pueden ser utilizados para determinar el tamaño del dispositivo de sombreado requerido para el hueco.

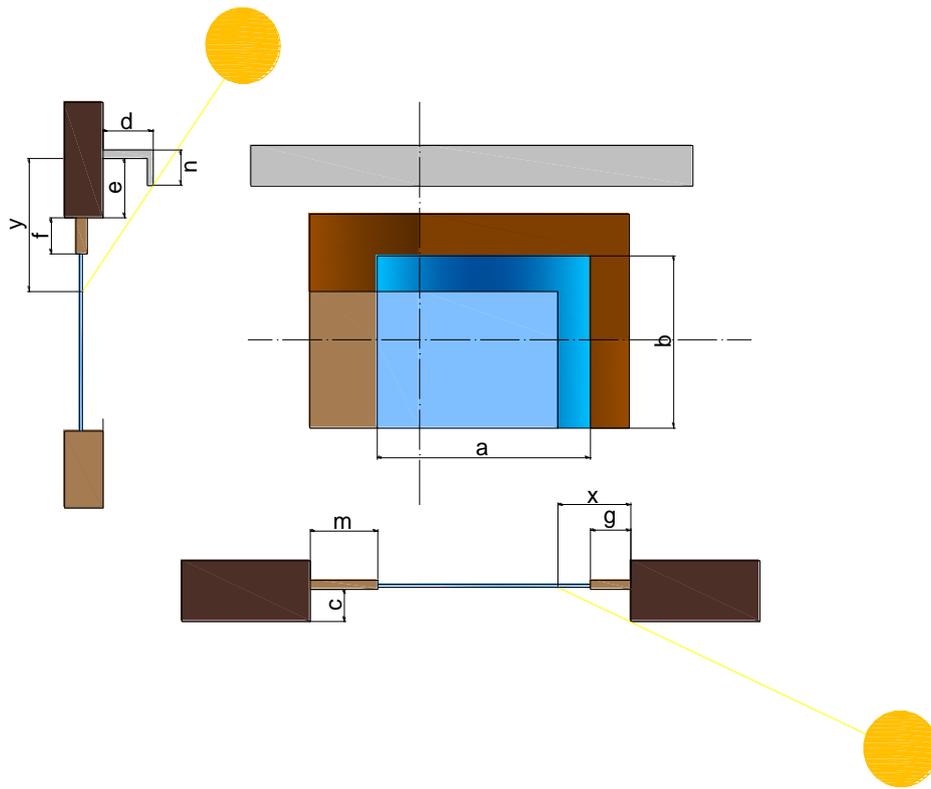


Fig. 7 Ventana retranqueada con voladizo plano

Descripción de la geometría del hueco:

	Longitud [m]
a) Anchura de la venta	15
b) Altura de la ventana ²	5.88-e-f
c) Retranqueo de la superficie acristalada	0.15
d) Voladizo que sobresale	Incógnita
e) Distancia del hueco a la que se encuentra el voladizo	0.42
f) Parte superior del hueco (no cristal)	0.12
g) Anchura del marco	0.12
m) Parte izquierda del hueco (no cristal)	0.12
n) Voladizo hacia abajo	0
y) Altura de ventana no expuesta al sol	A determinar³
x) Anchura de ventana no expuesta al sol	Calcular

Tabla. 3 Parámetros que definen el hueco de la fachada sur

2 Se refiere a la hoja de vidrio (se excluyen las partes opacas, es decir, el marco)

3 Se corresponde con lo expuesto en el paso 3º de pasos de diseño. En y está incluida la distancia hasta el voladizo

Pasos de diseño

1. Determinar día y hora límite.
2. El día límite, en la hora límite, se define como el momento a partir del cual, la ventana estará parcialmente en sombra y antes del cual estará completamente en sombra. Por tanto para establecerlo será necesario analizar los requerimientos de sombreado que serán función de la latitud, tipo de clima, orientación y la estrategia que se haya considerado en el diseño.

Como **criterio de dimensionado**, se ha establecido que la fracción de hueco sombreada durante los meses con necesidades de refrigeración sea máxima durante las horas de máxima radiación solar (esto es, durante las horas centrales del día, en los días en los que la altura solar es máxima), para evitar un aumento excesivo de la temperatura interior. La vivienda a análisis está orientada al mediodía, por tanto, para el clima continental de Madrid además ha de facilitar el paso de los rayos solares en invierno.

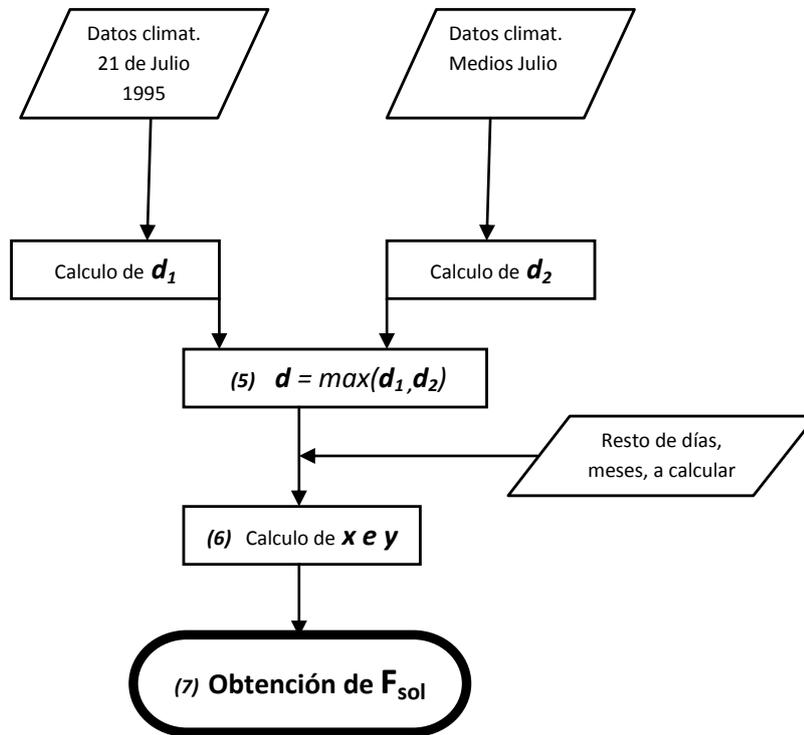
3. Representa las horas del día en las que se necesita sombra completa. Hay que tener en cuenta que cuanto más nos acerquemos a la salida y puesta del sol, el tamaño de la sombra necesitada crecerá exponencialmente.

Día límite: 21 de julio a las 12 horas ()*

4. Una vez que se ha seleccionado el día y la hora límite, se calculan los ángulos de azimut y altura solar en intervalos horarios para el día umbral. Calculados estos se obtienen **HSA** y **VSA**.
5. Mediante la formulación que se expone más adelante y calculados HSA y VSA, se calcula la longitud del alero (**d**), fijando el valor de la profundidad de sombreado (**y**).
6. Obtenido **d**, se deja fijo este valor y se calculan ancho (**x**) y profundidad (**y**) de sombra proyectada en intervalos horarios, para los solsticios, equinoccios y las medias horarias mensuales para todo el año, para el valor de voladizo (**d**) calculado.
7. Por último, en base a todo lo anterior se calcula la Fracción de acristalamiento expuesta al sol (**F_s** en %). Este es el parámetro que discrimina que parte de la radiación directa incide sobre el acristalamiento y que parte es interceptada por el alero, se usará para determinar el flujo de calor a través de la superficie acristalada, como se verá más adelante.

() Los datos meteorológicos que manejo son por un lado diarios (con intervalos hora a hora) y por otro, para un conjunto de 20 años los valores mensuales medios. La longitud de voladizo no coincidirá con la del día límite, puesto que al comparar resultados, se ha optado por la que resulta del cálculo para los valores medios mensuales del mes de julio (la hora límite se ha mantenido). De este modo se consigue un mayor sombreado medio para el mes de julio. El aumento de esta longitud supone penalizar ganancia directa a través de acristalamientos en los últimos meses de calefacción. Las diferencias se muestran en el **capítulo 6**.*

Formulación y descripción del algoritmo.



(5) Corresponde con el paso número 5, el valor de $d = \max(d_1, d_2) = \max(1.991m, 2.3m) = 2.3m$

$d := \text{for } j \in 0..23$

$$d_j \leftarrow \begin{cases} \frac{y}{\tan \gamma_{.v_j}} - c - n \cdot \tan \gamma_{.v_j} & \text{if } \tan \gamma_{.v_j} \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

(6) Fijada la longitud del alero, se calculan las proyecciones de sombra vertical y horizontal.

$y := \text{for } j \in 0..23$

$$y_j \leftarrow \tan \gamma_{.v_j} \cdot \left(d_{11} + \frac{n}{\tan \gamma_{.v_j}} + c \right)$$

$x := \text{for } j \in 0..23$

$$x_j \leftarrow \begin{cases} c \cdot \tan \gamma_{.v_j} & \text{if } \tan \gamma_{.v_j} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

(7) El resultado se expresa en forma de % de hueco expuesto al sol

$$F_{s,j} := \text{for } j \in 0..23$$

$$F_{s,j} \leftarrow \begin{cases} \text{if } VSA_j > 0\text{deg} \\ \left| \begin{array}{l} \frac{b - (y_j - e - f) \cdot a - (x_j - g)}{a \cdot b} \quad \text{if } \beta_v < 0\text{deg} \\ \frac{b - (y_j - e - f) \cdot a - (x_j - m)}{a \cdot b} \quad \text{otherwise} \end{array} \right. \\ 0 \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

Si $\beta_v > 0^\circ$ supone que la sombra se proyecta por el lado izquierdo (visto el hueco en alzado). Existirá sombra siempre que $x > m$

Si $\beta_v < 0^\circ$ supone que la sombra se proyecta por el lado derecho (visto el hueco en alzado). Existirá sombra siempre que $x > g$

Como condición de evaluación del bucle se impone que $VSA > 0^\circ$, puesto que para valores de VSA negativos la posición del sol es tal que la fachada en cuestión se encuentra en sombra (es decir, el sol está por detrás de ella).

Resultados

Para comprobar la validez de la formulación, he simulado el soleamiento para la geometría de alero calculada, con el programa ECOTEC de Autodesk [ref.]. Los resultados de F_s obtenidos de la simulación, aunque con pequeñas diferencias, se ajustan bastante a los calculados. (ver ANEXO fin capítulo)

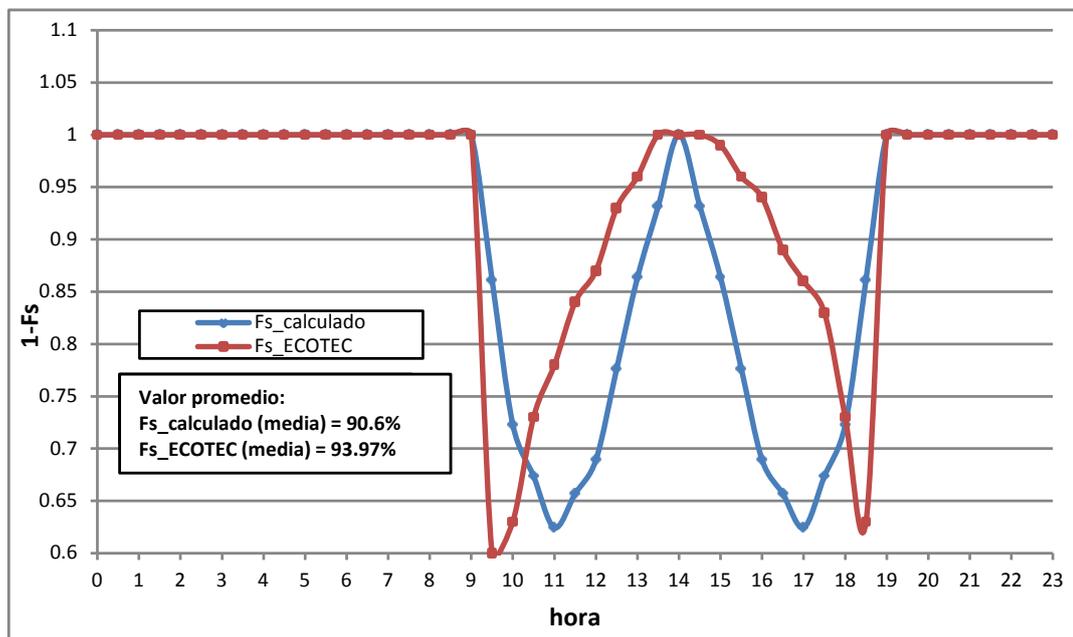


Fig. 8 Comparación del % de ventana sombreada para el 21 de Julio algoritmo propio frente a ECOTEC

Teniendo en cuenta los valores promedios expuestos en la Fig. 8, el tanto por ciento de ventana sombreada para el método de cálculo empleado es menor que el devuelto por el programa ECOTEC, por tanto más restrictivo. Es importante matizar que este tanto por ciento no define la eficiencia del alero, puesto que incluye los valores tanto para las horas que se necesita sombreadamiento como para las que no.

Ángulos solares del día/mes, más representativo

	Altura solar	Hora solar	Ángulo de incidencia	Ángulo de azimuth	Profundidad alero d [m]
21 de Julio	69.99°	12:00	69.99°	0	2.3
Media de Julio	70.69°	12:00	70.69°	0	1.991
21 de Junio ⁴	73°	12:00	73°	0	1.798

Tabla. 4 Ángulos solares para los días más representativos y profundidad del alero para sombreado completo

2. Orientación norte.

El sol describe una trayectoria elíptica desde el orto hasta el ocaso. El arco que describe el sol sobre el horizonte es menor en invierno que en verano. Es decir, en invierno el sol sale más a la “derecha” del Este y se pone más a la “izquierda” del Oeste. Mientras que en verano, sale más a la “izquierda” del Este y se pone más a la “derecha” del Oeste (estas diferencias son mayores según se acercan los solsticios de invierno y de verano) Fig. 9. Esto se traduce en un soleamiento de la fachada norte en las horas cercanas a la salida y puesta del sol, siendo por tanto necesaria una protección solar.

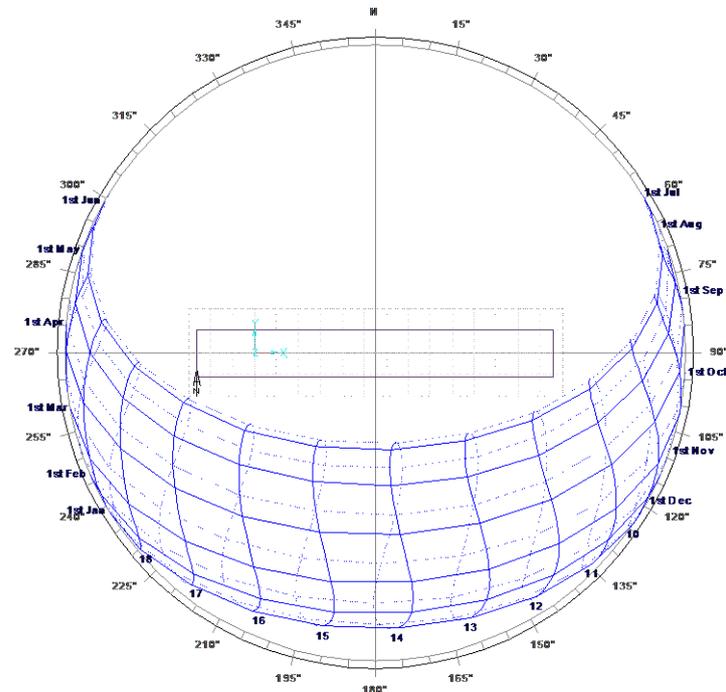


Fig. 9 Carta estereográfica del sol para Madrid [Fte. ECOTEC Solar tool]

La protección solar para la fachada con orientación norte será un alero, pero en este caso a diferencia de la protección para la fachada sur se ha decidido incluir un alero con un cierto ángulo de perfil. Esta elección no responde a criterios relativos al sombreado. Lo que se pretende es facilitar de algún modo la salida de aire caliente (por convección natural) para la estrategia de verano. Con este ángulo se pretende que el aire expanda hacia el exterior, el cálculo requeriría de una simulación de convección (ya fuera natural o forzada) a través de mecánica de fluidos, lo que está bastante lejos de alcance del proyecto. La metodología a seguir es la misma que para la orientación sur, sin embargo es necesario incluir en la formulación el ángulo del perfil del alero (θ).

4

Coincide con el solsticio de verano, día del año en que se obtiene la altura solar máxima anual. Comparando los valores de profundidad de alero obtenidos, elegir el 21 de Julio frente al 21 de Junio supone asegurar el sombreado durante un mayor período de tiempo.

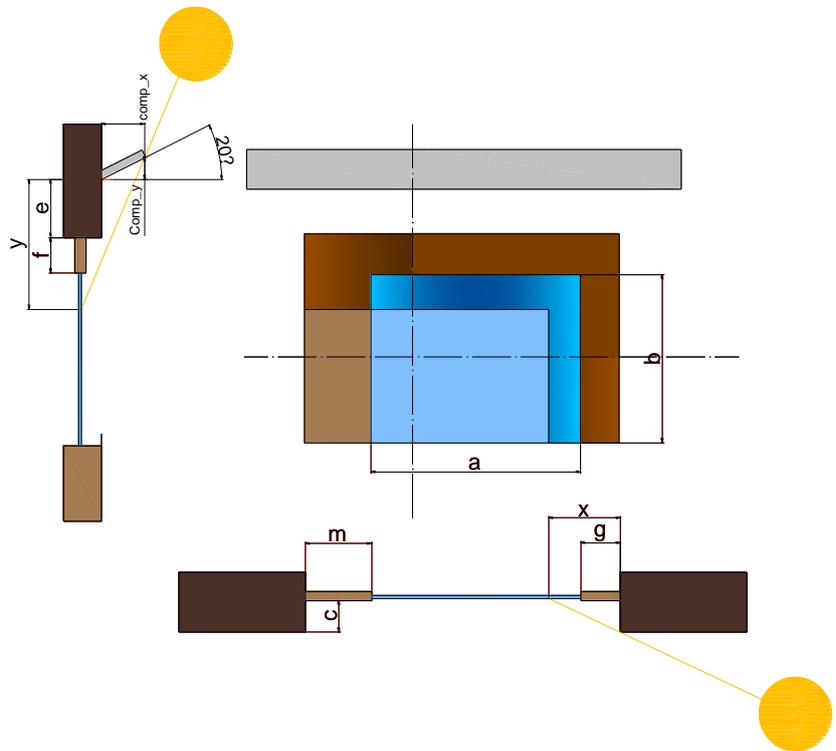


Fig. 1. Ventana retranqueada con alero con ángulo de perfil ($\theta = 20^\circ$)

Descripción de la geometría del hueco. Para la fachada norte se tendrán dos tipos de huecos. La diferencia entre ambos reside en el ancho de los mismos.

Ventanal. TIPO 1	Longitud [m]
a) Anchura de la venta	3
b) Altura de la ventana	1.4m-e-f-g
c) Retranqueo de la superficie acristalada	0.15
d) Voladizo que sobresale	Incógnita
e) Distancia del hueco a la que se encuentra el voladizo	0.4
f) Parte superior del hueco (cristal)	0.066
g) Anchura del marco	0.066
m) Parte izquierda del hueco (no cristal)	0.066
n) Voladizo hacia abajo	0
y) Altura de ventana no expuesta al sol	A determinar
x) Anchura de ventana no expuesta al sol	Calcular

Tabla. 5 Parámetros que definen el hueco TIPO 1 de la fachada norte

Los ventanales TIPO 1 se ubican en la primera planta y se abren en los dormitorios. Los de TIPO 2 (también ubicados en la primera planta), se abren en los baños y en la zona común.

Ventanal. TIPO 2	Longitud [m]
a) Anchura de la venta	2
b) Altura de la ventana	1.4m-e-f-g
c) Retranqueo de la superficie acristalada	0.15
d) Voladizo que sobresale	Incógnita
e) Distancia del hueco a la que se encuentra el voladizo	0.4
f) Parte superior del hueco (cristal)	0.066
g) Anchura del marco	0.066
m) Parte izquierda del hueco (no cristal)	0.066
n) Voladizo hacia abajo	0
y) Altura de ventana no expuesta al sol	A determinar
x) Anchura de ventana no expuesta al sol	Calcular

Tabla. 6 Parámetros que definen el hueco TIPO 1 de la fachada norte

Formulación y descripción del algoritmo.

Coincide con lo expuesto para el alero sur, es necesario precisar que los datos de entrada que se tienen en cuenta para el dimensionado se limitan a los datos del 21 de julio, puesto que si se tienen en cuenta los valores medios para todo el mes de julio, la conclusión es que el alero norte no sería necesario.

- (5) Corresponde con el paso número 5, en lugar de calcularse directamente el valor de **d** (que en este caso correspondería con la hipotenusa del triángulo que forma el perfil con la horizontal), se calcula la *componente_x* (componente horizontal). El resto de incógnitas que afectan a la geometría del alero se pueden despejar, teniendo en cuenta que el ángulo θ del perfil es de **20°**.

comp_x := for j ∈ 0..23

$$\text{profundidad}_j \leftarrow \begin{cases} \frac{y}{\tan(\text{VSA}_j) - \tan(\theta)} & \text{if } \tan(\text{VSA}_j) \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- (6) Fijada la geometría del alero, se calculan las proyecciones de sombra vertical y horizontal.

cx := comp_x

x := c · tan(HSA)

y := [(c + cx) · (tan(VSA) - tan(angulo_alero))]

El valor de la componente x obtenido del alero es **cx = 1.389m**, por tanto el valor del voladizo (valor de la hipotenusa) queda **d=1.478m**.

- (7) El resultado se expresa en forma de % de hueco expuesto al sol

F_s := for j ∈ 0..23

$$F_{s,j} \leftarrow \begin{cases} \text{if } \text{VSA}_j > 0\text{deg} \\ \left| \begin{cases} \frac{b - (y_j - e - f) \cdot a - (x_j - g)}{a \cdot b} & \text{if } \text{HSA}_j < 0\text{deg} \\ \frac{b - (y_j - e - f) \cdot a - (x_j - mi)}{a \cdot b} & \text{otherwise} \end{cases} \right. \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

3. Orientación Oeste

La solución de sombreado introducida para los huecos de fachada con orientación oeste se basa en un concepto completamente distinto a la de las fachadas norte y sur. En este caso se recurre al sombreado vegetal. Los efectos que los árboles tienen sobre el ahorro energético no se limitan al sombreado, también afectan a la temperatura del aire y de la pared, la velocidad y humedad del aire y por tanto a la transferencia de calor hacia el muro

De los efectos citados, solamente se calculará el del sombreado, puesto que no he encontrado bibliografía adecuada para el cálculo del resto, como por ejemplo la reducción de temperatura sol aire de la parte del muro sombreado debido a la refrigeración evaporativa (por tanto hay que tener en cuenta que los beneficios derivados de su uso no se limitan a los calculados).

Selección del tipo de árbol

Puesto que existen diferentes estrategias de sombreado en los períodos de calefacción y refrigeración, los árboles a plantar serán de **hoja caduca**. Se busca la minimización de la ganancia solar directa en verano (árboles cubiertos de hojas) y su maximización en invierno (árboles desnudos).

Otro factor del que depende selección del tipo de árbol es el **tamaño** del mismo y la **forma de su copa**.

El tipo de árbol elegido es la *catalpa bignonioides* además de la selección del tipo de árbol en función de las necesidades de sombreado, hay que tener en cuenta que sea adecuado para el clima de Madrid.

Catalpa o catalpa americana:

1. Tamaño: de 6 a 11 m
2. Tamaño de la copa: 4 a 6 m
3. Forma de copa: Redondeada
4. Árbol caducifolio
5. Resiste a las heladas fuertes
6. Buena tolerancia al frío invernal
7. Necesita del sol para una buena floración

Descripción de la geometría del hueco.

	Longitud [m]
a) Anchura de la venta	1.5
b) Altura de la ventana	1

Tabla. 7 Parámetros que definen el hueco de la fachada oeste

Formulación y descripción del algoritmo.

Para el cálculo del área de sombra proyectada se pueden seguir dos líneas; cálculo de la geometría necesaria que maximice el sombreado para las condiciones de radiación incidente y altura solar más desfavorables, o la selección de un árbol determinado y análisis de viabilidad.

En este caso he optado por la segunda de las opciones, puesto que no hay una metodología determinada para la primera de ellas y además supone una programación excesivamente compleja.

Selección de un árbol determinado y análisis de viabilidad, en la que una vez generado el programa se puede correr hasta encontrar los resultados deseados sin más que variar el tipo de árbol. Basado en lo expuesto por *Gomez-Muñoz [7]*.

1. Representación simplificada del árbol

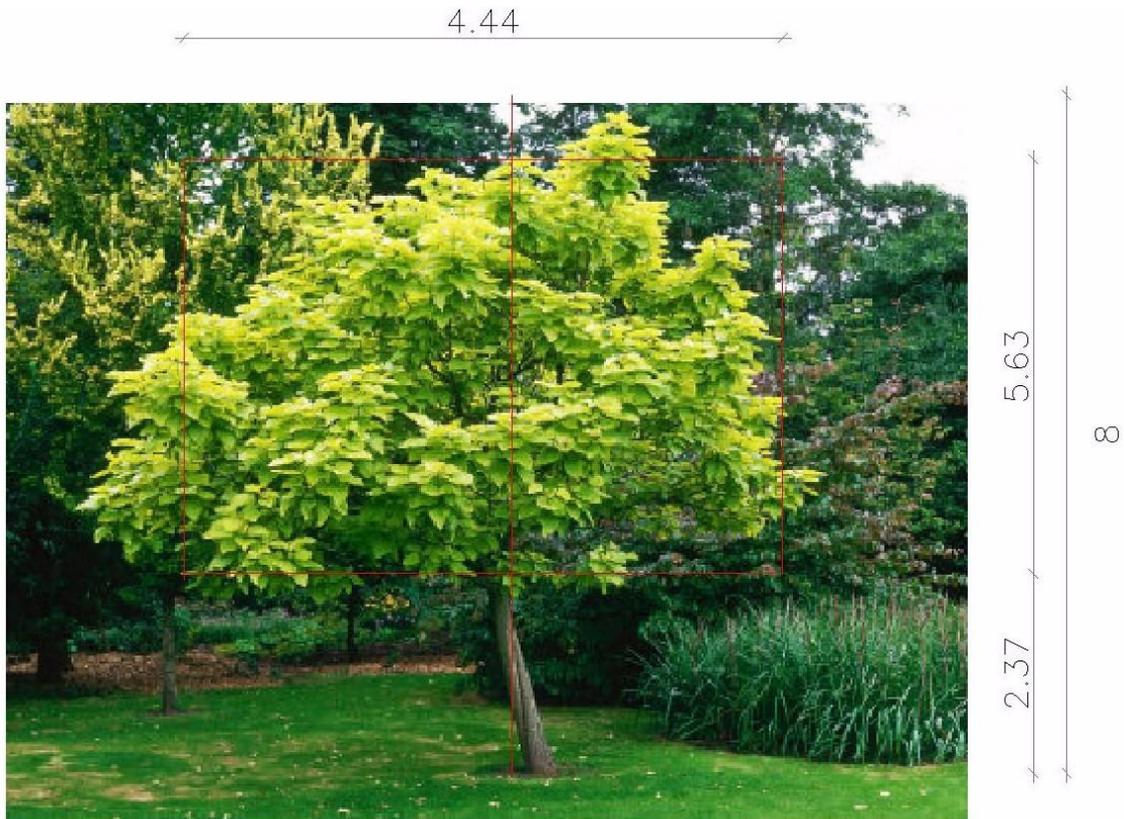


Fig. 10 Vista y acotado del árbol para el sombreado (*catalpa bignonioides*)

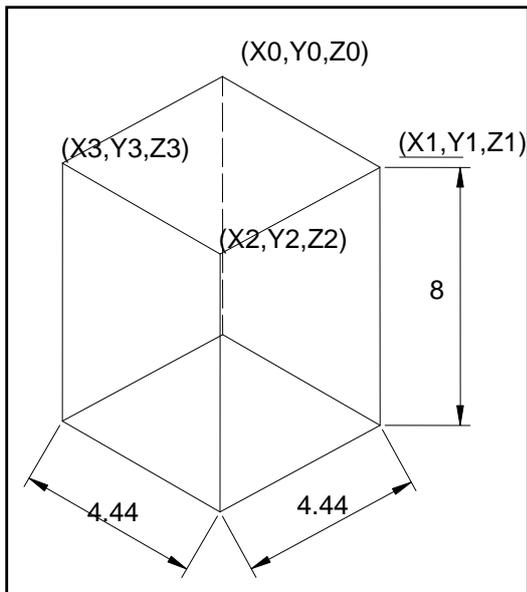


Fig. 11 Simplificación de la geometría a la de un prisma rectangular, cotas en metros.

Se asemeja el árbol a un prisma rectangular, a efectos de sombreado se desprecia el volumen que compone el tronco. La cota del vértice de la copa que se corresponde con el alto del árbol es de 8m (5.63m desde el extremo superior del tronco) y 4.44 m la que corresponde con el ancho.

Una vez que se ha definido la relación de aspecto (ver Fig. 2) es necesario establecer un origen de coordenadas.

Tras ello se definen las coordenadas de cada uno de los vértices superiores que componen el prisma de la simplificación del árbol.

2. Origen de coordenadas

Se establece como centro de coordenadas el origen de la fachada a nivel del suelo, en el punto en el que cortaría un eje imaginario que pasase por el centro de la ventana.

x: Representa la distancia a la fachada de un punto del árbol

y: Desplazamiento lateral respecto al eje que pasa por el punto medio de la ventana

z: Altura de un punto desde el suelo

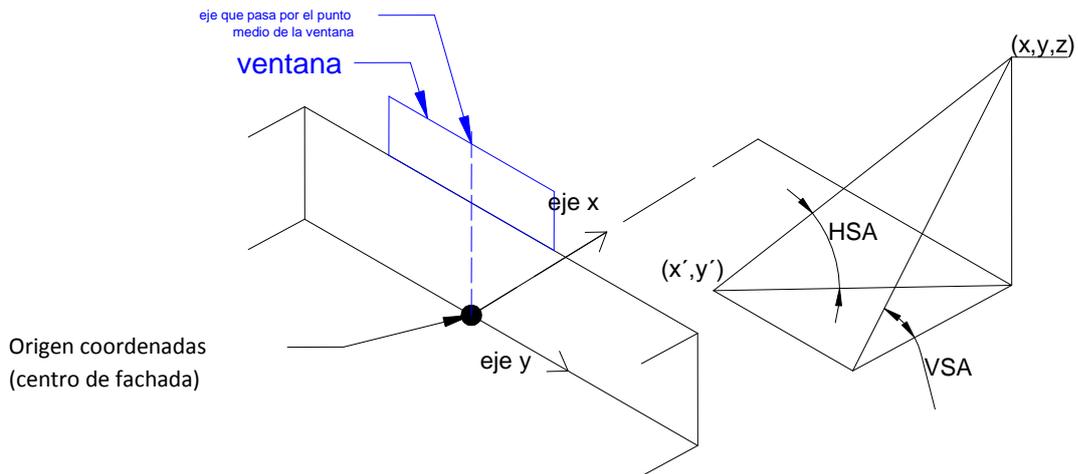


Fig. 12 Origen de coordenadas

Coordenadas de los vértices para la simplificación del árbol y distancia óptima al origen de coordenadas para el sombreado en las condiciones del 21 de Julio:

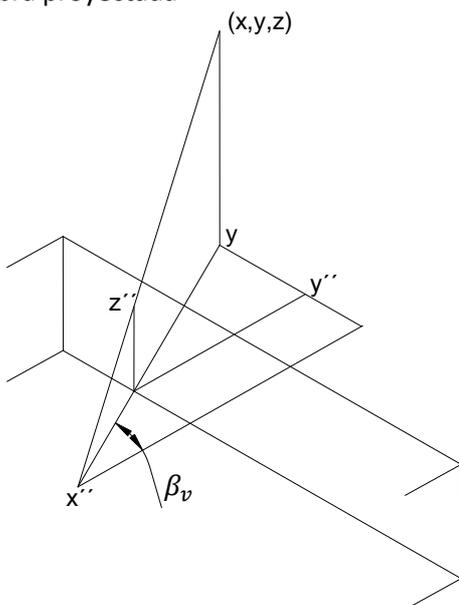
$$(x_0, y_0, z_0) = (7.44, -2.22, 8) \text{ m}$$

$$(x_2, y_2, z_2) = (3, 2.22, 8) \text{ m}$$

$$(x_1, y_1, z_1) = (7.44, +2.22, 8) \text{ m}$$

$$(x_3, y_3, z_3) = (3, -2.22, 8) \text{ m}$$

3. Sombra proyectada



$$y'' = y - x \cdot \tan(\beta_v)$$

$$z'' = \frac{x' \cdot z}{x' - x}$$

Donde:

$$h = \frac{z}{\tan(\alpha_s)}$$

$$x' = x - \frac{z}{\tan(VSA)}$$

$$y' = y - h \cdot \sin(HSA)$$

Fig. 13 Sombra proyectada y ecuaciones para el cálculo de la proyección de los puntos característicos sobre la fachada

Los valores de (y_i'', z_i'') devuelven los valores de la proyección de (y_i, z_i) sobre la fachada, por tanto, para el cálculo del área de ventana sombreada es necesario procesar el conjunto de valores⁵, limitando sus cotas a las dimensiones de la ventana (*ver- ANEXO 1.4. Oeste-*). Con los nuevos (y, z) el área de la ventana sombreada queda $A_{sombreada} = y \cdot z$, de donde se extrae que la fracción de ventana expuesta al sol o F_s es:

$$F_s = \frac{1 - A_{sombreada}}{A_{ventana}}$$

⁵ Como simplificación, no se considera para futuros cálculos, se desprecia el área de fachada y tejado sombreados.

4.2. Aislamiento capacitivo e inercia térmica

Existen tres tipos de aislamientos térmicos: *resistivo*, *reflectante* y *capacitivo*

Aislamiento resistivo. Consigue reducir el flujo de calor mediante alta resistencia térmica del material, esta afirmación equivale a hablar de baja conductividad térmica. Baja conductividad que se consigue mediante la inmovilización del aire contenido en el material (el aire confinado en células y sin movimiento impide la transmisión de calor por convección). Típicos aislamientos resistivos son espumas de material plástico expandido o estruido (poliuretano o poliestireno).

Aislamiento reflectante. Es típico de las cámaras de aire ventiladas, se pretende aumentar la resistencia térmica mediante la colocación de una lamina reflectante en la superficie receptora de calor. La inclusión de dicha lámina disminuye la absortancia de la superficie (el flujo de calor por radiación en una cámara de aire, depende de la emitancia de la superficie caliente y la absortancia de la superficie receptora).

Aislamiento capacitivo. El uso de materiales de alta capacidad térmica disminuye el flujo de calor instantáneo al acumular ellos parte del mismo. La diferencia con el tipo de aislamiento resistivo y reflectante es que la respuesta a los cambios de temperatura presenta un desfase en el tiempo. Si se comparan los flujos de calor a través de un muro real con el de un muro de masa térmica nula. El muro real presenta un **desfase y amortiguamiento** de la onda térmica respecto al de masa nula.

El edificio está compuesto de distintos materiales, los cuales tiene una capacidad de almacenamiento de la energía que se traduce en un aumento de su temperatura. Por tanto, las paredes de la envolvente pueden asimilarse a un intercambiador de calor, que suministrará o recibirá energía según sea la temperatura a cada lado de la envolvente.

Esta transferencia de energía será más o menos rápida en función del coeficiente *de conductividad* de los materiales que formen la frontera (o cerramiento). Atendiendo exclusivamente al valor de este coeficiente (sin aporte adicional de energía) ambos lados acabarán alcanzando la misma temperatura. Sin embargo los materiales poseen otras propiedades térmicas que hacen que dos cerramientos con el mismo valor del coeficiente de conductividad no se comporten de la misma manera. Si se considera la transferencia de calor en régimen no estacionario es necesario tener en cuenta la *capacidad de almacenamiento de energía* de los materiales.

4.2.1. Parámetros que caracterizan un cerramiento

- *Coficiente de conductividad (K en [W/m·K])*: Mide el mayor o menor ritmo de transferencia de calor a través de un cerramiento, siendo proporcional a ΔT . Sin aporte de energía, las dos caras de un cerramiento acabaran alcanzando la misma temperatura, la diferencia radica en la velocidad con que lo hagan. En caso de que haya un aporte de energía la diferencia está en el ritmo de aporte que compense la transferencia de calor (ya sea calefacción o refrigeración).

Dos cerramientos con el mismo valor de K no se comportaran de la misma manera desde el punto de vista de las pérdidas y de la velocidad a la que se producen. Es necesario tener en cuenta la *capacidad de almacenar energía*.

- *Masa térmica*: La combinación de la masa y del calor específico identifica la capacidad de modular el mecanismo de transferencia de calor modificando la temperatura efectiva que percibe cada una de las caras del cerramiento.

Cuando a un muro se le somete a oscilaciones periódicas de la temperatura exterior y la radiación solar:

(1) A medida que la temperatura del aire exterior y la radiación solar sobre el muro aumentan/disminuyen, también lo hace la temperatura de su cara externa o temperatura sol-aire⁶. (2)

⁶ T_{sol-aire}: Temperatura ficticia exterior, que tiene en cuenta el aporte de calor por convección y por radiación solar sobre la superficie exterior. [3. Pinazo Ojer, J.M. and Universidad Politécnica de Valencia, Manual de climatización: T. II, Cargas térmicas. 1995, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones. 634.]

En el momento en que esta temperatura es mayor/menor que la de su cara interna, se produce un flujo de calor desde el exterior/interior hacia el interior/exterior.

(3) A medida que el flujo de calor penetra/sale en el interior del muro (siendo este multicapa), la temperatura de cada una de estas capas se va elevando. El aumento de temperatura corresponde con la acumulación sucesiva de calor, calor que es restado al flujo.

(4) Cuando una capa no puede admitir más calor (al haber alcanzado su máxima capacidad de acumulación), lo transfiere a la capa siguiente que está a menor temperatura.

(5) Cada capa recibe menos calor que la anterior, reduciéndose el flujo calorífico y por tanto **amortiguándose su oscilación**. El amortiguamiento supone la minoración de la **amplitud**⁷ de la onda térmica. La parte de flujo amortiguada queda acumulada en el muro y solamente una fracción del calor inicial alcanza su cara interior. Este proceso de acumulación produce un retraso en la transmisión de calor.

El diseño de un cerramiento multicapa se suele plantear atendiendo a los dos fenómenos antes comentados, conductividad y masa térmica. Alguna de las capas tiene cierta capacidad de acumulación, mientras que otras asumen el peso de reducir el valor de k de conjunto.

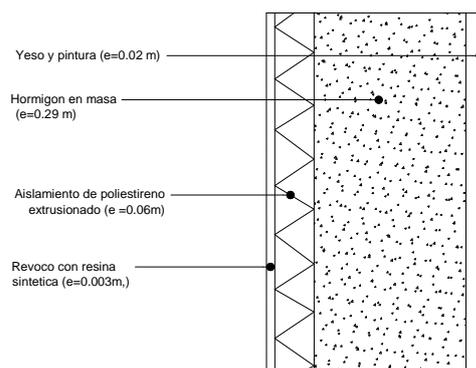


Fig. 14 Sección del muro (fachada sur)

En la Fig. 3 se representa un muro multicapa, concretamente el muro usado para la fachada sur de la vivienda. Atendiendo al diseño de muro comentado, la capa con la función de acumulación es la capa de hormigón. La capa de poliestireno reduce el valor del coeficiente de transferencia de calor del conjunto. Las otras dos capas son el remate interior para el caso del yeso y protección contra la degradación por parte del revoco con resina.

4.2.2. Amortiguamiento y desfase

La onda térmica exterior (variación de la temperatura en la cara exterior del muro a lo largo del tiempo) experimenta dos fenómenos al pasar por el filtro que supone el cerramiento: amortiguamiento y desfase.

Cuanto mayor sea el espesor del muro y más concretamente el de la capa con función de acumulación, mayor será la reducción de la amplitud de la onda interna y su retraso en el tiempo.

En conclusión, puesto que en este proyecto se pretende retrasar en el tiempo y disminuir la amplitud de la onda térmica, el **material que forme la capa de acumulación debe ser de alta densidad y calor específico (alta capacidad térmica**⁸). El material usado es **hormigón en masa** (para todas las orientaciones de fachada).

Para la selección del material con la función de acumulación he barajado varias posibilidades:

⁷ Amplitud: Es el cociente entre la amplitud de la onda en la cara interna del muro y en su cara externa en tanto por ciento.

⁸ Capacidad térmica: Producto de la densidad de un material por su calor específico. La capacidad térmica expresa el calor que es capaz de almacenar un sistema al incrementarse su temperatura, de ahí que se denomine «capacidad» a esta magnitud, pero también de la oposición a dicho cambio de temperatura en la medida en que cuanto mayor sea la capacidad térmica mayor habrá de ser el calor suministrado para lograr la misma variación de temperatura pudiendo hablarse así de cierta «inercia térmica»

	Densidad [kg/m ³]	Calor específico [J/kg·K]	Conductividad térmica [W/m·K]	Integridad estructural
Hormigón en masa	2450	1000	2	Alta
Granito	2600	1000	2.8	Alta
Pizarra	2650	758	0.42	Baja

Tabla. 8 Propiedades térmicas y mecánicas de los materiales (comparativa para selección del material de muros)

En la Tabla. 8 se muestran las propiedades térmicas y mecánicas para establecer una comparación entre los distintos materiales candidatos.

Térmicamente, el más favorable para acumulación térmica es la pizarra, sin embargo, estructuralmente presenta problemas para la construcción en altura (típico de muros bajos de mampostería).

Descartada la pizarra, hormigón y granito presentan propiedades térmicas y mecánicas muy similares, el factor de decisión será por tanto el precio. El hormigón tiene un precio menor que el granito, que es menos estandarizado, incluso existe la posibilidad de adquirir muros prefabricados de granito que facilitan la puesta en obra y permiten el diseño propio de formas y colores. En definitiva el hormigón es mucho más polivalente.

El desfase⁹ o retraso se aprecia en mayor grado en verano, sobre todo en fachadas expuestas a una elevada captación solar (como puede ser la fachada sur). El tipo de cerramiento se ha diseñado de modo que el pico de máxima temperatura que llega al interior del edificio presente un desfase suficiente como para poder ventilar nocturnamente la vivienda y no notar el momento de máxima transferencia de energía al interior.

En la Fig. 15 se valida la afirmación anterior, los mayores valores del flujo de calor hacia el interior se dan por la noche, de modo que el desfase obtenido es suficiente para plantearse una estrategia de refrigeración nocturna mediante ventilación natural.

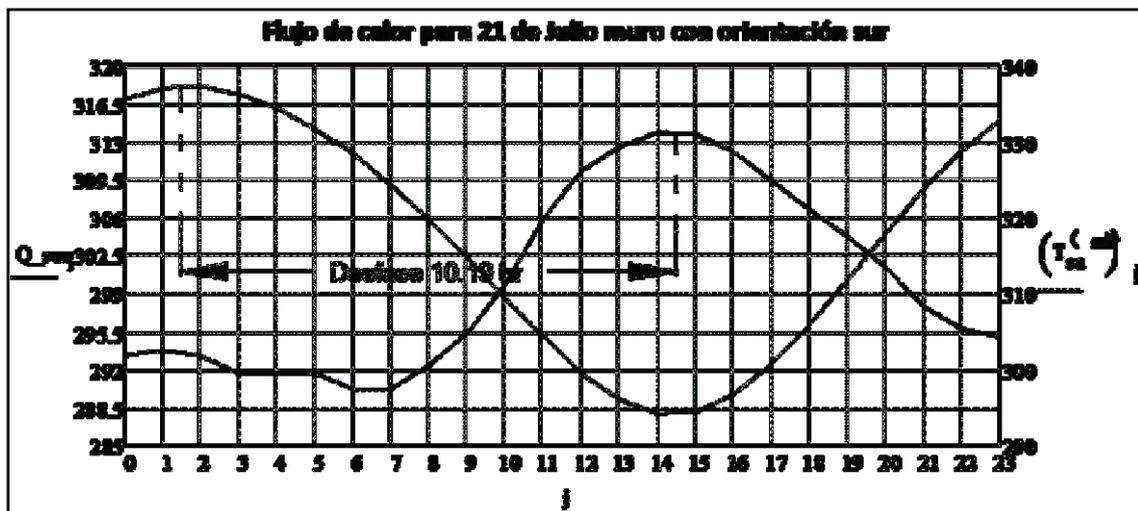


Fig. 15 Representación del desfase y amortiguamiento de la onda de calor para el cerramiento diseñado

⁹ Desfase en el tiempo entre el máximo de temperatura interior del muro y la temperatura exterior

Para el cálculo del *amortiguamiento* (14.4%) y el *desfase* (10.19 horas) se ha recurrido a la formulación propuesta por Pinazo, se trata de una solución matemática ante variaciones senoidales de la temperatura exterior, con una extrapolación mediante series de Fourier a cualquier evolución.

Cálculo de amortiguamiento y desfase:

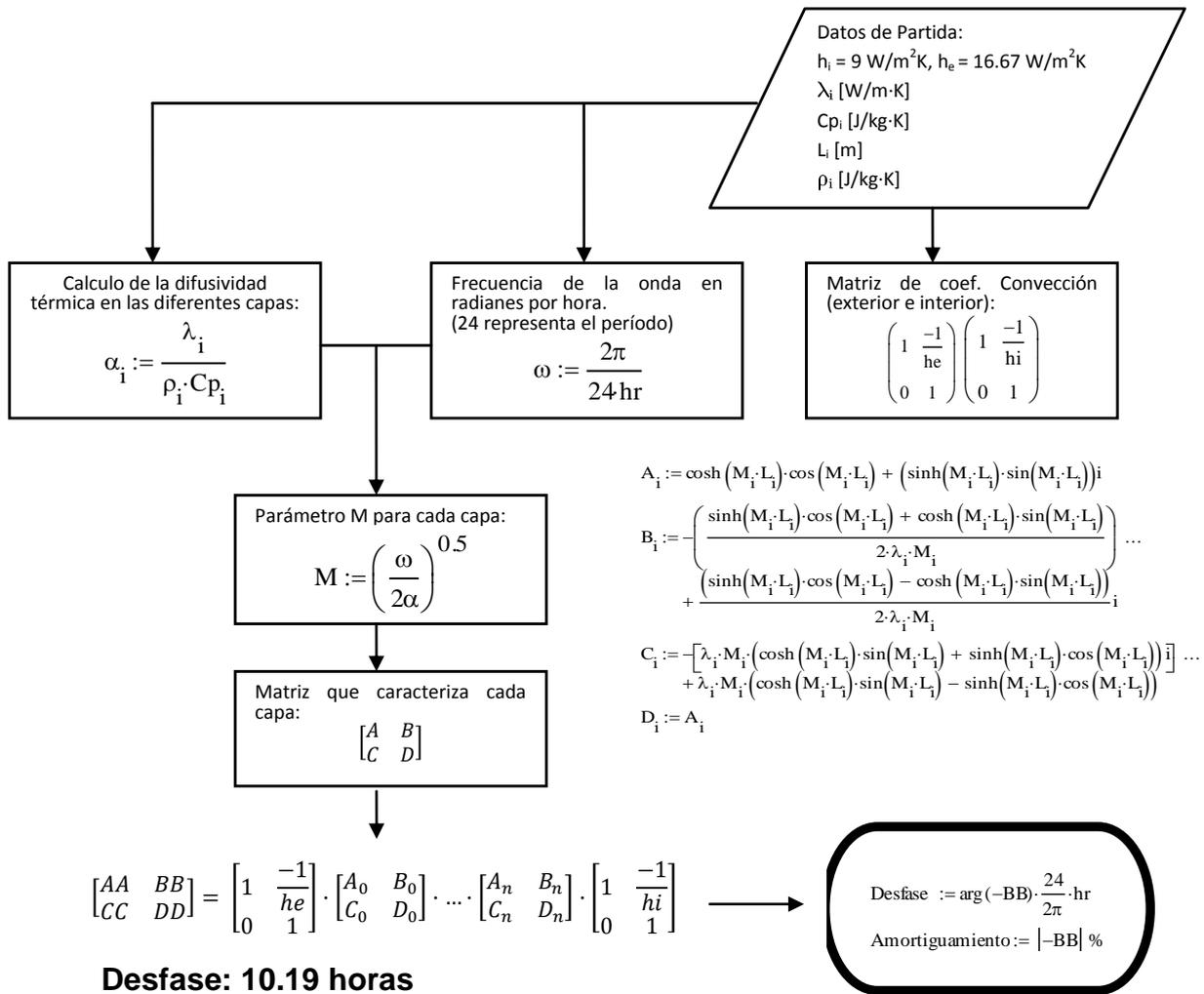


Fig. 16 Cálculo del desfase y amortiguamiento basado en series de Fourier, de acuerdo con lo expuesto en *Manual de climatización: Tomo II, Cargas térmicas* [3]

4.2.3. Efecto estacional de la inercia térmica y aislamiento

- *Efecto de la inercia térmica en verano:* Analizando la inercia térmica se puede concluir que se aprecia en mayor grado en verano, sobre todo en fachadas expuestas a una elevada captación solar, siendo interesante que el pico de máxima temperatura que llega al interior del edificio presente un desfase suficiente como para poder ventilar la vivienda en la noche y de este modo mitigar el efecto de la máxima transferencia de energía en el interior.

- *Efecto de la inercia térmica en invierno:* un edificio con una elevada inercia térmica necesita aumentar el aporte energético para alcanzar la temperatura deseada (aumentando con ello el consumo

de calefacción), aunque los edificios de baja inercia térmica tienen un mayor ritmo de transferencia de calor hacia el exterior. Para obtener los máximos beneficios del efecto de la inercia térmica es necesario optimizar el diseño de los muros: orientación del mismo y análisis de la ganancia solar. Aunque en este PFC no se acometerá tal simulación, la solución óptima, aunque la más exigente numéricamente, sería hacer una integración de la carga térmica anual y determinar de este modo el espesor óptimo de los muros.

En edificios de inercia muy pesada es necesario colocar el aislamiento en el exterior rodeando la envolvente, de modo que la parte pesada del muro quede hacia el interior del edificio, de este modo la energía solar captada y almacenada se emitirá hacia el interior del local (las pérdidas hacia el exterior por conducción son escasas debido al aislamiento).

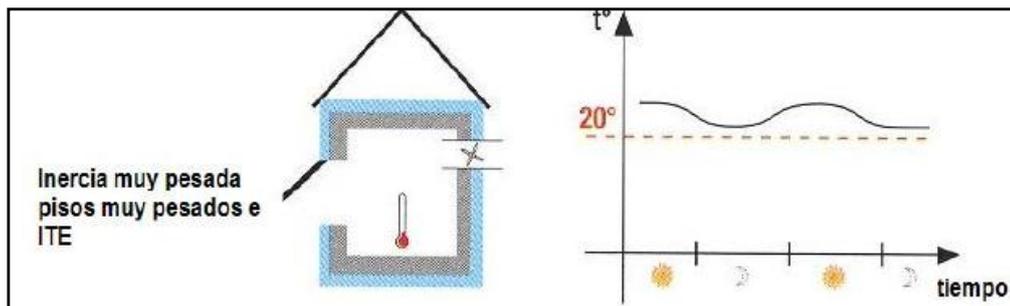


Fig. 17 Evolución de la temperatura de los muros para construcción de alta inercia

	Acciones para conseguir confort térmico en invierno	Acciones para conseguir confort térmico en media estación	Acciones para conseguir confort térmico en verano
Aislamiento	El aislamiento es esencial. Text<<Tconfort	El asilamiento es importante Text< Tconfort	El aislamiento es poco importante
Acumulación	La acumulación es efectiva en la medida que lo sea la ganancia solar.	La acumulación es importante en media estación. El sol puede calentar significativamente el interior, pero las tardes y noches son frías. Una vivienda con poca acumulación resulta muy calurosa a medio día, pero la temperatura interior caerá rápidamente a medida que desaparezca el aporte solar. Por otro lado una casa que acumula, mantendrá una temperatura agradable en el día y minimizará o incluso evitará el uso de calefacción durante la noche.	Acumular es esencial en verano. De este modo se evita el sobreaqueamiento, para lo cual es necesario ventilar la casa durante la noche con el objeto de reducir la temperatura de los cerramientos (es en la noche el momento que debido al retardo de la onda el flujo de calor hacia el interior es máximo).
Amortiguamiento	No sirve en invierno. La temperatura del exterior máxima es mucho menor que la temperatura confort.	No es útil en media estación. La temperatua exterior máxima es inferior a la interior media.	Es esencial en verano amortiguar las diferencias de temperatura exteriores. Es la estación en la que las diferencias de temperatura en el exterior (entre el amanecer y el anochecer) son las más altas. Además la temperatura máxima puede ser muy superior a la interior media.

4.3. Soterramiento de fachadas (analogía con cuevas habitadas)

Se puede establecer una analogía entre las cuevas habitadas y las viviendas enterradas. Desde sus comienzos, la humanidad ha aprovechado el efecto beneficioso de la protección del terreno ante las variaciones meteorológicas. Aunque ha ido cayendo en desuso debido principalmente al ordenamiento urbano, siguen existiendo poblaciones con costumbres pseudo-troglodíticas (en lo que se refiere al uso de cuevas habitadas como viviendas). Ejemplo de ello son los asentamientos de las cuevas de Guadix en Granada.



Fig. 18 Cuevas habitadas (Guadix, Granada)

Las fluctuaciones de temperatura exterior pueden ser rápidas, sin embargo unos metros bajo tierra estos cambios bruscos desaparecen.

La temperatura del terreno *aumenta* paulatinamente desde los meses de *abril a agosto*, de *septiembre a marzo* se produce un lento *enfriamiento*. Los cambios bruscos de la temperatura del terreno son amortiguados por la gran **masa térmica** del sustrato. Los muros enterrados o semienterrados no sufren los cambios bruscos de temperatura exterior.

En las viviendas construidas a nivel del terreno la mayor parte del gasto de calefacción se pierde hacia el exterior, debido a la conducción en muros o debido a infiltraciones de aire exterior. En contraste, en las construcciones enterradas apenas hay pérdidas por infiltración y a través de los muros se cede calor al terreno donde es almacenado.

Las viviendas enterradas aumentan la inercia térmica de la vivienda, en situaciones de calefacción/refrigeración intermitente la temperatura de la vivienda no descenderá bruscamente (el terreno irá cediendo el calor a la vivienda que recibió de ella).

Para el proyecto se ha elegido un terreno inclinado, con cierta pendiente, que permite fácilmente la construcción de una vivienda semienterrada con dos plantas, con el objeto de conseguir un alto ahorro energético.

Las viviendas semienterradas en el CTE¹⁰. Variables para el cálculo de la carga térmica

Los muros de las fachadas norte, este y oeste, están en contacto con el terreno.

El hecho de estar semienterrados, supone una minoración de la transmitancia térmica $U(W/m^2K)$ del muro. Los valores de esta transmitancia térmica se han obtenido a partir de lo expuesto en la directiva HE1 del código técnico (ref p38 HE1). La transmitancia térmica será función de dos parámetros:

- Profundidad del soterramiento $Z(m)$

¹⁰ CTE: Código técnico de la edificación. Aprobado el 17/03/2006, es el conjunto de normas que deben cumplir los edificios para que sean más seguros, más saludables y más eficientes energéticamente. El CTE cumplimenta la LOE (Ley de Ordenación de la Edificación) y adecúa la normativa española a la europea.

- Resistencia térmica del muro (en la que se desprecian las resistencias térmicas superficiales). De modo que la expresión que la define queda:

$$R_T = R_{se} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Donde $R_T = \frac{\text{espesor (m)}}{\text{Conductividad térmica de diseño } (\frac{W}{m \cdot K})}$ $R_{T_i} := \sum_{i=0}^n \frac{L_i}{\lambda_i} \cdot \frac{m^2}{K \cdot watt}$ $R_T = 3.067 \frac{m^2}{K \cdot watt}$

$$Z_{maxima} = 4 \text{ m}$$

$$Z_{minima} = 0 \text{ m}$$

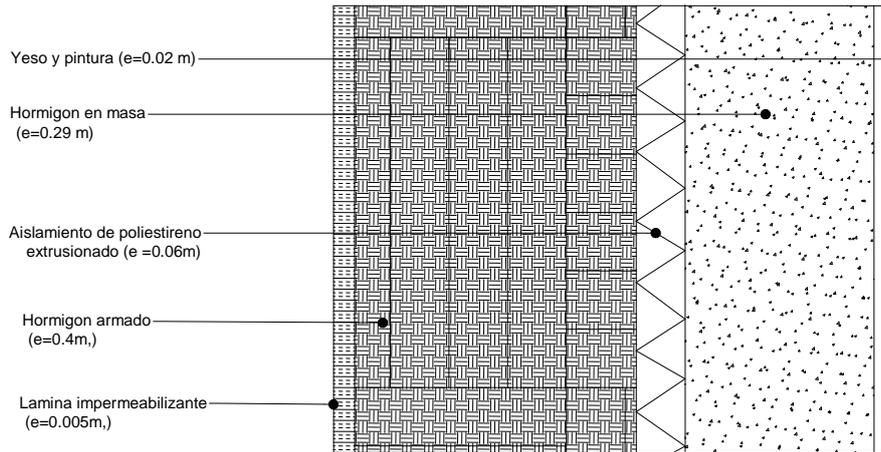


Fig. 19 Sección del cerramiento en las fachadas en contacto con el terreno¹¹

Toda vez que se dispone de estos parámetros z(m) y H(m) (que se representan en la siguiente figura), se está en disposición a través de la tabla E.5 de CTE-HE1 de obtener el valor adecuado de la transmitancia térmica del muro en cuestión.

Tabla E.5 Transmitancia térmica de muros enterrados U_T en W/m

R_m ($m^2 \text{ K/W}$)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	1	2	3	4	≥ 6
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
1,00	0,74	0,65	0,54	0,47	0,42	0,34
1,50	0,54	0,49	0,42	0,37	0,34	0,28
2,00	0,42	0,39	0,35	0,31	0,28	0,24

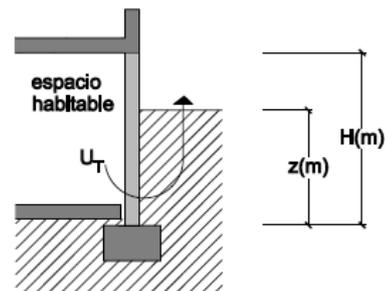


Fig. 20 Transmitancia térmica de muros enterrados U_T . [8]

12

4. Orientaciones este y oeste

Para los muros diseñados con orientaciones este y oeste, se presentan algunas dificultades. El talud de terreno que los cubre, lo hace de manera irregular. El punto máximo de soterramiento se da en la intersección de las fachadas norte-este y norte-oeste respectivamente, para ir disminuyendo la cota Z(m) hasta llegar a cero en las proximidades de la intersección con el muro sur.

Por simplicidad, el área semienterrada se ha asemejado a la de un triángulo rectángulo. El error que se comete con esta simplificación no justifica el cálculo exacto. Se han interpolado de manera acoplada los

11 El espesor típico de un muro de contención es la décima parte de la altura del mismo (en este caso $e = Z_{máxima}/10$)

12 Los valores intermedios se pueden interpolar linealmente.

valores de R_m y de la profundidad (z), de modo que a través de una hoja de cálculo se puede obtener un polinomio interpolador de quinto grado, con el que calcular el valor de U_t para cada par de puntos (x_i, H_i) desde la cota mínima a la máxima del soterramiento en intervalos de 1 mm.

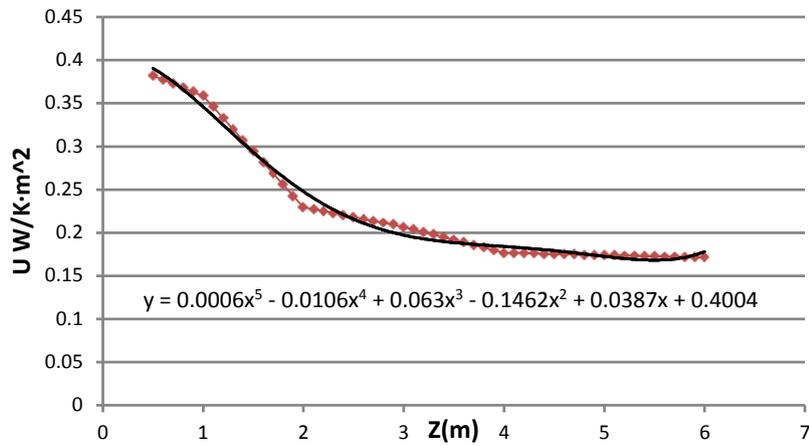


Fig. 21 Variación del valor de U con la cota de soterramiento

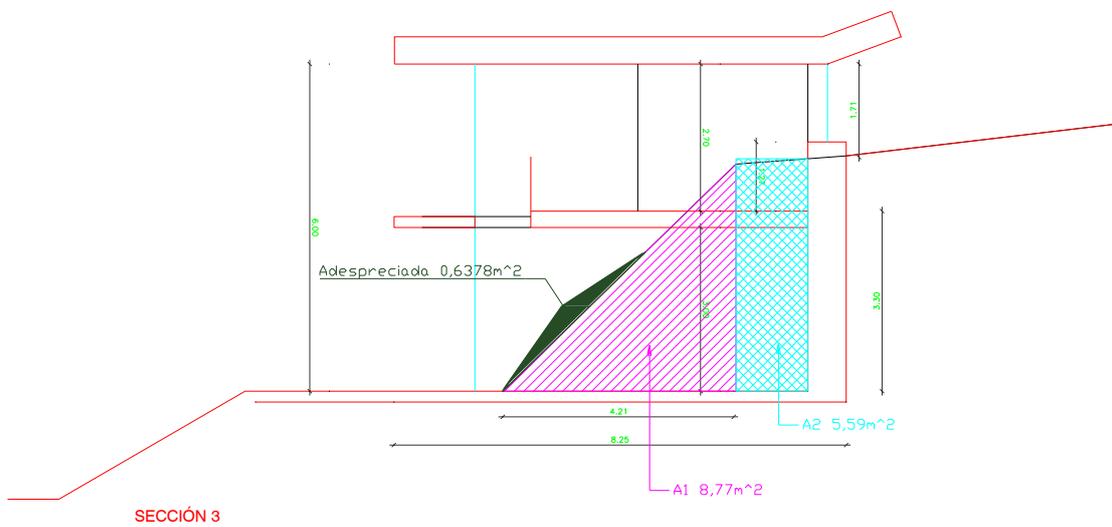


Fig. 22 Sección de la fachada este. Detalle de las áreas de soterramiento

De modo que:
$$U_{T_{Este-Oeste}}(A_1) = \frac{\sum_{i=0}^{4210} U_i \cdot A_i}{A_{total}} = \frac{1,86 \frac{W}{K}}{8,77m^2} = 0,212 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

$$U_{T_{Este-Oeste}}(A_2) = 0,176 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

5. Orientación norte

Para el análisis del soterramiento en la fachada norte el caso se simplifica, puesto que la cota Z es constante a lo largo de la misma. $U_{T_{Norte}} = 0,174 \frac{W}{K \cdot m^2}$

En la siguiente tabla se diferencian los valores de U_T para cada área en cada una de las orientaciones, semienterradas o no.

	Norte		Sur	
	Área [m ²]	U_T [W/K·m ²]	Área [m ²]	U_T [W/K·m ²]
Planta baja (semienterrada)	68.828	0.203	x	x
Planta baja (descubierta)	x	x	20.58	0.309
Planta baja (total)	68.828	x	20.58	x
Planta primera (descubierta)	36.927 - Aventana	0.309	20.58	0.309
Planta primera (semienterrada)	25.346	0.175	x	x
Planta primera (total)	62.273	x	20.58	x

Tabla. 10 Áreas de las fachadas norte y sur. Coeficientes de transferencia de calor de los muros correspondientes

	Este y Oeste	
	Área [m ²]	U_T [W/K·m ²]
Semienterrada A1	8.77	0.212
Semienterrada A2	5.59	0.176
Descubierta	23.0231 - Aventana	0.309

Tabla. 9 Áreas de las fachadas norte y sur. Coeficientes de transferencia de calor de los muros correspondientes

4.4. Cubierta vegetal

El diseño de una casa enterrada o semienterrada debe completarse con una cubierta vegetal, ya que es la cubierta la parte del edificio que está sujeta a las mayores fluctuaciones térmicas. Durante el día alcanza elevadas temperaturas por su exposición directa a la radiación del sol y durante la noche es la parte de la construcción que más calor pierde debido a la radiación hacia el cielo[9]¹³.

En *-Bioconstrucción Someso [10]-* se citan estudios realizados por *Kusuda* sobre mediciones de temperatura realizadas en verano. Las temperaturas con el uso de cubierta vegetal nunca superaron los 40°C, mientras que llegaron a los 60°C en cubiertas convencionales para una temperatura exterior de 32°C.

La cubierta vegetal se puede definir como un **materias activo**, que interactúa con las condiciones climáticas del ambiente:

- Ofrece una gran protección contra la radiación solar.
- Las hojas se encargan de limitar la radiación solar que penetra en la superficie de la cubierta (debido a las múltiples reflexiones sobre ellas y a la absorción necesaria para los procesos biológicos).
- Facilita el enfriamiento del espacio bajo cubierta en el verano, debido a la evaporación. Ya sea en su forma de función biológica, o la provocada por la humedad retenida por el sustrato como consecuencia de la incidencia de la radiación solar.
- Su uso generalizado modificaría el albedo de la ciudad.
- Aumenta el aislamiento térmico. La vegetación es una capa protectora, el suelo o sustrato orgánico tiene baja conductividad térmica, el aire existente entre las hojas de las plantas y la capa superior del sustrato funciona como una capa aislante que disminuye el intercambio térmico entre cubierta y exterior.

Las cubiertas vegetales se pueden clasificar en extensiva e intensiva:

Se conoce como de tipo *extensivo* a aquellas que presentan una capa vegetal de pocos centímetros de espesor (normalmente de menos de 10 cm), compuestas por plantas de bajo porte, de tipo autóctono de modo que el abastecimiento de agua y sustancias nutritivas se de por procesos naturales.

Las de tipo *intensivo* tienen un sustrato de mayor espesor (de más de 20 cm), con árboles, plantas y/o arbustos de mayor altura. Aunque maximizan los beneficios respecto a las de tipo extensivo requieren un mayor mantenimiento.

Para el proyecto se ha elegido una cubierta de tipo extensivo por dos motivos fundamentales:

1. Debido a los menores requerimientos de mantenimiento, que reducen el coste de operación.
2. Se pretende dotar a la vivienda de paneles solares en cubierta, por tanto el uso de una cubierta vegetal de tipo intensivo podría limitar la radiación incidente sobre los mismos por efecto de sombras.

Como alternativa, valoré el uso de la cubierta ventilada, sin embargo finalmente me decidí por el uso de la cubierta vegetal tras consultar lo expuesto en *-[11] Ashrae Green Guide-*. A continuación se muestra una tabla sacada de la citada referencia en la que se comparan las dos alternativas:

Propiedad	Cubierta vegetal	Cubierta ventilada
Minimización de la temperatura de superficie	Si	Si

13 [9]. Incropera, F.P. and D.P. Dewitt, *Fundamentos de la transferencia de calor [Texto impreso]*. 4* ed. 1999, Estado de México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. XXIII, 886 p.]

Impacto en la carga de refrigeración	↓	↓
Impacto en la carga de calefacción	↓	↑
Impacto estructural	Si	No
Reducción del efecto de isla urbana ¹⁴	¿Sí? ¹⁵	No
Impacto sobre el coste	Medio	Bajo

Tabla. 11 Comparación de las propiedades de la cubierta vegetal y la cubierta ventilada

El hecho de que la cubierta vegetal minimizara la carga de calefacción fue el factor determinante para decantarme por la solución de la cubierta vegetal.

4.4.1. Balance energético

El balance energético de un volumen de control que contenga las condiciones exteriores y la cobertura vegetal, dependerá de una serie de parámetros -La cubierta ecológica de los conceptos a la construcción [12]- como son:

- Albedo
- Radiación. Radiación solar absorbida, reflejada, transmitida, evapotranspirada y utilizada en el proceso de fotosíntesis.
- Temperatura superficial y temperatura del aire. Permiten en cálculo del flujo de calor convectivo dentro de la capa vegetal y la transferencia de calor por conducción.
- Emisividad
- Nubosidad

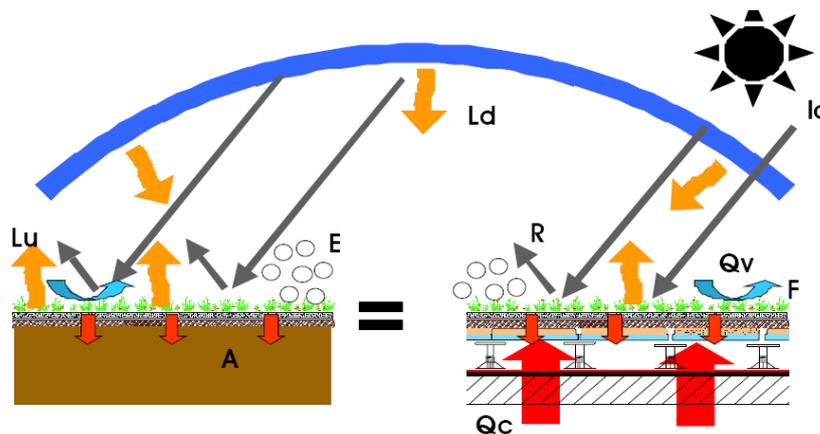


Fig. 23 Proceso de intercambio entre la cubierta y el medio [12]

A través del balance energético y su comparación con una cubierta sin vegetación, en la citada bibliografía se obtiene el valor del coeficiente de conducción equivalente (coeficiente para la capa vegetal y el sustrato). Coeficiente de conducción que al tratarse de materiales activos no se puede determinar en laboratorio del mismo modo que para el caso de materiales inertes.

Los cuatro procesos que gobiernan el balance energético son:

- Radiación en las proximidades de la superficie del suelo

$$R_n = (1 - R) \cdot I_0 + RL = (1 - R) \cdot I_0 + [CD(1 + \alpha \cdot C) - (\epsilon \cdot \theta \cdot T_{sv}^4)]$$

¹⁴ Se entiende por efecto de isla urbana, al área metropolitana que es significativamente más caliente que las áreas rurales circundantes.

¹⁵ Se considera que las cubiertas vegetales potencialmente pueden reducir el efecto isla, pero la influencia exacta e interacción de las cubiertas vegetales con el ambiente térmico local no está científicamente demostrada.

- Se asume que los procesos biológicos de la vegetación, como son evapotranspiración y fotosíntesis reducen la radiación en la superficie. Evapotranspiración 25% y 5% fotosíntesis.
- Transferencia de calor entre el aire exterior y la masa de aire que se encuentra en el interior de la capa vegetal.

$$Q_v = A \cdot h_c \cdot (T_e - T_{iv})$$

- Transmisión de calor de los materiales que conforman la cubierta del edificio, para la cual se aplica la ley de Fourier.

$$Q_c = 1 \cdot \left[\frac{1}{R_{si}} + R_m + \frac{e}{\lambda} \right] \cdot (T_e - T_i)$$

Para el cálculo de estos cuatro procesos son además necesarios una serie de datos experimentales que obtienen en la parcela a estudio.

$$\lambda = \frac{\left\{ \frac{\left[\left\{ \left[(1-R) \cdot I_0 \right] + RL \right\} - 20\%E - 5\%F \pm \left[A \cdot h_r \cdot (t_e - t_{iv}) \right] \right]}{(t_{sv} - t_i)} \right\} \cdot e}{1 - (R_{si} + R_{\Sigma m}) \cdot \left\{ \frac{\left[\left\{ \left[(1-R) \cdot I_0 \right] + RL \right\} - 20\%E - 5\%F \pm \left[A \cdot h_r \cdot (t_e - t_{iv}) \right] \right]}{(t_{sv} - t_i)} \right\}}$$

R (albedo) = 0.2

I_0 : Radiación solar incidente (directa+difusa)

RL: Radiación de onda larga, definida por $L_d - L_u$

L_d : Radiación de onda larga descendente de la atmósfera

L_u : Radiación de onda larga emitida por la vegetación

CD: Valor estimado para un cielo despejado

α : Factor de altura de nubes. Bajas (0.8-0.9), medias (0.6-0.7), cirros (0.2)

e: Emisividad de onda larga; 0.9

σ : Cte. De Steffan Boltzman $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$

T_{sv} : Temperatura superficial de la cobertura vegetal en K

T_{iv} : Temperatura del aire dentro de la capa vegetal en K

h_c : Coeficiente de convección para un flujo de aire en régimen turbulento

$$h_c = 1.52 \cdot (T_e - T_{iv})^{0.33}$$

R_{si} : Resistencia superficial interna de la cubierta $\text{m}^2\text{K/W}$

$R_{\Sigma m}$: Resistencia de la cubierta no vegetal $\text{m}^2\text{K/W}$

E: Espesor de la capa vegetal más el sustrato

El valor de λ , siempre según [ref] toma un valor de **0.12 W/mK**. El valor es prácticamente constante para los meses es que se tomaron datos (Enero, Marzo y Junio), las variaciones aparecen a partir del cuarto decimal.

4.4.2. Efecto de la cubierta vegetal sobre la carga térmica

Desde el punto de vista ingenieril, para la perspectiva de la cubierta vegetal, la cuestión que ha de plantearse en su diseño es la de cómo analizar las variables que afectan a la transferencia de calor en la misma.

En [12] se hace un análisis exhaustivo de los fenómenos que rigen la transferencia de calor a través de la cubierta vegetal, sin embargo para el cálculo se necesitan una serie de datos que a falta de correlaciones, los obtienen con medidas experimentales, hecho que limita la aplicabilidad del método.

En contraste [11] expone que los modelos de simulación de energía para edificios no son apropiados para analizar la pérdida de calor debida al efecto de evaporación desde el sustrato. Por tanto proponen el uso de la **absortividad del sustrato** como único parámetro variable con el que modelizar la cubierta vegetal. A continuación se muestra una tabla con valores de absortividad recomendados para distintas ciudades de Estados Unidos.

Ciudad	Absortividad
Atlanta	0.46
Denver	0.58
Honolulu	0.56
Los Ángeles	0.62
Nueva York	0.39
Phoenix	0.67
Seattle	0.36

Tabla. 12 Valores de absortancia recomendada para la superficie del sustrato para usar en el análisis energético en edificios dotados con cubierta vegetal

En el capítulo de carga térmica, se expondrá de manera extensa la hipótesis de cálculo utilizada.

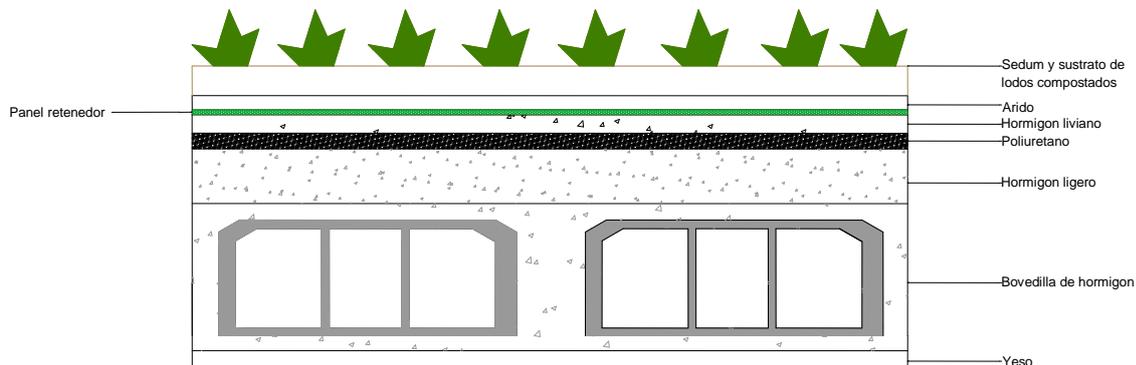


Fig. 24 Sección de la cubierta vegetal considerada

ANEXO

- Resultados extraídos de Autodesk ECOTECH, para el alero de la fachada sur

Tabulated Daily Solar Data

Latitude: 40.0°	Date: 21st July	Local Correction: -78.3 mins
Longitude: -3.0°	Julian Date: 202	Equation of Time: -6.3 mins
Timezone: 15.0° [+1.0hrs]	Sunrise: 07:04	Declination: 20.7°
Orientation: 180.0°	Sunset: 21:32	

Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading
07:30	(05:11)	66.6°	4.4°	-113.4°	169.0°	[Behind]
08:00	(05:41)	71.2°	9.8°	-108.8°	152.0°	[Behind]
08:30	(06:11)	75.6°	15.3°	-104.4°	132.3°	[Behind]
09:00	(06:41)	80.0°	20.9°	-100.0°	114.4°	[Behind]
09:30	(07:11)	84.5°	26.6°	-95.5°	100.8°	[Behind]
10:00	(07:41)	89.2°	32.3°	-90.8°	91.3°	[Behind]
10:30	(08:11)	94.1°	38.0°	-85.9°	84.8°	73%
11:00	(08:41)	99.5°	43.8°	-80.5°	80.2°	78%
11:30	(09:11)	105.7°	49.4°	-74.3°	76.9°	84%
12:00	(09:41)	113.0°	54.8°	-67.0°	74.6°	87%
12:30	(10:11)	121.9°	59.9°	-58.1°	73.0°	93%
13:00	(10:41)	133.4°	64.4°	-46.6°	71.8°	96%
13:30	(11:11)	148.4°	68.1°	-31.6°	71.1°	100%
14:00	(11:41)	167.2°	70.3°	-12.8°	70.7°	100%
14:30	(12:11)	-171.8°	70.5°	8.2°	70.7°	100%
15:00	(12:41)	-152.2°	68.7°	27.8°	71.0°	99%
15:30	(13:11)	-136.4°	65.3°	43.6°	71.6°	96%
16:00	(13:41)	-124.2°	60.9°	55.8°	72.7°	94%
16:30	(14:11)	-114.8°	55.9°	65.2°	74.2°	89%
17:00	(14:41)	-107.2°	50.6°	72.8°	76.3°	86%
17:30	(15:11)	-100.8°	45.0°	79.2°	79.4°	83%
18:00	(15:41)	-95.3°	39.3°	84.7°	83.6°	73%
18:30	(16:11)	-89.8°	33.6°	90.2°	90.4°	[Behind]
19:00	(16:41)	-85.5°	27.8°	94.5°	98.4°	[Behind]
19:30	(17:11)	-81.0°	22.1°	99.0°	111.0°	[Behind]
20:00	(17:41)	-76.6°	16.5°	103.4°	128.0°	[Behind]
20:30	(18:11)	-72.2°	11.0°	107.8°	147.7°	[Behind]
21:00	(18:41)	-67.6°	5.6°	112.4°	165.6°	[Behind]

4.5. Bibliografía del capítulo

1. <http://www.tecniter.com/>.
2. IDAE, *Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado : guía técnica para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios*. 2008. 43 p.
3. Pinazo Ojer, J.M. and Universidad Politécnica de Valencia, *Manual de climatización: T. II, Cargas térmicas*. 1995, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones. 634.
4. Vega, M.d., *Cargas térmicas*. Apuntes de la asignatura Calor y Frío industrial, 2006.
5. <http://www.construmatica.com>. *construpedia*. Vidrio de Baja Emisividad; Available from: http://www.construmatica.com/construpedia/Vidrio_de_Baja_Emisividad.
6. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *2001 ASHRAE handbook : fundamentals*. 2001, Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1 v. (pag. var.).
7. Gomez-Munoz, V.M., M.A. Porta-Gandara, and J.L. Fernandez, *Effect of tree shades in urban planning in hot-arid climatic regions*. *Landscape and Urban Planning*. 94(3-4): p. 149-157.
8. España. Ministerio de la Vivienda, *Código técnico de la edificación. HE : ahorro de energía : texto oficial*. 2006, Madrid: Liteam. 132 p.
9. Incropera, F.P. and D.P. Dewitt, *Fundamentos de la transferencia de calor [Texto impreso]*. 4* ed. 1999, Estado de México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. XXIII, 886 p.
10. García Lasanta, M.D., *Arquitectura bioclimática: Viviendas bioclimáticas en Galicia*. Bioconstrucción someso.
11. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *ASHRAE greenguide [Recurso electrónico] :] the design, construction, and operation of sustainable buildings*. 2nd ed ed. The ASHRAE professional series. 2006, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers. xxii, 394 p.
12. Neila González, F.J., et al., *La cubierta ecológica de los conceptos a la construcción*. 2004, Madrid: Instituto Juan de Herrera. 41 p.

[Cálculo de la carga térmica]

5.	CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA	79
5.1.	Datos meteorológicos considerados para el cálculo.	79
5.2.	Emplazamiento y climatología	80
5.3.	Condiciones interiores de la vivienda	81
5.4.	Condiciones exteriores del proyecto	85
5.5.	Esquema general de cálculo de cargas térmicas	85
5.5.(1).	Cálculo de la radiación solar incidente	87
5.5.(2).	Temperatura sol-aire	92
5.5.(3).	Flujo de energía a través de una superficie acristalada	92
5.5.(4).	Flujo de calor a través de cerramientos opacos	98
5.5.(7).	Ganancia de calor debida iluminación y equipos/miscelánea	107
5.5.(8).	Ganancia de calor debida a los ocupantes	108
5.5.(10).	Dividir los flujos de calor en su parte convectiva	111
5.5.(11).	Flujo de calor por infiltraciones y ventilación	112
5.5.(13).	Procesado de los flujos de calor como series de tiempo radiantes y obtención de la parte de carga térmica por radiación	114
5.5.(14).	Cargas térmicas horarias	116
5.6.	Cumplimentación de las fichas justificativas del CTE	116
5.7.	Discusión de los resultados obtenidos	124
5.8.	Bibliografía del capítulo	142

[PFC DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR (ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS)]

[Escriba aquí una descripción breve del documento. Una descripción breve es un resumen corto del contenido del documento. Escriba aquí una descripción breve del documento. Una descripción breve es un resumen corto del contenido del documento.]

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Diagrama psicrométrico para Madrid. El polígono amarillo muestra las condiciones de confort para otoño y en rojo para verano. Las condiciones interiores de diseño para refrigeración se muestran en verde. ____	83
Fig. 2	Diagrama psicrométrico para Madrid. El polígono amarillo muestra las condiciones de confort para otoño y en rojo para verano. Las condiciones interiores de diseño para refrigeración se muestran en verde. ____	84
Fig. 3	Diagrama psicrométrico con las zonas de confort para verano (rojo) e invierno (azul) representadas. _	85
Fig. 4	Esquema del método de cálculo de las series de tiempo radiante _____	86
Fig. 5	Carta cilíndrica de Madrid para el primer semestre del año _____	90
Fig. 6	Carta cilíndrica de Madrid para el segundo semestre del año _____	90
Fig. 7	Evolución horaria (local) de la radiación incidente sobre la pared en cada orientación, para el 21 de Julio. 91	
Fig. 8	Evolución horaria (solar) para la radiación incidente sobre las paredes (-Cargas térmicas: apuntes de la asignatura Calor y frío industrial-[4]), para el 21 de julio (latitud 40.45º) _____	91
Fig. 9	Balance de calor instantáneo para vidrio debido a la insolación. _____	93
Fig. 10	Valor del coeficiente de transferencia de calor para distintos tipos de acristalamientos (Fte. [2]) ____	95
Fig. 11	Valores de los coeficientes de ganancia de calor, para radiación difusa e incidente como función del ángulo de incidencia (Fte. [2]) _____	96
Fig. 12	Sección del tipo de acristalamiento doble de baja emisividad _____	97
Fig. 13	Coeficientes de atenuación interna (IAC) (Fte.[2]) _____	98
Fig. 14	Sección muro semienterrado _____	101
Fig. 15	Coeficientes de las series de tiempo de conducción para la cubierta _____	104
Fig. 16	Flujos de calor a través del suelo _____	104
Fig. 17	Sistema de aislamiento vertical con perfil en "I" [Ref ASHRAE] _____	106
Fig. 18	Solera a nivel del terreno con aislamiento perimetral [Ref Ashrae] _____	106
Fig. 19	Coeficientes F2 para solera a nivel del terreno _____	106
Fig. 20	Interfaz del software PRF/RTF Generator con los tipos de superficie señaladas _____	114
Fig. 21	Coeficientes RTF para la vivienda, obtenidos de [ref PRF/RTF Generator] que son función del tipo de construcción _____	115
Fig. 22	Orientaciones de las fachadas _____	117
Fig. 23	Transmitancia térmica máxima [Fte HE1 CTE] _____	118
Fig. 24	Valores límite de los parámetros característicos medios _____	118
Fig. 25	Diagrama de decisión, cumplimentación de la opción simplificada _____	119
Fig. 26	Valores pico de la carga total y valores medios. Para los datos meteorológicos de medias mensuales	124
Fig. 27	Valores pico de la carga total. Para los datos meteorológicos de los días representativos _____	125
Fig. 28	Evolución de las cargas térmicas horarias para el período de refrigeración _____	125
Fig. 29	Evolución de las cargas térmicas horarias para el período de calefacción _____	126
Fig. 30	Evaluación de las cargas térmicas horarias para los días representativos _____	127
Fig. 31	Carga total hora a hora. Comparación del 21 de diciembre con la media del mes _____	128
Fig. 32	Carga total frente a carga a través de los acristalamientos para el 21 de Diciembre _____	128
Fig. 33	Carga total frente a carga a través de los acristalamientos para la media de Diciembre _____	129
Fig. 34	Carga total hora a hora. Comparación del 21 de Julio con la media del mes _____	129
Fig. 35	Carga total hora a hora. Comparación del 21 de Marzo con la media del mes _____	130
Fig. 36	Carga total hora a hora. Comparación del 21 de Septiembre con la media del mes _____	130
Fig. 37	Valores típicos de carga térmica de refrigeración para distintos tipos de construcciones y usos ____	132
Fig. 38	Comparativa de potencias instaladas [Ref. Instalaciones fluidotérmicas] _____	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1	Valores límite de las condiciones interiores	82
Tabla. 2	Valores típicos de la condiciones interiores	82
Tabla. 3	Valores utilizados para las condiciones interiores del proyecto	82
Tabla. 4	Muro tipo 1 (espesor y propiedades)	100
Tabla. 5	Muro tipo 2 (espesor y propiedades)	100
Tabla. 6	Cubierta vegetal (espesor y propiedades)	103
Tabla. 7	Solera (espesor y propiedades)	107
Tabla. 8	Calor emitido por ocupante considerado	109
Tabla. 9	Resumen de las ecuaciones usadas del punto 1-9 del esquema para el cálculo de los flujos de calor	110
Tabla. 10	Porcentajes convectivos y radiativos del flujo de calor sensible	111
Tabla. 12	Porcentaje de flujo convectivo	111
Tabla. 13	Caudales de ventilación mínimos exigidos (Fte.[8])	113
Tabla. 14	Caudales de ventilación de la vivienda por locales	113
Tabla. 15	Porcentaje de flujo radiativo	115
Tabla. 16	Comparación área de huecos y área de fachada	116
Tabla. 17	Valores máximos de transmitancias térmicas	120
Tabla. 18	Cálculo de los parámetros característicos medios	122
Tabla. 19	Comparación de los valores medios de diseño con los valores límite	123
Tabla. 20	Resultados de carga térmica. Medias mensuales y días significativos	124
Tabla. 21	Comparación potencia de instalación	133
Tabla. 11	Porcentajes convectivos y radiativos del flujo de calor sensible utilizados	111

5. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA

Concepto de carga térmica. Se define la carga térmica como cualquier flujo de energía que debe reponerse para mantener el nivel de bienestar prefijado. Estas cargas pueden ser positivas; implican un flujo de calor hacia el interior del local y se denominan **cargas de refrigeración**. También pueden ser negativas; flujo de calor desde el interior del local hacia el exterior y se denominan **cargas de calefacción**. [ref. técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental]

El cálculo de la carga térmica no se hará siguiendo ningún tipo de método simplificado como pueda ser el *método CARRIER*. El motivo es, que al no tratarse de una vivienda convencional, algunas de las aproximaciones asumidas por estos métodos dejan de ser de aplicación si se pretende hacer una simulación rigurosa con las condiciones reales.

Como referencia para el cálculo de los fenómenos que rigen la transferencia de calor, en un principio seguí lo expuesto por Pinazo en [1].

Finalmente me decidí por complementar el método de [1] con el de las series radiantes de tiempo (**RTS**) desarrollado por ASHRAE y expuesto en [2]. Aunque no es un método exacto como el método de balance de calor de la misma bibliografía, el método RTS ofrece unos resultados bastante ajustados. Debido a las soluciones constructivas incluidas en el diseño (algunas poco convencionales), ha sido necesario recurrir a formulaciones no estandarizadas, que generan cierta incertidumbre.

Calculada la carga térmica se comprueba si se cumple la *directiva básica HE1 del CTE (código técnico de la edificación)* [3]. El cumplimiento de dicha directiva es una buena referencia en lo que a ahorro energético se refiere.

De modo que lo que pretendo es calcular la demanda horaria de energía y la estimación de la carga térmica instantánea.

En este capítulo expongo los resultados y la formulación más significativa (en el *ANEXO.1* se presentan las hojas de cálculo completas utilizadas). Para la comprensión de este capítulo puede ser necesaria la revisión del **Capítulo 4**, en el que se exponen las soluciones constructivas conducentes a la minimización de la demanda energética.

Para la obtención de la pretendida demanda horaria, se han analizado cuatro días representativos del año (solsticios y equinoccios), así como los valores horarios medios para cada uno de los meses del año. **Se obtendrán valores pico y valores medios que sirven como elementos de decisión para el dimensionado de equipos.**

5.1. Datos meteorológicos considerados para el cálculo.

Puesto que se calcularán dos situaciones distintas. Se utilizan dos paquetes de datos meteorológicos de distinta procedencia y tipología para el cálculo. Por un lado datos diarios, obtenidos de [ref. prácticas de energías renovables], por otro lado medias mensuales [ref U.S. Department of Energy].

- Datos mensuales

Fuente: U.S. Department of Energy (datos para el programa de simulación building technologies program)

Variables meteorológicas: Temperatura seca media, máxima y mínima; Radiación global en W/m^2 ; Humedad relativa, velocidad y dirección del viento (media, máxima y mínima).

Tratamiento de datos: Los datos se presentan en mediciones con intervalos hora a hora, las series se han generado a través del análisis de datos registrados durante 30 años¹. Se obtienen valores medios,

¹ Tomando como condiciones de diseño las que se exponen en "Climate Design Data 2009 ASHRAE Handbook"

que son representativos del clima de la localización y que son apropiados para el cálculo de cargas térmicas de refrigeración o calefacción.

- Datos diarios

Fuente: Prácticas de la asignatura de energías renovables

Variables meteorológicas: Temperatura seca (media, máxima y mínima); Radiación global en W/m²; Humedad relativa, velocidad y dirección del viento (media, máxima y mínima).

Tratamiento de datos: Los datos diarios presentan mediciones cada diez minutos. Puesto que pretendo establecer una comparación entre los resultados que derivan del uso de datos diarios y mensuales, es necesario adaptar los datos diarios para que presenten el mismo formato que los mensuales. Esto es, calcular los valores medios de cada intervalo horario. De modo que se tengan veinticuatro intervalos por día.

5.2. Emplazamiento y climatología

La parcela de la vivienda se encuentra en **Madrid capital**

- Latitud: 40° 45' Norte
- Longitud: 3° 40' Oeste
- Altura: 600 m sobre el nivel del mar

[Ref. U.S. Department of Energy] clasifica el clima para esta localización atendiendo al sistema Köppen como de *tipo BSK*². Según el análisis de [ref Department of energy], aunque hay períodos de muy secos con altas temperaturas la *refrigeración pasiva es posible*.

Según los estándares 90.1-2004 y 90.2-2004 de ASHRAE la climatología es de tipo 3C (templado marino), de posible clasificación *Cs*³ de la clasificación Köppen.

Períodos típicos/extremos:

- Verano. De Junio a Agosto
El período de máxima temperatura estival se da del 13 al 19 de Julio, con una temperatura máxima⁴ de 40.4°C y oscilación media diaria (OMD) de | 11.418 | °C.
Período de condiciones típicas estivales, del 22 de Junio al 28 de Junio, con una temperatura media de 23.64°C y OMD de |0.359|°C.
- Invierno. De Diciembre a febrero
El período de mínima temperatura invernal se da del 20 al 26 de Enero, con un valor de temperatura mínima de -4.6°C y OMD de |8.113|°C.
Período de condiciones típicas invernales, del 1 al 7 de Diciembre, con una temperatura media de 6.08°C y OMD de |0.153|°C.
- Otoño. De Septiembre a Noviembre

²

BSK: Clima seco semiárido de latitudes medias

Tipo B: Clima seco. La característica principal del clima es que el potencial de evaporación y transpiración excede al de precipitación. Estos climas se dan en las longitudes entre 20-35° norte y sur del ecuador, así como en amplias regiones continentales en latitudes medias rodeadas por sistemas montañosos.

BS: Seco semiárido. Clima típico de praderas que cubre el 14% de la superficie terrestre. Recibe mayor nivel de precipitación que el tipo BW (seco árido). La letra k se usa para distinguir que la localización es de latitud media y no subtropical que se corresponde con la letra h.

La clasificación viene derivada del análisis de los datos climáticos, sin embargo se advierte que esta clasificación puede ser no significativa a largo plazo.

³

Este clima tiene veranos templados e inviernos suaves. Se extiende en las latitudes que van desde los 30° a los 50° de latitud norte, principalmente en las fronteras este y oeste de la mayoría de los continentes. Durante el invierno, el clima está dominado por el ciclón de latitudes medias (formado por la presencia de grandes áreas de bajas presiones en la corriente polar). Cs: clima Mediterráneo que recibe precipitaciones fundamentalmente durante el invierno. Los veranos áridos se deben al enclaustramiento de aire producido por la presencia de zonas de altas presiones subtropicales que se suelen alargar durante cinco meses.

⁴

Aunque se hable de temperatura máxima, puesto que se estudia un paquete de datos de 30 años, se refiere a la temperatura máxima media horaria del período considerado.

Período típico otoñal desde el 3 al 9 de Noviembre, con temperatura media de 14.56°C y OMD de |0.629|°C.

- Primavera. De Marzo a Mayo.

Período típico primaveral comprende desde el 5 al 11 de Abril, con temperatura media de 12.9°C y OMD de |0.5|°C.

Atendiendo a los períodos típicos y extremos se pueden fijar los meses de calefacción/ refrigeración:

Período de calefacción: Desde el 1 de Noviembre hasta el 30 de abril
Invierno-Primavera

Período de refrigeración: Desde el 1 de Mayo hasta el 30 de Octubre
Verano-Otoño

Psychrometric Chart

Location: Madrid, ESP
Frequency: 1st January to 31st December
Weekday Times: 00:00-24:00 Hrs
Weekend Times: 00:00-24:00 Hrs
Barometric Pressure: 101.36 kPa
© Weather Tool

HILITE: Climate Classification

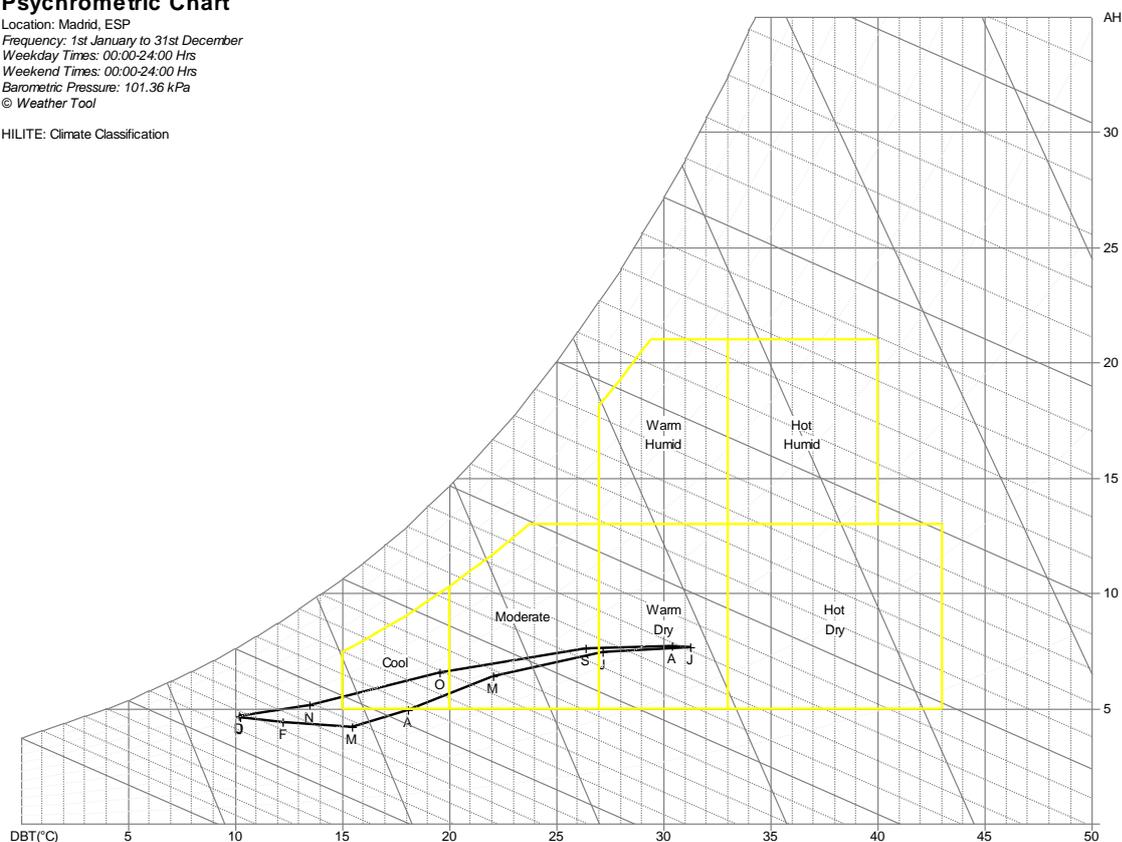


Fig. 1 Determinación del clima en base a los datos medios mensuales

5.3. Condiciones interiores de la vivienda

Intercambio térmico entre el cuerpo humano y el ambiente:

- Diferirá si se produce en un recinto abierto o cerrado, el proceso de intercambio es gobernado por la radiación.

- Los intercambios en recinto cerrado están influenciados por los siguientes parámetros:

- Temperatura seca
- Presión parcial de vapor

- Temperatura de las paredes circundantes
 - Velocidad del aire
 - Actividad física. Ligada al uso del local (por ejemplo las necesidades de ventilación para un gimnasio en comparación con una oficina son mucho mayores, debido a la mayor transpiración de la piel en ese caso)
 - Tipo de vestimenta. Supone que se den distintas condiciones de confort en verano e invierno.
 - Complejión (área expuesta o factor de forma y peso)
- El calor sensible intercambiado por la respiración y el cedido por conducción al suelo se considera despreciable frente al resto de los términos (se encuentra en valores en torno al 2.7% y 8% del total respectivamente).

Las condiciones interiores de diseño deben estar entre los siguientes límites (RITE):

Estrategia	Temperatura [°C]	Velocidad media del aire (m/s)	Humedad relativa [%]
Verano	23 a 25	0.18 a 0.24	40 a 60
Invierno	20 a 23	0.15 a 0.20	40 a 60

Tabla. 1 Valores límite de las condiciones interiores

Los valores que se suelen adoptar en la práctica son:

	Verano		Invierno	
	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]
Confort general	24	55	21	40
Tiendas comerciales	24	55	20	40
Aplicaciones con alta carga latente	25	60	20	40

Tabla. 2 Valores típicos de las condiciones interiores

Para el proyecto los **valores de diseño que se han utilizado**, son:

Estrategia	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]
Calefacción	21	50
Refrigeración	25	40

Tabla. 3 Valores utilizados para las condiciones interiores del proyecto

Los valores de diseño utilizados están dentro de los límites marcados en el RITE. Comparando estos valores con los valores que se suelen adoptar en la práctica, cabe destacar la diferencia de valores para la estrategia de refrigeración (del 55% de humedad relativa al 40%). De las dos opciones he elegido la menos exigente energéticamente.

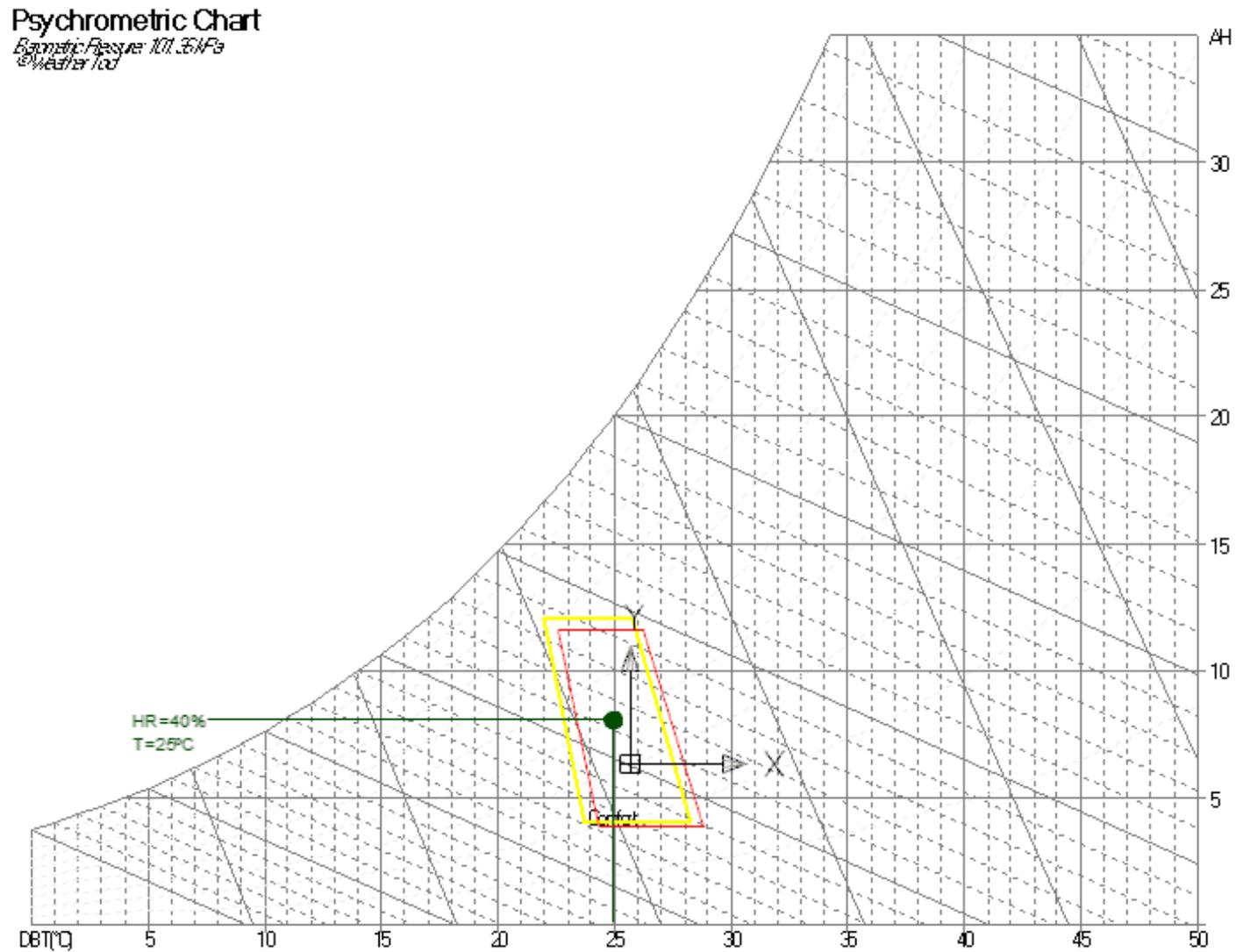


Fig. 1 Diagrama psicrométrico para Madrid. El polígono amarillo muestra las condiciones de confort para otoño y en rojo para verano. Las condiciones interiores de diseño para refrigeración se muestran en verde.

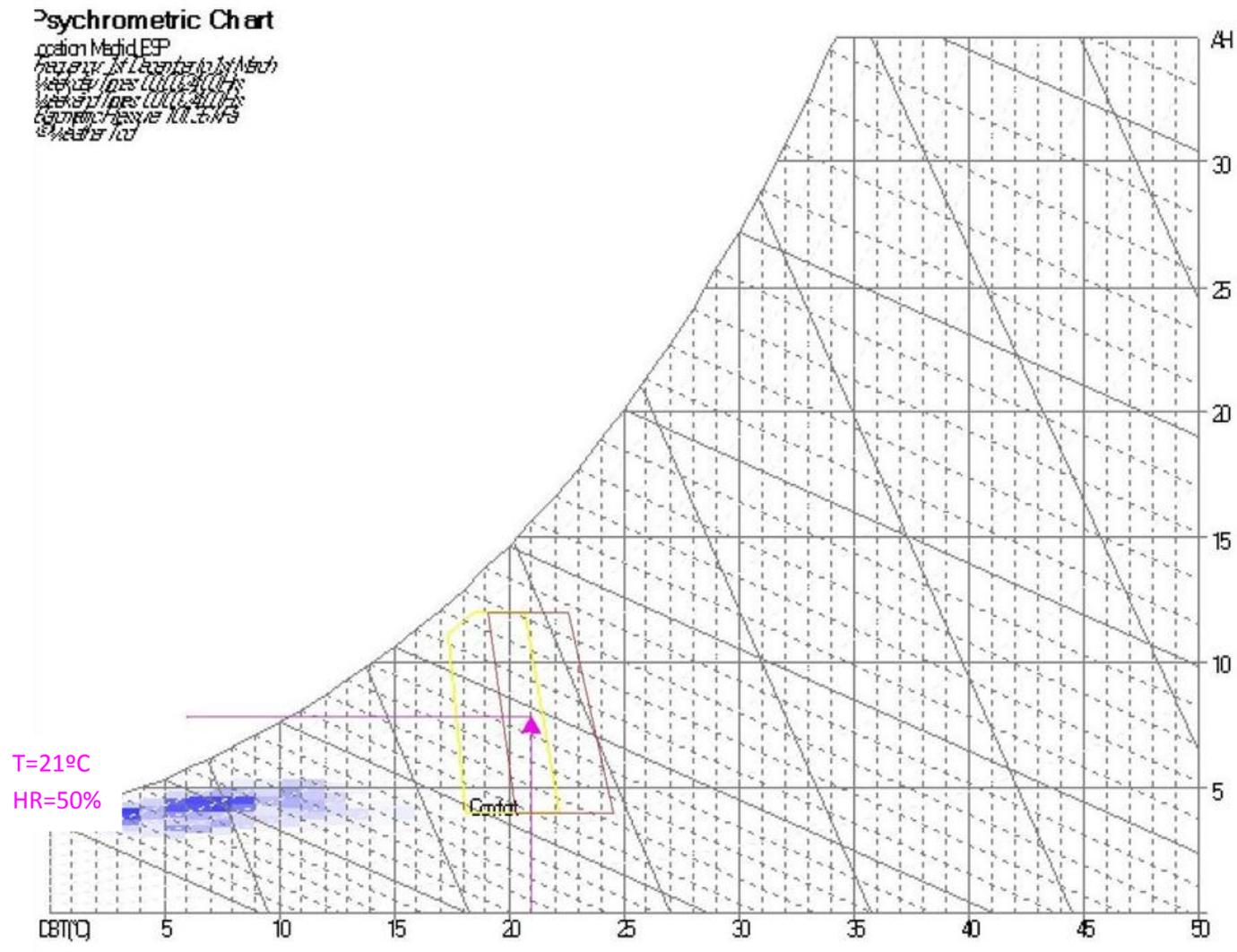


Fig. 2 Diagrama psicrométrico para Madrid. El polígono amarillo muestra las condiciones de confort para otoño y en rojo para verano. Las condiciones interiores de diseño para refrigeración se muestran en verde.

5.4. Condiciones exteriores del proyecto

Como se ha comentado, dispongo de datos de las variables meteorológicas más significativas en intervalos hora a hora.

Los cálculos de carga térmica no se harán para los valores máximos de temperatura seca, sino que haré un cálculo hora a hora para cada mes, por tanto el uso de NORMAS UNE (100-014-84)⁵ y niveles de percentil no tiene sentido. Tampoco utilizaré tablas de radiación solar máxima, sino que calcularé los datos de radiación en base a los datos de partida de radiación global sobre la horizontal.

5.5. Esquema general de cálculo de cargas térmicas

El cálculo de cargas térmicas a través del método RTS se basa en asumir condiciones periódicas estacionarias. Esto es: Las condiciones climáticas, de ocupación y condiciones de ganancia de calor son idénticas a aquellas en los días anteriores, por tanto **las cargas se repiten en ciclos idénticos de 24 horas**.

El cálculo de cargas debe tener en cuenta dos desfases temporales inherentes a los procesos de transferencia de calor en edificios:

1. Retraso de ganancia de calor por conducción a través de superficies opacas con masa (paredes, techos y suelos).
2. Retraso de la conversión de la ganancia de calor en forma de energía radiante en cargas de refrigeración.

La transferencia de calor que se da en un edificio se debe a la combinación de la convección y la radiación.

En el caso de la parte **convectiva**, la ganancia de calor⁶ se convierte directamente en carga térmica.

La parte **radiativa** ha de ser absorbida primeramente por el mobiliario y la masa de las superficies interiores del local, transformándose en carga térmica cuando más tarde se transfiere por convección al ambiente de éste. Las ganancias de calor radiante se transforman en cargas de refrigeración tras un período de retardo (o desfase).

Los efectos del retraso radiativo se obtienen al multiplicar las ganancias de calor horarias, para un perfil de 24 horas, por las series de tiempo radiantes. Es decir, se distribuyen las ganancias de calor a lo largo del tiempo.

Los coeficientes de las series que se denominan factores de tiempo de conducción y aparecen tabulados en ASHRAE [2] para distintos tipos de construcciones. Para un cálculo más ajustado he recurrido al programa **PRF/RTF Generator** desarrollado por *Iu Ipseng* y *Daniel Fisher* para el departamento de ingeniería mecánica y aeroespacial de la Universidad de Oklahoma. Este programa calcula los factores periódicos de respuesta (PRF), los factores de tiempo de conducción (**CTS**) y de radiación (**RTS**) usando el algoritmo de *ASHRAE toolkit*.

Los factores de tiempo de radiantes (RTF), reflejan el porcentaje del calor radiante de un instante anterior que se transforma en carga de refrigeración en el instante actual.

⁵ El procedimiento a seguir con estos datos tabulados es el de dimensionado de equipos en base a la carga máxima. Se considera el momento de máxima carga sobre las 15 horas solares del mes de julio para refrigeración y las 7 horas para el mes de enero en calefacción.

Los factores de tiempo de conducción (CTF), reflejan el porcentaje de ganancia de calor desde el exterior a través de las superficies opacas que se convierte en ganancia de calor en el interior en el instante actual.

La principal utilidad de este método es la de comparar el impacto de una construcción frente a otra.

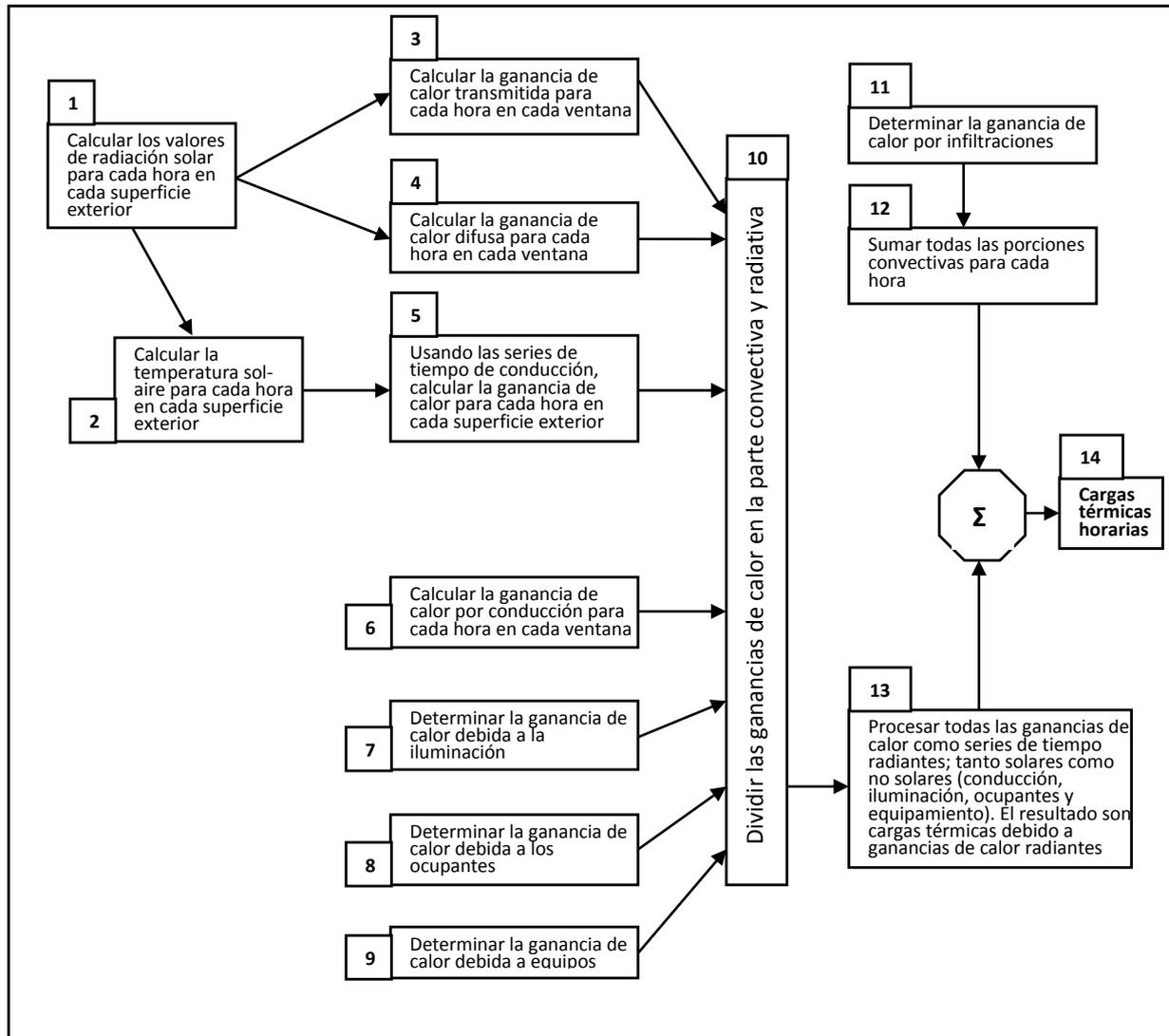


Fig. 4 Esquema del método de cálculo de las series de tiempo radiante

Las cargas originadas en el interior del edificio (o cargas internas) provienen de cualquier fuente de energía interior. La totalidad de estas fuentes de energía actúan durante todo el año, pero solamente se consideran como cargas térmicas positivas (cargas de refrigeración) en verano, cuando incrementan la temperatura fijada como de confort y deben ser contrarrestadas mediante la refrigeración. Durante el invierno, al ser cargas positivas (generadoras de calor), pueden ayudar a reducir el consumo de energía necesario para el acondicionamiento.

Una vez calculados cada uno de los aportes a la carga térmica (que pueden dividirse en pérdidas y ganancias), se puede obtener la carga total. La carga que hay que considerar para el dimensionado de los equipos es la máxima instantánea (que es aquel momento del día en el que se maximiza la suma de los términos de la potencia del local).

$$P_{\text{LOCAL}} = \text{MAX} (\sum P_{\text{TRANSMISION}} + \sum P_{\text{RADIACION}} + \sum P_{\text{INTERNAS}} + \sum P_{\text{INFILTRACION}}) \text{ Watt}$$

$$P_{\text{LOCAL}} = \text{Potencia sensible} + \text{Potencia latente} = \text{PSL} + \text{PL}$$

Según el esquema de la figura, Fig. 2, la resolución del método RTS se realiza siguiendo los **pasos**:

5.5.(1). Cálculo de la radiación solar incidente

Los datos de los que se parten para el cálculo de la radiación solar son datos de radiación global sobre el plano horizontal. Hablar de radiación global supone no hacer distinciones entre sus componentes directa y difusa.

Para determinar la radiación incidente sobre una superficie es necesario transformar la radiación incidente sobre el plano horizontal al plano inclinado, mediante el uso de *relaciones geométricas* y *factores de forma*. Además es necesario determinar cuanta radiación es *difusa* y cuanta *reflejada* (obteniéndose por tanto la directa), para ello se usan *correlaciones* y *modelos de cielo*.

Relaciones geométricas:

$$R_b(\delta, \phi, \beta, \omega) = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad R_b \text{ establece la relación entre la radiación directa sobre el plano horizontal y el plano inclinado}$$

Factores de forma:

$$F_{c-s} := \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad \text{Factor de forma entre el colector y el cielo}$$

$$F_{c-g} := \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \quad \text{Factor de forma entre el colector y la superficie horizontal (suelo)}$$

Modelos de cielo:

Separan la radiación difusa en fracciones manejables partiendo de ciertas hipótesis simplificadoras. Para el proyecto se han usado el modelo isotrópico y el modelo anisotrópico. Los resultados son muy similares en ambos casos, por tanto he usado como base para los sucesivos cálculos aquel que presenta menos singularidades en los momentos de salida y puesta del sol.

Modelo isotrópico: Asume que toda la radiación difusa es isotrópica:

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_{d,iso} \cdot F_{c-s} + I \cdot \rho_g \cdot F_{c-g}$$

Modelo anisotrópico: Modelo HDKR, distribuye la radiación difusa en sus contribuciones isotrópica, circumsolar y horizontal

$$A_i = \frac{I_b}{I_0} \quad f = \sqrt{\frac{I_b}{I}} \quad I = I_b + I_d$$

$$I_T = (I_b + I_d \cdot A_i) \cdot R_b + I_d \cdot (1 - A_i) \cdot F_{c-s} \cdot \left(1 + f \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)^3\right) + I \cdot \rho_g \cdot F_{c-g}$$

$$I_b: \text{Radiación directa} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$I_d: \text{Radiación difusa} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$I: \text{Radiación global sobre el plano horizontal} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

I_T : Radiación incidente sobre el plano inclinado $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

Para separar las lecturas de radiación global en sus componentes directa y difusa es necesario el uso de correlaciones. A través de estas correlaciones se calcula el índice de transparencia atmosférica, K_T . Tras determinar este valor el cálculo siguiente es el de la radiación difusa, multiplicando la radiación global I por K_T .

Existen diferentes correlaciones para K_T , la utilizada ha sido la correlación de Orgill y Hollands.

$$K_T := \begin{cases} (1.0 - 0.249kt) & \text{if } 0 \leq kt \leq 0.35 \\ (1.557 - 1.84kt) & \text{if } 0.35 \leq kt \leq 0.75 \\ (0.6584kt - 0.3168) & \text{if } 0.75 \leq kt \leq 2 \end{cases} \quad I_d := I \cdot K_T$$

Toda esta formulación se ha incluido en una hoja de cálculo, hoja que se muestra en el **Anexo 1.4.1**, la dirección de la radiación depende de una serie de ángulos que habrán de obtenerse previamente.

Dirección de la radiación:

Declinación anual $\delta(n) := 23.45 \sin \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \cdot \text{deg} \right] \cdot \text{deg}$

Hora solar (ω): En grados, 0° al mediodía, -15° desde el amanecer hasta entonces

$$\omega_{\text{local}} := \text{if} \left[\text{hora}_{\text{local}} \cdot \text{hr} < 12\text{hr}, \left(12\text{hr} - \text{hora}_{\text{local}} \cdot \text{hr} \right) \cdot 15 \frac{\text{deg}}{\text{hr}}, \left(-12\text{hr} + \text{hora}_{\text{local}} \cdot \text{hr} \right) \cdot 15 \frac{\text{deg}}{\text{hr}} \right]$$

Latitud geográfica: $\phi := 40.45 \text{deg}$

Inclinación de la superficie: Se quiere calcular la radiación incidente sobre las paredes, por tanto la inclinación de la superficie será de $\beta := 90 \text{deg}$

Orientación de la superficie: Para los cuatro puntos cardinales se mide en intervalos de 90° , tomando el sur como valor de referencia ($\psi_{\text{sur}} = 0^\circ$). Del sur al este valor negativo

(-90°) y del sur al oeste valor positivo (90°). $\psi_{\text{sur}} = 0^\circ$, $\psi_{\text{este}} = -90^\circ$, $\psi_{\text{norte}} = -180^\circ$, $\psi_{\text{oeste}} = 90^\circ$

Ángulo zenital: $\theta_z(\delta, \omega, \phi)$

$$\theta_z := \text{acos} \left((\cos(\delta(n)) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\omega) + \sin(\delta(n)) \cdot \sin(\phi)) \right)$$

Altura solar: $\alpha_s(\delta, \omega, \phi) = \pi/2 - \theta_z$

Ángulo acimutal (solar): $\gamma_s(\delta, \omega, \phi)$

$$\gamma_s := \text{atan} \left(\frac{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta(n)) \cdot \sin(\omega)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta(n)) \cdot \cos(\omega) - \sin(\delta(n)) + \sin(\delta(n)) \cdot \sin(\phi)} \right)$$

Ángulo de incidencia (respecto de la superficie orientada e inclinada): $\theta(\delta, \omega, \phi, \beta, \gamma)$

$$\theta := \text{acos} \left[\begin{array}{l} \sin(\delta(n)) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\beta) - \left(\sin(\delta(n)) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\psi_i) \right) \dots \\ + \cos(\delta(n)) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\omega_j) + \cos(\delta(n)) \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\psi_j) \cdot \cos(\omega_j) \dots \\ + \cos(\delta(n)) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\psi_i) \cdot \sin(\omega_j) \end{array} \right]$$

Ángulos horarios de salida y puesta del sol: $\omega_s(\delta, \phi)$

$$\omega_s := \text{acos}(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta(n)))$$

Duración del día: $DD(\delta, \phi)$

$$DD := \frac{2 \cdot \omega_s}{15 \frac{\text{deg}}{\text{hr}}}$$

Hora de salida:

$$\text{Hora_salida} := 12\text{hr} - \frac{DD}{2}$$

Hora de puesta:

$$\text{Hora_puesta} := 12\text{hr} + \frac{DD}{2}$$

Transformación de la hora solar en hora oficial: Las horas anteriores hacen referencia a la hora solar. Es conveniente referir estas horas a un meridiano de referencia, el meridiano de referencia que se toma es el meridiano Internacional de Greenwich, teniendo así la hora UTC (Universal Coordinated Time), también denominada GMT (Greenwich Mean Time).

$$\text{Hora_salida_local} := \text{Hora_salida} + \Delta\text{hora}$$

$$\text{Hora_puesta_local} := \text{Hora_puesta} + \Delta\text{hora}$$

$$\Delta\text{hora} := \left[4 \cdot \frac{\text{min}}{\text{deg}} \cdot (0 \cdot \text{deg} - 3.5 \cdot \text{deg}) + E(n) \right] + 60\text{min} + \text{if}(90 \leq n \leq 300, 60\text{min}, 0\text{min})$$

El último término que falta por determinar es la ecuación del tiempo $E(n)$; es un término astronómico que hace referencia a los cambios que se produce a lo largo del año en la duración del giro de la Tierra. El valor depende del día del año y se debe restar al valor de orto y ocaso obtenido.

$$E(n) := 229.2 \left[0.000075 + 0.001868 \cos \left[\left(\frac{360}{365} \right) \cdot (n - 1) \cdot \text{deg} \right] - 0.032077 \sin \left[\left(\frac{360}{365} \right) \cdot (n - 1) \cdot \text{deg} \right] \dots \right] \cdot (\text{min})$$

$$+ 0.014615 \cos \left[2 \cdot \left(\frac{360}{365} \right) \cdot (n - 1) \cdot \text{deg} \right] - 0.04089 \sin \left[2 \cdot \left(\frac{360}{365} \right) \cdot (n - 1) \cdot \text{deg} \right]$$

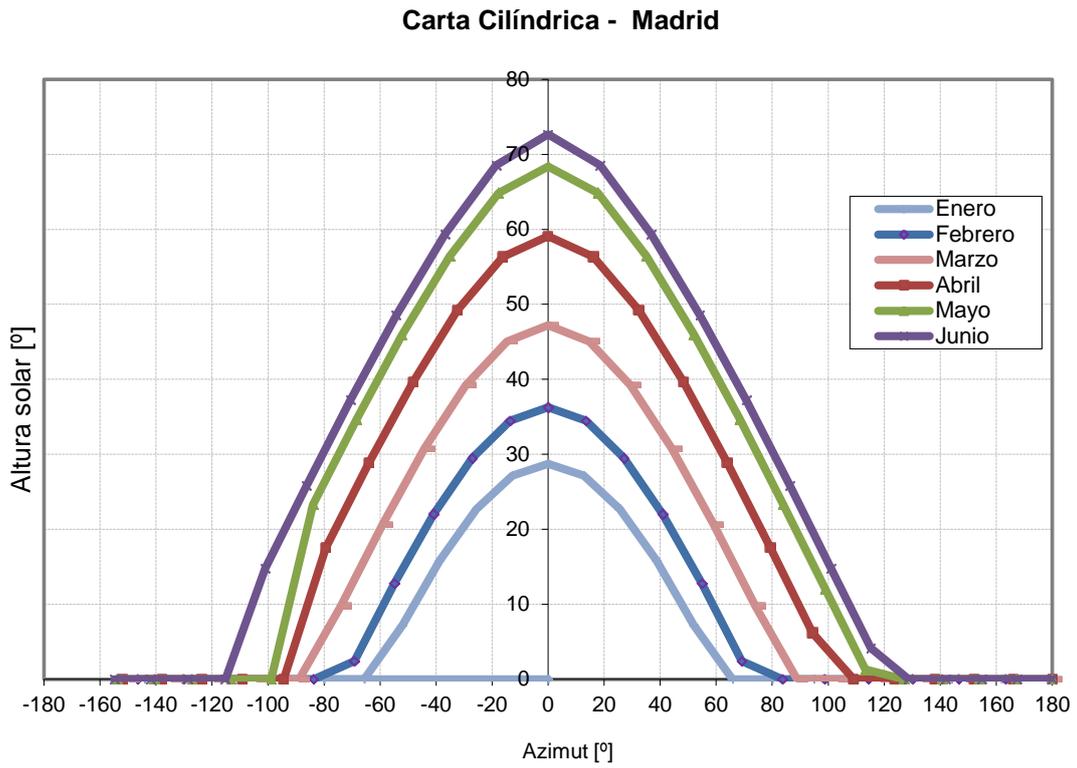


Fig. 5 Carta cilíndrica de Madrid para el primer semestre del año

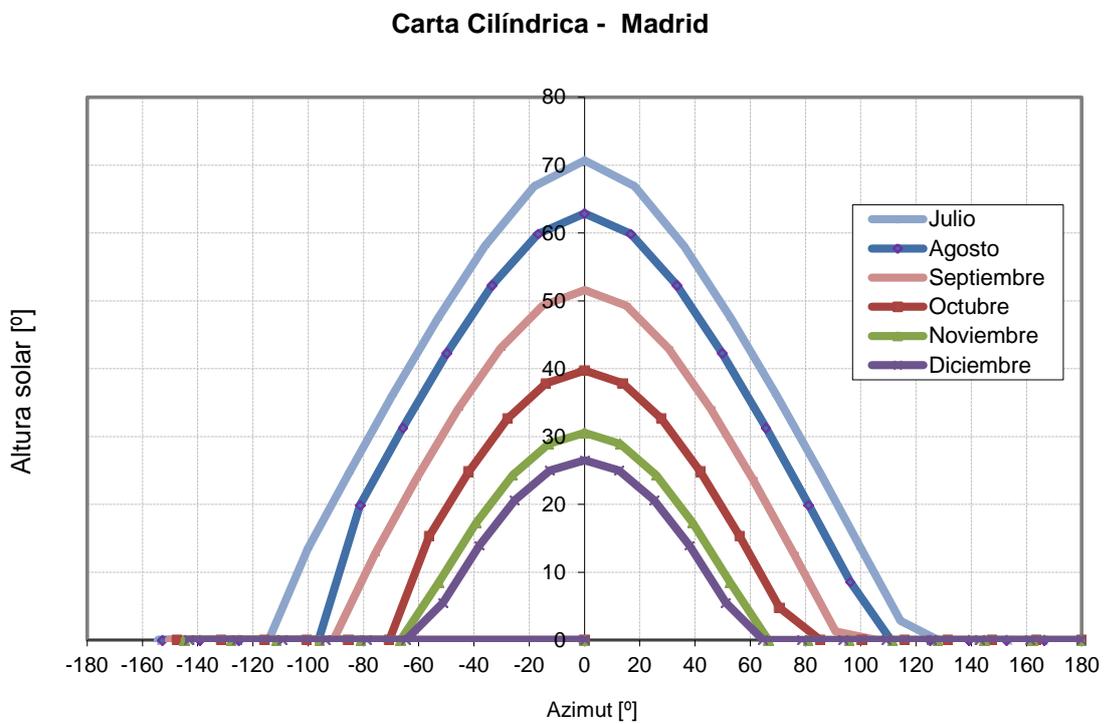


Fig. 6 Carta cilíndrica de Madrid para el segundo semestre del año

De la dirección de la radiación, modelos de cielo, factores de forma y relaciones geométricas se está en disposición de calcular la radiación solar incidente por fachadas

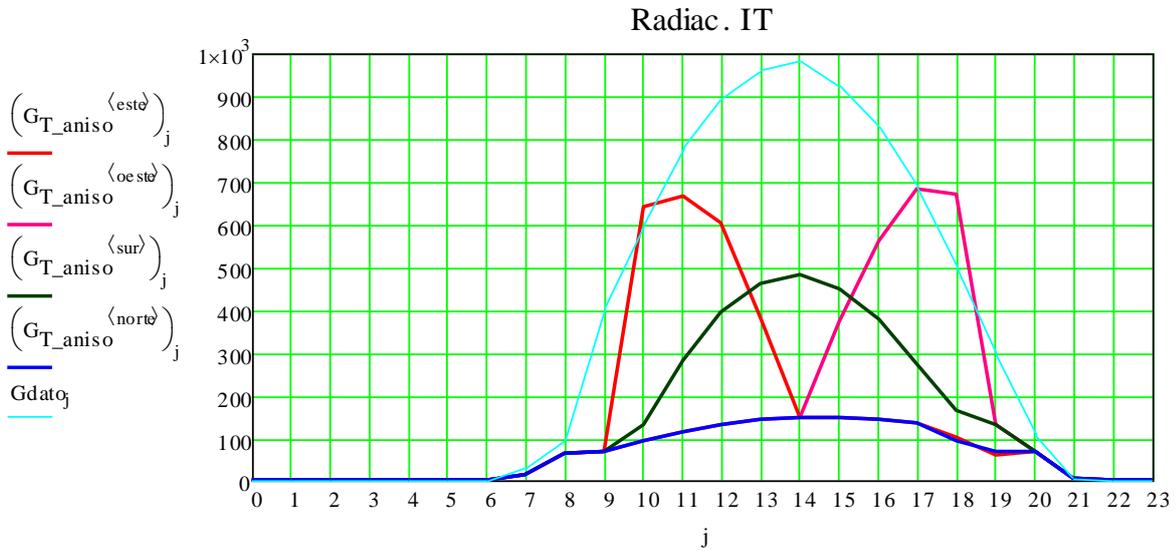


Fig. 7 Evolución horaria (local) de la radiación incidente sobre la pared en cada orientación, para el 21 de Julio.

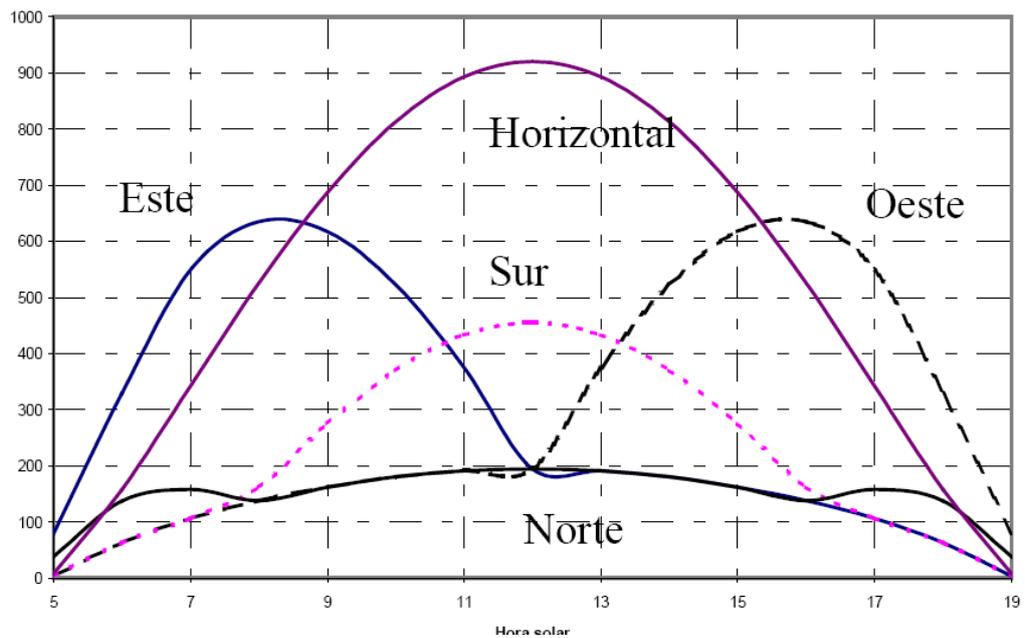


Fig. 8 Evolución horaria (solar) para la radiación incidente sobre las paredes (-Cargas térmicas: apuntes de la asignatura Calor y frío industrial-[4]), para el 21 de julio (latitud 40.45°)

Comparando los resultados de la Fig. 8 (obtenida de bibliografía) y la Fig. 7 (valores obtenidos, con la hoja de cálculo de radiación solar programada, ANEXO 1.4.1). Se comprueba como el resultado está bastante ajustado. Además, teniendo en cuenta que se ha calculado para un día en concreto (y no para una serie de datos), hay que tener en cuenta la posible presencia de nubosidad u otros factores que afecten al modelo de cielo y por tanto al resultado de la radiación solar.

5.5.(2). Temperatura sol-aire

En el capítulo de soluciones se definió esta temperatura sol aire como una temperatura ficticia exterior, que tiene en cuenta el aporte de calor por convección y por radiación solar sobre la superficie exterior.

$$T_{sa} = T_0 + \frac{\alpha \cdot I_T}{h_0} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_0}$$

Dónde:

T_0 : Temperatura de bulbo seco [K]

α : Absortancia de la superficie a la radiación solar [-]

I_T : Radiación solar incidente [W/m²]

$\frac{\varepsilon \Delta R}{h_0}$: Factor de radiación de onda larga (según ASHRAE toma el valor de -3.9°C para superficies horizontales y de 0°C para las verticales).

Los valores de **la temperatura seca exterior** son dato, el coeficiente de absorción α es conocido para los cerramientos verticales (el cerramiento horizontal por la peculiaridad que supone el uso de la cubierta vegetal se tratará posteriormente con mayor detenimiento). La radiación solar incidente, I_T , se obtiene de paso/apartado anterior.

Para h_0 según la norma *NBE-CT-79*: Cerramientos verticales 16.67 W/m²K y cerramientos horizontales 20 W/m²K. Estos valores quedan corregidos por el CTE a: 25 W/m²K para cerramientos verticales y cerramientos horizontales.

5.5.(3). Flujo de energía a través de una superficie acristalada

En este apartado se presentan los **pasos 3, 4 y 6** del esquema mostrado en la Fig. 3

El flujo de energía a través del acristalamiento depende de los siguientes parámetros:

1. Transferencia de calor por conducción y convección. Causada por la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior y el ambiente interior.
2. Intercambio radiativo entre el acristalamiento y los alrededores y entre las propias capas de vidrio.
3. Radiación solar incidente de onda corta, ya sea radiación directa o reflejada por los objetos adyacentes.

$$Q = U \cdot A_{pf} \cdot (T_{out} - T_{in}) + (SHGC) \cdot A_{pf} \cdot E_t$$

Q: Flujo de energía instantáneo en W

U: Coeficiente global de transferencia de calor $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

T_{in} : Temperatura del aire interior °C

T_{out} : Temperatura del aire exterior °C

A_{pf} : Área total proyectada del acristalamiento m²

SHGC: Coeficiente de ganancia solar de calor

E_t : Irradiación total incidente $\frac{W}{m^2}$

La ecuación anterior es una ecuación bastante simplificada, los términos radiativos, convectivos y conductivos están englobados en las variable U y SHGC.

Atendiendo al tipo de transferencia de calor, Q puede dividirse en:

$$Q = Q_{th} + Q_{sol}$$

Q_{th} : Flujo de energía instantáneo debido a la diferencia de temperaturas entre interior y exterior, es función de la transmitancia térmica.

Q_{sol} : Flujo de energía instantáneo debido a la radiación solar, es función de la ganancia de calor solar y de la transmitancia visible.

Cada una de estas dos partes en que se ha dividido Q puede a su vez dividirse según se estudie el marco (parte opaca del acristalamiento) o el vidrio (superficie transparente).

Qsol. El flujo de energía a través del vidrio se puede dividir en la parte de radiación *difusa* (que incluye a su vez la difusa proveniente del cielo y la reflejada por el terreno) y *directa*.

$$Q_{sol} = Q_{directa} + Q_{difusa}$$

En la Fig. 9 se representa el balance de calor debido a la radiación solar que se daría si no hubiera radiación difusa y sin tener en cuenta el flujo de calor Q_{th} expuesto anteriormente. Sirva esta figura para hacer una nueva discriminación de $Q_{directa}$:

$$Q_{directa} = Q_{directa \text{ transmitida}} + Q_{directa \text{ absorbida}}$$

$Q_{directa \text{ transmisión}}$: Flujo de energía transmitida a través del vidrio.

$Q_{directa \text{ absorbida}}$: Flujo de calor absorbido en el interior del local por convección y radiación.

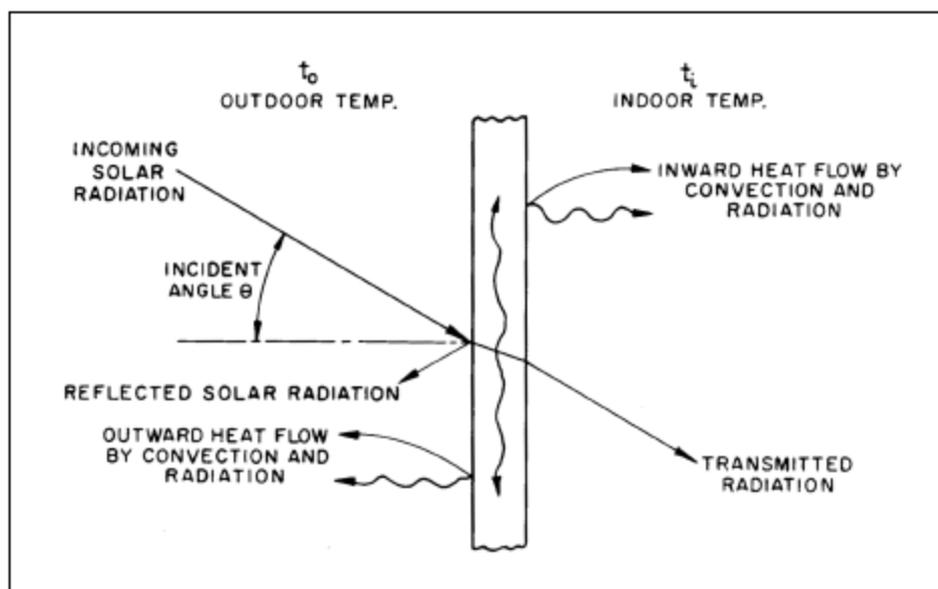


Fig. 9 Balance de calor instantáneo para vidrio debido a la insolación.

Sin embargo, siempre existe radiación difusa. Por tanto, el flujo de calor a través del acristalamiento está definido por:

$$Q_{sol} = Q_t + Q_a$$

Q_t : Flujo de energía a través del vidrio debido a toda la radiación solar incidente transmitida

Q_a : Flujo de energía a través del vidrio debido a toda la radiación solar incidente absorbida (por procesos de transferencia de calor)

Partiendo de lo expuesto, ASHRAE propone el uso de los coeficientes de ganancia de calor; $SHGC$. Para radiación directa, $SHGC$ y $SHCD_D$ para difusa (estos coeficientes contienen los términos de transmitancia y absorptancia).

La ganancia de calor a través del acristalamiento con **protección solar exterior** atiende a la siguiente formulación:

Ganancia total a través del ventanal:

$$Q = Q_b + Q_c + Q_d$$

Ganancia solar debida a la radiación directa:

$$Q_b = F_u \cdot A \cdot (E)_d \cdot SHGC(\theta)$$

Ganancia solar debida al a radiación difusa:

$$Q_d = [(1 - F_u) \cdot (E)_d + (E_d + E_r)] \cdot < SHGC > d \cdot EAC$$

Ganancia solar término conductivo:

$$Q_c = U \cdot A \cdot (T_{out} - T_{in})$$

Las incógnitas que afectan al cálculo de la ganancia a través de la superficie acristalada son:

- 1. F_u .** Fracción de la ventana sin sombra. $(1 - F_u)$: Fracción de la ventana con sombra.
En el **capítulo 4**, se ha descrito el procedimiento de cálculo, en el **ANEXO 1.4**, se muestran los resultados obtenidos mediante la simulación para los distintos períodos de tiempo en los que se calcula la carga térmica.
- 2. EAC.** Coeficiente de atenuación externa. Representa la fracción de energía que atraviesa la ventana, excluyendo la parte del dispositivo de sombra.

EAC tabulado HVAC Ashrae (Tabla 18. Capítulo 30)

Table 18 Unshaded Fractions (F_u) and Exterior Solar Attenuation Coefficients (EAC) for Louvered Sun Screens

Profile Angle	Group 1			Group 2			Group 3			Group 4		
	Transmittance	F_u	EAC	Transmittance	F_u	EAC	Transmittance	F_u	EAC	Transmittance	F_u	EAC
10°	0.23	0.20	0.15	0.25	0.13	0.02	0.4	0.33	0.18	0.48	0.29	0.3
20°	0.06	0.02	0.15	0.14	0.03	0.02	0.32	0.24	0.18	0.39	0.2	0.3
30°	0.04	0.00	0.15	0.12	0.01	0.02	0.21	0.13	0.18	0.28	0.08	0.3
≥ 40°	0.04	0.00	0.15	0.11	0.00	0.02	0.07	0.00	0.18	0.2	0.00	0.3

Group 1: Black, width over spacing ratio 1.15/1; 1.1 mm between louvers. Group 2: Light color; high reflectance, otherwise same as Group 1. Group 3: Black or dark color; w/s ratio 0.85/1; 1.5 mm between louvers. Group 4: Light color or unpainted aluminum; high reflectance; otherwise same as Group 3. U-factor = 4.83 W/(m²·K) for all groups when used with single glazing.

Según el epígrafe de la tabla, el alero elegido se enmarcaría en el grupo 2 y para un ángulo de perfil de 90° al tratarse de un alero horizontal. De modo que el valor de **EAC = 0.02**. El valor de F_u o fracción no sombreada se calculará como función de la posición solar para cada hora cuando se diseñe el alero.

- 3. E_D , E_d , E_R .** Radiación directa, difusa y reflejada por el suelo (irradiación).

Mediante los datos de radiación para el plano horizontal se calcula la radiación incidente sobre el plano inclinado, como se expone en el *paso 1*.

- 4. A.** Área de la ventana [m²].
- 5. U.** Coeficiente global de transferencia de calor del hueco (conjunto vidrio-marco) [W/m²K]

U Factor tabulado HVAC Ashrae (Tabla 4. Capítulo 30)

Como ya se comentó en el apartado **Propiedades y características del hueco elegido (vidrio + marco)** del **capítulo 4** el valor de **U** usado para los cálculos sería el de $U=1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Sin embargo, por lo comentado en el mismo capítulo en lo que se refiere al uso de contraventanas, se puede utilizar un valor de **U** medio: **$U=1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$** .

6. SHGC(θ) y <SHGC>d

SHGC(θ) y <SHGC>d, tabulados en HVAC Ashrae (Tabla 13. Capítulo 30)

Fenestration

30.31

Table 13 Visible Transmittance (T_v), Solar Heat Gain Coefficient (SHGC), Solar Transmittance (T_s), Front Reflectance (R^f), Back Reflectance (R^b), and Layer Absorptances (A_n^f) for Glazing and Window Systems (Continued)

ID	Glazing System		Center Glazing T_v	Center-of-Glazing Properties								Total Window SHGC at Normal Incidence				Total Window T_v at Normal Incidence			
				Incidence Angles								Aluminum		Other Frames		Aluminum		Other Frames	
				Normal 0.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	Hemis., Diffuse	Operable	Fixed	Operable	Fixed	Operable	Fixed	Operable	Fixed	
21f	6	BRZ LE	0.45	SHGC	0.39	0.37	0.35	0.31	0.24	0.13	0.33	0.35	0.36	0.30	0.34	0.38	0.40	0.33	0.39
				T	0.27	0.24	0.22	0.19	0.13	0.05	0.21								
				R^f	0.12	0.12	0.13	0.16	0.24	0.44	0.16								
				R^b	0.19	0.20	0.22	0.25	0.34	0.55	0.24								
				A_1^f	0.51	0.54	0.55	0.56	0.55	0.46	0.53								
				A_2^f	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.05	0.10								
21g	3	GRN LE	0.68	SHGC	0.46	0.44	0.42	0.38	0.30	0.16	0.40	0.41	0.42	0.34	0.40	0.58	0.61	0.50	0.59
				T	0.36	0.32	0.30	0.26	0.18	0.08	0.28								
				R^f	0.17	0.16	0.17	0.20	0.29	0.48	0.20								
				R^b	0.23	0.23	0.25	0.29	0.37	0.57	0.27								
				A_1^f	0.38	0.41	0.42	0.43	0.43	0.38	0.40								
				A_2^f	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10	0.06	0.10								
21h	6	GRN LE	0.61	SHGC	0.36	0.33	0.31	0.28	0.22	0.12	0.30	0.32	0.33	0.27	0.31	0.52	0.54	0.44	0.53
				T	0.24	0.21	0.19	0.16	0.11	0.05	0.18								
				R^f	0.11	0.10	0.11	0.14	0.22	0.43	0.14								
				R^b	0.19	0.20	0.22	0.25	0.34	0.55	0.24								
				A_1^f	0.56	0.59	0.61	0.61	0.59	0.48	0.58								
				A_2^f	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.04	0.08								
21i	3	GRY LE	0.52	SHGC	0.46	0.44	0.42	0.38	0.30	0.16	0.39	0.41	0.42	0.35	0.40	0.44	0.46	0.38	0.45
				T	0.35	0.32	0.30	0.25	0.18	0.08	0.28								
				R^f	0.16	0.16	0.17	0.20	0.28	0.48	0.20								
				R^b	0.23	0.23	0.25	0.29	0.37	0.57	0.27								
				A_1^f	0.39	0.42	0.43	0.44	0.44	0.38	0.41								
				A_2^f	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10	0.06	0.10								
21j	6	GRY LE	0.37	SHGC	0.34	0.32	0.30	0.27	0.21	0.12	0.28	0.31	0.32	0.26	0.30	0.31	0.33	0.27	0.32
				T	0.23	0.20	0.18	0.15	0.11	0.04	0.17								
				R^f	0.11	0.11	0.12	0.15	0.23	0.44	0.15								
				R^b	0.20	0.20	0.22	0.25	0.34	0.55	0.24								
				A_1^f	0.58	0.60	0.61	0.61	0.59	0.48	0.59								
				A_2^f	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.04	0.08								
21k	6	BLUGRN LE	0.62	SHGC	0.39	0.37	0.34	0.31	0.24	0.13	0.33	0.35	0.36	0.30	0.34	0.53	0.55	0.45	0.54
				T	0.28	0.25	0.23	0.20	0.14	0.06	0.22								
				R^f	0.12	0.12	0.13	0.16	0.24	0.44	0.16								
				R^b	0.23	0.23	0.25	0.28	0.37	0.57	0.27								
				A_1^f	0.51	0.54	0.56	0.56	0.55	0.46	0.53								
				A_2^f	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.05	0.08								
Low-e Double Glazing, e = 0.05 on surface 2																			
25a	3	LE CLR	0.72	SHGC	0.41	0.40	0.38	0.34	0.27	0.14	0.36	0.37	0.38	0.31	0.36	0.61	0.64	0.53	0.63
				T	0.37	0.35	0.33	0.29	0.22	0.11	0.31								
				R^f	0.35	0.36	0.37	0.40	0.47	0.64	0.39								
				R^b	0.39	0.39	0.40	0.43	0.50	0.66	0.42								
				A_1^f	0.24	0.26	0.26	0.27	0.28	0.23	0.26								
				A_2^f	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04								
25b	6	LE CLR	0.70	SHGC	0.37	0.36	0.34	0.31	0.24	0.13	0.32	0.34	0.34	0.28	0.33	0.60	0.62	0.51	0.61
				T	0.30	0.28	0.27	0.23	0.17	0.08	0.25								
				R^f	0.30	0.30	0.32	0.35	0.42	0.60	0.34								
				R^b	0.35	0.35	0.35	0.38	0.44	0.60	0.37								
				A_1^f															
				A_2^f															
25c	6	BRZ W/LE CLR	0.42	SHGC	0.26	0.25	0.24	0.22	0.18	0.10	0.23	0.24	0.25	0.20	0.23	0.36	0.37	0.31	0.37
				T	0.18	0.17	0.16	0.14	0.10	0.05	0.15								
				R^f	0.15	0.16	0.17	0.21	0.29	0.51	0.20								
				R^b	0.34	0.34	0.35	0.37	0.44	0.60	0.37								
				A_1^f	0.63	0.63	0.63	0.61	0.57	0.42	0.60								
				A_2^f	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04								

Fig. 11 Valores de los coeficientes de ganancia de calor, para radiación difusa e incidente como función del ángulo de incidencia (Fte. [2])

LE en la tabla se refiere a Low emissivity (baja emisividad) y corresponde al primer cristal. CLR significa clear (claro) y corresponde al segundo cristal. En la siguiente figura se representa esquemáticamente la disposición de los cristales.

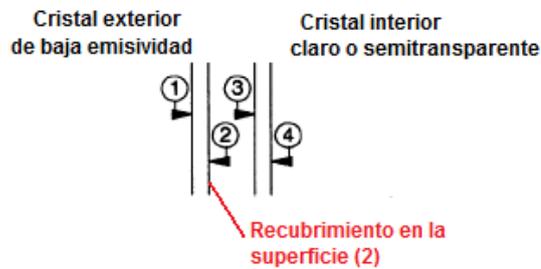


Fig. 12 Sección del tipo de acristalamiento doble de baja emisividad

Los valores de SHGC se obtienen como función del ángulo de incidencia, mediante interpolación lineal. Tras obtener los valores en una hoja de Excel, se calcula un polinomio interpolador de tercer grado. Este polinomio se introduce en Mathcad como una función con la que calcular SHGC(θ).

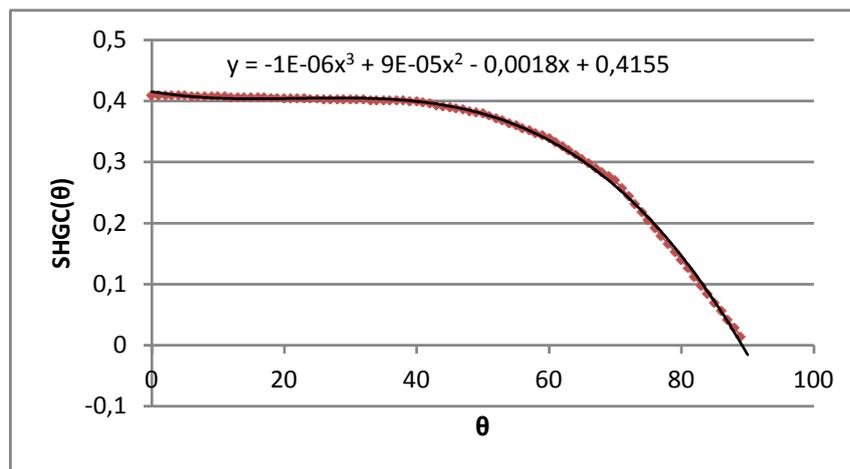


Fig. 4 Valores de SHGC obtenidos mediante polinomio interpolador

El parámetro <SHGC>_d (para radiación difusa), toma un único valor al no depender del ángulo de incidencia:

$$\langle SHGC \rangle_d = 0.31$$

Al igual que para el caso de protección solar exterior, se exponen a continuación las ecuaciones que rigen la transferencia de calor en las superficies acristaladas con **protección solar interior**. La protección solar interior consiste en *persianas venecianas*. El acristalamiento, que corresponde al de la fachada este, es análogo al del resto de las fachadas.

Ganancia total a través del ventanal:

$$Q = Q_b + Q_c + Q_d \text{ [W]}$$

Ganancia solar debida a la radiación directa:

$$Q_b = A \cdot (E)_d \cdot SHGC(\theta) \cdot IAC \text{ [W]}$$

Ganancia solar debida al a radiación difusa:

$$Q_d = A \cdot (E_d + E_r) \cdot \langle SHGC \rangle \cdot d \cdot IAC [W]$$

Ganancia solar término conductivo:

$$Q_c = U \cdot A \cdot (T_{out} - T_{in}) [W]$$

El único de los parámetros que interviene en la ganancia total y no se ha calculado es **IAC** (Coeficiente de atenuación interna). Valor, que aparece tabulado en ASHRAE (tabla 19 capítulo 30), para un ángulo de perfil de 35° toma el valor de 0.66.

Table 19 Interior Solar Attenuation Coefficients (IAC) for Single or Double Glazings Shaded by Interior Venetian Blinds or Roller Shades

Glazing System ^a	Nominal Thickness ^b Each Pane, mm	Glazing Solar Transmittance ^b		Glazing SHGC	IAC				
		Outer Pane	Single or Inner Pane		Venetian Blinds		Roller Shades		
					Medium	Light	Opaque Dark	Opaque White	Translucent Light
<i>Single Glazing Systems</i>									
Clear, residential	3		0.87 to 0.80	0.86	0.75 ^d	0.68 ^d	0.82	0.40	0.40
Clear, commercial	6 to 13		0.80 to 0.71	0.82					
Clear, pattern	3 to 13		0.87 to 0.79						
Heat absorbing, pattern	3			0.59					
Tinted	5, 5.5		0.74, 0.71						
Above glazings, automated blinds ^e				0.86	0.64	0.59			
Above glazings, tightly closed vertical blinds				0.85	0.30	0.26			
Heat absorbing ^f	6		0.46	0.59	0.84	0.78	0.66	0.44	0.47
Heat absorbing, pattern	6								
Tinted	3, 6		0.59, 0.45						
Heat absorbing or pattern			0.44 to 0.30	0.59	0.79	0.76	0.59	0.41	0.47
Heat absorbing	10		0.34						
Heat absorbing or pattern			0.29 to 0.15						
Reflective coated glass			0.24	0.37	0.99	0.94	0.85	0.66	0.73
Reflective coated glass			0.26 to 0.52	0.83	0.75				
<i>Double Glazing Systems^g</i>									
Clear double, residential	3	0.87	0.87	0.76	0.71 ^d	0.66 ^d	0.81	0.40	0.46
Clear double, commercial	6	0.80	0.80	0.70					
Heat absorbing double ^f	6	0.46	0.8	0.47	0.72	0.66	0.74	0.41	0.55
Reflective double				0.17 to 0.35	0.90	0.86			
<i>Other Glazings (Approximate)</i>									
\pm Range of Variation ^h					0.83	0.77	0.74	0.45	0.52
					0.15	0.17	0.16	0.21	0.21

^a Systems listed in the same table block have the same IAC.

^b Values or ranges given for identification of appropriate IAC value; where paired, solar transmittances and thicknesses correspond. SHGC is for unshaded glazing at normal incidence.

^c Typical thickness for residential glass.

^d From measurements by Van Dyke and Konen (1982) for 45° open venetian blinds, 35° solar incidence, and 35° profile angle.

^e Use these values only when operation is automated for exclusion of beam solar (as opposed to daylight maximization). Also applies to tightly closed horizontal blinds.

^f Refers to gray, bronze and green tinted heat-absorbing glass (on exterior pane in double glazing)

^g Applies either to factory-fabricated insulating glazing units or to prime windows plus storm windows.

^h The listed approximate IAC value may be higher or lower by this amount, due to glazing/shading interactions and variations in the shading properties (e.g., manufacturing tolerances).

Fig. 13 Coeficientes de atenuación interna (IAC) (Fte.[2])

5.5.(4). Flujo de calor a través de cerramientos opacos

Por cerramientos opacos se entiende **paredes, techos y suelos**. La transferencia de calor supone un aporte/sumidero de calor que aumentara/disminuirá la temperatura del aire, en función de si son cargas de refrigeración o calefacción. Este tipo de carga será sensible (la difusión de vapor, aunque ciertamente existe es de valor despreciable [1]).

5.5.(4.1) Flujos de calor a través de las paredes (descubiertas)

La transmisión de calor a través de un muro multicapa se evalúa en estado estacionario por:

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

Dónde: Q_{sen} : Potencia calorífica transmitida [W]

A: Superficie del cerramiento [m²]

K: Coeficiente global de transmisión de calor $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

T_{seq} : Temperatura seca equivalente del recinto colindante [K]

T_{sL} : Temperatura seca del local [K]

El flujo de calor de acuerdo a la ecuación anterior supone que el local se encuentra en condiciones de régimen permanente, sin embargo, esto no es así debido a:

- La temperatura seca exterior varía a lo largo del día → **Oscilación (1)**
- Radiación solar incidente sobre la superficie del muro → **Temperatura sol aire (2)**
- Inercia del muro → **Desfase y amortiguamiento (3)**

(3) Según como se considere la variación de temperatura **(1)** (oscilación sinodal o cualquier tipo de variación, aunque siempre asumiendo condiciones periódicas), habrá que seguir distintas estrategias de cálculo.

(3.1) Variación de temperatura sinodal

Para el caso de oscilaciones de temperatura sinodales se descompone el flujo en dos componentes:

1. La primera componente corresponde al flujo medio q_{dm}
2. La segunda componente corresponde a la desviación que sobre el flujo medio, Δq_{dm} , ejercen la amortiguación y desfase en el día escogido.

Es necesario conocer los datos siguientes involucrados en el cálculo:

1. Temperaturas del aire exterior T_a en las distintas horas del día
2. Las propiedades específicas de cada cerramiento, englobadas en su coeficiente global de transferencia de calor U , para obtener:
 - a) Las temperaturas sol aire en cada hora (T_{sa})
 - b) La temperatura sol aire media para las 24 horas consideradas (T_{sam})
 - c) Los flujos de calor que alcanzan la cara interior del cerramiento a una hora determinada, para lo cual hay que tener en cuenta los datos antes calculados; U , T_{sa} , T_{sam} y además conocer *amortiguación* y *desfase* correspondiente a cada cerramiento.

Habiendo calculado todos los datos necesarios, se está en disposición de calcular las componentes del flujo de calor:

$$q_{dm} = U \cdot A \cdot (T_{sam} - T_{comfort})$$

$$\Delta q_{dm} = U \cdot A \cdot \mu \cdot (T_{sa}(t - \theta) - T_{sam})$$

Sumando ambas componentes tendremos el flujo de calor en el instante t a través de la superficie A :

$$q_t = q_{dm} + \Delta q_{dm} = U \cdot A \cdot [(T_{sam} - T_{comfort}) + \mu \cdot (T_{sa}(t - \theta) - T_{sam})]$$

$T_{sa}(t - \theta)$: Temperatura sol-aire en el tiempo t contando con el desfase θ en horas

(3.2) Variación de temperatura no senoidal

En el caso en que la variación de la temperatura sea no senoidal, caso que coincide con la situación real. La formulación expuesta en (3.1) no es apropiada, si se quiere seguir teniendo en cuenta desfase y amortiguamiento habrá que recurrir al cálculo de factores de respuesta del muro. Estos factores de respuesta se encuentran tabulados para muros tipo; ASHRAE, Pinazo.

Puesto que los muros diseñados no son muros convencionales ni muros tipo, no se utilizan dichas tablas. Calcular los factores de respuesta mediante transformada de Laplace como propone Pinazo, supone una formulación tediosa y que creo que no aporta demasiado a los objetivos del proyecto.

Por tanto, para la simulación del flujo de calor se ha recurrido al uso de las series de conducción temporales en forma de los factores CTF: *conduction time factors*. Asumir condiciones estacionarias periódicas para el flujo de calor permite reformular las funciones de transferencia de conducción en forma de factores de respuesta periódicos [2].

Como ya se comentó, los factores CTF se obtienen para cada tipo de cerramiento del software *PRF/RTF Generator*.

Se tienen dos tipos de muros en función de la orientación de la fachada.

Muro tipo 1: Fachada sur y partes descubiertas del resto de ellas.

Muro tipo 2: Resto de fachadas. La composición es exactamente la misma que para el tipo 1 con la salvedad de que se necesita de una capa de contención para aguantar la carga estructural del soterramiento⁷.

Capa	Espesor [m]	Conductividad térmica [W/m·K]	Calor específico [J/kg·K]	Densidad [kg/m ³]	Coefficiente de convección [W/m ² ·K]
Exterior	x	x	x	x	25
Revoco con resina sintética	0.003	1.396	1000	2100	x
Aislamiento de poliestireno expandido	0.06	0.026	1000	30	x
Hormigón en masa	0.29	2	1000	2450	x
Yeso y pintura	0.02	0.302	1000	750	x
Interior	x	x	x	x	7.69

Tabla. 4 Muro tipo 1 (espesor y propiedades)

Capa	Espesor [m]	Conductividad térmica [W/m·K]	Calor específico [J/kg·K]	Densidad [kg/m ³]	Coefficiente de convección [W/m ² ·K]
Exterior	x	x	x	x	25
Hormigón armado	0.4				
Revoco con resina sintética	0.003	1.396	1000	2100	x
Aislamiento de poliestireno expandido	0.06	0.026	1000	30	x
Hormigón en masa	0.29	2	1000	2450	x
Yeso y pintura	0.02	0.302	1000	750	x
Interior	x	x	x	x	7.69

Tabla. 5 Muro tipo 2 (espesor y propiedades)

La sub-sección (3.2) se corresponde con el *paso 5* del esquema de la figura, Fig. 4.

El flujo de calor se rige por la ecuación de conducción: $Q_{i,\theta-n} = U \cdot A \cdot (T_{sa,\theta-n} - T_{confort})$ Ec. 1

$Q_{i,\theta-n}$: Flujo de calor por conducción para la superficie n horas antes [W]

U: Coeficiente global de transferencia de calor para la superficie [W/m²·K]

A: Área de la superficie [m²]

$T_{sa,\theta-n}$: Temperatura sol aire n horas antes [°C]

$T_{confort}$: Temperatura de confort (presumida constante) [°C]

La ganancia/pérdida de calor a través de las paredes se calcula aunando en una ecuación los flujos de calor por conducción para la hora actual, los de las 23 horas anteriores y los factores de conducción temporales:

⁷ Más que una capa de contención se trata de un doble muro. Muro de contención precediendo al cerramiento tipo 1. Sin embargo, a efectos de cálculo se considera como una capa más.

$$Q_{\theta} = c_0 \cdot q_{i,\theta} + c_1 \cdot q_{i,\theta-1} + c_2 \cdot q_{i,\theta-2} + c_3 \cdot q_{i,\theta-3} + \dots + c_{23} \cdot q_{i,\theta-23} \quad \text{Ec. 2}$$

Q_{θ} : Ganancia/pérdida de calor horaria por conducción en la superficie [W]

$q_{i,\theta}$: Flujo de calor para la hora actual [W]

$Q_{i,\theta-n}$: Ganancia/pérdida de calor n horas antes [W]

$c_0, c_1, etc.$: Factores temporales de conducción

5.5.(4.2) Flujos de calor a través de las paredes (semienterradas)

Para el caso de los muros semienterrados es necesario reformular la ecuación Ec. 1.

Atendiendo a la definición de la temperatura sol aire (temperatura ficticia exterior, que tiene en cuenta el aporte de calor por convección y por radiación solar sobre la superficie exterior), el hecho de que el muro esté semienterrado supone despreciar el aporte de radiación solar, de modo que la ecuación Ec. 1 se transforma en:

$$Q_{i,\theta-n} = U \cdot A \cdot (T_0 - T_{confort})$$

T_0 : Temperatura seca exterior [K]

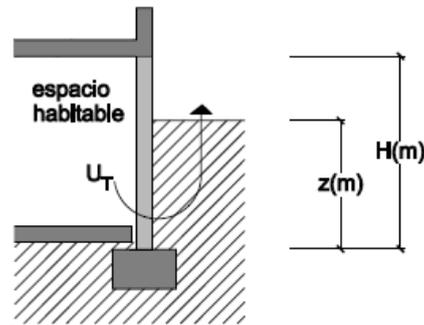


Fig. 14 Sección muro semienterrado

Términos que intervienen en las ecuaciones:

- Los valores de **U** obtenidos en función del tipo de muro se exponen en el capítulo de soluciones. Los valores de U para sus áreas correspondientes se recogen en la siguiente tabla:

	Norte		Sur	
	Área [m ²]	U _T [W/K·m ²]	Área [m ²]	U _T [W/K·m ²]
Planta baja (semienterrada)	68.828	0.203	x	x
Planta baja (descubierta)	x	x	20.58	0.309
Planta baja (total)	68.828	x	20.58	x
Planta primera (descubierta)	36.927 - Aventana	0.309	20.58	0.309
Planta primera (semienterrada)	25.346	0.175	x	x
Planta primera (total)	62.273	x	20.58	x

	Este y Oeste	
	Área [m ²]	U _T [W/K·m ²]
Semienterrada A1	8.77	0.212
Semienterrada A2	5.59	0.176
Descubierta	23.0231 - Aventana	0.309

- Coeficientes CTS para cada tipo de muro; salida del programa PRF/RTF generator:

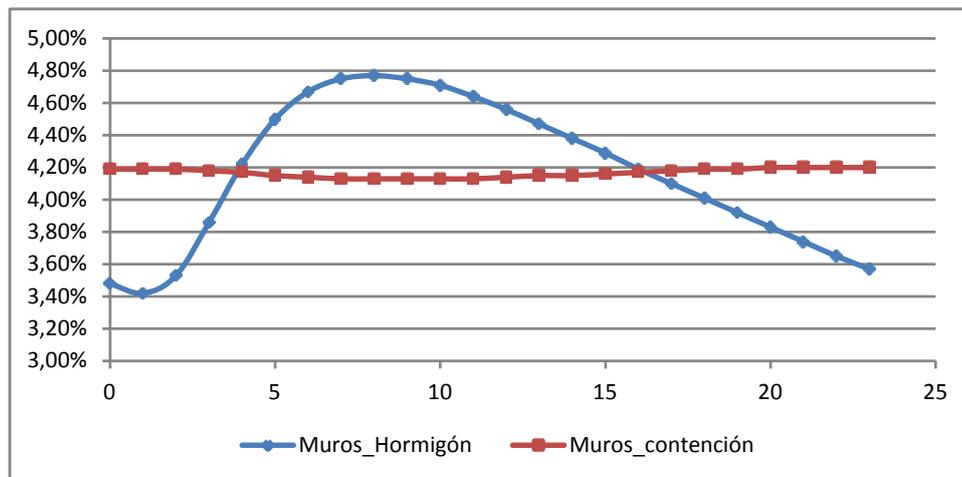


Fig. 5 Representación de las series de tiempo de conducción [Ref. PRF/RTF generator]

5.5.(4.3) Flujos de calor a través de la cubierta

El procedimiento de cálculo será análogo al descrito para el caso de las paredes, considerando la variación de la temperatura exterior como una variación no senoidal.

Por tratarse de un material no inerte (cubierta vegetal), material que podríamos definir como “vivo” o activo, interactúa con la radiación solar de manera diferente a los materiales inertes. Como se comentó en el capítulo de *soluciones de diseño* tendrá un efecto beneficioso en los meses con necesidades de refrigeración al limitar el calentamiento. Sin embargo, para los meses con necesidades de calefacción al disminuir el flujo de calor que atraviesa la cubierta hacia el interior, aumentan la carga térmica.

A la hora de incluir dicho efecto en el cálculo de la carga térmica se presentan ciertas dificultades. Aunque en [5] se presenta de forma detallada los cuatro procesos que gobiernan la transferencia de calor, no se disponen de todas las variables necesarias para el cálculo del balance energético. Variables como son la temperatura superficial de la cubierta vegetal y la temperatura del aire dentro de la misma, no pueden obtenerse si no es a través de medidas experimentales.

Por tanto **es necesaria una simplificación**, según propone [6], se puede caracterizar el efecto que el uso de una cubierta vegetal tiene sobre la carga térmica, a través de la temperatura sol aire. Más concretamente el uso de un valor de **absortancia** de la superficie que será función de la latitud del emplazamiento y al tratarse de una cubierta de tipo extensivo, función de la vegetación endémica de la región.

La temperatura sol aire depende de la temperatura exterior, el coeficiente de convección exterior y la absortancia del material.

$$T_{sa} = T_0 + \frac{\alpha \cdot I_T}{h_0} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_0}$$

Dónde:

T_0 : Temperatura de bulbo seco [K]

α : Absortancia de la superficie a la radiación solar [-]

I_T : Radiación solar incidente [W/m^2]

$\frac{\varepsilon \Delta R}{h_0}$: Factor de radiación de onda larga (según ASHRAE toma el valor de $-3.9^\circ C$ para superficies horizontales y de $0^\circ C$ para las verticales).

Sin datos de medidas experimentales solo puedo actuar sobre la absortancia, puesto que el coeficiente de convección $h_0 = 1.52 \cdot (T_e - T_{iv})^{0.33}$ (coeficiente de convección para un flujo de aire en régimen turbulento) depende de T_{iv} (temperatura del aire dentro de la capa vegetal) y no se ha encontrado correlación alguna que permita con los datos meteorológicos disponibles calcularla.

Para la latitud de Madrid se aconseja por parte de [6] el uso de un coeficiente de absortancia de $\alpha = 0.39$.

El esquema de cálculo será el mismo que el seguido en el apartado 5.5.(4.1), conociendo el área y el coeficiente de absorción. Es necesario calcular los valores de los términos que aparecen en las ecuaciones (además del valor de la temperatura sol aire como ya se ha explicado):

- Valor del área: $A = 160 \text{ m}^2$

- Valor de U

Capa	Espesor [m]	Conductividad térmica [W/m·K]	Calor específico [J/kg·K]	Densidad [kg/m ³]	Coefficiente de convección [W/m ² ·K]	U [W/m ² ·K]
Exterior	x	x	x	x	25	0.256
Sédum más sustrato de lodos compostados	0.18	0.120 ⁸	1424	400	x	
Árido natural	0.020	0.080	1450	150	x	
Panel retenedor de agua de lana de roca	0.003	0.190	750	140	x	
Membrana de jardín	0.005	0.19	650	100	x	
Hormigón liviano	0.040	0.950	1000	2000	x	
Poliuretano	0.040	0.030	1420	30	x	
Hormigón ligero	0.1	0.350	1050	1000	x	
Bovedilla de hormigón	0.26	1.540	1050	1254	x	
Interior	x	x	x	x	10/5.88 ⁹	

Tabla. 6 Cubierta vegetal (espesor y propiedades)

⁸ Valor obtenido de [ref como material de construcción]

⁹ Del CTE se sacan los valores de las resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior. Para la estrategia de refrigeración hay que considerar flujo de calor descendente y $h_i = 5.88 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$, para la estrategia de calefacción se considera flujo de calor ascendente y $h_i = 10 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$.

- Coeficientes CTS para la cubierta vegetal; salida del programa PRF/RTF generator:

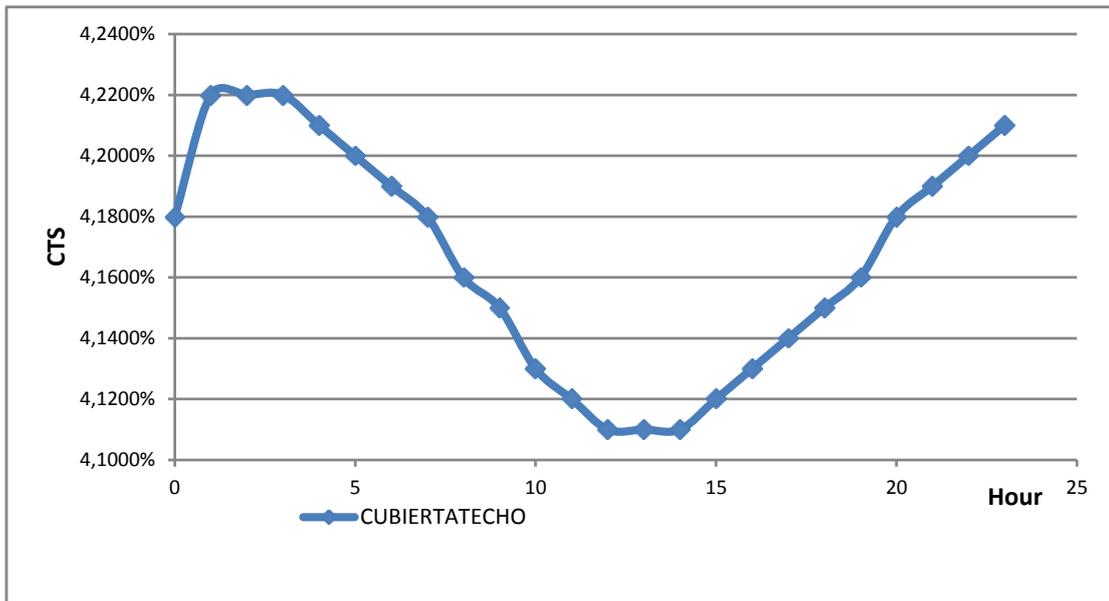


Fig. 15 Coeficientes de las series de tiempo de conducción para la cubierta

5.5.(4.4) Flujos de calor a través del suelo

La transmisión de calor a través de la solera no puede considerarse como conducción de calor unidimensional. Si se analiza el flujo de calor a través de una solera sin aislamiento perimetral las isothermas no son paralelas sino que tienden a ser radiales, con centro en la intersección del muro y el suelo. Por tanto el flujo de calor se aproxima a un patrón circular concéntrico, patrón que se altera cuando se añade aislamiento al muro o al suelo.

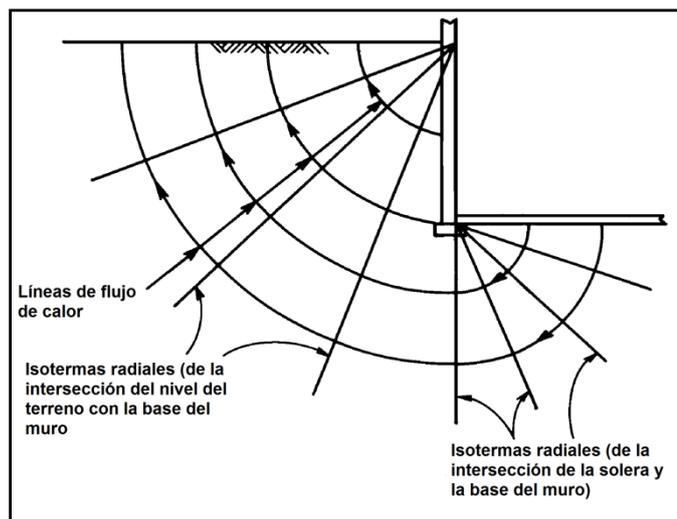


Fig. 16 Flujos de calor a través del suelo

La **temperatura del terreno** es mayor en la época con necesidades de calefacción que la temperatura del ambiente exterior y menor en la de necesidades de refrigeración. La temperatura del terreno se considera constante a lo largo del día.

Atendiendo a lo expuesto en ASHRAE y CTE se pueden establecer dos distinciones, en función de la profundidad de la solera respecto al nivel del terreno. Hasta 0.5 m se considera solera a nivel del terreno y para profundidades mayores se trata como sótanos.

Para este proyecto **la solera está a nivel del terreno**. Hay que tener en cuenta si el suelo está calefactado o no. En construcciones con suelo radiante es fundamental la presencia de aislamiento perimetral para prevenir las pérdidas de calor de las tuberías incrustadas en la solera.

Se puede **concluir** que la transferencia de calor por conducción a través de la solera se divide de dos componentes:

Una **paralela al terreno** (motivado por la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior) en la zona perimetral donde la selección del tipo de aislamiento y longitud del mismo son las variables sobre las que se tiene control.

Otra **perpendicular al terreno** (debido a la diferencia de temperaturas entre la temperatura de confort del local y la temperatura del terreno) en la que lo que prima es el tipo de materiales que constituyen la solera (y por tanto el valor del coeficiente global de transferencia de calor resultante).

A diferencia de los flujos de calor a través de muros y cubierta los factores periódicos de respuesta no son de aplicación en este proceso de transferencia; este proceso de transferencia se considera **estacionario** (no periódicamente estacionario). Por tanto se rompe con el esquema seguido hasta ahora, hay que definir la nueva formulación que rige la transferencia de calor, las ecuaciones **Ec. 1**

no son de utilidad para este caso.

- Flujo de calor paralelo al terreno

No solo ASHRAE contempla la transferencia de calor en suelos en contacto con el terreno, en el CTE se propone una estrategia similar. El cálculo de una transmitancia térmica U_s [$W/m^2 \cdot K$] en función del ancho del aislamiento perimétrico, la resistencia térmica del aislante y la longitud característica de la solera.

La vivienda diseñada está soterrada en la fachada norte, este y oeste (con cota variable en estas últimas). De modo que según lo expuesto en el CTE habría que seguir dos metodologías distintas: cálculo de la transmitancia térmica para suelos en contacto con el terreno y cálculo de otra transmitancia térmica para suelos con una profundidad superior a 0.5m respecto al nivel del terreno (fachadas soterradas). No habiendo encontrado ninguna metodología que trate este caso concreto, he optado por considerar como fundamento de cálculo lo expuesto en ASHRAE, en la zona perimetral que no está en contacto con el muro de contención.

La pérdida de calor a través del suelo es más dependiente del perímetro que del área del suelo.

$$Q_{paralelo} = F_2 \cdot P \cdot (T_i - T_o) \quad \text{Ec.3}$$

F_2 : Coeficiente de transferencia de calor por metro de perímetro [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$]

P : Perímetro o borde expuesto del suelo [m]

T_i : Temperatura interior (o de confort) [K]

Si se trata de suelo radiante, la temperatura interior sería la media entre la temperatura de impulsión del sistema de climatización y la temperatura de confort. No obstante, considero que en el cálculo de la carga térmica, para el diferencial de temperatura hay que considerar la temperatura interior. Tomando el otro diferencial mostrado como una pérdida inherente a la instalación, a considerar a la hora de dimensionarla.

T_o : Temperatura exterior [K]

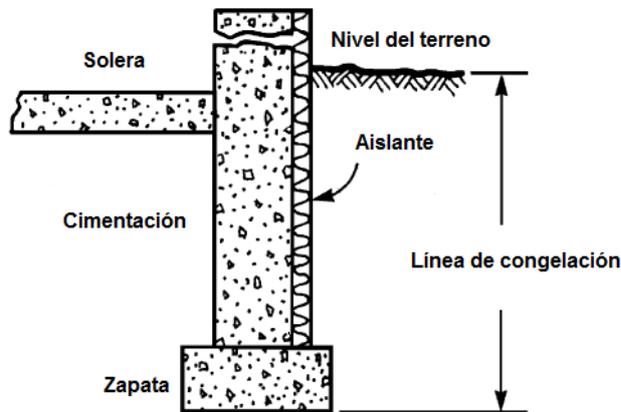


Fig. 17 Sistema de aislamiento vertical con perfil en "I" [Ref ASHRAE]

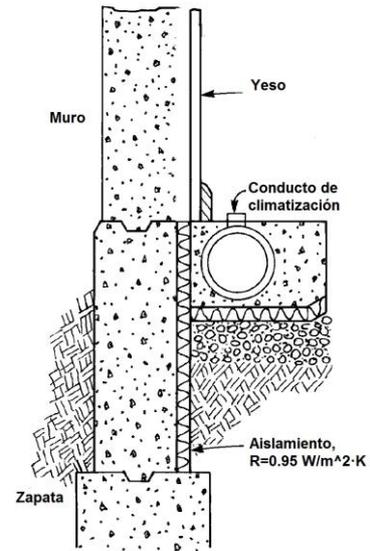


Fig. 18 Solera a nivel del terreno con aislamiento perimetral [Ref Ashrae]

Asumo que el tipo de construcción representada en la figura Fig. 18 se puede asimilar a la del proyecto. Los valores de F_2 para esta construcción aparecen expuestos en [2], se adjunta:

Table 16 Heat Loss Coefficient F_2 of Slab Floor Construction, W/K per metre of Perimeter

Construction	Insulation	Kelvin Days (18°C Base)		
		1640 K·d/yr	2970 K·d/yr	4130 K·d/yr
200 mm block wall, brick facing	Uninsulated	1.07	1.17	1.24
	R = 0.95 K·m ² /W from edge to footer	0.83	0.86	0.97
100 mm block wall, brick facing	Uninsulated	1.38	1.45	1.61
	R = 0.95 from edge to footer	0.81	0.85	0.93
Metal stud wall, stucco	Uninsulated	1.99	2.07	2.32
	R = 0.95 from edge to footer	0.88	0.92	1.00
Poured concrete wall with duct near perimeter ^a	Uninsulated	3.18	3.67	4.72
	R = 0.95 from edge to footer, 910 mm under floor	1.11	1.24	1.56

^aWeighted average temperature of the heating duct was assumed at 43°C during the heating season (outdoor air temperature less than 18°C).

Fig. 19 Coeficientes F_2 para solera a nivel del terreno

Para los datos de Madrid y según la fuente de los mismos, se tiene un valor de grados día anuales de calefacción de 1880 (para 18°C como base) o 1932 (teniendo 10°C como base).

$F2 = 1.11 \text{ W/K}\cdot\text{m}$ (Fig. 19)

$P = 25 \text{ m}^2$ (el perímetro considerado es el de la parte de muros descubierta, es decir, no se considera el perímetro de muros semienterrados).

T_0 : Temperatura seca exterior (es dato)

- Flujo de calor perpendicular al terreno

Considerar la temperatura del suelo y de confort constante supone que no sea necesario el uso de los coeficientes CTS.

La ecuación que caracteriza este flujo es: $Q_{perpendicular} = U \cdot A \cdot (T_{terreno} - T_{confort})$ Ec. 4

Variables que intervienen en la ecuación:

Valor de U

Capa	Espesor [m]	Conductividad térmica [W/m·K]	Coefficiente de convección [W/m ² ·K]	U [W/m ² ·K]
Grava rodada o machaqueo	0.1	0.810	x	0.688
Hormigón con áridos ligeros	0.1	0.330	x	
Panel de tetones	0.024	0.031	x	
Mortero de cemento	0.003	0.190	x	
Gress ¹⁰	0.05	1.040	x	
Interior	x	x	5.88 ¹¹	

Tabla. 7 Solera (espesor y propiedades)

Área: 156.42 m²

La evolución de la **temperatura del terreno** es dato.

5.5.(7). Ganancia de calor debida iluminación y equipos/miscelánea

Se habla de ganancia de calor puesto que independientemente de la estrategia, ya sea de refrigeración o calefacción siempre se trata de una ganancia. Ganancia, que puede suponer carga de refrigeración o limitar la de calefacción.

En las diversas metodologías de cálculo de cargas térmicas se obvia el efecto de estas ganancias sobre las cargas de calefacción.

El calor desprendido por la iluminación y equipos es todo sensible, distribuyéndose en forma radiante y convectiva. (algunos tipos de equipos también tienen carga latente)

¹⁰ La elección del Gress como revestimiento ligero o revestimiento superficial responde a las necesidades para un funcionamiento eficiente del suelo radiante. Cuanto mayor sea la resistencia térmica menor será el flujo de calor, por tanto en este caso interesa que la resistencia térmica sea lo más baja posible.

¹¹ Tabla E.6. CTE; Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores (su inversa)

Se considera de nuevo el retraso de conversión de la parte radiativa en carga térmica, se necesitan por tanto los coeficientes RTS, no así los coeficientes CTS (la transferencia de calor no se debe a procesos de conducción).

En [1] hay tablas con la carga a considerar debido a aparatos y luminarias.

$Q_{\text{iluminación}_i} =$ for $i \in 0..3$

for $j \in 0..23$

$$Q_{\text{sen_iluminación}_j} \leftarrow \begin{cases} 15 \frac{W}{m^2} \left[\begin{array}{l} (A_{\text{bano}_i} + A_{\text{bano}_d} \dots \\ + A_{\text{dormitorio}} + A_{\text{dormitorio}_i} \\ + A_{\text{dormitorio}_d} + A_{\text{cocina}} \end{array} \right] & \text{if } 7 \leq j \leq \text{round} \left[\frac{(Hora_salida^T)_i}{hr} \right] \\ 15 \frac{W}{m^2} (A_{\text{estar}} + A_{\text{cocina}}) & \text{if } \text{round} \left[\frac{(Hora_puesta^T)_i}{hr} \right] \leq j \leq 24 \\ 5 \frac{W}{m^2} (A_{\text{dormitorio}_i} \dots \\ + A_{\text{dormitorio}_d} + A_{\text{trabajo}}) & \text{if } \text{round} \left[\frac{(Hora_salida^T)_i}{hr} \right] \leq j \leq \text{round} \left[\frac{(Hora_puesta^T)_i}{hr} \right] \\ \left(1 \frac{W}{m^2} \cdot 200m^2 \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

5.5.(8). Ganancia de calor debida a los ocupantes

Las ganancias de calor debido a los ocupantes son motivadas por la actividad física de las personas que desarrollan una actividad en la zona a climatizar.

El calor desprendido se divide en calor sensible y calor latente, el calor desprendido siempre se considera una ganancia. Este calor además de la actividad física depende de su constitución y de la temperatura ambiente.

En la tabla que se presenta a continuación, extraída de (-Curso de climatización [7]-), se presentan tabuladas las distintas ganancias en función del tipo de actividad física y la temperatura del ambiente interior.

Tabla que está basada en las siguientes condiciones:

- Se ha considerado un 50% de humedad
- El hombre considerado mide 1,73 y pesa 70 kg
- La mujer considerada mide 1,60 y pesa 55 kg.
- La velocidad del aire considerada es 0,15 m/s

Actividad		Temperatura Seca								
		W	27°C		25°C		23°C		21°C	
			Qs	Ql	Qs	Ql	Qs	Ql	Qs	Ql
Sentado en reposo (teatro, cine...)	Hombre	115	62	53	76	39	87	28	87	28
	Mujer	90	56	34	66	24	67	23	67	23
	Media	103	59	44	71	31	77	26	77	26
Sentado trabajo muy ligero (Oficina ...)	Hombre	139			84	55	100	39	105	34
	Mujer	109			73	36	81	28	82	27
	Media	124			78	46	90	34	94	30
Sentado trabajo ligero (mecanografía, montaje...)	Hombre	185			93	93	111	74	129	56
	Mujer	145			79	66	94	51	109	36
	Media	165			86	79	103	62	119	46

Fig. 6 Tabla con valores de ganancia de calor debida a ocupantes y según actividad [7]

De acuerdo a las condiciones interiores del proyecto escogidas para el diseño y expuestas al principio del capítulo, se seleccionan las ganancias de calor para ocupantes señaladas en la tabla.

	Estrategia de refrigeración: 25°C HR=40%	Estrategia de calefacción: 21°C HR=50%
Q _s [W]	78	94
Q _L [W]	46	30

Tabla. 8 Calor emitido por ocupante considerado

Para definir completamente el cálculo es necesario determinar el número de personas e introducir un *factor de simultaneidad*: El *factor de simultaneidad para ocupantes* se suele utilizar en algunos tipos de instalaciones, ya que no es frecuente que en el local se encuentren a la vez todos los usuarios del mismo.

$$q \begin{cases} \text{sensible} \\ \text{latente} \end{cases} = np \cdot \begin{cases} Qp_{\text{sensible}} \\ Qp_{\text{latente}} \end{cases} \cdot Fs \quad \text{Ec. 5}$$

q: Ganancia de calor debida a los ocupantes

np: Número de personas

Qp: Ganancia por ocupante

Fs: Factor de simultaneidad

	Conducción por cerramientos	Potencia sensible		Potencia latente	
			Signo		Signo
Verticales	Muros	$q_{i,\theta-n} = U \cdot A \cdot (T_{sa,\theta-n} - T_{comfort})$ $Q_{\theta} = c_0 \cdot q_{i,\theta} + \dots + c_{23} \cdot q_{i,\theta-23}$	Ec.1 Ec.2	±	x
	Muros semienterrados	$q_{i,\theta-n} = U \cdot A \cdot (T_0 - T_{comfort})$ $Q_{\theta} = c_0 \cdot q_{i,\theta} + \dots + c_{23} \cdot q_{i,\theta-23}$		±	x
	Huecos	$Q_c = U \cdot A \cdot (T_{out} - T_{in})$		±	x
Horizontales	Cubierta	$q_{i,\theta-n} = U \cdot A \cdot (T_{sa,\theta-n} - T_{comfort})$ $Q_{\theta} = c_0 \cdot q_{i,\theta} + \dots + c_{23} \cdot q_{i,\theta-23}$		±	x
	Solera	$Q_{paralelo} = F_2 \cdot P \cdot (T_i - T_o)$ $Q_{perpendicular} = U \cdot A \cdot (T_{terreno} - T_{comfort})$	Ec.3	±	x
	Radiación solar				
	Ventanas	$Q_b = F_u \cdot A \cdot (E)_d + SHGC(\theta) \cdot EAC$ $Q_d = (1 - F_u) \cdot A \cdot (E_d + E_r) + < SHGC > d \cdot EAC$		+	x
	Ganancias internas				
	Iluminación/equipos	Tablas/Datos fabricante		+	Tablas/Datos fabricante
	Ocupantes	Q_p (Tabla. 8) $Q_s = np \cdot Q_p \cdot Fs$	Ec.4	+	Q_L (Tabla. 8) $Q_L = np \cdot Q_p \cdot Fs$
					Ec.5

Tabla. 9 Resumen de las ecuaciones usadas del punto 1-9 del esquema para el cálculo de los flujos de calor

5.5.(10). Dividir los flujos de calor en su parte convectiva

Según el método RTS expuesto es necesario dividir la parte de sensible de las ganancias en su parte convectiva y radiativa. [2] al enunciar el método recoge en una tabla tales divisiones:

Table 19 Convective and Radiant Percentages of Total Sensible Heat Gain

Heat Gain Source	Radiant Heat, %	Convective Heat, %
Transmitted solar, no inside shade	100	0
Window solar, with inside shade	63	37
Absorbed (by fenestration) solar	63	37
Fluorescent lights, suspended, unvented	67	33
Fluorescent lights, recessed, vented to return air	59	41
Fluorescent lights, recessed, vented to return air and supply air	19	81
Incandescent lights	80	20
People	See Table 1	
Conduction, exterior walls	63	37
Conduction, exterior roofs	84	16
Infiltration and ventilation	0	100
Machinery and appliances (see Table 13)	20 to 80	80 to 20

Sources: Pedersen et al. (1998), Hosni et al. (1999).

Tabla. 10 Porcentajes convectivos y radiativos del flujo de calor sensible

Procedencia del flujo de calor	Flujo radiativo, %	Flujo convectivo, %
Radiación solar, protección exterior (difusa+reflejada)	63	37
Radiación solar, protección exterior (directa)	100	0
Conducción, muros	63	37
Conducción, cubiertas	84	16
Conducción ventanas	63	37
Solera	0	100
Ocupación ¹²	60	40
Infiltración y ventilación	0	100

Tabla. 11 Porcentajes convectivos y radiativos del flujo de calor sensible utilizados

De acuerdo a lo expuesto en la Tabla. 11 se obtiene la parte convectiva del flujo de calor. La parte radiativa se calcula más adelante porque es necesario incluir los coeficientes RTS (el retraso radiativo), como se han incluido hasta ahora los CTS (retraso conductivo).

En la Tabla. 12 se muestra el método de cálculo para cada uno de estas porciones convectivas.

Procedencia del flujo de calor	Parte de carga convectiva
Muros (enterrados y semienterrados)	$Q_{\theta} \cdot 0.37$
Cubierta	$Q_{\theta} \cdot 0.16$
Huecos	$Q_c \cdot 0.37$
	$(Q_b + Q_d) \cdot 0.37$
	$Q_b \cdot 0$
Solera	$Q_{paralelo} \cdot 1$
	$Q_{perpendicular} \cdot 1$
Ocupantes	$Q_s \cdot 0.4$

Tabla. 12 Porcentaje de flujo convectivo

¹² Para la parte sensible de la carga por ocupación, la carga latente es toda convectiva

5.5.(11). Flujo de calor por infiltraciones y ventilación

Es necesario prever una cierta renovación del aire, con el fin de eliminar olores y humos producidos y para introducir la cantidad suficiente de oxígeno necesaria para los procesos biológicos. Una correcta ventilación es además indispensable para la “salud” del edificio, un defecto de ventilación puede suponer la aparición de condensaciones en los puntos más fríos de la vivienda.

El aire exterior introducido se compensa con la misma cantidad de aire extraído por ventanas, puertas o huecos en la fachada abiertos a tal efecto. Este balance es necesario para mantener la misma cantidad de aire seco en el local.

El flujo de calor (sensible y latente) por infiltraciones o ventilación se aporta como carga instantánea (por tanto no se aplican los coeficientes RTS). Esta carga se obtiene de las expresiones:

$$Q_{sensible} = V_{ventilación} \cdot \rho_s \cdot C_p \cdot (T_0 - T_{comfort}) \cdot F_{ocupación} \quad \text{Ec.6}$$

$$V_{ventilación}: \text{Caudal volumétrico de aire} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\rho_s: \text{Densidad del aire} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$C_p: \text{Calor específico del aire, se asume } 1020 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$T_0: \text{Temperatura seca exterior} [K]$$

$$F_{ocupación}: \text{Factor de ocupación; } 0.75$$

$$Q_{latente} = V_{ventilación} \cdot \rho_s \cdot h_{fg} \cdot (W_e - W_L) \cdot F_{ocupación} \quad \text{Ec.7}$$

$$V_{ventilación}: \text{Caudal volumétrico de aire} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\rho_s: \text{Densidad del aire} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$h_{fg}: \text{Calor de cambio de fase vapor – agua líquida} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$W_e: \text{Humedad específica del aire de entrada} \left[\frac{kg}{kg_{aire\ seco}} \right]$$

$$W_L: \text{Humedad específica del aire interior} \left[\frac{kg}{kg_{aire\ seco}} \right]$$

$$F_{ocupación}: \text{Factor de ocupación; } 0.75$$

Caudal volumétrico de ventilación según la legislación española.

La legislación contempla unas necesidades de ventilación en función de la actividad de la persona, que depende por tanto del uso del local a climatizar.

Según Pinazo, estos valores se han revisado, estableciendo mayores valores de caudales de aire de ventilación. Debido a este aumento y la dificultad de cálculo de caudal de aire infiltrado se pueden despreciar las cargas por infiltraciones, hipótesis que he asumido para el proyecto y siempre en base a lo expuesto en [1].

Caudal volumétrico de infiltración por efecto del viento, según por la legislación española.

La legislación exige el cálculo de este caudal mediante el “método de la rendija”. Se asigna una cantidad de aire introducido en el local, en función del espesor de rendija de la puerta o la ventana (depende del tipo y estanqueidad y de la velocidad del viento incidente sobre esta puerta o ventana. Para el cálculo

solo se tienen en cuenta las superficies expuestas al viento, ya que se supone que por las no expuestas sale el aire.

Aunque la legislación exija el cálculo mediante este método, asumo, que el efecto del caudal de infiltraciones está incluido en el de ventilación en la nueva legislación. (Pg. 854 CTE [8])

La siguiente tabla está sacada del CTE (HS3 Calidad del aire interior [8]), presenta los valores mínimos de caudal de ventilación exigidos. Se trata de caudales **mínimos** de ventilación y **máximos** a efectos de ahorro energético.

Tabla 2.1 Caudales de ventilación mínimos exigidos

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

⁽¹⁾ En las cocinas con sistema de cocción por combustión o dotadas de calderas no estancas este caudal se incrementa en 8 l/s.

⁽²⁾ Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

Tabla. 13 Caudales de ventilación mínimos exigidos (Fte.[8])

Para la Tabla. 13 el número de ocupantes se considera igual a:

- En cada dormitorio individual, a uno y, en cada dormitorio doble, a dos;
- En cada comedor y en cada sala de estar, a la suma de los contabilizados para todos los dormitorios de la vivienda correspondiente.

Tipo de local	nº locales	A Caudal de ventilación unitario (q_v) [l/s]	B Número de ocupantes	B' Área total [m^2]	Caudal de ventilación total (q_v)= A·B o A·B' [l/s]
Dormitorio (individual)	1	5	1	no afecta	5
Dormitorio (compartido)	2		2·2	no afecta	20
Oficina	1	5	1	no afecta	5
Sala de estar	1	3	5	no afecta	15
Cuartos de baño	2	15 por local	no afecta	no afecta	30
Cocina	1	2 por m^2 útil	no afecta	18.63	37.27
Trastero	1	0.7 por m^2 útil	no afecta	18.75	13.12
Cuarto de instalaciones	1	0.7 por m^2 útil	no afecta	4.64	3.25
Zonas comunes (segunda planta-dormitorios)	1	3	5	no afecta	15
$\Sigma q_{vi} = 143.65 \text{ l/s} = 0.1436 \text{ m}^3/\text{s}$					

Tabla. 14 Caudales de ventilación de la vivienda por locales

5.5.(13). **Procesado de los flujos de calor como series de tiempo radiantes y obtención de la parte de carga térmica por radiación**

En este paso se procesan los flujos de calor usando los factores periódicos de respuesta (a través de los coeficientes RTS), con el fin de obtener las cargas térmicas debidas a la parte radiativa de cada flujo de calor. De manera genérica se expone la siguiente ecuación:

$$Q_r \cdot \% \text{ radiativo} = (r_0 \cdot q_{i,\theta} + \dots + r_{23} \cdot q_{i,\theta-23}) \cdot \% \text{ radiativo}$$

Q_r : Flujos de calor procesados a través de RTF

r_i : Coeficiente RTS. Representa la fracción de pulsación convectada al aire ambiente en el instante i .

% radiativo: Porcentaje del flujo de calor que es radiativo

Todas las variables de la ecuación se han obtenido en pasos anteriores, sin embargo, es necesario profundizar en el cálculo de los coeficientes RTS:

Al igual que para los coeficientes CTS se ha recurrido al software **PRF/RTF Generator**¹³. En este caso es necesario introducir cada una de las propiedades de las superficies que forman el local:

1. Cada una de sus paredes (definiendo su orientación)
2. Cubierta
3. Solera

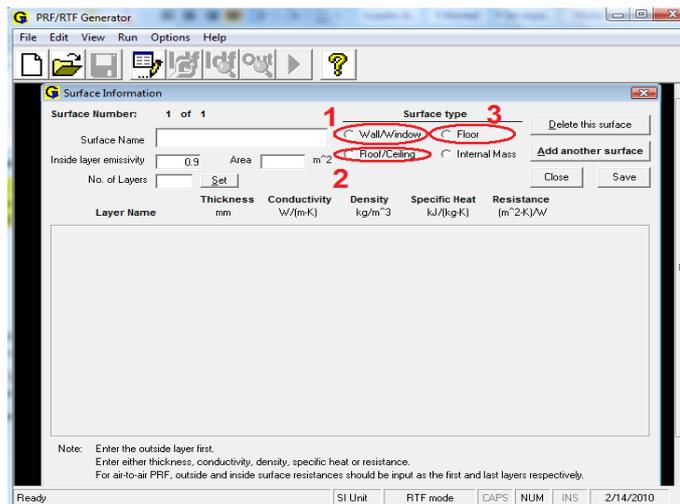


Fig. 20 Interfaz del software PRF/RTF Generator con los tipos de superficie señaladas

¹³ Este programa desarrollado por *Iu, Ipseng* para el departamento de ingeniería mecánica y aeroespacial de la *Universidad de Oklahoma*, lo está en base a los algoritmos descritos en *ASHRAE LOADS TOOLKIT*, de cálculo de cargas térmicas mediante el método de las series de tiempo radiantes. El método de las series de tiempo radiantes (RTSM), asume que almacenamiento y liberación de energía en una zona, se aproxima a la que describen factores de respuesta predeterminados “factores radiantes de tiempo”. Incorporando estas simplificaciones, el método RTS se convierte en explícito. Este método es apto para el cálculo de cargas pico, así como para el cálculo de contribuciones horarias a la carga térmica. Las funciones de transferencia de conducción (CTF) se calculan mediante la implementación de sistemas lineales y funciones de transferencia, de los que se obtienen los factores periódicos de respuesta (PRF).

CTF y PRF solo dependen de las propiedades del material y reflejan la respuesta en estado transitorio de una construcción, cualesquiera que sean las condiciones de contorno.

Para mayor información acerca del modelo del programa, se puede consultar [9.Chen, Y. and S. Wang, A new procedure for calculating periodic response factors based on frequency domain regression method. *International Journal of Thermal Sciences*, 2005. 44(4): p. 382-392.]

La salida del programa son los coeficientes RTS. Tanto para radiación de onda larga, *LW RTF* como para directa del sol, *SOLAR RTF*.

LW RTF: Son de aplicación para los flujos de calor radiantes provenientes de personas, iluminación, muebles, paredes, cubiertas y suelos. También se aplican para la radiación solar difusa y reflejada, así como para la global transmitida cuando se tienen elementos de sombra interiores, persianas, cortinas, etc. Se asume que la radiación de estas fuentes se distribuye más uniformemente en las superficies de la habitación.

SOLAR RTF: Para la radiación solar directa transmitida a través de los acristalamientos, energía radiante que se asume se distribuye por el suelo y los muebles únicamente).

En la Fig. 21 se muestra la salida del programa para las características de construcción de la vivienda.

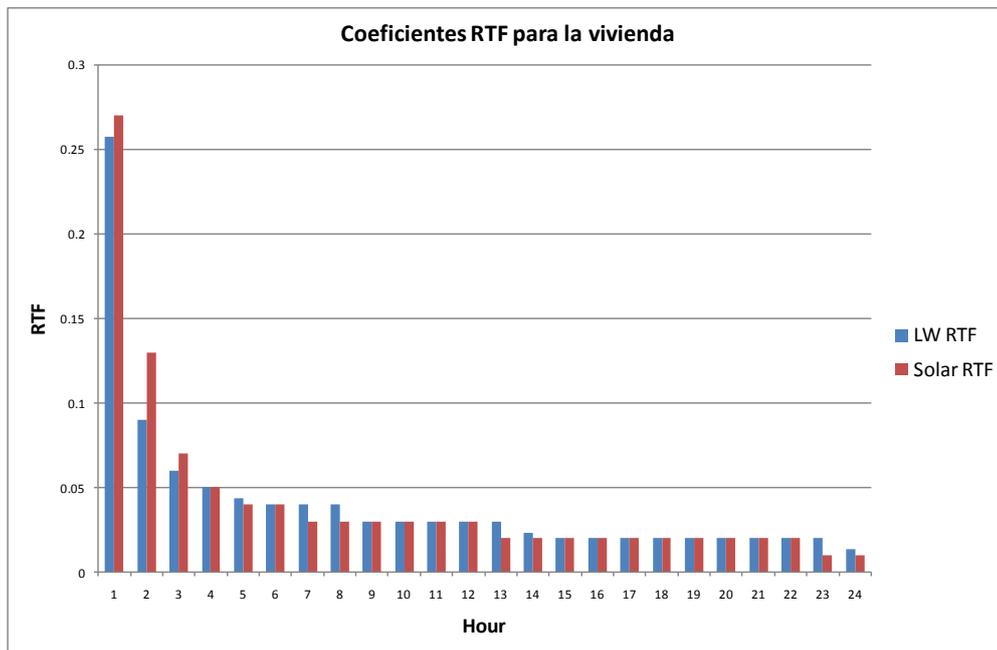


Fig. 21 Coeficientes RTF para la vivienda, obtenidos de [ref PRF/RTF Generator] que son función del tipo de construcción

Al igual que para el paso 5.5.(10), de acuerdo con la Tabla. 11 se tiene el porcentaje de flujo de calor que es radiativo. Se expone el resultado del procesado de los flujos de calor como series de tiempo radiantes discriminado por tipo de fuente:

Procedencia del flujo de calor	Parte de carga radiativa (% Radiativo)
Muros (enterrados y semienterrados)	$Q_r \cdot 0.63$
Cubierta	$Q_r \cdot 0.84$
Huecos	$Q_{c_r} \cdot 0.63$
	$(Q_{b_r} + Q_{d_r}) \cdot 0.63$
	$Q_{b_r} \cdot 1$
Solera	$Q_{paralelo} \cdot 0$
	$Q_{perpendicular} \cdot 0$
Ocupantes	$Q_{s_r} \cdot 0.6$

Tabla. 15 Porcentaje de flujo radiativo

5.5.(14). Cargas térmicas horarias

Calculados todos los pasos del esquema de la Fig. 4 se puede calcular el valor de las cargas térmicas horarias, para ello, se suman los términos convectivos y radiativos de cada carga.

5.6. Cumplimentación de las fichas justificativas del CTE

Toda vez terminado el proceso de cálculo, es necesario comprobar el cumplimiento del apartado de construcción de la exigencia básica HE1 del código técnico de la edificación.

Para la verificación del cumplimiento de la limitación de demanda energética es necesario comprobar por un lado las zonas de baja carga interna y por otro para las de alta carga interna. En este caso al no tener zonas de alta carga interna el procedimiento se simplifica. En caso de que alguno de los cerramientos no cumpla con los límites de transmitancia térmica establecidos, será necesario recalcularlo.

HE 1. Limitación de la demanda energética

Este documento establece que los edificios de nueva construcción así como los que sean sujeto de rehabilitaciones con una superficie inferior a los 1000 m², donde se renueve más del 25 % de los cerramientos, *dispondrán de una envolvente con unas características térmicas que limiten la demanda energética permitiendo alcanzar el bienestar térmico en función del clima y del uso del edificio.*

Procedimiento de verificación. El CTE en su directiva básica HE1 propone verificar el cumplimiento de la limitación de demanda de energía en base a dos procedimientos: opción simplificada y opción general. En este caso se utiliza la **opción simplificada**, está basada en el control indirecto de la demanda energética de los edificios mediante la limitación de los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen la envolvente térmica. Estos parámetros característicos no podrán superar unos valores límite permitidos.

Aplicabilidad de la opción. Se establecen dos condiciones que han de cumplirse de manera simultánea:

- Que el porcentaje de huecos de cada fachada sea inferior al 60% de la superficie de la misma. Como excepción, se admiten porcentajes de huecos superiores al 60% en aquellas fachadas cuyas áreas supongan un porcentaje inferior al 10% del área total de las fachadas del edificio.
- Que el porcentaje de lucernarios sea inferior al 5% del total de la cubierta.

Orientación de la fachada ¹⁴	Área total de fachada [m ²]	Área de huecos [m ²]	% Superficie de huecos
Norte	41.04	15	36.55
Sur	151.44	90.35	59.7
Este	23	1	4.3
Oeste	23	1.5	6.5

Tabla. 16 Comparación área de huecos y área de fachada

Atendiendo a la Tabla. 16, la opción simplificada es aplicable a la vivienda diseñada, puesto que en ninguna de las fachadas se supera el 60% de porcentaje de huecos.

Conformidad con la opción. El procedimiento de aplicación de la opción simplificada es el siguiente (siguiendo el guión expuesto en [3]):

¹⁴ Según la definición del CTE, se entiende la fachada por el cerramiento exterior en contacto con el aire cuya inclinación sea superior a 60º respecto a la horizontal. Por tanto, en la tabla solo se muestran las porciones de muro descubiertas y no el total, que incluiría las porciones semienterradas.

- Determinación de la zonificación climática. Madrid (D), Madrid capital (3), la zonificación climática de la ubicación del proyecto es **D3**.
- Clasificación de los espacios del edificio. Se consideran todos los espacios de la vivienda como espacios con **baja carga interna**.
- Definición de la envolvente térmica y cerramientos. Aunque a lo largo del proyecto he intentado ser coherente con la nomenclatura incluida en el CTE, expondré la misma a continuación (con objeto de disipar posibles dudas derivadas de la lectura).

Envolvente térmica del edificio. Está compuesta por todos los cerramientos que limitan espacios habitables con el ambiente exterior (aire o terreno u otro edificio) y por todas las particiones interiores que limitan los espacios habitables con los espacios no habitables, que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior. [3]

Los cerramientos y particiones interiores de los espacios habitables se clasifican según su situación en las siguientes categorías:

- Cubiertas. Comprenden aquellos cerramientos superiores en contacto con el aire cuya inclinación sea inferior a 60° respecto a la horizontal.
- Suelos. Cerramientos suelos, comprenden aquellos cerramientos inferiores horizontales o ligeramente inclinados que estén en contacto con el aire, con el terreno, o con un espacio no habitable.
- Fachadas. Comprenden los cerramientos exteriores en contacto con el aire cuya inclinación sea superior a 60° respecto a la horizontal. Se agrupan en 6 orientaciones según los sectores angulares contenidos en la Fig. 22. La orientación de una fachada se caracteriza mediante el ángulo α que es el formado por el norte geográfico y la normal exterior de la fachada, medido en sentido horario.

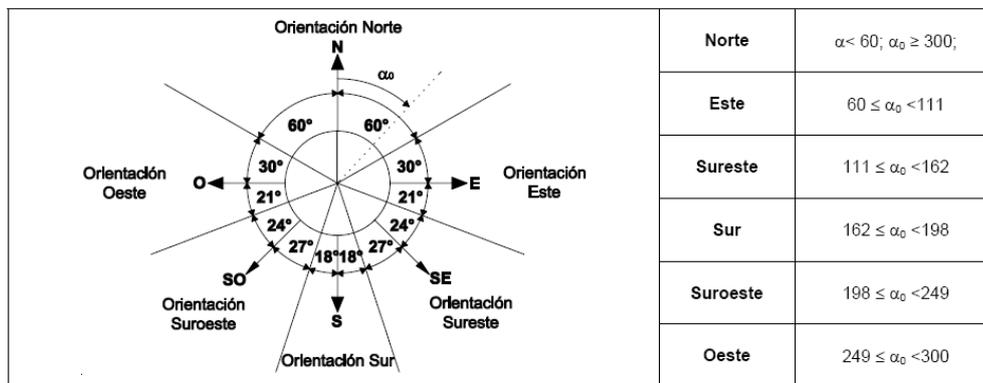


Fig. 22 Orientaciones de las fachadas

- Medianerías, comprenden aquellos cerramientos que lindan con otros edificios ya construidos o que se construyan a la vez y que conformen una división común. Si el edificio se construye con posterioridad el cerramiento se considerará, a efectos térmicos, una fachada.
- Cerramientos en contacto con el terreno, comprenden aquellos cerramientos distintos a los anteriores que están en contacto con el terreno.
- Particiones interiores, comprenden aquellos elementos constructivos horizontales o verticales que separan el interior del edificio en diferentes recintos.
- Comprobación del cumplimiento de las limitaciones de permeabilidad del aire establecidas en el apartado 2.3 de las carpinterías de los huecos y lucernarios de la envolvente térmica.
- Cálculo de los parámetros característicos de los distintos componentes de los cerramientos y particiones interiores según el apéndice E.
- Limitación de la demanda energética:

1. Comprobación de que cada una de las transmitancias térmicas de cerramientos y particiones interiores es inferior al valor máximo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Transmitancia térmica máxima de *cerramientos y particiones interiores* de la envolvente térmica U en $W/m^2 K$

<i>Cerramientos y particiones interiores</i>	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con <i>espacios no habitables</i> , primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos ⁽²⁾	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

⁽²⁾ Las transmitancias térmicas de vidrios y marcos se compararán por separado.

Fig. 23 Transmitancia térmica máxima [Fte HE1 CTE]

- Parámetros característicos que definen la envolvente térmica:

U_M Transmitancia térmica de muros de fachada

U_C Transmitancia térmica de cubiertas

U_S Transmitancia térmica de suelos

U_T Transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno

U_H Transmitancia térmica de huecos

F_H Factor solar modificado de huecos

F_L Factor solar modificado de lucernarios

U_{MD} Transmitancia térmica de medianerías

2. Cálculo de la media de los distintos parámetros característicos para las distintas zonas, en este caso se consideran todas de baja carga interna.
3. Comprobar que los parámetros característicos medios son inferiores a los valores de la siguiente tabla:

ZONA CLIMÁTICA D3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno $U_{Mlim}: 0,66 W/m^2 K$
 Transmitancia límite de suelos $U_{Slim}: 0,49 W/m^2 K$
 Transmitancia límite de cubiertas $U_{Clim}: 0,38 W/m^2 K$
 Factor solar modificado límite de lucernarios $F_{Llim}: 0,28$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos ⁽¹⁾ $U_{Hlim} W/m^2 K$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-	0,57
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,42	0,58	0,45
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

⁽¹⁾ En los casos en que la transmitancia media de los muros de fachada U_{Mm} , definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a 0,47 se podrá tomar el valor de U_{Hlim} indicado entre paréntesis para las zonas climáticas D1, D2 y D3.

Fig. 24 Valores límite de los parámetros característicos medios

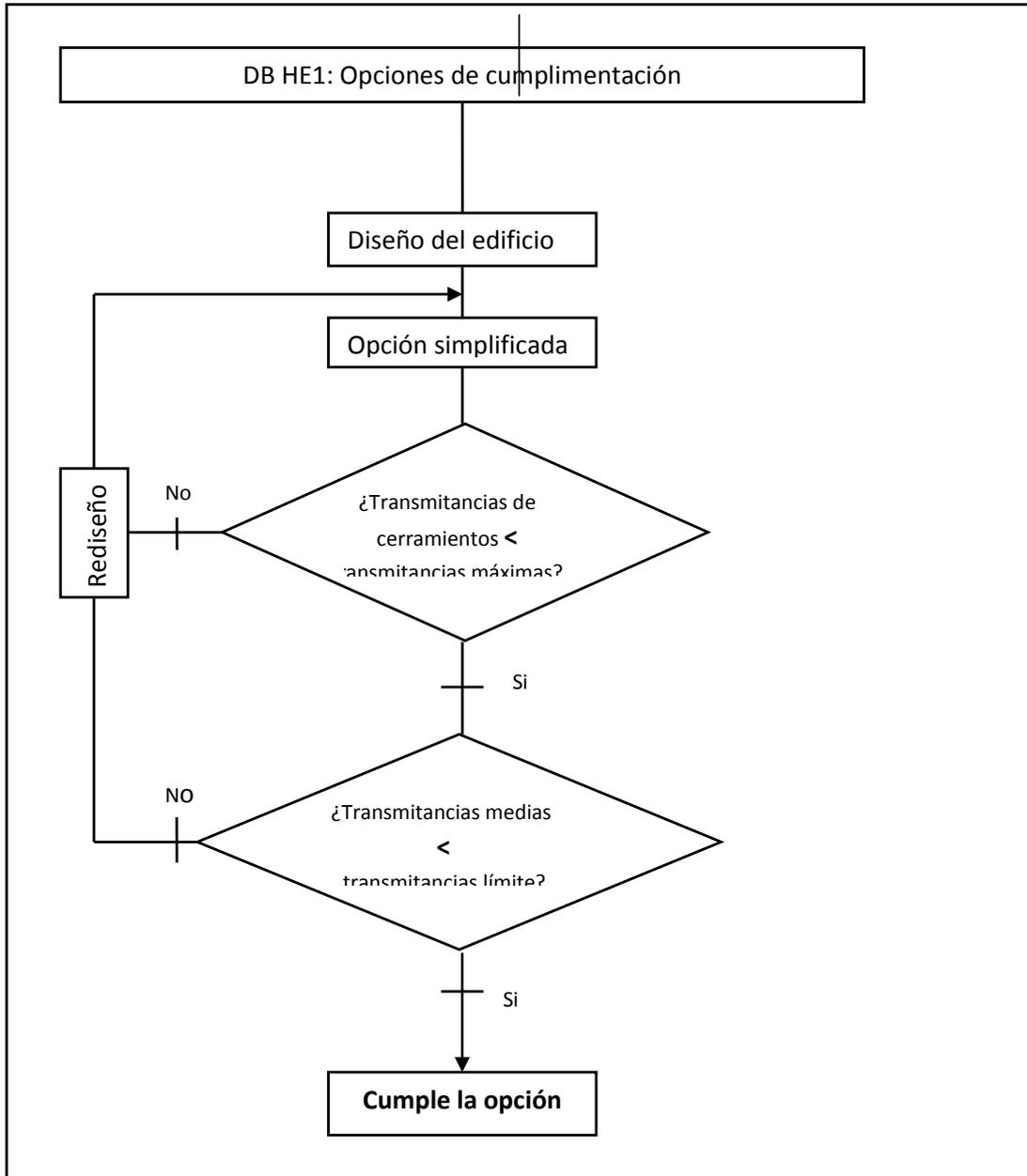


Fig. 25 Diagrama de decisión, cumplimentación de la opción simplificada

Habiéndose calculado a lo largo del proyecto los parámetros característicos de acuerdo al *apéndice E de la directiva básica HE1*. Para determinar la conformidad con la opción se seguirá lo expuesto en el subapartado *i) Limitación de la demanda energética*:

1. Comparación de las transmitancias térmicas con su valor límite máximo

	U_r [W/K·m ²] máxima	U_r [W/K·m ²] de diseño		
		Norte	Sur	
Muros de fachada	0.86 ≥	0.203	x	Planta baja (semienterrada)
		x	0.309	Planta baja (descubierta)
		x	x	Planta baja (total)
		0.309	0.309	Planta primera (descubierta)
		0.175	x	Planta primera (semienterrada)
		Este ≡ Oeste		
		0.212		Semienterrada A1
		0.176		Semienterrada A2
0.309		Descubierta		
Perímetro del terreno	0.86 ≥	0.86		
Suelos	0.64 ≥	0.64		
Cubiertas	0.49 ≥	0.256		
Vidrios y marcos	3.5 ≥	1.7 ¹⁵		

Tabla. 17 Valores máximos de transmitancias térmicas

Todos los valores de las transmitancias térmicas de los elementos constructivos utilizados, son menores que los valores máximos propuestos. Salvo en el caso del suelo, situación que se resolverá más adelante.

2. Cálculo de los parámetros característicos medios.

ZONA CLIMÁTICA		D3		Zona de baja carga interna		
Muros (U_{Mm}) y (U_{Tm})						
Tipos			A (m ²)	U (W/m ² K)	A·U (W/K)	Resultados
N (Planta baja)	En contacto con el aire	x	x	x	x	$\Sigma A=134.28$ $\Sigma(A \cdot U)= 29.24$ $U_{Mm}=\Sigma(A \cdot U)/\Sigma A=0.216$
	En contacto con espacios no habitados	x	x	x	x	
	En contacto con el terreno (semienterrados)	T1	80.4	0.203	16.32	
ta pri	En contacto con el aire	M3	26.04	0.309	8.04	

15 Se refiere al extremo del vidrio. Para estar del lado de la seguridad elegimos el valor del extremo en lugar de el del centro del vidrio (igual a 1.42), ambos valores obtenidos de [ref ASHRAE]. Estos valores son coherentes con el valor de UH considerado.

	En contacto con espacios no habitados	x	x	x	x	
	En contacto con el terreno (semienterrados)	T2	27.84	0.175	4.87	
S	En contacto con el aire	M3	61.09	0.309	18.87	$\Sigma A=61.09$ $\Sigma(A \cdot U)=18.87$ $U_{Mm}=\Sigma(A \cdot U)/\Sigma A=0.309$
	En contacto con espacios no habitados	x	x	x	x	
	En contacto con el terreno (semienterrados)	x	x	x	x	
E	En contacto con el aire	M1	22	0.309	6.8	$\Sigma A=36.36$ $\Sigma(A \cdot U)=9.64$ $U_{Mm}=\Sigma(A \cdot U)/\Sigma A=0.26$
	En contacto con espacios no habitados	x	x	x	x	
	En contacto con el terreno (A1)	T3	8.77	0.212	1.859	
	En contacto con el terreno (A2)	T4	5.59	0.176	0.983	
O	En contacto con el aire	M1	21.5	0.309	6.64	$\Sigma A=35.86$ $\Sigma(A \cdot U)=9.48$ $U_{Mm}=\Sigma(A \cdot U)/\Sigma A=0.264$
	En contacto con espacios no habitados	x	x	x	x	
	En contacto con el terreno (A1)	T3	8.77	0.212	1.859	
	En contacto con el terreno (A2)	T4	5.59	0.176	0.983	

Suelos (U_{SM})					
Apoyados sobre el terreno	S1	156.42	0.688	107.61	$U_{MSm}=\Sigma(A \cdot U)/\Sigma A=0.688$
Perímetro del terreno	S	25 m	0.86	21.5	$U_{Pm}=\Sigma(L \cdot U)/\Sigma L=0.86$

Cubiertas y lucernarios (U_{CM} , F_{LM})					
Tipos		A (m^2)	U (W/m^2K)	A·U (W/K)	Resultados
En contacto con el aire exterior	C2	173	0.256	40.96	$\Sigma A=173$ $\Sigma(A \cdot U)=44.28$ $U_{Mm}=\Sigma(A \cdot U)/\Sigma A=0.256$
En contacto con espacios no habitables	x	x	x	x	
Lucernarios	x	x	x	x	

Huecos (U_{HM}, F_{HM}) $U_H = [(1 - F_M) \cdot U_{H,V} + FM \cdot U_{H,m}]^{16}$					
Tipos		A (m ²)	U_H (W/m ² K)	A·U _H (W/K)	Resultados
N	H1	(3·1)m ² /ventana·3 ventanas = 9 m²	1.7	28.56	$\Sigma A=22.4$ $\Sigma(A \cdot U)=38.08$ $U_{Mm}=\Sigma(A \cdot U)/\Sigma A=1.7$
	H2	(2·1)m ² /ventana·3 ventanas = 6 m²		9.52	
S	H3	(15·5.89)m ² = 88.3 m²		153	$U_{Mm}=\Sigma(A \cdot U)/\Sigma A=1.7$
	H4	(0.5·2)m ² /ventana · 2 ventanas = 1 m²			
E	H5	(2·0.5)m ² = 1 m²		1.7	$U_{Mm}=\Sigma(A \cdot U)/\Sigma A=1.7$
O	H6	(1.5·1)m ² = 1.5 m²		2.55	$U_{Mm}=\Sigma(A \cdot U)/\Sigma A=1.7$

Huecos (F_{HM}) Para su cálculo se usa la expresión: $F = F_s [(1 - F_M) \cdot g + FM \cdot 0.04 \cdot U_{H,m} \cdot \alpha]^{17}$ FM: Fracción del hueco ocupado por el marco (27.73) g: Factor solar de la parte semitransparente de hueco (0.7) $U_{H,m}$: Transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta (W/m ² K) (2) α : Absortividad del marco (0.7 para marrón medio) F_s : Factor de sombra del hueco o lucernario (1) ¹⁸					
Tipos		A (m ²)	F	A·F (m ²)	Resultados
N	H1	9	0.521	8.7528	$\Sigma A=22.4$ $\Sigma(A \cdot F)=18.4$ $F_{Hm}=\Sigma(A \cdot F)/\Sigma A=0.521$
	H2	6		2.9176	
S	H3	88.3		46.89	$\Sigma A=90$ $\Sigma(A \cdot F)=73.89$ $F_{Hm}=\Sigma(A \cdot F)/\Sigma A=0.521$
	H4	2		0.521	
E	H5	1		0	
O	H6	1.5		0.7815	$\Sigma A=1.5$ $\Sigma(A \cdot F)=1.23$ $F_{Hm}=\Sigma(A \cdot F)/\Sigma A=0.521$

Tabla. 18 Cálculo de los parámetros característicos medios

3. Comprobación de que los parámetros característicos medios son inferiores a los valores límite.

Demanda energética. La demanda energética de los edificios se limita en función del clima de la ubicación (**D3** para Madrid capital) y de la carga interna de los espacios que lo componen (**baja** carga interna).

Muros de fachada / Cerramientos en contacto con el terreno		Huecos			
U_{Mm}	U_{Mlim}	U_{Hm}	U_{Hlim}	F_{Hm}	F_{Hlim}

16 La transmitancia térmica del hueco se tiene como dato de [ref IDEA soluciones acristalamiento]

17 Las variables necesarias para el cálculo del factor solar, se tienen de las tablas de propiedades higrotérmicas, extraídas de la base de datos de [ref programa líder].

18 Como se ha comentado, el factor de sombra depende de la posición solar. Para estar del lado de la seguridad, se asume un valor de 100% (ventana completamente soleada).

N	0.216	0.66	1.7	2.1	0.521	x
S	0.309			3.1		0.61
E	0.26			2.4		x
O	0.264					x
Suelos		Cubiertas				
U_{Sm}		U_{Mlim}		U_{Cm}	U_{Clim}	
0.688		0.49		0.256	0.38	

Tabla. 19 Comparación de los valores medios de diseño con los valores límite

4. Rediseño de cerramientos

Del diagrama de decisión de la Fig. 25 y los resultados presentados en la Tabla. 19, se retrae que es necesario el rediseño de la solera, puesto que es el único de los cerramientos, cuya transmitancia media no cumple con el valor límite. Como solución, se ha optado por doblar el espesor del aislamiento de panel de tetones de poliestireno extrusionado (pensado para la instalación de suelo radiante), de este modo el nuevo valor de la transmitancia térmica pasa de 0.688 W/m²K a **0.436 W/m²K**.

Nuevo valor de la transmitancia térmica y detalle capa a capa de la solera:

Capa	Espesor [m]	Conductividad térmica [W/m·K]	Coefficiente de convección [W/m ² ·K]	U [W/m ² ·K]
Grava rodada o machaqueo	0.1	0.810	x	0.436
Hormigón con áridos ligeros	0.1	0.330	x	
Panel de tetones	0.05	0.031	x	
Mortero de cemento	0.003	0.190	x	
Gress ¹⁹	0.05	1.040	x	
Interior	x	x	5.88 ²⁰	

Conclusión: *Puesto que los valores de los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores son menores que los valores límite permitidos, se asume que la demanda energética también será menor, en comparación con un edificio que se corresponda con dichos valores límite.*

¹⁹ La elección del Gress como revestimiento ligero o revestimiento superficial, responde a las necesidades para un funcionamiento eficiente del suelo radiante. Cuanto mayor sea la resistencia térmica menor será el flujo de calor, por tanto en este caso interesa que la resistencia térmica sea

²⁰ Tabla E.6. CTE; Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores (su inversa)

5.7. Discusión de los resultados obtenidos

	Máximo	Mínimo	Medio
Julio	5073.4	-317.2	2640.9
21 de Julio	6874.60	2048.98	4300.78
Septiembre	5868.5	-506.6	1902.1
21 de Septiembre	3941.3	-4101.02	-964.24
Diciembre	2537.58	-6785.0	-4152.2
21 de Diciembre	-2942.5	-7729.8	-5861.8
Marzo	1121.5	-6353.4	-2978.7
21 de Marzo	6610.51	-3968.37	754.47

Tabla. 20 Resultados de carga térmica. Medias mensuales y días significativos

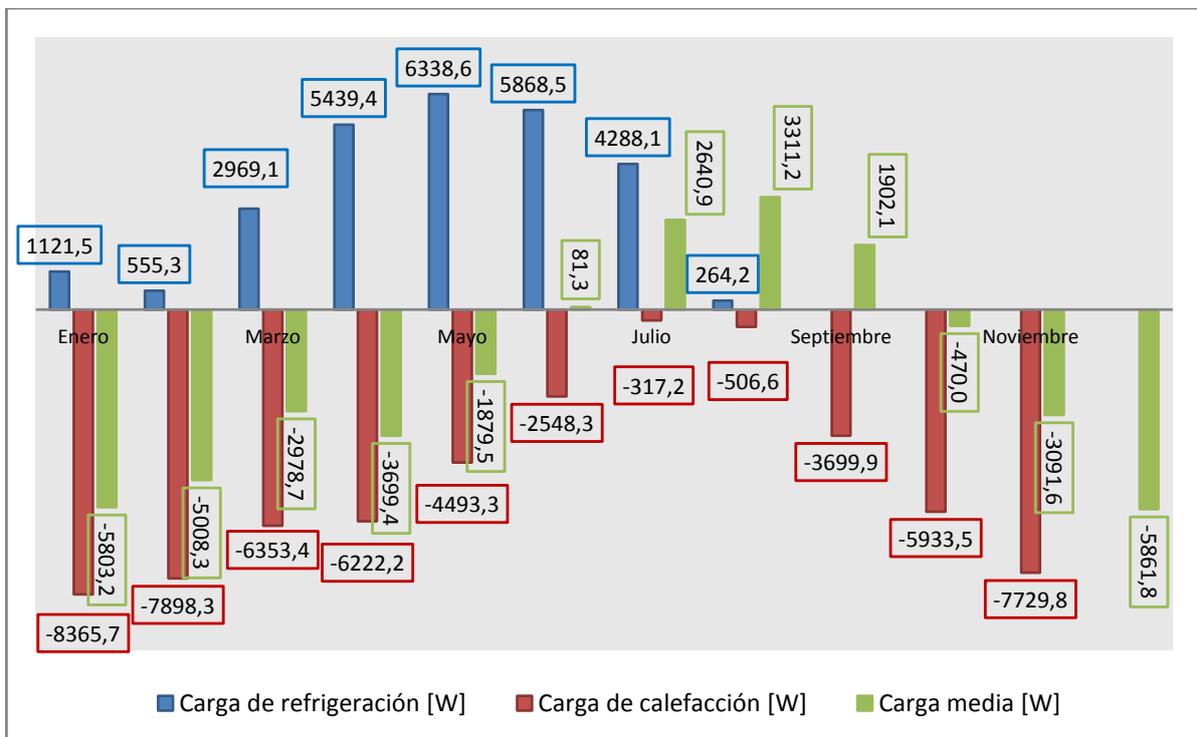


Fig. 26 Valores pico de la carga total y valores medios. Para los datos meteorológicos de medias mensuales

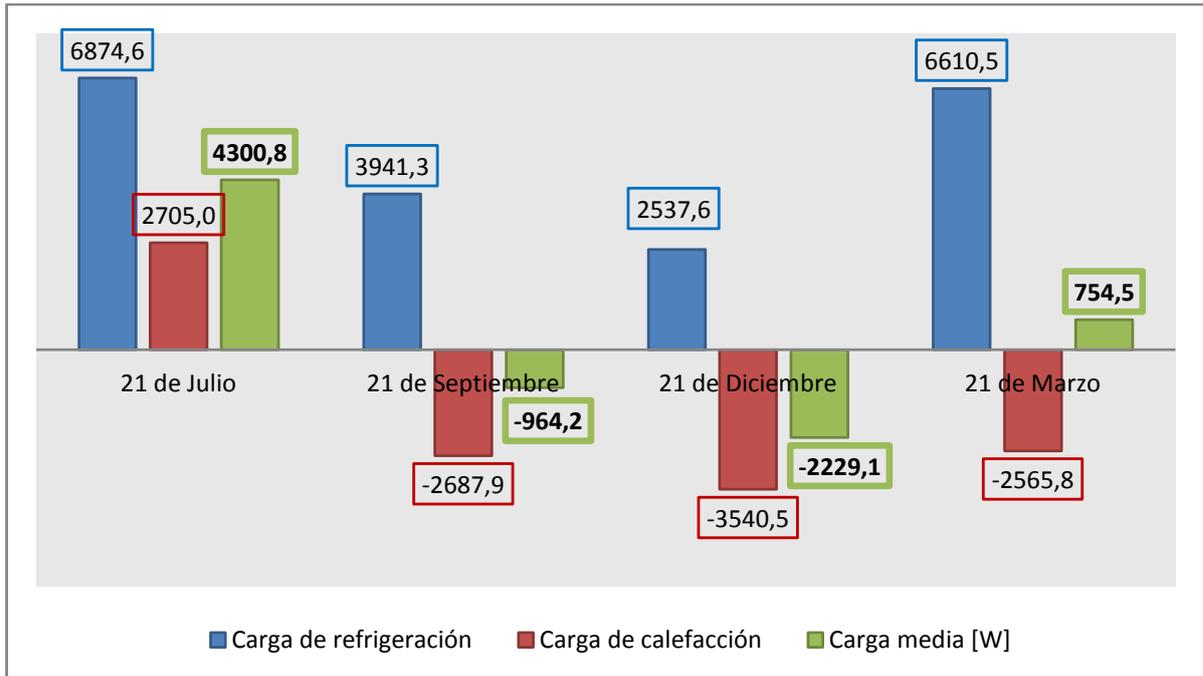


Fig. 27 Valores pico de la carga total. Para los datos meteorológicos de los días representativos

5.7.1. Evolución de la carga térmica horaria.

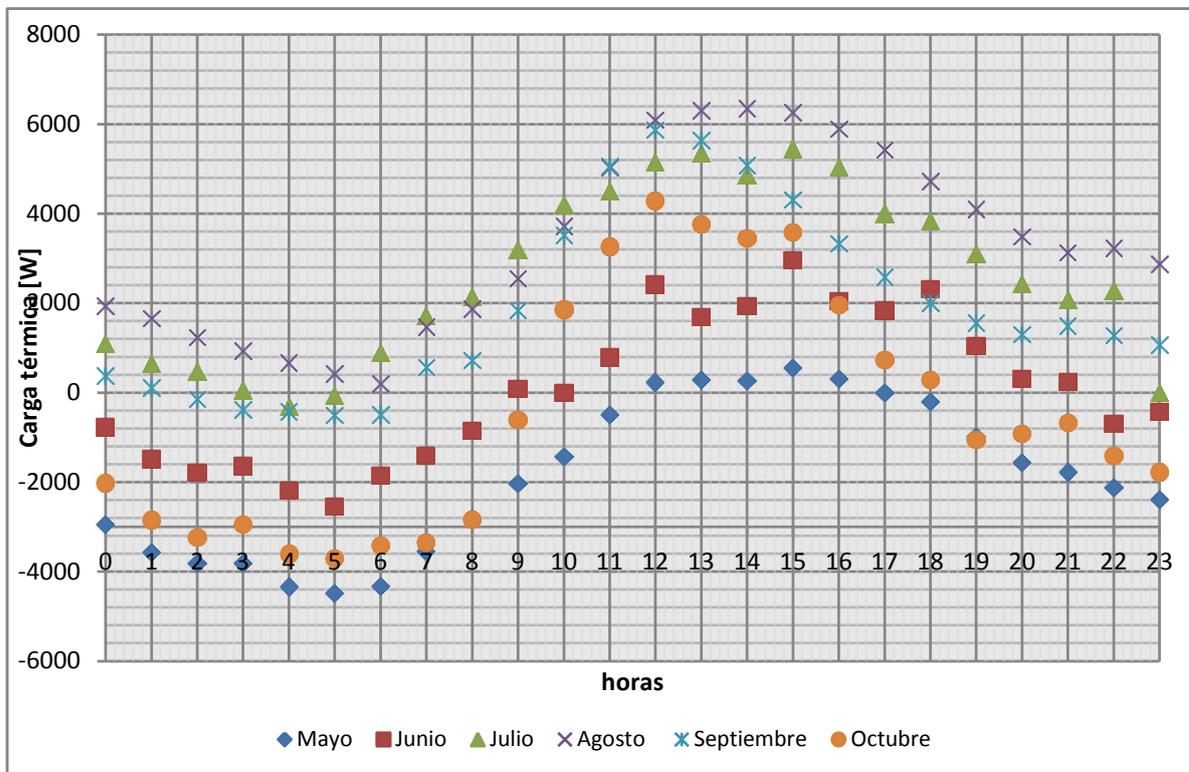


Fig. 28 Evolución de las cargas térmicas horarias para el período de refrigeración

Del análisis de resultados para el período de calefacción se pueden obtener algunas conclusiones. La única media del mes del período de refrigeración en el que en todas las horas se tienen ganancias de

calor, es la de **Julio**. Para el resto de meses, en las horas antes de la salida y después de la puesta de sol se dan pérdidas de calor (que aumentan cerca del comienzo y final del período), lo que supone una demanda de calefacción. Recordemos que tanto pérdidas como ganancias, dependen de la temperatura de confort considerada para cada estrategia.

En este período, se fijó una temperatura de confort de 24°C. En caso de reducirla, también lo harán las pérdidas. Lo más razonable es dejar variar la temperatura interna en evolución libre (desconectar el equipo de refrigeración). No obstante, para un confort óptimo el uso de termostato es imprescindible.

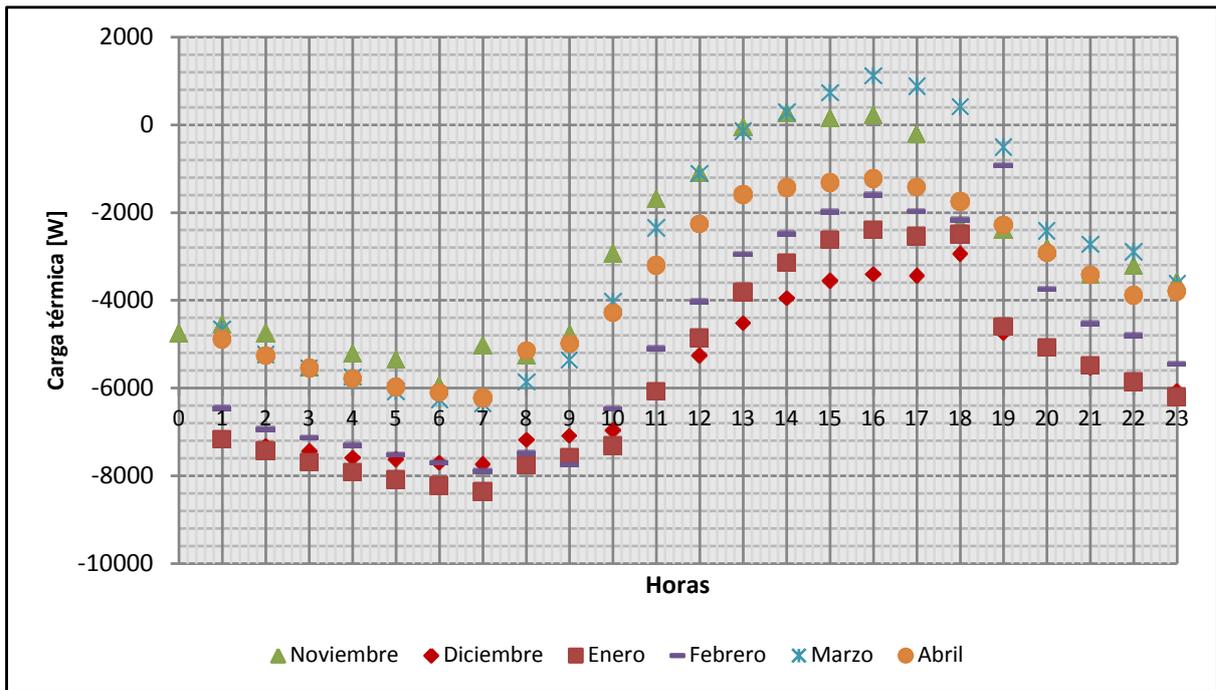


Fig. 29 Evolución de las cargas térmicas horarias para el período de calefacción

El inconveniente del uso de aleros fijos, es que puede suponer un sombreado del acristalamiento en meses en los que aún se necesita ganancia solar. El mes de **abril** es un claro ejemplo, el valor medio de porcentaje de superficie acristalada sombreada se encuentra en el 54.86% (marzo 32.53%). La repercusión que tiene sobre la carga térmica es que sea toda negativa.

Tanto las necesidades de calefacción en período de refrigeración, como las necesidades de refrigeración en período de calefacción, pueden considerarse como apoyos al sistema de climatización: las cargas térmicas se han calculado asumiendo una temperatura interior constante. Si en lugar de considerar un uso del sistema de climatización de 24 horas, se asume un uso intermitente y por tanto una evolución libre de la temperatura interior, estas “necesidades cambiadas” resultan apoyos a la climatización de las horas siguientes.

En la Fig. 29, atendiendo a los valores de necesidades de refrigeración en marzo se demuestra que esta afirmación no se puede considerar un axioma. Los niveles de carga son demasiado altos como para considerarlos asumibles por la vivienda sin apoyo auxiliar de refrigeración.

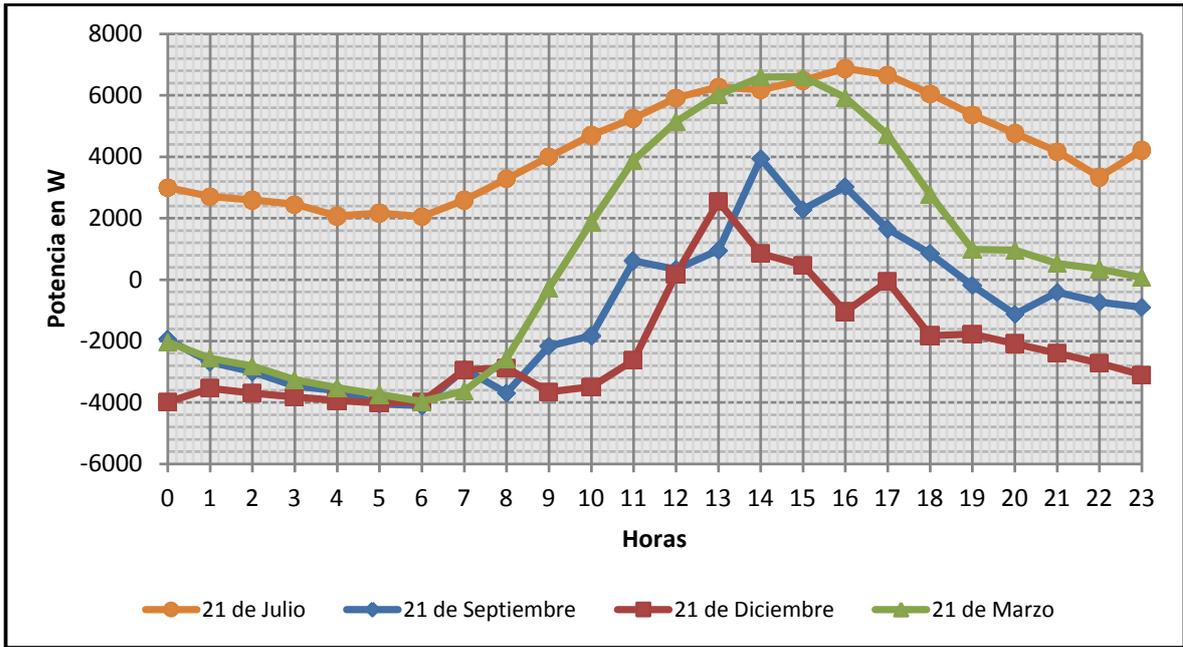


Fig. 30 Evaluación de las cargas térmicas horarias para los días representativos

5.7.2. Comparación de los resultados de carga térmica medios mensuales con los valores de los días significativos:

Media de Diciembre - 21 Diciembre. A priori, la carga térmica para el 21 de Diciembre debería ser mayor que la de la media del mes, debido a que es el comienzo astronómico del invierno y por tanto las condiciones climáticas empiezan a ser más extremas. Sin embargo, según los resultados, la carga térmica media del mes de diciembre es mayor. La diferencia entre la estimación y los cálculos se debe a:

- La temperatura media diaria del 21 de Diciembre es de 10.79°C, frente a los 5.85°C del mes de Diciembre (más del doble). Ante la misma temperatura de confort en ambas situaciones, supone que las pérdidas de calor por conducción se reduzcan en torno a un 29%.
- La radiación solar que atraviesa la superficie acristalada es mucho mayor que la de la media del mes, puede ser debido a un índice de transparencia atmosférica atípicamente alto (escasa nubosidad diaria).

En la Fig. 31 se presenta la evolución horaria de la carga térmica para los dos supuestos estudiados.

La influencia que la radiación que atraviesa las superficies acristaladas tiene sobre la carga térmica total (Fig. 32 y Fig. 33) es tal, que determina el contorno de esta. Esta influencia es la pretendida al incluir en el diseño de la vivienda la ganancia directa a través de la superficie acristalada en la fachada sur.

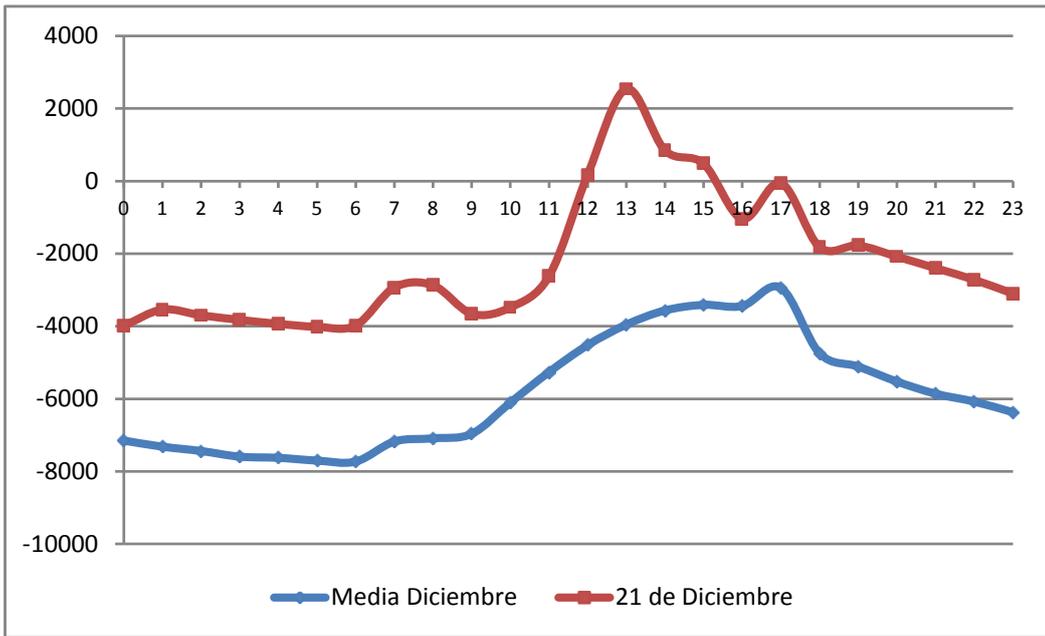


Fig. 31 Carga total hora a hora. Comparación del 21 de diciembre con la media del mes

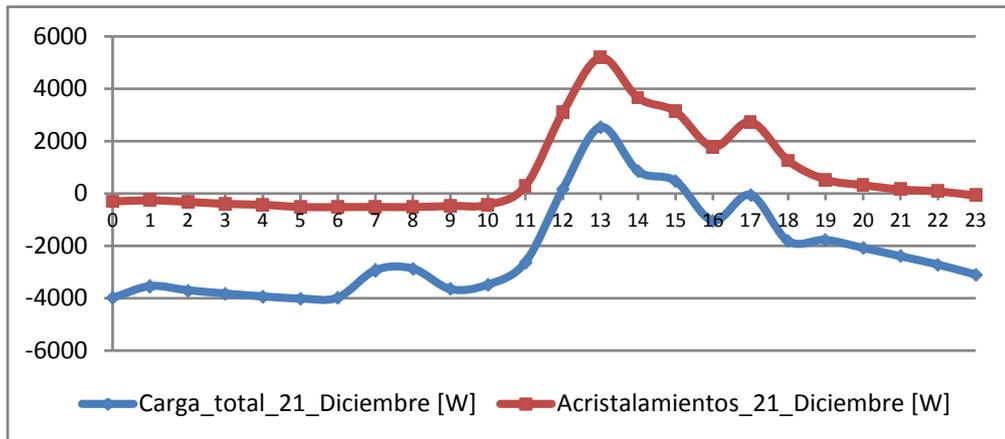


Fig. 32 Carga total frente a carga a través de los acristalamientos para el 21 de Diciembre

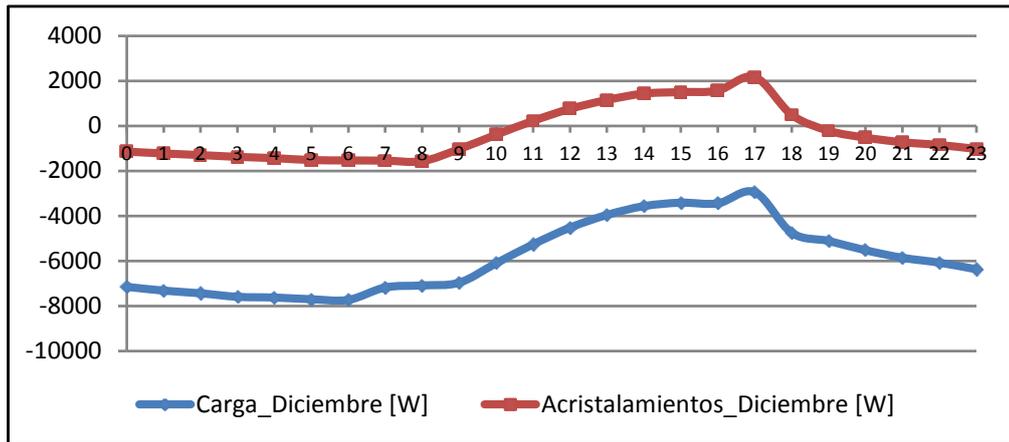


Fig. 33 Carga total frente a carga a través de los acristalamientos para la media de Diciembre

Media de Julio - 21 Julio. En este caso, los valores de carga más extremos se dan para el 21 de Julio. La experiencia dice que los máximos valores de carga de refrigeración se suelen dar en la última quincena de Julio, la carga térmica para el 21 de Julio debe ser mayor que la media del mes. El resultado obtenido es consistente con la anterior afirmación.

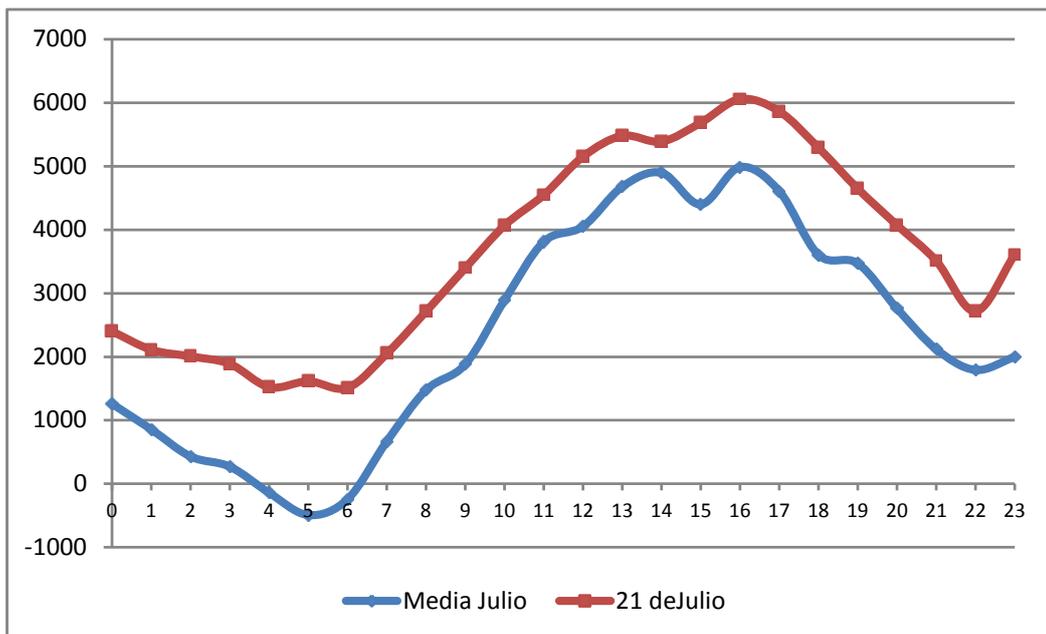


Fig. 34 Carga total hora a hora. Comparación del 21 de Julio con la media del mes

Media de Marzo - 21 Marzo. Para el 21 de Marzo aumentan las necesidades de refrigeración y disminuyen las de calefacción, con respecto a la media del mes. Este día, marca el inicio de la primavera astronómica, la irradiación solar aumenta al igual que lo hacen las temperaturas. Las diferencias entre el día y la media del mes son excesivamente pronunciadas. La diferencia es motivada por irradiación solar, que para las horas de radiación de este día en concreto, se sitúa en valores de la media del mes junio. La irradiación es un 23% mayor el 21 de marzo que la media de dicho mes.

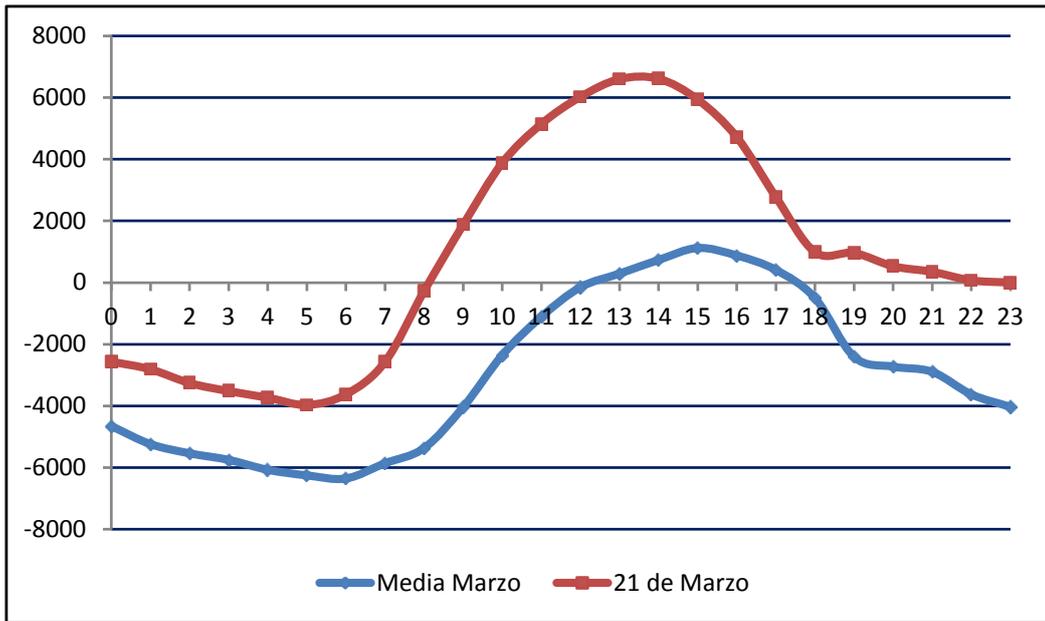


Fig. 35 Carga total hora a hora. Comparación del 21 de Marzo con la media del mes

Media de septiembre - 21 septiembre. El 21 de septiembre marca el comienzo del otoño, empiezan a aparecer cargas térmicas negativas (cargas de calefacción) entre la puesta y salida del sol mucho mayores que en comparación con la media del mes (finales del verano). Los valores de radiación solar caen al igual que las temperaturas, lo que implica menores cargas de refrigeración en las horas de sol.

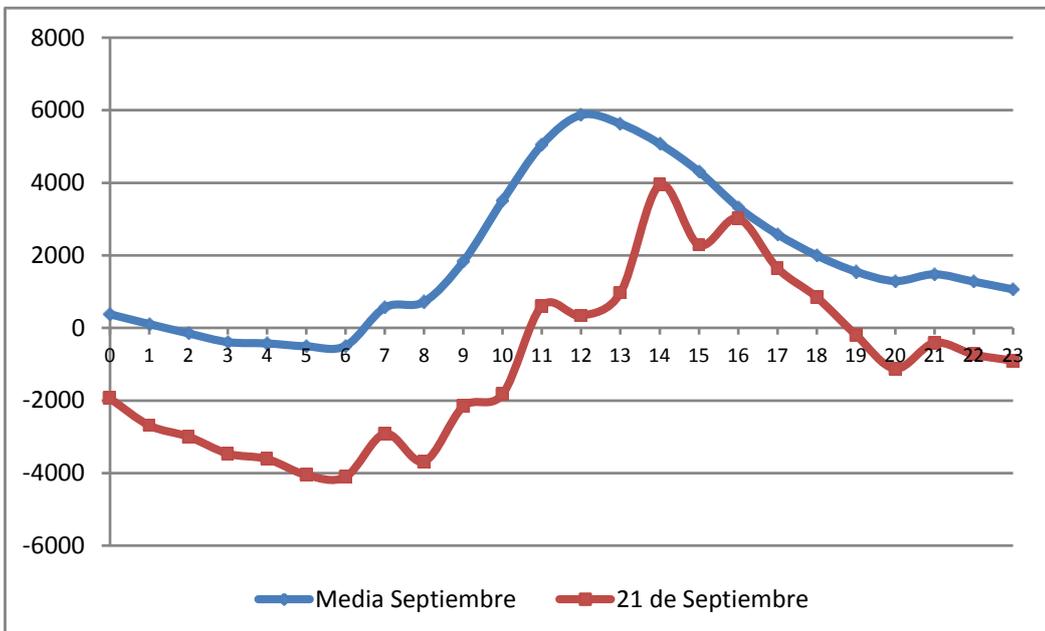


Fig. 36 Carga total hora a hora. Comparación del 21 de Septiembre con la media del mes

5.7.3. Valores de carga para el dimensionado de la instalación

En el momento de afrontar el cálculo de la carga térmica y atendiendo a los dos rangos de datos que manejo (medios mensuales y diarios), parecía lógico que fueran los datos diarios los que proporcionaran los valores pico para el dimensionado de la instalación. Sin embargo, esta afirmación no se cumple en todos los casos, lo que **reafirma el interés de calcular los requerimientos de carga hora a hora y para cualquier mes**. Sobre todo, teniendo en cuenta que los datos diarios son para un día concreto de un año concreto y no para una muestra formada a partir de diferentes años.

Datos climáticos medios mensuales:

- Máximo de carga térmica de refrigeración:

La mayoría de las instalaciones (en el hemisferio norte) tienen el momento de máxima carga térmica de refrigeración sobre las 15 horas solares de la segunda quincena de Julio [4]. En contraste, para el caso de estudio se da en el mes de **Agosto a las 15 horas locales** y toma un valor de 6338.56 W

Para el mes de Agosto, en la ubicación de la vivienda, las 15 horas solares corresponden con las 17 horas locales.

¿A qué se debe esta diferencia? En los meses de refrigeración, el principal aporte de carga a la carga térmica total de refrigeración es a través de los acristalamientos. De la protección solar se encarga el alero diseñado, alero que presenta su máxima eficiencia durante los meses de mayo a agosto. Esta eficiencia se refiere al bloqueo de la radiación solar directa, que de otro modo alcanzaría el interior de la vivienda. Entonces la respuesta a la pregunta planteada sería: *Se debe a que en el mes de Agosto la temperatura media es aún alta 24.66°C, frente a los 25.52°C de Julio. Del mismo modo la radiación global también es alta. Sin embargo el tercer parámetro relevante, la eficiencia del alero, pasa del 82.71 % para Julio (93% a las 15 horas) al 66.63% para Agosto.*

- Máximo de carga térmica de calefacción:

Se da en el mes de **Enero a las a las 7 horas locales** y toma un valor de **-8365.75 W**

Este valor coincide con el mes de la mayoría de las instalaciones, Enero [4]. No así en la hora, a las 7 horas locales que serían aproximadamente las 6 horas solares. Aunque haya una diferencia de una hora, *el soleamiento no es un factor determinante al contrario que en el caso de la refrigeración, puesto que a cualquiera de las dos horas la salida del sol aún no se ha producido.*

Datos climáticos días significativos:

En este caso, establecer comparaciones con los valores típicos de instalaciones no tiene sentido. Al tratarse de datos diarios puntuales para una año en concreto, 1995, los datos para este o aquel día, en un contexto histórico (lustros, décadas, siglos), podrían considerarse como datos atípicos y por tanto no son determinantes en las comparaciones.

- Máximo de carga térmica de refrigeración:

Se da en el **21 de Julio a las 17 horas locales** y toma un valor de **6874.6 W**.

Las 17 horas locales para la ubicación de la vivienda, corresponden con las 15 horas solares.

- Máximo de carga térmica de calefacción:

Se da para el **21 de diciembre a las 5 horas locales** (a horas solares) y toma un valor de **-4014.3 W**.

Los valores de demanda para el dimensionado de la instalación serán:

Calefacción: **-8365.75 W**, demanda de las **7 horas locales del mes de Enero**.

Refrigeración: **6874.6 W.**, demanda de las **17 horas locales del 21 de Julio**.

Para el dimensionado de la instalación de climatización, es necesario aplicarles a las anteriores potencias coeficientes de mayoración.

El coeficiente de mayoración aplicable a la carga de refrigeración según Pinazo, será de un 5% sobre el total, debido a las ganancias producidas por la misma instalación. (C)

El coeficiente de mayoración aplicable a la carga de calefacción se debe a un efecto combinado:

- La alta inercia térmica de la construcción impone unas necesidades mayores de potencia en los momentos de arranque de la instalación, que según Neila [5], está en torno al 10% del total. (C1)
- La inercia térmica de la instalación para funcionamientos distintos de las 24 horas. Para Pinazo, este valor es del 5%. (C2)

Potencia necesaria en la instalación:

$$P_{refrigeración} = Q_{max} \cdot C = 6874.6 \text{ W} \cdot 1.05 = 7218 \text{ W}$$

$$P_{calefacción} = Q_{max} \cdot C1 + C2 = 8365.75 \text{ W} \cdot (1.15) = 9620 \text{ W}$$

Existen tablas que contienen valores típicos de carga térmica de refrigeración (Fig. 37) para distintos tipos de construcciones y usos²¹. La tabla se ha obtenido de [1] y los valores son interpolables.

Comparando estos valores con los obtenidos para la vivienda diseñada, se pretende confirmar la consecución del principal objetivo buscado: **minimizar las necesidades de climatización, a través de soluciones de carácter bioclimático, en comparación con un tipo de construcción convencional.**

Tipo de local	m ² /persona	W/m ²
Viviendas o habitaciones de hotel	10	58
	15	81
	30	116
Oficinas	3	81
	10	140
	25	232
Almacenes	1.8	64
	8	175
	17	465

Fig. 37 Valores típicos de carga térmica de refrigeración para distintos tipos de construcciones y usos

Área planta baja: 156.42 m²

Área primera planta: 140 m²

Área total: 296.42 m² → 59.284 m²/persona.

Siguiendo la tendencia de los datos presentados en la tabla anterior, para el valor de 59.284 m²/persona, el valor de la carga térmica por unidad de superficie es de 152.17 W/m².

$$\text{Valor típico (152.17 W/m}^2) \gg (7218/296.42 = 24.35 \text{ W/m}^2)$$

²¹

Pinazo, incluye estas tablas en un libro, que es posterior a la redacción del actual código técnico de la edificación. El código técnico actual, mediante la ya comentada directiva HE1 de limitación de demanda energética, impone unas condiciones mucho más restrictivas. Conducentes a minimizar la demanda energética a través del uso de cerramientos de baja transmitancia térmica. Por tanto, los valores presentados en la tabla, serían significativamente más bajos en construcciones que cumplan con el actual código técnico.

Comparación con valores de potencia basados en la experiencia

En la Fig. 38 se muestran valores típicos de potencia instalada para viviendas en Madrid. A diferencia del proyecto, son para viviendas colectivas (no unifamiliares). Por tanto los valores tabulados, son menores²² que los requerimientos de potencia de una vivienda unifamiliar.

Los valores expuestos (para viviendas en Madrid), han sido calculados, basándose en las siguientes consideraciones:

- Ocupación diaria: 8h. Excepto calefacción (12h) y ACS (1h)
- Días de utilización por mes: 30.4 días (365/12)
- Potencia máxima mensual afectada de coeficientes de seguridad (1.2 para electricidad, calefacción y ACS y 2 para climatización), para contemplar fluctuaciones diarias

	Oficinas (Madrid)	Viviendas (Madrid)	Aeropuertos (Milán)
ELECTRICIDAD TOTAL [kWe/m ²]	0,035	0,052	0,053
ELECTR. EXCLUIDO CLIMA [kWe/m ²]	0,033	0,026	0,044
CALEFACCIÓN [kWt/m ²]	0,056	0,024	0,090
ACS [kWt/m ²]	-	0,25	-
CLIMATIZACIÓN [kWf/m ²]	0,077	0,125	0,060
CALEF + ACS + ABS [kWt/m ²]	0,171	0,196	0,116

Fig. 38 Comparativa de potencias instaladas [Ref. Instalaciones fluidotérmicas]

Potencia instalación [kW / m ²]		
$p = Q_{máz} \cdot C / \text{Área} \text{ [kW/m}^2\text{]}$		
	$P_{refrigeración} \text{ [kW/m}^2\text{]}$	$P_{calefacción} \text{ [kW/m}^2\text{]}$
Proyecto	7.21kW/300m ² = 0.024	9.62kW/300m ² = 0.032
Datos Fig. 38	0.125	0.024

Tabla. 21 Comparación potencia de instalación

El valor de la potencia necesaria de calefacción obtenido, está por encima del de referencia: **(0.032 kW/m² > 0.024 kW/m²)**. Esta diferencia no significa que el diseño no haya cumplido con los objetivos del proyecto (recordar que los valores tabulados en Fig. 38, hacen referencia a viviendas colectivas).

En el caso del valor de refrigeración, está por debajo **(0.024 kW/m² < 0.125 kW/m²)**.

Con el objetivo de establecer una comparación más ajustada, en el capítulo 6 se comparan los valores obtenidos para la vivienda diseñada con otra de construcción “convencional”, que a su vez cumpla con la exigencia HE1.

²² Las viviendas unifamiliares tienen mayores requerimientos de potencia, puesto que al aumentar el área expuesta sus pérdidas/ganancias de calor a través de los cerramientos aumentan.

En las tablas que siguen se presenta el aporte de cada carga térmica a la carga térmica total (en rojo, las cargas con distinto signo que la total).

Diciembre											
Hora	Cubierta	Muros	Sen_Ventilacion	Lat_ventilacion	Acristalamientos	Suelos	Sen. Iluminacion	sen_ocupacion	lat_ocupacion	Total	
0	8.49%	14.49%	32.70%	22.42%	15.96%	18.45%	-6.02%	-4.93%	-1.57%	-7151.17162	100.00%
1	8.30%	14.16%	32.37%	22.14%	16.69%	18.11%	-5.40%	-4.82%	-1.54%	-7318.79922	100.00%
2	8.16%	13.93%	32.05%	21.97%	17.41%	17.85%	-5.13%	-4.74%	-1.51%	-7438.24794	100.00%
3	8.00%	13.66%	31.78%	21.88%	18.09%	17.56%	-4.84%	-4.64%	-1.48%	-7594.18507	100.00%
4	7.97%	13.61%	31.49%	21.51%	18.76%	17.45%	-4.69%	-4.62%	-1.48%	-7626.31867	100.00%
5	7.89%	13.49%	31.20%	21.05%	19.69%	17.28%	-4.55%	-4.58%	-1.46%	-7701.82204	100.00%
6	7.86%	13.46%	31.28%	20.73%	19.82%	17.25%	-4.38%	-4.56%	-1.46%	-7729.75631	100.00%
7	8.46%	14.51%	33.32%	22.20%	21.48%	18.50%	-12.00%	-4.91%	-1.57%	-7177.34226	100.00%
8	8.57%	14.71%	33.53%	21.82%	22.10%	18.69%	-12.86%	-4.97%	-1.59%	-7089.2608	100.00%
9	8.72%	15.00%	33.68%	21.71%	14.78%	18.95%	-6.15%	-5.06%	-1.62%	-6964.42747	100.00%
10	9.95%	17.14%	35.56%	23.96%	6.40%	21.07%	-6.47%	-5.77%	-1.84%	-6103.91406	100.00%
11	11.53%	19.90%	37.91%	27.15%	-4.29%	23.81%	-7.17%	-6.70%	-2.14%	-5263.61528	100.00%
12	13.42%	23.20%	40.59%	30.89%	-16.80%	27.05%	-8.06%	-7.80%	-2.49%	-4520.18653	100.00%
13	15.34%	26.53%	43.43%	34.38%	-29.16%	30.34%	-9.11%	-8.91%	-2.84%	-3955.82238	100.00%
14	17.01%	29.45%	45.79%	38.07%	-40.36%	33.21%	-10.12%	-9.89%	-3.16%	-3564.76586	100.00%
15	17.78%	30.76%	45.82%	39.51%	-44.14%	34.30%	-10.39%	-10.34%	-3.30%	-3410.64189	100.00%
16	17.62%	30.45%	47.05%	39.85%	-45.67%	34.31%	-10.10%	-10.24%	-3.27%	-3441.59016	100.00%
17	20.60%	35.55%	57.99%	46.63%	-73.84%	40.70%	-11.83%	-11.98%	-3.82%	-2942.46428	100.00%
18	12.77%	21.99%	37.78%	29.42%	-10.49%	25.58%	-7.25%	-7.43%	-2.37%	-4747.2096	100.00%
19	11.86%	20.37%	36.77%	27.88%	4.13%	24.08%	-16.00%	-6.90%	-2.20%	-5111.80114	100.00%
20	10.98%	18.81%	35.61%	26.61%	9.38%	22.58%	-15.55%	-6.38%	-2.04%	-5524.74761	100.00%
21	10.35%	17.70%	35.28%	25.61%	12.36%	21.62%	-14.99%	-6.02%	-1.92%	-5858.87166	100.00%
22	9.98%	17.05%	34.99%	25.42%	13.91%	21.03%	-14.73%	-5.80%	-1.85%	-6076.6894	100.00%
23	9.53%	16.25%	34.94%	24.52%	16.05%	20.37%	-14.37%	-5.53%	-1.77%	-6368.6285	100.00%

21 de diciembre											
Hora	Cubierta	Muros	Sen_Ventilacion	Lat_ventilacion	Acristalamientos	Suelos	Sen. Iluminacion	sen_ocupacion	lat_ocupacion	Total	
0	9.80%	22.80%	46.47%	1.04%	7.65%	28.91%	-5.01%	-8.84%	-2.82%	-3988.694	100.00%
1	11.05%	25.71%	41.03%	0.93%	7.42%	32.65%	-5.65%	-9.96%	-3.18%	-3540.49312	100.00%
2	10.58%	24.64%	39.83%	2.73%	8.65%	31.55%	-5.41%	-9.53%	-3.04%	-3699.04807	100.00%
3	10.23%	23.88%	39.65%	2.64%	10.46%	30.52%	-5.23%	-9.22%	-2.94%	-3823.96907	100.00%
4	9.95%	23.27%	39.43%	3.42%	11.04%	29.80%	-5.08%	-8.96%	-2.86%	-3934.56037	100.00%
5	9.75%	22.86%	39.02%	2.93%	12.86%	29.14%	-4.98%	-8.78%	-2.80%	-4014.28589	100.00%
6	9.84%	23.12%	39.28%	2.12%	13.10%	29.26%	-5.03%	-8.86%	-2.83%	-3978.57446	100.00%
7	13.34%	31.44%	52.67%	4.59%	17.56%	39.99%	-43.73%	-12.02%	-3.84%	-2932.43002	100.00%
8	13.62%	32.19%	54.09%	2.34%	18.16%	40.45%	-44.66%	-12.28%	-3.92%	-2871.34086	100.00%
9	10.70%	25.36%	42.32%	-2.94%	13.07%	31.02%	-6.81%	-9.65%	-3.08%	-3654.29613	100.00%
10	11.22%	26.68%	42.26%	-3.25%	12.46%	31.12%	-7.15%	-10.12%	-3.23%	-3482.74856	100.00%
11	14.89%	35.52%	48.28%	-0.82%	-10.80%	40.15%	-9.49%	-13.44%	-4.29%	-2623.45557	100.00%
12	-222.27%	-531.54%	-639.34%	-79.41%	1768.75%	-602.50%	141.71%	200.58%	64.02%	175.73679	100.00%
13	-15.39%	-36.88%	-38.36%	-1.05%	204.50%	-40.96%	9.81%	13.89%	4.43%	2537.58525	100.00%
14	-46.10%	-110.56%	-112.12%	-22.18%	431.35%	-124.69%	29.40%	41.62%	13.28%	846.900705	100.00%
15	-81.66%	-195.61%	-189.92%	-19.29%	655.72%	-218.62%	52.10%	73.75%	23.54%	477.968494	100.00%
16	37.47%	89.46%	95.58%	10.63%	-170.77%	106.19%	-23.91%	-33.84%	-10.80%	-1041.55642	100.00%
17	720.59%	1712.57%	1747.38%	175.40%	-5051.41%	2113.94%	-459.83%	-650.89%	-207.73%	-54.1566572	100.00%
18	21.43%	50.69%	68.24%	5.38%	-68.95%	62.42%	-13.68%	-19.36%	-6.18%	-1820.70692	100.00%
19	21.98%	51.72%	79.84%	6.29%	-29.71%	64.62%	-68.55%	-19.85%	-6.33%	-1775.94033	100.00%
20	18.76%	43.94%	68.50%	8.87%	-15.18%	55.93%	-58.48%	-16.93%	-5.40%	-2081.58936	100.00%
21	16.28%	38.01%	62.12%	10.38%	-6.35%	49.68%	-50.74%	-14.69%	-4.69%	-2399.18222	100.00%
22	14.37%	33.47%	58.51%	13.78%	-2.91%	44.65%	-44.77%	-12.96%	-4.14%	-2719.40522	100.00%
23	12.61%	29.33%	54.98%	15.02%	2.63%	39.70%	-39.26%	-11.37%	-3.63%	-3100.73765	100.00%

Marzo											
Hora	Cubierta	Muros	Sen_Ventilacion	Lat_ventilacion	Acristalamientos	Suelos	Sen. Iluminacion	sen_ocupacion	lat_ocupacion	Total	
0	6.96%	12.54%	38.54%	31.25%	-0.87%	29.94%	-8.38%	-7.57%	-2.42%	-4657.42998	100.00%
1	6.20%	11.14%	37.85%	30.18%	2.99%	27.30%	-6.79%	-6.73%	-2.15%	-5239.56867	100.00%
2	5.87%	10.56%	37.39%	29.07%	5.55%	26.13%	-6.17%	-6.36%	-2.03%	-5538.22037	100.00%
3	5.65%	10.19%	37.02%	28.05%	7.62%	25.36%	-5.81%	-6.13%	-1.96%	-5750.33902	100.00%
4	5.36%	9.67%	36.74%	27.31%	9.59%	24.33%	-5.34%	-5.80%	-1.85%	-6073.41702	100.00%
5	5.20%	9.43%	36.39%	26.79%	10.93%	23.76%	-5.07%	-5.64%	-1.80%	-6252.98033	100.00%
6	5.12%	9.32%	36.05%	26.20%	12.01%	23.43%	-4.81%	-5.55%	-1.77%	-6353.38747	100.00%
7	5.55%	10.15%	39.09%	28.00%	13.94%	25.41%	-14.20%	-6.02%	-1.92%	-5859.17154	100.00%
8	6.05%	11.14%	38.84%	27.81%	4.84%	27.02%	-7.03%	-6.57%	-2.10%	-5366.7068	100.00%
9	8.04%	14.88%	44.12%	36.45%	-17.70%	34.48%	-8.75%	-8.73%	-2.79%	-4036.52513	100.00%
10	13.80%	25.69%	61.20%	53.09%	-75.88%	56.36%	-14.48%	-14.99%	-4.79%	-2351.02808	100.00%
11	29.31%	54.88%	107.33%	108.30%	-243.26%	115.32%	-29.84%	-31.88%	-10.17%	-1105.69642	100.00%
12	215.75%	405.85%	634.30%	793.38%	-2243.60%	818.31%	-214.11%	-234.91%	-74.97%	-150.057499	100.00%
13	-111.19%	-209.73%	-303.70%	-429.78%	1302.03%	-417.36%	109.87%	121.18%	38.67%	290.892427	100.00%
14	-43.98%	-83.01%	-109.07%	-164.58%	556.75%	-162.98%	43.59%	47.98%	15.31%	734.7022	100.00%
15	-28.79%	-54.26%	-56.93%	-109.70%	384.05%	-103.80%	27.97%	31.43%	10.03%	1121.47589	100.00%
16	-36.75%	-69.00%	-78.87%	-140.91%	470.64%	-133.81%	35.75%	40.14%	12.81%	878.247931	100.00%
17	-78.52%	-146.65%	-171.87%	-304.61%	898.67%	-286.67%	76.49%	85.78%	27.38%	410.916561	100.00%
18	64.25%	119.20%	156.94%	275.22%	-598.23%	237.86%	-62.65%	-70.19%	-22.40%	-502.242925	100.00%
19	13.40%	24.68%	46.43%	61.64%	-66.30%	52.35%	-12.90%	-14.63%	-4.67%	-2409.26642	100.00%
20	11.84%	21.66%	46.63%	55.51%	-37.36%	47.37%	-28.60%	-12.93%	-4.13%	-2727.20497	100.00%
21	11.16%	20.28%	44.87%	49.32%	-25.96%	44.80%	-28.42%	-12.17%	-3.88%	-2895.82283	100.00%
22	8.92%	16.14%	43.62%	42.14%	-11.90%	37.31%	-23.41%	-9.72%	-3.10%	-3625.58905	100.00%
23	8.04%	14.48%	42.77%	38.89%	-5.24%	34.25%	-21.65%	-8.74%	-2.79%	-4031.34098	100.00%

21 de marzo											
Hora	Cubierta	Muros	Sen_Ventilacion	Lat_ventilacion	Acristalamientos	Suelos	Sen. Iluminacion	sen_ocupacion	lat_ocupacion	Total	
0	7.94%	30.15%	56.13%	51.26%	-79.82%	67.01%	-9.83%	-17.32%	-5.53%	-2035.45141	100.00%
1	6.31%	23.90%	49.59%	42.20%	-50.65%	54.56%	-7.79%	-13.74%	-4.38%	-2565.77037	100.00%
2	5.77%	21.83%	46.65%	36.59%	-37.37%	50.17%	-7.11%	-12.53%	-4.00%	-2812.60949	100.00%
3	4.99%	18.90%	43.98%	32.81%	-24.59%	44.32%	-6.14%	-10.82%	-3.45%	-3258.99973	100.00%
4	4.63%	17.58%	42.45%	30.19%	-17.45%	41.50%	-5.68%	-10.01%	-3.20%	-3520.17056	100.00%
5	4.37%	16.68%	42.19%	26.96%	-12.11%	39.73%	-5.36%	-9.44%	-3.01%	-3733.4236	100.00%
6	4.11%	15.81%	39.97%	27.10%	-7.68%	37.45%	-5.04%	-8.88%	-2.83%	-3968.37379	100.00%
7	4.49%	17.46%	37.55%	26.37%	-5.47%	39.30%	-6.87%	-9.72%	-3.10%	-3626.10587	100.00%
8	6.32%	24.86%	41.65%	30.18%	-27.53%	52.28%	-9.68%	-13.71%	-4.37%	-2571.77728	100.00%
9	60.06%	239.25%	266.21%	173.95%	-835.83%	460.62%	-92.16%	-130.46%	-41.64%	-270.200883	100.00%
10	-8.61%	-34.78%	-29.12%	-20.15%	218.22%	-63.54%	13.25%	18.75%	5.98%	1880.00798	100.00%
11	-4.16%	-17.02%	-9.49%	-7.91%	149.62%	-29.42%	6.42%	9.08%	2.90%	3881.82925	100.00%
12	-3.13%	-12.95%	-4.09%	-6.89%	134.46%	-21.27%	4.84%	6.85%	2.19%	5146.62928	100.00%
13	-2.67%	-11.12%	-1.36%	-6.49%	127.32%	-17.53%	4.13%	5.85%	1.87%	6024.17643	100.00%
14	-2.43%	-10.16%	0.00%	-6.32%	123.71%	-15.62%	3.77%	5.34%	1.70%	6601.38009	100.00%
15	-2.42%	-10.11%	0.14%	-8.84%	125.98%	-15.55%	3.77%	5.33%	1.70%	6610.51513	100.00%
16	-2.69%	-11.19%	-0.46%	-12.63%	132.45%	-17.51%	4.20%	5.94%	1.90%	5935.78705	100.00%
17	-3.38%	-13.95%	-3.30%	-14.38%	142.74%	-22.85%	5.28%	7.47%	2.38%	4717.23216	100.00%
18	-5.75%	-23.43%	-15.00%	-25.22%	185.32%	-41.64%	8.97%	12.70%	4.05%	2775.35206	100.00%
19	-16.20%	-65.09%	-68.19%	-68.41%	370.28%	-124.81%	25.26%	35.75%	11.41%	986.061609	100.00%
20	-16.66%	-66.01%	-92.16%	-67.97%	302.10%	-134.61%	126.86%	36.73%	11.72%	959.632088	100.00%
21	-30.21%	-118.00%	-166.65%	-108.08%	449.31%	-243.53%	229.50%	66.46%	21.21%	530.425383	100.00%
22	-46.06%	-177.76%	-225.55%	-139.98%	569.41%	-362.39%	349.01%	101.06%	32.25%	348.796455	100.00%
23	-222.53%	-850.74%	-1180.01%	-673.88%	2476.20%	-1772.67%	1681.38%	486.87%	155.38%	72.4015377	100.00%

21 de Julio											
Hora	Cubierta	Muros	Sen_Ventilacion	Lat_ventilacion	Acristalamientos	Suelos	Sen. Iluminacion	sen_ocupacion	lat_ocupacion	Total	
0	19.14%	26.62%	17.26%	-8.96%	46.64%	-22.87%	6.66%	9.75%	5.75%	3001.41906	100.00%
1	21.22%	29.63%	9.71%	-9.55%	51.87%	-27.46%	7.39%	10.81%	6.38%	2705.03776	100.00%
2	22.13%	30.94%	7.95%	-8.24%	50.71%	-29.14%	7.72%	11.28%	6.66%	2591.94329	100.00%
3	23.34%	32.61%	8.36%	-5.39%	44.75%	-30.74%	8.14%	11.90%	7.02%	2457.05319	100.00%
4	27.62%	38.46%	-3.18%	-5.25%	49.55%	-39.20%	9.63%	14.08%	8.30%	2077.82888	100.00%
5	26.54%	36.77%	-5.75%	4.32%	45.61%	-38.21%	9.24%	13.51%	7.97%	2164.58325	100.00%
6	28.07%	38.63%	-2.94%	4.25%	39.22%	-39.69%	9.76%	14.28%	8.42%	2048.98271	100.00%
7	22.21%	30.33%	11.24%	7.55%	29.56%	-28.41%	9.60%	11.28%	6.65%	2593.52699	100.00%
8	17.58%	23.79%	23.98%	4.35%	27.64%	-19.10%	7.59%	8.91%	5.26%	3281.76711	100.00%
9	14.47%	19.38%	27.84%	4.51%	29.77%	-13.84%	6.23%	7.32%	4.32%	3995.27077	100.00%
10	12.30%	16.30%	28.14%	3.69%	35.12%	-10.71%	5.29%	6.21%	3.66%	4706.94815	100.00%
11	11.03%	14.46%	26.91%	-4.85%	48.02%	-9.16%	4.74%	5.56%	3.28%	5258.10638	100.00%
12	9.81%	12.74%	25.73%	-7.81%	55.18%	-7.69%	4.20%	4.94%	2.91%	5922.29823	100.00%
13	9.27%	11.97%	27.11%	-7.83%	54.71%	-6.61%	3.97%	4.66%	2.75%	6270.90515	100.00%
14	9.42%	12.12%	28.90%	-8.90%	53.28%	-6.38%	4.03%	4.74%	2.79%	6176.58676	100.00%
15	8.97%	11.55%	28.70%	-8.47%	54.06%	-5.80%	3.84%	4.51%	2.66%	6488.11417	100.00%
16	8.46%	10.93%	27.47%	-6.99%	55.14%	-5.40%	3.62%	4.25%	2.51%	6874.60683	100.00%
17	8.72%	11.33%	27.27%	-7.56%	55.37%	-5.84%	3.73%	4.39%	2.59%	6668.16939	100.00%
18	9.59%	12.57%	27.62%	-7.39%	52.85%	-7.04%	4.11%	4.83%	2.85%	6054.76385	100.00%
19	10.79%	14.28%	25.54%	-6.69%	52.02%	-9.23%	4.63%	5.44%	3.21%	5375.12054	100.00%
20	12.14%	16.26%	21.94%	-4.96%	51.63%	-11.97%	5.22%	6.13%	3.62%	4767.90952	100.00%
21	13.84%	18.75%	21.12%	-6.19%	49.93%	-14.57%	5.97%	7.01%	4.13%	4172.43631	100.00%
22	17.22%	23.58%	16.33%	-11.93%	53.82%	-20.34%	7.44%	8.74%	5.15%	3347.60875	100.00%
23	13.64%	18.85%	6.69%	-0.69%	39.13%	-17.50%	28.86%	6.93%	4.09%	4217.91156	100.00%

Julio											
Hora	Cubierta	Muros	Sen_Ventilacion	Lat_ventilacion	Acristalamientos	Suelos	Sen. Iluminacion	sen_ocupacion	lat_ocupacion	Total	
0	18.94%	20.94%	12.09%	-4.32%	20.20%	-17.29%	18.46%	19.49%	11.49%	1501.06193	100.00%
1	26.23%	29.09%	1.20%	-10.48%	14.73%	-27.32%	23.59%	27.03%	15.94%	1082.26048	100.00%
2	44.14%	48.96%	-22.41%	-34.16%	3.78%	-51.21%	38.52%	45.53%	26.85%	642.414502	100.00%
3	60.11%	66.57%	-50.10%	-36.81%	-15.94%	-73.93%	51.42%	62.07%	36.61%	471.216566	100.00%
4	612.80%	675.98%	-797.98%	-673.10%	-427.87%	-814.20%	517.83%	633.15%	373.40%	46.197641	100.00%
5	-89.24%	-97.85%	158.31%	123.80%	99.46%	127.32%	-75.21%	-92.21%	-54.38%	-317.215814	100.00%
6	-444.55%	-483.70%	662.27%	434.79%	426.43%	607.95%	-373.17%	-459.21%	-270.82%	-63.6962872	100.00%
7	32.17%	34.66%	-13.35%	-6.12%	7.68%	-36.71%	28.89%	33.20%	19.58%	880.907212	100.00%
8	16.58%	17.67%	12.11%	11.35%	14.96%	-14.85%	14.99%	17.10%	10.08%	1710.64212	100.00%
9	13.29%	14.00%	22.27%	4.02%	21.77%	-9.16%	12.05%	13.69%	8.07%	2136.92495	100.00%
10	8.94%	9.31%	23.64%	14.42%	25.19%	-4.23%	8.11%	9.19%	5.42%	3181.43905	100.00%
11	6.82%	7.02%	22.76%	12.31%	35.92%	-2.16%	6.19%	7.00%	4.13%	4177.2251	100.00%
12	6.36%	6.49%	26.44%	-1.58%	47.11%	-0.84%	5.67%	6.52%	3.84%	4489.24612	100.00%
13	5.56%	5.64%	24.49%	7.56%	43.18%	-0.41%	4.92%	5.69%	3.36%	5136.9387	100.00%
14	5.36%	5.42%	25.62%	8.51%	41.54%	0.08%	4.75%	5.48%	3.23%	5334.73156	100.00%
15	5.91%	5.98%	29.23%	-1.80%	45.55%	0.31%	5.24%	6.03%	3.56%	4851.02097	100.00%
16	5.27%	5.36%	25.79%	9.49%	40.64%	0.23%	4.67%	5.38%	3.17%	5439.42344	100.00%
17	5.70%	5.85%	26.44%	7.79%	40.01%	-0.09%	5.06%	5.81%	3.43%	5033.69372	100.00%
18	7.18%	7.46%	32.19%	-6.93%	42.47%	-0.39%	6.38%	7.32%	4.32%	3993.49317	100.00%
19	7.49%	7.88%	29.40%	1.54%	36.21%	-1.34%	6.67%	7.64%	4.51%	3826.46428	100.00%
20	9.28%	9.89%	30.50%	-3.70%	33.69%	-3.02%	8.28%	9.48%	5.59%	3083.94931	100.00%
21	11.82%	12.75%	30.67%	-12.56%	33.21%	-5.69%	10.56%	12.10%	7.13%	2418.23027	100.00%
22	13.79%	15.03%	23.63%	-6.88%	29.14%	-9.33%	12.14%	14.14%	8.34%	2068.84389	100.00%
23	12.6%	13.9%	14.3%	-3.2%	19.6%	-10.2%	32.3%	13.0%	7.6%	2256.8	100.00%

21 de Septiembre											
Hora	Cubierta	Muros	Sen_Ventilacion	Lat_ventilacion	Acrisolamientos	Suelos	Sen. Iluminacion	sen_ocupacion	lat_ocupacion	Total	
0	13.25%	24.73%	64.33%	13.47%	-20.51%	38.89%	-10.28%	-15.03%	-8.86%	-1946.44032	100.00%
1	9.61%	17.87%	62.87%	8.70%	-3.71%	29.40%	-7.44%	-10.88%	-6.42%	-2687.91888	100.00%
2	8.63%	16.02%	59.90%	7.43%	4.21%	25.99%	-6.67%	-9.76%	-5.75%	-2997.4525	100.00%
3	7.48%	13.89%	56.82%	9.14%	8.25%	23.62%	-5.77%	-8.45%	-4.98%	-3463.42156	100.00%
4	7.18%	13.37%	53.23%	10.68%	10.40%	23.57%	-5.54%	-8.10%	-4.78%	-3612.07037	100.00%
5	6.40%	11.98%	52.15%	12.19%	12.81%	20.87%	-4.94%	-7.22%	-4.26%	-4051.7888	100.00%
6	6.32%	11.93%	55.25%	7.33%	15.50%	19.88%	-4.88%	-7.13%	-4.21%	-4101.02302	100.00%
7	8.89%	16.93%	76.35%	7.47%	23.76%	26.53%	-43.99%	-10.03%	-5.92%	-2915.3041	100.00%
8	7.04%	13.55%	56.10%	8.10%	15.03%	19.59%	-6.77%	-7.95%	-4.69%	-3680.0088	100.00%
9	11.97%	23.32%	85.08%	10.86%	-26.92%	28.71%	-11.52%	-13.53%	-7.98%	-2162.34093	100.00%
10	14.20%	28.02%	86.89%	20.12%	-42.13%	32.12%	-13.68%	-16.06%	-9.47%	-1820.98398	100.00%
11	-42.74%	-85.39%	-182.43%	-59.27%	442.48%	-90.80%	41.20%	48.40%	28.54%	604.389031	100.00%
12	-76.07%	-153.72%	-273.19%	-165.42%	702.48%	-144.67%	73.45%	86.27%	50.88%	339.045533	100.00%
13	-26.67%	-54.34%	-78.32%	-62.08%	297.98%	-50.49%	25.78%	30.28%	17.86%	965.913761	100.00%
14	-6.53%	-13.37%	-12.21%	-15.12%	140.85%	-11.74%	6.32%	7.42%	4.38%	3941.31563	100.00%
15	-11.23%	-23.01%	-20.48%	-31.26%	175.12%	-20.34%	10.88%	12.78%	7.54%	2288.11008	100.00%
16	-8.50%	-17.36%	-11.67%	-28.65%	158.32%	-15.79%	8.25%	9.69%	5.71%	3018.88388	100.00%
17	-15.55%	-31.49%	-22.28%	-47.68%	205.98%	-32.26%	15.10%	17.73%	10.46%	1649.59235	100.00%
18	-30.27%	-60.57%	-49.94%	-36.24%	265.04%	-72.28%	29.38%	34.51%	20.35%	847.523608	100.00%
19	133.75%	263.91%	359.44%	153.51%	-767.86%	329.52%	-129.84%	-152.50%	-89.94%	-191.797976	100.00%
20	22.87%	44.45%	95.71%	27.54%	-83.50%	56.55%	-22.18%	-26.06%	-15.37%	-1122.51845	100.00%
21	62.39%	119.58%	283.50%	69.60%	-181.35%	154.82%	-295.61%	-71.03%	-41.89%	-411.802379	100.00%
22	35.22%	66.71%	161.85%	61.50%	-82.60%	87.68%	-166.68%	-40.05%	-23.62%	-730.350095	100.00%
23	28.58%	53.65%	132.73%	52.89%	-52.86%	71.66%	-135.06%	-32.45%	-19.14%	-901.346471	100.00%

Septiembre											
Hora	Cubierta	Muros	Sen_Ventilacion	Lat_ventilacion	Acristalamientos	Suelos	Sen. Iluminacion	sen_ocupacion	lat_ocupacion	Total	
0	-10.49%	-25.58%	-104.88%	40.78%	95.16%	-114.87%	96.29%	77.75%	45.85%	376.200058	100.00%
1	-37.19%	-90.62%	-481.35%	209.21%	183.98%	-427.75%	308.60%	273.70%	161.41%	106.868285	100.00%
2	26.50%	64.92%	403.34%	-145.53%	-47.66%	316.03%	-209.23%	-193.97%	-114.39%	-150.794266	100.00%
3	10.27%	25.46%	180.05%	-53.30%	8.53%	127.12%	-78.95%	-74.97%	-44.21%	-390.163304	100.00%
4	9.41%	23.71%	171.08%	-60.60%	19.36%	117.63%	-71.53%	-68.61%	-40.46%	-426.349269	100.00%
5	7.91%	20.37%	149.32%	-51.20%	24.09%	100.10%	-58.79%	-57.74%	-34.05%	-506.590806	100.00%
6	8.09%	21.39%	155.92%	-66.93%	30.36%	103.27%	-57.91%	-59.25%	-34.94%	-493.696485	100.00%
7	-7.05%	-19.19%	-107.70%	74.86%	17.09%	-84.45%	144.02%	51.83%	30.57%	564.325785	100.00%
8	-5.48%	-15.42%	-54.65%	67.75%	53.63%	-59.93%	49.61%	40.56%	23.92%	721.081269	100.00%
9	-2.14%	-6.22%	-11.40%	32.42%	65.01%	-21.44%	18.43%	15.95%	9.40%	1834.17942	100.00%
10	-1.11%	-3.32%	-0.37%	14.50%	77.75%	-10.01%	9.32%	8.33%	4.91%	3513.37266	100.00%
11	-0.77%	-2.36%	2.82%	8.80%	82.32%	-6.31%	6.28%	5.79%	3.42%	5048.50422	100.00%
12	-0.65%	-2.05%	5.28%	4.95%	84.10%	-4.81%	5.25%	4.98%	2.94%	5868.52966	100.00%
13	-0.68%	-2.13%	6.87%	1.87%	85.08%	-4.72%	5.45%	5.20%	3.06%	5628.08651	100.00%
14	-0.75%	-2.34%	9.13%	-0.32%	83.96%	-4.91%	6.06%	5.76%	3.40%	5074.52822	100.00%
15	-0.88%	-2.70%	11.64%	-2.86%	82.62%	-5.59%	6.98%	6.79%	4.00%	4308.95357	100.00%
16	-1.13%	-3.40%	13.93%	-5.40%	80.47%	-7.48%	9.04%	8.79%	5.18%	3328.61968	100.00%
17	-1.46%	-4.24%	15.98%	-6.73%	76.84%	-10.07%	11.67%	11.33%	6.68%	2582.00665	100.00%
18	-1.89%	-5.29%	17.46%	-9.45%	74.51%	-13.71%	15.10%	14.64%	8.63%	1997.84571	100.00%
19	-2.44%	-6.59%	11.69%	-8.83%	76.75%	-19.96%	19.44%	18.83%	11.11%	1553.34834	100.00%
20	-2.95%	-7.70%	5.03%	-7.90%	80.78%	-25.92%	22.69%	22.63%	13.34%	1292.75475	100.00%
21	-2.60%	-6.60%	-5.30%	-3.84%	59.91%	-24.72%	51.70%	19.78%	11.66%	1478.78337	100.00%
22	-3.04%	-7.56%	-15.38%	0.68%	56.02%	-30.59%	63.45%	22.91%	13.51%	1276.52694	100.00%
23	-3.68%	-9.02%	-28.36%	7.30%	49.88%	-38.78%	78.96%	27.48%	16.21%	1064.26784	100.00%

5.8. Bibliografía del capítulo

1. Pinazo Ojer, J.M. and Universidad Politécnica de Valencia, *Manual de climatización: T. II, Cargas térmicas*. 1995, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones. 634.
2. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *2001 ASHRAE handbook : fundamentals*. 2001, Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1 v. (pag. var.).
3. España. Ministerio de la Vivienda, *Código técnico de la edificación. HE : ahorro de energía : texto oficial*. 2006, Madrid: Liteam. 132 p.
4. Vega, M.d., *Cargas térmicas*. Apuntes de la asignatura Calor y Frío industrial, 2006.
5. Neila González, F.J., et al., *La cubierta ecológica de los conceptos a la construcción*. 2004, Madrid: Instituto Juan de Herrera. 41 p.
6. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *ASHRAE greenguide[Recurso electrónico] :] the design, construction, and operation of sustainable buildings*. 2nd ed ed. The ASHRAE professional series. 2006, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers. xxii, 394 p.
7. Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid, C., ed. *Curso de Climatización*.
8. España. Ministerio de la Vivienda, *CTE : DB-HS. Salubridad : documento básico del CTE*. 2007, [S.l.]: CEYSA. 159 p.
9. Chen, Y. and S. Wang, *A new procedure for calculating periodic response factors based on frequency domain regression method*. International Journal of Thermal Sciences, 2005. **44**(4): p. 382-392.

[Participación de las soluciones en la carga térmica]

ÍNDICE

6.	<i>Participación de las soluciones en la carga térmica total</i>	143
6.1.	Cargas sobre las que participan las soluciones bioclimáticas	144
6.1.1.	Conducción por cerramientos opacos	144
	- Muros	144
	- Cubierta	147
6.1.2.	Radiación por superficies acristaladas	150
6.2.	Cumplimentación de las fichas justificativas del CTE	154
6.3.	Vivienda de referencia sin ninguna solución bioclimática	154
6.4.	Cargas sobre las que no participan las soluciones bioclimáticas	155
6.5.	Rediseño de soluciones	157
6.6.	Bibliografía del capítulo	158

[PFC DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR (ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS)]

[Comparando la vivienda diseñada, con otra de construcción llamada convencional, se puede valorar la repercusión de cada una de las soluciones de diseño sobre la carga térmica.]

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Sección del muro de construcción ligera _____	144
Fig. 2 Sección de la cubierta convencional de construcción media _____	148
Fig. 3 Implicaciones sobre el diseño de la vivienda de minimizar la ganancia solar directa _____	150
Fig. 4 Transmitancias térmicas de distintos huecos (Fte.[2]) _____	151
Fig. 5 Valores de SHGC (θ) y SHGC _D tabulados, para el tipo de acristalamiento utilizado (Fte.[3]) _____	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1 Flujos de calor sobre los que afectan cada una de las soluciones _____	143
Tabla. 2 Propiedades termo físicas del cerramiento _____	144
Tabla. 3 Propiedades de las distintas construcciones _____	145
Tabla. 4 Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (1) _____	146
Tabla. 5 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (1) _____	146
Tabla. 6 Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (1) _____	147
Tabla. 7 Propiedades termo físicas de la cubierta convencional de construcción de tipo peso medio _____	147
Tabla. 8 Propiedades de las distintas construcciones _____	148
Tabla. 9 Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (2) _____	149
Tabla. 10 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (2) _____	149
Tabla. 11 Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (2) _____	149
Tabla. 12 Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (3) _____	152
Tabla. 13 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (3) _____	153
Tabla. 14 Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (2) _____	153
Tabla. 15 Comparación de los valores medios de diseño con los valores límite _____	154
Tabla. 16 Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (sin soluciones) _____	154
Tabla. 17 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (sin soluciones) _____	155
Tabla. 18 Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (sin soluciones) _____	155
Tabla. 19 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (sin cargas en las que no se actúa) _____	156
Tabla. 20 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (sin cargas en las que no se actúa) _____	156
Tabla. 21 Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (cambio longitud de alero) _____	157
Tabla. 22 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (cambio longitud de alero) _____	157

6. Participación de las soluciones en la carga térmica total

Partiendo del edificio diseñado, se cambia cada una de las soluciones, por elementos constructivos convencionales. De este modo, se puede cuantificar la repercusión que cada una de las soluciones tiene sobre la carga térmica total.

Hay casos en los que la solución se han planteado de manera acoplada con otras (p.e. en mi opinión, no tiene sentido hablar de soterramiento de fachadas sin el uso de muros de alta inercia térmica), por tanto la comparación no será del todo individual.

Las cargas térmicas son el resultado de los flujos térmicos a través de la envolvente del edificio y los originados en el propio edificio:

- Conducción por cerramientos (muros, cubierta, suelo y superficies acristaladas)
- Radiación solar por cerramientos acristalados
- Cargas internas (equipos, iluminación, ocupación)
- Cargas debidas al aire exterior (ventilación, infiltraciones)

Por lo comentado del diseño acoplado de las soluciones, quizá sea más interesante analizar la participación que un flujo de calor tiene, sobre la carga térmica total (más que la que una solución tiene sobre un flujo de calor concreto).

Conducción por cerramientos		
Muros	Inercia térmica de los muros	(1)
	Soterramiento de fachadas	
Cubierta	Cubierta vegetal	(2)
Suelos	Sin diferencia	
Radiación por superficies acristaladas		
Superficies acristaladas	Aleros	(3)
	Árboles	
	Ganancia directa	
	Soterramiento de fachadas	
Cargas internas	Sin diferencia	
Cargas debidas al aire exterior		

Tabla. 1 Flujos de calor sobre los que afectan cada una de las soluciones

El objetivo de este capítulo es comparar el tipo de construcción bioclimática de la vivienda diseñada, con un tipo de construcción convencional. La metodología a seguir para la comparación será: **partiendo de la vivienda diseñada se van quitando las soluciones bioclimáticas utilizadas, lo que genera en cada caso, una nueva vivienda llamada de referencia.**

La vivienda de referencia, es de similar planta y distribución que la primera y con la misma superficie. La nueva vivienda se diseña de modo que cumpla con la exigencia de ahorro energético impuesta por el CTE.

6.1. Cargas sobre las que participan las soluciones bioclimáticas

6.1.1. Conducción por cerramientos opacos

- Muros

Tras este cambio, es necesario hacer ciertas modificaciones en los parámetros que afectan a la carga térmica. Los intrínsecos a eliminar el soterramiento y cambiar el tipo de cerramiento y otros indirectos. Estos parámetros indirectos son, el uso de coeficientes RTS apropiados para el nuevo tipo de construcción (construcción ligera).

Inercia térmica

En este caso, se pasa de muros de alta inercia térmica (construcción pesada) a muros de **baja inercia** (construcción ligera). La capacidad de acumulación térmica (de la que se encarga la capa de ladrillo doble hueco), es mucho menor en comparación con el muro de hormigón.

Capa	Espesor [m]	Conductividad térmica [W/m·K]	Calor específico [J/kg·K]	Densidad [kg/m ³]	Coefficiente de convección [W/m ² ·K]	U [W/m ² K]
Exterior	x	x	x	x	25	0.632
Enfoscado de cemento	0.015	1.4	1050	2000		
Ladrillo hueco doble	0.09	0.49	920	1200	x	
Poliuretano expandido	0.025	0.023	837	40	x	
Ladrillo hueco sencillo	0.04	0.49	920	1200	x	
Enlucido de yeso	0.005	0.3	920	800	x	
Interior	x	x	x	x	7.69	

Tabla. 2 Propiedades termo físicas del cerramiento

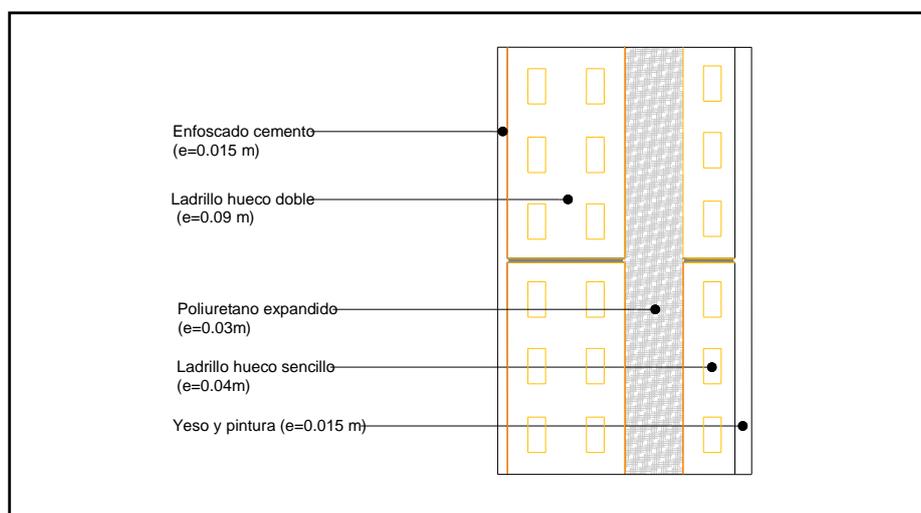


Fig. 1 Sección del muro de construcción ligera

	Muro de alta inercia	Muro de baja inercia
Espesor [m]	0.37	0.185
Peso [kg/m ²]	733	200
Transmitancia térmica [W/m ² ·K]	0.374	0.632 ¹
Amortiguamiento	0.144	0.443
Desfase [hr]	10.17	5.7

Tabla. 3 Propiedades de las distintas construcciones

Ya se han expuesto los efectos que la inercia tiene sobre el amortiguamiento y desfase de la onda térmica que atraviesa el muro. El uso de muros de construcción ligera, implica que el retardo disminuya al igual que el amortiguamiento.

Si el **retardo disminuye**, en los meses de verano el máximo de la onda térmica que atraviesa el muro, se da en momentos del día en los que aún es necesaria la refrigeración: **sobrecalentamiento**.

Si el **amortiguamiento disminuye**, la amplitud de la onda térmica aumenta. Supone que el muro sea **térmicamente menos estable** (aumenta la diferencia entre el máximo y el mínimo de la temperatura de la cara interior del muro).

Soterramiento de fachadas

Los muros semienterrados o semienterrados no sufren las variaciones bruscas de la temperatura exterior. Los muros descubiertos están expuestos a este tipo de fluctuaciones.

La transmitancia térmica del muro disminuye con la cota de soterramiento, por tanto, a igual construcción, los muros semienterrados tendrán menor transmitancia térmica que los descubiertos.

Los muros semienterrados aumentan la inercia térmica de la vivienda por dos motivos principales:

- El terreno genera unas cargas estructurales que han de ser absorbidas por muros de contención. Estos muros, se pueden considerar como una capa más del muro de la vivienda, aumentando el espesor del conjunto y la capacidad de acumulación.
- Los muros semienterrados ceden el calor al terreno y este lo devuelve parcialmente a la vivienda (en situaciones de calefacción intermitente).

El diseño de una vivienda de alta inercia térmica, no tiene sentido si tan solo se proyecta de manera parcial. Es decir, sirve de poco semienterrar fachadas, si no se acompaña de muros de alta inercia. Por tanto, ambas soluciones: **soterramiento de fachadas y muros de alta inercia térmica, han de estudiarse de manera conjunta**.

Comparación alta inercia y soterramiento de fachadas (solución bioclimática) con construcción ligera (construcción convencional)

Por todo lo comentado, las necesidades de calefacción y refrigeración deben ser mayores en el caso de la construcción ligera.

¹ Transmitancia térmica límite: 0.66 W/m²K. Cumple con la directiva HE1 del CTE.

Se cifra el aumento de necesidad de potencia de la instalación:

	Solución bioclimática (1)	Construcción ligera	
Valores pico ² [W]	6874.6	8818.9	
	8365.75	11084.4	
Potencia de la instalación [W]	7218.3	9259.9	22.05%
	9620.6	12192.9	21.10%
			Diferencia (%)

Tabla. 4 Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (1)

Coefficiente de mayoración para la instalación de calefacción: 1.10³

Coefficiente de mayoración para la instalación de refrigeración: 1.05

Aumento de potencia de instalación de calefacción: **21.10%**

Aumento de potencia de instalación de refrigeración: **22.05%**

El incremento de los valores pico son del mismo orden en las estrategia de calefacción y refrigeración. El aumento de los valores pico para el dimensionado de equipos en las dos estrategias de climatización es prácticamente simétrico.

Conclusión: *El efecto combinado de la construcción pesada y el soterramiento de fachadas, disminuye la potencia necesaria para alcanzar el confort térmico. Lo hace en la misma proporción, tanto para las necesidades de calefacción como para las de refrigeración. Siendo el impacto de la solución en ambos casos, alto.*

El aumento de la potencia de la instalación no es desdeñable. Si bien la diferencia de precio en la adquisición de los equipos no es el factor más determinante, el consumo de energía asociado, a un aumento del valor medio de necesidades de calefacción, si puede compensar el sobre coste de la construcción bioclimática.

	Carga térmica (media del valor horario mensual) [W]			
	Solución bioclimática (1)	Construcción ligera	Diferencia [W]	Diferencia [%]
Enero	5803.17	7776.03	1972.86	25.37%
Febrero	5008.28	6602.83	1594.55	24.15%
Marzo	2978.74	3802.88	824.14	21.67%
Abril	3699.39	4438.22	738.83	16.65%
Mayo	1879.53	2402.44	522.91	21.77%
Junio	81.31	162.39	81.08	49.93%
Julio	2640.93	3614.37	973.45	26.93%
Agosto	3311.18	4196.25	885.08	21.09%
Septiembre	1902.13	2048.13	146.00	7.13%
Octubre	470.00	1370.79	900.79	65.71%
Noviembre	3091.60	4404.39	1312.79	29.81%
Diciembre	5861.76	7911.34	2049.58	25.91%

Tabla. 5 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (1)

2 Los valores pico en los dos casos se producen en el 21 de Julio a las 16 horas para carga de refrigeración y para las 6 horas del calor medio mensual del mes de Enero para calefacción.

3 La construcción es de tipo ligera. Por tanto no hay que considerar el efecto de inercia sobre la calefacción que tienen los muros: mayoración del 10%

Energía acumulada anual [kW·h / año]			
$\sum_{i=\text{Enero}}^{\text{Diciembre}} (\text{Energía horaria}^4 \cdot \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot \text{dias mes}(i))_i$			
Solución bioclimática (1) [kW·h]	Construcción ligera [kW·h]	Diferencia [kW·h]	Diferencia [%]
5856.44	7402.68	1546.24	20.89%
20898.03	28111.82	7213.79	25.66%

Tabla. 6 Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (1)

De la Tabla. 5 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (1)Tabla. 5 y Tabla. 6, se concluye que la energía necesaria predominante para mantener el confort térmico corresponde a necesidades de calefacción. En el capítulo de **cálculo de cargas térmicas**, se definieron dos estrategias de climatización, que abarcan dos períodos anuales. A priori, los meses de mayo y octubre, se consideraron meses de demanda de refrigeración. Sin embargo, tanto para la solución bioclimática como para la construcción ligera, presentan pérdidas de calor al ambiente en lugar de ganancias. Necesidades que por otro lado, no son altas.

Comparando ambos modelos constructivos, tanto para cargas pico como para energía anual. El modelo de construcción ligera, presenta peores resultados que la solución bioclimática, con un incremento en torno al 20%.

- Cubierta

Se cambia la cubierta vegetal, por una cubierta convencional de construcción media (sacada de[1]). La cubierta cumple la estricta exigencia del CTE, en lo que a limitación de la transmitancia térmica se refiere.

Capa	Espesor [m]	Conductividad térmica [W/m·K]	Calor específico [J/kg·K]	Densidad [kg/m ³]	Coefficiente de convección [W/m ² ·K]	U [W/m ² ·K]
Exterior	x	x	x	x	25	0.362
Gravilla	0.05	0.81	920	1700		
Impermeabilizante	0.01	0.19	1680	1100	x	
Hormigón ligero independiente	0.05	0.35	1050	1000	x	
Poliestireno expandido tipo IV	0.05	0.033	837	25	x	
Bovedilla de hormigón	0.26	1.54	1050	1254	x	
Guarnecido yeso	0.02	0.3	920	800	x	
Interior	x	x	x	x	10/5.88 ⁵	

Tabla. 7 Propiedades termo físicas de la cubierta convencional de construcción de tipo peso medio

⁴ Los valores pico en los dos casos se producen en el 21 de Julio a las 16 horas para carga de refrigeración y para las 6 horas del calor medio mensual del mes de Enero para calefacción.

⁵ Del CTE se sacan los valores de las resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior. Para la estrategia de refrigeración hay que considerar flujo de calor descendente y $h_i=5.88$ [W/m²·K], para la estrategia de calefacción se considera flujo de calor ascendente y $h_i=10$ [W/m²·K].

	Cubierta Vegetal	Cubierta convencional
Espesor [m]	0.643	0.46
Peso [kg/m ²]	582.54	489.79
Transmitancia térmica [W/m ² ·K]	0.256	0.362
Amortiguamiento	0.82	0.82
Desfase [hr]	9.36	5.71

Tabla. 8 Propiedades de las distintas construcciones

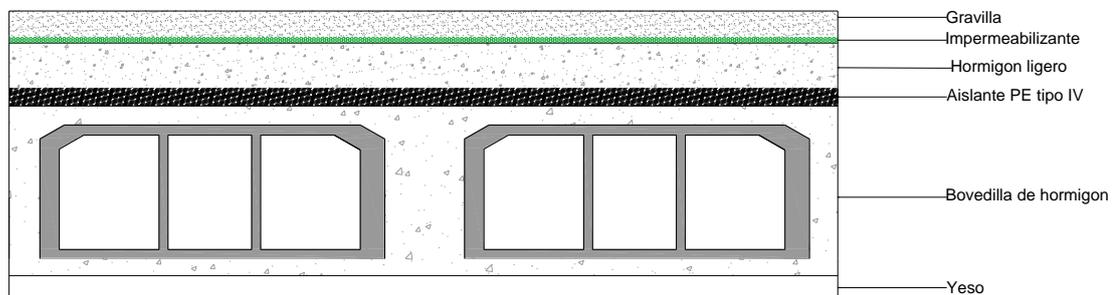


Fig. 2 Sección de la cubierta convencional de construcción media

La cubierta vegetal es una de las soluciones bioclimáticas incorporadas en el diseño de la vivienda. La reducción que implica su uso, sobre necesidades de climatización, se debe a:

- Ofrece una gran protección frente a la radiación solar.
- Aumento del aislamiento térmico.

La protección frente a la radiación solar y el aumento del aislamiento térmico son cualidades buscadas en los cerramientos, cuando la temperatura exterior y la radiación solar incidente son altas (estrategia de refrigeración). Aunque se trata de un material “vivo”, no es capaz de adaptarse a las distintas exigencias a lo largo del año. Lo que supone que lo que es beneficio en verano, pueda convertirse en un perjuicio en invierno. El bloqueo de la radiación solar en los meses de calefacción, supone no aprovechar la ganancia solar. Con el consecuente aumento de las necesidades de calefacción. Respecto al aislamiento es beneficioso en ambos períodos.

	Solución bioclimática (2)	Cubierta convencional	
Valores pico ⁶ [W]	6874.6	7465.4	
Potencia de la instalación [W]	8365.75	8479.8	
	7218.3	7838.6	7.91%
	9620.6	9751.8	1.35%

⁶ Los valores pico en los dos casos se producen en el 21 de Julio a las 16 horas para carga de refrigeración y para las 6 horas del calor medio mensual del mes de Enero para calefacción.

Diferencia (%)

Tabla. 9 Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (2)

Coefficiente de mayoración para la instalación de calefacción: 1.15
 Coeficiente de mayoración para la instalación de refrigeración: 1.05

Aumento de potencia de instalación de calefacción: **1.35 %**
 Aumento de potencia de instalación de refrigeración: **7.91 %**

Comparando los resultados de la construcción bioclimática, con la de la vivienda de referencia, se aprecia el **alto impacto que la cubierta vegetal tiene sobre la carga térmica en el período de refrigeración**, comparada con el de calefacción.

	Carga térmica (valor medio horario) [W]			
	Solución bioclimática (2)	Cubierta convencional	Diferencia [W]	Diferencia [%]
Enero	5803.17	5957.78	154.61	2.60%
Febrero	5008.28	5088.89	80.61	1.58%
Marzo	2978.74	2881.17	-97.57	-3.39%
Abril	3699.39	3521.95	-177.45	-5.04%
Mayo	1879.53	1584.79	-294.74	-18.60%
Junio	81.31	497.26	415.95	83.65%
Julio	2640.93	3156.75	515.83	16.34%
Agosto	3311.18	3747.78	436.61	11.65%
Septiembre	1902.13	2151.55	249.42	11.59%
Octubre	470.00	442.23	-27.77	-6.28%
Noviembre	3091.60	3160.99	69.38	2.19%
Diciembre	5861.76	6035.38	173.62	2.88%

Tabla. 10 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (2)

Energía acumulada anual [kW·h / año]			
$\sum_{i=\text{Enero}}^{\text{Diciembre}} (\text{Energía horaria}^7 \cdot \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \cdot \text{dias mes}(i))_i$			
Solución bioclimática (2) [kW·h]	Cubierta convencional [kW·h]	Diferencia [kW·h]	Diferencia [%]
5856.44	7044.12	1187.68	16.86%
20898.03	20806.05	-91.98	-0.44%

Tabla. 11 Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (2)

Pasar del uso de cubierta vegetal a cubierta convencional, supone un incremento de la necesidad energía acumulada de refrigeración del 16.86%. Mientras que el efecto sobre calefacción es prácticamente nulo.

⁷ Energía horaria. Los valores de carga térmica, que se presentan en la Tabla. 5 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (1)

son valores medios horarios. Esa potencia instantánea es la energía consumida en una hora de demanda.

Por tanto, el posible efecto de penalización sobre la carga de calefacción no es de la dimensión que en un principio se pudiera esperar.

Conclusión: *El uso de cubierta vegetal tiene un efecto beneficioso sobre la carga de refrigeración y prácticamente no tiene afección sobre la carga de calefacción. (siempre en comparación con el tipo de construcción convencional)*

6.1.2. Radiación por superficies acristaladas

La gran área de captación (ventanal de la fachada sur), necesaria para la estrategia de ganancia solar directa, permite minimizar los huecos en el resto de orientaciones, sin penalizar la iluminación natural de la vivienda. Por otro lado, implica el uso de protecciones solares (aleros fijos en fachadas norte y sur y árboles en fachada oeste) para evitar el sobrecalentamiento, en meses con necesidades de refrigeración.

Minimizar⁸ la ganancia solar directa como apoyo de calefacción, tiene importantes implicaciones sobre el diseño del conjunto de la vivienda.

Reducir el porcentaje de fachada acristalada en la orientación sur, minimiza la luz directa o difusa, que ingresa en la vivienda.

Para mantener unas buenas condiciones de iluminación, se requiere la apertura de huecos en otras fachadas. Fachadas, que en el diseño de la vivienda bioclimática, estaban parcialmente enterradas. Para evitar un déficit de iluminación en la planta baja de la vivienda, hay que prescindir de los soterramientos (de lo contrario no podrían abrirse dichos huecos).

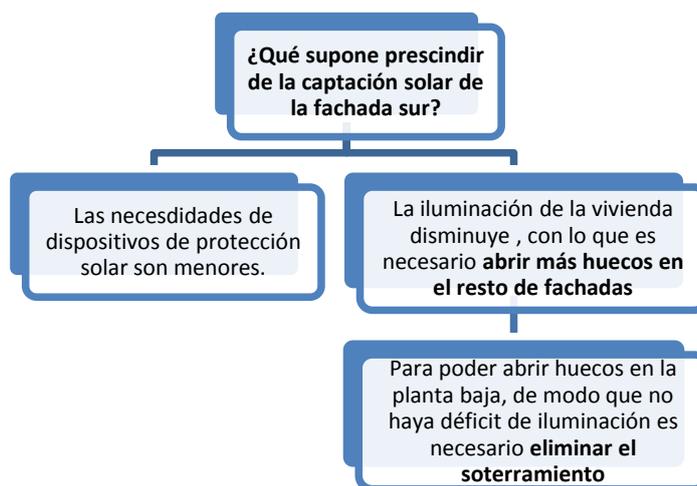


Fig. 3 Implicaciones sobre el diseño de la vivienda de minimizar la ganancia solar directa

Tipo de acristalamiento en la vivienda de referencia:

⁸ Para esta solución, en concreto, hay que hablar de minimizar. La ganancia solar se seguirá produciendo a través de los huecos abiertos. Sin embargo cuando hablo de estrategia o solución de ganancia solar directa, a lo que me refiero es a un sobredimensionamiento de la misma.

No hay que perder de vista, que el objetivo del capítulo es comparar el diseño bioclimático con el convencional. Los acristalamientos considerados en el caso bioclimático, son de propiedades más exigentes que los de cámara de aire, que comúnmente se instalan. Los elegidos para la vivienda de referencia, cumplen con el CTE, aunque sus propiedades térmicas sean peores que los de la vivienda bioclimática.

Se elige un vidrio doble sin recubrimiento de 4mm de espesor de hojas, con cámara de aire de 6mm. El marco del acristalamiento sigue siendo madera.

Transmitancia térmica del hueco (W/m²K)

Vidrio (70%)		Marco (30%)			
		Metálico U=5,7	Metálico RPT ^b U=4	Madera ^a U=2,5	PVC ^c U=1,8
Monolítico 4mm	U=5,7	5,7	5,2	4,7	4,5
4-6-4	U=3,3	4	3,5	3,0	2,8
4-12-4	U=2,9	3,7	3,2	2,7	2,5
4-6-4 bajo emisivo ^d	U=2,5	3,5	3,0	2,5	2,3
4-12-4 bajo emisivo ^d	U=1,7	2,9	2,4	1,9	1,7

Fig. 4 Transmitancias térmicas de distintos huecos (Fte.[2])

La transmitancia térmica del conjunto es: $U = 3W/m^2K$

Además de la transmitancia térmica es necesario conocer otros parámetros del cerramiento: SHGC (θ) y SHGC_D. Recurro de nuevo a la bibliografía al respecto [ref ASHRAE fenestration].

Table 13 Visible Transmittance (T_v), Solar Heat Gain Coefficient (SHGC), Solar Transmittance (T_s), Front Reflectance (R^f), Back Reflectance (R^b), and Layer Absorptances (A_n^f) for Glazing and Window Systems (Continued)

ID	Glazing System		Center Glazing T_v	Center-of-Glazing Properties								Total Window SHGC at Normal Incidence				Total Window T_v at Normal Incidence			
				Incidence Angles								Aluminum		Other Frames		Aluminum		Other Frames	
				Normal	0.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	Hemis., Diffuse	Operable	Fixed	Operable	Fixed	Operable	Fixed	Operable	Fixed
<i>Uncoated Double Glazing</i>																			
5a	3	CLR CLR	0.81	SHGC	0.76	0.74	0.71	0.64	0.50	0.26	0.66	0.67	0.69	0.56	0.66	0.69	0.72	0.59	0.70
				T	0.70	0.68	0.65	0.58	0.44	0.21	0.60								
				R^f	0.13	0.14	0.16	0.23	0.36	0.61	0.21								
				R^b	0.13	0.14	0.16	0.23	0.36	0.61	0.21								
				A_1^f	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.11								
				A_2^f	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.05	0.07								
5b	6	CLR CLR	0.78	SHGC	0.70	0.67	0.64	0.58	0.45	0.23	0.60	0.61	0.63	0.52	0.61	0.66	0.69	0.57	0.68
				T	0.61	0.58	0.55	0.48	0.36	0.17	0.51								
				R^f	0.11	0.12	0.15	0.20	0.33	0.57	0.18								
				R^b	0.11	0.12	0.15	0.20	0.33	0.57	0.18								
				A_1^f	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.20	0.19								
				A_2^f	0.11	0.12	0.12	0.12	0.10	0.07	0.11								
5c	3	BRZ CLR	0.62	SHGC	0.62	0.60	0.57	0.51	0.39	0.20	0.53	0.55	0.57	0.46	0.54	0.53	0.55	0.45	0.54
				T	0.55	0.51	0.48	0.42	0.31	0.14	0.45								
				R^f	0.09	0.10	0.12	0.16	0.27	0.49	0.15								
				R^b	0.12	0.13	0.15	0.21	0.35	0.59	0.19								
				A_1^f	0.30	0.33	0.34	0.36	0.37	0.34	0.33								
				A_2^f	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.03	0.06								
5d	6	BRZ CLR	0.47	SHGC	0.49	0.46	0.44	0.39	0.31	0.17	0.41	0.44	0.46	0.37	0.43	0.40	0.42	0.35	0.41
				T	0.38	0.35	0.32	0.27	0.20	0.08	0.30								
				R^f	0.07	0.08	0.09	0.13	0.22	0.44	0.12								
				R^b	0.10	0.11	0.13	0.19	0.31	0.55	0.17								
				A_1^f	0.48	0.51	0.52	0.53	0.53	0.45	0.50								

Fig. 5 Valores de SHGC (θ) y SHGC_D tabulados, para el tipo de acristalamiento utilizado (Fte.[3])

Superficies acristaladas en la vivienda de referencia:

Fachada sur. Será la que presente le mayor diferencia. Se pasa de 90.35 m² a 22.5 m² (de un 59.7% de superficie de fachada acristalada a un 15%).

Planta baja: Ventanal de 5m de ancho y altura de 2m, abierta hacia el salón. Ventanal de 2.5m de ancho y altura de 2m en la zona de trabajo.

Primera planta: Ventanal de 3m de ancho y 1.5m de altura a la salida de la escalera. Ventanal de 2m de ancho y 1.5m de ancho.

Fachada norte. Pasa de 15 m² a 16.8 m². En este caso, hay un aumento de superficie acristalada. Los huecos abiertos en la primera planta prácticamente se mantienen, pero se abren dos huecos en la planta baja para facilitar la iluminación.

Planta baja: Ventanal de 2m de ancho y 1.4m de altura en el salón. Ventanal de 1m de ancho por 1.5m de altura a la entrada de la escalera.

Primera planta: Huecos en los baños de 1m de ancho y 1.4m de altura. Ventana de 3m de ancho por 1.4m de altura en el dormitorio principal. El resto de dormitorios tiene sendos ventanales de 2m de ancho por 1.4m de alto.

Fachada este. Pasa de 1m² a 3m² (de un 4.3% a un 13%). Ventanal abierto en la cocina de la planta baja.

Fachada oeste. Pasa de 1.5 m² a 2.25 m² (de un 6.5% a un 9.8%). Ventanal abierto en el dormitorio de la primera planta, fachada oeste.

Dispositivos de sombreamiento. La fachada está retranqueada 50 cm respecto a la cubierta. Este voladizo se asemeja a un alero fijo. La sombra proyectada solo tiene afección en las superficies acristaladas de la primera planta.

El déficit de sombreamiento se compensa con persianas venecianas en la cara interna o persianas exteriores en el caso de la fachada norte. Ambos dispositivos suponen una atenuación de la radiación solar incidente. Según ASHRAE, la eficacia de cualquier dispositivo de sombreamiento interno, depende de su capacidad de reflejar la radiación incidente hacia afuera del acristalamiento, antes de que pueda ser absorbida y convertida en calor dentro del edificio).

Definido todo lo anterior, se corre la hoja de cálculo y se obtiene los distintos resultados de carga térmica, teniendo en cuenta el cambio de los acristalamientos y todos los cambios inherentes al nuevo diseño que se han comentado.

	Solución bioclimática (3)	Sin ganancia directa	
Valores pico ⁹ [W]	6874.6	10583.1	
	8365.75	10467.2	
Potencia de la instalación [W]	7218.3	11112.2	35.04%
	9620.6	12037.3	20.08%
			Diferencia (%)

Tabla. 12 Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (3)

Coefficiente de mayoración para la instalación de calefacción: 1.15¹⁰

Coefficiente de mayoración para la instalación de refrigeración: 1.05

Sin ganancia directa, tanto para calefacción como para climatización, hay un incremento de la potencia a instalar. Comparativamente, el aumento de la potencia de refrigeración es mayor. La causa es, que el valor pico de refrigeración se sigue produciendo el 21 de Julio a las 16 horas, momento en que el efecto de los acristalamientos sobre la carga térmica es importante.

Los acristalamientos de la vivienda de referencia, tienen unos valores de SHGC mayores que los de la vivienda bioclimática, además su protección solar (por dispositivos externos) no es completa a ninguna

⁹ Los valores pico en los dos casos se producen en el 21 de Julio a las 16 horas para carga de refrigeración y para las 6 horas del calor medio mensual del mes de Enero para calefacción.

¹⁰ Aunque no haya soterramiento de las fachadas, la construcción sigue siendo pesada. Por tanto hay que considerar el efecto de inercia sobre la calefacción que tienen los muros (funcionamiento intermitente de la instalación + inercia de los muros: mayoración del 15%)

de las horas. Ambos efectos combinados, conllevan, que **el flujo de calor que ingresa a través del acristalamiento sea mayor por unidad de superficie (en comparación con los otros acristalamientos)**.

	Carga térmica (valor medio horario) [W]			
	Solución bioclimática (3)	Sin ganancia directa	Diferencia [W]	Diferencia [%]
Enero	5803.17	7545.19	1742.01	23.09%
Febrero	5008.28	6473.91	1465.63	22.64%
Marzo	2978.74	3900.17	921.43	23.63%
Abril	3699.39	3350.23	-349.16	-10.42%
Mayo	1879.53	1402.17	-477.36	-34.04%
Junio	81.31	914.00	832.69	91.10%
Julio	2640.93	3808.34	1167.41	30.65%
Agosto	3311.18	3900.38	589.21	15.11%
Septiembre	1902.13	1594.50	-307.63	-19.29%
Octubre	470.00	2222.52	1752.52	78.85%
Noviembre	3091.60	4426.37	1334.77	30.15%
Diciembre	5861.76	7379.84	1518.07	20.57%

Tabla. 13 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (3)

La diferencia en el mes de septiembre no sigue la tendencia del resto de meses. En el caso de septiembre, la ganancia de calor es mayor en la vivienda bioclimática que en el caso de la vivienda de referencia. Esto puede deberse a la pérdida de eficacia del alero, que en el mes de septiembre solo sombrea (de media) un 37.95% de la ventana, lo que supone un sobrecalentamiento indeseado del interior de la vivienda.

En los meses de abril y mayo, con valores de eficiencia de alero altos (54.86% y 77.47%) se produce el efecto contrario al mes de septiembre: se impide el paso de los rayos solares cuando aún son necesarios para caldear el local (inconveniente del uso de protecciones solares fijas, se penaliza entre estaciones). Si en el caso de la vivienda de referencia se pasase de pérdidas a ganancias, sería necesario replantear la longitud del alero. Al no ser así, la longitud del alero se mantiene.

Por otro lado, de acuerdo a la Tabla. 14, las necesidades de energía acumulada anual son menores para la vivienda bioclimática.

Energía acumulada anual [kW·h / año]			
$\sum_{i=\text{Enero}}^{\text{Diciembre}} (\text{Energía horaria} \cdot \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot \text{días mes}(i))_i$			
Solución bioclimática (3) [kW·h]	Sin ganancia directa [kW·h]	Diferencia [kW·h]	Diferencia [%]
5856.44	7541.41	1684.97	22.34%
20898.03	26652.34	5754.31	21.59%

Tabla. 14 Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (2)

El aumento del requerimiento de potencia de calefacción es del mismo orden que el de la energía acumulada anual de calefacción. Para ambos está en torno al 20%, validando la hipótesis inicial, de calefacción pasiva por ganancia solar directa.

Conclusión: *El uso de sistemas de ganancia pasiva, disminuye la potencia necesaria para alcanzar el confort térmico. Lo hace en la misma proporción, tanto para las necesidades de calefacción como para las de refrigeración. Siendo el impacto de la solución en ambos casos, alto.*

Hasta ahora la vivienda de referencia ha ido tomando distintas formas en función de la solución bioclimática que se dejase de aplicar. Con el objeto de dar una visión más general de las virtudes del diseño bioclimático, se compara la vivienda diseñada con una vivienda de referencia, resultado de obviar todas las soluciones de la primera.

6.2. Cumplimentación de las fichas justificativas del CTE

Al igual que en el caso de la vivienda bioclimática, la vivienda de referencia cumple con el apartado de construcción de la exigencia básica HE1 del código técnico de la edificación.

	Muros de fachada / Cerramientos en contacto con el terreno		Huecos			
	U_{Mm}	U_{Mlim}	U_{Hm}	U_{Hlim}	F_{Hm}	F_{Hlim}
N	0.632	0.66	3	3.5	0.515	x
S						
E						
O						
Suelos		Cubiertas				
	U_{Sm}	U_{Mlim}	U_{Cm}		U_{Clim}	
	0.436	0.49	0.362		0.38	

Tabla. 15 Comparación de los valores medios de diseño con los valores límite

Ninguno de las fachadas tiene una superficie acristalada mayor del 60%, por tanto la opción simplificada de verificación es aplicable.

En la Tabla. 15 se comparan los valores medios de las transmitancias térmicas de los cerramientos utilizados, con los valores límite impuestos por el CTE para la zonificación geográfica D3. Todos los valores son menores que los impuestos, por tanto, la vivienda de referencia cumple con el CTE.

Se estima que la sola aplicación de la HE1 supone una reducción media de la demanda de energía de calefacción respecto a la antigua norma NBCT-79 del orden del 25%.

6.3. Vivienda de referencia sin ninguna solución bioclimática

	Soluciones bioclimáticas	Sin soluciones	
Valores pico ¹¹ [W]	6874.6	11481.3	
	8365.75	12198.9	
Potencia de la instalación [W]	7218.3	12055.4	40.12%
	9620.6	13418.8	28.30%
			Diferencia (%)

Tabla. 16 Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (sin soluciones)

	Carga térmica (valor medio horario) [W]			
	Soluciones bioclimáticas	Sin soluciones	Diferencia [W]	Diferencia [%]
Enero	5803.17	8695.39	2892.21	33.26%
Febrero	5008.28	7354.73	2346.44	31.90%
Marzo	2978.74	4204.62	1225.88	29.16%

¹¹ Los valores pico en los dos casos se producen en el 21 de Julio a las 16 horas para carga de refrigeración y para las 6 horas del calor medio mensual del mes de Enero para calefacción.

Abril	3699.39	3508.24	-191.15	-5.45%
Mayo	1879.53	1332.70	-546.83	-41.03%
Junio	81.31	1409.11	1327.80	94.23%
Julio	2640.93	4859.42	2218.49	45.65%
Agosto	3311.18	4820.62	1509.45	31.31%
Septiembre	1902.13	1955.03	52.89	2.71%
Octubre	470.00	2629.85	2159.85	82.13%
Noviembre	3091.60	5154.47	2062.87	40.02%
Diciembre	5861.76	8587.65	2725.88	31.74%

Tabla. 17 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (sin soluciones)

Energía acumulada anual [kW·h / año]			
$\sum_{i=\text{Enero}}^{\text{Diciembre}} (\text{Energía horaria} \cdot \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot \text{días mes}(i))_i$			
Soluciones bioclimáticas [kW·h]	Sin soluciones [kW·h]	Diferencia [kW·h]	Diferencia [%] ¹²
5856.44	9624.13	3767.69	39.15%
20898.03	30114.49	9216.46	30.60%
Soluciones bioclimáticas [kW·h/m ²]			
19.51			
69.66			

Tabla. 18 Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (sin soluciones)

El mayor ahorro de energía se da en la estrategia de refrigeración (39.15%), para el caso de calefacción se obtiene la nada desdeñable reducción del 30.60%. Por tanto, según la reducción comentada sobre la **NBCT-79**, el ahorro debería estar en torno al **50%** sobre una vivienda de similares características proyectada antes de 2006.

6.4. Cargas sobre las que no participan las soluciones bioclimáticas

El suelo es el mismo tanto para la vivienda bioclimática como para la vivienda de referencia. Una actuación bioclimática de tipo pasivo, es en concordancia con el resto de la vivienda, usar una construcción pesada de alta inercia. Sin embargo, se optó por una solución activa¹³, el uso de suelo radiante (esta solución se puede considerar activa, siempre que haya cierto aporte a través de la energía solar), solución que es aplicable a los dos tipos de construcciones.

Hay dos tipos de cargas en las que no hay diferencia entre la vivienda bioclimática y la de referencia, sobre las que se tiene escaso margen de maniobra:

Cargas internas. Dependen de los equipos, la iluminación y la ocupación.

Cargas debidas al aire interior: Infiltraciones y ventilación. Las infiltraciones son función de la permeabilidad de los cerramientos (sin embargo se ha considerado incluidas en las necesidades de ventilación). La ventilación es función del tipo de locales que componen la vivienda, de las condiciones de bienestar higrotérmico y del volumen de cada local.

¹² Es necesario comentar que la diferencia para este último caso (vivienda de referencia sin ninguna solución), no se compone de la suma de las anteriores diferencias que se han expuesto a lo largo del capítulo. Esto se debe a que como ya se dijo, hay soluciones que están acopladas entre sí.

¹³ En aplicaciones con calefacción por suelo radiante, el uso de revestimiento pesado (pavimento de alta inercia) aumenta el tiempo desde la puesta en marcha de la instalación, hasta el momento en que se alcanza la temperatura de confort. Por otro lado, el resultado global a lo largo de la jornada será similar al de baja inercia, puesto que con alta inercia se mantienen mejor las condiciones al final de la jornada, cuando se apaga el equipo. Teniendo en cuenta que las instalaciones por suelo radiante llevan intrínseca una elevada inercia térmica (independientemente del tipo de construcción de la vivienda), se opta por el uso de un revestimiento ligero de baja inercia.

Puesto que la vivienda de referencia tiene la misma superficie que la bioclimática y su distribución es similar, **cargas internas y cargas debidas al aire exterior, serán las mismas para los dos tipos de construcciones.** De modo que si en la comparación anterior excluyo estas cargas que considero independientes del tipo de construcción, la participación de las soluciones en la carga térmica total aumenta su peso (Tabla. 19).

Atendiendo a la Tabla. 19, para los meses de Abril y Mayo se obtienen peores resultados con la construcción bioclimática que con la convencional. Esto es debido a la rigidez de las protecciones solares fijas, de nuevo como se comentó en (6.1.2) sería interesante el uso de protecciones solares móviles. El inconveniente de tales dispositivos es que si son operados manualmente, pueden no ser del todo efectivos. La mejor solución sería disponer de dispositivos automáticos, capaces de actuar según las condiciones ambientales y de confort. No obstante, habría que evaluar el ahorro que se produce con este sistema y compararlo con el sobrecoste que implica el sistema de regulación.

	Carga térmica (valor medio horario) [W]					Diferencia [%]
	Soluciones bioclimáticas	Sin soluciones	Cargas debidas al aire e internas (C1)	Soluciones bioclimáticas - C1	Sin soluciones - C1	
Enero	5803.17	8695.39	2101.35783	3701.82	6594.03	43.86%
Febrero	5008.28	7354.73	1770.80804	3237.47	5583.92	42.02%
Marzo	2978.74	4204.62	1518.43434	1460.31	2686.19	45.64%
Abril	3699.39	3508.24	1303.98118	2395.41	2204.26	-8.67%
Mayo	1879.53	1332.70	80.0787656	1799.45	1252.62	-43.65%
Junio	81.31	1409.11	425.945493	344.64	983.16	135.05%
Julio	2640.93	4859.42	984.403593	1656.52	3875.01	57.25%
Agosto	3311.18	4820.62	1165.16657	2146.01	3655.46	41.29%
Septiembre	1902.13	1955.03	638.128609	1264.00	1316.90	4.02%
Octubre	470.00	2629.85	244.781605	225.22	2385.07	90.56%
Noviembre	3091.60	5154.47	1207.01919	1884.59	3947.45	52.26%
Diciembre	5861.76	8587.65	1939.62897	3922.13	6648.02	41.00%

Tabla. 19 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (sin cargas en las que no se actúa)

Energía acumulada anual [kW·h / año]			
$\sum_{i=Enero}^{Diciembre} (Energía\ horaria \cdot \frac{horas}{día} \cdot días\ mes(i))_i$			
Soluciones bioclimáticas - C1 [kW·h]	Sin soluciones - C1 [kW·h]	Diferencia [kW·h]	Diferencia [%]
2643.01	6410.48	3767.47	58.77%
10731.13	19948.40	-9217.27	46.21%

Tabla. 20 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (sin cargas en las que no se actúa)

Conclusión: Las energía acumulada anual debida a cargas internas y al aire interior, conforman en **58.77%** de la energía total de refrigeración y el **46.21%** de la de calefacción (para la vivienda bioclimática).

Tener en cuenta aquellas cargas sobre las que no tienen efecto el uso de las estrategias bioclimáticas usadas, "falsean" las bondades de su utilización. En la Tabla. 19 y Tabla. 20, se muestra como el ahorro es aún mayor.

A la luz de los resultados de la comparación, se demuestra que en el diseño en general y que en el diseño bioclimático en particular, **el todo es mayor que la suma de las partes.**

6.5. Rediseño de soluciones

A lo largo de todo el proyecto se ha establecido una estrategia de realimentación el diseño de la vivienda. Esto es, he intentado cumplir con los objetivos marcados mediante una revisión continua de los elementos diseñados y sus resultados. Esto ha dado lugar, a una serie de cambios que se han ido comentando a lo largo del mismo.

En el capítulo de *soluciones bioclimáticas* comenté la posibilidad de variar el tamaño del voladizo del alero y la influencia que esta variación pudiera tener sobre los resultados de carga térmica y energía demandada. Es el momento de mostrar los resultados de dicha posibilidad.

Cita del capítulo 4: () Los datos meteorológicos que manejo son por un lado diarios (con intervalos hora a hora) y por otro, para un conjunto de 20 años, los valores mensuales medios. La longitud de voladizo coincide con la del día límite, puesto que al comparar resultados, este valor es mayor que el que resulta del cálculo para los valores medios mensuales del mes de julio. De este modo se consigue un mayor sombreado medio para el mes de julio. El aumento de esta longitud supone penalizar ganancia directa a través de acristalamientos en los últimos meses de calefacción.*

A continuación se exponen las diferencias obtenidas entre las dos hipótesis:

	Alero 2.3m	Alero 1.9m	
Valores pico ¹⁴ [W]	6874.6	6869.9	
	8365.75	8327.14	
Potencia de la instalación [W]	7218.3	7213.40	-0.07%
	9620.6	9576.21	-0.46%
			Diferencia (%)

Tabla. 21 Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (cambio longitud de alero)

Energía acumulada anual [kW·h / año]			
$\sum_{i=\text{Enero}}^{\text{Diciembre}} (\text{Energía horaria} \cdot \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot \text{días mes}(i))_i$			
Alero 2.3m [kW·h]	Alero 1.9m [kW·h]	Diferencia [kW·h]	Diferencia [%]
5856.44	5725.6154	-130.82	-2.28
20898.03	20667.52	-230.51	-1.12

Tabla. 22 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (cambio longitud de alero)

Se obtienen mejores resultados tanto para valores pico como de energía acumulada anual, con el uso de alero de longitud 1.9m. Sobredimensionar el alero para cumplir con las condiciones del 21 de Julio, tiene un impacto negativo sobre las necesidades térmicas anuales de la vivienda.

¹⁴ Los valores pico en los dos casos se producen en el 21 de Julio a las 16 horas para carga de refrigeración y para las 6 horas del calor medio mensual del mes de Enero para calefacción.

6.6. Bibliografía del capítulo

1. Pinazo Ojer, J.M. and Universidad Politécnica de Valencia, *Manual de climatización: T. II, Cargas térmicas*. 1995, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones. 634.
2. IDAE, *Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado : guía técnica para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios*. 2008. 43 p.
3. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *2001 ASHRAE handbook : fundamentals*. 2001, Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1 v. (pag. var.).

[Contribución solar mínima de ACS]

7. Contribución solar mínima de ACS	159
7.1. Método de cálculo	159
7.1.1. Esquema del método de cálculo:	159
7.1.2. HOJA C. Ecuaciones que caracterizan la actuación del colector y de la instalación	174
7.2. Demanda de energía térmica	176
7.3. Energía solar térmica aportada	179
7.4. Fracciones solares mensuales y anuales	180
7.4.1. Comparación de pérdidas por inclinación y superposición arquitectónica	180
7.4.2. Restricciones sobre la contribución solar.	182
7.4.3. Comparación de resultados de pérdidas por inclinación y superposición arquitectónica.	182
7.5. Rendimiento medio anual	186
7.6. Dimensionado básico del circuito secundario	189
7.6.1. Acumulación de ACS	189
7.6.2. Sistema de intercambio	192
7.6.3. Sistema de energía auxiliar convencional	193
7.7. Resumen de elementos de la instalación	194
7.8. Bibliografía del capítulo	195

[PFC DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS]

[Se calcula la instalación de agua caliente sanitaria necesaria para satisfacer la contribución solar mínima de ACS exigida por el CTE (DB HE4)]

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Esquema simplificado de la instalación de ACS	161
Fig. 2	Representación esquemática del circuito primario de la instalación	162
Fig. 3	Esquema del intercambiador de calor	163
Fig. 4	Esquema del sistema de apoyo	163
Fig. 5	Esquema del depósito de acumulación	164
Fig. 6	Perfil de temperaturas de un tanque con estratificación	164
Fig. 7	Esquema de resistencias del colector	165
Fig. 8	Circuito de resistencias térmicas en el colector y representación de los flujos de calor	170
Fig. 9	Variación media del consumo mes a mes (Ref. [5])	177
Fig. 10	Contribución solar mínima en % [Fte. CTE]	178
Fig. 11	Temperatura mínima media del agua de la red general [°C] [fte. censolar]	179
Fig. 12	OPCIÓN 2	180
Fig. 13	OPCIÓN 1	
Fig. 14	Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación en inclinación (Ref. [4])	181
Fig. 15	Contribución solar, rendimiento obtenido y rendimiento según la curva de normalización para la OPCIÓN 1	182
Fig. 16	Calor demandado y pérdidas en el colector, para la OPCIÓN 1	183
Fig. 17	Contribución solar, rendimiento obtenido para la OPCIÓN 1.1	183
Fig. 18	Calor demandado y pérdidas en el colector, para la OPCIÓN 1.1	184
Fig. 19	Contribución solar, rendimiento obtenido para la OPCIÓN 2	184
Fig. 20	Calor demandado y pérdidas en el colector, para la OPCIÓN 2	185
Fig. 21	Evolución mensual de las temperaturas de proceso medias en los puntos más relevantes de la instalación	186
Fig. 22	Datos técnicos del colector solar de energía Vitosol 100 w2.5	187
Fig. 23	Curva de normalización para el colector Vitosol 100 w2.5 [Fte. www.solarenergy.ch]	188
Fig. 24	Variación del caudal para un edificio de viviendas en un día laboral (Ref.[5])	191

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1	Resistencias térmicas de conducción	166
Tabla. 2	Dirección del viento en % para Madrid	169
Tabla. 3	Tabla para el cálculo del número de personas por vivienda (Fte.[4])	176
Tabla. 4	Demanda de referencia a 60°C (Fte. [4])	177
Tabla. 5	Caudal corregido y gasto másico (tras corrección por estacionalidad)	178
Tabla. 6	Potencia de ACS demandada	180
Tabla. 7	Comparación de las opciones 1 y 1.1	184
Tabla. 8	Comparación de las opciones 1 y 2	185
Tabla. 9	Valores para la comparación de rendimientos (OPCIÓN 1)	188
Tabla. 10	Valores para la comparación de rendimientos (OPCIÓN 2)	189
Tabla. 11	Coefficientes para viviendas (Ref.[5])	190
Tabla. 12	caudal máximo horario medio	191

7. Contribución solar mínima de ACS

La sección HE4 del CTE, *Contribución solar mínima de ACS*, es de aplicación a los edificios de nueva construcción y rehabilitación de edificios existentes de cualquier uso, en los que exista una demanda de ACS y/o climatización de piscina cubierta.

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales. En el caso de Madrid es del 60%.

Para verificar el cumplimiento de la citada sección, se desarrolla el **método de cálculo**, especificando, en base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y la contribución solar. Asimismo el método de cálculo incluye las prestaciones globales anuales definidas por:

- a) Demanda de energía térmica
- b) Energía solar térmica aportada
- c) Fracciones solares mensual y anual
- d) Rendimiento medio anual

7.1. Método de cálculo

Existen distintos métodos de diseño y dimensionado de uso generalizado, tales como f-chart, ϕ -f-chart, etc. Estos métodos se basan en correlaciones de gran número de experimentos numéricos y operan con medias mensuales. El método f-chart está avalado por instituciones como el IDAE y se admite como válido en el *pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura* [1].

Sin embargo, es preferible obtener la información meteorológica necesaria y realizar una simulación mediante computador. Existen multitud de potentes programas comerciales para este fin como TRNSYS o TRANSOL, así como otras aplicaciones informáticas desarrolladas por universidades u organismos públicos (su creación ha sido motivada por la generalización del uso de los sistemas solares), como por ejemplo ACSOL desarrollado por la *Agencia andaluza de la energía*.

Para el proyecto, se ha implementado en Mathcad un método de cálculo iterativo desarrollado en base a balances de energía en el colector por un lado y en la instalación por otro.

7.1.1. Esquema del método de cálculo:

El proceso de cálculo se realiza en dos fases:

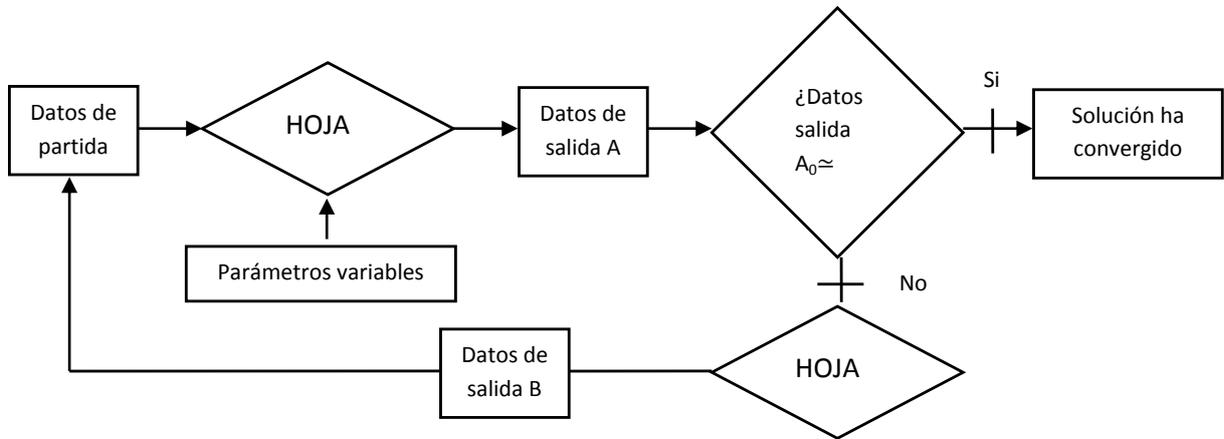
Fase 1: Se basa en imponer las ecuaciones conservativas de masa y energía en todos los componentes de la instalación. Para lo cual, es necesario evaluar de manera preliminar las pérdidas térmicas en los captadores solares. Esta evaluación, se hace a partir del rendimiento obtenido de la curva de normalización del captador.

Fase 2: Se mejora el cálculo preliminar de las pérdidas, para ello se realiza un modelo de transferencia de calor convectivo-radiativa, que tiene en cuenta de manera adecuada las pérdidas por efecto del viento, entre otras.

Estas dos fases, suponen el uso de dos hojas de cálculo en paralelo. Por un lado, se genera una hoja que incluye los balances de energía en la instalación (**HOJA A**) y por otro una hoja en la que se hace un balance de energía exclusivamente del colector (**HOJA B¹**). Se establece un proceso iterativo, en el que los resultados de la HOJA A alimentan a la HOJA B y los resultados de la HOJA B retroalimentan a la

1 La utilidad de hacer un balance de energía en el colector es la de obtener el rendimiento del mismo de una manera alternativa a la que proponen los fabricantes, que es a través de la curva de normalización. Curva obtenida en base a ensayos, que pueden no ajustarse a las condiciones de operación del colector.

A. El proceso concluye cuando la diferencia en los resultados de la iteración (i) y la ($i-1$) de la HOJA A sea despreciable.



- **HOJA A. Ecuaciones que caracterizan la actuación de la instalación**

Datos de partida:

1. Radiación sobre el plano horizontal → Radiación sobre el plano inclinado (H_T [W/m^2])
2. Rendimiento del colector (η_c)²
3. Eficiencia del intercambiador de calor (ϵ_{IC})
4. Caudal de consumo (m_{cons} [kg/s])
5. Temperatura de la red (T_{red} [$^{\circ}C$])
6. Temperatura ambiente (T_0 [$^{\circ}C$])
7. Densidad de los fluidos ($\rho_{agua-glicol}, \rho_{agua}$ [kg/m^3])
8. Calor específico de los fluidos ($Cp_{agua-glicol}, Cp_{agua}$ [$J/kg \cdot K$])
9. Temperatura de suministro (T_{sum} [$^{\circ}C$])
10. Contribución solar mínima anual (f)

Parámetros variables:

- El gasto másico horario: $\dot{m}_{cons} = \frac{m_{cons\ diario}}{horas\ de\ sol}$
- $A = 0.5m^2 \cdot n^{\circ}personas$

A través de los datos de partida se pretende resolver un sistema de ecuaciones, que tiene como incógnitas:

1. Temperatura de entrada a colectores (T_{ci})
2. Temperatura de salida de colectores (T_{co})
3. Temperatura de salida del tanque (T_{ici})
4. Temperatura de entrada al tanque (T_{ico})
5. Temperatura de consumo (T_{cons})
6. Temperatura media del tanque (T_t)
7. Área de colectores (A)

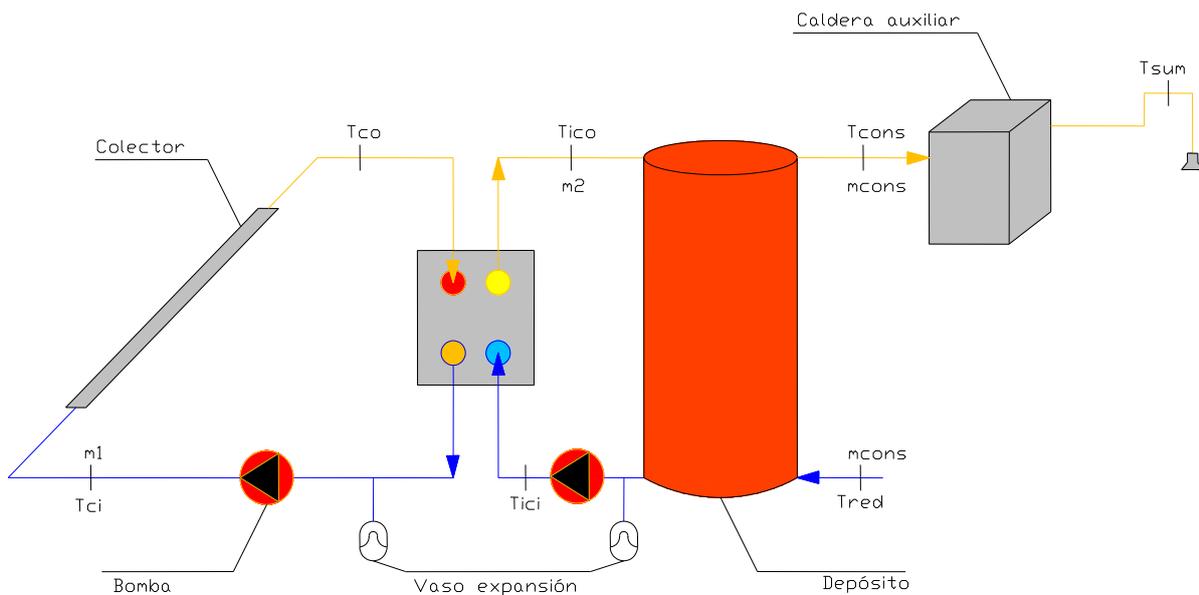
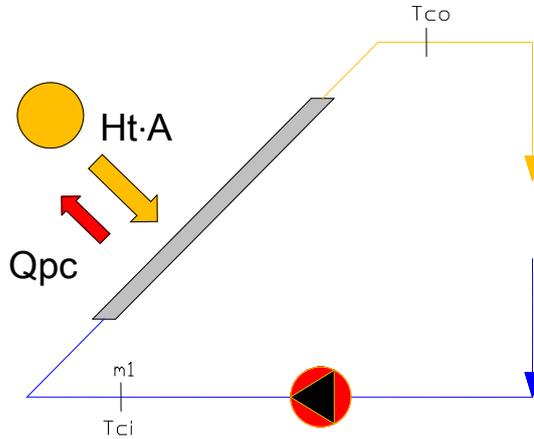


Fig. 1 Esquema simplificado de la instalación de ACS

2 De inicio el valor rendimiento del colector es el proporcionado por la curva de normalización. El sistema de ecuaciones de la HOJA A, se realimenta por el rendimiento del colector calculado en la HOJA B. Por tanto es el rendimiento del colector el que establece el proceso iterativo.

Las ecuaciones resultan del balance de energía de cada uno de los elementos que conforman el sistema solar:

1. Balance de energía en los colectores



Los colectores solares planos aprovechan la radiación solar incidente (H_T). A través de esta radiación, se eleva la temperatura de la placa absorbadora del colector, elevando la temperatura de los tubos dispuestos sobre ella y por tanto la del fluido caloportador que circula a través de los mismos.

Fig. 2 Representación esquemática del circuito primario de la instalación

El agua entra en el colector a una temperatura T_{ci} y sale a una temperatura T_{co} . La radiación solar que llega a la capa absorbadora es menor que la que incide sobre la cubierta de cristal del colector (debido a las pérdidas ópticas, por tanto existe un rendimiento óptico de colector, η_o).

Calor que llega a la placa absorbadora: $H_T \cdot A \cdot \eta_o$ [W]

Además de pérdidas ópticas, existen otras pérdidas debidas a fenómenos de transferencia de calor. Se producen flujos de calor desde los elementos a alta temperatura del colector al ambiente.

Calor para elevar la temperatura desde T_{ci} a T_{co} : $H_T \cdot A \cdot \eta_c$ [W]

Balance de energía en el colector (estacionario para datos diarios):

$$\frac{dE_c}{dt} = H_T \cdot A - \dot{Q}_{pc} - m_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) = 0 \text{ (estacionario)}$$

$$H_T \cdot A - \dot{Q}_{pc} = m_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_{co} - T_{ci});$$

$$H_T \cdot A \cdot \eta_c = m_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) \text{ Ec.(1)}$$

H_T : Radiación media diaria sobre el plano inclinado [W/m^2]

A : Área de colectores [m^2]

η_c : Rendimiento de colectores

m_1 : Gasto másico de fluido caloportador en el circuito primario [kg/s]

Cp_1 : Calor específico del fluido caloportador

T_{co} : Temperatura de salida en colectores

T_{ci} : Temperatura de entrada en colectores

2. Balance de energía en el intercambiador de calor

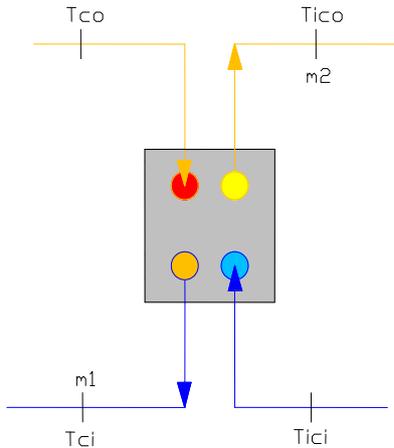


Fig. 3 Esquema del intercambiador de calor

Se considera un intercambiador de calor simétrico. Que un intercambiador de calor sea simétrico implica que el flujo másico que circula por el circuito primario es el mismo que el que circula por el circuito secundario.

Esto es: $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$

Del balance de energía en el colector de tiene:

$$\dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (Tco - Tci) = \dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (Tco - Tci)$$

Ec.(2)

m_1 : Gasto másico de fluido caloportador en el circuito primario [kg/s]

Cp_1 : Calor específico del fluido caloportador del primario

m_2 : Gasto másico de fluido caloportador en el circuito secundario [kg/s]

Cp_2 : Calor específico del fluido caloportador del secundario

Tco : Temperatura de salida en colectores

Tci : Temperatura de entrada en colectores

La eficiencia del intercambiador de calor se puede definir como:

$$\epsilon_{IC} = \frac{\dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (Tco - Tci)}{C_{min} \cdot (Tco - Tci)} \quad \text{Ec.(3)}$$

Donde $C_{min} = \min(\dot{m}_1 \cdot Cp_1, \dot{m}_2 \cdot Cp_2)$

Se toma un valor de eficiencia del intercambiador de 0.7. Por tanto la elección del intercambiador debería ser consecuente con esta asunción.

3. Contribución solar mínima anual

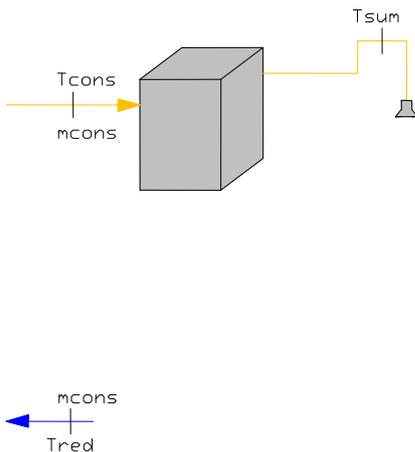


Fig. 4 Esquema del sistema de apoyo

La contribución solar, es la razón entre el calor aplicado a la temperatura de la red (procedente del sistema de ACS solar) y el calor necesario para satisfacer la demanda. De otra forma, es la temperatura de consumo T_{cons} , a la que se puede llegar solo con el aporte del sistema solar.

Definida la contribución solar, la contribución solar mínima que exige el CTE () es: *el porcentaje del total de la demanda de necesidades energéticas (en este caso para ACS), que se cubre mediante la incorporación de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar de baja temperatura.*

$$f = \frac{\dot{m}_{cons} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red})}{\dot{m}_{cons} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{sum} - T_{red})} \quad \text{Ec.(4)}$$

m_{cons} : Gasto másico de ACS demandado [kg/s]

Cp_{cons} : Calor específico del agua en el circuito de consumo [J/kg·K]

T_{cons} : Temperatura a la salida del depósito de acumulación [°C]

T_{sum} : Temperatura de suministro, 60°C (fijado en el CTE)

4. Balance de energía en el depósito de acumulación

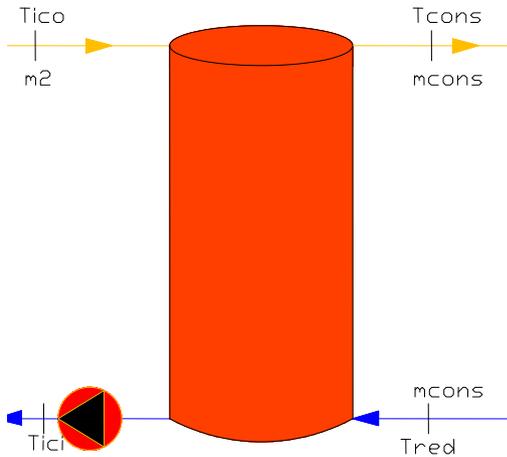


Fig. 5 Esquema del depósito de acumulación

El agua caliente proveniente del circuito secundario, cede calor a la temperatura que entra en el depósito proveniente de la red. El balance de energía queda:

$$\dot{m}_{cons} \cdot C_{p_{cons}} \cdot (T_{cons} - T_{red}) = \dot{m}_2 \cdot C_{p_2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})$$

Ec.(5)

5. Grado de estratificación del tanque

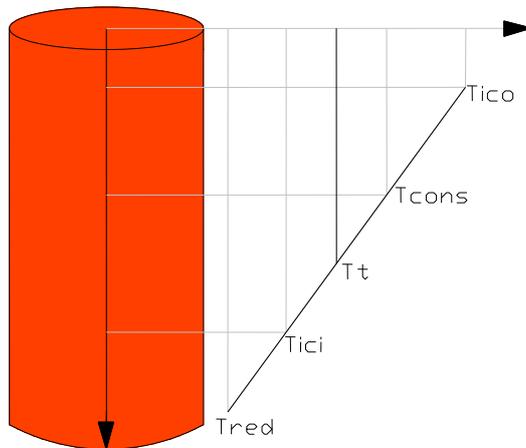


Fig. 6 Perfil de temperaturas de un tanque con estratificación

$$E_t = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t}$$

Ec.(6)

$$T_{cons} = T_t + (T_{ico} - T_t) \cdot E_t$$

$$T_t = \frac{T_{ico} \cdot \dot{m}_2 + T_{red} \cdot \dot{m}_{cons}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}}$$

Ec.(7)

El grado de estratificación del tanque representa el perfil de temperaturas dentro del tanque. El gradiente de temperaturas dentro del tanque se asume lineal, la temperatura consumo está comprendida entre la temperatura del caudal de salida del intercambiador que entra al tanque (T_{ico}) y la temperatura media del tanque (T_T).

Por tanto la estratificación está entre $0 \leq E_T \leq 1$.

En un tanque completamente estratificado ($E_T = 1$), el valor de $T_{cons} = T_{ico}$

En un tanque con estratificación nula ($E_T = 0$), el valor de $T_{cons} = T_T$

Se toma un valor $E_T = 0.5$, en base a la experiencia [2]

La resolución de las siete ecuaciones (Ec.(1)-Ec.(7)), permite corroborar si para el **área de colectores** simulada (parámetro variable) y en las condiciones del emplazamiento del proyecto, la contribución solar (f) es la óptima. Los valores que devuelve el programa son los datos de partida para la **HOJA B**.

- **HOJA B. Ecuaciones que caracterizan la actuación del colector**

Rendimiento del colector

La energía demandada se obtiene de la transformación de energía solar, en forma de radiación incidente, en energía calorífica. Esta energía útil, eleva la temperatura de un fluido caloportador. La energía transformada es función de las pérdidas en el colector: ópticas y por transferencia de calor en forma de conducción, convección y radiación.

Los fabricantes caracterizan los colectores mediante curvas de normalización. Hay dos tipos normativas de ensayo de los colectores, la americana ASHRAE 93 y la europea EN 12975-2 (permite contabilizar las pérdidas por efecto del viento). En función de la normativa aplicada, se tendrá en cuenta o no el efecto de la velocidad del viento sobre el colector (velocidades entre 1-4 m/s). Hay estudios que han comparado experimentalmente los resultados de ambas normas, los valores de rendimiento obtenidos son similares (aunque menores en caso de aplicación de la normativa europea).

Aunque se puede contabilizar el efecto del viento sobre los colectores solares, la gran mayoría de ellos no se ensayan con viento, lo que supone unos valores de rendimiento más optimistas que los que se dan en condiciones reales.

En el artículo *Transferencia de calor en colectores solares planos, considerando velocidad y dirección del viento* [3], se dan las pautas necesarias para el cálculo de las resistencias térmicas y un rendimiento basado en ellas, que modelizan de manera precisa las actuaciones del colector.

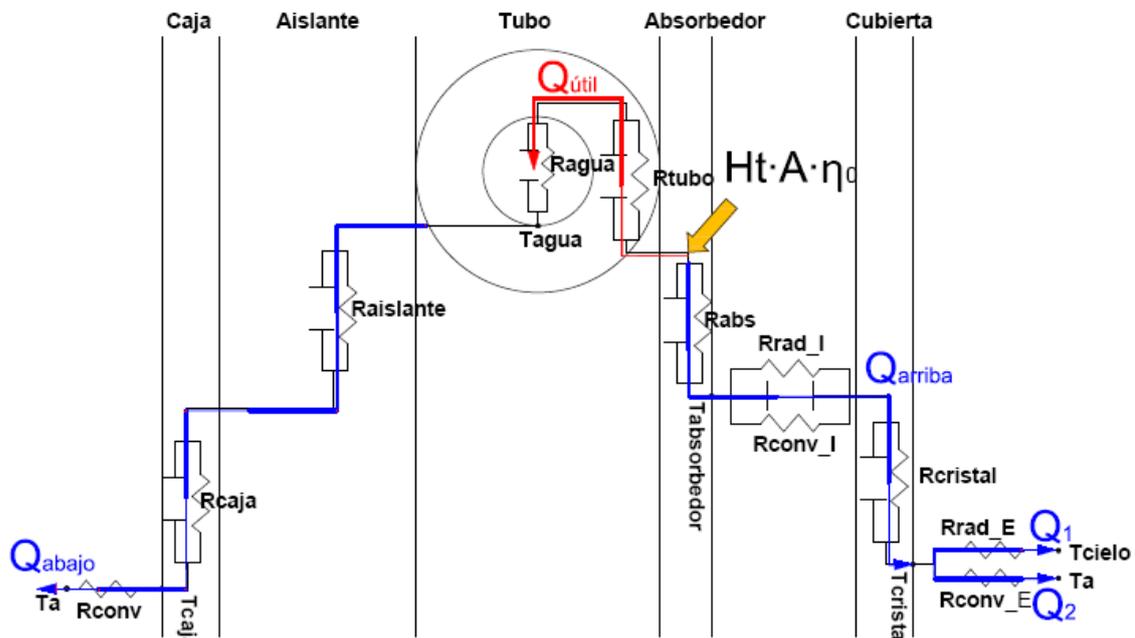


Fig. 7 Esquema de resistencias del colector

- **Resistencias térmicas**

1. Resistencias térmicas de conducción

Las resistencias térmicas de conducción que afectan al cálculo del rendimiento del colector son: resistencia de la placa o absorbedor, del cristal de la cubierta, del tubo colector, del aislante y de la estructura que encierra al panel (caja).

- 1.2. Resistencia de conducción de la placa absorbadora. No es una resistencia lineal, en [3] se calcula a través de un balance de energía en la placa entre la temperatura de la placa y la temperatura media del fluido que pasa por los tubos. El valor obtenido es:

$$R_{cond|placa} = 0.012 \frac{K}{W}$$

- 1.3. Resistencia de conducción del tubo colector. El colector elegido tiene un único tubo colector de cobre, que forma meandros a lo largo de la placa absorbadora.

$$R_{cond|tubo} \equiv R_{c-t} = \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2\pi \cdot L_{tubo} \cdot k_{tubo}} = 3.409 \cdot 10^{-6} \frac{K}{W}$$

Dónde:

D_{int} = 10mm Diámetro interno del tubo colector

D_{ext} = 12mm Diámetro exterior del tubo

$L_{tubo} = 0.965 \frac{m}{meandro} \cdot 22 \frac{meandros}{colector} = 21.23 \frac{m}{colector}$

$k_{tubo} = 401 \frac{W}{m \cdot K}$

- 1.4. Resistencia de conducción de: cristal de la cubierta, aislante y caja

Se tratan de placas planas finitas, la expresión común que determina la resistencia de conducción es:

$$R_{cond} = \frac{e}{k \cdot A} \left[\frac{K}{W} \right]$$

Dónde:

e: Espesor del elemento [m]

k: Conductividad del material [W/m·K]

A: Área de transferencia de calor del elemento [m²]

Elemento	Espesor [mm]	Área [m ²]	k [W/m·K]	Resistencia [K/W]	
Cristal de cubierta	4	2.5	0.9	$1.778 \cdot 10^{-3}$	R_{c_cub}
Caja	3	2.5	237	$5.063 \cdot 10^{-6}$	R_{c_caja}
Aislante	30	2.5	0.027	0.444	R_{c_ais}

Tabla. 1 Resistencias térmicas de conducción

2. Resistencias térmicas de radiación

Debido a la incidencia de radiación solar térmica sobre el colector se producen dos fenómenos de transferencia térmica por radiación:

Radiación exterior *desde la cubierta hacia el ambiente*, motivada por la diferencia de temperaturas entre la temperatura de la cubierta de vidrio y la temperatura efectiva de cielo.

Radiación interior *desde la placa absorbadora hacia la parte inferior de la cubierta de cristal*, debida a la diferencia de temperaturas entre la placa absorbadora y la parte inferior del cristal.

2.1. Radiación exterior

$$R_{rad_E} = \frac{1}{\epsilon_{cristal} \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{cubierta}^2 + T_{cielo}^2) \cdot (T_{placa} + T_{cubierta})} \left[\frac{K}{W} \right]$$

$\epsilon_{cristal}$: Emisividad del vidrio de protección, $\epsilon_{cristal} = 0.9$

σ : Constante de Stefan-Boltzman, $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K$

A: Área de la cubierta de vidrio, $A=1.868m^2$

Las temperaturas que propician el intercambio radiativo son $T_{cubierta}$, T_{placa} y T_{cielo} . Los valores de la temperatura de la cubierta y de la temperatura de la placa son a priori desconocidos, como primera aproximación se usan las siguientes correlaciones:

$$T_{cubierta}[K] = 1.042 \cdot T_{amb}[K] - 2.34 \cdot K$$

$$T_{caja}[K] = 1.021 \cdot T_{amb}[K] - 1.762 \cdot K$$

En el caso de la temperatura de cielo, se recurre al uso de correlaciones, en función de la temperatura ambiente y la temperatura de rocío [3]:

$$T_{cielo}[K] = T_0 \cdot (0.711 + 0.0056 \cdot (T_{rocio} - 273) + 0.000073 \cdot (T_{rocio} - 273)^2 + 0.013 - \cos(15 \cdot t))$$

2.2. Radiación interior

$$R_{rad_I} = \frac{\epsilon_{IR_cristal} + \epsilon_{IR_placa} - \epsilon_{IR_cristal} \cdot \epsilon_{IR_placa}}{\epsilon_{IR_cristal} \cdot \epsilon_{IR_placa} \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{placa}^2 + T_{cristal_abajo}^2) \cdot (T_{placa} + T_{cristal_abajo})} \left[\frac{K}{W} \right]$$

$\epsilon_{IR_cristal}$: Emisividad del vidrio en el espectro infrarrojo, $\epsilon_{IR_cristal} = 0.1$

ϵ_{IR_placa} : Emisividad de la placa absorbadora en el espectro infrarrojo, $\epsilon_{IR_placa}=0.1$

A: Área de absorción, $A= 1.868 \text{ m}^2$

Las temperaturas que propician el intercambio radiativo son $T_{cristal_abajo}$ y T_{placa} . El valor de la temperatura de la parte inferior del cristal es una de las incógnitas que se calculará con la resolución del sistema de ecuaciones que se plantea más adelante.

3. Resistencias térmicas de convección

Convección forzada externa en la parte superior y trasera de los colectores, debida a la velocidad y dirección del viento.

Convección de flujo interno en el interior de los tubos colectores.

Convección libre en la cavidad formada por la cubierta y la placa absorbadora.

3.1. Convección natural o libre. Se da en la cavidad formada por el aire contenido entre la cubierta y la placa absorbadora. Se asemeja el comportamiento al de una cavidad rectangular inclinada. La correlación empírica utilizada para el cálculo del número de Nusselt es:

$$Nu_{cl}^3 = 4.328 \cdot 10^{-10} \cdot Ra^2 - 1.478 \cdot 10^{-6} \cdot Ra + 1.001$$

Además del número de Nusselt es necesario otro número adimensional, el número de Rayleigh.

$$Ra^4 = Gr^5 \cdot Pr^6 = \frac{g \cdot \beta_s \cdot (T_{placa} - T_{cristal_abajo}) \cdot Lc^3}{\alpha(T) \cdot \vartheta(T)}$$

Dónde:

g: Aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2)

β_s : Coeficiente de expansión térmica [$1/K$]; $\beta = \frac{1}{T} = \left(\frac{T_{placa} + T_{cristal_abajo}}{2} \right)^{-1}$

Lc: Longitud característica. Espesor de la cámara de aire; $Lc = 2 \text{ cm}$

u: Viscosidad cinemática del aire a la temperatura T [$J/m^3 \cdot K$]

3 El número adimensional de **Nusselt** mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que discurre un fluido (transferencia de calor por convección), comparada con la transferencia de calor si ésta fuera solamente de conducción. $Nu = h \cdot L/k = \text{transf. calor por convección} / \text{transf. calor por conducción}$.

4 El valor número adimensional de **Rayleigh** determina si la transferencia de calor se produce por convección o por radiación, según supere o no un valor de 1000.

5 El número adimensional de **Grashof** es proporcional al cociente entre las fuerzas de flotación y las viscosas que actúan en un fluido

6 Número adimensional de **Prandtl** es el cociente entre la velocidad de difusión de momento (viscosidad) y la difusividad térmica.

$$\alpha: \text{Difusividad térmica del aire a la temperatura } T; \alpha = \frac{k(T)}{\rho(T) \cdot c_p(T)} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Conocido el número de Rayleigh y por tanto el número de Nusselt, se puede calcular el coeficiente de convección:

$$h_{cl} = \frac{k \cdot Nu_{cl}}{L_c} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

k: Conductividad térmica del fluido [W/m·K]

Por último la resistencia por convección libre del aire atrapado dentro de la cámara queda:

$$R_{cl} = \frac{1}{h_{cl} \cdot A}$$

A: Área de absorción; A=1.868m²

3.2. Flujo interno

Se aplica la ecuación de Dittus-Boelter para el cálculo del número de Nusselt por tratarse de un fluido en un conducto cilíndrico.

$$Nu_w = 0.023 \cdot Re_{agua}^{4/5} \cdot Pr_{agua}^{0.4}$$

A la vista de la ecuación, es necesario determinar el número de Reynolds⁷ y el número de Prandtl:

$$Re_{agua} = \frac{\rho \cdot U \cdot D_{int}}{\mu} = \frac{4 \cdot \dot{m}_n}{\pi \cdot D_{int} \cdot \mu}$$

Dónde:

ρ : Densidad del fluido de trabajo [kg/m³]

\dot{m}_n : Gasto nominal del colector (dato fabricante) [kg/s]

D_{int} = 10mm. Diámetro interno del tubo colector

μ : Viscosidad cinemática del fluido de trabajo [N·s/m²]

$$Pr(T_{agua}) = \frac{\mu(T_{agua}) \cdot Cp(T_{agua})}{k(T_{agua})} = \frac{\vartheta}{\alpha}$$

Dónde:

C_p : Calor específico del fluido de trabajo [J/kg·K]

Determinado el número de Nusselt, pasamos a calcular el coeficiente de convección interior para el fluido que circula por los tubos:

$$h_w = \frac{Nu_w \cdot k(T_{agua})}{D_{int}} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Por último se calcula la resistencia térmica de convección interior:

$$Rt_w = \frac{1}{h_w \cdot (\pi \cdot D_{ext} \cdot L_{tubo})} \left[\frac{K}{W} \right]$$

Dónde:

D_{ext} = 12mm Diámetro exterior del tubo

⁷ El número de Reynolds es el cociente entre los términos convectivos y viscosos de las ecuaciones de Navier Stokes, con él se puede caracterizar el movimiento de un fluido (laminar o viscoso).

$$L_{\text{tubo}} = 0.965 \frac{m}{\text{meandro}} \cdot 22 \frac{\text{meandros}}{\text{colector}} = 21.23 \frac{m}{\text{colector}}$$

Para el cálculo de las resistencias de convección externas es necesario tener valores fiables de la velocidad y dirección del viento. Estos datos, se tienen del paquete que se ha usado a lo largo del proyecto. En [3], se dan las correlaciones necesarias para el cálculo del número de Nusselt, según la dirección del viento sea paralela o perpendicular al colector.

Para la localización del proyecto, la dirección predominante del viento es la dirección norte (0 360º), siendo la correlación apropiada para el cálculo del número de Nusselt la de flujo perpendicular o cross-flow:

$$Nu_{CF}|_{\text{parte_superior}} = 3.846 \cdot Re_{CF}^{0.325} \cdot Pr^{1/3}$$

$$Nu_{CF}|_{\text{parte_inferior}} = 0.135 \cdot Re_{CF}^{0.709} \cdot Pr^{1/3}$$

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
N (360º)	35	54	49	41	53	55	39	31	28	80	72	47
NE	6	6	17	9	8	5	7	11	6	5	7	4
E (90º)	2	3	15	2	6	1	6	4	3	2	1	1
SE	1	3	3	1	5	2	4	5	8	1	2	3
S (180º)	10	3	8	6	9	3	8	13	18	1	2	11
SW	15	6	3	8	6	7	9	12	15	3	3	8
W (270º)	18	18	3	9	10	17	15	17	17	3	5	14
NW	13	6	3	25	5	10	12	9	5	6	8	12

Tabla. 2 Dirección del viento en % para Madrid

3.3. Convección externa en la parte superior e inferior

La diferencia entre la resistencia de convección externa e interna radica en la correlación del número de Nusselt a usar para el cálculo. El resto de parámetros de los que depende son coincidentes en ambas.

El valor del número de Nusselt, responde a la correlación expuesta. El número de Reynolds es:

$$Re_{ce} = \frac{\rho_{\text{aire}}(T_{\text{aire}}) \cdot U_{\text{aire}} \cdot L_{c_{ce}}}{\mu_{\text{aire}}(T_{\text{aire}})}$$

Donde:

ρ_{aire} : Densidad del aire exterior [kg/m³]

U_{aire} : Velocidad del aire [m/s]

$L_{c_{ce}}$: Longitud característica. Los paneles se colocan de manera horizontal, por tanto, atendiendo a la geometría del colector (ver anexo), toma un valor de $L_{c_{ce}} = 0.876\text{m}$.

A partir del número de Nusselt, se tiene el coeficiente de convección externa:

$$h_{ce} = \frac{Nu_{ce} \cdot k_{aire_ext}}{L_{ce}} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

La resistencia de convección externa queda:

$$R_{ce} = \frac{1}{h_{ce} \cdot A} \left[\frac{K}{W} \right]$$

Hasta aquí se han expuesto las ecuaciones necesarias para el cálculo de las resistencias térmicas. Estas ecuaciones han de resolverse de manera acoplada con el balance de energía en los elementos del colector (que se expone más adelante), puesto que las temperaturas del fluido son a priori desconocidas y el uso de correlaciones para valores de temperaturas se toma considera una aproximación.

- **Pérdidas de calor en el colector**

A través de esas resistencias térmicas, se tienen las pérdidas de calor en el colector y de estas pérdidas se obtiene el rendimiento del colector.

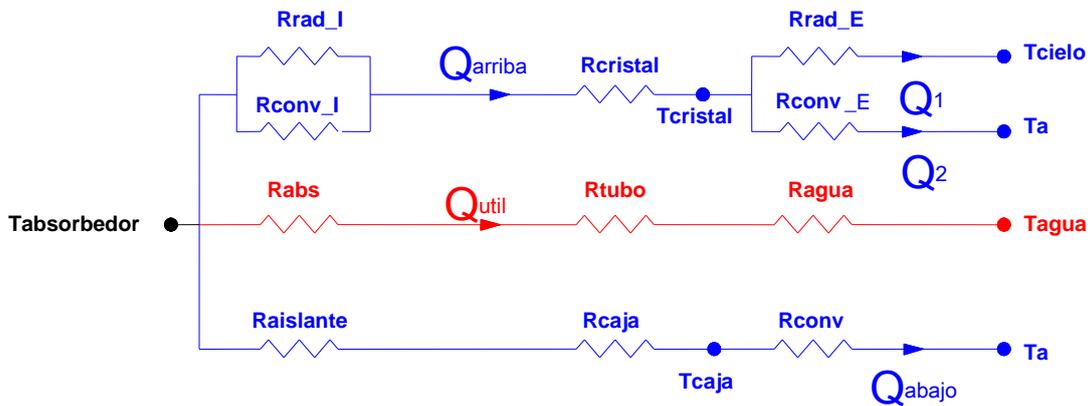


Fig. 8 Circuito de resistencias térmicas en el colector y representación de los flujos de calor

La hoja de cálculo de rendimiento de colector por resistencias térmicas (HOJA B) ANEXO 2, calcula el rendimiento del colector tras calcular las resistencias térmicas y las pérdidas de calor. Atendiendo a la Fig. 8, se puede establecer un sistema de ecuaciones que contenga como incógnitas las resistencias térmicas y temperaturas de proceso y como ecuaciones los flujos de calor.

- **Radiación solar térmica aprovechable.** No toda la radiación incidente en la parte exterior de la cubierta de vidrio es aprovechable en el absorbedor. El colector tiene un rendimiento óptico, este rendimiento supone unas pérdidas (ópticas):

$$Q_{ópticas} = (1 - \eta_0) \cdot H_T \cdot A$$

- **Calor útil.** Se entiende por calor útil, al flujo de calor que llega al fluido caloportador. Se busca minimizar la resistencia térmica de conducción del absorbedor y del tubo colector, de este modo se maximiza la transferencia de calor al fluido térmico. Atendiendo a la Fig. 8, el flujo de calor útil queda:

$$Q_{útil} = \frac{T_{placa} - T_{agua}}{R_{abs} + R_{tubo} + R_{agua}} [W]$$

$$R_{abs} = 0.012 \frac{K}{W}$$

$$R_{tubo} \equiv R_{c_t} = 3.409 \cdot 10^{-6} \frac{K}{W}$$

$$R_{agua} \equiv R_{t_w}(\dot{m}_n, T_{agua}) \frac{K}{W}$$

$$T_{agua} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} [K]$$

Las resistencias de la placa absorbidora y del tubo colector son valores constantes, sin embargo, la resistencia del fluido interno es función de la temperatura de proceso y del gasto que circula por el tubo. Temperatura de la placa y del fluido interno son a priori desconocidas.

- **Pérdidas de calor en la parte superior del colector.** Ya se han comentado los fenómenos de transferencia de calor que tienen en lugar en la parte superior del colector.

$$Q_{arriba} = \frac{T_{placa} - T_{cristal}}{R_{rad_I}(T_{placa}, T_{cristal_{abajo}}) // R_{conv_I}(T_{placa}, T_{cristal_{abajo}})}$$

$$Q_1 + Q_2 = \frac{T_{cristal} - T_{cielo}}{R_{rad_E}} + \frac{T_{cristal} - T_a}{R_{conv_E}}$$

$$Q_{arriba} = Q_1 + Q_2 [W]$$

$$\frac{T_{placa} - T_{cristal_{abajo}}}{R_{rad_I}(T_{placa}, T_{cristal_{abajo}}) // R_{conv_I}(T_{placa}, T_{cristal_{abajo}})} = \frac{T_{cubierta} - T_{cielo}}{R_{rad_E}(T_{placa}, T_{cubierta})} + \frac{T_{cubierta} - T_a}{R_{conv_E}(u_{viento}, T_a)}$$

$$T_{cristal_{abajo}} = (Q_{arriba} \cdot (R_{cristal} \equiv R_{c_{cub}})) + T_{cristal}$$

Las resistencias de convección interna y radiación interna dependen de la temperatura de la placa y de la temperatura de la parte inferior del cristal, temperaturas que son desconocidas.

- **Pérdidas en la parte inferior del colector.**

Las pérdidas en la parte inferior del colector se deben a que éste, está expuesto al ambiente exterior.

$$Q_{abajo} = \frac{T_{placa} - T_a}{R_{ais} + R_{caja} + R_{conv}} \equiv \frac{T_{placa} - T_a}{R_{c_{ais}} + R_{c_{caja}} + R_{c_p}} [W]$$

$$R_{c_{ais}} = 0.444 \frac{K}{W}$$

$$R_{c_{caja}} = 5.063 \cdot 10^{-6} \frac{K}{W}$$

$R_{c_p}(T_a, u_{viento})$ El valor de la resistencia de convección en la parte posterior del colector depende de la temperatura y velocidad del aire exterior.

- Ecuaciones que caracterizan el comportamiento del colector

$$H_T \cdot A \cdot \eta_0 = Q_{\text{útil}} + Q_{\text{arriba}} + Q_{\text{abajo}} \quad \text{Ec. (8)}$$

$$Q_{\text{útil}} = \frac{T_{\text{placa}} - T_{\text{agua}}}{R_{\text{abs}} + R_{\text{tubo}} + R_{\text{agua}}} [W] \quad \text{Ec. (9)}$$

$$Q_{\text{útil}} = \dot{m}_1 \cdot C_{p\text{fluido}} \cdot (T_{\text{co}} - T_{\text{ci}}) [W] \quad \text{Ec. (10)}$$

$$Q_{\text{abajo}} = \frac{T_{\text{placa}} - T_a}{R_{\text{c.ais}} + R_{\text{c.caja}} + R_{\text{c.p}}} [W] \quad \text{Ec. (11)}$$

$$Q_{\text{arriba}} = \frac{T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal.abajo}}}{R_{\text{rad}_I(T_{\text{placa}}, T_{\text{cristal.abajo}})} // R_{\text{conv}_I(T_{\text{placa}}, T_{\text{cristal.abajo}})}} \quad \text{Ec. (12)}$$

$$\frac{T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal.abajo}}}{R_{\text{rad}_I(T_{\text{placa}}, T_{\text{cristal.abajo}})} // R_{\text{conv}_I(T_{\text{placa}}, T_{\text{cristal.abajo}})}} = \frac{T_{\text{cubierta}} - T_{\text{cielo}}}{R_{\text{rad}_E(T_{\text{placa}}, T_{\text{cubierta}})}} + \frac{T_{\text{cubierta}} - T_a}{R_{\text{conv}_E(u_{\text{viento}}, T_a)}} \quad \text{Ec. (13)}$$

$$T_{\text{cristal.abajo}} = (Q_{\text{arriba}} \cdot (R_{\text{cristal}} \equiv R_{\text{c.cub}})) + T_{\text{cristal}} [K] \quad \text{Ec. (14)}$$

$$R_{\text{rad}_I} = \frac{\varepsilon_{\text{IR.cristal}} + \varepsilon_{\text{IR.placa}} - \varepsilon_{\text{IR.cristal}} \cdot \varepsilon_{\text{IR.placa}}}{\varepsilon_{\text{IR.cristal}} \cdot \varepsilon_{\text{IR.placa}} \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{placa}}^2 + T_{\text{cristal.abajo}}^2) \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{cristal.abajo}})} \left[\frac{K}{W} \right] \quad \text{Ec. (15)}$$

$$R_{\text{ci}} = \frac{1}{h_{\text{ci}} \cdot A} \left[\frac{K}{W} \right] \quad \text{Ec. (16)}$$

$$T_{\text{agua}} = \frac{T_{\text{ci}} + T_{\text{co}}}{2} [K] \quad \text{Ec. (17)}$$

Las ecuaciones **Ec. (8) – Ec. (17)**, caracterizan los flujos de calor en el colector. En esta hoja se resuelve el sistema que forman estas ecuaciones.

Hay una serie de resistencias térmicas que dependen de la temperatura de los distintos elementos del colector. Introducir las en el sistema de ecuaciones implicaría la necesidad de resolver todas de manera conjunta. El método a seguir es estimar las resistencias que se exponen a continuación, tomando como valor de las variables (de que dependen) los resultados de la HOJA A, o correlaciones empíricas:

$$R_{t_w}(\dot{m}_n, T_{\text{agua}}) = \frac{1}{h_w \cdot (\pi \cdot D_{\text{ext}} \cdot L_{\text{tubo}})} \left[\frac{K}{W} \right]$$

$$R_{\text{conv}}(T_a, u_{\text{viento}}) \equiv R_{\text{c.p}} = \frac{1}{h_{\text{e}_{cp}} \cdot A} \left[\frac{K}{W} \right]$$

$$R_{ce}(u_{viento}, T_a) \equiv R_{ce} = \frac{1}{h_{e_{ce}} \cdot A} \left[\frac{K}{W} \right]$$

$$T_{placa} = H_T \cdot A \cdot \eta_{CN}^8 \cdot (R_{t_w} + R_{abs} + R_{tubo}) [K]$$

Incógnitas	T_{placa}	T_{co}	$T_{cristal_{abajo}}$	$T_{cristal}$	R_{rad_I}	R_{cl}	$Q_{útil}$	Q_{abajo}	Q_{arriba}	T_{agua}
Estimaciones	R_{t_w}	R_{conv}	R_{ce}	T_{placa}						
Correlaciones	T_{cielo}	T_{caja}	$T_{cristal}$							
Datos de partida (HOJA A)	T_{ci}	T_{agua}								

Finalmente, con las pérdidas de calor en el colector calculadas, se obtiene el rendimiento del colector:

$$\eta_c = \frac{q_{util}}{H_T \cdot A}$$

Este valor de rendimiento del colector se introduce en la HOJA A que devuelve de nuevo el valor de la contribución solar para el área de colectores prefijada. Cuando la diferencia entre la T_{co} calculada en la iteración actual y en la anterior, sea tal que se pueda considerar que el resultado ha **convergi**do, se llega a la **solución**.

- En una primera aproximación se toma un valor de área de colectores $A_{col} = 0.5m^2 \cdot n^{\circ}personas$ y un gasto másico horario: $\dot{m}_{cons} = \frac{m_{cons \text{ diario}}}{horas \text{ de sol}}$. De la resolución del sistema de ecuaciones se obtienen las temperaturas que influyen en el proceso de producción de ACS y la contribución solar mínima (f), para un valor dado de área de colectores.
- Tras esta primera aproximación (en la que se ha utilizado el rendimiento de la curva normalizada proporcionada por el fabricante de los colectores), se introduce en el modelo, el rendimiento obtenido mediante la aplicación de resistencia térmicas:
 1. Los valores de temperaturas obtenidos de la resolución del sistema de ecuaciones, se introducen en la hoja de *cálculo de rendimiento de colector por resistencias térmicas (HOJA B)*. ANEXO 2
 2. El resultado es un nuevo valor de rendimiento.
 3. Este nuevo valor de rendimiento se introduce en la **(HOJA A)**, lo que deriva en unos nuevos valores de temperaturas y contribución solar.
- Se establece un proceso iterativo del punto anterior hasta que la diferencia entre las temperaturas obtenidas en la iteración anterior y la actual, sea tal, que permita presuponer que la solución ha convergi
do.

Hasta aquí se ha expuesto un método de cálculo basado en un proceso iterativo, sin embargo, con la intención de obtener mayor precisión, se ha desarrollado un nuevo modelo. Este nuevo modelo **(HOJA C)**, incluye en un mismo sistema de ecuaciones todas las incógnitas involucradas en el cálculo, tanto las que atañen a la instalación como las que afectan al colector **"HOJA C = HOJA A + HOJA B"**. Los resultados son bastantes próximos a los del método iterativo.

⁸ Se toma el valor del rendimiento de la curva de normalización del colector. Una vez calculado el sistema de ecuaciones, puede sustituirse el valor del rendimiento por el calculado y ajustar más la solución.

7.1.2. HOJA C. Ecuaciones que caracterizan la actuación del colector y de la instalación

Las ecuaciones de la Ec (1- 22) caracterizan el comportamiento del colector. A las que forman la HOJA B, se les añade el cálculo de las resistencias que dependen de las temperaturas de proceso, que antes eran estimadas.

$$T = \left(\frac{T_{placa} + T_{cristal_abajo}}{2} \right) [K] \quad \text{Ec. 1}$$

$$\nu(T) \left[m^2/s \right] \quad \text{Ec. 2}$$

$$\alpha(T) \left[m^2/s \right] \quad \text{Ec. 3}$$

$$k_{aire}(T) \left[W/m \cdot K \right] \quad \text{Ec. 4}$$

$\nu(T), k_{aire}(T), \alpha(T)$ (Propiedades del aire retenido entre la placa absorbadora y la cubierta): Son dependientes de la temperatura T. Es necesario que el sistema de ecuaciones sea capaz de interpolar para los distintos valores que se van asignando a T. Para ello se importan datos de estas tres propiedades y se interpola dentro del sistema a través del comando "linterp" de Mathcad.

$$\begin{array}{c} \rightarrow \\ R_{cl} = \end{array} \frac{1}{Lc \left[4.32810^{-10} \cdot \frac{\left[\frac{g \cdot \frac{1}{T} \cdot (T_{placa} - T_{cristal_abajo}) \cdot Lc^3}{\alpha \cdot \nu} \right]^2}{- 1.47810^{-6} \cdot \frac{g \cdot \frac{1}{T} \cdot (T_{placa} - T_{cristal_abajo}) \cdot Lc^3}{\alpha \cdot \nu} + 1.001} \right] \cdot k_{aire} \cdot (A \cdot ncol)}$$

Ec. 5 Resistencia de convección libre en la cavidad formada por la cubierta y la placa absorbadora

$$R_{rad_I} = \frac{\varepsilon_{IR_cristal} + \varepsilon_{IR_placa} - \varepsilon_{IR_cristal} \cdot \varepsilon_{IR_placa}}{\varepsilon_{IR_cristal} \cdot \varepsilon_{IR_placa} \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{placa}^2 + T_{cristal_abajo}^2) \cdot (T_{placa} + T_{cristal_abajo})} \left[\frac{K}{W} \right]$$

Ec. 6 Resistencia de radiación entre la placa y la cubierta

$$R_{rad_E} = \frac{1}{\varepsilon_{cristal} \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{cubierta}^2 + T_{cielo}^2) \cdot (T_{placa} + T_{cubierta})} \left[\frac{K}{W} \right]$$

Ec. 7 Resistencia de radiación entre la cubierta y el cielo

$$T_{agua} = \left(\frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \right) [K] \quad \text{Ec. 8}$$

$$\mu_w(T_{agua}) \left[N \cdot s/m^2 \right] \quad \text{Ec. 9}$$

$$Cp_w(T_{agua}) \left[J/kg \cdot K \right] \quad \text{Ec. 10}$$

$$k_w(T_{agua}) \left[W/m \cdot K \right] \quad \text{Ec. 11}$$

$$\rho_w(T_{agua}) \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad \text{Ec. 12}$$

$\mu_w(T_{agua}), C_{p_w}(T_{agua}), k_w(T_{agua}), \rho_w(T_{agua})$: Propiedades del fluido de trabajo en el colector a la temperatura T_{agua} . Se calculan de manera análoga a las propiedades del aire a la temperatura T .

$$R_{t_w} = \left[\frac{1}{0.023 \left(\frac{\rho_w \cdot \dot{m}_1}{\rho_w \cdot A_{tubo_int}} \cdot D_{int} \right)^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu_w \cdot C_{p_w}}{k_w} \right)^{0.4} \cdot k_w} \cdot A_{tubo_long} \right]$$

Ec. 13 Resistencia térmica de convección interior

$$H_T \cdot A \cdot \eta_0 = Q_{\text{útil}} + Q_{\text{arriba}} + Q_{\text{abajo}} \quad \text{Ec. 14}$$

$$Q_{\text{útil}} = \frac{T_{placa} - T_{agua}}{R_{abs} + R_{tubo} + R_{agua}} [W] \quad \text{Ec. 15}$$

$$Q_{\text{útil}} = \dot{m}_1 \cdot C_{p_{fluido}} \cdot (T_{co} - T_{ci}) [W] \quad \text{Ec. 16}$$

$$Q_{\text{abajo}} = \frac{T_{placa} - T_a}{R_{c_{ais}} + R_{c_{caja}} + R_{c_p}} [W] \quad \text{Ec. 17}$$

$$Q_{\text{arriba}} = \frac{T_{placa} - T_{cristal_abajo}}{R_{rad_I}(T_{placa}, T_{cristal_abajo}) // R_{conv_I}(T_{placa}, T_{cristal_abajo})} \quad \text{Ec. 18}$$

$$\frac{T_{placa} - T_{cristal_abajo}}{R_{rad_I}(T_{placa}, T_{cristal_abajo}) // R_{conv_I}(T_{placa}, T_{cristal_abajo})} = \frac{T_{cubierta} - T_{cielo}}{R_{rad_E}(T_{placa}, T_{cubierta})} + \frac{T_{cubierta} - T_a}{R_{conv_E}(u_{viento}, T_a)} \quad \text{Ec. 19}$$

$$T_{cristal_abajo} = (Q_{\text{arriba}} \cdot (R_{cristal} \equiv R_{c_{cub}})) + T_{cristal} [K] \quad \text{Ec. 20}$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{H_T \cdot A} \quad \text{Ec. 21}$$

Las ecuaciones de la Ec.(22-28) caracterizan la actuación de la instalación. Se corresponde con la HOJA A.

$$H_T \cdot A \cdot \eta_c = \dot{m}_1 \cdot C_{p_1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) \quad \text{Ec. 22}$$

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p_1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = \dot{m}_2 \cdot C_{p_2} \cdot (T_{co} - T_{ci}) \quad \text{Ec. 23}$$

$$\varepsilon_{IC} = \frac{\dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_{co} - T_{ci})}{C_{min} \cdot (T_{co} - T_{ci})} \quad \text{Ec. 24}$$

$$f = \frac{\dot{m}_{cons} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red})}{\dot{m}_{cons} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{sum} - T_{red})} \quad \text{Ec. 25}$$

$$\dot{m}_{cons} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red}) = \dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) \quad \text{Ec. 26}$$

$$E_t = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t} \quad \text{Ec. 27}$$

$$T_t = \frac{T_{ico} \cdot \dot{m}_2 + T_{red} \cdot \dot{m}_{cons}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} [K] \quad \text{Ec. 28}$$

La **HOJA C** acopla en un único sistema las ecuaciones que afectan a la instalación y al colector. Se tiene un sistema de ecuaciones de 28 ecuaciones con 28 incógnitas. Al igual que en el método iterativo antes expuesto, las variables sobre las que se actúa para obtener el resultado buscado son el **gasto másico horario** (\dot{m}_{cons}) y el **área de colectores** (A_{col}). Los resultados obtenidos se muestran en los apartados: *c) Fracciones solares mensual y anual y d) Rendimiento medio anual.*

Método de cálculo (- continuación -)

7.2. Demanda de energía térmica

Caudal de la demanda de ACS

En el uso residencial, el cálculo del número de personas por vivienda deberá hacerse utilizando como valores mínimos los que se relacionan a continuación:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Tabla. 3 Tabla para el cálculo del número de personas por vivienda (Fte.[4])

En el caso de la vivienda se tienen tres dormitorios, lo que según la tabla anterior supondría considerar como 4 el número de personas. La vivienda está proyectada para 5 ocupantes, de modo que para evitar un posible déficit se toma un **número de personas igual a 6** para el dimensionado.

La demanda diaria se calcula como función de la Tabla. 3 y la Tabla. 4:

Caudal diario: $Q = 30 \text{ l/día} \cdot 6 \text{ personas} = 180 \text{ l/día}$

Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60°C (1)

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

(1) Los litros de ACS/día a 60°C de la tabla se han calculado a partir de la tabla 1 (Consumo unitario diario medio) de la norma UNE 94002:2005 "Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda energética".

Para el cálculo se ha utilizado la ecuación (3.2) con los valores de $T_1 = 12^\circ\text{C}$ (constante) y $T = 45^\circ\text{C}$.

Tabla. 4 Demanda de referencia a 60°C (Fte. [4])

Existe un factor de estacionalidad en la demanda, puesto que ésta varía para cada mes del año. Esta estacionalidad afecta al valor de caudal diario considerado en forma de coeficiente. Atendiendo a lo expuesto en DTIE 1.01 "preparación de agua caliente para usos sanitarios" [5], se toma como referencia la demanda del mes de junio (mes en que se presenta la menor variación sobre el consumo: 1%).

Caudal diario tras la corrección:

$$Q_{\text{corregido}} = C_{\text{consumo}} \cdot 30 \frac{l}{\text{persona} \cdot \text{día}} \cdot n^{\circ} \text{ personas} = C_{\text{consumo}} \cdot 180 \frac{l}{\text{día}}$$

La variación anual de la demanda, de donde se sacan los coeficientes aplicables (C_{consumo}) debidos a la estacionalidad, se representan en la siguiente gráfica:

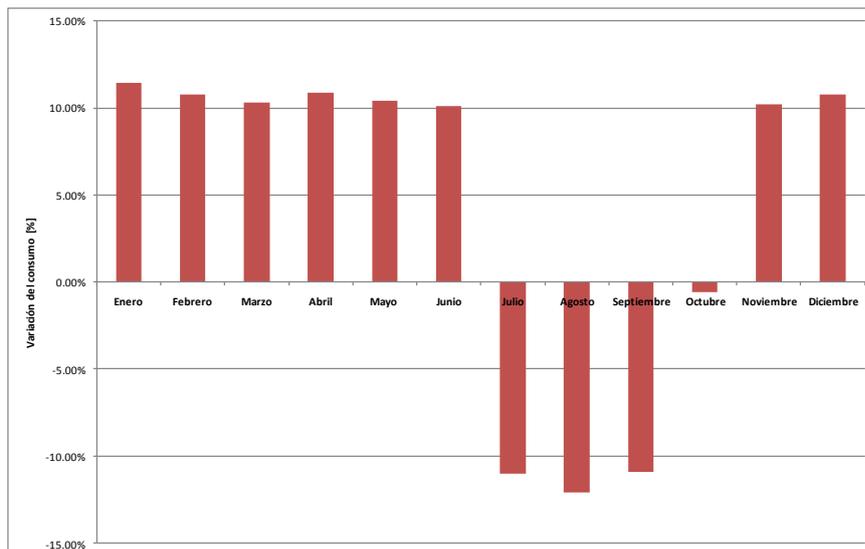


Fig. 9 Variación media del consumo mes a mes (Ref. [5])

La energía del sol es aprovechable por el sistema de ACS, durante las horas en las que hay radiación solar incidente. **La demanda diaria de ACS ha de cubrirse durante las horas de sol.** Por tanto, será necesario el uso de un depósito de acumulación. Con él se cubre la demanda fuera de las horas de sol.

Ecuación que determina el gasto másico que circula por la instalación de ACS:

$$\dot{m}_{cons} = \frac{Q_{corregido} \cdot \rho_{agua}}{DD \cdot 3600 \frac{s}{h} \cdot 10^3 \frac{l}{m^3}}$$

Dónde: $m_{cons} \left[\frac{kg}{s} \right]$

$Q_{corregido} \left[\frac{l}{dia} \right]$

$\rho_{agua} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ Densidad del agua a la temperatura de consumo

$DD \left[\frac{horas\ de\ sol}{dia} \right]$ Horas de sol diarias

	$C_{consumo} [\%]$	$Q_{corregido} [l/dia]$	$\dot{m}_{cons} [kg/s]$
Enero	111.42	200.56	6.02·10 ⁻³
Febrero	110.80	199.44	5.16·10 ⁻³
Marzo	110.30	198.54	4.39·10 ⁻³
Abril	110.90	199.62	4.16·10 ⁻³
Mayo	110.40	198.72	3.65·10 ⁻³
Junio	110.10	198.18	3.43·10 ⁻³
Julio	(100-10.00)=90	160.20	3.09·10 ⁻³
Agosto	(100-12.10)=87.9	158.22	2.91·10 ⁻³
Septiembre	(100-10.90)=89.1	160.38	3.72·10 ⁻³
Octubre	(100-0.60)=99.4	178.92	4.32·10 ⁻³
Noviembre	110.20	198.36	5.24·10 ⁻³
Diciembre	110.80	199.44	5.89·10 ⁻³

Tabla. 5 Caudal corregido y gasto másico (tras corrección por estacionalidad)

Contribución solar mínima de ACS

El caso general se corresponde con el uso de fuente energética de apoyo de gasóleo, propano, gas natural u otras. Madrid está definida como zona climática IV. Teniendo en cuenta la demanda diaria y la zonificación climática, la contribución solar mínima en %, para la vivienda es de: **f = 60%**

Tabla 2.1. Contribución solar mínima en %. Caso general

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Fig. 10 Contribución solar mínima en % [Fte. CTE]

7.3. Energía solar térmica aportada

Potencia demandada

La potencia calorífica para satisfacer la demanda de ACS, es la cantidad de calor que hay que aportar al gasto másico, para elevar la temperatura del agua de la red a la temperatura de suministro ($t_{sum} = (60 + 273) K^9$).

$$Q_{ACS} = \dot{m}_{cons} \cdot C_p \cdot (T_{sum} - T_{red})$$

Dónde:

Q_{ACS} : Potencia calorífica demandada [W]

\dot{m}_{cons} : Gasto másico diario de ACS [kg/s]

C_p : Calor específico del agua, 4187 J/kg·K

T_{sum} : Temperatura de suministro del agua [K]

T_{red} : Temperatura media del agua de la red de suministro [K]

Los valores medios mensuales de la temperatura del agua de red, para Madrid, aparecen tabulados en la Fig. 11

Tabla 4. Temperatura mínima media del agua de la red general, en °C, obtenida a partir de medidas directas. Los datos han sido agrupados en seis perfiles característicos. (Fuente: CENSOLAR).

Nota: También se podrán tomar en consideración los valores indicados en la norma UNE 94002.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2 ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3 ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4 ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5 ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6 ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7 BADAJOZ	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8 BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9 BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10 BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11 CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12 CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13 CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14 CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15 CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11,3
16 CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17 CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18 LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19 CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20 GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21 GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22 GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23 GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24 HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25 HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26 JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27 LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28 LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29 LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30 MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3

Fig. 11 Temperatura mínima media del agua de la red general [°C] [fte. censolar]

9 El valor de la temperatura de suministro es el que fija el CTE y que cumple con la norma UNE-100.030 sobre prevención de la legionela.

	\dot{m}_{cons} [kg/s]	T_{red} [°C]	Q_{ACS} [W]
Enero	$6.02 \cdot 10^{-3}$	6	1362.17
Febrero	$5.16 \cdot 10^{-3}$	7	1146.84
Marzo	$4.39 \cdot 10^{-3}$	9	937.64
Abril	$4.16 \cdot 10^{-3}$	11	854.11
Mayo	$3.65 \cdot 10^{-3}$	12	733.53
Junio	$3.43 \cdot 10^{-3}$	13	676.49
Julio	$3.09 \cdot 10^{-3}$	14	595.38
Agosto	$2.91 \cdot 10^{-3}$	13	573.77
Septiembre	$3.72 \cdot 10^{-3}$	12	747.92
Octubre	$4.32 \cdot 10^{-3}$	11	887.36
Noviembre	$5.24 \cdot 10^{-3}$	9	1120.36
Diciembre	$5.89 \cdot 10^{-3}$	6	1332.67

Tabla. 6 Potencia de ACS demandada

7.4. Fracciones solares mensuales y anuales

7.4.1. Comparación de pérdidas por inclinación y superposición arquitectónica

¿Qué pasaría si se considera que el colector o colectores, tienen superposición arquitectónica¹⁰? la respuesta es que se pueden despreciar las pérdidas en la parte inferior del colector. Sin embargo, se puede incurrir en pérdidas por inclinación no óptima de los colectores.

Debido al efecto de la superposición arquitectónica sobre las pérdidas se valoran dos opciones:

OPCIÓN 1:

- Orientación óptima (sur).
- Inclinación óptima del panel para maximizar la energía incidente, considerando una demanda constante anual. El valor de la inclinación óptima coincide con la latitud geográfica ($\beta=40.45^\circ$).
- **Pérdidas de calor por efecto del viento en la parte inferior del colector.**
- Número y tipo de colectores: Un colector, VITOSOL 100 w2.5 (área 2.5m^2). Caudal nominal de trabajo

OPCIÓN 2:

- Orientación óptima (sur)
- Pérdidas por inclinación. La inclinación se considera la del alero, por tanto el valor de $\beta=20^\circ$.
- Las **pérdidas de calor por efecto del viento en la parte inferior del colector no tienen afección.**
- Número y tipo de colectores: Un colector, VITOSOL 100 w2.5 (área 2.5m^2). Caudal nominal de trabajo

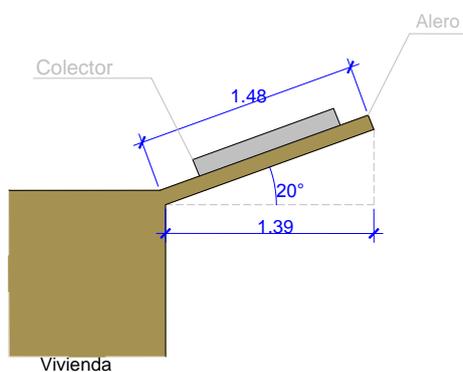


Fig. 12 OPCIÓN 2

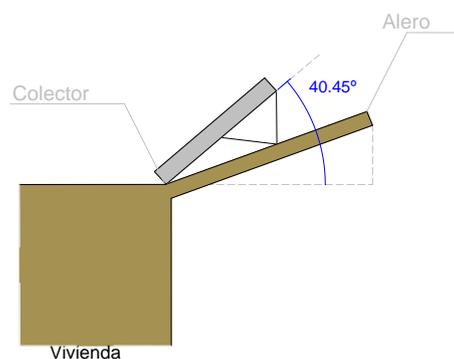


Fig. 13 OPCIÓN 1

En este apartado se compara el valor del rendimiento, calor útil y contribución solar de las dos opciones. La opción a implantar será aquella que presente mejores resultados y cumpla con las exigencias del CTE, tanto en lo que refiere a pérdidas por inclinación como a la contribución solar.

Pérdidas por inclinación en el CTE.

El CTE contempla un método para el cálculo de los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecidas en la Fig. 14, válida para una latitud de 41º (siendo la del proyecto 40.45º):

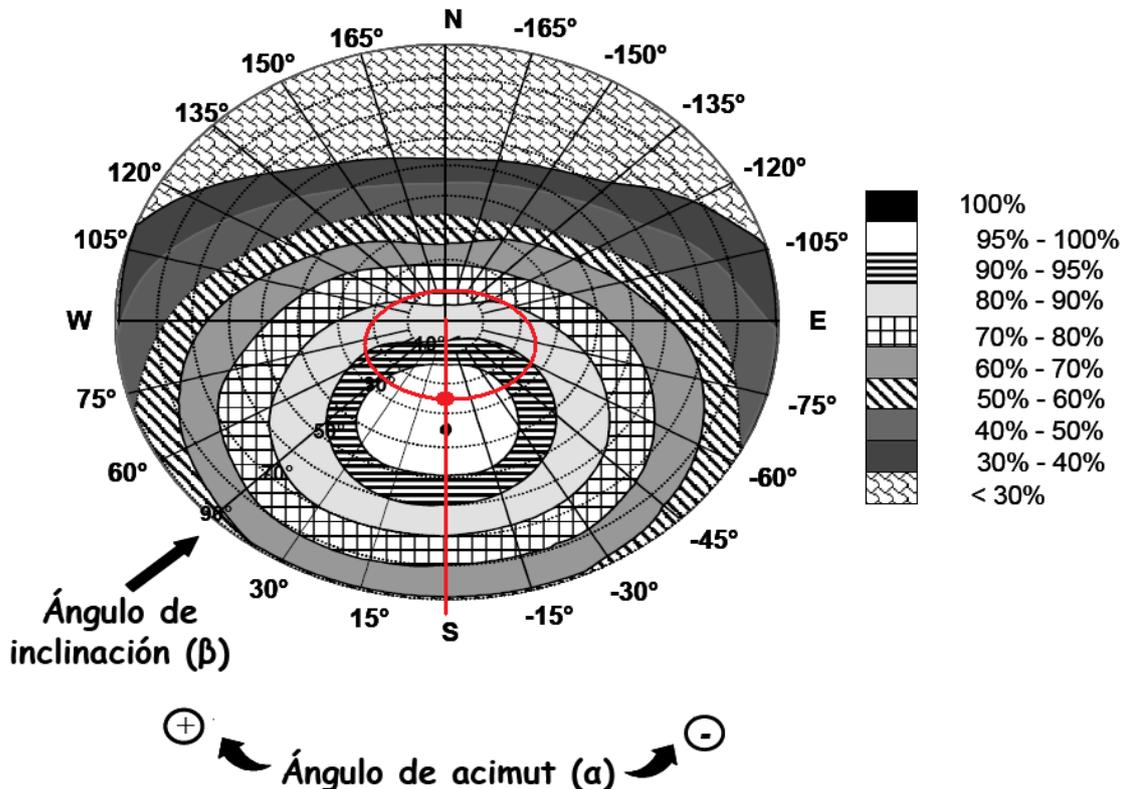


Fig. 14 Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación en inclinación (Ref. [4])

Conocido el acimut, se determinan en la Fig. 14 los límites para la inclinación en el caso (ϕ) = 41º. Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10 %, **para superposición del 20 %** y para integración arquitectónica del 40 %. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de acimut nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima; dicho de otra forma, si la intersección de ambas rectas está dentro del porcentaje de energía respecto al máximo que corresponde para cada caso, las pérdidas serán menores de las máximas.

Para el caso de la instalación del proyecto, el ángulo de **azimut es de 0º** (orientación sur de los paneles). Las dos alternativas de inclinación que se valoran son:

Inclinación (40.45º) \equiv latitud (40.45º) Con esta opción, las pérdidas por inclinación son del 0%-5%, menores del 10% que fija el CTE.

Superposición arquitectónica: Inclinación (20º) En la Fig. 14, se muestra en rojo la intersección para un ángulo de inclinación de 20º y un ángulo de acimut de 0º. Atendiendo a los patrones de la leyenda que se muestra en la figura, para la opción de 20º, el porcentaje de energía obtenible respecto al máximo es del 95%-100%. Lo que implica que **las pérdidas son del 5%-0%, menores que el 20% que fija el CTE para superposición arquitectónica de los paneles.**

7.4.2. Restricciones sobre la contribución solar.

Con independencia del uso al que se destine la instalación, **en el caso de que en algún mes del año la contribución solar real sobrepase el 110 % de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100 %**, se adoptarán cualquiera de las siguientes medidas:

- Dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario) **esta es la opción recomendada para viviendas de uso de primera residencia**;
- Tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos **residuales** a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador);
- Vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares debiendo incluirse este trabajo en ese caso entre las labores del contrato de mantenimiento;
- Desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes.

7.4.3. Comparación de resultados de pérdidas por inclinación y superposición arquitectónica.

En el apartado anterior se han expuesto los efectos de la aplicabilidad de cada opción, a continuación se muestran y discuten los resultados obtenidos de la simulación de ambas opciones.

OPCIÓN 1.

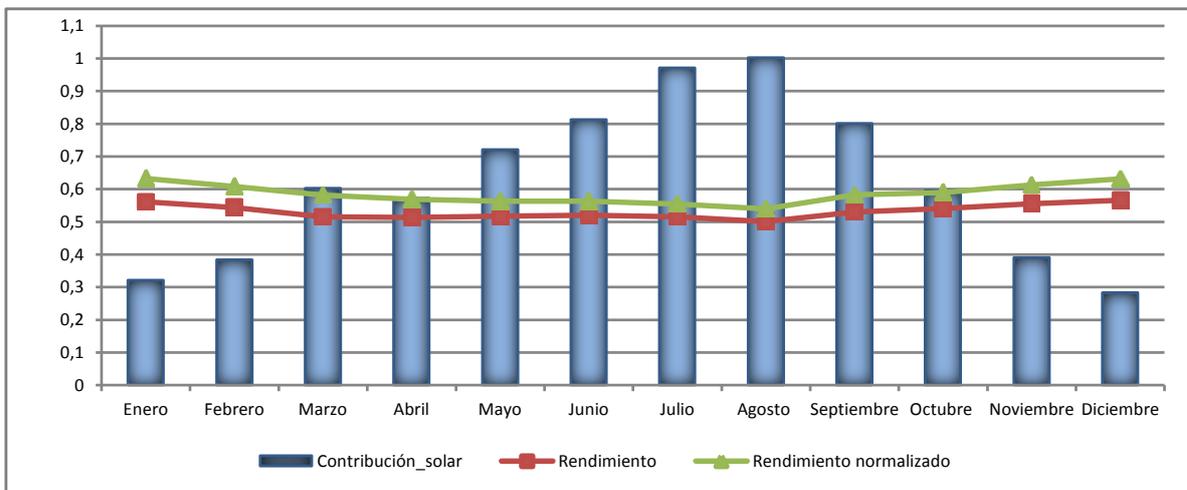


Fig. 15 Contribución solar, rendimiento obtenido y rendimiento según la curva de normalización para la OPCIÓN 1

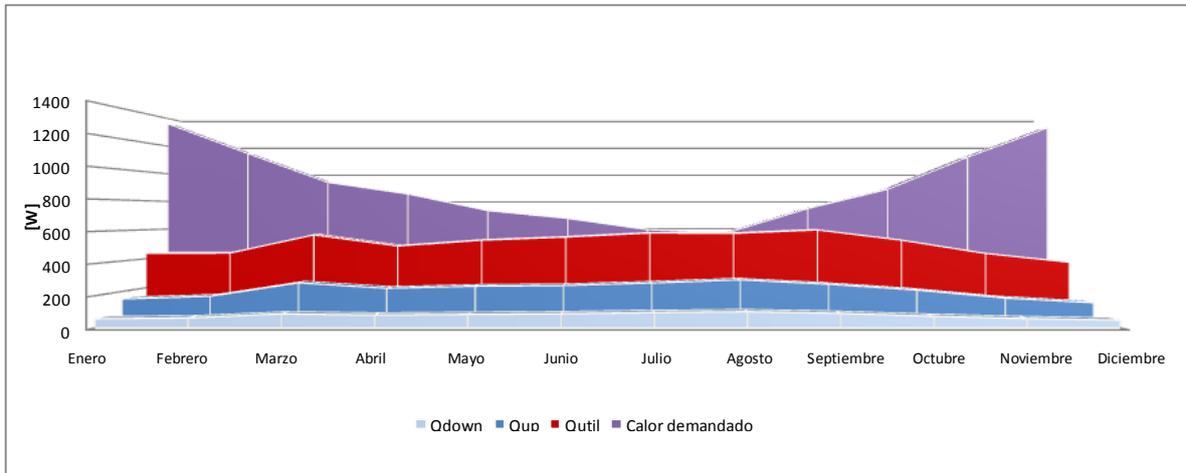


Fig. 16 Calor demandado y pérdidas en el colector, para la OPCIÓN 1

Se pueden comparar los resultados de la **opción 1**, con los de una sub-opción llamada **opción 1.1**: Asumiendo orientación e inclinación óptima se introduce el supuesto de que existe superposición estructural. Por tanto, las pérdidas de calor en la parte inferior del colector se pueden despreciar.

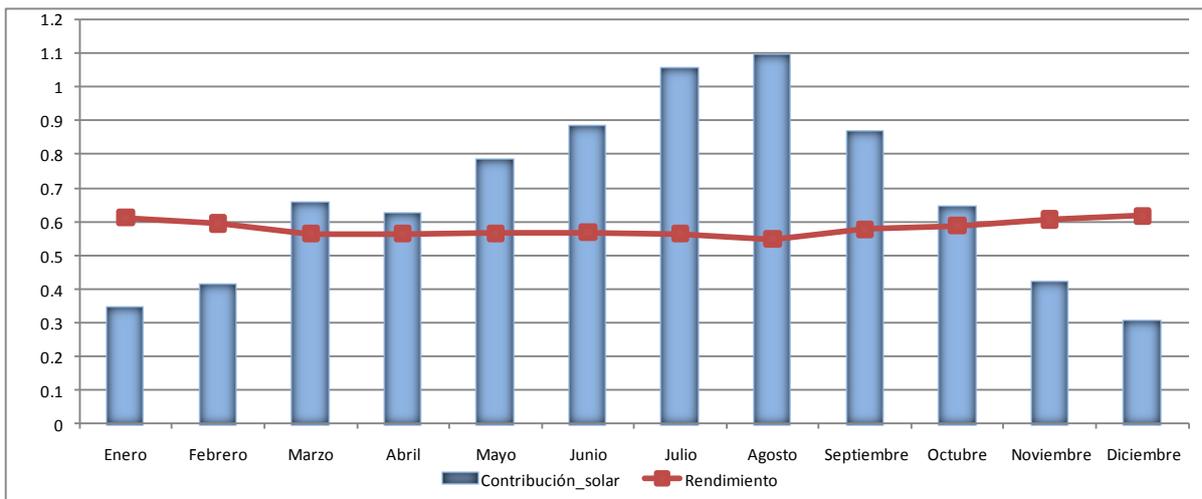


Fig. 17 Contribución solar, rendimiento obtenido para la OPCIÓN 1.1

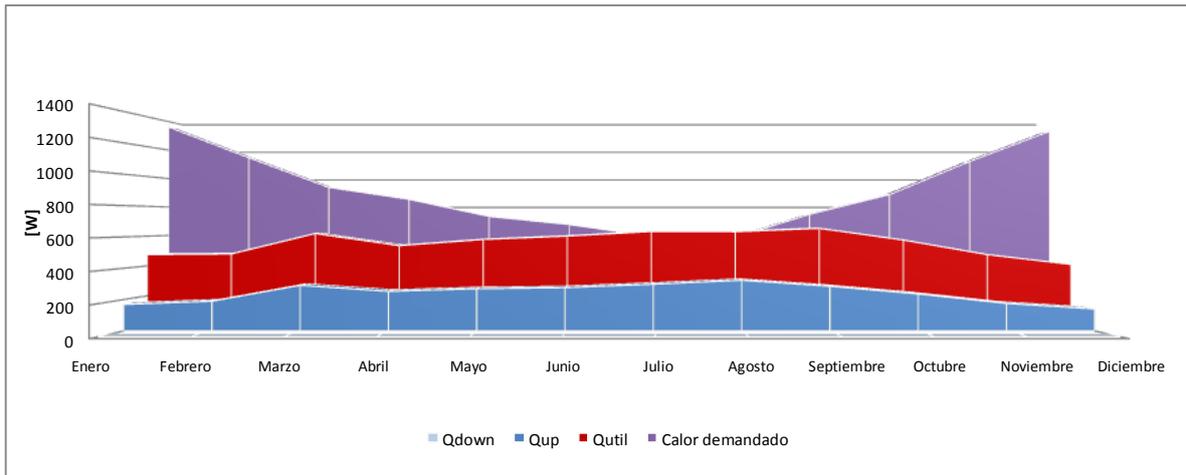


Fig. 18 Calor demandado y pérdidas en el colector, para la OPCIÓN 1.1

La comparación de los resultados de la opción 1.1 con la opción 1, puede servir de verificación de la validez del modelo.

	Rendimiento medio anual	Contribución solar media anual (f)	Pérdidas [W]	Calor útil [W]
OPCIÓN 1	0.531	0.555	289.66	508.15
OPCIÓN 1.1	0.580	0.607	242.60	555.21
Δ [%]	8.45%	8.57%	-19.40%	8.48%

Tabla. 7 Comparación de las opciones 1 y 1.1

Los valores de la Tabla. 7 demuestran como para una misma orientación e inclinación, si no hay pérdidas en la parte inferior del colector, **su actuación mejora**: rendimiento, contribución solar y calor útil aumentan, mientras que las pérdidas disminuyen.

OPCIÓN 2.

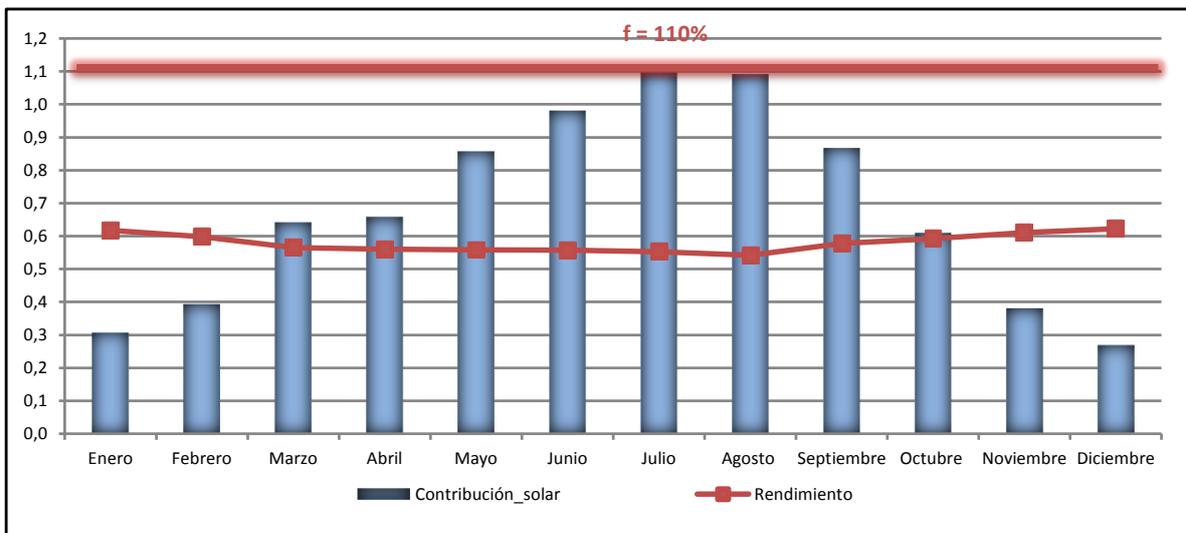


Fig. 19 Contribución solar, rendimiento obtenido para la OPCIÓN 2

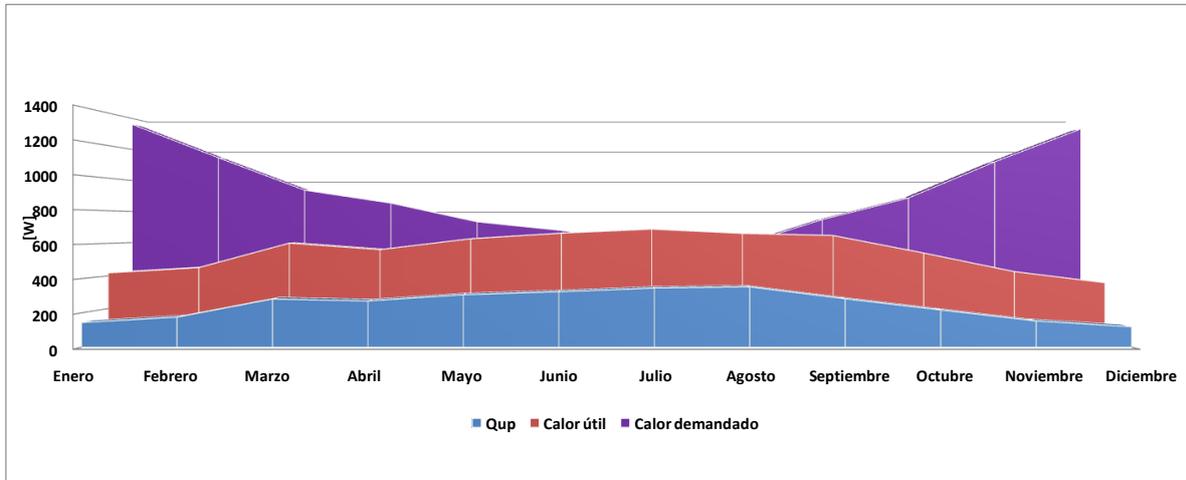


Fig. 20 Calor demandado y pérdidas en el colector, para la OPCIÓN 2

La contribución solar media anual se tiene de la siguiente expresión:

$$f_{\text{medio}} := \frac{\sum_{i=0}^{11} (q_{\text{util}})_i}{\sum_{i=0}^{11} Q_{\text{cons}_i}}$$

$$Q_{\text{cons}} \equiv Q_{\text{ACS}}$$

De las tres opciones planteadas, aquella que presenta menores pérdidas es la opción 1.1. El hecho de que no se den pérdidas en la parte posterior del colector supone el montaje con superposición estructural. Para que la opción 1.1 fuera aplicable se necesitaría una inclinación igual que la latitud, lo que supondría aumentar la longitud de alero de la fachada norte para cumplir con el sombreado de las superficies acristaladas (implicando un sobrecoste, mayor carga estructural e impacto estético).

Descartada la opción 1.1, se centra la comparación entre la OPCIÓN 1 y la OPCIÓN 2:

	Rendimiento medio anual	Contribución solar media anual (f)	Pérdidas [W]	Calor útil [W]
OPCIÓN 1	0.531	0.555	289.66	508.15
OPCIÓN 2	0.579	0.601	247.33	553.76
Δ [%]	8.29%	8.26%	-17.11%	8.24%

Tabla. 8 Comparación de las opciones 1 y 2

Los valores de rendimiento, contribución solar, pérdidas y calor útil mejoran con el montaje con superposición arquitectónica y cumplen con los requisitos del CTE. **La opción de montaje elegida es la OPCIÓN 2.**

Conclusión: *Para la opción 2, el valor medio anual de la contribución solar cumple con la exigencia del CTE para la zona climática en la que se ubica la vivienda (f > 60%). Por otro lado, el valor máximo no supera en más de tres meses seguidos el 100% de la contribución ni el 110% en ninguno de los meses.*

Conclusión: Para una inclinación de 20º (siendo la óptima de la localización de 40.45º), las pérdidas por inclinación tienen menor impacto sobre el rendimiento que las pérdidas por transferencia de calor.

Conclusión: El interés del cálculo del rendimiento del colector, a través de las resistencias térmicas, radica en que permite obtener un valor de rendimiento ajustado al tipo de montaje (a diferencia de usar el valor proporcionado en la curva de normalización). Es decir, elimina la rigidez de cálculo.

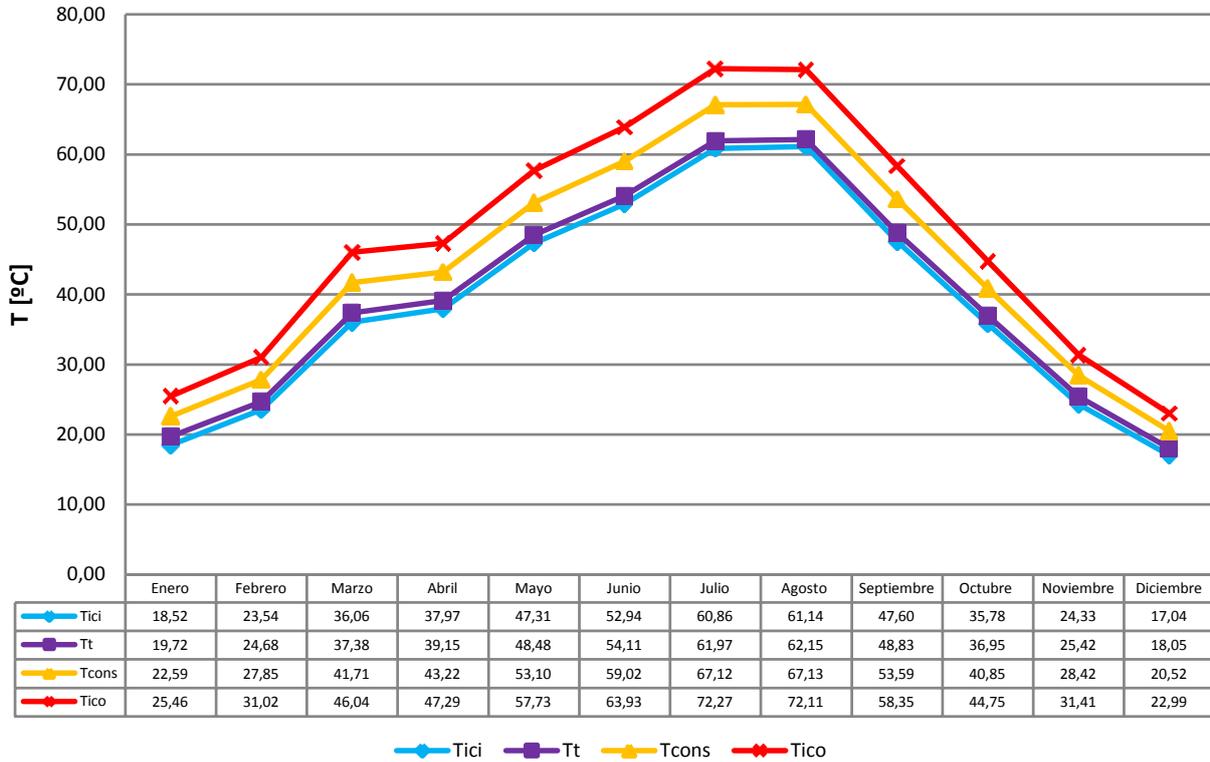


Fig. 21 Evolución mensual de las temperaturas de proceso medias en los puntos más relevantes de la instalación

Para no recargar la lectura, el resto de resultados de temperaturas y los valores de las resistencias térmicas se exponen en el ANEXO 2.3.

7.5. Rendimiento medio anual

Comparación del rendimiento obtenido con el propuesto por la curva de normalización del fabricante

El colector elegido para la instalación corresponde a la gama **Vitosol 100** del fabricante viessman, **modelo w2.5**. Los datos técnicos del colector, se muestran en la Fig. 22.

El caudal simulado corresponde con el nominal que propone el fabricante: 40 l/hr·m²

Para conseguir la contribución solar mínima, es necesario un único colector de área 2.5 m²

Datos técnicos del colector solar de energía solar Vitosol 100

Modelo		s1,7	w1,7	s2,5	w2,5	5DI
Contraseña de homologación		NPS-1101	NPS-1201	NPS-0901	NPS-1001	—
Superficie bruta	m ²	1,80	1,80	2,71	2,71	5,24
Superficie de absorción	m ²	1,70	1,70	2,50	2,50	4,83
Superficie de apertura	m ²	1,61	1,61	2,50	2,50	4,89
Dimensiones						
Anchura	mm	753	2 385	1 138	2 385	2 570
Altura	mm	2 385	753	2 385	1 138	2 040
Profundidad	mm	102	102	102	102	116
Rendimiento óptico* ¹	%	81	81	84	84	81
Rendimiento óptico, INTA	%	80	80	83	83	—
Coef. de transmisión de calor	k ₁ * ¹ W/(m ² · K)	3,78	3,78	3,36	3,36	3,89
	k ₂ * ¹ W/(m ² · K ²)	0,013	0,013	0,013	0,013	0,008
Coef. de pérdida de calor U _L * ²	m ²	4,78	4,49	4,44	3,71	—
Peso	kg	44	44	60	60	105
Volumen del fluido (medio portador de calor)	litros	1,35	2,4	2,2	3,0	4,2
Presión máx. de servicio admisible* ³	bar	6	6	6	6	6
Temperatura de inactividad máx.* ⁴	°C	213	213	211	211	185
Conexión	∅ mm	22	22	22	22	22
Superficie de instalación sobre cubiertas planas	m ²	—	aprox. 1,54	—	aprox. 2,15	—
Condiciones del soporte y anclajes	De la cubierta para que soporte la fuerza del viento					

*¹Referido a la superficie de absorción.

*²Referida a la temperatura media del fluido.

*³En sistemas cerrados en estado frío, tiene que haber en los colectores una sobrepresión de al menos 1,5 bar.

*⁴La temperatura de inactividad es la temperatura que se produce en el punto más caliente del colector cuando hay 1000 W de intensidad de irradiación global y no se elimina calor del mismo.

Fig. 22 Datos técnicos del colector solar de energía Vitosol 100 w2.5

Las curvas de normalización que proporcionan los fabricantes se obtienen a través de ensayos normalizados según la norma EN 12975-2. La norma EN 12975-2 es de aplicación europea, utiliza un modelo cuasi-estacionario en el que se tienen en cuenta velocidades de viento entre los 1-4 m/s. La ecuación obtenida del ensayo y que determina el rendimiento del colector es:

$$\eta_{CN} = a_0 - \left(a_1 \cdot \frac{T_m - T_0}{H_{solar} W_T} \right) - \left(a_2 \cdot \frac{T_m - T_0}{H_{solar} W_T} \cdot H_{solar} W_T \right)$$

a₀: Rendimiento óptico del colector (**0.83**)

a₁: Coeficiente de transferencia de calor (**3.36 W/(m²·K)**)

a₂: Coeficiente de transferencia de calor (**0.013 W/(m²·K²)**)

T_m: Temperatura media del fluido en el colector [°C]

H_{solar}W_T: Irradiación en el plano inclinado [W/m²]

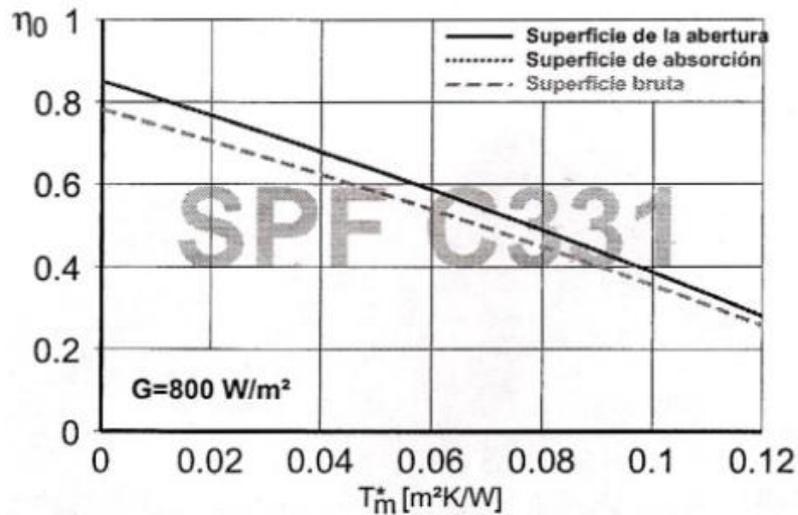


Fig. 23 Curva de normalización para el colector Vitosol 100 w2.5 [Fte. www.solarenergy.ch/]

Una de las principales ventajas de calcular el rendimiento del colector mediante el método alternativo expuesto, es tener la posibilidad de obtener el rendimiento en función de datos reales de dirección y velocidad del viento dominante en la localización. Sin embargo, no es la única. Otra ventaja es poder simular la actuación de los colectores en función del tipo de montaje. Conociendo así la influencia del montaje sobre el rendimiento.

(Inclinación del colector ≡ Latitud) = 40.45 ° Caudal ≡ caudal nominal 100 l/hr $A_{\text{colectores}} = 2.5 \text{ m}^2$					
	η	η_{CN}	$U_{\text{viento}} \text{ [m/s]}$	$f \text{ [%]}$	$f_{\text{CN}} \text{ [%]}$
Enero	0.562	0.628	3.1	32.07	32.8
Febrero	0.544	0.604	2.6	38.28	38.9
Marzo	0.515	0.577	2.7	60.22	61.2
Abril	0.513	0.568	3.6	57.13	57.5
Mayo	0.517	0.566	1.9	71.97	71.5
Junio	0.520	0.567	2.2	81.20	80.4
Julio	0.516	0.560	2.7	97.03	95.6
Agosto	0.501	0.545	3.2	100.20	98.9
Septiembre	0.530	0.583	2.8	80.06	80
Octubre	0.541	0.591	0.9	59.52	59.3
Noviembre	0.556	0.612	1.5	38.97	39.2
Diciembre	0.566	0.628	2.2	28.22	28.7
Valor medio	0.531	0.585	2.45	55.55	55.70

η y f : Calculado con la HOJA C

η_{CN} y f_{CN} : Calculado con la HOJA A

Tabla. 9 Valores para la comparación de rendimientos (OPCIÓN 1)

En la tabla anterior se muestran los valores de rendimiento y contribución solar obtenidos mediante la curva de normalización y el método de las resistencias térmicas. Para una misma latitud e inclinación, los valores son bastante cercanos. Ya se ha comentado como la norma EN 12975-2 incluye en el ensayo velocidades de viento comprendidas entre los 1-4 m/s, **puesto que la velocidad del viento para el proyecto se encuentra entre estos valores, es lógico que la diferencia en los resultados sea pequeña (lo que demuestra que la simulación basada el modelo de [3] está bastante ajustada).**

En la

η y f : Calculado con la HOJA C

η_{CN} y f_{CN} : Calculado con la HOJA A'

Tabla. 10 se establece una comparación (de la manera más precisa posible¹¹), del rendimiento calculado mediante la simulación, frente al que propone la curva de normalización del fabricante. La metodología a seguir es:

- Simulación de la OPCIÓN 2 en la HOJA C.
- Para obtener el rendimiento mediante la curva de normalización, el valor de la temperatura $T_m = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2}$, es el que devuelva la HOJA C (de este modo se establece una analogía con la actuación del colector, en las condiciones de la OPCIÓN 2 y simulada en la HOJA C).

$$\eta_{CN} = a0 - \left(a1 \cdot \frac{T_m - T_0}{HsolarW_T} \right) - \left(a2 \cdot \left(\frac{T_m - T_0}{HsolarW_T} \right)^2 \cdot HsolarW_T \right)$$

- Se remodela la HOJA A (HOJA A'), de modo que los valores de T_{ci} y T_{co} (y por tanto de T_m) dejen de ser incógnitas y se calcula el resto de variables de la instalación.

(Inclinación del colector ≡ Inclinación del alero) = 20 °					
Caudal ≡ caudal nominal 100 l/hr					
A _{colectores} = 2.5 m ²					
	η	η _{CN}	U _{viento} [m/s]	f [%]	f _{CN} [%]
Enero	0.562	0.628	3.1	34.96	0.307
Febrero	0.544	0.604	2.6	41.89	0.393
Marzo	0.515	0.577	2.7	65.86	0.641
Abril	0.513	0.568	3.6	62.80	0.658
Mayo	0.517	0.566	1.9	78.77	0.856
Junio	0.520	0.567	2.2	88.77	0.979
Julio	0.516	0.560	2.7	106.02	1.155
Agosto	0.501	0.545	3.2	109.70	1.152
Septiembre	0.530	0.583	2.8	87.22	0.867
Octubre	0.541	0.591	0.9	64.71	0.609
Noviembre	0.556	0.612	1.5	42.52	0.381
Diciembre	0.566	0.628	2.2	30.78	0.269
Valor medio	0.579	0.498	2.45	60.01	60.60

η y f: Calculado con la HOJA C

η_{CN} y f_{CN}: Calculado con la HOJA A'

Tabla. 10 Valores para la comparación de rendimientos (OPCIÓN 2)

Mientras que los valores de la Tabla. 9 son muy similares, en la Tabla. 10 hay mucha diferencia. Lo que evidencia que **la curva de normalización del colector no es sensible a los tipos de montaje**.

7.6. Dimensionado básico del circuito secundario

Calculado el área de colectores necesaria y elegido el tipo de colector, se dimensionan los elementos del circuito secundario¹² que aparte de los colectores (circuito primario), son decisivos y económicamente relevantes (depósito, sistema de intercambio y sistema de energía auxiliar).

7.6.1. Acumulación de ACS

Ya se ha comentado como la generación no es simultánea con la demanda. Es necesario prever una acumulación acorde con el volumen de la demanda. Para el uso de ACS por energía solar, el CTE recomienda un valor de área total de captadores que cumpla la condición $50 < V/A_{colectores} < 180$.

11 No es posible comparar ambos rendimientos, puesto que no se puede calcular a través de la curva de normalización, el efecto que tiene sobre las pérdidas la superposición arquitectónica.

12 El circuito secundario está formado por el depósito, intercambiador de calor, equipo auxiliar, circuito hidráulico.

Para el dimensionado del depósito de acumulación de ACS, se sigue el método para el cálculo del volumen de acumulación expuesto en el [5]:

- **Obtención de datos de partida:**

Caudal diario de ACS. Se corresponde con el valor de $Q_{\text{corregido}}$
 Temperatura de suministro. T_{sum}

- **Determinación del número de viviendas estándar.** En [5] se define una vivienda estándar.

Ocupación media: 3.5 personas
 Cuartos húmedos: Cuarto de baño con bañera de 150 litros
 Cocina con fregadero

A partir de esta vivienda estándar, se definen unos coeficientes para viviendas distintas de ella, se muestran en la tabla que sigue:

Equipamiento	Coefficiente
4 cuartos de baño con bañera de 150 ó 180 L	2.3
3 cuartos de baño, con bañera de 150 ó 180 L (vivienda diseñada)	2
2 cuartos de baño, con bañera de 150 ó 180 L	1.6
1 cuarto de baño, con bañera de 180 L, y un cuarto de aseo con ducha	1.4
1 cuarto de baño, con bañera de 150 L, y un cuarto de aseo con ducha	1.3
1 cuarto de baño, con bañera de 180 L	1.1
1 cuarto de baño, con bañera de 150 L (vivienda estándar)	1
1 cuarto de baño, con bañera de 135 L	0.9
1 cuarto de aseo con ducha	0.6
1 cuarto con lavabo	0.4

Tabla. 11 Coeficientes para viviendas (Ref.[5])

El equipamiento que más se ajusta a la vivienda diseñada es el de 3 cuartos de baño con bañera de 180 L (la vivienda diseñada consta de 2 baños con bañera de 180 L y un aseo con ducha).

El coeficiente usado toma un valor de 2, el número de viviendas equivalentes es: $N_{ve} = 2$

- **Período de punta, T**

Se denomina el período de punta, al tiempo durante el cual la demanda de ACS es máxima.

$$T = 5 \cdot \frac{N_{VE}^{0.905}}{15 + N_{VE}^{0.92}} = 0.554 \text{ horas}$$

- **Factor de simultaneidad (ϕ)**

El factor de simultaneidad tiene en cuenta las pérdidas en las redes de distribución que se producen en los complejos de viviendas. Tratándose de una vivienda unifamiliar, este factor se considera $\phi = 1$.

- **Caudal máximo horario ($C_{máz}$)**

La distribución del consumo diario demandado, depende del uso que los usuarios hagan de la vivienda, de sus hábitos y de si el día es laborable o festivo. Existen gráficas basadas en la experiencia, que representan la variación del caudal a lo largo de un día laboral:

En la Fig. 24 se muestran en rojo los tres períodos en los que el caudal instantáneo es mayor:

- Período I: De las 6 a las 8 horas
- Período II: De las 11 a las 13 horas
- Período III: De las 17 a las 21 horas

Se utiliza la mayor de las demandas en estos períodos para obtener el caudal máximo diario. Este caudal máximo diario sirve para dimensionar el volumen del depósito de acumulación.

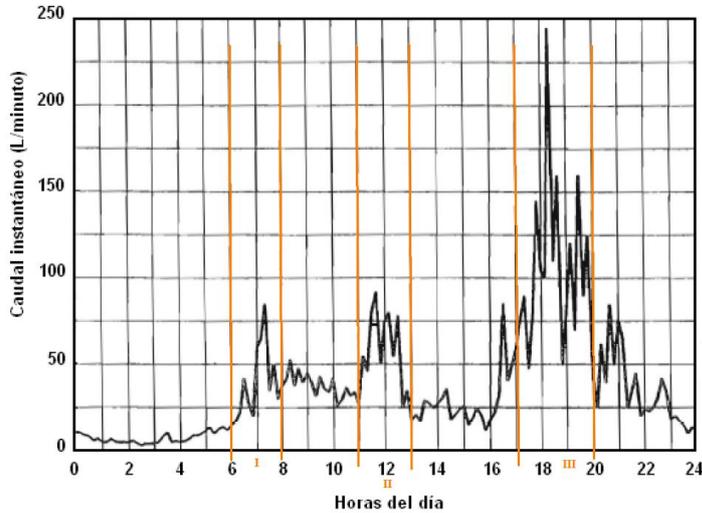


Fig. 24 Variación del caudal para un edificio de viviendas en un día laboral (Ref.[5])

El consumo máximo diario supone el 75% del consumo total del día y se produce entre las 17 y 21 horas. Para su cálculo, se tiene en cuenta el caudal diario corregido (que tiene en cuenta la influencia que la estacionalidad tiene sobre el caudal diario).

$$Q_{m\acute{a}x} \left[\frac{l}{dia} \right] = 0.75 \cdot Q_{corregido} \cdot N_{VE} = 0.75 \cdot (C_{consumo} \cdot 180 \frac{l}{dia}) \cdot N_{VE}$$

El caudal máximo horario medio, en la hora de máximo consumo es:

$$C_{m\acute{a}x} \left[\frac{l}{s} \right] = \frac{Q_{m\acute{a}x} \cdot \varphi}{1hr} \cdot 1 \frac{hr}{3600s}$$

	C _{consumo}	Q [l/día]	Q _{corregido} [l/día]	Q _{máz} [l/día]	C _{máz} [l/s]
Enero	1.142	180	200.56	300.84	0.0836
Febrero	1.08		199.44	299.16	0.0831
Marzo	1.03		198.54	297.81	0.0827
Abril	1.09		199.62	299.43	0.0832
Mayo	1.04		198.72	298.08	0.0828
Junio	1.01		198.18	297.27	0.0826
Julio	0.9		160.20	240.3	0.0668
Agosto	0.879		158.22	237.33	0.0659
Septiembre	0.891		160.38	240.57	0.0668
Octubre	0.994		178.92	268.38	0.0746
Noviembre	1.02		198.36	297.54	0.0827
Diciembre	1.08		199.44	299.16	0.0831

Tabla. 12 caudal máximo horario medio

- Factor de forma (f_f) y factor de mezcla (f_m)

Hay que tener en cuenta que en los depósitos de acumulación hay un volumen no aprovechable. No es aprovechable, puesto que está a una temperatura inferior a la temperatura útil.

A través del factor de forma, $f_f = \frac{H}{D}$ se pretende favorecer la estratificación¹³. Valores de factor de forma mayores que la unidad favorecen la estratificación, sin embargo, aumentan las pérdidas por transferencia de calor al ambiente. Las mínimas pérdidas se presentan para depósitos “cuadrados”, es decir, con $f_f = 1$. Por tanto, a la hora de la elección del depósito, existe un compromiso entre estratificación y pérdidas.

Otro parámetro que afecta a la estratificación y que depende del factor de forma es el factor de mezcla, f_m . Este factor representa la relación entre el volumen útil del depósito y su volumen efectivo.

$$f_m = 0.63 + 0.14 \cdot f_f$$

Todo el volumen útil será efectivo, para un valor del factor de mezcla del 2.643. Valor que se descarta por el comentado aumento en las pérdidas. El valor elegido del factor de forma será $f_f = 2$, lo que implica un $f_m = 0.63 + 0.14 \cdot 2 = 0.91$.

- Tiempo de preparación

Es el período de tiempo requerido para elevar la temperatura del agua desde la temperatura de consumo a la de suministro tras un período de consumo. Se suele usar un tiempo de preparación de 3 horas: $T_p = 3 \text{ horas}$.

- Volumen necesario de depósito de acumulación

Calculados todos los parámetros anteriores, se está en disposición de calcular el volumen necesario del depósito. Se define el volumen útil del acumulador como:

$$V_u = \frac{C_{max} \cdot T}{1 + \frac{T}{T_p} \cdot \frac{1}{f_m}} = \frac{0.0836 \left[\frac{l}{s} \right] \cdot 0.554h \cdot 3600s/h}{1 + \frac{0.554h}{3h} \cdot \frac{1}{0.91}} = 250.189l$$

El volumen total se obtiene del factor de forma:

$$V [l] = \frac{V_u}{f_m} = \frac{250.189l}{0.91} = 275 l$$

Este valor obtenido de volumen de depósito, tendrá que cumplir con la condición de:

$$50 < V/A_{\text{colectores}} < 180.$$

El área de colectores es de $A_{col} = 2.5m^2$, de modo que:

$$\frac{V}{A_{col}} = \frac{275l}{2.5m^2} = 110 \frac{l}{m^2}; 50 \frac{l}{m^2} < 110 \frac{l}{m^2} < 180 \frac{l}{m^2} \text{ (cumple)}$$

7.6.2. Sistema de intercambio

La misión del intercambiador de calor es la de evitar hacer circular el fluido de almacenamiento por los colectores, lo que supondría una disminución del rendimiento de los mismos. Además, evitan la corrosión y ensuciamiento de los paneles y permiten el uso de anticongelantes.

Hay varios tipos de intercambiadores de calor:

- Intercambiador independiente. A través de él circula por un lado el fluido de los colectores y por otra el fluido de almacenamiento bombeado desde el tanque. Suelen ser intercambiadores de placas.
- Serpentin integrado en el tanque, por el que circula el fluido de los colectores.

¹³ Estratificación: Operación del tanque con niveles de temperatura bien diferenciados, esto es, con la parte superior más caliente que la inferior, debido a diferencias de densidad. La utilidad de la estratificación, es la de enviar agua a servicio lo más caliente posible y devolver agua a los colectores lo más fría posible para aumentar su rendimiento.

Para intercambiadores independientes, el CTE recomienda una potencia del intercambiador de calor que cumpla con: $P \geq 500 \cdot A_{col}$, por tanto, la potencia necesaria del intercambiador de calor será:

P = 1250 W.

7.6.3. Sistema de energía auxiliar convencional

El sistema auxiliar tiene el fin de garantizar la continuidad del abastecimiento de la demanda térmica. Ha de ser capaz de cubrir el 100% de la demanda de ACS, aunque solo debe entrar en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario, de forma que se aproveche al máximo la energía extraída del campo de captación.

El sistema de energía auxiliar presenta dos tipos de configuraciones según sea su conexión con el resto de la instalación: *en serie o en paralelo*. La caldera eleva la temperatura del agua a la salida del tanque (T_{cons}) hasta la temperatura de servicio (T_{sum}). La temperatura del agua a la salida del tanque es para todos los meses, excepto Julio y Agosto, menor que la temperatura de suministro. El sistema de energía auxiliar puede disponer o no de acumulación.

Conexión serie: Cada vez que exista demanda de ACS, la caldera de apoyo tendrá que encenderse para elevar la temperatura del tanque de ACS hasta la de suministro. En la mayoría de los casos la caldera se encenderá siempre que haya demanda.

*Conexión paralelo: El conexionado en paralelo supone el uso de dos tanques. Uno denominado solar (situado a la salida de colectores) y otro no solar (entre intercambiador y equipo auxiliar). Lo que se pretende con la conexión en paralelo es mantener el tanque no solar, a una temperatura cercana a los 60°C. De este modo la caldera no actúa siempre que haya demanda, sino que realiza encendidos piloto, cuando la temperatura del tanque baje de un valor de consigna (haya demanda o no). La conexión en paralelo es típica de edificios de viviendas, con equipos centralizados: la necesidad de usar dos tanques se debe a que en el caso de solo usar uno, se estaría penalizando la energía del colector, a favor de la de la caldera. Con dos tanques cuando $T_{tanque_solar} > T_{tanque}$, el fluido del tanque solar no se entrará al intercambiador de calor, puesto que supondría reducir la temperatura del otro tanque. Este tipo de configuración es recomendable en casos de que se requiera calor para calefacción u otros, de modo que sea proporcionado por el tanque solar. **En el caso de viviendas unifamiliares, es preferible la opción en serie.***

Para la instalación del proyecto se ha considerado un sistema sin acumulación. Lo que implica que el equipo ha de ser modulante (capaz de regular su potencia de forma que se obtenga la temperatura de manera permanente, con independencia de cuál sea la temperatura del agua de entrada al citado equipo).

Funcionamiento del sistema:

Al conectar una carga al sistema (demandar ACS), las bombas entran en funcionamiento succionando agua desde el depósito de acumulación. La distribución del agua se realizará a distintos puntos del sistema en función del valor de la temperatura del agua a la salida del tanque (T_{cons}):

- Si $T_{cons} \geq T_{sum}$ (60°C), el agua fluye al punto de consumo.
- Si $T_{cons} < T_{sum}$ (60°C), el agua pasa a través de la caldera y se eleva su temperatura hasta la temperatura de servicio.

El sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprenderá el control de funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas etc.

En circulación forzada, el control de funcionamiento normal de las bombas del circuito de captadores, deberá ser siempre de tipo diferencial y, en caso de que exista depósito de acumulación solar, deberá

actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de los captadores y la del depósito de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2 °C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2 °C [4].

Dimensionado del sistema auxiliar:

En el período punta de demanda, ésta es la más exigente. Por tanto, dimensionando el equipo para este período punta, se deben cubrir las necesidades para el resto de períodos. La potencia necesaria de la caldera se calcula siguiendo las recomendaciones de [5]:

$$Q_{caldera} = \frac{Cp_{agua} \cdot \Delta T \cdot V_{punta}}{T + T_p}$$

El valor del ΔT , se refiere a la diferencia de temperaturas entre la temperatura del agua de suministro (a 60°C) y la temperatura del agua de la red. Para estar del lado de la seguridad, se escoge el caso más restrictivo, que será el del mes en el que esta diferencia sea máxima. Según los datos expuesto en la Fig. 11, se corresponde con el mes de **Diciembre**.

El volumen de agua consumida durante el período punta se calcula a través de la fórmula que se expone a continuación. Los parámetros involucrados en el cálculo están recogidos en la Tabla. 12.

$$V_{punta} = C_{m\acute{a}x} \cdot T$$

$C_{m\acute{a}x}$: Gasto másico máximo diario [kg/s]

T : Período punta [s]

Definidos todos los parámetros que intervienen en el cálculo, la potencia necesaria de la caldera es:

$$Q_{caldera} = \frac{Cp_{agua} \cdot \Delta T \cdot V_{punta}}{T + T_p} = \frac{4.187 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (60^{\circ}C - 6^{\circ}C) \cdot \left(\frac{0.0836kg}{s} \cdot 0.554hr \cdot \frac{3600s}{hr} \right)}{(0.554 + 3)hr \cdot \frac{3600s}{hr}} = 2.946kW$$

Es necesario considerar un coeficiente de seguridad, que se toma del 5%:

$$Q_{caldera} = 2.946kW * 1.05 = 3.1kW$$

7.7. Resumen de elementos de la instalación

Elemento	Fabricante	Modelo	Requerimiento	
			Diseño	Comercial
Colector solar	Viessman	Vitosol 100 w2.5	2.5 m ²	
Depósito	Cordivari	Polywarm CV 300 SR	275 l	300 l
Sistema de intercambio	Suicalsa	IP 3600 (IP360005PX08)	1.2 kW	2 kW
Sistema auxiliar ¹⁴	Immergas	Victrix X 12	3.1 kW	(2-12) kW

¹⁴ El sistema auxiliar (caldera), es compartido por el equipo de calefacción. Por tanto, si se pretende evaluar el coste que repercute exclusivamente al sistema de ACS, se puede establecer una simplificación en función de los kWh anuales que demanda. El total de demanda de energía (calefacción+ 100% demanda ACS) es 24867.8 kWh, por lo que los 3969.77kWh demandados de ACS, suponen el 15.7% del total anual. Puede suponerse, que el coste que graba la necesidad de ACS sobre el coste total de la caldera es del 15.7%.

7.8. Bibliografía del capítulo

1. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. Departamento de Energía Solar, *Instalaciones de energía solar térmica : pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura*. 2002, Madrid: IDAE. 124 p.
2. Aumente, P.R., *Apuntes de la asignatura Energías Renovables*. 2009.
3. María del Carmen Rodríguez Hidalgo, P.A.R.A., R. Salgado, M. del C. Venegas, Antonio Lecuona Neumann, *Transferencia de calor en colectores solares planos, considerando velocidad y dirección del viento*. Construyendo el futuro sostenible: libro de actas del XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar, 17-21 junio, 2008 Vigo, Galicia, España, 2008. 1: p. 407-412.
4. Vivienda, E.M.d.I., *DB - HE. Ahorro de energía : [Documento básico del CTE]*. 1{487} ed ed. 2007, [S.l.]: Cano Pina S.L.- Ediciones Ceysa. 159 p.
5. Viti Corsi, A. and Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, *DTIE 1.01 preparación de agua caliente para usos sanitarios*. Documentos técnicos de instalaciones en la edificación. 1996, Madrid: ATECYR. 53 p.

[Ahorro energético]

8. AHORRO ENERGÉTICO	196
8.1. Ahorro económico	196
8.1.1. Calefacción	196
8.1.2. Refrigeración	198
8.1.3. ACS (Agua caliente sanitaria)	200
8.1.4. Estudio de viabilidad de la instalación de ACS	202
8.2. Ahorro de emisiones	204
8.2.1. Calefacción	204
8.2.2. Refrigeración	205
8.2.3. Agua caliente sanitaria	205
8.3. Bibliografía del capítulo	207

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1 Emisiones de CO₂ por tecnología de generación eléctrica [Ref.MITYC] (2009)</i>	205
---	-----

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla. 1 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (ver Capítulo 6)</i>	196
<i>Tabla. 2 Simulación de facturación, para la demanda anual (ACS+Calefacción) de gas natural (Ref.[1])</i>	197
<i>Tabla. 3 Descripción del equipo de frío</i>	199
<i>Tabla. 4 Requerimientos para cumplir con la demanda ACS</i>	200
<i>Tabla. 5 Ahorro energético y económico debido al aporte solar (GN)</i>	201
<i>Tabla. 6 Ahorro energético y económico debido al aporte solar (GN)</i>	201
<i>Tabla. 7 Presupuesto de la instalación de ACS</i>	202
<i>Tabla. 8 Estructura de los costes de explotación de una instalación</i>	202
<i>Tabla. 9 Valor actual neto para cada año con el período de amortización y vida de la instalación resaltados</i>	203

[PFC DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR (ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS)]

[Todo ahorro energético lleva implícito un ahorro económico y de emisiones. En el capítulo, se hace una comparación energética en función del tipo de construcción, instalación y del tipo de fuente de energía. Por otro lado se muestra el estudio de viabilidad económica de la instalación solar de ACS]

8. Ahorro energético

8.1. Ahorro económico

Potencia necesaria en la instalación:

$$P_{refrigeración} = Q_{max} \cdot C = 6874.6 \text{ W} \cdot 1.05 = 7218 \text{ W}$$

$$P_{calefacción} = Q_{max} \cdot C1 + C2 = 8365.75 \text{ W} \cdot (1.15) = 9620 \text{ W}$$

Energía acumulada anual [kW·h / año]			
$\sum_{i=\text{Enero}}^{\text{Diciembre}} (\text{Energía horaria} \cdot \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot \text{dias mes}(i))_i$			
Soluciones bioclimáticas [kW·h]	Sin soluciones [kW·h]	Diferencia [kW·h]	Diferencia [%] ¹
5856.44	9624.13	3767.69	39.15%
20898.03	30114.49	9216.46	30.60%

Tabla. 1 Carga térmica total. Media mensual de los valores medios horarios (ver Capítulo 6)

8.1.1. Calefacción

El calor necesario a aportar por la caldera para satisfacer la demanda de calefacción, cumple con la ecuación:

$$q = m_{comb} \cdot PCI \cdot \eta \text{ [kJ]}$$

Dónde:

m_{comb} [kg]: Masa de combustible

PCI $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$: Poder calorífico inferior

η [-]: Rendimiento del equipo

- Equipo de calefacción: Caldera de condensación, alimentada con gas natural.

Las calderas de condensación permiten condensar el contenido en agua de los productos de combustión al enfriar los gases hasta una temperatura inferior a los 100°C. El producto condensado es muy contaminante y corrosivo, por tanto, solo puede ser vertido en caso de que la caldera sea de gas (para evitar el SO₂ y cenizas) y de baja emisión de NO_x.

El combustible típico de las calderas de condensación es el gas natural (también GLP), puesto que no contiene azufre.

El rendimiento de una caldera de condensación puede ser mayor del 100%, basando el rendimiento en el poder calorífico inferior².

Coste de la energía anual (necesaria para satisfacer la demanda):

El coste de la energía (e) del gas natural canalizado [1]es: $C_e = 4.87\text{c€/kWh}$

¹ Es necesario comentar que la diferencia para este último caso (vivienda de referencia sin ninguna solución), no se compone de la suma de las anteriores diferencias que se han expuesto a lo largo del capítulo. Esto se debe a que como ya se dijo, hay soluciones que están acopladas entre sí.

² El poder calorífico inferior o PCI, se diferencia del poder calorífico superior, en que el primero no incluye el calor latente de vaporización del agua.

Simulador de facturación para tarifa de último recurso de gas

Datos de entrada: **Consumo anual = 30000 kWh**

Término fijo:	94.08 Euros
Término variable:	745.03 Euros
Total facturas gas:	839.11 Euros
IVA (16%):	134.26 Euros
<hr/>	
Total factura anual (sin IVA):	839.11 Euros
Total factura anual (con IVA):	973.37 Euros
Precio unitario gas (sin IVA):	4.2 c€/kWh
Precio unitario gas (con IVA):	4.87 c€/kWh

[Volver](#)

*Nota 1: Para el cálculo de la factura no se ha tenido en cuenta el alquiler del contador.

*Nota 2: Precios aplicables a suministros en baja presión hasta 4.bar.

Orden ITC/3520/2009, de 28 de diciembre, por la que se establecen los peajes y cánones asociados al acceso de terceros a las instalaciones gasistas para el año 2010 y se actualizan determinados aspectos relativos a la retribución de las actividades reguladas del sector gasista.

Tabla. 2 Simulación de facturación, para la demanda anual (ACS+Calentamiento) de gas natural (Ref.[1])

El coste de la energía cedida al producto (C_e), se obtiene de:

$$(C_{ec})_{gas\ natural} = \frac{C_e}{\eta_{caldera}}$$

La potencia necesaria para la caldera es de 9.6 kW, este valor, no está dentro del rango de potencias de las calderas comerciales. La caldera con la potencia más próxima que he encontrado ha sido VICTRIX X 12 del fabricante IMMERGAS, su rango de potencias va de los 2-12.3 kW. La base de datos que he consultado, ha sido la de datos de calderas del programa "Sistema de información sobre eficiencia energética de calderas" del IDAE. El rendimiento para la potencia demandada es del 97.7% (basado en el PCI).

$$(C_{ec})_{gas\ natural} = \frac{4.87\ c€/kWh}{0.977} = 4.884\ c€/kWh$$

El coste de la energía anual ($(C_{ec})_{anual}$) es:

$$(C_{ec})_{anual} = E_{demandada} \cdot (C_{ec})_{gas\ natural}$$

$E_{demandada}$ [kWh/año]: Energía acumulada anual

Por tanto, el ahorro económico que implica la construcción bioclimática frente a la convencional es:

$$\begin{aligned} (\Delta C_{ec})_{anual} &= \Delta E_{calefacción} \cdot (C_{ec})_{gas\ natural} \\ \Delta E_{calefacción} &= E_{sin_soluciones} - E_{soluciones_bioclimaticas} \text{ [kWh/año]} \\ (\Delta C_{ec})_{anual} &= 9216.46 \frac{kWh}{año} \cdot 4.884 \frac{c€}{kWh} = \mathbf{450.109 \frac{€}{año}} \text{ (un 30.6\% de ahorro)} \end{aligned}$$

- **Equipo de calefacción: Caldera de condensación alimentada con GLP canalizado o a granel.**

Para el cálculo económico, se considera la caldera expuesta anteriormente (es de combustible mixto: gas natural o GLP).

El coste por unidad de masa (m) del GLP a granel canalizado es regulado [1] es: $c_m = 86.35 \text{ c€/kg}$

El coste de la energía (e) del GLP a granel es:

$$C_e = \frac{c_m}{PCI^3} = \frac{86.35 \text{ c€/kg}}{45.5 \text{ MJ/kg}} = 1.861 \frac{\text{c€}}{\text{kg}} = 1.861 \frac{\text{c€}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{MJ}}{10^3 \text{ kJ}} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kWs}} \cdot \frac{3600\text{s}}{\text{h}} = 6.833 \frac{\text{c€}}{\text{kWh}}$$

El coste de la energía cedida al producto (c), se obtiene de: $(C_{ec})_{GLP} = \frac{C_e}{\eta_{caldera}}$

$$(C_{ec})_{GLP} = \frac{6.7 \text{ c€/kWh}}{0.977} = 6.994 \text{ c€/kWh}$$

Por tanto, el ahorro económico que implica la construcción bioclimática frente a la convencional es:

$$(C_{ec})_{anual} = \Delta E_{calefacción} \cdot (C_{ec})_{GLP}$$

$$(\Delta C_{ec})_{anual} = 9216.46 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 6.994 \frac{\text{c€}}{\text{kWh}} = \mathbf{644.58 \frac{\text{€}}{\text{año}} \text{ (un 30.6\% de ahorro)}}$$

8.1.2. Refrigeración

Asumiendo el uso de equipos de compresión mecánica simple (MCMS) para producción de frío (accionados por energía eléctrica), los parámetros que hay que conocer para establecer una comparación de ahorro económico son: energía calorífica demandada y coeficiente de eficiencia energética real CEE .

El coeficiente de eficiencia energética real del sistema frigorífico se define como el coste del frío producido, por unidad de energía eléctrica suministrada:

$$CEE|_{er} = \frac{Q_e}{W_{re}} = \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_e \cdot \left(\frac{\Delta h_e}{\Delta h_c} \right)$$

Dónde:

η_i : Rendimiento indicado del ciclo

η_m : Rendimiento mecánico del compresor

η_e : Rendimiento eléctrico del motor del compresor

Δh_e : Variación de entalpía en el evaporador

Δh_c : Variación de entalpía en el compresor

Sin embargo el $CEE|_{er}$ no es un rendimiento desde el punto de vista energético. Para serlo, es necesario que el numerador y el denominador se expresen en la misma forma de energía. En el caso de energía eléctrica de origen fósil (centrales térmicas o de ciclo combinado), es necesario introducir el rendimiento

³

Los valores del PCI se han obtenido del informe de la UE de inventario de GEI para España en el período 1999-2004

de conversión de energía térmica en eléctrica, es decir, el rendimiento de estas centrales (0.3 o 0.4 respectivamente). Atendiendo a esta afirmación, se puede generar una expresión que refleje la eficiencia de la conversión global en función de la cadena de rendimientos de cada una de las transformaciones energéticas: desde la energía primaria hasta la producción de frío [2]. Con esta eficiencia de conversión global se puede calcular la masa de combustible necesaria para la producción de cada unidad de frío y la masa de CO₂ emitida por ella.

$$CEE|_{comb-frío} = CEE|_{er} \cdot \eta_c$$

η_c : Rendimiento de la central

- **Equipo de frío: MCMS, con alimentación eléctrica**

La potencia del equipo de frío necesaria es de 7.2 kW. El valor del CEE para esta gama de potencias de los equipos comerciales está en torno a 3. A través de una revisión de la base de datos de "aparatos domésticos de aire acondicionado eficientes" de la página web del IDAE, el equipo elegido para satisfacer la demanda, podría ser:

Marca	Nº ud. Interiores	Descripción	Condensación	Capacidad frigorífica [kW]	CEE _{er}	Clasificación energética	¿Bomba de calor?
Carrier	4	XPOWER MULTI INVERTER FRIO	Tipo partido (Split)	7.4	3.23	A	No

Tabla. 3 Descripción del equipo de frío

Coste de la energía anual (necesaria para satisfacer la demanda):

El coste de la energía (c_e) del kWh eléctrico [1] es: $C_e = 12.6 \text{ c€/kWh}$

El coste de la energía cedida al producto (c_c), se obtiene de:

$$(C_{ec})_{electricidad} = \frac{C_e}{CEE|_{er}} = \frac{12.6 \text{ c€/kWh}}{3.23} = 3.90 \text{ c€/kWh}$$

Ahorro económico que implica la construcción bioclimática frente a la convencional:

$$(\Delta C_{ec})_{anual} = \Delta E_{refrigeración} \cdot (C_{ec})_{electricidad}$$

$$\Delta E_{refrigeración} = E_{sin_soluciones} - E_{soluciones_bioclimaticas} \text{ [kWh/año]}$$

$$(\Delta C_{ec})_{anual} = 3767.69 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 3.9 \frac{\text{c€}}{\text{kWh}} = 146.93 \frac{\text{€}}{\text{año}} \text{ (un 39.15\% de ahorro)}$$

8.1.3. ACS (Agua caliente sanitaria)

El calor necesario a aportar por el equipo auxiliar para satisfacer la demanda de ACS, cumple con la ecuación:

$$q = m_{comb} \cdot PCI \cdot \eta \text{ [MJ]}$$

Dónde:

m_{comb} [kg]: Masa de combustible

PCI $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right]$: Poder calorífico inferior

η [-]: Rendimiento del equipo

En la Tabla. 4 se muestran los requerimientos para cumplir con la demanda ACS (caudal, potencia, energía y temperatura), así como la contribución que proporcionan los paneles solares.

	$Q_{\text{corregido}}$ [l/día]	ρ [kg/m^3]	C_p [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$]	Tred [°C]	Tsum [°C]	f(%)	Q_{ACS} [MJ/mes]	E_{ACS} [kw·h/mes]
Enero	200.56	1000	4187	6	60	35.0	1405.73	390.48
Febrero	199.44			7		41.9	1239.22	344.23
Marzo	198.54			9		65.9	1314.26	365.07
Abril	199.62			11		62.8	1228.64	341.29
Mayo	198.72			12		78.8	1238.08	343.91
Junio	198.18			13		88.8	1169.99	325.00
Julio	160.20			14		106.0	956.50	265.69
Agosto	158.22			13		109.7	965.21	268.12
Septiembre	160.38			12		87.2	966.98	268.60
Octubre	178.92			11		64.7	1137.94	316.09
Noviembre	198.36			9		42.5	1270.72	352.98
Diciembre	199.44			6		30.8	1397.88	388.30

Tabla. 4 Requerimientos para cumplir con la demanda ACS

- **Equipo auxiliar: Calentador de condensación, alimentado con gas natural.**

Coste de la energía anual (necesaria para satisfacer la demanda):

El coste de la energía (e) del gas natural canalizado es: $C_e = 4.87 \text{ c€/kWh}$

El coste de la energía cedida al producto (c), se obtiene de:

$$(C_{ec})_{\text{gas natural}} = \frac{C_e}{\eta_{\text{caldera}}} = 4.884 \text{ c€/kWh}$$

La potencia necesaria para el quemador es de 3.1 kW (ver **Capítulo 7**), ya se ha comentado la dificultad de encontrar gamas de potencias bajas en equipos comerciales. Cuando existe necesidad de calefacción y ACS, lo más común es usar un mismo equipo para satisfacer ambas demandas. Por tanto, lo más adecuado sería utilizar el mismo valor de rendimiento del equipo de calefacción antes comentado (97.7%).

El coste de la energía anual ($(C_{ec})_{\text{anual}}$) es:

$$(C_{ec})_{\text{anual}} = E_{\text{ACS}} \cdot (C_{ec})_{\text{gas natural}}$$

E_{ACS} [kWh/año]: Energía demandada ACS

Ahorro energético debido al aporte solar por mes:

$$(\Delta C_{ec})_{\text{mes}} = \Delta E_{\text{ACS}} \cdot (C_{ec})_{\text{gas natural}}$$

$$\Delta E_{\text{ACS}} = E_{\text{ACS}} \cdot f$$

	f(%)	Q _{ACS} [MJ/mes]	E _{ACS} [kw·h/mes]	ΔE _{ACS} [kw·h/mes]	(ΔC _{ec}) _{mes} [€/mes]
Enero	35.0	45346.21	390.48	136.67	6.67
Febrero	41.9	44257.93	344.23	144.23	7.04
Marzo	65.9	42395.64	365.07	240.58	11.75
Abril	62.8	40954.64	341.29	214.33	10.47
Mayo	78.8	39937.95	343.91	271.00	13.24
Junio	88.8	38999.64	325.00	288.60	14.10
Julio	106.0	30854.84	265.69	265.69	12.98
Agosto⁴	109.7	31135.96	268.12	268.12	13.09
Septiembre	87.2	32232.53	268.60	234.22	11.44
Octubre	64.7	36707.76	316.09	204.51	9.99
Noviembre	42.5	42357.20	352.98	150.02	7.33
Diciembre	30.8	45092.99	388.30	119.60	5.84
			2537.57 kWh/año		123.93 €/año

Tabla. 5 Ahorro energético y económico debido al aporte solar (GN)

$$(\Delta C_{ec})_{año} = 123.93 \text{ €/año}$$

- Equipo auxiliar: **Calentador de condensación, alimentado con GLP.**

Ahorro energético debido al aporte solar por mes:

$$(\Delta C_{ec})_{mes} = \Delta E_{ACS} \cdot (C_{ec})_{GLP}$$

$$\Delta E_{ACS} = E_{ACS} \cdot f$$

	f(%)	Q _{ACS} [MJ/mes]	E _{ACS} [kw·h/mes]	ΔE _{ACS} [kw·h/mes]	(ΔC _{ec}) _{mes} [€/mes]
Enero	35.0	45346.21	390.48	136.67	9.37
Febrero	41.9	44257.93	344.23	144.23	9.89
Marzo	65.9	42395.64	365.07	240.58	16.50
Abril	62.8	40954.64	341.29	214.33	14.70
Mayo	78.8	39937.95	343.91	271.00	18.58
Junio	88.8	38999.64	325.00	288.60	19.79
Julio	106.0	30854.84	265.69	265.69	18.22
Agosto⁵	109.7	31135.96	268.12	268.12	18.38
Septiembre	87.2	32232.53	268.60	234.22	16.06
Octubre	64.7	36707.76	316.09	204.51	14.02
Noviembre	42.5	42357.20	352.98	150.02	10.29
Diciembre	30.8	45092.99	388.30	119.60	8.20
					174 €/año

Tabla. 6 Ahorro energético y económico debido al aporte solar (GN)

$$(\Delta C_{ec})_{año} = 174 \text{ €/año}$$

El ahorro puede parecer bajo, si se tiene en cuenta el coste de la instalación (en torno a 600 €/m²_{de captadores} [3]). Esto implica un largo período de amortización. Si además de aporte solar para ACS, se necesita un aporte para calefacción de baja temperatura (por suelo radiante) o generación de frío con máquina de absorción, el período de amortización del conjunto es más razonable.

⁴ En los meses de Julio y Agosto, el aporte solar para ACS es mayor que la demanda (f=100%). El valor de ΔE_{ACS} = E_{ACS}.

⁵ En los meses de Julio y Agosto, el aporte solar para ACS es mayor que la demanda (f=100%). El valor de ΔE_{ACS} = E_{ACS}.

8.1.4. Estudio de viabilidad de la instalación de ACS

Elemento	Fabricante	Modelo	Requerimiento		Precio	
			Diseño	Comercial		
Colector solar	Viessman	Vitosol 100 w2.5	2.5 m ²		892.00 €	
Depósito	Cordivari	Polywarm CV 300 SR	275 l	300 l	977.00 €	
Sistema de intercambio	Suicalsa	IP 3600 (IP360005PX08)	1.2 kW	2 kW	377.00 €	
Sistema auxiliar ⁶	Immergas	Victrix X 12	3.1 kW	(2-12) kW	15.7% de 1230€ = 193.02 €	
					2439.02 €	Parcial
Equipos auxiliares (circuito hidráulico, regulación)	xx	xx	xx	xx	(20%) = 487.80 €	
					2926.82 €	Total

Tabla. 7 Presupuesto de la instalación de ACS

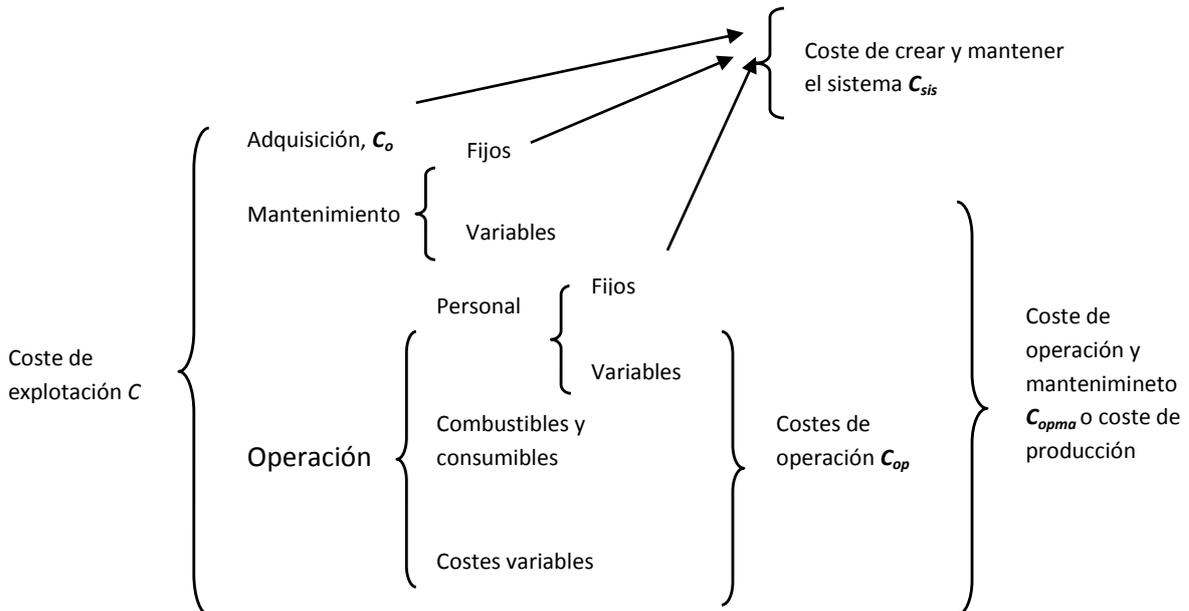


Tabla. 8 Estructura de los costes de explotación de una instalación [4]

⁶

El sistema auxiliar (caldera), es compartido por el equipo de calefacción. Por tanto, si se pretende evaluar el coste que repercute exclusivamente al sistema de ACS, se puede establecer una simplificación en función de los kWh anuales que demanda. El total de demanda de energía (calefacción+ 100% demanda ACS) es 24867.8 kWh, por lo que los 3969.77kWh demandados de ACS, suponen el 15.7% del total anual. Puede suponerse, que el coste que graba la necesidad de ACS sobre el coste total de la caldera es del 15.7%.

Cálculo del valor actual neto del proyecto de la instalación de ACS, para sistema auxiliar alimentado por gas natural:

$$VAN = \overbrace{-(C_0 - VA_n \langle VR_n \rangle)}^{\text{Coste neto de adquisición}} + \underbrace{\sum_{m=1}^n VA_m \langle FC'_m \rangle}_{\text{Valor actual de los flujos de caja sin amortización}}$$

$VA_n \langle VR_n \rangle$: Es el valor residual de la instalación, que considero igual a cero.

FC'_m se refiere al flujo de caja en el año m sin incluir la amortización (ingresos menos costes):

$$FC'_m = IN_m - C_m$$

Puesto que los costes de mantenimiento se rigen por la tasa de inflación y los de los ingresos (ahorro de combustible) lo hacen por la tasa de incremento de precios de combustible, se puede definir una nueva expresión del valor actual neto:

$$\begin{aligned} VAN &= -(C_0 - VA_n \langle VR_n \rangle) + \sum_{m=1}^n VA_m \langle IN_m \rangle - \sum_{m=1}^n VA_m \langle C_m \rangle = \\ &= -C_0 + IN_m \cdot \sum_{m=1}^n \frac{(1+c)^m}{(1+i)^m} - C_m \cdot \sum_{m=1}^n \frac{(1+I)^m}{(1+i)^m} \end{aligned}$$

C_0 : Desembolso inicial

IN_m : Ingresos, que para la instalación es el ahorro de combustible (en euros); 123.93 €

C_m : Coste de mantenimiento de la instalación (0.5% de C_0) [4]

I : Tasa de inflación (1.6% -Abril 2010- (Ref. INE))

c : Incremento del coste del combustible (9.6% -cuarto trimestre 2009- [1])

i : Tipo de interés de referencia (Euribor –mayo 2010- + 0.5%) [4]; $i = (1.242 + 0.5)\% = 1.742\%$

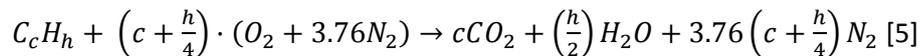
VAN	Año
-2807.93	1
-2678.71	2
-2538.37	3
-2386.03	4
-2220.79	5
-2041.64	6
-1847.52	7
-1637.26	8
-1409.63	9
-1163.28	10
-896.76	11
-608.53	12
-296.91	13
39.91	14
403.88	15
797.08	16
1221.78	17
1680.40	18
2175.56	19
2710.09	20

Tabla. 9 Valor actual neto para cada año con el período de amortización y vida de la instalación resaltados

Según los valores expuestos en la Tabla. 9, el período de amortización es de aproximadamente 14 años. En rojo el VAN de la instalación para el año 20 (año que coincide como límite de vida de la instalación). A partir de este momento, la instalación empieza a reportar beneficios, frente al caso de que el total de la demanda de ACS fuera suministrado por el sistema auxiliar (caldera de condensación, alimentada con gas natural).

8.2. Ahorro de emisiones

Los combustibles fósiles liberan energía mediante un proceso irreversible que limita la potencia obtenible (la combustión). Este proceso genera contaminantes, principalmente CO₂, así como otra serie de contaminantes (CO, SO₂, NO_x, HC's, etc.). La reacción global e ideal de combustión de un hidrocarburo es:



La masa de CO₂ producida por la reacción cumple con:

$$\chi = \frac{m_{CO_2}}{m_{comb}} = \frac{N_{CO_2} \cdot PM_{CO_2}}{N_{comb} \cdot PM_{comb}} = \frac{PM_C + PM_{O_2}}{PM_C + \frac{h}{c} \cdot PM_H} \cong \frac{12 + 32}{12 + \frac{h}{c}} = \frac{44}{12 + \frac{h}{c}}$$

El calor necesario a aportar por la caldera para satisfacer la demanda de calefacción, cumple con la ecuación:

$$q = m_{comb} \cdot PCI \cdot \eta \quad [kJ]$$

Dónde:

m_{comb} [kg]: Masa de combustible

PCI $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$: Poder calorífico inferior

η [-]: Rendimiento del equipo

Conocida la demanda, mediante la ecuación anterior se tiene la masa de combustible necesaria para satisfacerla. Quedando la masa emitida de CO₂:

$$m_{CO_2} = \frac{q \cdot \chi}{PCI \cdot \eta} \text{ y el ahorro de emisiones es: } \Delta m_{CO_2} = \frac{(\Delta q) \cdot \chi}{PCI \cdot \eta}$$

8.2.1. Calefacción

- **Equipo de calefacción: Caldera de condensación, alimentada con gas natural.**

Asumiendo que la composición del gas natural es 100% metano (CH₄):

$$\chi_{GN} = \frac{44}{12+4} = 2.75 \frac{kgCO_2}{kgGN}$$

$$\text{Ahorro de emisión de CO}_2 \rightarrow \Delta m_{CO_2} = \frac{9216.46 \frac{kWh}{año} \cdot \frac{3600kJ}{kWh} \cdot 2.75 \frac{kgCO_2}{kgGN}}{48270 \frac{kJ}{kgGN} \cdot 0.977} = 1935 \text{ kgCO}_2/\text{año (ahorro del$$

30.6%)

- **Equipo de calefacción: Caldera de condensación, alimentada con GLP.**

Asumiendo que la composición del GLP de calefacción (o tipo C) es 100% propano (C₃H₈):

$$\chi_{GLP} = \frac{44}{12+\frac{8}{3}} = 3 \frac{kgCO_2}{kgGN}$$

$$\text{Ahorro de emisión de CO}_2 \rightarrow \Delta m_{CO_2} = \frac{9216.46 \frac{kWh}{año} \cdot \frac{3600kJ}{kWh} \cdot \frac{3 \frac{kgCO_2}{kgGLP}}{kgGLP}}{45500 \frac{kJ}{kgGLP} \cdot 0.977} = 2053 \text{ kgCO}_2/\text{año}$$

Entre las dos opciones, el gas natural emite menos CO₂ por kg (su relación h/c es la máxima de los hidrocarburos), el valor de kgCO₂/kJ es menor que en el GLP considerado (emisión por unidad de energía). Además su precio en función de la energía también es menor (€/kWh).

8.2.2. Refrigeración

- Equipo de frío: MCMS, con alimentación eléctrica

Emisiones de CO₂ (KgCO₂/kWh) por tecnología de generación eléctrica

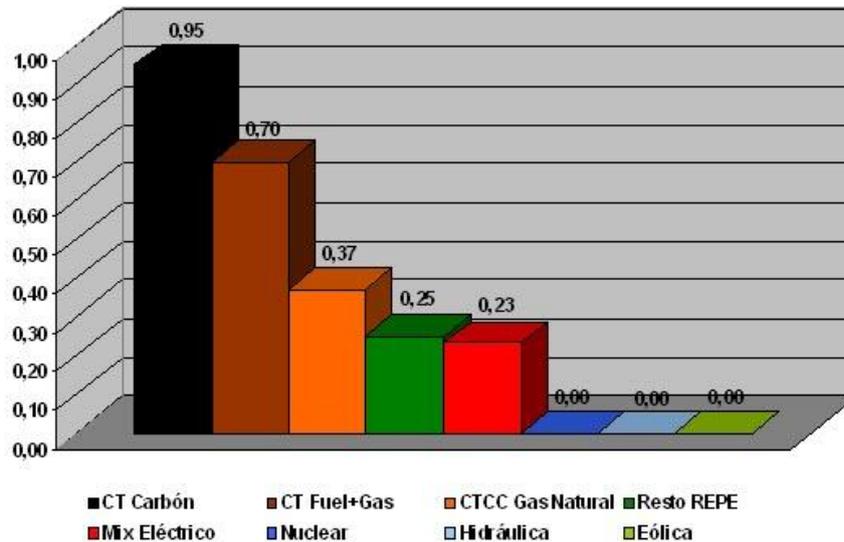


Fig. 1 Emisiones de CO₂ por tecnología de generación eléctrica [Ref.MITYC] (2009)

Atendiendo a la gráfica anterior para el mix eléctrico, las emisiones de CO₂ son: **0.23 kgCO₂/kWh_{eléctrico}**. Por otro lado, en la factura que emiten las compañías eléctricas a los consumidores, este valor aumenta hasta los **0.39 kgCO₂/kWh_{eléctrico}**. De entre los dos, elijo el segundo para los cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de emisión de CO}_2 \rightarrow \Delta m_{CO_2} &= \frac{\Delta E_{refrigeración}}{CEE_{er}} \cdot 0.39 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_{\text{eléctrico}} \\ &= \frac{3767.69 \frac{kWh}{año}}{3.23} \cdot \frac{0.39 \text{ kgCO}_2}{\text{kWh}_{\text{eléctrico}}} = 454.92 \text{ kgCO}_2/\text{año} \\ &\quad \text{(Ahorro del 39.15\%)} \end{aligned}$$

8.2.3. Agua caliente sanitaria

Agua caliente sanitaria a través de energía solar con caldera de condensación de gas natural como sistema de apoyo.

Asumiendo que la composición del gas natural es 100% metano (CH₄):

$$\chi_{GN} = \frac{44}{12+4} = 2.75 \frac{kgCO_2}{kgGN}$$

$$\text{Ahorro de emisión de } CO_2 \rightarrow \Delta m_{CO_2} = \frac{2537.57 \frac{kWh}{año} \cdot \frac{3600kJ}{kWh} \cdot 2.75 \frac{kgCO_2}{kgGN}}{48270 \cdot \frac{kJ}{kgGN} \cdot 0.977} = 532.69 \text{ } kgCO_2/año$$

8.3. Bibliografía del capítulo

1. www.cne.es, *Comisión Nacional de la Energía*. (Publicaciones On-Line).
2. Izquierdo Millán, M., *Apuntes de la asignatura de Calor y frío industrial*.
3. Aumente, P.R., *Apuntes de la asignatura Energías Renovables*. 2009.
4. Antonio Lecuona Neumann, E.P.A., Jose Antonio Alfaro Martínez, *Ingeniería Energética*. Análisis económicos de proyectos energéticos. Introducción a la termoeconomía, 2008.
5. Neumann, A.L., *La contaminación atmosférica, fuentes y fenómenos*. Apuntes de la asignatura Ingeniería Ambiental. Nov-2004.

[Resumen y conclusiones]

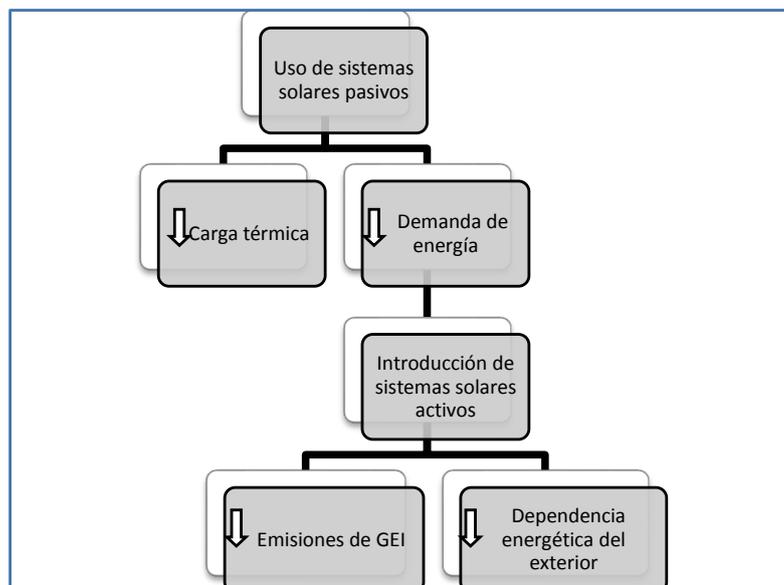
[PFC DISEÑO DE UNA VIVIENDA BASADA EN LA ARQUITECTURA SOLAR (ELEMENTOS ACTIVOS Y PASIVOS)]

9. Resumen, conclusiones y trabajos futuros

En este capítulo se exponen los resultados más significativos y las conclusiones obtenidas del análisis de éstos.

Los principales objetivos que se marcaron para este PFC fueron:

1. El diseño de una vivienda ubicada en Madrid, basada en la arquitectura solar, tanto en lo que se refiere a los elementos activos como a los pasivos.
La vivienda diseñada, debía resultar una vivienda pasiva con altos niveles de insolación, cuya definición de pasiva no dependiese de la incertidumbre derivada que del uso de la vivienda hacen los ocupantes.
2. Cumplir con las directivas HE 1 (*Limitación de la demanda energética*) y HE 4 (*contribución solar mínima de ACS*) del CTE.
3. Cálculo de la carga térmica y de la demanda de ACS.
4. Comprobar que se cumplen las afirmaciones que aparecen en la *figura 17* del **Capítulo 1** y que se expone a continuación:



Llegados a este punto, puedo concluir que **he alcanzado los objetivos propuestos**. La justificación de tal afirmación, se hace a través del análisis de los cuatro puntos anteriores:

1. Diseño de la vivienda

Partiendo de simplemente una ubicación geográfica (Madrid), he llevado a cabo el diseño de una vivienda con las siguientes soluciones:

Solución	Manipulación por parte del usuario	Tipo de manipulación
Ganancia directa	Baja	Ventilación o aislamiento nocturno (según el periodo del año)
Protección solar	Nula	-
Soterramiento de fachadas	Nula	-
Cubierta vegetal	Baja	Irrigación durante periodos secos
Energía solar activa	Baja	Contratación de empresa autorizada

Según lo expuesto en la tabla anterior, la incertidumbre derivada del uso de la vivienda es baja (se cumple con lo previsto).

La siguiente premisa que hay que comprobar es si la vivienda tiene altos niveles de insolación. Con la alta insolación, se pretende un sistema de calefacción solar pasiva, de modo que la carga térmica total debe estar fuertemente influenciada por la carga térmica a través de los acristalamientos. En la figura que sigue, este hecho queda patente: la evolución de la carga térmica total, sigue el perfil que marca la carga a través de los acristalamientos.

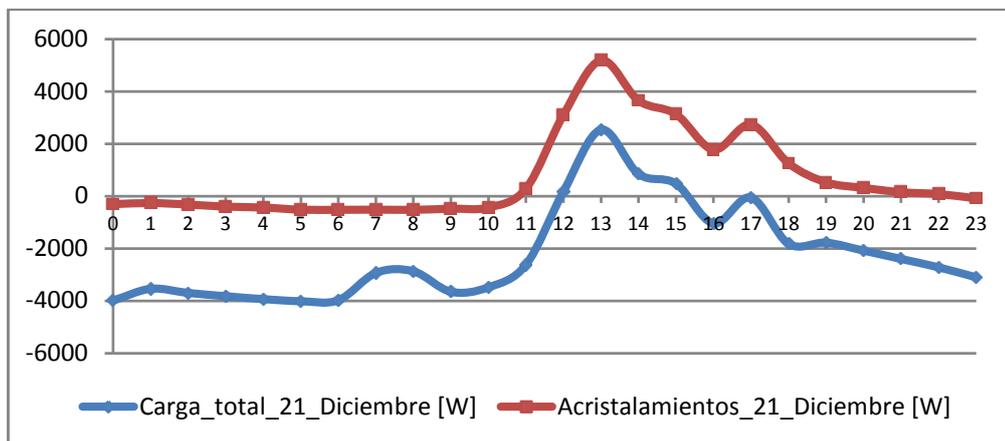


Fig. 33 (Capítulo 5) Evolución horaria de la carga total frente a carga a través de los acristalamientos para el 21 de Diciembre

2. Cumplir con las directivas HE 1 y HE 4 del CTE.

2.1. Limitación de la demanda energética (HE1)

La demanda energética de los edificios se limita en función del clima de la ubicación (**D3** para Madrid capital) y de la carga interna de los espacios que lo componen (**baja** carga interna). El CTE acepta que se limita la demanda si los parámetros característicos que limitan los cerramientos y particiones interiores que componen la envolvente térmica del edificio, son menores que unos valores límite. Puesto que los valores de diseño son menores que estos valores límite, se cumple con la DB HE1.

	Muros de fachada / Cerramientos en contacto con el terreno		Huecos			
	U_{Mm}	U_{Mlim}	U_{Hm}	U_{Hlim}	F_{Hm}	F_{Hlim}
N	0.216	0.66	1.7	2.1	0.521	x
S	0.309			3.1		0.61
E	0.26			2.4		x
O	0.264					x
Suelos		Cubiertas				
	U_{Sm}	U_{Mlim}	U_{Cm}		U_{Clim}	
	0.436	0.49	0.256		0.38	

Tabla 19 (Capítulo 5) Comparación de los valores medios de diseño con los valores límite

2.2. Contribución solar mínima de ACS

Para la instalación diseñada, el valor medio anual de la contribución solar cumple con la exigencia del CTE para la zona climática en la que se ubica la vivienda ($f > 60\%$). Por otro lado, el valor máximo no supera en más de tres meses seguidos el 100% de la contribución ni el 110% en ninguno de los meses.

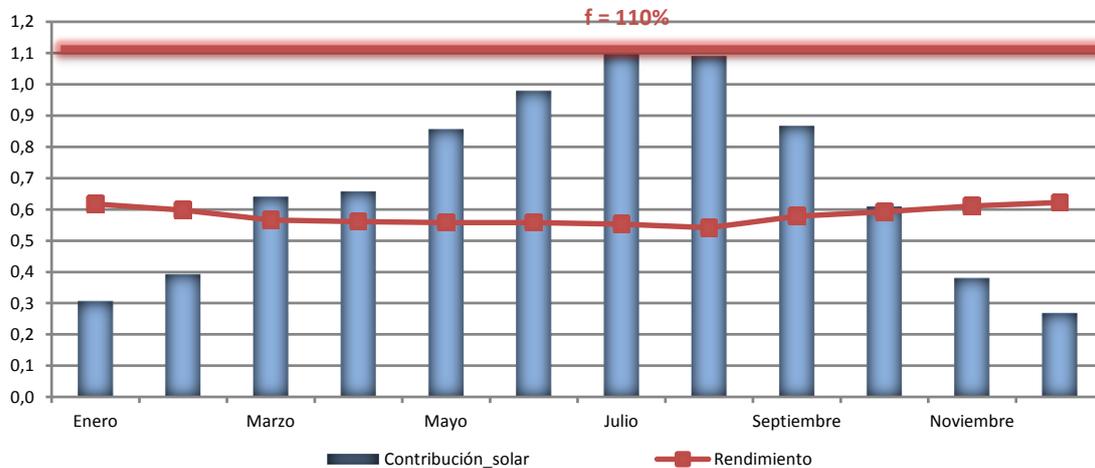


Fig. 19 (Capítulo 7). Contribución solar, rendimiento obtenido para la OPCIÓN 2

Para el cálculo de la contribución solar he generado una hoja de cálculo HOJA C (ANEXO 2.3) en la que he simulado el comportamiento de la instalación, de manera acoplada con el comportamiento en detalle de cada elemento que forma el captador solar. De este modo, he podido hacer un cálculo más ajustado del rendimiento del colector, que utilizando la curva de normalización del fabricante. Además, **el cálculo del rendimiento de colector a través de resistencias térmicas, permite caracterizar de manera precisa, supuestos como la superposición arquitectónica. Supuestos, que no se caracterizan con el uso de la citada curva.** El modelo se demuestra bastante ajustado (ver Capítulo 7, apartado 7.5).

3. Cálculo de la carga térmica y de la demanda de ACS

3.1. Cálculo de la carga térmica

Los métodos de cálculo de la carga térmica, basados en valores pico en las situaciones más exigentes, no son adecuados para la vivienda diseñada. Parten de ciertas simplificaciones, que suponen desprestigiar los beneficios que se buscan con los sistemas solares pasivos. Tener en cuenta estas simplificaciones, supondría sobredimensionar los equipos. Ejemplos de estas simplificaciones es el No considerar los efectos de la radiación que atraviesa las superficies acristaladas en el cálculo de cargas de calefacción (siendo el objetivo de la ganancia directa, maximizar esta radiación).

De modo que el método elegido para el cálculo de la carga térmica es el método RTS de ASHRAE. Se calcula la evolución media horaria para las condiciones ambientales medias mensuales y para cuatro días representativos del mes (equinoccios y solsticios). Hay programas comerciales basados en este u otros métodos similares (como el método del balance de calor, también de ASHRAE); TRNSYS, ECOTEC, ASHRAE Toolkit. Dado que estos programas no están integrados en el plan de estudios de la carrera, he desarrollado una hoja de cálculo (compuesta de varias), a través del software de cálculo ingenieril MATHCAD.

A priori, desarrollar una programación tan tediosa, puede parecer un esfuerzo vano. Sin embargo, me ha servido para **conocer de manera más detallada los procesos de transferencia de calor entre un local y el ambiente.** Y de este modo, poder diseñar de manera sólida los sistemas pasivos con que dotar a la vivienda.

El cálculo hora a hora tiene otra ventaja y es que **permite calcular la demanda anual de energía (valor medio)**, partiendo de los valores de carga horarios. A partir de esta demanda, considerando las diversas fuentes de energía, se tiene el **valor de las emisiones**.

Al método de las series de tiempo radiantes (RTS), se le puede encontrar un **inconveniente**. No es válido para simular climatización o calefacción de manera intermitente, al no incluir la posibilidad de evolución libre de la temperatura del local.

La temperatura del local (o temperatura de confort) se considera constante a lo largo de las 24 horas. Se usan coeficientes CTF y RTF que pretenden cuantificar e incluir, el efecto de memoria en la vivienda que el instante anterior tiene sobre el instante actual. Por tanto, si se considera un funcionamiento intermitente (los equipos no funcionan las 24 horas, o al menos no deberían), este efecto memoria no se puede cuantificar, puesto que se ha partido de una temperatura de confort constante y lo que en verdad se tiene es una evolución libre de la temperatura en la horas que el equipo no está en uso. Este inconveniente supone no poder establecer comparaciones realistas de demanda de energía con otras viviendas, puesto que por lo general, los valores de demanda se dan para períodos intermitentes de funcionamiento de equipos (12 horas para calefacción, 8 horas para refrigeración).

3.2. Cálculo de la demanda de ACS

Para el cálculo de la demanda de ACS se ha seguido lo propuesto por el CTE, en cuanto a valores diarios medios y lo expuesto en DTIE 1.01, para los caudales punta. Siendo métodos con un marcado carácter empírico, se puede concluir que se asemejan bastante a la demanda real.

4. Comprobar que se cumplen las afirmaciones que aparecen en la figura 17 del Capítulo 1

4.1. Disminución de la carga térmica

Para verificar el cumplimiento, ha sido necesario el diseño de una vivienda de referencia, de similar planta y distribución que la primera y con la misma superficie. Partiendo de la vivienda diseñada, se van quitando las soluciones bioclimáticas utilizadas, lo que genera en cada caso, una nueva vivienda llamada de referencia (y que cumple a su vez con la DB HE1). El análisis en detalle se expone en el (Capítulo 6), demostrando que cada una de las soluciones incorporadas conduce a una minoración de la carga térmica. **Cumpliendo el objetivo principal del proyecto, obteniendo una disminución de la potencia necesaria de la instalación del 40.12% para el caso de refrigeración y del 28.30% para el de calefacción.**

	Soluciones bioclimáticas	Sin soluciones	
Valores pico ¹ [W]	6874.6	11481.3	
	8365.75	12198.9	
Potencia de la instalación [W]	7218.3	12055.4	40.12%
	9620.6	13418.8	28.30%
			Diferencia (%)

Tabla 16 (Capítulo 6). Valores pico de potencia instantánea y potencia necesaria de la instalación (sin soluciones)

¹ Los valores pico en los dos casos se producen en el 21 de Julio a las 16 horas para carga de refrigeración y para las 6 horas del calor medio mensual del mes de Enero para calefacción.

4.2. Disminución de la demanda de energía

Si existe una disminución de la carga térmica, debe ir acompañada de una disminución de la demanda de energía y atendiendo a la tabla siguiente, así es.

Energía acumulada anual [kW·h / año]			
$\sum_{i=\text{Enero}}^{\text{Diciembre}} \left(\text{Energía horaria} \cdot \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot \text{días mes}(i) \right)_i$			
Soluciones bioclimáticas [kW·h]	Sin soluciones [kW·h]	Diferencia [kW·h]	Diferencia [%]
5856.44	9624.13	3767.69	39.15%
20898.03	30114.49	9216.46	30.60%
Soluciones bioclimáticas [kW·h/m ²]			
19.51			
69.66			

Tabla 18 (Capítulo 6) Energía anual necesaria para mantener el confort térmico (sin soluciones)

4.3. Disminución de emisiones de GEI, derivados del uso de sistemas solares activos

La reducción de emisiones de contaminantes se consigue tanto con los sistemas activos (instalación solar de ACS), como con los sistemas pasivos. Puesto que las emisiones de GEI son proporcionales a la energía demandada, el ahorro de emisión sigue la misma proporción que el ahorro de energía.

Calefacción: **Ahorro del 30.60%**

Refrigeración: **Ahorro del 39.15 %**

ACS: **Ahorro del 60.06 %**

4.4. Disminución de la dependencia energética del exterior

Al tratarse de una dependencia global, cuantificar esta disminución es complicado. Lo que es claro que todo ahorro energético, supone en mayor o menor medida liberar parte de esta dependencia.

Hasta aquí, se puede afirmar que se han alcanzado los objetivos planteados.

Otra conclusión general sería:

- El período de amortización de las instalaciones de ACS (para la instalación del proyecto \approx 13 años) es alto. Este hecho, unido a la posibilidad de cubrir el aporte energético de ACS mediante instalaciones de cogeneración (con amortizaciones mucho menores, en torno a los cinco años), puede ser uno de los motivos por los que el área de colectores instalada esté lejos de llegar al objetivo fijado en el PER 2005-2010 (de los 5 millones marcados para el 2010, en 2009 se estaba en 2).

Trabajos futuros:

- Diseño de instalación de calefacción por suelo radiante.
- Comparación de la viabilidad económica de dos alternativas para producción de frío: máquina de absorción con contribución solar frente a máquina de compresión mecánica y aporte eléctrico mediante paneles fotovoltaicos.

- A partir de la instalación de una pequeña estación meteorológica, que registre valores de temperatura, humedad y radiación. Diseñar un sistema de control que automatice o que al menos, a través de un interfaz sugiera el modo de operación adecuado de la vivienda en función de las condiciones climáticas (sistema de generación de frío/calor, aleros regulables, persianas y contraventanas).
- Determinar la precisión del modelo de cálculo de carga térmica desarrollado. Para lo cual, sería necesario simular la vivienda diseñada, en alguno de los programas comerciales citados anteriormente y comparando los resultados.

Anexo 1. Cálculo de la carga térmica total	214
Anexo.1.1. Conducción a través de los muros	214
Anexo.1.2. Conducción a través de techos	222
Anexo.1.3. Conducción a través de suelos	224
Anexo. 1.4 Carga a través de superficies acristaladas	226
Orientacion sur:	226
Anexo.1.4.1. Calculo de radiación (horizontal y plano inclinado), para una latitud e inclinación de la superficie dada	226
Orientación Oeste:	242
Orientación norte:	248
Orientacion este:	256
Anexo. 1.5. Cargas internas	263

Anexo 1. Cálculo de la carga térmica total

Carga térmica total a partir del sumatorio de cada uno de los aportes.

Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Flujos_de_calor\Anuales\Muros_todas_orientacion

Anexo.1.1. Conducción a través de los muros

$$Q_{\text{conducción}} := Q_{\text{este}} + Q_{\text{sur}} + Q_{\text{oeste}} + Q_{\text{norte}}$$

CAPAS (de dentro a fuera):

- Yeso y pintura. Espesor de 0.02m, $\lambda=0.302$ W/m·K, densidad=750 y $C_p=1000$
- Cerramiento de Hormigón en masa. Espesor de 29cm, $\lambda=2$ W/mK, $c_p=1000$, densidad=2450
- Aislamiento de poliestireno extrusionado tipo IV. Espesor 0.06m, $\lambda=0.026$ W/mK, densidad=30 $c_p=1000$
- Malla de tipo MALLATEX
- Revoco de resina sintético de color claro yipo Walldur. Espesor 0.003m, $\lambda=1.396$ W/mK, no he encontrado valores de densidad=2100 y calor específico=1000

Conductividad térmica

$\lambda_0 := 0.302$	$C_{p0} := 1000$	$\frac{L_0}{\rho_0} := 0.02$	$\rho_0 := 750$
$\lambda_1 := 2$	$C_{p1} := 1000$	$L_1 := 0.29$	$\rho_1 := 2450$
$\lambda_2 := 0.026$	$C_{p2} := 1000$	$L_2 := 0.06$	$\rho_2 := 30$
$\lambda_3 := 1.396$	$C_{p3} := 1000$	$L_3 := 0.003$	$\rho_3 := 2100$

$$i := 0..3$$

$$n := 3$$

$$U := \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \left(\sum_{i=0}^n \frac{L_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{h_e}} \cdot \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U = 0.371 \frac{\text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$$

$$\lambda_{ud} := 0.907 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{K} \cdot \text{m}}$$

$$C_{pud} := 1000 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$L_{ud} := 0.29 \cdot \text{m}$$

$$\rho_{ud} := 1086 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Coef_conv_interior} := \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 0 & h_i \end{pmatrix}$$

$$\text{Coef_conv_exterior} := \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 0 & h_e \end{pmatrix}$$

$$\omega_{ud} := \frac{\lambda_{ud}}{\rho_{ud} \cdot C_{pud}} \quad \omega_{ud} := \frac{2\pi}{24 \cdot \text{hr}} \quad M_{ud} := \left(\frac{\omega_{ud}}{2\omega_{ud}} \right)^{0.5}$$

$$A_i := \cosh(M_i \cdot L_i) \cdot \cos(M_i \cdot L_i) + (\sinh(M_i \cdot L_i) \cdot \sin(M_i \cdot L_i))i$$

$$B_i := -\frac{\sinh(M_i \cdot L_i) \cdot \cos(M_i \cdot L_i) + \cosh(M_i \cdot L_i) \cdot \sin(M_i \cdot L_i)}{2 \cdot \lambda_i \cdot M_i} + \frac{(\sinh(M_i \cdot L_i) \cdot \cos(M_i \cdot L_i) - \cosh(M_i \cdot L_i) \cdot \sin(M_i \cdot L_i))i}{2 \cdot \lambda_i \cdot M_i}$$

$$C_i := \lambda_i \cdot M_i \cdot (\cosh(M_i \cdot L_i) \cdot \sin(M_i \cdot L_i) - \sinh(M_i \cdot L_i) \cdot \cos(M_i \cdot L_i)) - \lambda_i \cdot M_i \cdot (\cosh(M_i \cdot L_i) \cdot \sin(M_i \cdot L_i) + \sinh(M_i \cdot L_i) \cdot \cos(M_i \cdot L_i))i$$

$$D_i := A_i$$

$$i := 0$$

$$\begin{pmatrix} AA & BB \\ CC & DD \end{pmatrix} := \text{Coef_conv_interior} \cdot \begin{pmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_{i+1} & B_{i+1} \\ C_{i+1} & D_{i+1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_{i+2} & B_{i+2} \\ C_{i+2} & D_{i+2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_{i+3} & B_{i+3} \\ C_{i+3} & D_{i+3} \end{pmatrix} \cdot \text{Coef_conv_exterior}$$

$$\begin{pmatrix} AA & BB \\ CC & DD \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -21.488 - 8.159i & 31.502 - 16.348i \\ 92.145 + 56.326i & -159.699 + 48.168i \end{pmatrix}$$

$$3.139 \cdot \frac{24}{2\pi} = 11.99$$

$$\text{desfase} := \arg(-BB) \cdot \frac{24}{2\pi} \cdot \text{hr}$$

$$\text{desfase} = 10.171 \cdot \text{hr}$$

$$\text{Amortiguamiento} := |-BB| \cdot \frac{\text{K} \cdot \text{m}^2}{\text{W}}$$

$$\text{Amortiguamiento} = 35.491 \cdot \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{kg}}$$

Cálculo de la ganancia de calor a través de CTS parte Convectiva (37%) + Radiativa (63%)

1. Primero calculo los flujos de calor por área de cada orientación de la parte de muro descubierta. $U=0.308$

c :=



..\..\..\..\PFC_...\CTSGranito.xls

$T_{sa} :=$ for $i \in 0..11$

for $j \in 0..23$

$$T_{sa_{i,j}} \leftarrow T_{meses_{i,j}} + \alpha_{absortancia} \cdot \left(\frac{I_{T_{i,j}}}{h_e} \right)$$

$q_i :=$ for $i \in 0..11$

for $j \in 0..23$

$$q_{j,i} \leftarrow U_2 \cdot \left[T_{sa_{i,j}} - \begin{cases} 298K & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294K) & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$q_{conv} :=$ for $k \in 0..11$

for $j \in 0..23$

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[c_i \cdot \begin{cases} [(q_i)^{\langle k \rangle}]_{j-i} & \text{if } j-i \geq 0 \\ [(q_i)^{\langle k \rangle}]_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

sumatorio_q := for $k \in 0..11$

$$\text{sumatorio_q}^{\langle k \rangle} \leftarrow \sum q_{conv}^{\langle k \rangle}$$

sumatorio_qi := for $k \in 0..11$

$$\text{sumatorio_qi}^{\langle k \rangle} \leftarrow \sum q_i^{\langle k \rangle}$$

r :=



..\..\..\..\RTS_Heavy_No_Carpet.xls

$\frac{r}{100} := 25.75$

$q_{rad} :=$ for $k \in 0..11$

for $j \in 0..23$

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(r_i)}{100} \cdot \begin{cases} (q_{conv}^{\langle k \rangle})_{j-i} & \text{if } j-i \geq 0 \\ (q_{conv}^{\langle k \rangle})_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q := q_{\text{conv}} \cdot 0.37 + q_{\text{rad}} \cdot 0.63$$

$$q_{\text{sur_descubierta_pu}} := q$$

Referencia: H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Flujos_de_calor\Anuales\Irradiacion_nortes.xmcd(R)

c :=



..\..\CTSmuro_contencion_Granito_45.xls

Fachada norte

1. Descubierta

$$T_{sa} := \text{for } i \in 0..11$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$T_{sa_{i,j}} \leftarrow T_{\text{meses}}_{i,j} + \alpha_{\text{absortancia}} \cdot \left(\frac{I_{T_{i,j}}}{h_e} \right)$$

$$q_i := \text{for } i \in 0..11$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$q_{j,i} \leftarrow U_2 \cdot \left[T_{sa_{i,j}} - \begin{cases} 298\text{K} & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294\text{K}) & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q_{\text{conv}} := \text{for } k \in 0..11$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[c_i \cdot \begin{cases} [(q_i)^{\langle k \rangle}]_{j-i} & \text{if } j-i \geq 0 \\ [(q_i)^{\langle k \rangle}]_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q_{\text{rad}} := \text{for } k \in 0..11$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(r_i)}{100} \cdot \begin{cases} (q_{\text{conv}}^{\langle k \rangle})_{j-i} & \text{if } j-i \geq 0 \\ (q_{\text{conv}}^{\langle k \rangle})_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q := q_{\text{conv}} \cdot 0.37 + q_{\text{rad}} \cdot 0.63$$

$$q_{\text{norte_descubierta_pu}} := q$$

2. Semienterrada

$$A_{\text{semienterrada}} := A_{\text{pb}_s} + A_{\text{pp}_s}$$

$$q_i := \text{for } i \in 0..11$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$q_{j,i} \leftarrow U_{\text{pp}_s} \cdot \left[T_{\text{meses}}_{i,j} - \begin{cases} 298\text{K} & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294\text{K}) & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_norte_semienterrada_pps_pu_c := for k ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[c_i \cdot \begin{cases} [(qi)^{\langle k \rangle}]_{j-i} & \text{if } j - i \geq 0 \\ [(qi)^{\langle k \rangle}]_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_norte_semienterrada_pps_pu_rad := for k ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{r_i}{100} \cdot \begin{cases} (q_{\text{norte_semienterrada_pps_pu_c}}^{\langle k \rangle})_{j-i} & \text{if } j - i \geq 0 \\ (q_{\text{norte_semienterrada_pps_pu_c}}^{\langle k \rangle})_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_norte_semienterrada_pps_pu := q_norte_semienterrada_pps_pu_c·0.37 + q_norte_semienterrada_pps_pu_rad·0.63

qi := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$q_{i,j} \leftarrow U_{\text{pb_s}} \cdot \begin{cases} T_{\text{meses}}_{i,j} - 298\text{K} & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ 294\text{K} & \text{otherwise} \end{cases}$$

q_norte_semienterrada_pbs_pu_c := for k ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[c_i \cdot \begin{cases} [(qi)^{\langle k \rangle}]_{j-i} & \text{if } j - i \geq 0 \\ [(qi)^{\langle k \rangle}]_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_norte_semienterrada_pbs_pu_rad := for k ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{r_i}{100} \cdot \begin{cases} (q_{\text{norte_semienterrada_pbs_pu_c}}^{\langle k \rangle})_{j-i} & \text{if } j - i \geq 0 \\ (q_{\text{norte_semienterrada_pbs_pu_c}}^{\langle k \rangle})_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_norte_semienterrada_pbs_pu := q_norte_semienterrada_pbs_pu_c·0.37 + q_norte_semienterrada_pbs_pu_rad·0.63

 Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Flujos_de_calor\Anuales\Irradiacion_estes.xmcd(R)

Fachada este

1. Descubierta

T_{sa} := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$T_{\text{sa},i,j} \leftarrow T_{\text{meses}}_{i,j} + \alpha_{\text{absortancia}} \cdot \left(\frac{I_{T_{i,j}}}{h_e} \right)$$

$$\begin{aligned}
 & q_i := \text{for } i \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad q_{j,i} \leftarrow U_2 \cdot \left[\begin{array}{l} T_{sa_{i,j}} - 298K \text{ if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294K) \text{ otherwise} \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & q_{\text{conv}} := \text{for } k \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad (q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[c_i \cdot \left[\begin{array}{l} [(q_i)^{\langle k \rangle}]_{j-i} \text{ if } j-i \geq 0 \\ [(q_i)^{\langle k \rangle}]_{(j-i+24)} \text{ otherwise} \end{array} \right] \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & q_{\text{rad}} := \text{for } k \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad (q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{r_i}{100} \cdot \left[\begin{array}{l} (q_{\text{conv}}^{\langle k \rangle})_{j-i} \text{ if } j-i \geq 0 \\ (q_{\text{conv}}^{\langle k \rangle})_{(j-i+24)} \text{ otherwise} \end{array} \right] \right]
 \end{aligned}$$

$$q_{\text{este_desc_pu}} := q_{\text{conv}} \cdot 0.37 + q_{\text{rad}} \cdot 0.63$$

2. Semienterrada

$$\begin{aligned}
 & q_i := \text{for } i \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad q_{j,i} \leftarrow U_{A1} \cdot \left[\begin{array}{l} T_{meses_{i,j}} - 298K \text{ if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294K) \text{ otherwise} \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & q_{\text{este_semienterrada_A1_c_pu}} := \text{for } k \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad (q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[c_i \cdot \left[\begin{array}{l} [(q_i)^{\langle k \rangle}]_{j-i} \text{ if } j-i \geq 0 \\ [(q_i)^{\langle k \rangle}]_{(j-i+24)} \text{ otherwise} \end{array} \right] \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & q_{\text{este_semienterrada_A1_rad_pu}} := \text{for } k \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad (q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{r_i}{100} \cdot \left[\begin{array}{l} (q_{\text{este_semienterrada_A1_c_pu}}^{\langle k \rangle})_{j-i} \text{ if } j-i \geq 0 \\ (q_{\text{este_semienterrada_A1_c_pu}}^{\langle k \rangle})_{(j-i+24)} \text{ otherwise} \end{array} \right] \right]
 \end{aligned}$$

$$q_{\text{este_semienterrada_A1_pu}} := q_{\text{este_semienterrada_A1_c_pu}} \cdot 0.37 + q_{\text{este_semienterrada_A1_rad_pu}} \cdot 0.63$$

$$\begin{aligned}
 & q_i := \text{for } i \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad q_{j,i} \leftarrow U_{A2} \left[T_{\text{meses}_{i,j}} - \begin{cases} 298\text{K} & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294\text{K}) & \text{otherwise} \end{cases} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & q_{\text{este_semienterrada_A2_c_pu}} := \text{for } k \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad (q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[c_i \cdot \begin{cases} \left[\left[(q_i)^{\langle k \rangle} \right]_{j-i} \right] & \text{if } j - i \geq 0 \\ \left[\left[(q_i)^{\langle k \rangle} \right]_{(j-i+24)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & q_{\text{este_semienterrada_A2_rad_pu}} := \text{for } k \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad (q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{r_i}{100} \cdot \begin{cases} \left[\left[q_{\text{este_semienterrada_A2_c_pu}}^{\langle k \rangle} \right]_{j-i} \right] & \text{if } j - i \geq 0 \\ \left[\left[q_{\text{este_semienterrada_A2_c_pu}}^{\langle k \rangle} \right]_{(j-i+24)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \right]
 \end{aligned}$$

$$q_{\text{este_semienterrada_A2_pu}} := q_{\text{este_semienterrada_A2_c_pu}} \cdot 0.37 + q_{\text{este_semienterrada_A2_rad_pu}} \cdot 0.63$$

↗ Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Flujos_de_calor\Anuales\Irradiacion_oeste.xmcd(R)

Fachada Oeste

1. Descubierta

$$\begin{aligned}
 & T_{sa} := \text{for } i \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad T_{sa_{i,j}} \leftarrow T_{\text{meses}_{i,j}} + \alpha_{\text{absortancia}} \cdot \left(\frac{I_{T_{i,j}}}{h_e} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & q_i := \text{for } i \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad q_{j,i} \leftarrow U_2 \left[T_{sa_{i,j}} - \begin{cases} 298\text{K} & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294\text{K}) & \text{otherwise} \end{cases} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & q_{\text{conv}} := \text{for } k \in 0..11 \\
 & \quad \text{for } j \in 0..23 \\
 & \quad \quad (q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[c_i \cdot \begin{cases} \left[\left[(q_i)^{\langle k \rangle} \right]_{j-i} \right] & \text{if } j - i \geq 0 \\ \left[\left[(q_i)^{\langle k \rangle} \right]_{(j-i+24)} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \right]
 \end{aligned}$$

q_rad := for k ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{r_i}{100} \cdot \begin{cases} [(q^{(k)})_{j-i}] & \text{if } j-i \geq 0 \\ [(q^{(k)})_{(j-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_oeste_desc_pu := q_conv·0.37 + q_rad·0.63

2. Semienterrada

qi := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$q_{j,i} \leftarrow U_{A1} \left[T_{meses_{i,j}} - \begin{cases} 298K & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294K) & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_oeste_semienterrada_A1_c_pu := for k ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[c_i \cdot \begin{cases} [(qi^{(k)})_{j-i}] & \text{if } j-i \geq 0 \\ [(qi^{(k)})_{(j-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_oeste_semienterrada_A1_rad_pu := for k ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{r_i}{100} \cdot \begin{cases} [q_{oeste_semienterrada_A1_c_pu}^{(k)}]_{j-i} & \text{if } j-i \geq 0 \\ [q_{oeste_semienterrada_A1_c_pu}^{(k)}]_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_oeste_semienterrada_A1_pu := q_oeste_semienterrada_A1_c_pu·0.37 + q_oeste_semienterrada_A1_rad_pu·0.63

qi := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$q_{j,i} \leftarrow U_{A2} \left[T_{meses_{i,j}} - \begin{cases} 298K & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294K) & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_oeste_semienterrada_A2_c_pu := for k ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[c_i \cdot \begin{cases} [(qi^{(k)})_{j-i}] & \text{if } j-i \geq 0 \\ [(qi^{(k)})_{(j-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

```

q_oeste_semienterrada_A2_rad_pu := for k e 0..11
    for j e 0..23
        (qj,k) ← ∑i=023 [  $\frac{r_i}{100} \cdot \left[ \begin{array}{l} (q_{oeste\_semienterrada\_A2\_c\_pu}^{(k)})_{j-i} \text{ if } j-i \geq 0 \\ (q_{oeste\_semienterrada\_A2\_c\_pu}^{(k)})_{(j-i+24)} \text{ otherwise} \end{array} \right]$ 

```

$$q_{oeste_semienterrada_A2_pu} := q_{oeste_semienterrada_A2_c_pu} \cdot 0.37 + q_{oeste_semienterrada_A2_rad_pu} \cdot 0.63$$

Valores totales

$$A_{d_oeste} := A_d - 1.5m^2$$

$$Q_{sur} := q_{sur_descubierta_pu} \cdot A_{T_sur}$$

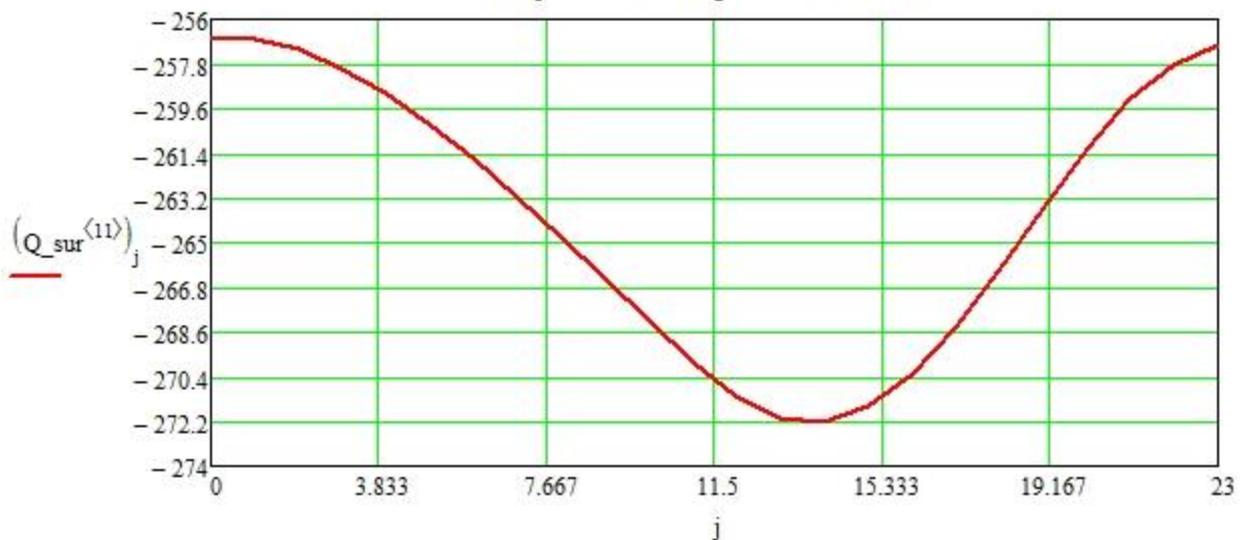
$$Q_{este} := q_{este_desc_pu} \cdot A_d + q_{este_semienterrada_A1_pu} \cdot A_{A1} + q_{este_semienterrada_A2_pu} \cdot A_{A2}$$

$$Q_{oeste} := q_{oeste_desc_pu} \cdot A_{d_oeste} + q_{oeste_semienterrada_A1_pu} \cdot A_{A1} + q_{oeste_semienterrada_A2_pu} \cdot A_{A2}$$

$$Q_{norte} := q_{norte_descubierta_pu} \cdot A_{pp_d} + q_{norte_semienterrada_pps_pu} \cdot A_{pp_s} + q_{norte_semienterrada_pbs_pu} \cdot A_{pb_s}$$

$$j := 0..23$$

Flujos de calor por orientación



Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Cubierta_C

Anexo.1.2. Conducción a través de techos

Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Radiación neta.xmcd(R)

c :=



..\..\..\..\..\CTSCubiertaTecho.xls

$$c^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \hline 0 & 0.0418 & 0.0422 & 0.0422 & 0.0422 & 0.0421 & 0.042 & 0.0419 & \dots \\ \hline \end{array}$$

Cálculo de la ganancia de calor a través de CTS, medias mensuales (anual)

qi := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$q_{j,i}^i \leftarrow U_{\text{cubierta}} \cdot \left[T_{\text{sa_anuales}}_{i,j} - \begin{cases} 298\text{K} & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294\text{K}) & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_conv := for k ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[c_i \cdot \begin{cases} [(q_i)^{\langle k \rangle}]_{j-i} & \text{if } j-i \geq 0 \\ [(q_i)^{\langle k \rangle}]_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_rad := for k ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$(q_{j,k}) \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{r_i}{100} \cdot \begin{cases} [(q_{\text{conv}})^{\langle k \rangle}]_{j-i} & \text{if } j-i \geq 0 \\ [(q_{\text{conv}})^{\langle k \rangle}]_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q := q_{\text{conv}} \cdot 0.16 + q_{\text{rad}} \cdot 0.84$$

sumatorio_q := for k ∈ 0..11

$$\text{sumatorio_q}^{\langle k \rangle} \leftarrow \sum q^{\langle k \rangle}$$

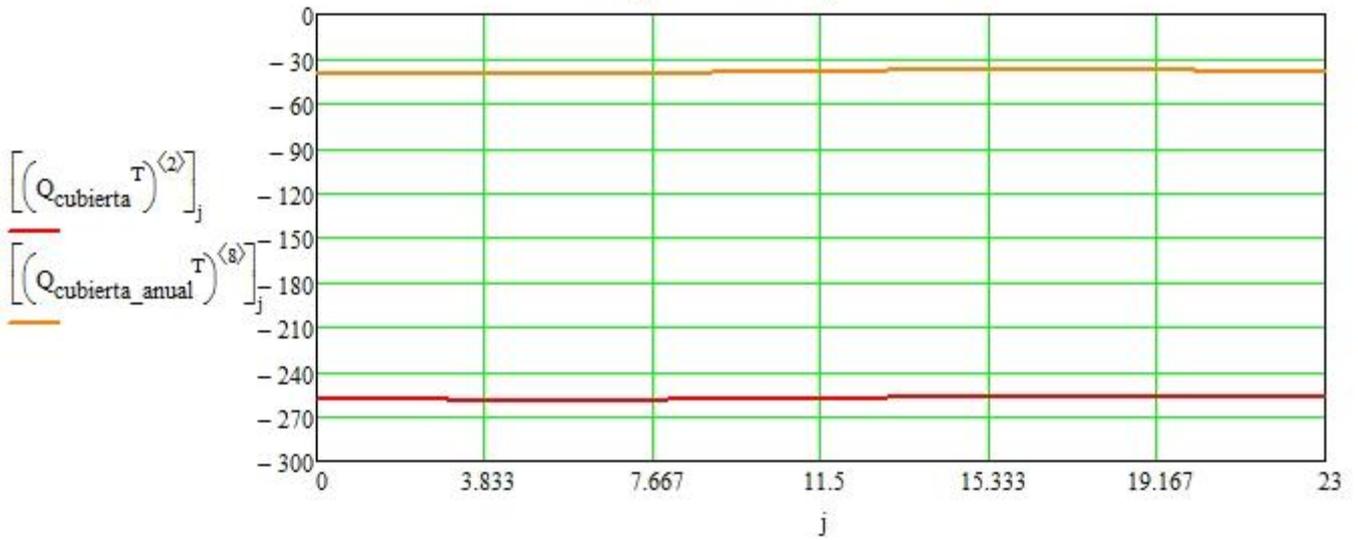
sumatorio_qi := for k ∈ 0..11

$$\text{sumatorio_qi}^{\langle k \rangle} \leftarrow \sum q_i^{\langle k \rangle}$$

$$Q_{\text{cubierta_anual}} := q^T \cdot A_{\text{cubierta}}$$

j := 0..23

Flujos de calor por orientación



Referencia: H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\A través del su

Anexo.1.3. Conducción a través de suelos

Carga térmica a través del suelo, medias mensuales (anual)

Cálculo del flujo de calor perpendicular al terreno

Al considerar la temperatura tanto del suelo como la temperatura de confort cte. no será necesario el cálculo de los coeficientes CTS.

q_anual_perpendicular := for i ∈ 0..11

$$q_i \leftarrow -U \cdot \left[\begin{array}{l} 298K \text{ if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294K) \text{ otherwise} \end{array} - T_{\text{terreno}_i} \right]$$

q_anual_radiante := for i ∈ 0..11

$$q_i \leftarrow U \cdot \left(\begin{array}{l} 298K \text{ if } 4 \leq i \leq 9 \\ \frac{T_{\text{confort}_0} + T_{\text{Sradiante}_0}}{2} \text{ otherwise} \end{array} - T_{\text{terreno}_i} \right)$$

Cálculo del flujo de calor longitudinal

Datos2 :=



..\....\Temperatura_(historico)_modificado.xls

Tmeses := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$T_{i,j} \leftarrow (\text{Datos2})_j \cdot K + 273K$$

$$F_{2, \text{rad}} := 1.11 \frac{W}{K \cdot m}$$

q_anual_longitudinal := for i ∈ 0..11

$$q \leftarrow - \left[F_2 \cdot \begin{cases} 298K & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294K) & \text{otherwise} \end{cases} - (T_{\text{meses}} T) \right]$$

q := for i ∈ 0..3

$$q \leftarrow F_2 \cdot \begin{cases} 298K & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ \frac{T_{\text{confort}_0} + T_{\text{Sradiante}_0}}{2} & \text{otherwise} \end{cases} - (T_{\text{meses}} T)$$

q_anual_longitudinal =

	0	1	2	3	4	5	6
0	-19.203	-17.649	-14.541	-12.987	-12.321	-8.103	-2.886
1	-19.536	-18.759	-15.984	-13.986	-13.542	-9.879	-4.329
2	-19.98	-19.092	-16.65	-14.874	-14.43	-11.1	-5.661
3	-20.424	-19.536	-17.094	-15.651	-14.985	-11.1	-6.438
4	-20.646	-19.98	-17.871	-15.984	-16.095	-12.543	-7.548
5	-20.757	-20.313	-18.204	-16.317	-16.65	-13.542	-8.658
6	-21.09	-20.535	-18.315	-16.539	-16.317	-11.766	-7.992
7	-20.535	-20.868	-18.315	-14.763	-14.097	-9.768	-5.439
8	-19.869	-20.202	-16.761	-12.765	-11.322	-7.326	-2.664
9	-19.536	-18.426	-14.43	-10.767	-8.103	-5.106	-0.333
10	-17.649	-16.095	-11.766	-9.324	-6.882	-3.774	2.109
11	-15.873	-14.208	-9.768	-7.881	-5.328	-2.331	3.885
12	-14.319	-12.099	-7.881	-6.438	-3.774	0.666	5.994
13	-13.431	-10.989	-7.326	-5.883	-3.774	0.222	6.66
14	-12.654	-9.99	-6.66	-5.217	-3.219	1.332	7.659
15	-11.988	-9.213	-5.328	-4.44	-1.443	3.219	...

$\frac{m \cdot kg}{s^3}$

	5	6	7	8	9	10	11	
0	-8.103	-2.886	-3.996	-7.77	-13.875	-15.651	-18.759	
1	-9.879	-4.329	-4.773	-8.769	-14.985	-14.874	-18.981	
2	-11.1	-5.661	-5.772	-9.546	-15.762	-15.207	-19.092	
3	-11.1	-6.438	-6.66	-10.323	-15.651	-17.094	-19.314	
4	-12.543	-7.548	-7.437	-10.545	-16.428	-16.095	-19.203	
5	-13.542	-8.658	-8.214	-10.767	-16.65	-16.317	-19.203	
6	-11.766	-7.992	-8.769	-10.878	-16.65	-17.871	-19.314	
q_anual_longitudinal =	7	-9.768	-5.439	-6.771	-9.546	-16.983	-16.761	-19.092
	8	-7.326	-2.664	-4.218	-7.77	-15.54	-16.095	-18.981
	9	-5.106	-0.333	-1.887	-6.216	-13.098	-15.651	-18.759
	10	-3.774	2.109	0.555	-4.551	-11.322	-12.321	-17.427
	11	-2.331	3.885	2.664	-3.219	-9.435	-10.323	-16.095
	12	0.666	5.994	4.773	-1.776	-7.548	-9.99	-14.874
	13	0.222	6.66	5.661	-1.11	-6.549	-7.326	-13.986
	14	1.332	7.659	6.549	-0.444	-6.327	-7.104	-13.32
	15	3.219	8.103	7.548	-0.111	-5.772	-7.77	...

$\frac{\text{m} \cdot \text{kg}}{\text{s}^3}$

$$P_{\text{suelo}} := 25\text{m}$$

$$A_{\text{suelo}} := 156.42\text{m}^2$$

$$Q_{\text{suelo}} := \text{for } i \in 0..11 \\ \text{for } j \in 0..23$$

$$q_{\text{suelo}_{i,j}} \leftarrow \left[\left[(q_{\text{anual_longitudinal}})^{(j)} \right]_j \cdot P_{\text{suelo}} + \left[\left[(q_{\text{anual_perpendicular}}^T)_i \right] \cdot A_{\text{suelo}} \right] \right]$$

Referencia: H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Flujos_de_calor\Anuales\Irradiacion_parasol_acristalamientos_24_12_2009 (ho

Anexo. 1.4 Carga a través de superficies acristaladas

Orientacion sur:

Anexo.1.4.1. Calculo de radiación (horizontal y plano inclinado), para una latitud e inclinación de la superficie dada

$$\begin{aligned} \psi_{\text{norte}} &:= -180\text{deg} & \psi_0 &:= \psi_{\text{este}} \\ \psi_{\text{este}} &:= -90\text{deg} & \psi_1 &:= \psi_{\text{sur}} \\ \psi_{\text{sur}} &:= 0\text{deg} & \psi_2 &:= \psi_{\text{oeste}} \\ \psi_{\text{oeste}} &:= 90\text{deg} & \psi_3 &:= \psi_{\text{norte}} \\ \beta &:= 90\text{deg} \end{aligned}$$

mes := 1..12
 horas := 1..24

1. Importado de datos:

Datos :=



..\..\..\..\Temperatura_(historico).xls

Datos2 :=



..\..\..\..\Temperatura_(historico)_modificado.xls

hora :=



..\..\..\..\Temperaturas_en_meses.xls

hora_{rango} := hora-hr

j

Tmeses := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$T_{i,j} \leftarrow (\text{Datos2})_j \cdot K + 273K$$

radiacion :=



..\..\..\..\radiacion_ordenado.xls

i := 0 j := 0

radi := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

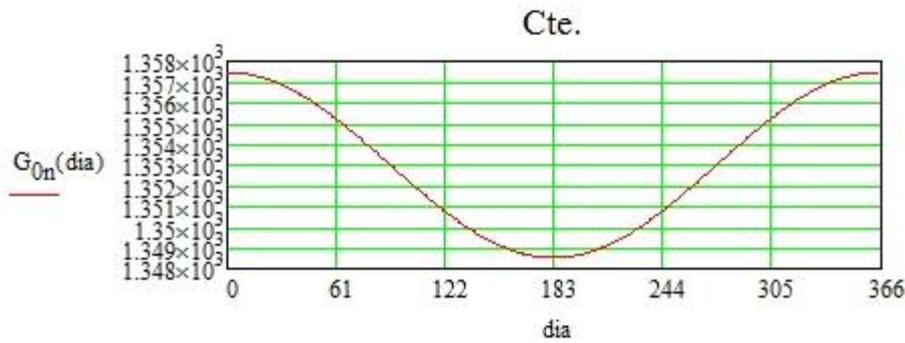
$$\text{radi}_{i,j} \leftarrow (\text{radiacion})_j \cdot \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

Latitud: $\phi := 40.41 \text{ deg}$

Constante solar corregida:

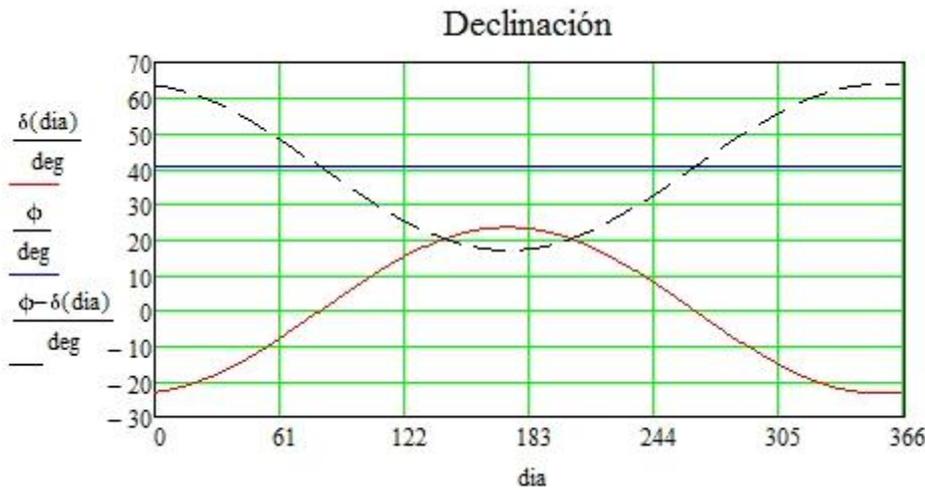
$$G_{0n}(n) := 1353 \cdot \left[1 + 0.0033 \cdot \cos \left[\left(\frac{360}{365} \right) \cdot n \cdot \text{deg} \right] \right] \cdot \left(\frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \right)$$

día := 0..365



Declinación:

$$\delta(n) := 23.45 \cdot \sin \left[360 \cdot \left(\frac{284 + n}{365} \right) \cdot \text{deg} \right] \cdot \text{deg}$$



$$\omega_{sz}(n) := \text{acos}(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta(n)))$$

enero := 1.. 31 febrero := 32.. 59 marzo := 60.. 90 abril := 91.. 120 mayo := 121.. 151
junio := 152.. 181 julio := 182.. 212 agosto := 213.. 243 septiembre := 244.. 273
octubre := 274.. 304 noviembre := 305.. 334 diciembre := 335

$$\delta_{med_{\text{enero}}} := \left(\sum_{\text{dia} = 1}^{31} \delta(\text{dia}) \right) \cdot \frac{1}{31} \quad \delta_{med_{\text{febrero}}} := \left(\sum_{\text{dia} = 32}^{59} \delta(\text{dia}) \right) \cdot \frac{1}{28}$$

$$\delta_{med_{\text{marzo}}} := \left(\sum_{\text{dia} = 60}^{90} \delta(\text{dia}) \right) \cdot \frac{1}{31} \quad \delta_{med_{\text{abril}}} := \left(\sum_{\text{dia} = 91}^{120} \delta(\text{dia}) \right) \cdot \frac{1}{30}$$

$$\delta_{med_{\text{mayo}}} := \left(\sum_{\text{dia} = 121}^{151} \delta(\text{dia}) \right) \cdot \frac{1}{31} \quad \delta_{med_{\text{junio}}} := \left(\sum_{\text{dia} = 152}^{181} \delta(\text{dia}) \right) \cdot \frac{1}{30}$$

$$w_{med_marzo} := \left(\sum_{dia = 60}^{90} \omega_{sz}(dia) \right) \cdot \frac{1}{31}$$

$$\delta_{med_julio} := \left(\sum_{dia = 182}^{212} \delta(dia) \right) \cdot \frac{1}{31}$$

$$\delta_{med_agosto} := \left(\sum_{dia = 213}^{243} \delta(dia) \right) \cdot \frac{1}{31}$$

$$\delta_{med_septiembre} := \left(\sum_{dia = 244}^{273} \delta(dia) \right) \cdot \frac{1}{30}$$

$$\delta_{med_octubre} := \left(\sum_{dia = 274}^{304} \delta(dia) \right) \cdot \frac{1}{31}$$

$$\delta_{med_noviembre} := \left(\sum_{dia = 305}^{334} \delta(dia) \right) \cdot \frac{1}{30}$$

$$\delta_{med_diciembre} := \left(\sum_{dia = 335}^{365} \delta(dia) \right) \cdot \frac{1}{31}$$

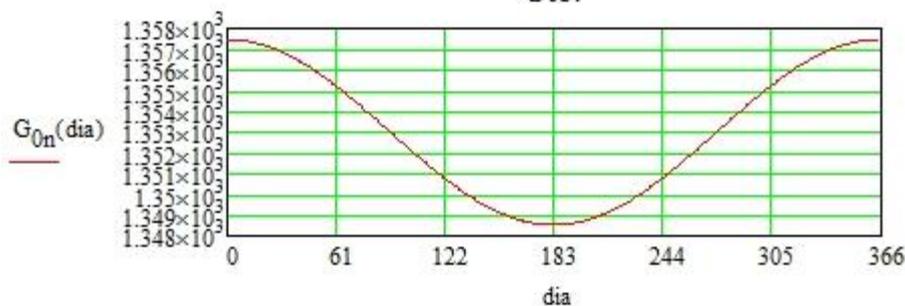
$$a := (\delta_{med}^T)$$

Constante solar corregida:

$$G_{0n}(n) := 1353 \cdot \left[1 + 0.0033 \cdot \cos \left[\left(\frac{360}{365} \right) \cdot n \cdot \text{deg} \right] \right] \cdot \left(\frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \right)$$

$$dia := 0..365$$

Cte.



$$G_{0nmed.enero} := \left(\sum_{dia = 1}^{31} G_{0n}(dia) \right) \cdot \frac{1}{31} \quad G_{0nmed.febrero} := \left(\sum_{dia = 32}^{59} G_{0n}(dia) \right) \cdot \frac{1}{28}$$

$$G_{0nmed.marzo} := \left(\sum_{dia = 60}^{90} G_{0n}(dia) \right) \cdot \frac{1}{31} \quad G_{0nmed.abril} := \left(\sum_{dia = 91}^{120} G_{0n}(dia) \right) \cdot \frac{1}{30}$$

$$G_{0nmed.mayo} := \left(\sum_{dia = 121}^{151} G_{0n}(dia) \right) \cdot \frac{1}{31} \quad G_{0nmed.junio} := \left(\sum_{dia = 152}^{181} G_{0n}(dia) \right) \cdot \frac{1}{30}$$

$$G_{0nmed.julio} := \left(\sum_{\text{día} = 182}^{212} G_{0n}(\text{día}) \right) \cdot \frac{1}{31} \quad G_{0nmed.agosto} := \left(\sum_{\text{día} = 213}^{243} G_{0n}(\text{día}) \right) \cdot \frac{1}{31}$$

$$G_{0nmed.septiembre} := \left(\sum_{\text{día} = 244}^{273} G_{0n}(\text{día}) \right) \cdot \frac{1}{30} \quad G_{0nmed.octubre} := \left(\sum_{\text{día} = 274}^{304} G_{0n}(\text{día}) \right) \cdot \frac{1}{31}$$

$$G_{0nmed.noviembre} := \left(\sum_{\text{día} = 305}^{334} G_{0n}(\text{día}) \right) \cdot \frac{1}{30} \quad G_{0nmed.diciembre} := \left(\sum_{\text{día} = 335}^{365} G_{0n}(\text{día}) \right) \cdot \frac{1}{31}$$

Angulo horario de salida y puesta de sol medio para cada mes sobre el plano horizontal:

$$\omega_{szm} := \text{acos}(-\tan(\phi) \cdot \tan(a))$$

Duración de los días en horas (sin aplicar la corrección)

$$DDm(\delta, \phi) := \frac{2}{15 \frac{\text{deg}}{\text{hr}}} \cdot \omega_{szm}$$

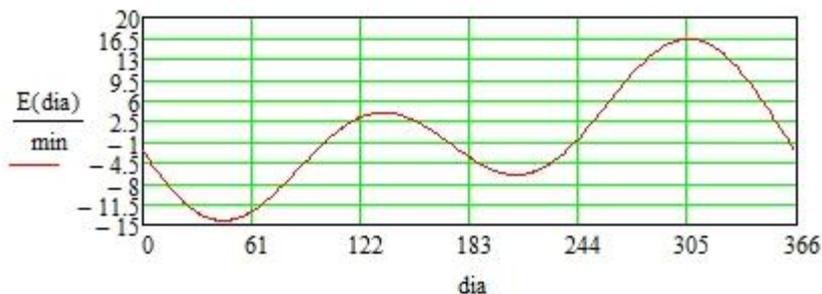
$$\text{Hora_salidam} := 12\text{hr} - \frac{DDm(\delta, \phi)}{2}$$

$$\text{Hora_puestam} := 12\text{hr} + \frac{DDm(\delta, \phi)}{2}$$

$$n := 0..365$$

$$E(n) := 229.2 \cdot \left[0.000075 + 0.001868 \cdot \cos\left[\left(\frac{360}{365}\right) \cdot (n-1) \cdot \text{deg}\right] - 0.032077 \cdot \sin\left[\left(\frac{360}{365}\right) \cdot (n-1) \cdot \text{deg}\right] - 0.014615 \cdot \cos\left[2 \cdot \left(\frac{360}{365}\right) \cdot (n-1) \cdot \text{deg}\right] - 0.04089 \cdot \sin\left[2 \cdot \left(\frac{360}{365}\right) \cdot (n-1) \cdot \text{deg}\right] \right] \cdot (\text{min})$$

Cte.



$$b := \text{dias_medios}^T$$

$$b^T = \begin{array}{c|cccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \hline 0 & 16 & 45.5 & 75 & 105.5 & 136 & 166.5 & 197 & 228 & \dots \end{array}$$

E_i := for $i \in 0..11$

$$E_i \leftarrow 229.2 \cdot \left[0.000075 + 0.001868 \cdot \cos\left[\left(\frac{360}{365}\right) \cdot (b_i - 1) \cdot \text{deg}\right] - 0.032077 \cdot \sin\left[\left(\frac{360}{365}\right) \cdot (b_i - 1) \cdot \text{deg}\right] - 0.014615 \cdot \cos\left[2 \cdot \left(\frac{360}{365}\right) \cdot (b_i - 1) \cdot \text{deg}\right] - 0.04089 \cdot \sin\left[2 \cdot \left(\frac{360}{365}\right) \cdot (b_i - 1) \cdot \text{deg}\right] \right] \cdot \text{min}$$

meses := 0..11

Δ hora := for i ∈ 0..11

$$\Delta\text{hora}_i \leftarrow \begin{cases} \left[-\left[4 \cdot \frac{\text{min}}{\text{deg}} \cdot (0 \cdot \text{deg} - 3.5 \cdot \text{deg}) + E_i \right] + 120\text{min} \right] & \text{if } 90 \leq b_i \leq 300 \\ \left[-\left[4 \cdot \frac{\text{min}}{\text{deg}} \cdot (0 \cdot \text{deg} - 3.5 \cdot \text{deg}) + E_i \right] + 60\text{min} \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\omega_{szm_i} := \text{acos}(-\tan(\phi) \cdot \tan(a_i))$$

$$DD := \frac{2 \cdot \omega_{szm}}{15 \frac{\text{deg}}{\text{hr}}}$$

$$\text{Hora_salida} := 12\text{hr} - \frac{DD}{2} \quad \text{Hora_salida_local} := \text{Hora_salida} + \Delta\text{hora}$$

$$\text{Hora_puesta} := 12\text{hr} + \frac{DD}{2} \quad \text{Hora_puesta_local} := \text{Hora_puesta} + \Delta\text{hora}$$

noon 0°, de noon al amanecer -15°/hr

ω := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$\omega_{i,j} \leftarrow \begin{cases} \left(\text{round} \left(12 + \frac{\Delta\text{hora}_i}{\text{hr}} \right) \cdot \text{hr} - \text{hora}_j \cdot \text{hr} \right) \cdot -15 \frac{\text{deg}}{\text{hr}} & \text{if } \text{hora}_j \cdot \text{hr} \leq \text{round} \left(12 + \frac{\Delta\text{hora}_i}{\text{hr}} \right) \cdot \text{hr} \\ \left[-\left(\text{round} \left(12 + \frac{\Delta\text{hora}_i}{\text{hr}} \right) \cdot \text{hr} \right) + \text{hora}_j \cdot \text{hr} \right] \cdot 15 \frac{\text{deg}}{\text{hr}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\omega_{szm} := \text{acos}(-\tan(\phi) \cdot \tan(a))$$

$$\omega_{sT} := \text{acos}(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan(a))$$

ω_s := for j ∈ 0..11

$$P_j \leftarrow \begin{cases} \omega_{sT_j} & \text{if } \omega_{sz_j} > \omega_{sT_j} \\ \omega_{sz_j} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$i_{\lambda} := 0$

$j_{\lambda} := 0$

θ_z := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$\theta_{z_{i,j}} \leftarrow \text{acos}(\cos(a_i) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\omega_{i,j}) + \sin(a_i) \cdot \sin(\phi))$$

$$\alpha_{S_{i,j}} := \text{for } i \in 0..11$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0..11 \\ \alpha_{S_{i,j}} \leftarrow \begin{cases} \text{asin}(\cos(a_i) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\omega_{i,j}) + \sin(a_i) \cdot \sin(\phi)) & \text{if } j \geq \text{round}\left(\frac{\text{Hora_salida_local}_i}{\text{hr}}\right) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{for } j \in 12..23 \\ \alpha_{S_{i,j}} \leftarrow \begin{cases} \text{asin}(\cos(a_i) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\omega_{i,j}) + \sin(a_i) \cdot \sin(\phi)) & \text{if } j \leq \text{round}\left(\frac{\text{Hora_puesta_local}_i}{\text{hr}}\right) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \end{array} \right.$$

$$\alpha_S := 90\text{deg} - \theta_2$$

$$\alpha_{S_{i,j}} := \text{for } i \in 0..11$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{for } j \in 1..23 \\ P_{i,j} \leftarrow \begin{cases} \alpha_{S_{i,j}} & \text{if } \alpha_{S_{i,j}} > 0\text{deg} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \end{array} \right.$$

$$\omega_{ew} := \text{acos}\left(\frac{\tan(a)}{\tan(\phi)}\right)$$

$$\gamma_S := \text{for } i \in 0..11$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{for } j \in 1..23 \\ \gamma_{\text{sexcel}_{i,j}} \leftarrow \text{atan}\left(\frac{\cos(\phi) \cdot \cos(a_i) \cdot \sin(\omega_{i,j})}{\cos(\phi) \cdot \cos(a_i) \cdot \cos(\omega_{i,j}) - \sin(a_i) + \sin(a_i) \cdot \sin(\phi)}\right) \\ \gamma_{\text{sexcelcorregido}_{i,j}} \leftarrow \begin{cases} \gamma_{\text{sexcel}_{i,j}} - 180\text{deg} & \text{if } \gamma_{\text{sexcel}_{i,j}} > 0 \wedge \omega_{i,j} < 0\text{deg} \\ \gamma_{\text{sexcel}_{i,j}} + 180\text{deg} & \text{if } \gamma_{\text{sexcel}_{i,j}} < 0 \wedge \omega_{i,j} > 0\text{deg} \\ \gamma_{\text{sexcel}_{i,j}} & \text{otherwise} \end{cases} \end{array} \right.$$

Inclinación del panel (o en este caso de las ventanas que serán 90°):

$$\beta := 90\text{deg}$$

Ángulo de acimut solar sobre la superficie:

$$\gamma := \gamma_S - \psi$$

Como evaluo las paredes ψ tomara valores en funcion de la posicion N(180°)-S(0°)-E(-90°)-O(90°):

$$\begin{array}{ll} \psi_{\text{norte}} := -180\text{deg} & \psi_{\text{este}} := -90\text{deg} \\ \psi_{\text{sul}} := 0\text{deg} & \psi_{\text{oeste}} := 90\text{deg} \\ \gamma_{i,j} := \gamma_{S_{i,j}} - \psi & \psi := 0\text{deg} \end{array}$$

$$\text{incidencia} := \text{for } i \in 0..11$$

$$\quad \text{for } j \in 0..23$$

$$\quad \text{incidencia}_{i,j} \leftarrow \text{acos} \left[\begin{array}{l} \sin(a_i) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\beta) - (\sin(a_i) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\psi)) \dots \\ + \cos(a_i) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\omega_{i,j}) + \cos(a_i) \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\psi) \cdot \cos(\omega_{i,j}) \dots \\ + \cos(a_i) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\psi) \cdot \sin(\omega_{i,j}) \end{array} \right]$$

$$G_{0med} := \text{for } i \in 0..11$$

$$\quad \text{for } j \in 0..23$$

$$\quad G_{0med_{i,j}} \leftarrow (G_{0med_i} \cdot \cos(\theta_{z_{i,j}}))$$

$$I_{0med_{i,j}} := \text{for } i \in 0..11$$

$$\quad \text{for } j \in 0..11$$

$$\quad I_{0med_{i,j}} \leftarrow \begin{cases} \frac{12 \cdot 3600 \cdot G_{0med_{i,j}}}{\pi} \cdot \frac{s}{\text{rad}} \left[\cos(\phi) \cdot \cos(a_i) \cdot (\sin(\omega_{i,j}) - \sin(\omega_{i,j-1})) + \frac{\pi}{12} \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(a_i) \right] \cdot 1 \frac{\text{hr}}{3600s} & \text{if } j \geq \text{round} \left(\frac{\text{Hora_salida_local}_i}{\text{hr}} \right) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\quad \text{for } j \in 12..23$$

$$\quad I_{0med_{i,j}} \leftarrow \begin{cases} \frac{12 \cdot 3600 \cdot G_{0med_{i,j}}}{\pi} \cdot \frac{s}{\text{rad}} \left[\cos(\phi) \cdot \cos(a_i) \cdot (\sin(\omega_{i,j}) - \sin(\omega_{i,j-1})) + \frac{\pi}{12} \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(a_i) \right] \cdot \left(1 \frac{\text{hr}}{3600s} \right) & \text{if } j \leq \text{round} \left(\frac{\text{Hora_puesta_local}_i}{\text{hr}} \right) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE TRASPARENCIA ATMOSFÉRICA Y COMPONENTES DE RADIACIÓN:

Cálculo de R_b y los factores de forma

$$R_b := \text{for } i \in 0..11$$

$$\quad \text{for } j \in 0..23$$

$$\quad R_{b_{i,j}} \leftarrow \begin{cases} \frac{\cos(\text{incidencia}_{i,j})}{\cos(\theta_{z_{i,j}})} & \text{if } |\omega_{i,j}| < \omega_{s_i} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{c_s} := \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad F_{c_g} := \frac{1 - \cos(\beta)}{2}$$

Cálculo del índice de transparencia atmosférica y componentes de radiación

$$kt := \text{for } i \in 0..11$$

$$\quad \text{for } j \in 0..23$$

$$\quad kt_{i,j} \leftarrow \begin{cases} \frac{\text{radi}_{i,j}}{G_{0med_{i,j}}} & \text{if } |\omega_{i,j}| < \omega_{s_i} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Correlacion de Erbs

$$k_d := \text{for } i \in 0..11$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$k_{d,i,j} \leftarrow \begin{cases} (1.0 - 0.249 \cdot kt_{i,j}) & \text{if } 0 \leq kt_{i,j} \leq 0.35 \\ (1.557 - 1.84 \cdot kt_{i,j}) & \text{if } 0.35 \leq kt_{i,j} \leq 0.75 \\ (0.6584 \cdot kt_{i,j} - 0.3168) & \text{if } 0.75 \leq kt_{i,j} \leq 2 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$G_d := \overrightarrow{\text{radi} \cdot k_d}$$

$$G_b := \overrightarrow{\text{radi} - G_d}$$

$$\rho_g := 0.2$$

Modelo isotrópico:

$$G_{T_iso} := \text{for } i \in 0..11$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$\begin{cases} G_{T_directa_{i,j}} \leftarrow G_{b_{i,j}} \cdot R_{b_{i,j}} \\ G_{T_difusa_iso_{i,j}} \leftarrow G_{d_{i,j}} \cdot F_{c_s} \\ G_{T_reflejada_{i,j}} \leftarrow \text{radi}_{i,j} \cdot \rho_g \cdot F_{c_g} \\ G_{T_iso_{i,j}} \leftarrow G_{T_directa_{i,j}} + G_{T_difusa_iso_{i,j}} + G_{T_reflejada_{i,j}} \end{cases}$$

Modelo anisotrópico o HDKR (Hay, Davies, Klucher & Reindl):

$$A_i := \frac{G_b}{G_{0med}} \quad f := \sqrt{\frac{G_b}{\text{radi}}}$$

$$G_{T_aniso} := \text{for } j \in 0..11$$

$$\text{for } i \in 0..23$$

$$\begin{cases} G_{T_directa_{j,i}} \leftarrow \begin{cases} (G_{b_{j,i}} \cdot R_{b_{j,i}}) & \text{if } G_{b_{j,i}} \cdot R_{b_{j,i}} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ G_{T_difusa_circun_{j,i}} \leftarrow \begin{cases} (G_{d_{j,i}} \cdot A_{j,i} \cdot R_{b_{j,i}}) & \text{if } G_{d_{j,i}} \cdot A_{j,i} \cdot R_{b_{j,i}} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ G_{T_difusa_cielo_{j,i}} \leftarrow G_{d_{j,i}} \cdot (1 - A_{j,i}) \cdot F_{c_s} \\ G_{T_difusa_horizonte_{j,i}} \leftarrow \left[G_{d_{j,i}} \cdot (1 - A_{j,i}) \cdot f_{j,i} \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)^3 \right] \\ G_{T_reflejada_{j,i}} \leftarrow \text{radi}_{j,i} \cdot \rho_g \cdot F_{c_g} \\ G_{T_aniso_a_{j,i}} \leftarrow G_{T_directa_{j,i}} + G_{T_difusa_circun_{j,i}} + G_{T_difusa_cielo_{j,i}} + G_{T_difusa_horizonte_{j,i}} + G_{T_reflejada_{j,i}} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
G_{T_directa} &:= \text{for } j \in 0..11 \\
&\quad \text{for } i \in 0..23 \\
&\quad\quad G_{T_directa_{j,i}} \leftarrow \begin{cases} (G_{b_{j,i}} \cdot R_{b_{j,i}}) & \text{if } G_{b_{j,i}} \cdot R_{b_{j,i}} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
G_{T_difusa_circun} &:= \text{for } j \in 0..11 \\
&\quad \text{for } i \in 0..23 \\
&\quad\quad G_{T_difusa_circun_{j,i}} \leftarrow \begin{cases} (G_{d_{j,i}} \cdot A_{i,j} \cdot R_{b_{j,i}}) & \text{if } G_{d_{j,i}} \cdot A_{i,j} \cdot R_{b_{j,i}} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
G_{T_difusa_cielo} &:= \text{for } j \in 0..11 \\
&\quad \text{for } i \in 0..23 \\
&\quad\quad G_{T_difusa_cielo_{j,i}} \leftarrow \begin{cases} [G_{d_{j,i}} \cdot (1 - A_{i,j}) \cdot F_{c_s}] & \text{if } G_{d_{j,i}} \cdot (1 - A_{i,j}) \cdot F_{c_s} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
G_{T_difusa_horizonte} &:= \text{for } j \in 0..11 \\
&\quad \text{for } i \in 0..23 \\
&\quad\quad G_{T_difusa_horizonte_{j,i}} \leftarrow \begin{cases} \left[\left[G_{d_{j,i}} \cdot (1 - A_{i,j}) \cdot f_{j,i} \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)^3 \right] \right] & \text{if } \left[G_{d_{j,i}} \cdot (1 - A_{i,j}) \cdot f_{j,i} \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)^3 \right] \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
G_{T_reflejada} &:= \text{for } j \in 0..11 \\
&\quad \text{for } i \in 0..23 \\
&\quad\quad G_{T_reflejada_{j,i}} \leftarrow radi_{j,i} \cdot \rho_g \cdot F_{c_g} \\
I_d &:= \text{for } i \in 0..11 \\
&\quad \text{for } j \in 0..23 \\
&\quad\quad I_{d_{i,j}} \leftarrow \begin{cases} (1.0 - 0.249 \cdot kt_{i,j}) & \text{if } 0 \leq kt_{i,j} \leq 0.35 \\ (1.557 - 1.84 \cdot kt_{i,j}) & \text{if } 0.35 \leq kt_{i,j} \leq 0.75 \\ (0.6584 \cdot kt_{i,j} - 0.3168) & \text{if } 0.75 \leq kt_{i,j} \leq 2 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \cdot radi_{i,j} \\
I_T &:= \text{for } i \in 0..11 \\
&\quad \text{for } j \in 0..23 \\
&\quad\quad I_{T_{i,j}} \leftarrow (radi_{i,j} - I_{d_{i,j}}) \cdot R_{b_{i,j}} + I_{d_{i,j}} \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + radi_{i,j} \cdot 0.2 \cdot \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \\
I_T &:= \text{for } i \in 0..11 \\
&\quad \text{for } j \in 0..23 \\
&\quad\quad I_{T_directa_{j,i}} \leftarrow \begin{cases} [(radi_{i,j} - I_{d_{i,j}}) \cdot R_{b_{i,j}}] & \text{if } [(radi_{i,j} - I_{d_{i,j}}) \cdot R_{b_{i,j}}] \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
&\quad\quad I_{T_difusa_{j,i}} \leftarrow I_{d_{i,j}} \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \\
&\quad\quad I_{T_reflejada_{j,i}} \leftarrow radi_{i,j} \cdot 0.2 \cdot \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \\
&\quad\quad I_{T_a_{i,j}} \leftarrow I_{T_directa_{j,i}} + I_{T_difusa_{j,i}} + I_{T_reflejada_{j,i}}
\end{aligned}$$

```

IT_directa := for i ∈ 0..11
  for j ∈ 0..23
    IT_directaj,i ← 
$$\begin{cases} [(radi_{i,j} - I_{d_{i,j}}) \cdot R_{b_{i,j}}] & \text{if } [(radi_{i,j} - I_{d_{i,j}}) \cdot R_{b_{i,j}}] \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

IT_difusa := for i ∈ 0..11
  for j ∈ 0..23
    IT_difusaj,i ← 
$$I_{d_{i,j}} \cdot \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right)$$

IT_reflejada := for i ∈ 0..11
  for j ∈ 0..23
    IT_reflejadaj,i ← 
$$radi_{i,j} \cdot 0.2 \cdot \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right)$$


```

Protección solar único para todo el ventanal sur

Anchura de la ventana:

$$a := 15\text{m}$$

Retranqueo sup. acristalada:

$$c := 0.15\text{m}$$

Voladizo que sobreale:

$$d = ? \text{?}$$

Distancia del hueco a la q se encuentra el voladizo:

$$e := 0.42\text{m}$$

Parte superior del hueco (no cristal):

$$f := 0.12\text{m}$$

Parte izquierda del hueco no cristal:

$$g := 0.12\text{m}$$

Parte izquierda del hueco no cristal:

$$mi := 0.12\text{m}$$

Voladizo hacia abajo:

$$ni := 0\text{m}$$

Altura de la ventana no expuesta al sol:

$$y := 5.88\text{m}$$

Anchura de la ventana no expuesta al sol:

Calcular

$$b := 6.31\text{m} - e$$

Longitud de la ventana sombreada:

$$\beta_v := \overrightarrow{\gamma_s - \psi}$$

$$\gamma_v := \text{for } i \in 0..11$$

$$\text{for } j \in 1..23$$

$$\gamma_{v_{i,j}} \leftarrow \text{atan} \left(\frac{\tan(\alpha_{s_{i,j}})}{\cos(\beta_{v_{i,j}})} \right)$$

$$v_m := 6\text{m}$$

```

d := for i ∈ 0..11
  for j ∈ 1..23
    di,j ← 
$$\begin{cases} \frac{y}{\tan(\gamma_{V_{i,j}})} - c - ni \cdot \tan(\gamma_{V_{i,j}}) & \text{if } \tan(\gamma_{V_{i,j}}) \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$


```

```

d_julio := 2.3m
d6,14 = 1.952m

```

Una vez calculada la longitud del alero, se recalcula y:

```

y := for i ∈ 0..11
  for j ∈ 1..23
    yi,j ← 
$$\tan(\gamma_{V_{i,j}}) \cdot \left( d_{\text{julio}} + \frac{ni}{\tan(\gamma_{V_{i,j}})} + c \right)$$


```

```

x :=  $\overrightarrow{(c \cdot \tan(\gamma_V))}$ 

```

```

facts := for i ∈ 0..11
  for j ∈ 1..23
    Fs,i,j ← 
$$\begin{cases} \frac{[b - (y_{i,j} - e - f)] \cdot [a - (x_{i,j} - g)]}{a \cdot b} & \text{if } \beta_{V_{i,j}} < 0 \text{deg} \\ \frac{[b - (y_{i,j} - e - f)] \cdot [a - (x_{i,j} - mi)]}{a \cdot b} & \text{otherwise} \end{cases}$$


```

```

Fs := for i ∈ 0..11
  for j ∈ 0..23
    Fx,i,j ← 
$$\begin{cases} \text{if } \gamma_{V_{i,j}} > 0 \text{deg} \wedge \text{round}\left(\frac{\text{Hora\_salida\_local}_i}{\text{hr}}\right) \leq j + 1 \leq \text{round}\left(\frac{\text{Hora\_puesta\_local}_i}{\text{hr}}\right) \\ \quad \begin{cases} \frac{[b - (y_{i,j} - e - f)] \cdot [a - (x_{i,j} - g)]}{a \cdot b} & \text{if } \beta_{V_{i,j}} < 0 \text{deg} \\ \frac{[b - (y_{i,j} - e - f)] \cdot [a - (x_{i,j} - mi)]}{a \cdot b} & \text{otherwise} \end{cases} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

    Fs,i,j ← 
$$\begin{cases} 0 & \text{if } F_{x_{i,j}} \leq 0 \\ 1 & \text{if } F_{x_{i,j}} > 1 \\ F_{x_{i,j}} & \text{otherwise} \end{cases}$$


```

Ganancia solar debida a la radiación directa:

$$Q_b = F_u \cdot A \cdot E_d \cdot SHGC(\theta) \cdot EAC$$

Ganancia solar debida a la radiación difusa:

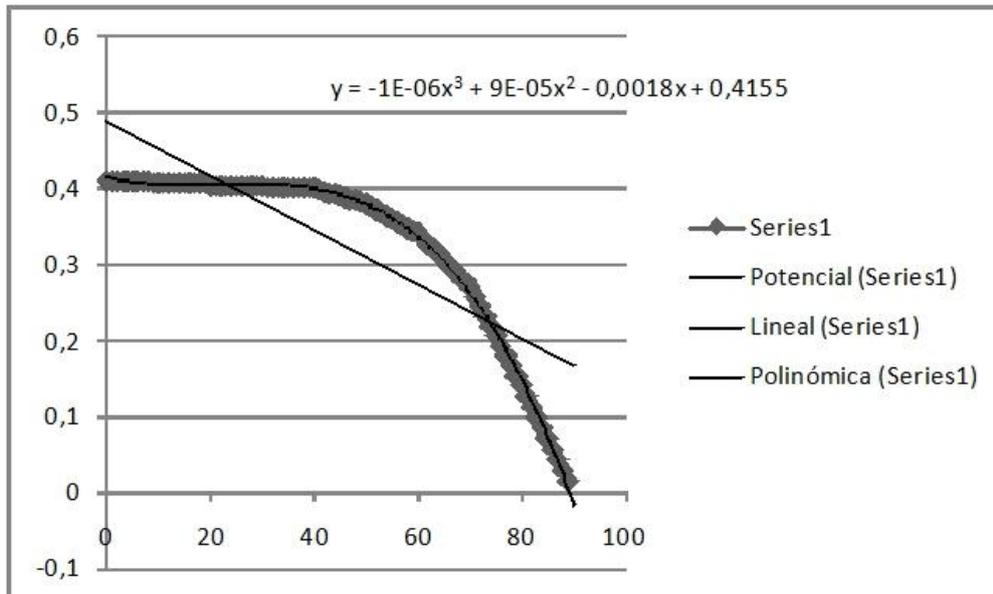
$$Q_d = (1 - F_u) \cdot A \cdot (E_d + E_r) \cdot \langle SHGC \rangle_d \cdot EAC$$

Ganancia solar término conductivo:

$$Q_c = U \cdot A \cdot (T_{out} - T_{in})$$

Ganancia total a través del ventanal:

$$Q = Q_b + Q_c + Q_d$$



$$SHGC = (-1 \cdot 10^{-6} \text{ incidencia}^3 + 9 \cdot 10^{-5} \text{ incidencia}^2 - 0,0018 \text{ incidencia} + 0,4155)$$

$$U = 1,3 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Datos extraídos de ASHRAE y de la elección del hueco: acristalamiento+marco

$$SHGC_d = 0,31$$

$$EAC = 0,15$$

$$Q_{b_an} := (F_s \cdot a \cdot b \cdot G_{T_directa} \cdot SHGC)$$

$$Q_{d_an} := [(1 - F_s) \cdot G_{T_directa} + (G_{T_difusa_circun} + G_{T_difusa_cielo} + G_{T_difusa_horizonte} + G_{T_reflejada})] \cdot [SHGC_d \cdot EAC \cdot (a \cdot b)]$$

$$T_{out} := T_{meses}^I$$

ACRISTALAMIENTO SUR
 Estrategia de invierno: Uso de contraventanas durante horas sin sol U=0.6
 Estrategia de verano: Uso de contraventanas durante horas de sol U=0.6

```

Qc := for i ∈ 0..11
      for j ∈ 0..23
        Qc(i,j) ← U·a·b·[Tmesesi,j - [(298K) if 4 ≤ i ≤ 9
                                     (294K) otherwise]]

```

```
r :=
```



```
..\..\..\..\RTS_Heavy_No_Carpet.xls
```

```
r0 := 25.75
```

```

q_dif_cond := for j ∈ 0..11
              for k ∈ 0..23
                qj,k ← ∑i=023 [(ri)/100 · [(Qd_an + Qc)j,k-i] if k - i ≥ 0
                               [(Qd_an + Qc)(j,k-i+24)] otherwise]

```

```
rsolar :=
```



```
....\RTS_Heavy_No_Carpet_Solar.xls
```

```
rsolar0 := 27
```

```

q_b_an := for j ∈ 0..11
          for k ∈ 0..23
            qj,k ← ∑i=023 [(rsolari)/100 · [(Qb_an)j,k-i] if k - i ≥ 0
                          [(Qb_an)(j,k-i+24)] otherwise]

```

```
q_dif_cond_an := q_dif_cond·0.63 + (Qd_an + Qc)·0.37
```

Contiene terminos convectivos y radiativos

```
Qtot_aniso_S := q_dif_cond_an + q_b_an
```

Para IT

```
Qb := for i ∈ 0..11
```

```
      for j ∈ 0..23
```

```
        Qbi,j ← Fsi,j·a·b·(IT_directaT)i,j·SHGCi,j
```

```
Qd := [(1 - Fs)·IT_directaT + (IT_difusaT + IT_reflejadaT)]·[(SHGCd·EAC)·(a·b)]
```

```
q_dif_cond := for j ∈ 0..11
```

```
              for k ∈ 0..23
```

```
                qj,k ← ∑i=023 [(ri)/100 · [(Qd + Qc)j,k-i] if k - i ≥ 0
                               [(Qd + Qc)(j,k-i+24)] otherwise]
```

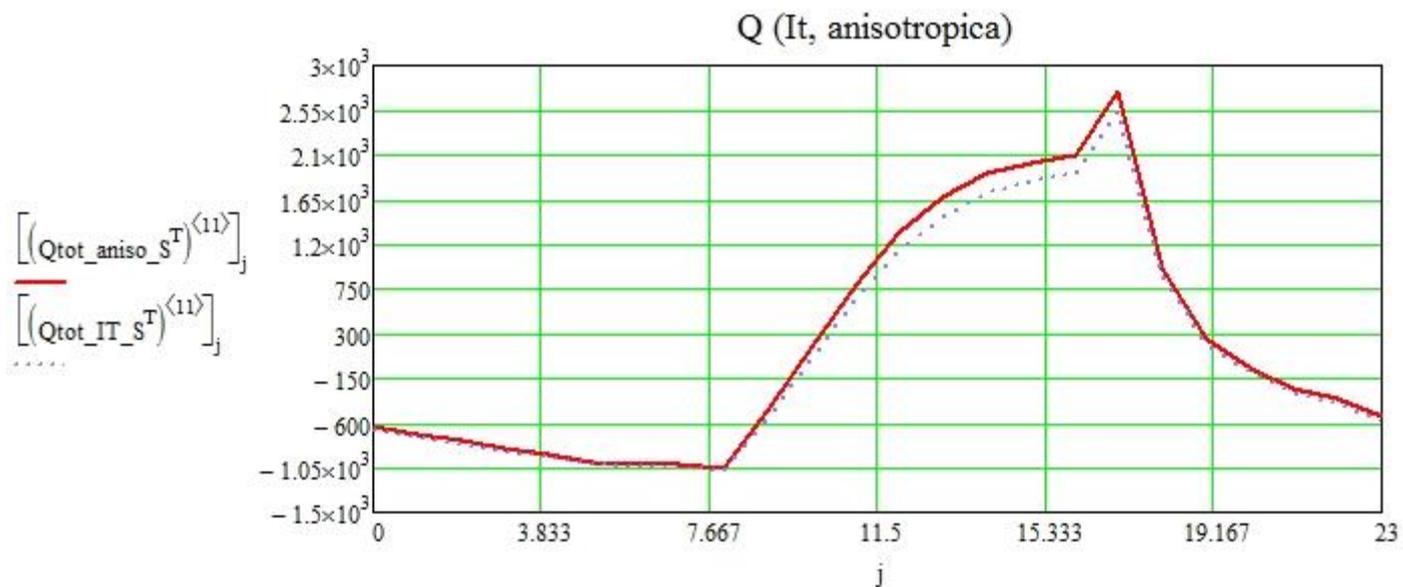
$$q_{b_it} := \text{for } j \in 0..11 \\ \text{for } k \in 0..23 \\ q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(rsolar)_i}{100} \cdot \begin{cases} [(Qb)_{j,k-i}] & \text{if } k-i \geq 0 \\ [(Qb)_{(j,k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q_{dif_cond_it} := q_{dif_cond} \cdot 0.63 + (Qd + Qc) \cdot 0.37$$

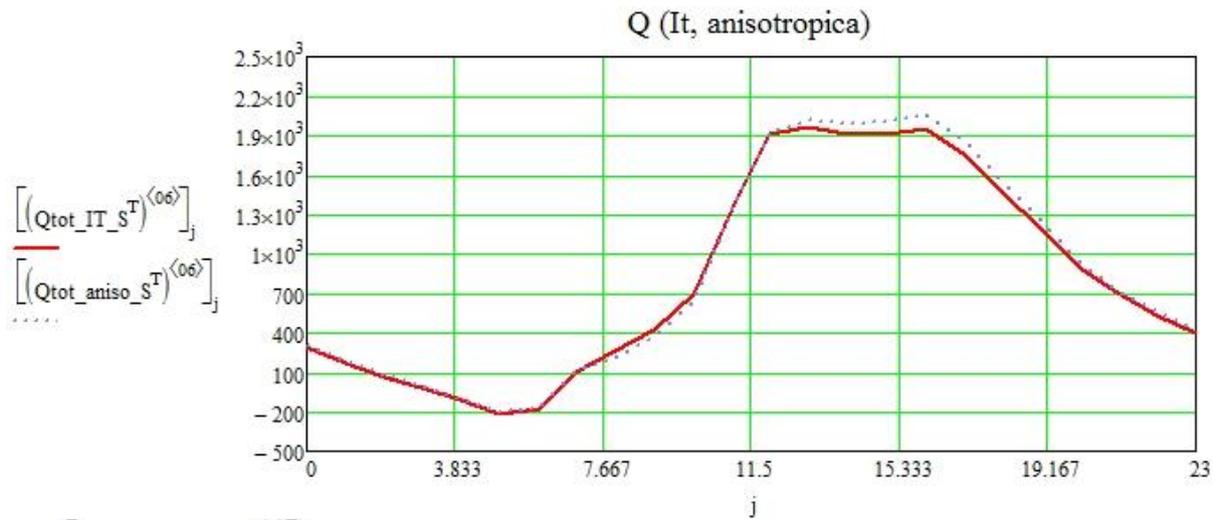
Contiene terminos convectivos y radiativos

$$Qtot_IT_S := q_{dif_cond_it} + q_{b_it}$$

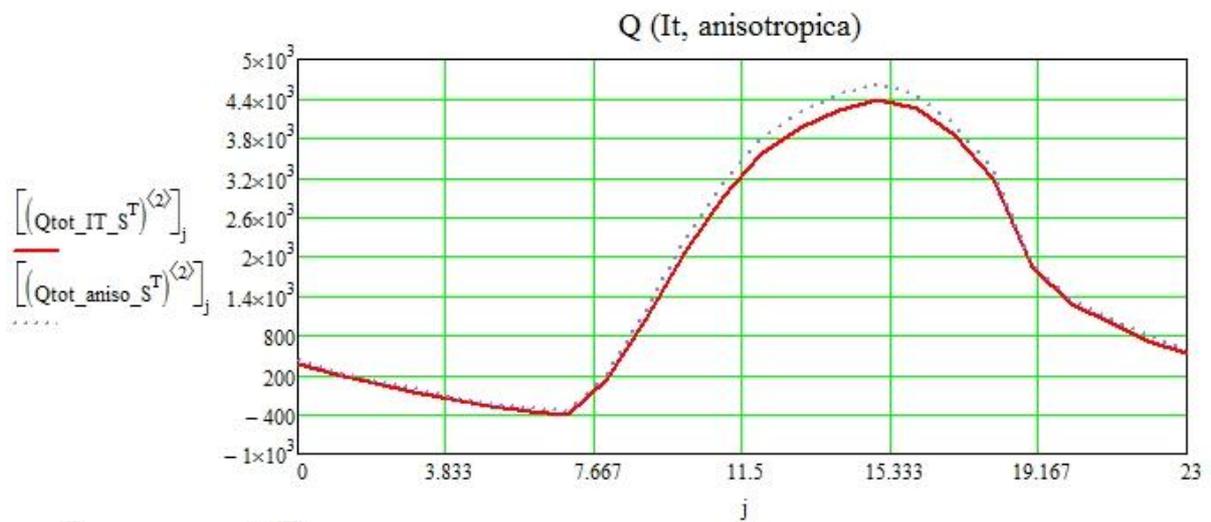
$$j.. := 0..23 \\ \text{mean} \left[\left[(Qtot_aniso_S^T)^{\langle 11 \rangle} \right]_j \right] = 176.738 \text{ W}$$



$$\begin{aligned} \text{mean} \left[\left[(Qtot_IT_S^T)^{\langle 11 \rangle} \right]_j \right] &= 92.495 \text{ W} \\ \text{max} \left[\left[(Qtot_aniso_S^T)^{\langle 11 \rangle} \right]_j \right] &= 2.744 \times 10^3 \text{ W} \\ \text{max} \left[\left[(Qtot_IT_S^T)^{\langle 11 \rangle} \right]_j \right] &= 2.548 \times 10^3 \text{ W} \\ \text{min} \left[\left[(Qtot_aniso_S^T)^{\langle 11 \rangle} \right]_j \right] &= -1.052 \times 10^3 \text{ W} \\ \text{min} \left[\left[(Qtot_IT_S^T)^{\langle 11 \rangle} \right]_j \right] &= -1.077 \times 10^3 \text{ W} \\ \text{mean} \left[\left[(Qtot_aniso_S^T)^{\langle 11 \rangle} \right]_j \right] &= 176.738 \text{ W} \end{aligned}$$



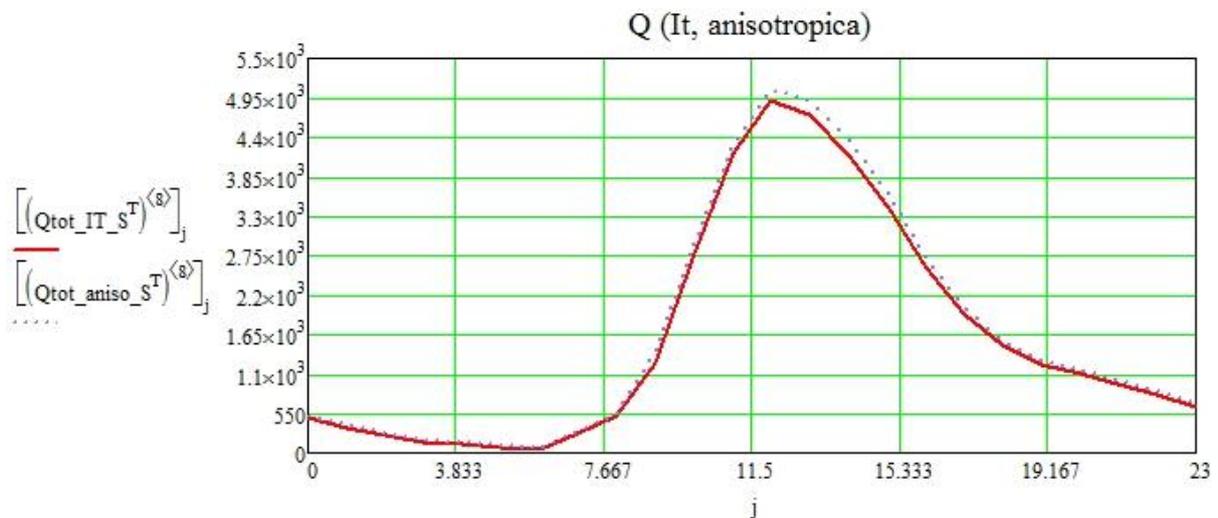
$$\begin{aligned} \text{mean} \left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 6 \rangle} \right] &= 834.866 \text{ W} \\ \text{mean} \left[\left(Q_{\text{tot_IT_S}^T} \right)^{\langle 6 \rangle} \right] &= 810.357 \text{ W} \\ \text{max} \left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 6 \rangle} \right] &= 2.052 \times 10^3 \text{ W} \\ \text{max} \left[\left(Q_{\text{tot_IT_S}^T} \right)^{\langle 6 \rangle} \right] &= 1.962 \times 10^3 \text{ W} \\ \text{min} \left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 6 \rangle} \right] &= -203.517 \text{ W} \\ \text{min} \left[\left(Q_{\text{tot_IT_S}^T} \right)^{\langle 6 \rangle} \right] &= -213.436 \text{ W} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{mean} \left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 6 \rangle} \right] &= 834.866 \text{ W} \\ \text{mean} \left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 2 \rangle} \right] &= 1.705 \times 10^3 \text{ W} \\ \text{mean} \left[\left(Q_{\text{tot_IT_S}^T} \right)^{\langle 2 \rangle} \right] &= 1.594 \times 10^3 \text{ W} \\ \text{max} \left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 2 \rangle} \right] &= 4.613 \times 10^3 \text{ W} \\ \text{max} \left[\left(Q_{\text{tot_IT_S}^T} \right)^{\langle 2 \rangle} \right] &= 4.381 \times 10^3 \text{ W} \\ \text{min} \left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 2 \rangle} \right] &= -365.045 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\min \left[\left[\left(Q_{\text{tot_IT_S}^T} \right)^{\langle 2 \rangle} \right] \right] = -398.727 \text{ W}$$

$$\text{mean} \left[\left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 2 \rangle} \right] \right] = 1.705 \times 10^3 \text{ W}$$



$$\text{mean} \left[\left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 8 \rangle} \right] \right] = 1.681 \times 10^3 \text{ W}$$

$$\text{mean} \left[\left[\left(Q_{\text{tot_IT_S}^T} \right)^{\langle 8 \rangle} \right] \right] = 1.602 \times 10^3 \text{ W}$$

$$\text{max} \left[\left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 8 \rangle} \right] \right] = 5.053 \times 10^3 \text{ W}$$

$$\text{max} \left[\left[\left(Q_{\text{tot_IT_S}^T} \right)^{\langle 8 \rangle} \right] \right] = 4.913 \times 10^3 \text{ W}$$

$$\text{min} \left[\left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 8 \rangle} \right] \right] = 82.738 \text{ W}$$

$$\text{min} \left[\left[\left(Q_{\text{tot_IT_S}^T} \right)^{\langle 8 \rangle} \right] \right] = 58.516 \text{ W}$$

$$\text{mean} \left[\left[\left(Q_{\text{tot_aniso_S}^T} \right)^{\langle 8 \rangle} \right] \right] = 1.681 \times 10^3 \text{ W}$$

Orientación Oeste:

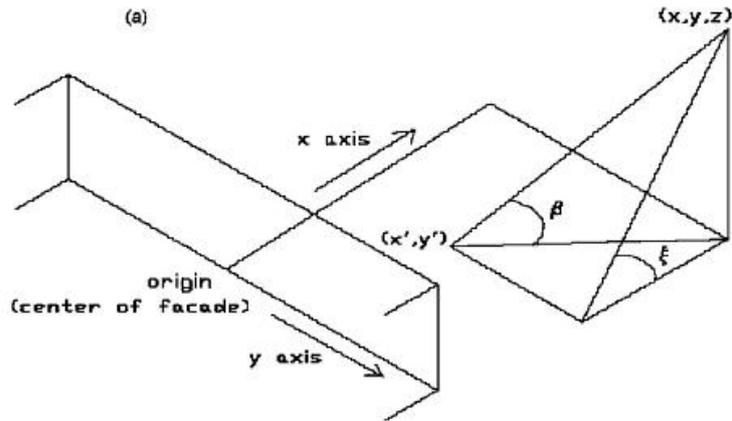
Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Flujos_de_calor\Anuales\Superficies_acristala

Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Flujos_de_calor\Anuales\Irradiacion_oeste.xmcd(R)

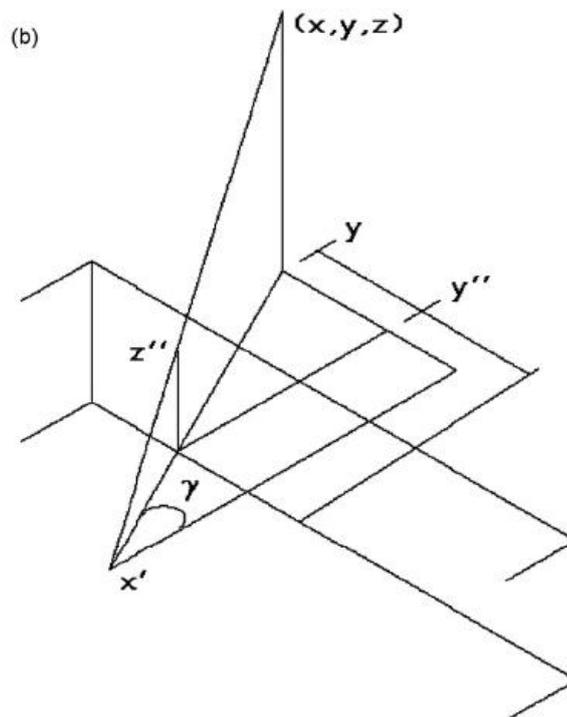
Protección solar único para el ventanal oeste

Para este caso, como tengo que poner árboles puedo seguir dos estrategias, una que sería la de coger unos árboles determinados y ver como funcionan y por otro lado lo mejor sería diseñar el árbol en función de los requerimientos de máxima radiación solar en la orientación oeste, en función de la hora solar.

En un principio voy a diseñar simplemente el algoritmo a utilizar para más tarde cambiarlo a voluntad:



El origen de coordenadas será atendiendo a la figura anterior, el centro de la ventana.



A través de los ángulos de: perfil solar (el ya definido VSA), la altura solar y el ángulo HSA (diferencia entre azimut solar y superficial), se pueden definir los puntos Z'' e Y''

A semejando el árbol a un paralelepipedo se pueden obtener las proyecciones de cada uno de sus cuatro vértices sobre la fachada. Más tarde discriminando entre valores máximos a través de su comparación con los valores (en coordenadas siempre) de la propia ventana, a través de un algoritmo, se puede obtener el área sombreada.

<http://foroarchivo.infojardin.com/elegir-plantas/t-165024.html>

$$\text{HSA} := \gamma_s - \psi_{\text{oeste}}$$

$$\text{VSA} = \text{atan}(\tan(\text{altitude}) / \cos(\text{HSA}))$$

$$\text{VSA} := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_s)}{\cos(\text{HSA})}\right)$$

$$x_0 := 7\text{m}$$

$$x_1 := 7\text{m}$$

$$x_2 := 3\text{m}$$

$$x_3 := 3\text{m}$$

$$x_{\text{ventana}} := 0\text{m} \quad y_{\text{ventana_izq}}^0 := -0.78\text{m} \quad y_{\text{ventana_dcha}}^0 := 0.78\text{m}$$

$$y_0 := -2\text{m} \quad y_1 := 2\text{m} \quad y_2 := 2\text{m} \quad y_3 := -2\text{m}$$

$$z_0 := 4.78\text{m} \quad z_1 := 4.78\text{m} \quad z_2 := 4.78\text{m} \quad z_3 := 4.78\text{m}$$

$$z_{\text{ventana}} := 1\text{m}$$

Proyección horizontal (x' , y') sobre el suelo:

$$h := \text{for } i \in 0..3$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$h_{i,j} \leftarrow \begin{cases} \frac{z_i}{\tan(\alpha_{s0,j})} & \text{if } \tan(\alpha_{s0,j}) \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x' := \text{for } i \in 0..3$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$x'_{i,j} \leftarrow \begin{cases} x_i - \frac{z_i}{\tan(\text{VSA}_{0,j})} & \text{if } \tan(\text{VSA}_{0,j}) \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y' := \text{for } i \in 0..3$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$y'_{i,j} \leftarrow y_i - h_{i,j} \cdot \sin(\text{HSA}_{0,j})$$

Proyección vertical (x'' , y'') sobre la fachada:

$$y'' := \text{for } i \in 0..3$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$y''_{i,j} \leftarrow y_i - x_i \cdot \tan(\text{HSA}_{0,j})$$

$$z'' := \text{for } i \in 0..3$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$z''_{i,j} \leftarrow \begin{cases} \frac{x'_{i,j} \cdot z_i}{x'_{i,j} - x_i} & \text{if } x'_{i,j} - x_i \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Calculo de la proyección vertical solamente en la ventana

$$y_{\text{ventana_izq}} := \text{for } i \in 0..3$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$y_{\text{ventana_izq}}_{i,j} \leftarrow \begin{cases} y''_{i,j} & \text{if } y''_{i,j} < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y_{\text{ventana_dcha}} := \text{for } i \in 0..3 \\ \text{for } j \in 0..23 \\ y_{\text{ventana_dcha}}_{i,j} \leftarrow \begin{cases} y''_{i,j} & \text{if } y''_{i,j} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$z'' := \text{for } i \in 0..3 \\ \text{for } j \in 0..23 \\ z_{\text{ventana}}_{i,j} \leftarrow \begin{cases} z''_{i,j} & \text{if } z''_{i,j} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y_{\text{proyeccion_ventana_izq}} := \text{for } j \in 0..23 \\ y_{\text{proyeccion_ventana}_j} \leftarrow \begin{cases} y^0_{\text{ventana_izq}} & \text{if } \min(y_{\text{ventana_izq}}^{\langle j \rangle}) < y^0_{\text{ventana_izq}} \\ \min(y_{\text{ventana_izq}}^{\langle j \rangle}) & \text{if } \min(y_{\text{ventana_izq}}^{\langle j \rangle}) > y^0_{\text{ventana_izq}} \end{cases}$$

$$y_{\text{proyeccion_ventana_dcha}} := \text{for } j \in 0..23 \\ y_{\text{proyeccion_ventana}_j} \leftarrow \begin{cases} y^0_{\text{ventana_dcha}} & \text{if } \max(y_{\text{ventana_dcha}}^{\langle j \rangle}) > y^0_{\text{ventana_dcha}} \\ \max(y_{\text{ventana_dcha}}^{\langle j \rangle}) & \text{if } \max(y_{\text{ventana_dcha}}^{\langle j \rangle}) < y^0_{\text{ventana_dcha}} \end{cases}$$

Este z area se refiere a la z sombreada proyectada sobre el eje de la ventana

$$z_{\text{area}} := \text{for } j \in 0..23 \\ z_{\text{area}_j} \leftarrow \begin{cases} z_{\text{ventana}} & \text{if } \max(z^{\langle j \rangle}) > 1\text{m} \\ \max(z^{\langle j \rangle}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$z_{\text{area}} := \text{for } j \in 0..23 \\ z_{\text{area}_j} \leftarrow \begin{cases} z_{\text{ventana}} & \text{if } \max(z^{\langle j \rangle}) > 5.18\text{m} \\ \max(z^{\langle j \rangle}) - 4.18\text{m} & \text{if } \max(z^{\langle j \rangle}) - 1\text{m} < 5.18\text{m} \wedge \max(z^{\langle j \rangle}) - 4.18\text{m} < 1\text{m} \\ 0\text{m} & \text{if } \max(z^{\langle j \rangle}) - 1\text{m} < 4.18\text{m} \end{cases}$$

$$y_{\text{area}} := \text{for } j \in 0..23 \\ y_{\text{area}_j} \leftarrow y_{\text{proyeccion_ventana_dcha}_j} + |y_{\text{proyeccion_ventana_izq}_j}|$$

$$A_{\text{sombreada}} := \overrightarrow{(y_{\text{area}} \cdot z_{\text{area}})}$$

$$A_{\text{sombreada}} := \text{for } j \in 0..23$$

$$A_{\text{sombreada}_j} \leftarrow \begin{cases} y_{\text{area}_j} \cdot z_{\text{area}_j} & \text{if } \text{round}\left(\frac{\text{Hora_salida_local}_0}{\text{hr}}\right) \leq \text{hora}_j \leq \text{round}\left(\frac{\text{Hora_puesta_local}_0}{\text{hr}}\right) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A_{\text{total}} := (|y^0_{\text{ventana_izq}}| + y^0_{\text{ventana_dcha}}) \cdot z_{\text{ventana}}$$

$$A_{\text{total}} = 1.56 \text{ m}^2$$

$$a := |y^0_{\text{ventana_izq}}| + y^0_{\text{ventana_dcha}}$$

b := z_ventana

a = 1.56m

$$F_{\text{sombra}} := \frac{A_{\text{sombreada}}}{A_{\text{total}}}$$

F_s := 1 - F_{sombra}

$$\text{SHGC} := \left[-1 \cdot 10^{-6} \cdot (\text{incidencia})^3 + 9 \cdot 10^{-5} \cdot (\text{incidencia})^2 - 0.0018 \cdot \text{incidencia} + 0.4155 \right]$$

$$U := 1.3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

SHGC_d := 0.31

EAC := 0.15

Qb := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$Qb_{i,j} \leftarrow (F_u^T)_{i,j} \cdot a \cdot b \cdot I_{T_directa_{i,j}} \cdot \text{SHGC}_{i,j}$$

$$Qd := \left[(1 - F_u^T) \cdot I_{T_directa} + (I_{T_difusa} + I_{T_reflejada}) \right] \cdot [(\text{SHGC}_d \cdot \text{EAC}) \cdot (a \cdot b)]$$

Qc := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$Qc_{i,j} \leftarrow U \cdot a \cdot b \cdot \left[T_{\text{meses}_{i,j}} - \begin{cases} (298\text{K}) & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294\text{K}) & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

r :=



..\..\..\..\..\RTS_Heavy_No_Carpet.xls

r₀ := 25.75

q_{dif_cond} := for j ∈ 0..11

for k ∈ 0..23

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(r_i)}{100} \cdot \begin{cases} [(Qd + Qc)_{j,k-i}] & \text{if } k - i \geq 0 \\ [(Qd + Qc)_{j,(k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

rsolar :=



....\RTS_Heavy_No_Carpet_Solar.xls

rsolar₀ := 27

$$q_b := \text{for } j \in 0..11 \\ \text{for } k \in 0..23 \\ q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(rsolar_i)}{100} \cdot \begin{cases} [(Qb)_{j,k-i}] & \text{if } k-i \geq 0 \\ [(Qb)_{j,(k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q_dif_cond := q_dif_cond \cdot 0.63 + (Qd + Qc) \cdot 0.37$$

$$Qtot_IT_O := q_dif_cond + q_b$$

$$Qb := \text{for } i \in 0..11 \\ \text{for } j \in 0..23 \\ Qb_{i,j} \leftarrow (F_u^T)_{i,j} \cdot a \cdot b \cdot G_{T_directa,i,j} \cdot SHGC_{i,j}$$

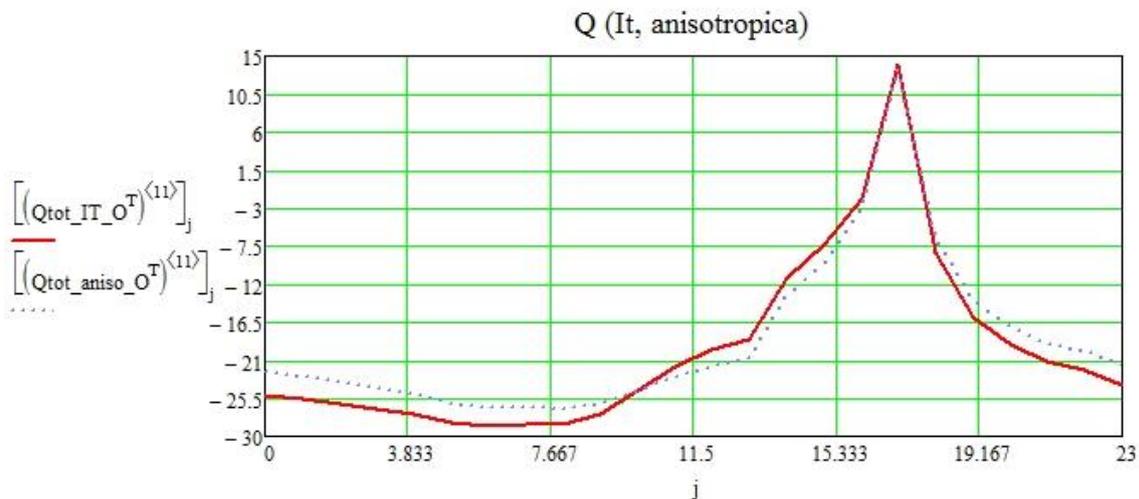
$$Qd := \left[(1 - F_u^T) \cdot G_{T_directa} + (G_{T_difusa_circun} + G_{T_difusa_cielo} + G_{T_difusa_horizonte} + G_{T_reflejada}) \right] \cdot [SHGC_d \cdot EAC \cdot (a \cdot b)]$$

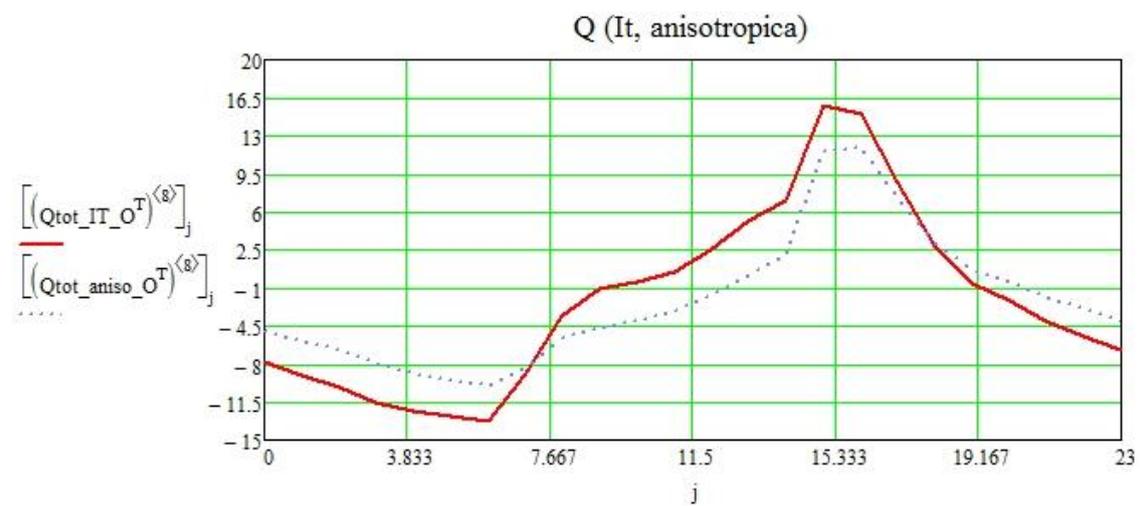
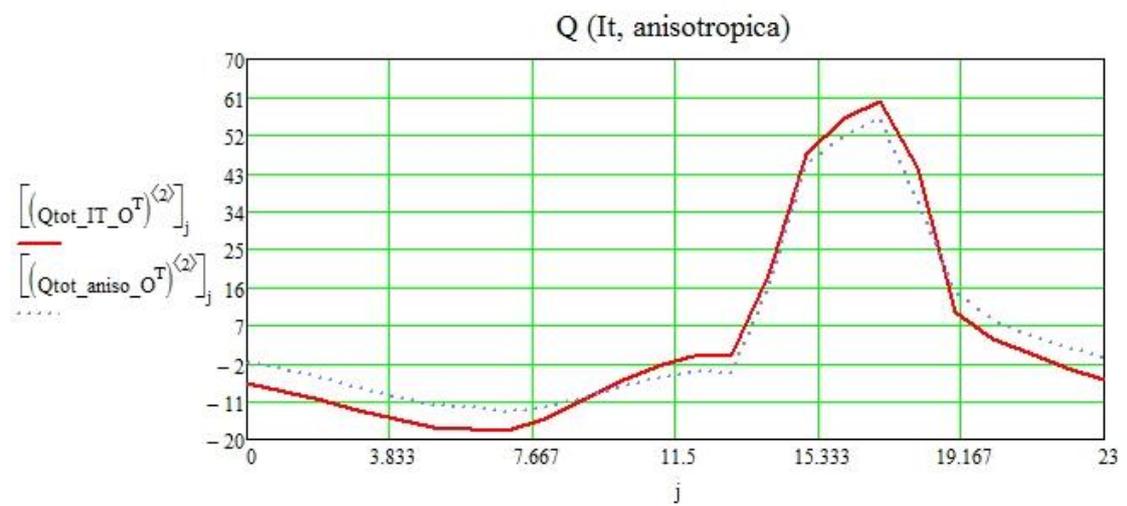
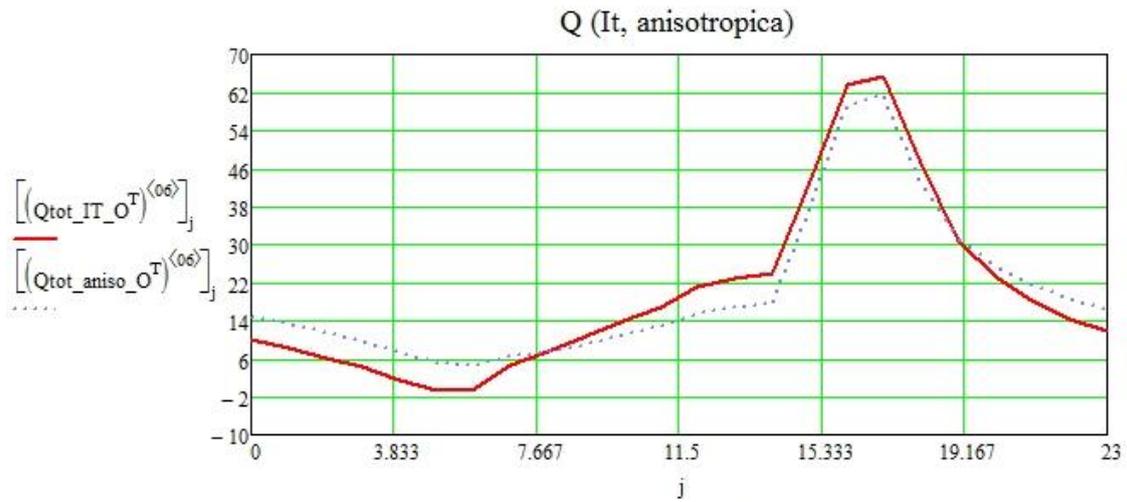
$$q_dif_cond := \text{for } j \in 0..11 \\ \text{for } k \in 0..23 \\ q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(r_i)}{100} \cdot \begin{cases} [(Qd + Qc)_{j,k-i}] & \text{if } k-i \geq 0 \\ [(Qd + Qc)_{j,(k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q_b := \text{for } j \in 0..11 \\ \text{for } k \in 0..23 \\ q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(rsolar_i)}{100} \cdot \begin{cases} [(Qb)_{j,k-i}] & \text{if } k-i \geq 0 \\ [(Qb)_{j,(k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$Qtot_aniso_O := q_dif_cond + q_b$$

$$j_k := 0..23$$





Orientación norte:

Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Flujos_de_calor\Anuales\Irradiacion_nortes.xmcd(R)

4 ventanas de 3m de ancho (habitaciones y pasillo) y dos de dos metros en los baños

Protección solar para los ventanales al norte de ancho 3m

Anchura de la ventana:

$$a := 3\text{m}$$

Retranqueo sup. acristalada:

$$c := 0.15\text{m}$$

Voladizo que sobresale:

d = componente x

Distancia del hueco a la q se encuentra el voladizo:

$$e := 0.4\text{m}$$

Parte superior del hueco (no cristal):

$$f := \frac{66}{1000}\text{m}$$

Parte izquierda del hueco no cristal:

$$g := \frac{66}{1000}\text{m}$$

Parte izquierda del hueco no cristal:

$$mi := \frac{66}{1000}\text{m}$$

Voladizo hacia "arriba":

$$ni := d \cdot \tan(\text{angulo_alero})$$

Altura de la ventana no expuesta al sol:

$$y := 1.4\text{m}$$

Anchura de la ventana no expuesta al sol:

Calcular

Altura de la ventana:

$$b := 1.4\text{m} - \frac{66}{1000}\text{m} - e - f$$

$$b = 0.868\text{m}$$

$$\text{HSA}_{\text{abs}} := (\gamma_s - \psi_{\text{norte}})$$

$$\text{HSA} := \gamma_s - \psi_{\text{norte}}$$

$$\text{VSA} = \text{atan}(\tan(\text{altitude}) / \cos(\text{HSA}))$$

$$\text{VSA} := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_s)}{\cos(\text{HSA})}\right)$$

The depth of the shade is given by:

$$\text{depth} = \text{height} / \tan(\text{VSA})$$

The width is given by:

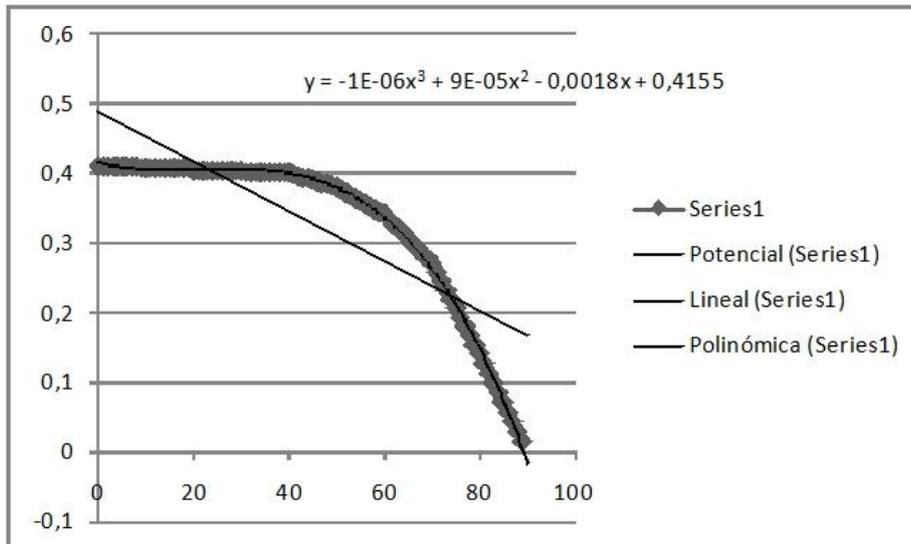
$$\text{width} = \text{depth} * \tan(\text{HSA})$$

$$\text{angulo_alero} := 20\text{deg}$$

comp_x := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$\text{profundidad}_{i,j} \leftarrow \begin{cases} \frac{y}{\tan(\text{VSA}_{i,j}) + \tan(\text{angulo_alero})} & \text{if } \tan(\text{VSA}_{i,j}) \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



$$SHGC := \left[-1 \cdot 10^{-6} \cdot (\text{incidencia})^3 + 9 \cdot 10^{-5} \cdot (\text{incidencia})^2 - 0,0018 \cdot \text{incidencia} + 0,4155 \right]$$

$$SHGC_d := 0,31$$

$$EAC := 0,15$$

$$Q_b := (F_s \cdot a \cdot b \cdot I_{T_directa} \cdot SHGC)$$

$$Q_d := \left[(1 - F_s) \cdot I_{T_directa} + (I_{T_difusa} + I_{T_reflejada}) \right] \cdot [(SHGC_d \cdot EAC) \cdot (a \cdot b)]$$

$$a_s := 4 \cdot a$$

Cuatro ventanas con las mismas características

$$Q_c := \text{for } i \in 0..11$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$Q_{c(i,j)} \leftarrow U \cdot a \cdot b \cdot \left[T_{meses_{i,j}} - \begin{cases} (298K) & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294K) & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$r :=$$



..\..\..\..\RTS_Heavy_No_Carpet.xls

$$r_{\text{sol}} := 25,75$$

$$q_{\text{dif_cond_1}} := \text{for } j \in 0..11$$

$$\text{for } k \in 0..23$$

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{r_i}{100} \cdot \begin{cases} [(Q_d + Q_c)_{j,k-i}] & \text{if } k - i \geq 0 \\ [(Q_d + Q_c)_{j,(k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$rsolar :=$$



...\RTS_Heavy_No_Carpet_Solar.xls

$rsolar_0 := 27$

$q_{b_1} := \text{for } j \in 0..11$

$\text{for } k \in 0..23$

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(rsolar_i)}{100} \cdot \begin{cases} [(Qb)_{j,k-i}] & \text{if } k-i \geq 0 \\ [(Qb)_{[j,(k-i+24)]}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$q_{dif_cond} := q_{dif_cond} \cdot 1 - 0.63 + (Qd + Qc) \cdot 0.37$

$Qtot_IT_N_1 := q_{dif_cond} + q_{b_1}$

$Qb := (F_s \cdot a \cdot b \cdot G_{T_directa} \cdot SHGC)$

$Qd := \left[(1 - F_s) \cdot G_{T_directa} + (G_{T_difusa_circun} + G_{T_difusa_cielo} + G_{T_difusa_horizonte} + G_{T_reflejada}) \right] \cdot [SHGC_d \cdot EAC \cdot (a \cdot b)]$

$q_{dif_cond_an_1} := \text{for } j \in 0..11$

$\text{for } k \in 0..23$

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(r_i)}{100} \cdot \begin{cases} (Qd + Qc)_{j,k-i} & \text{if } k-i \geq 0 \\ (Qd + Qc)_{[j,(k-i+24)]} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$q_{b_an_1} := \text{for } j \in 0..11$

$\text{for } k \in 0..23$

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(rsolar_i)}{100} \cdot \begin{cases} (Qb)_{j,k-i} & \text{if } k-i \geq 0 \\ (Qb)_{[j,(k-i+24)]} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$q_{dif_cond_an_1} := q_{dif_cond_an_1} \cdot 1 - 0.63 + (Qd + Qc) \cdot 0.37$

$Qtot_aniso_N_1 := q_{dif_cond_an_1} + q_{b_an_1}$

Protección solar para los ventanales al norte de ancho 2m

Anchura de la ventana:

$a := 2m$

Retranqueo sup. acristalada:

$c := 0.15m$

Voladizo que sobresale:

$d = \text{componente } x$

Distancia del hueco a la q se encuentra el voladizo:

$e := 0.4m$

Parte superior del hueco (no cristal):

$f := \frac{66}{1000} m$

Parte izquierda del hueco no cristal:

$g := \frac{66}{1000} m$

Parte izquierda del hueco no cristal:

$mi := \frac{66}{1000} m$

Voladizo hacia "arriba":

$$ni := d \cdot \tan(\text{angulo_alero})$$

Altura de la ventana no expuesta al sol:

$$y := 1.4\text{m}$$

Anchura de la ventana no expuesta al sol:

Calcular

Altura de la ventana:

$$b := 1.4\text{m} - \frac{66}{1000}\text{m} - e - f$$

$$HSA_{\text{alero}} := (\gamma_s - \psi_{\text{norte}})$$

$$HSA := \gamma_s - \psi_{\text{norte}}$$

$$VSA = \text{atan}(\tan(\text{altitude}) / \cos(HSA))$$

$$VSA := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_s)}{\cos(HSA)}\right)$$

The depth of the shade is given by:

$$\text{depth} = \text{height} / \tan(VSA)$$

The width is given by:

$$\text{width} = \text{depth} * \tan(HSA)$$

comp_x := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$\text{profundidad}_{i,j} \leftarrow \begin{cases} \frac{y}{\tan(VSA_{i,j}) + \tan(\text{angulo_alero})} & \text{if } \tan(VSA_{i,j}) \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$cx := 1.388\text{m}$$

$$y := [cx \cdot (\tan(VSA) + \tan(\text{angulo_alero}))]$$

$$x := (c \cdot \tan(HSA))$$

$$a \cdot b = 1.736\text{m}^2$$

q_b_2 := for j ∈ 0..11

for k ∈ 0..23

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(rsolar_i)}{100} \cdot \begin{cases} [(Qb)_{j,k-i}] & \text{if } k - i \geq 0 \\ [(Qb)_{j,(k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q_dif_cond := q_dif_cond_2 \cdot 0.63 + (Qd + Qc) \cdot 0.37$$

$$Qtot_IT_N_2 := q_dif_cond + q_b_2$$

$$Qb := (F_s \cdot a \cdot b \cdot G_{T_directa} \cdot SHGC)$$

$$Qd := \overline{[(1 - F_s) \cdot G_{T_directa} + (G_{T_difusa_circun} + G_{T_difusa_cielo} + G_{T_difusa_horizonte} + G_{T_reflejada})]} \cdot [SHGC_d \cdot EAC \cdot (a \cdot b)]$$

q_dif_cond_an_2 := for j ∈ 0..11

for k ∈ 0..23

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(r_i)}{100} \cdot \begin{cases} [(Qd + Qc)_{j,k-i}] & \text{if } k - i \geq 0 \\ [(Qd + Qc)_{j,(k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_b_an_2 := for j ∈ 0..11

for k ∈ 0..23

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(rsolar_i)}{100} \cdot \begin{cases} [(Qb)_{j,k-i}] & \text{if } k - i \geq 0 \\ [(Qb)_{j,(k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q_dif_cond := q_dif_cond_an_2 \cdot 0.63 + (Qd + Qc) \cdot 0.37$$

$$Qtot_aniso_N_2 := q_dif_cond + q_b_an_2$$

$$Qtot_aniso_N := Qtot_aniso_N_1 + Qtot_aniso_N_2$$

$$Qtot_IT_N := Qtot_IT_N_1 + Qtot_IT_N_2$$

Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Flujos_de_calor\Anuales\Superficies_acristal

Orientacion este:

Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Flujos_de_calor\Anuales\Irradiacion_nortes.xmcd(R)

4 ventanas de 3m de ancho (habitaciones y pasillo) y dos de dos metros en los baños

Protección solar para los ventanales al norte de ancho 3m

Anchura de la ventana:

$$a := 3\text{m}$$

Retranqueo sup. acristalada:

$$c := 0.15\text{m}$$

Voladizo que sobresale:

d = componente x

Distancia del hueco a la q se encuentra el voladizo:

$$e := 0.4\text{m}$$

Parte superior del hueco (no cristal):

$$f := \frac{66}{1000}\text{m}$$

Parte izquierda del hueco no cristal:

$$g := \frac{66}{1000}\text{m}$$

Parte izquierda del hueco no cristal:

$$mi := \frac{66}{1000}\text{m}$$

Voladizo hacia "arriba":

$$ni := d \cdot \tan(\text{angulo_alero})$$

Altura de la ventana no expuesta al sol:

$$y := 1.4\text{m}$$

Anchura de la ventana no expuesta al sol:

Calcular

Altura de la ventana:

$$b := 1.4\text{m} - \frac{66}{1000}\text{m} - e - f$$

$$b = 0.868\text{m}$$

$$\text{HSA}_{\text{abs}} := (\gamma_s - \psi_{\text{norte}})$$

$$\text{HSA} := \gamma_s - \psi_{\text{norte}}$$

$$\text{VSA} = \text{atan}(\tan(\text{altitude}) / \cos(\text{HSA}))$$

$$\text{VSA} := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_s)}{\cos(\text{HSA})}\right)$$

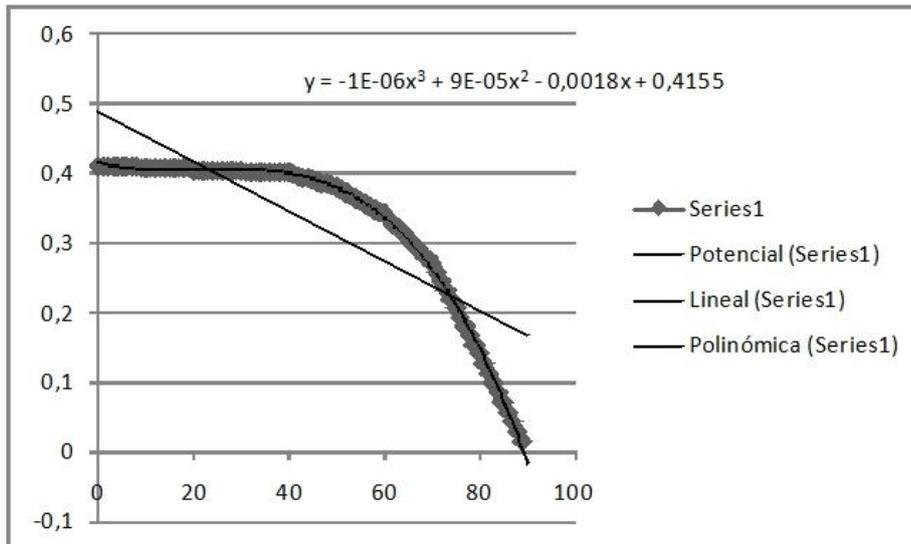
The depth of the shade is given by:

$$\text{depth} = \text{height} / \tan(\text{VSA})$$

The width is given by:

$$\text{width} = \text{depth} * \tan(\text{HSA})$$

$$\text{angulo_alero} := 20\text{deg}$$



$$\text{SHGC} := \left[-1 \cdot 10^{-6} \cdot (\text{incidencia})^3 + 9 \cdot 10^{-5} \cdot (\text{incidencia})^2 - 0.0018 \cdot \text{incidencia} + 0.4155 \right]$$

$$\text{SHGC}_d := 0.31$$

$$\text{EAC} := 0.15$$

$$Q_b := (F_s \cdot a \cdot b \cdot I_{T_directa} \cdot \text{SHGC})$$

$$Q_d := \left[(1 - F_s) \cdot I_{T_directa} + (I_{T_difusa} + I_{T_reflejada}) \right] \cdot \left[(\text{SHGC}_d \cdot \text{EAC}) \cdot (a \cdot b) \right]$$

$$a_s := 4 \cdot a$$

Cuatro ventanas con las mismas características

$$Q_c := \text{for } i \in 0..11$$

$$\text{for } j \in 0..23$$

$$Q_{c(i,j)} \leftarrow U \cdot a \cdot b \cdot \left[T_{\text{meses}}_{i,j} - \begin{cases} (298K) & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (294K) & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$r :=$$



..\..\..\..\..\RTS_Heavy_No_Carpet.xls

$$r_{\text{sol}} := 25.75$$

$$q_{\text{dif_cond_1}} := \text{for } j \in 0..11$$

$$\text{for } k \in 0..23$$

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{r_i}{100} \cdot \begin{cases} [(Q_d + Q_c)_{j,k-i}] & \text{if } k - i \geq 0 \\ [(Q_d + Q_c)_{j,(k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$\text{rsolar} :=$$



..\..\..\..\..\RTS_Heavy_No_Carpet_Solar.xls

$rsolar_0 := 27$

$q_{b_1} := \text{for } j \in 0..11$

$\text{for } k \in 0..23$

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(rsolar_i)}{100} \cdot \begin{cases} [(Qb)_{j,k-i}] & \text{if } k-i \geq 0 \\ [(Qb)_{[j,(k-i+24)]}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$q_{dif_cond} := q_{dif_cond} \cdot 1 - 0.63 + (Qd + Qc) \cdot 0.37$

$Qtot_IT_N_1 := q_{dif_cond} + q_{b_1}$

$Qb := (F_s \cdot a \cdot b \cdot G_{T_directa} \cdot SHGC)$

$Qd := \left[(1 - F_s) \cdot G_{T_directa} + (G_{T_difusa_circun} + G_{T_difusa_cielo} + G_{T_difusa_horizonte} + G_{T_reflejada}) \right] \cdot [SHGC_d \cdot EAC \cdot (a \cdot b)]$

$q_{dif_cond_an_1} := \text{for } j \in 0..11$

$\text{for } k \in 0..23$

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(r_i)}{100} \cdot \begin{cases} (Qd + Qc)_{j,k-i} & \text{if } k-i \geq 0 \\ (Qd + Qc)_{[j,(k-i+24)]} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$q_{b_an_1} := \text{for } j \in 0..11$

$\text{for } k \in 0..23$

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(rsolar_i)}{100} \cdot \begin{cases} (Qb)_{j,k-i} & \text{if } k-i \geq 0 \\ (Qb)_{[j,(k-i+24)]} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$q_{dif_cond_an_1} := q_{dif_cond_an_1} \cdot 1 - 0.63 + (Qd + Qc) \cdot 0.37$

$Qtot_aniso_N_1 := q_{dif_cond_an_1} + q_{b_an_1}$

Protección solar para los ventanales al norte de ancho 2m

Anchura de la ventana:

$a := 2m$

Retranqueo sup. acristalada:

$c := 0.15m$

Voladizo que sobresale:

$d = \text{componente } x$

Distancia del hueco a la q se encuentra el voladizo:

$e := 0.4m$

Parte superior del hueco (no cristal):

$f := \frac{66}{1000} m$

Parte izquierda del hueco no cristal:

$g := \frac{66}{1000} m$

Parte izquierda del hueco no cristal:

$mi := \frac{66}{1000} m$

Voladizo hacia "arriba":

$$n_i := d \cdot \tan(\text{angulo_alero})$$

Altura de la ventana no expuesta al sol:

$$y := 1.4\text{m}$$

Anchura de la ventana no expuesta al sol:

Calcular

Altura de la ventana:

$$b := 1.4\text{m} - \frac{66}{1000}\text{m} - e - f$$

$$\text{HSA}_{\text{alero}} := (\gamma_s - \psi_{\text{norte}})$$

$$\text{HSA} := \gamma_s - \psi_{\text{norte}}$$

$$\text{VSA} = \text{atan}(\tan(\text{altitude}) / \cos(\text{HSA}))$$

$$\text{VSA} := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_s)}{\cos(\text{HSA})}\right)$$

The depth of the shade is given by:

$$\text{depth} = \text{height} / \tan(\text{VSA})$$

The width is given by:

$$\text{width} = \text{depth} * \tan(\text{HSA})$$

comp_x := for i ∈ 0..11

for j ∈ 0..23

$$\text{profundidad}_{i,j} \leftarrow \begin{cases} \frac{y}{\tan(\text{VSA}_{i,j}) + \tan(\text{angulo_alero})} & \text{if } \tan(\text{VSA}_{i,j}) \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$c_x := 1.388\text{m}$$

$$y := [c_x \cdot (\tan(\text{VSA}) + \tan(\text{angulo_alero}))]$$

$$x := (c \cdot \tan(\text{HSA}))$$

$$a \cdot b = 1.736\text{m}^2$$

q_b_2 := for j ∈ 0..11

for k ∈ 0..23

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(rsolar_i)}{100} \cdot \begin{cases} [(Qb)_{j,k-i}] & \text{if } k - i \geq 0 \\ [(Qb)_{j,(k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q_dif_cond := q_dif_cond_2 \cdot 0.63 + (Qd + Qc) \cdot 0.37$$

$$Qtot_IT_N_2 := q_dif_cond + q_b_2$$

$$Qb := (F_s \cdot a \cdot b \cdot G_{T_directa} \cdot SHGC)$$

$$Qd := \overline{[(1 - F_s) \cdot G_{T_directa} + (G_{T_difusa_circun} + G_{T_difusa_cielo} + G_{T_difusa_horizonte} + G_{T_reflejada})]} \cdot [SHGC_d \cdot EAC \cdot (a \cdot b)]$$

q_dif_cond_an_2 := for j ∈ 0..11

for k ∈ 0..23

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(r_i)}{100} \cdot \begin{cases} (Qd + Qc)_{j,k-i} & \text{if } k - i \geq 0 \\ (Qd + Qc)_{j,(k-i+24)} & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

q_b_an_2 := for j ∈ 0..11

for k ∈ 0..23

$$q_{j,k} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{(rsolar_i)}{100} \cdot \begin{cases} [(Qb)_{j,k-i}] & \text{if } k - i \geq 0 \\ [(Qb)_{j,(k-i+24)}] & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$$q_dif_cond := q_dif_cond_an_2 \cdot 0.63 + (Qd + Qc) \cdot 0.37$$

$$Qtot_aniso_N_2 := q_dif_cond + q_b_an_2$$

$$Qtot_aniso_N := Qtot_aniso_N_1 + Qtot_aniso_N_2$$

$$Qtot_IT_N := Qtot_IT_N_1 + Qtot_IT_N_2$$

Sumatorio:

$$Qtot_IT := Qtot_IT_S + Qtot_IT_O + Qtot_IT_N + Qtot_IT_E$$

$$Qtot_aniso := Qtot_aniso_S + Qtot_aniso_O + Qtot_aniso_N + Qtot_aniso_E$$

Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Cargas_inter

Anexo. 1.5. Cargas internas

Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Radiacion n

Cargas internas VENTILACIÓN anuales

Datos2 :-



..\..\..\Temperatura_(historico)_modificado.xls

V_especifico :-



..\..\..\..\Humedad_relativa_anual.xls

Ratio_Humedad :-



..\..\..\..\Humedad_relativa_anual.xls

```

Tmeses := for i ∈ 0..11
            for j ∈ 0..23
                Tj,i ← (Datos2(i))j · K + 273K

            ρss := for i ∈ 0..23
                    for j ∈ 0..11
                        ρi,j ←  $\frac{1}{(V\_especifico)_{i,j}} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ 

Wes := for i ∈ 0..23
        for j ∈ 0..11
            Wei,j ← (Ratio_Humedad)i,j
    
```

- Carga sensible:

```

Qsen := for i ∈ 0..11
            for j ∈ 0..23
                Qseni,j ←  $\left[ \frac{V_{vent}(\rho_{ss}T)_{i,j} \cdot c_p \cdot [(T_{meses}T)_{i,j} - 298K]}{V_{vent}(\rho_{ss}T)_{i,j} \cdot c_p \cdot [(T_{meses}T)_{i,j} - 294K]} \right] \cdot \text{Focupación}$  if 10 ≤ i ≤ 4
                     $\left[ \frac{V_{vent}(\rho_{ss}T)_{i,j} \cdot c_p \cdot [(T_{meses}T)_{i,j} - 294K]}{V_{vent}(\rho_{ss}T)_{i,j} \cdot c_p \cdot [(T_{meses}T)_{i,j} - 294K]} \right] \cdot \text{Focupación}$  otherwise

Qsen := for i ∈ 0..11
            for j ∈ 0..23
                Qseni,j ←  $\left[ \frac{V_{vent}(\rho_{ss}T)_{i,j} \cdot c_p \cdot [(T_{meses}T)_{i,j} - \left[ \begin{array}{l} (298K) \text{ if } 10 \leq i \leq 3 \\ (294K) \text{ otherwise} \end{array} \right]]}{V_{vent}(\rho_{ss}T)_{i,j} \cdot c_p \cdot [(T_{meses}T)_{i,j} - \left[ \begin{array}{l} (298K) \text{ if } 10 \leq i \leq 3 \\ (294K) \text{ otherwise} \end{array} \right]]} \right] \cdot \text{Focupación}$ 
    
```

- Carga latente:

$$Q_{lat} := \text{for } i \in 0..11 \\ \text{for } j \in 0..23 \\ Q_{lat_{i,j}} \leftarrow \overrightarrow{V_{vent} \cdot (\rho_{ss}^T)_{i,j} \cdot h_{fr} \cdot \left[(Wes^T)_{i,j} - \begin{cases} WL_1 & \text{if } 10 \leq i \leq 4 \\ WL_0 & \text{otherwise} \end{cases} \right]}$$

$$Q_{vents} := Q_{lat_dias} \langle 1 \rangle^T + Q_{sen_dias} \langle 1 \rangle^T \\ Q_{vent_anuales} := Q_{lat} + Q_{sen}$$

Cargas internas OCUPACIÓN mensuales

$$Q_{sen_ocupacion_dias} := \text{for } i \in 0..3 \\ Q_{sen_ocupacion} \langle i \rangle \leftarrow \begin{cases} (78W \cdot 5 \cdot Focupación) & \text{if } 1 \leq i \leq 2 \\ (94W \cdot 5 \cdot Focupación) & \text{otherwise} \end{cases} \\ Q_{lat_ocupacion_dias} := \text{for } i \in 0..3 \\ Q_{lat_ocupacion} \langle i \rangle \leftarrow \begin{cases} (46W \cdot 5 \cdot Focupación) & \text{if } 1 \leq i \leq 2 \\ (30W \cdot 5 \cdot Focupación) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Cargas internas OCUPACIÓN anuales

$$Q_{sen_ocupacion} := \text{for } i \in 0..11 \\ Q_{sen_ocupacion} \langle i \rangle \leftarrow \begin{cases} (78W \cdot 5 \cdot Focupación) & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (94W \cdot 5 \cdot Focupación) & \text{otherwise} \end{cases} \\ Q_{lat_ocupacion} := \text{for } i \in 0..11 \\ Q_{lat_ocupacion} \langle i \rangle \leftarrow \begin{cases} (46W \cdot 5 \cdot Focupación) & \text{if } 4 \leq i \leq 9 \\ (30W \cdot 5 \cdot Focupación) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Cargas internas INFILTRACIONES

Segun Pinazo, en la nueva legislación se ha aumentado considerablemente el volumen de aire de ventilación, lo que supone que se puedan despreciar las cargas por infiltraciones.

Cargas internas ILUMINACIÓN anuales

Referencia: H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\Flujos_de_calor\Anuales\Irradiacion_parasol_acristalamientos_24_12_2009 (ho
 Hora_salida_medias := Hora_salida_local
 Hora_puesta_medias := Hora_puesta_local

$Q_{sen_iluminacion} :=$ for $i \in 0..11$
 for $j \in 0..23$

$$Q_{sen_iluminacion_{i,j}} \leftarrow \begin{cases} 15 \frac{W}{m^2} \left[\begin{array}{l} (A_{baño_i} + A_{baño_d} \dots \\ + A_{dormitorio} + A_{dormitorio_i} \dots \\ + A_{dormitorio_d} + A_{cocina} \end{array} \right] & \text{if } 7 \leq j \leq \text{round} \left[\frac{(Hora_salida_medias)_i}{hr} \right] \\ 15 \frac{W}{m^2} (A_{estar} + A_{cocina}) & \text{if } \left(\text{round} \left(\frac{Hora_puesta_medias_i}{hr} \right) \leq j \leq 24 \right) \\ 5 \frac{W}{m^2} (A_{dormitorio_i} \dots \\ + A_{dormitorio_d} + A_{trabajo}) & \text{if } \text{round} \left[\frac{(Hora_salida_medias)_i}{hr} \right] \leq j \leq \text{round} \left(\frac{Hora_puesta_medias_i}{hr} \right) \\ \left(1 \frac{W}{m^2} \cdot 200m^2 \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$q_{dif_rad} :=$ for $k \in 0..11$
 for $j \in 0..23$

$$q_{k,j} \leftarrow \sum_{i=0}^{23} \left[\frac{r_i}{100} \cdot \left[\begin{array}{l} \left[(Q_{sen_iluminacion}^T)^{<j>} \right]_{j-i} & \text{if } j-i \geq 0 \\ \left[(Q_{sen_iluminacion}^T)^{<j>} \right]_{(j-i+24)} & \text{otherwise} \end{array} \right] \right]$$

$Q_{sen_iluminacion} := Q_{sen_iluminacion} \cdot 0.33 + q_{dif_rad} \cdot 0.67$

$Q_{int_sensible_anuales} :=$ for $i \in 0..11$
 for $j \in 0..23$

$$Q_{int_sensible_diario_{i,j}} \leftarrow \left[(Q_{sen_iluminacion}^T)^{<j>} \right]_j + \left[(Q_{sen}^T)^{<j>} \right]_j + (Q_{sen_ocupacion}^T)_i$$

$Q_{int_latente_anuales} :=$ for $i \in 0..11$
 for $j \in 0..23$

$$Q_{int_latente_diario_{i,j}} \leftarrow \left[(Q_{lat}^T)^{<j>} \right]_j + (Q_{lat_ocupacion}^T)_i$$

Ventilación

$$Q_{vent} := Q_{sen} + Q_{lat}$$

Iluminación

$$Q_{sen_iluminacion}$$

Ocupación

$$Q_{sen_ocupacion}$$

$$Q_{lat_ocupacion}$$

```

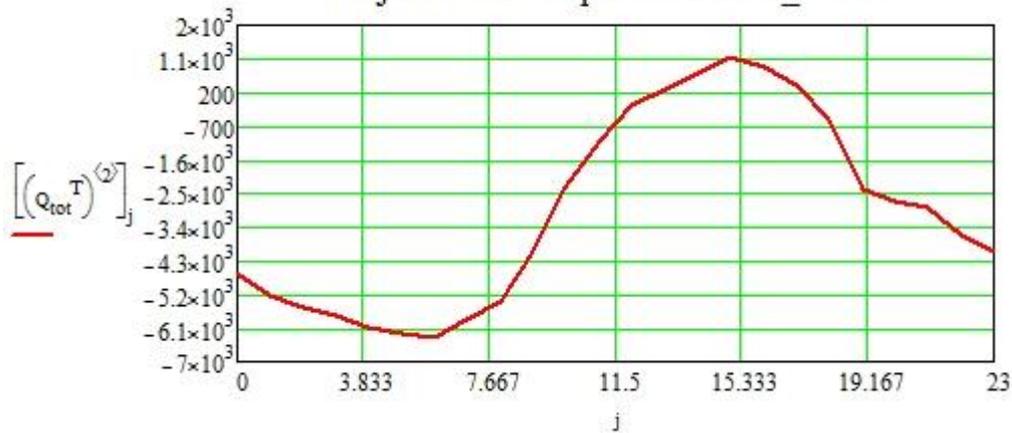
Q_sensibles := for i = 0..11
  for j = 0..23
    Q_sensibles_{i,j} ← (Q_sen_ocupacion^T)_i + (Q_sen_iluminacion)_{i,j} + (Q_sen)_{i,j}
    + (Q_rot_TT)_{i,j} + (Q_suelo)_{i,j} + (Q_conduccion^T)_{i,j} + Q_cubierta_aerol_{i,j}
  
```

```

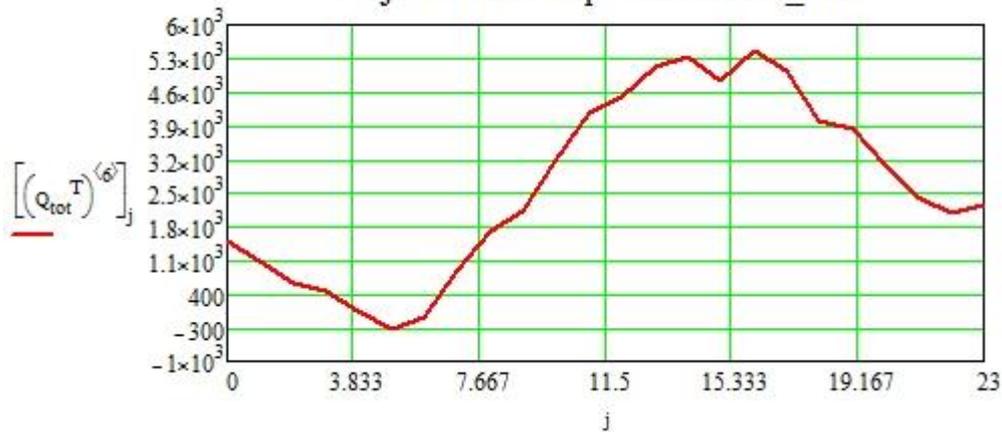
Q_latentes := for i = 0..11
  for j = 0..23
    Q_latentes_{i,j} ← [(Q_lat_ocupacion^T)_i] + (Q_lat)_{i,j}
  
```

$$Q_{tot} := Q_{sensibles} + Q_{latentes}$$

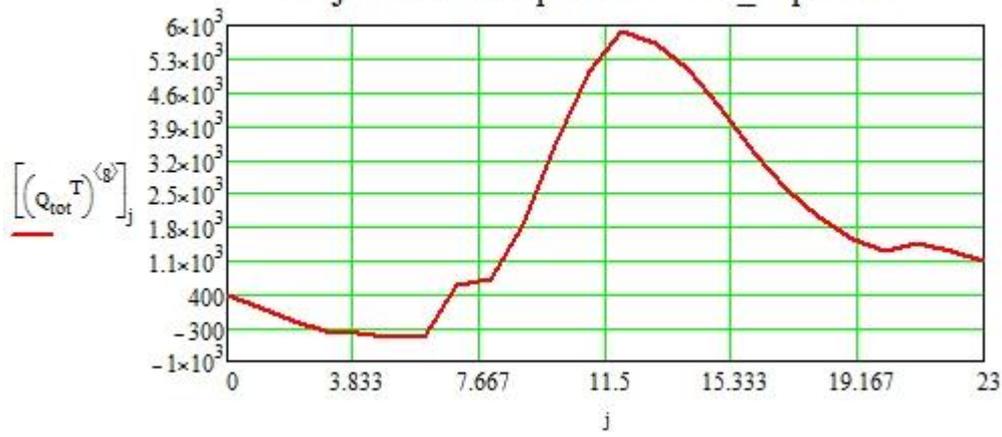
Flujo de calor Sup.Acristaladas_Marzo



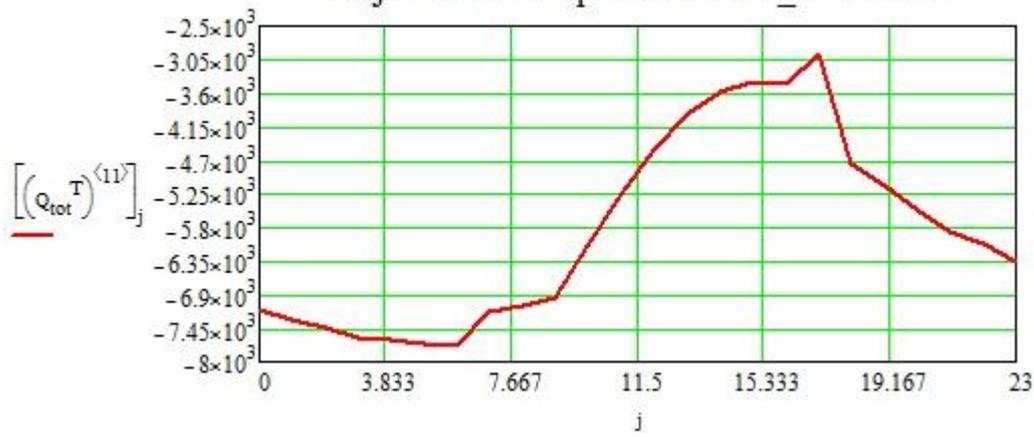
Flujo de calor Sup.Acristaladas_Julio



Flujo de calor Sup.Acrystaladas_Septiembre



Flujo de calor Sup.Acrystaladas_Diciembre



Anexo 2. Cálculo de la Instalación de ACS	267
2.1.- HOJA A -	267
2.2.- HOJA B – Cálculo de las pérdidas en el colector mediante resistencia térmicas, para la llamada OPCIÓN 1. Inclinación 40.45º y azimut = 0º	276
2.3. - HOJA C - Cálculo de las pérdidas en el colector (mediante resistencia térmicas) y de los parámetros de la instalación, para la llamada OPCIÓN 2. Inclinación 20º y azimut = 0º	293

Anexo 2. Cálculo de la Instalación de ACS

2.1.- HOJA A -

Consideraciones: Angulo azimutal 0º, Inclinación=Latitud

Datos de partida:

Radiación sobre el plano horizontal -> plano inclinado
Rendimiento del colector: Coeficientes de la curva de normalización (**a0,a1**)
Eficiencia del intercambiador de calor (**Eic**)
Caudal de consumo (**mcons**)
Temperatura de la red (**Tred**)
Temperatura ambiente (**T0**)
Densidad de los fluidos
Calor específico de los fluidos
Temperatura de suministro (**Tsum**)
Contribución solar mínima anual: (**f**)

DATA :=



..\..\Datos_ACS_anual.xls

Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\ACS\Irradiacion_panel_EDN_ASHRAE.xmcd(R)

$$\left(I_T^T\right)_{11,0} = 276.899 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3}$$

$$H_T := \left(I_T^T\right)_{11,0}$$

Radiación sobre el plano horizontal:

Hsolar := for i ∈ 0.. 11

$$H_{\text{solar}_i} \leftarrow \sum \left(\text{radi}^T\right)^{\langle \circ \rangle}$$

$$\sum \left(\text{radi}^T\right)^{\langle \circ \rangle} = 1.981 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3}$$

$$H_{solarW} := \frac{\overrightarrow{H_{solar}}}{\frac{DD}{hr}}$$

H_{solarW}^T	0	1	2	3	4	5		$\frac{W}{m^2 \cdot hr}$
	0	$7.525 \cdot 10^5$	$9.261 \cdot 10^5$	$1.356 \cdot 10^6$	$1.405 \cdot 10^6$	$1.64 \cdot 10^6$...	

Radiación sobre plano inclinado:

$$H_{solarW}_T := \text{for } i \in 0..11$$

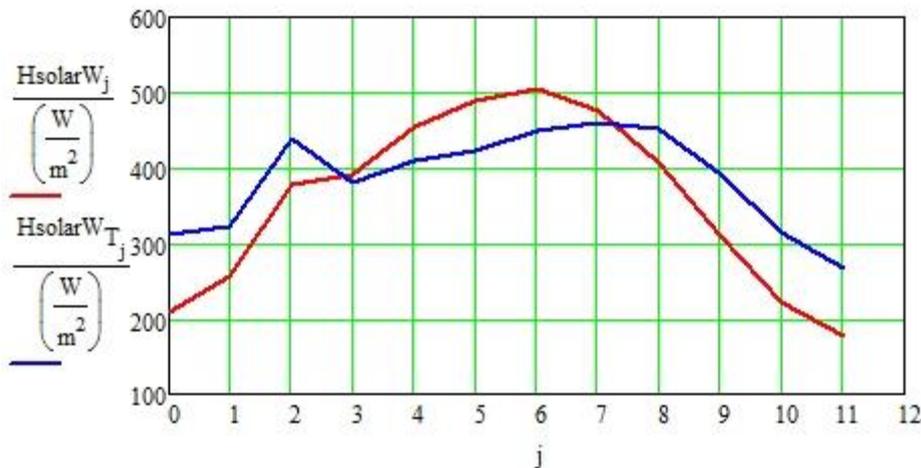
$$H_{solarW}_i \leftarrow \sum (I_T^T)^{(\hat{i})}$$

$$\sum (I_T^T)^{(\hat{0})} = 2.949 \times 10^3 \cdot \frac{W}{m^2}$$

$$H_{solarW}_T := \frac{\overrightarrow{H_{solarW}_T}}{\frac{DD}{hr}}$$

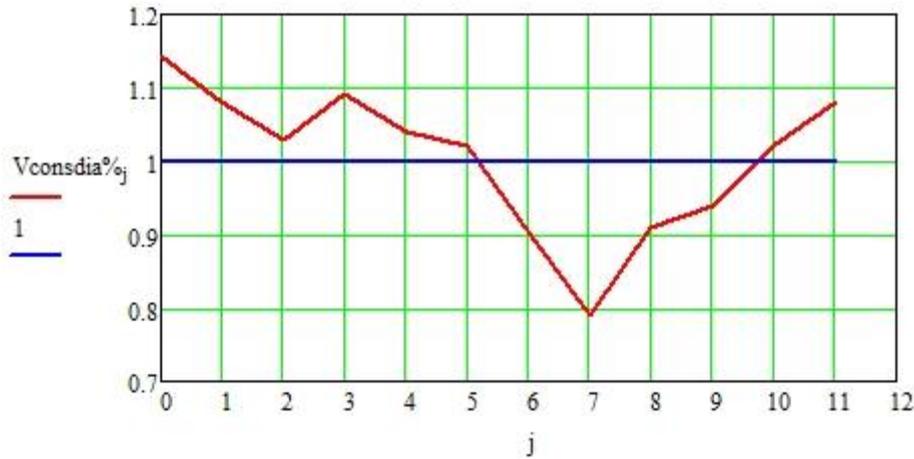
$H_{solarW}_T^T$	0	1	2	3	4	5	6		$\frac{W}{m^2}$
	0	311.14	323.081	438.148	380.343	408.491	422.697	...	

$$j := 0..11$$



$$i := 1..rows(DATA)$$

$$V_{consdia\%} := DATA^{(2)}$$



1. Rendimiento del colector: Coeficientes de la curva de normalización (**a0,a1**)

$$a0 := 0.83$$

$$a1 := 3.36 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$a2 := 0.013 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K^2}$$

2. Eficiencia del intercambiador de calor (**Eic**)

$$\epsilon_{IC} := 0.7$$

3. Caudal de consumo (**mcons**)

$$V_{consdia} := 301.6 \text{ CTE}$$

$$\rho_{agua} := 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{cons} := \frac{V_{consdia} \cdot V_{consdia\%} \cdot \rho_{agua}}{DD}$$

m_{cons}^T	0	1	2	3	4	$\frac{kg}{s}$
	0	$6.025 \cdot 10^{-3}$	$5.168 \cdot 10^{-3}$	$4.391 \cdot 10^{-3}$	$4.163 \cdot 10^{-3}$...

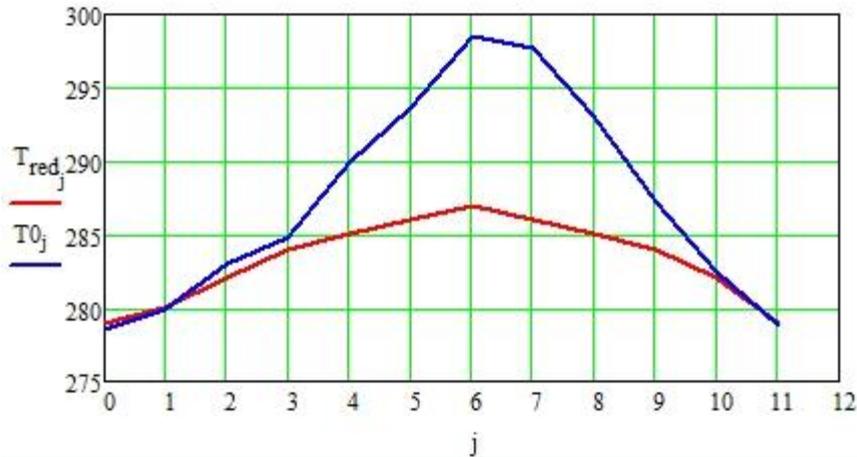
4. Temperatura de la red (**Tred**)

$$T_{red} := DATA^{(3)} \cdot K + 273K$$

5. Temperatura ambiente (**T0**)

$$T0 := \text{for } i \in 0..11$$

$$T0_i \leftarrow \text{mean} \left[\left(T_{meses}^T \right)^{(i)} \right]$$



6. Densidad de los fluidos

$$\rho_{\text{agua}} = 1 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{glicol}} := 1110 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{aguaglicol}} := \rho_{\text{agua}}^{0.67} + \rho_{\text{glicol}}^{0.33}$$

7. Calor específico de los fluidos

$$Cp_{\text{glicol}} := 2415 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$Cp_{\text{agua}} := 4187 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$Cp_{\text{aguaglicol}} := Cp_{\text{glicol}} \cdot 0.33 + Cp_{\text{agua}} \cdot 0.67$$

8. Temperatura de suministro (Tsum) CTE

$$T_{\text{sum}} := 60\text{K} + 273\text{K}$$

CTE

9. Contribución solar mínima anual: (f) CTE

$$f := 0.6$$

Aporte de calor: (Qcons)

$$Q_{\text{cons}} := \overrightarrow{m_{\text{cons}} \cdot Cp_{\text{agua}} \cdot (T_{\text{sum}} - T_{\text{red}})}$$

$Q_{\text{cons}}^T =$	0	1	2	3	4	5	W
	0	$1.362 \cdot 10^3$	$1.147 \cdot 10^3$	937.638	854.108	733.534	

Grado de estratificación del tanque:

$$Et := 0.5$$

Definido como: $(T_{\text{cons}} - T_t) / (T_{\text{ico}} - T_t)$

Hasta aquí la única duda o incógnita es la temperatura de entrada en colectores, sin la que no se puede calcular el rendimiento del colector.

Parámetros variables:

Caudal en el primario (m1)

Caudal en el secundario (m2)

$$A_{\text{col}} = 0.5 \cdot N^{\circ} \text{ persona}$$

$$n_{\text{persona}} := 8$$

$$A_{\text{col}} := 0.5 \text{ m}^2 \cdot n_{\text{persona}}$$

$$A_{\text{col}} := 2.5 \text{ m}^2$$

$$m1 := 100 \cdot \frac{\text{L}}{\text{hr}} \cdot \frac{1}{2.5 \cdot \text{m}^2} \cdot \rho_{\text{aguaglicol}} \cdot A_{\text{col}}$$

$$C1 := m1 \cdot C_{p_{\text{aguaglicol}}}$$

Gasto másico del secundario:

$$m2 := m1$$

$$C2 := m2 \cdot C_{p_{\text{agua}}}$$

$$C_{\text{min}} := \min(C1, C2)$$

Incógnitas

Temperatura de entrada en colectores (**Tci**)

Temperatura de salida de colectores (**Tco**)

Temperatura de entrada al tanque (**Tici**)

Temperatura de salida del tanque (**Tico**)

Temperatura de consumo (**Tcons**)

Temperatura media del tanque (**Tt**)

Área de colectores (**A**)

$$i := 0..11$$

valores iniciales de las variables

$$T_{ci_1} := 40 \cdot \text{K} + 273.15 \cdot \text{K}$$

$$T_{ci_1} := 80 \cdot \text{K} + 273.15 \cdot \text{K}$$

$$T_{co_1} := 90 \cdot \text{K} + 273.15 \cdot \text{K}$$

$$T_{ico_1} := 80 \cdot \text{K} + 273.15 \cdot \text{K}$$

$$T_{cons_1} := 45 \cdot \text{K} + 273.15 \cdot \text{K}$$

$$A_{\text{col}} = 2.5 \text{ m}^2$$

$$T_t := \frac{T_{ico} + T_{red}}{2}$$

Fracción solar estimada:

$$f_i := 0.6$$

Dado

$$[C1 \cdot (T_{co} - T_{ci})] = \left[H_{\text{solar}} W_T \cdot A_{\text{col}} \cdot \left[a_0 - \frac{T_{ci} + T_{co} - T_0}{H_{\text{solar}} W_T} \cdot a_1 - a_2 \cdot \left(\frac{T_{ci} + T_{co} - T_0}{H_{\text{solar}} W_T} \right)^2 \right] \cdot H_{\text{solar}} W_T \right]$$

$$[C1 \cdot (T_{co} - T_{ci})] = [C2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})]$$

$$\epsilon_{IC} = \frac{C2 \cdot (Tico - Tci)}{Cmin \cdot (Tco - Tci)}$$

$$[C2 \cdot (Tico - Tci)] = [m_{cons} \cdot Cp_{agua} \cdot (Tcons - T_{red})]$$

$$f = \frac{Tcons - T_{red}}{Tsum - T_{red}}$$

$$Et = \frac{Tcons - Tt}{Tico - Tt}$$

$$Tt = \frac{Tico \cdot m2 + T_{red} \cdot m_{cons}}{m2 + m_{cons}}$$

$$\begin{pmatrix} \text{var1} \\ \text{var2} \\ \text{var3} \\ \text{var4} \\ \text{var5} \\ \text{var6} \\ \text{var7} \end{pmatrix} := \text{Minerr}(Tici, Tci, Tco, Tico, Tcons, Tt, f)$$

$$\begin{array}{llllll} Tici := \text{var1} & Tci := \text{var2} & Tco := \text{var3} & Tico := \text{var4} & Tcons := \text{var5} & Tt := \text{var6} \\ f := \text{var7} & \epsilon_{IC} = 0.7 & Et = 0.5 & & & \end{array}$$

$$Acol = 2.5 \text{ m}^2$$

$$\eta_c := \left[a_0 - \frac{Tci - T_0}{HsolarW_T} \cdot a_1 - a_2 \cdot \left(\frac{Tci - T_0}{HsolarW_T} \right)^2 \cdot HsolarW_T \right]$$

$$Qcol := [C1 \cdot (Tco - Tci)]$$

	0		0		0		0								
	0	292.366		0	296.061		0	299.782							
	1	296.34		1	300.025		1	303.738							
	2	307.842		2	312.589		2	317.371							
	3	307.578		3	311.637		3	315.725							
	4	314.491		4	318.829		4	323.198							
Tici =	5	318.802	K	Tci =	5	323.299	K	Tco =	5	333.793	K	Tico =	5	327.83	K
	6	325.805		6	330.511		6	341.491		6	341.491		6	335.252	
	7	327.327		7	332.016		7	342.957		7	342.957		7	336.74	
	8	317.875		8	322.822		8	334.366		8	334.366		8	327.806	
	9	308.102		9	312.448		9	322.589		9	322.589		9	316.827	
	10	297.797		10	301.43		10	309.906		10	309.906		10	305.09	
	11	290.772		11	293.93		11	301.299		11	301.299		11	297.112	

		0			0			0		
Tcons =	0	296.716	K	Tt =	0	293.65	K	$\eta_c =$	0	0.628
	1	300.602			1	297.466			1	0.604
	2	313.237			2	309.103			2	0.577
	3	312.166			3	308.608			3	0.568
	4	319.335			4	315.471			4	0.566
	5	323.798			5	319.765			5	0.567
	6	330.986			6	326.721			6	0.56
	7	332.466			7	328.193			7	0.545
	8	323.409			8	319.012			8	0.583
	9	313.034			9	309.242			9	0.591
	10	302.006			10	298.921			10	0.612
	11	294.481			11	291.85			11	0.628

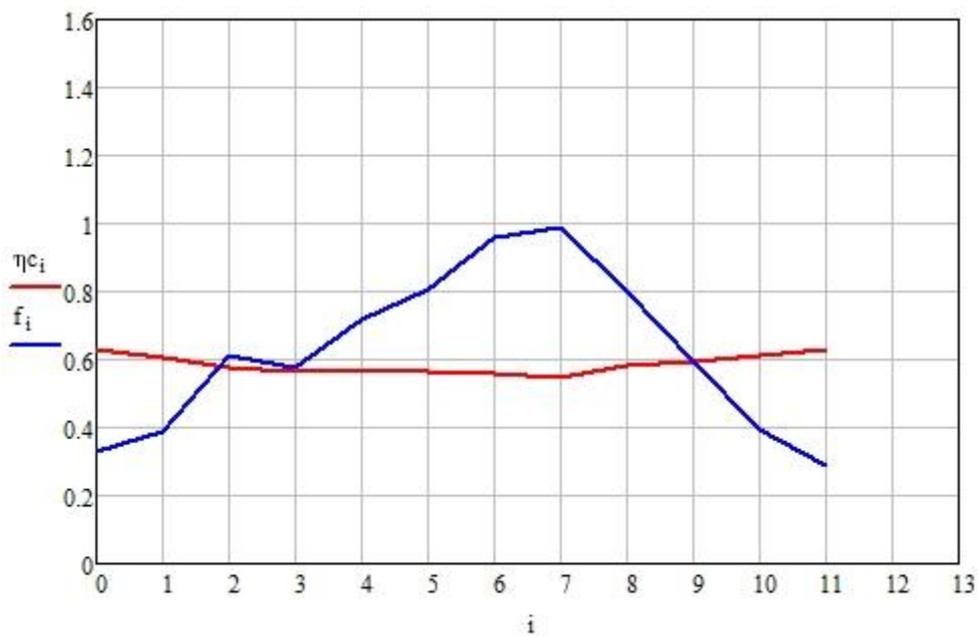
mean(η_c) = 0.586

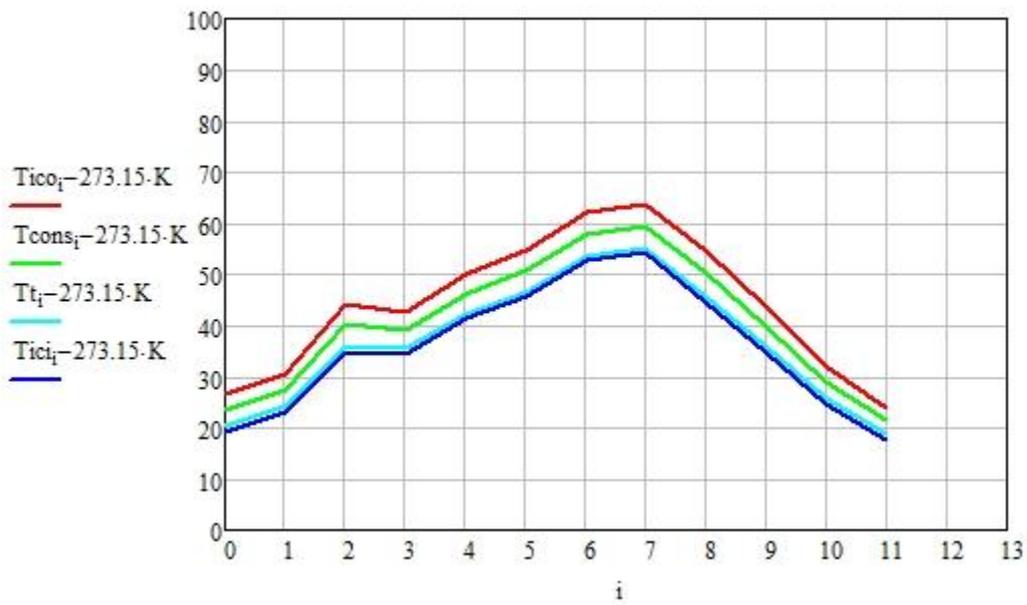
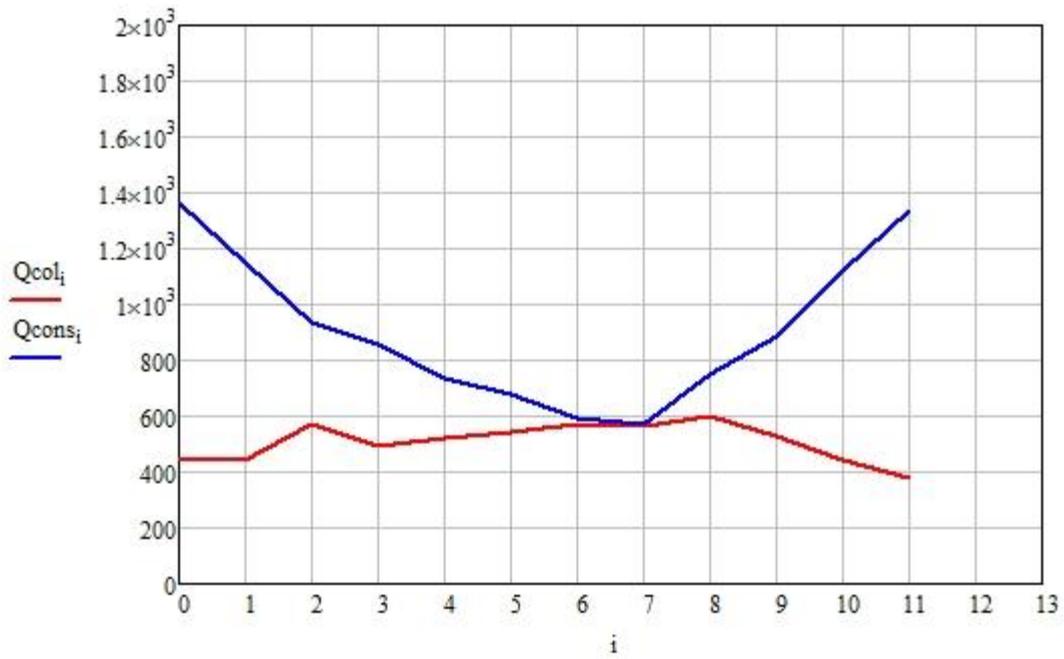
mean(Qcol) = 509.088 W

mean(f) = 0.62

$$f_{\text{medio}} := \frac{\sum_{i=0}^{11} Q_{\text{col}_i}}{\sum_{i=0}^{11} Q_{\text{cons}_i}}$$

$f_{\text{medio}} = 0.557$





6.- Comprobaciones:

$$[C1 \cdot (T_{co} - T_{ci})] - \left[H_{solar} W_T \cdot A_{col} \cdot \left[a_0 - \frac{T_{ci} + T_{co} - T_0}{H_{solar} W_T} \cdot a_1 - a_2 \cdot \left(\frac{T_{ci} + T_{co} - T_0}{H_{solar} W_T} \right)^2 \right] \cdot H_{solar} W_T \right] =$$

	0
0	-2.444·10 ⁻¹²
1	0
2	-1.023·10 ⁻¹²
3	-6.821·10 ⁻¹³
4	-3.411·10 ⁻¹³
5	-1.364·10 ⁻¹²
6	1.592·10 ⁻¹²
7	-4.547·10 ⁻¹³
8	-1.023·10 ⁻¹²
9	-1.137·10 ⁻¹³
10	-1.137·10 ⁻¹³
11	-1.364·10 ⁻¹²

$$\left[\epsilon_{IC} - \frac{C2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot (T_{co} - T_{ci})} \right] =$$

	0
0	0
1	-2.887·10 ⁻¹⁵
2	0
3	0
4	-1.554·10 ⁻¹⁵
5	-2.109·10 ⁻¹⁵
6	0
7	0
8	0
9	-1.221·10 ⁻¹⁵
10	-1.332·10 ⁻¹⁵
11	3.098·10 ⁻¹⁴

$$\left(f - \frac{T_{cons} - T_{red}}{T_{sum} - T_{red}} \right) =$$

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0

$$[C1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) - C2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})] =$$

	0
0	-1.137·10 ⁻¹²
1	-6.253·10 ⁻¹³
2	-1.478·10 ⁻¹²
3	1.592·10 ⁻¹²
4	-2.046·10 ⁻¹²
5	-1.251·10 ⁻¹²
6	1.137·10 ⁻¹³
7	-2.274·10 ⁻¹³
8	6.821·10 ⁻¹³
9	-1.819·10 ⁻¹²
10	-1.421·10 ⁻¹²
11	-5.116·10 ⁻¹³

$$\left[C2 \cdot (Tico - Tici) - m_{\text{cons}} \cdot C_{p\text{agua}} \cdot (T_{\text{cons}} - T_{\text{red}}) \right] =$$

	0
0	$-2.274 \cdot 10^{-13}$
1	$6.253 \cdot 10^{-13}$
2	$2.274 \cdot 10^{-13}$
3	$-1.307 \cdot 10^{-12}$
4	$2.16 \cdot 10^{-12}$
5	$4.547 \cdot 10^{-13}$
6	$1.478 \cdot 10^{-12}$
7	$-1.023 \cdot 10^{-12}$
8	$-1.364 \cdot 10^{-12}$
9	$1.933 \cdot 10^{-12}$
10	$2.103 \cdot 10^{-12}$
11	$-2.274 \cdot 10^{-13}$

W

$$\left(Et - \frac{T_{\text{cons}} - T_t}{Tico - T_t} \right) =$$

	0
0	$4.607 \cdot 10^{-15}$
1	0
2	$-3.442 \cdot 10^{-15}$
3	$3.997 \cdot 10^{-15}$
4	$3.664 \cdot 10^{-15}$
5	0
6	$3.331 \cdot 10^{-15}$
7	0
8	$-3.22 \cdot 10^{-15}$
9	0
10	$4.607 \cdot 10^{-15}$
11	$3.242 \cdot 10^{-14}$

$$\left(Tt - \frac{Tico \cdot m2 + T_{\text{red}} \cdot m_{\text{cons}}}{m2 + m_{\text{cons}}} \right) =$$

	0
0	0
1	$-5.684 \cdot 10^{-14}$
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	$-5.684 \cdot 10^{-14}$
10	$5.684 \cdot 10^{-14}$
11	0

K

2.2.- HOJA B – Cálculo de las pérdidas en el colector mediante resistencia térmicas, para la llamada OPCIÓN 1. Inclinación 40.45° y azimut = 0°

Referencia: H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\ACS\Irradiacion_panel_EDN_ASH
 DATA :-



..\..\Datos_ACS_anual.xls

Props_a :-



..\..\Exceles\Propiedades del aire.xls

velocidad :-



....\Velocidad_y_Direccion_viento.xls

Props_w :=



..\..\Exc...\Propiedades del agua.xls

$$Acol := 2.5m^2$$

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

Radiación sobre el plano horizontal:

Hsolar := for i ∈ 0..11

$$Hsolar_i \leftarrow \sum (radi^T)^{i}$$

$$\sum (radi^T)^{i} = 1.981 \times 10^3 \frac{kg}{s^3}$$

$$HsolarW := \frac{Hsolar}{\frac{DD}{hr}}$$

HsolarW ^T		0	1	2	3	4	5	
	0	7.525·10 ⁵	9.261·10 ⁵	1.356·10 ⁶	1.405·10 ⁶	1.64·10 ⁶	...	$\frac{W}{m^2 \cdot hr}$

Radiación sobre plano inclinado:

HsolarW_T := for i ∈ 0..11

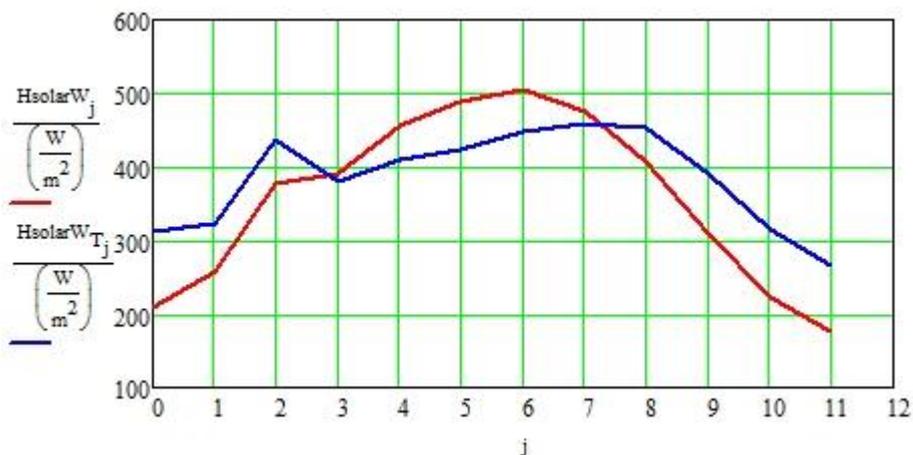
$$HsolarW_i \leftarrow \sum (I_T^T)^{i}$$

$$\sum (I_T^T)^{i} = 2.949 \times 10^3 \frac{W}{m^2}$$

$$HsolarW_T := \frac{HsolarW_T}{\frac{DD}{hr}}$$

HsolarW _T ^T		0	1	2	3	4	5	6	
	0	311.14	323.081	438.148	380.343	408.491	422.697	...	$\frac{W}{m^2}$

j := 0..11



```

T0 := for i ∈ 0..11
    T0_i ← mean[(Tmeses T)^(i)]

u_viento := velocidad ·  $\frac{m}{s}$ 

ρ_agua := 1000  $\frac{kg}{m^3}$ 

ρ_glicol := 1110  $\frac{kg}{m^3}$ 

Cp_glicol := 2415  $\frac{J}{kg \cdot K}$ 

Cp_agua := 4187  $\frac{J}{kg \cdot K}$ 

ρ_aguaglicol := ρ_agua^0.67 + ρ_glicol^0.33

Cp_aguaglicol := Cp_glicol^0.33 + Cp_agua^0.67

```

Valores iniciales de temperaturas para el cálculo:

```

T_cielo :=  $\left[ 0.037536 \left( \frac{T0}{K} \right)^{1.5} + 0.32 \frac{T0}{K} \right] \cdot K$ 

T_caja :=  $\left( 1.021 \frac{T0}{K} - 1.762 \right) \cdot K$ 

T_cristal := 1.042 \cdot T0 - 2.34K

```

El valor de la temperatura media del agua lo calculo a partir del rendimiento de la curva de normalización del fabricante, lo sacamos de otra hoja de Mathcad:

300.657	297.055	304.26	0.6	285.342
304.608	301.031	308.185	0.574	287.538
318.703	314.088	323.318	0.546	294.164
316.745	312.82	320.669	0.535	293.984
324.416	320.223	328.61	0.532	300.216
329.171	324.822	333.519	0.533	303.844
336.766	332.219	341.314	0.526	308.921
338.259	333.735	342.784	0.511	308.402
329.366	324.562	334.17	0.551	303.536
318.014	313.795	322.234	0.56	297.42
305.957	302.427	309.486	0.582	289.869
297.824	294.752	300.896	0.6	284.415

```

μ_w := linterp [ Props_w^(0) K, (Props_w^(2))  $\frac{N \cdot s}{m^2}$ , T_agua - 273K ]
ρ_w := linterp [ Props_w^(0) K, (Props_w^(7))  $\frac{kg}{m^3}$ , T_agua - 273K ]

```

$$C_{p_w} := \text{linterp} \left[\text{Props}_w \langle 0 \rangle \text{ K}, \left(\text{Props}_w \langle 9 \rangle \right) \cdot 10^3 \frac{\text{joule}}{\text{kg} \cdot \text{K}}, T_{\text{agua}} - 273 \text{ K} \right]$$

$$k_w := \text{linterp} \left[\text{Props}_w \langle 0 \rangle \text{ K}, \left(\text{Props}_w \langle 11 \rangle \right) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}, T_{\text{agua}} - 273 \text{ K} \right]$$

2.1. Resistencia de conducción de los tubos de la placa del absorbedor R_{c_t}

$$D_{\text{ext}} := 10 \text{ mm}$$

$$D_{\text{int}} := 8 \text{ mm}$$

$$R_{\text{abs}} := 0.012 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$L_{\text{tub}} := \frac{965 \text{ mm} \cdot 22}{2 \text{ m}^2} \cdot \text{Acol}$$

$$k_{\text{tub}} := 401 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$R_{c_t} := \frac{\ln \left(\frac{D_{\text{ext}}}{D_{\text{int}}} \right)}{2\pi \cdot L_{\text{tub}} \cdot k_{\text{tub}}}$$

$$R_{c_t} = 3.337 \times 10^{-6} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

2.2. Resistencia de **convección interior** del fluido Ragua La velocidad del agua por el interior de los tubos, será función de si se trabaja o no, con el gasto nominal.

$$A_{\text{tubo_int}} := \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{int}}}{4} \right)^2$$

$$U_w := \frac{\text{gasto}}{\rho_w \cdot A_{\text{tubo_int}}}$$

$$Pr_w := \frac{\mu_w \cdot C_{p_w}}{k_w}$$

$$Re_w := \frac{\rho_w \cdot U_w \cdot D_{\text{int}}}{\mu_w}$$

$$Nu_w := \left(0.023 \cdot Re_w^{\frac{4}{5}} \cdot Pr_w^{0.4} \right)$$

$$A_{\text{tubo_long}} := \pi \cdot D_{\text{ext}} \cdot L_{\text{tub}}$$

$$h_w := \frac{Nu_w \cdot k_w}{D_{\text{int}}}$$

$$R_{t_w} := \frac{1}{h_w \cdot A_{\text{tubo_long}}}$$

T_0^T		0	1	2	3	4	5	6	K
	0	278.554	279.896	283.029	284.738	289.913	293.617	...	

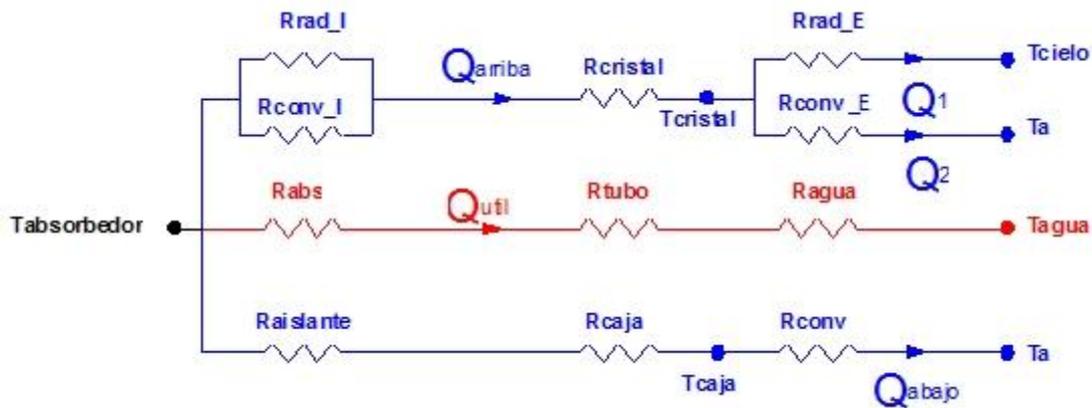
T_{cielo}^T		0	1	2	3	4	5	6	K
	0	263.644	265.336	269.298	271.466	278.06	282.808	...	

T_{cristal}	T	0	1	2	3	4	5	6	K
		0	287.913	289.311	292.576	294.356	299.749	303.609	...

T_{caja}	T	0	1	2	3	4	5	6	K
		0	282.642	284.012	287.211	288.955	294.239	298.021	...

T_{agua}	T	0	1	2	3	4	5	6	K
		0	300.657	304.608	318.703	316.745	324.416	329.171	...

Ahora se calcula la temperatura de la placa absorbadora, para ello se usa el valor de la resistencia de la rama util entre agua y placa:



$$T_{\text{abs}} := \overline{[H_{\text{solar}} W_T A_{\text{col}} \eta_{\text{CN}} (R_{c,t} + R_{t,w} + R_{\text{abs}})]} + T_{\text{agua}}$$

T_{abs}	T	0	1	2	3	4	5	6	K
		0	306.55	310.451	326.198	323.124	331.212	336.207	...

$$T_{\text{placa}} := T_{\text{abs}}$$

$$T_{\text{placa}} := T_{\text{abs}}$$

T_{placa}	T	0	1	2	3	4	5	6	K
		0	310.163	314.457	332.407	328.297	337.562	343.106	351.829
									353.322
									344.549
									330.892
									315.81
									305.845

En un a primera aproximación, para calcular la temperatura de abajo del cristal, se calcula la a través de la pérdida de calor en la parte superior del cristal:

1.4. Resistencia de conducción en la cubierta de vidrio R_{c_cub}

$$e_{cub} := 4\text{mm}$$

$$k_{cub} := 0.9 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

$$R_{c_cub} := \frac{e_{cub}}{k_{cub} \cdot (A_{col})}$$

1.5. Resistencia debido a la incidencia del sol en la cubierta de vidrio q absorbe la radiacion comprendida entre 0.3 y 3 micro metros... **Rrad_e**

$$\epsilon_{cristal} := 0.90$$

$$R_{rad_e} := \frac{1}{\epsilon_{cristal} \cdot \sigma \cdot (T_{cristal}^2 + T_{cielo}^2) \cdot (T_{cielo} + T_{cristal}) \cdot (A_{col})}$$

$R_{rad_e} \cdot T$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$\frac{\text{K}}{\text{W}}$
	0	0.093	0.092	0.088	0.086	0.081	0.078	0.073	0.074	...

$$\mu_{aire_ext} := \text{linterp} \left[\text{Props_a} \langle 0 \rangle \text{K}, \left(\text{Props_a} \langle 3 \rangle \right) \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}, T0 \right]$$

$$\rho_{aire_ext} := \text{linterp} \left[\text{Props_a} \langle 0 \rangle \text{K}, \left(\frac{1}{\text{Props_a} \langle 1 \rangle} \right) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, T0 \right]$$

$$C_{p_aire_ext} := \text{linterp} \left[\text{Props_a} \langle 0 \rangle \text{K}, \left(\text{Props_a} \langle 2 \rangle \right) \cdot 10^3 \frac{\text{joule}}{\text{kg}\cdot\text{K}}, T0 \right]$$

$$k_{aire_ext} := \text{linterp} \left[\text{Props_a} \langle 0 \rangle \text{K}, \left(\text{Props_a} \langle 5 \rangle \right) \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}, T0 \right]$$

1.6. Resistencia debido a la **convección forzada externa** sobre el cristal de los colectores

Rce. La dirección predominante del viento es la norte, por tanto, la correlacion a usar será la paralela al colector.

$$L_{c_{ce}} := 0.876\text{m}$$

$$Re_{ce} := \frac{\rho_{aire_ext} \cdot u_{viento} \cdot L_{c_{ce}}}{\mu_{aire_ext}}$$

$$Pr_{ce} := \frac{1007 \frac{\text{joule}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot \mu_{aire_ext}}{k_{aire_ext}}$$

$$Nu_{ce} := \left(3.846 \cdot Re_{ce}^{0.325} \cdot Pr_{ce}^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$h_{e_{ce}} := \frac{Nu_{ce} \cdot k_{aire_ext}}{L_{c_{ce}}}$$

$$R_{ce} := \frac{1}{h_{e_{ce}} \cdot (A_{col})}$$

$R_{ce} \cdot T$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$\frac{\text{K}}{\text{W}}$
	0	0.092	0.097	0.095	0.086	0.104	0.098	0.09	0.086	...

$$T_{cristal_abajo} := \left[\frac{T_{cristal} - T_{cielo}}{R_{rad_e}} + \left(\frac{T_{cristal} - T0}{R_{ce}} \right) \right] \cdot R_{c_cub} + T_{cristal}$$

$T_{\text{cristal_abajo}}$	T	0	1	2	3	4	5	6	K
		0	288.557	289.949	293.224	295.026	300.392	304.266	...

T_{cristal}	T	0	1	2	3	4	5	6	K
		0	287.913	289.311	292.576	294.356	299.749	303.609	...

$$T_{\text{m}} := \frac{T_{\text{cristal_abajo}} + T_{\text{placa}}}{2}$$

T	K
298.02	
301.278	
313.639	
311.464	
319.217	
323.805	
330.715	
331.215	
324.385	
314.463	
303.106	
295.368	

$$\nu := \text{linterp} \left[\text{Props_a} \left(\begin{matrix} 0 \\ K \end{matrix} \right), \left(\text{Props_a} \left(\begin{matrix} 4 \\ \frac{m^2}{s} \end{matrix} \right) \right), T \right]$$

$$\alpha := \text{linterp} \left[\text{Props_a} \left(\begin{matrix} 0 \\ K \end{matrix} \right), \left(\text{Props_a} \left(\begin{matrix} 6 \\ \frac{m^2}{s} \end{matrix} \right) \right), T \right]$$

$$k_{\text{aire}} := \text{linterp} \left[\text{Props_a} \left(\begin{matrix} 0 \\ K \end{matrix} \right), \left(\text{Props_a} \left(\begin{matrix} 5 \\ \frac{W}{m \cdot K} \end{matrix} \right) \right), T \right]$$

$$m1 := 100 \cdot \frac{L}{\text{hr}} \cdot \frac{1}{2.5 \cdot m^2} \cdot \rho_{\text{aguaglicol}} \cdot A_{\text{col}}$$

$$m1 := m1 \cdot 0.5$$

$$C1 := m1 \cdot C_{p_{\text{aguaglicol}}}$$

Gasto másico del secundario:

$$m2 := m1$$

$$C2 := m2 \cdot C_{p_{\text{agua}}}$$

$$C_{\text{min}} := \min(C1, C2)$$

Datos que dependen del colector

1. Parte superior del colector

1.1. Resistencia en la placa del absorbedor

$$R_{\text{absor}} := 0.012 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$n_{\text{col}} := \frac{A_{\text{col}}}{A}$$

1.2. Resistencia de radiación entre la placa-absorbedor y la cubierta de vidrio R_{rad_I}

$$\epsilon_{\text{IR_cristal}} := 0.1$$

$$\epsilon_{\text{IR_placa}} := 0.1$$

$$R_{\text{rad}_I} := \frac{\epsilon_{\text{IR_cristal}} + \epsilon_{\text{IR_placa}} - \epsilon_{\text{IR_cristal}} \cdot \epsilon_{\text{IR_placa}}}{\epsilon_{\text{IR_cristal}} \cdot \epsilon_{\text{IR_placa}} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{placa}}^2 + T_{\text{cristal_abajo}}^2) \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{cristal_abajo}}) \cdot A_{\text{col}}}$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$\frac{\text{K}}{\text{W}}$
	0	1.271	1.237	1.125	1.133	1.061	1.018	0.958	0.955	...

1.3. Resistencia por **conveccion libre** en el interior del colector (entre placa y caja del colector) debido al calentamiento del aire por la radiacion solar.

$$L_c := 2.6 \text{ cm}$$

$$T_{\text{av}} := \frac{T_{\text{placa}} + T_{\text{cristal_abajo}}}{2}$$

$$\beta_s := \frac{1}{T}$$

$$Ra := \frac{g \cdot \beta_s \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal_abajo}}) \cdot L_c^3}{\alpha \cdot \nu}$$

$$Nu_{\text{cl}} := \left(4.328 \cdot 10^{-10} \cdot Ra^2 - 1.478 \cdot 10^{-6} \cdot Ra + 1.001 \right)$$

$$h_{\text{cl}} := \frac{Nu_{\text{cl}} \cdot k_{\text{aire}}}{L_c}$$

$$R_{\text{cl}} := \frac{1}{h_{\text{cl}} \cdot A_{\text{col}}}$$

	0	1	2	3	4	5	
	0	$2.903 \cdot 10^4$	$3.147 \cdot 10^4$	$4.408 \cdot 10^4$	$3.791 \cdot 10^4$	$3.785 \cdot 10^4$...

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
	0	1.323	1.383	1.777	1.567	1.565	1.537	1.533	1.607	...

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$\frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}^2}$
	0	1.323	1.395	1.841	1.62	1.649	1.639	1.665	1.746	...

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$\frac{\text{K}}{\text{W}}$
	0	0.302	0.287	0.217	0.247	0.243	0.244	0.24	0.229	...

1.4. Resistencia de conduccion en la cubierta de vidrio $R_{\text{c_cub}}$

$$e_{\text{cub}} := 4 \text{ mm}$$

$$k_{cub} := 0.9 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$R_{c_cub} := \frac{e_{cub}}{k_{cub} \cdot (A_{col})}$$

1.5. Resistencia debido a la incidencia del sol en la cubierta de vidrio q absorbe la radiacion comprendida entre 0.3 y 3 micro metros... **Rrad_e**

$$\epsilon_{cristal} := 0.90$$

$$R_{rad_e} := \frac{1}{\epsilon_{cristal} \cdot \sigma \cdot (T_{cristal}^2 + T_{cielo}^2) \cdot (T_{cielo} + T_{cristal}) \cdot (A_{col})}$$

R_{rad_e}	T	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$\frac{K}{W}$	
		0	0.093	0.092	0.088	0.086	0.081	0.078	0.073	0.074	...	

1.6. Resistencia debido a la **convección forzada externa** sobre el cristal de los colectores **Rce**. La dirección predominante del viento es la norte, por tanto, la correlacion a usar será la paralela al colector.

$$L_{c_ce} := 0.876m$$

$$Re := \frac{\rho_{aire_ext} \cdot u_{viento} \cdot L_{c_ce}}{\mu_{aire_ext}}$$

$$Pr := \frac{1007 \frac{joule}{kg \cdot K} \cdot \mu_{aire_ext}}{k_{aire_ext}}$$

$$Nu_{ce} := \left(3.846 \cdot Re_{ce}^{0.325} \cdot Pr_{ce}^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$h_{ce} := \frac{Nu_{ce} \cdot k_{aire_ext}}{L_{c_ce}}$$

$$R_{ce} := \frac{1}{h_{ce} \cdot (A_{col})}$$

R_{ce}	T	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$\frac{K \cdot s^3}{m^2 \cdot kg}$	
		0	0.092	0.097	0.095	0.086	0.104	0.098	0.09	0.086	...	

2. Tubos-agua del colector

2.1. Resistencia de conducción de los tubos de la placa del absorbedor **Rc_t**

$$D_{ext} := 10mm$$

$$D_{int} := 8mm$$

$$k_{tubo} := 401 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$L_{tubo} := \frac{965mm \cdot 22}{2m^2} \cdot A_{col}$$

$$R_{\text{tubo}} := \frac{\ln\left(\frac{D_{\text{ext}}}{D_{\text{int}}}\right)}{2\pi \cdot L_{\text{tubo}} \cdot k_{\text{tubo}}}$$

$$R_{\text{c}_t} = 3.337 \times 10^{-6} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

2.2. Resistencia de **convección interior** del fluido Ragua

La velocidad del agua por el interior de los tubos, será función de si se trabaja o no, con el gasto nominal.

$$A_{\text{tubo_int}} := \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{ext}}^2 - D_{\text{int}}^2}{4} \right)$$

$$\text{gasto} := 50 \frac{\text{l}}{\text{hr}} \cdot \rho_{\text{w}}$$

$$U_{\text{w}} := \frac{\text{gasto}}{\rho_{\text{w}} \cdot A_{\text{tubo_int}}}$$

$$\text{Pr}_{\text{w}} := \frac{\mu_{\text{w}} \cdot C_{\text{p}_{\text{w}}}}{k_{\text{w}}}$$

$$\text{Re}_{\text{w}} := \frac{\rho_{\text{w}} \cdot U_{\text{w}} \cdot D_{\text{int}}}{\mu_{\text{w}}}$$

$$\text{Nu}_{\text{w}} := \left(0.023 \cdot \text{Re}_{\text{w}}^{\frac{4}{5}} \cdot \text{Pr}_{\text{w}}^{0.4} \right)$$

$$A_{\text{tubo_long}} := \pi \cdot D_{\text{ext}} \cdot L_{\text{tubo}}$$

$$h_{\text{w}} := \frac{\text{Nu}_{\text{w}} \cdot k_{\text{w}}}{D_{\text{int}}}$$

$$R_{\text{f}_w} := \frac{1}{h_{\text{w}} \cdot A_{\text{tubo_long}}}$$

"Art without engineering is dreaming; Engineering without art is calculating."

3. Parte inferior del colector

3.1. Resistencia de conducción del aislante **Rc_ais**

$$A = 2 \text{ m}^2$$

$$e_{\text{ais}} = 5 \text{ cm}$$

$$k_{\text{ais}} = 0.027 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$R_{\text{c}_\text{ais}} := \frac{e_{\text{ais}}}{k_{\text{ais}} \cdot (A_{\text{col}})} = 0.741 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

3.2. Resistencia de conducción de la caja del colector **Rc_caja**

$$A_{\text{caja}} = 2.5 \text{ m}^2$$

$$e_{caja} = 3 \text{ mm}$$

$$k_{caja} = 237 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

$$R_{c_caja} := \frac{e_{caja}}{k_{caja} \cdot A_{caja}} = 5.063 \times 10^{-6} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

3.3. Resistencia de conveccion de la parte posterior del colector **Rc_caja**

$$L_{c_{ce}} = 0.876 \text{ m}$$

$$Re_{cp} := \frac{\rho_{aire_ext} \cdot v_{viento} \cdot L_{c_{ce}}}{\mu_{aire_ext}}$$

$$Pr_{cp} := \frac{1007 \frac{\text{joule}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot \mu_{aire_ext}}{k_{aire_ext}}$$

$$Nu_{cp} := \left(0.135 \cdot Re_{cp}^{0.709} \cdot Pr_{cp}^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$h_{cp} := \frac{Nu_{cp} \cdot k_{aire_ext}}{L_{c_{ce}}}$$

$$R_{cp} := \left[\frac{1}{h_{cp} \cdot (A_{col})} \right]$$

R_{cp}^T	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$\frac{\text{K}}{\text{W}}$	
	0	0.029	0.033	0.032	0.026	0.04	0.036	0.031	0.027	...	

$$i := 0..11$$

$$q_{util_i} := 700 \text{ W}$$

$$q_{up_i} := 500 \text{ W}$$

$$q_{down_i} := 100 \text{ W}$$

Dado

$$(H_{solar} \cdot W_T \cdot A_{col} \cdot \eta_0) = (q_{util} + q_{up} + q_{down})$$

$$q_{util} = \frac{T_{placa} - T_{agua}}{R_{abs} + R_{tw} + R_{c_t}}$$

$$q_{up} = \left(\frac{T_{cristal} - T_{cielo}}{R_{rad_e}} + \frac{T_{cristal} - T_0}{R_{ce}} \right)$$

$$q_{up} = \frac{T_{placa} - T_{cristal_abajo}}{\frac{R_{rad_I} \cdot R_{cl}}{R_{rad_I} + R_{cl}}}$$

$$q_{\text{down}} = \frac{T_{\text{placa}} - T_0}{R_{c_{\text{ais}}} + R_{c_{\text{caja}}} + R_{c_{\text{cp}}}}$$

$$T_{\text{cristal_abajo}} = (q_{\text{up}} \cdot R_{c_{\text{cub}}} + T_{\text{cristal}})$$

$$\frac{T_{\text{placa}} - T_{\text{agua}}}{R_{\text{abs}} + R_{t_w} + R_{c_t}} = \frac{m_l \cdot C_{p_{\text{aguaglicol}}} \cdot (T_{\text{co}} - T_{\text{cl}})}{}$$

$$R_{\text{rad}_I} = \frac{\epsilon_{\text{IR_cristal}} + \epsilon_{\text{IR_placa}} - \epsilon_{\text{IR_cristal}} \epsilon_{\text{IR_placa}}}{\epsilon_{\text{IR_cristal}} \epsilon_{\text{IR_placa}} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{placa}}^2 + T_{\text{cristal_abajo}}^2) \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{cristal_abajo}}) \cdot \text{Acol}}$$

$$R_{\text{cl}} = \frac{1}{\left[4.328 \cdot 10^{-10} \left[\frac{\frac{1}{T} \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal_abajo}}) \cdot L_c^3}{\alpha \cdot \nu} \right]^2 - 1.478 \cdot 10^{-6} \frac{\frac{1}{T} \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal_abajo}}) \cdot L_c^3}{\alpha \cdot \nu} + 1.001 \right] \cdot k_{\text{aire}}} \quad (\text{Acol})$$

$$T_{\text{agua}} = \frac{T_{\text{cl}} + T_{\text{co}}}{2}$$

```
(var1)
(var2)
(var3)
(var4)
(var5)
(var6) := Miner(Tplaca, Tco, Tcristal, Tcristal_abajo, Rrad_I, Rcl, qutil, qup, qdown, Tagua)
(var7)
(var8)
(var9)
(var10)
```

```
Tcp := var2      Tplaca := var1      Tcristal := var3      Tcristal_abajo := var4      Rrad_I := var5
Rcl := var6      qutil := var7      qup := var8      qdown := var9      Tagua := var10
```

	0		0		0						
	0	35.435		0	145.31		0	436.868			
	1	38.805		1	159.957		1	442.555			
	2	55.143		2	238.527		2	576.054			
	3	49.683		3	206.235		3	499.062			
	4	52.684		4	217.245		4	540.924			
$q_{down} -$	5	54.696	w	$q_{up} -$	5	221.166	w	$q_{util} -$	5	563.191	w
	6	59.105		6	235.414		6	594.907		6	594.907
	7	62.482		7	253.614		7	595.824		7	595.824
	8	56.664		8	230.658		8	609.8		8	609.8
	9	46.112		9	194.933		9	534.398		9	534.398
	10	36.477		10	149.753		10	437.721		10	437.721
	11	30.1		11	123.226		11	373.85		11	373.85

$$\text{mean}(q_{util}) = 517.096w$$

	0		0		0						
	0	297.055		0	303.796		0	305.841			
	1	301.031		1	307.86		1	309.925			
	2	314.088		2	322.976		2	325.639			
	3	312.82		3	320.521		3	322.83			
	4	320.223		4	328.569		4	331.062			
$T_{ci} -$	5	324.822	K	$T_{co} -$	5	333.512	K	$T_{placa} -$	5	336.101	K
	6	332.219		6	341.398		6	344.124		6	344.124
	7	333.735		7	342.929		7	345.657		7	345.657
	8	324.562		8	333.971		8	336.774		8	336.774
	9	313.795		9	322.041		9	324.512		9	324.512
	10	302.427		10	309.181		10	311.221		10	311.221
	11	294.752		11	300.52		11	302.275		11	302.275

$$T_{\text{av}} = \frac{T_{placa} + T_{cristal_abajo}}{2}$$

		0			0			0			0				
T_{cristal}	-	0	277.879	$T_{\text{cristal_abajo}}$	-	0	278.137	T	-	0	291.989	T_{agua}			
		1	279.952			1	280.236			1	295.081			1	300.425
		2	286.819			2	287.243			2	306.441			2	304.445
		3	287.005			3	287.372			3	305.101			3	318.532
		4	293.158			4	293.545			4	312.303			4	316.67
		5	297.168			5	297.561			5	316.831			5	324.396
		6	302.865			6	303.283			6	323.704			6	329.167
		7	302.566			7	303.017			7	324.337			7	336.809
		8	296.875			8	297.285			8	317.029			8	338.332
		9	289.475			9	289.821			9	307.166			9	329.267
		10	282.101			10	282.368			10	296.794			10	317.918
		11	277.076			11	277.295			11	289.785			11	305.804
												11	297.636		

$$\eta := \frac{q_{\text{util}}}{H_{\text{solar}} W_T \text{Acol}}$$

		0			0			0			0				
η	-	0	0.562	η_{CN}	-	0	0.6	R_{cl}	-	0	0.222	$\frac{K}{W} R_{\text{rad_I}}$			
		1	0.548			1	0.574			1	0.216			1	1.343
		2	0.526			2	0.546			2	0.187			2	1.301
		3	0.525			3	0.535			3	0.201			3	1.16
		4	0.53			4	0.532			4	0.205			4	1.176
		5	0.533			5	0.533			5	0.209			5	1.096
		6	0.531			6	0.526			6	0.211			6	1.05
		7	0.519			7	0.511			7	0.211			7	0.984
		8	0.54			8	0.551			8	0.203			8	0.978
		9	0.547			9	0.56			9	0.205			9	1.048
		10	0.557			10	0.582			10	0.21			10	1.153
		11	0.563			11	0.6			11	0.227			11	1.279
												11	1.374		

$$\text{mean}(\eta_{\text{CN}}) = 0.554 \quad \text{mean}(\eta) = 0.54$$

Comprobación

$$H_{solar} W_T \cdot A_{col} \cdot \eta_0 - (q_{util} + q_{up} + q_{down}) =$$

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	$-1.137 \cdot 10^{-13}$
5	0
6	$-1.137 \cdot 10^{-13}$
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0

$$W \cdot q_{util} - \frac{T_{placa} - T_{agua}}{R_{abs} + R_{tw} + R_{c_t}} =$$

	0
0	$1.251 \cdot 10^{-12}$
1	$-1.705 \cdot 10^{-12}$
2	$1.592 \cdot 10^{-12}$
3	$1.705 \cdot 10^{-13}$
4	$1.251 \cdot 10^{-12}$
5	$1.819 \cdot 10^{-12}$
6	0
7	$-2.387 \cdot 10^{-12}$
8	$-2.16 \cdot 10^{-12}$
9	$-1.819 \cdot 10^{-12}$
10	$2.956 \cdot 10^{-12}$
11	$2.387 \cdot 10^{-12}$

$$q_{up} - \left(\frac{T_{cristal} - T_{cielo}}{R_{rad_e}} + \frac{T_{cristal} - T_0}{R_{ce}} \right) =$$

	0
0	$2.842 \cdot 10^{-14}$
1	$3.411 \cdot 10^{-13}$
2	$2.842 \cdot 10^{-13}$
3	$-4.832 \cdot 10^{-13}$
4	$-3.695 \cdot 10^{-13}$
5	$3.126 \cdot 10^{-13}$
6	$3.411 \cdot 10^{-13}$
7	$3.411 \cdot 10^{-13}$
8	$-2.842 \cdot 10^{-13}$
9	$2.558 \cdot 10^{-13}$
10	$5.116 \cdot 10^{-13}$
11	$-3.126 \cdot 10^{-13}$

$$W \cdot q_{up} - \frac{T_{placa} - T_{cristal_abajo}}{\frac{R_{rad_I} R_{cl}}{R_{rad_I} + R_{cl}}} =$$

	0
0	130.647
1	144.724
2	221.041
3	189.722
4	200.739
5	204.763
6	218.917
7	236.586
8	213.937
9	178.945
10	135.063
11	109.608

$$q_{down} - \frac{T_{placa} - T_0}{R_{c_ais} + R_{c_caja} + R_{cp}} =$$

	0
0	$3.553 \cdot 10^{-14}$
1	$-1.421 \cdot 10^{-14}$
2	$7.105 \cdot 10^{-15}$
3	$-2.132 \cdot 10^{-14}$
4	0
5	$2.132 \cdot 10^{-14}$
6	0
7	$-2.842 \cdot 10^{-14}$
8	$-2.842 \cdot 10^{-14}$
9	$-3.553 \cdot 10^{-14}$
10	$3.553 \cdot 10^{-14}$
11	$1.776 \cdot 10^{-14}$

$$W \cdot T_{cristal_abajo} - (q_{up} \cdot R_{c_cub} + T_{cristal}) =$$

	0
0	0
1	$5.684 \cdot 10^{-14}$
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	$5.684 \cdot 10^{-14}$
11	0

$$\frac{T_{placa} - T_{agua}}{R_{abs} + R_{tw} + R_{ct}} - ml \cdot Cp_{aguaglicol} (T_{co} - T_{ci}) =$$

	0
0	2.274·10 ⁻¹³
1	2.728·10 ⁻¹²
2	-3.297·10 ⁻¹²
3	1.137·10 ⁻¹²
4	-2.842·10 ⁻¹²
5	-2.615·10 ⁻¹²
6	-1.137·10 ⁻¹³
7	3.865·10 ⁻¹²
8	2.728·10 ⁻¹²
9	1.023·10 ⁻¹²
10	-1.137·10 ⁻¹²
11	-6.253·10 ⁻¹³

W

$$R_{rad_I} = \frac{\epsilon_{IR_cristal} + \epsilon_{IR_placa} - \epsilon_{IR_cristal} \cdot \epsilon_{IR_placa}}{\epsilon_{IR_cristal} \cdot \epsilon_{IR_placa} \cdot \sigma \cdot (T_{placa}^2 + T_{cristal_abajo}^2) \cdot (T_{placa} + T_{cristal_abajo}) \cdot A \cdot ncol}$$

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0

$\frac{K \cdot s^3}{m^2 \cdot kg}$

$$R_{cl} = \frac{1}{4.328 \cdot 10^{-10} \left[\frac{1}{\alpha \cdot \nu} \cdot (T_{placa} - T_{cristal_abajo}) \cdot Lc^3 \right]^2 - 1.478 \cdot 10^{-6} \left[\frac{1}{\alpha \cdot \nu} \cdot (T_{placa} - T_{cristal_abajo}) \cdot Lc^3 \right] + 1.001} \cdot k_{aire} \cdot (A \cdot ncol)$$

	0
0	3.883·10 ⁻³
1	3.52·10 ⁻³
2	2.117·10 ⁻³
3	2.593·10 ⁻³
4	2.184·10 ⁻³
5	2.06·10 ⁻³
6	1.765·10 ⁻³
7	1.575·10 ⁻³
8	2.062·10 ⁻³
9	2.576·10 ⁻³
10	3.595·10 ⁻³
11	4.214·10 ⁻³

$\frac{K \cdot s^3}{m^2 \cdot kg}$

	0	
	-5.684·10 ⁻¹⁴	
	-5.684·10 ⁻¹⁴	
	0	
	5.684·10 ⁻¹⁴	
	0	
$T_{\text{agua}} - \frac{T_{\text{ci}} + T_{\text{co}}}{2}$	0	K
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	5.684·10 ⁻¹⁴	

2.3. - HOJA C - Cálculo de las pérdidas en el colector (mediante resistencia térmicas) y de los parámetros de la instalación, para la llamada OPCIÓN 2. Inclinación 20° y azimut = 0°

$$\rho_{\text{agua}} := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{glicol}} := 1110 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{aguaglicol}} := \rho_{\text{agua}}^{0.67} + \rho_{\text{glicol}}^{0.33}$$

$$A_{\text{col}} := 2.5 \text{m}^2$$

Consideraciones

Angulo azimutal 0°

Inclinación: La del alero en la fachada norte (20deg)

Ambas se han incluido en la hoja de cálculo de la radiación solar

Datos de partida:

Radiación sobre el plano horizontal -> plano inclinado
 Rendiimiento del colector: Coeficientes de la curva de normalización (**a0,a1**)
 Eficiencia del intercambiador de calor (**Eic**)
 Caudal de consumo (**mcons**)
 Temperatura de la red (**Tred**)
 Temperatura ambiente (**T0**)
 Densidad de los fluidos
 Calor específico de los fluidos
 Temperatura de suministro (**Tsum**)
 Contribución solar mínima anual: (**f**)

DATA :=



..\..\Datos_ACS_anual.xls

Referencia:H:\PFC_programacion_Oklahoma_Granito\ACS\Iter\Inclinacion_20deg\Irradiacion_panel_EDN_ASHRAE_inclinacion_20deg.xmcd(R)

$$\left(I_T^T \right)_{11,0} = 272.266 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3}$$

$$H_T := \left(I_T^T \right)_{11,0}$$

Radiación sobre el plano horizontal:

Hsolar := for i ∈ 0.. 11

$$H_{\text{solar}_i} \leftarrow \sum \left(\text{radi}^T \right)^{\langle i \rangle}$$

$$\sum \left(\text{radi}^T \right)^{\langle 0 \rangle} = 1.981 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3}$$

$$H_{solarW} := \frac{H_{solar}}{\frac{DD}{hr}}$$

$H_{solarW}^T =$		0	1	2	3	4	5	
	0	$7.525 \cdot 10^5$	$9.261 \cdot 10^5$	$1.356 \cdot 10^6$	$1.405 \cdot 10^6$	$1.64 \cdot 10^6$...	$s \cdot \frac{W}{m^2 \cdot hr}$

Radiación sobre plano inclinado:

$$H_{solarW_T} := \text{for } i \in 0..11$$

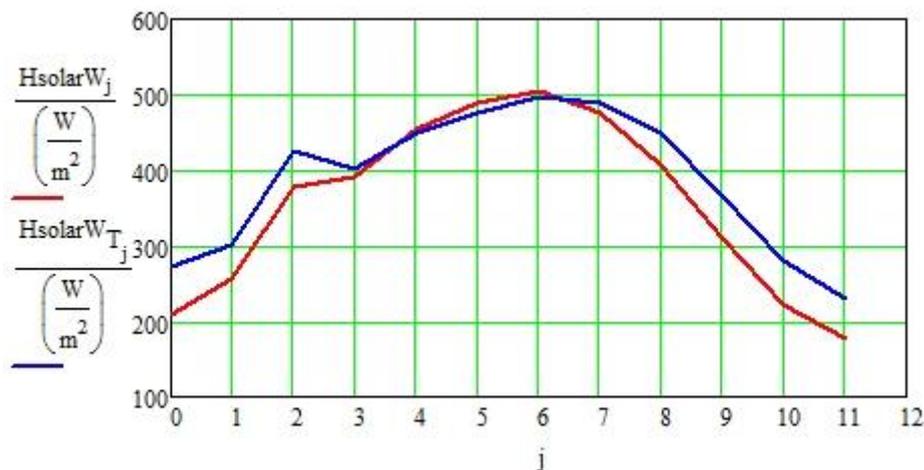
$$H_{solarW_i} \leftarrow \sum (I_T^T)^{<i>$$

$$\sum (I_T^T)^{<0>} = 2.569 \times 10^3 \cdot \frac{W}{m^2}$$

$$H_{solarW_T} := \frac{H_{solarW_T}}{\frac{DD}{hr}}$$

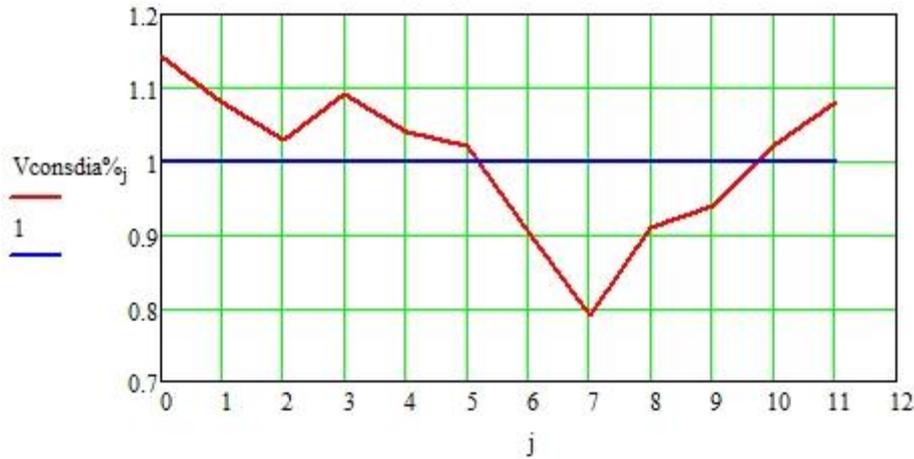
$H_{solarW_T}^T =$		0	1	2	3	4	5	6	
	0	271.062	301.898	425.284	400.723	450.183	474.99	...	$\frac{W}{m^2}$

$$j := 0..11$$



$$i := 1..rows(DATA)$$

$$V_{consdia\%} := DATA^{<i>$$



1. Rendimiento del colector: Coeficientes de la curva de normalización (a0,a1)

$$a0 := 0.83$$

$$a1 := 3.36 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$a2 := 0.013 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K^2}$$

2. Eficiencia del intercambiador de calor (Eic)

$$\epsilon_{IC} := 0.7$$

3. Caudal de consumo (mcons) CTE

$$V_{\text{consdia}} := 301.6$$

$$\rho_{\text{agua}} := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{cons}} := \frac{V_{\text{consdia}} \cdot V_{\text{consdia}}\% \cdot \rho_{\text{agua}}}{DD}$$

m_{cons}^T	0	1	2	3	4	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$
	0	$6.025 \cdot 10^{-3}$	$5.168 \cdot 10^{-3}$	$4.391 \cdot 10^{-3}$	$4.163 \cdot 10^{-3}$...

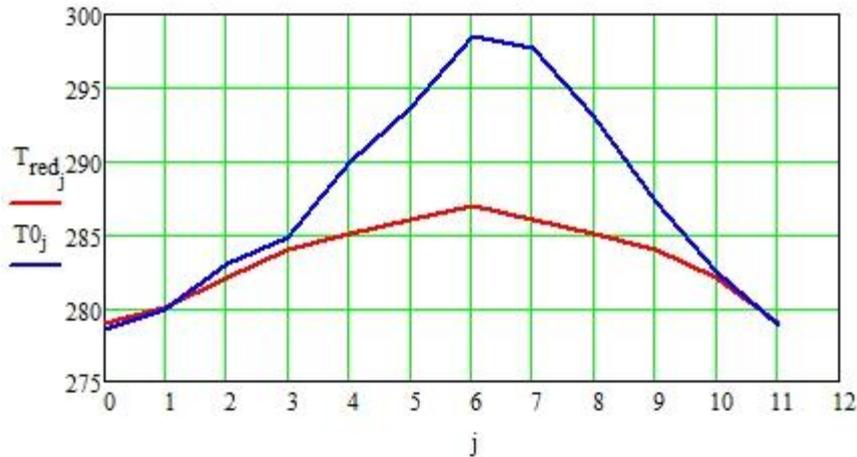
4. Temperatura de la red (Tred)

$$T_{\text{red}} := \text{DATA}^{(3)} \cdot K + 273K$$

5. Temperatura ambiente (T0)

$$T0 := \text{for } i \in 0..11$$

$$T0_i \leftarrow \text{mean} \left[\left(T_{\text{meses}}^T \right)^{(i)} \right]$$



6. Densidad de los fluidos

$$\rho_{\text{agua}} = 1 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \rho_{\text{glicol}} = 1110 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \rho_{\text{aguaglicol}} = \rho_{\text{agua}} \cdot 0.67 + \rho_{\text{glicol}} \cdot 0.33$$

7. Calor específico de los fluidos

$$C_{p_{\text{glicol}}} = 2415 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad C_{p_{\text{agua}}} = 4187 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad C_{p_{\text{aguaglicol}}} = C_{p_{\text{glicol}}} \cdot 0.33 + C_{p_{\text{agua}}} \cdot 0.67$$

8. Temperatura de suministro (Tsum) CTE

$$T_{\text{sum}} := 60\text{K} + 273\text{K}$$

9. Contribución solar mínima anual: (f)

$$f := 0.6$$

Aporte de calor: (Qcons)

$$Q_{\text{cons}} := \overrightarrow{m_{\text{cons}} \cdot C_{p_{\text{agua}}} \cdot (T_{\text{sum}} - T_{\text{red}})}$$

Qcons ^T =	0	1	2	3	4	5	W
	0	1.362·10 ³	1.147·10 ³	937.638	854.108	733.534	

Grado de estratificación del tanque:

$$E_t := 0.5$$

Definido como: $(T_{\text{cons}} - T_t) / (T_{\text{ico}} - T_t)$

Hasta aquí la única duda o incógnita es la temperatura de entrada en colectores, sin la que no se puede calcular el rendimiento del colector.

Parámetros variables:

Caudal en el primario (m1)

Caudal en el secundario (m2)

$$A_{\text{col}} = 0.5 \cdot N^{\circ} \text{ persona}$$

$$n_{\text{persona}} := 6$$

$$A_{\text{col}} := 0.5 \text{ m}^2 \cdot n_{\text{persona}}$$

$$A_{\text{col}} := 2.5 \text{ m}^2$$

$$m_1 := 100 \cdot \frac{\text{L}}{\text{hr}} \cdot \frac{1}{2.5 \cdot \text{m}^2} \cdot \rho_{\text{aguaglicol}} \cdot A_{\text{col}}$$

$$C_1 := m_1 \cdot C_{p_{\text{aguaglicol}}}$$

Gasto másico del secundario:

$$m_2 := m_1$$

$$C_2 := m_2 \cdot C_{p_{\text{agua}}}$$

$$C_{\text{min}} := \min(C_1, C_2)$$

$$T_{\text{cielo}} := \left[0.037536 \cdot \left(\frac{T_0}{\text{K}} \right)^{1.5} + 0.32 \cdot \frac{T_0}{\text{K}} \right] \cdot \text{K}$$

$$\text{Props}_a :=$$



..\..\Exceles\Propiedades del aire.xls

$$\text{velocidad} :=$$



....\Velocidad_y_Direccion_viento.xls

$$u_{\text{viento}} := \text{velocidad} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Props}_w :=$$



..\..\Exc...\Propiedades del agua..xls

$$\text{DATA} :=$$



..\..\Datos_ACS_anual.xls

$$T_0 := \text{for } i \in 0..11$$

$$T_{0_i} \leftarrow \text{mean} \left[\left(T_{\text{meses } T} \right)^{\langle i \rangle} \right]$$

$$i := 0..11$$

$$T_{\text{ci}_i} := 80 \cdot \text{K} + 273.15 \cdot \text{K}$$

$$T_{\text{co}_i} := 90 \cdot \text{K} + 273.15 \cdot \text{K}$$

$$T_{\text{agua}} := \frac{\overrightarrow{T_{\text{ci}_i} + T_{\text{co}_i}}}{2}$$

$$T_{\text{cubierta}} := \frac{\frac{T_{\text{ci}} + T_{\text{co}}}{2} + T_0}{2}$$

$$T_{\text{placa}} := \left(1.021 \cdot \frac{T_0}{\text{K}} - 1.762 \right) \cdot \text{K}$$

$$T_{\text{cristal_abajo}} := \frac{\frac{\frac{T_{\text{ci}} + T_{\text{co}}}{2} + T_0}{2} + \frac{T_{\text{ci}} + T_{\text{co}}}{2}}{2}$$

$$T_{\text{ww}} := \frac{\frac{T_{\text{ci}} + T_{\text{co}}}{2} + \frac{\frac{\frac{T_{\text{ci}} + T_{\text{co}}}{2} + T_0}{2} + \frac{T_{\text{ci}} + T_{\text{co}}}{2}}{2}}$$

$$A_{\text{v}} := 1.868 \text{m}^2$$

$$\nu := \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{\langle 0 \rangle} \text{K}, \left(\text{Props_a}^{\langle 4 \rangle} \right) \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, T \right]$$

$$\alpha := \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{\langle 0 \rangle} \text{K}, \left(\text{Props_a}^{\langle 6 \rangle} \right) \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, T \right]$$

$$k_{\text{aire}} := \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{\langle 0 \rangle} \text{K}, \left(\text{Props_a}^{\langle 5 \rangle} \right) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}, T \right]$$

$$\mu_{\text{aire}} := \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{\langle 0 \rangle} \text{K}, \left(\text{Props_a}^{\langle 3 \rangle} \right) \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}, T_0 \right]$$

$$\rho_{\text{aire}} := \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{\langle 0 \rangle} \text{K}, \left(\frac{1}{\text{Props_a}^{\langle 1 \rangle}} \right) \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, T_0 \right]$$

$$C_{p_{\text{aire}}} := \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{\langle 0 \rangle} \text{K}, \left(\text{Props_a}^{\langle 2 \rangle} \right) \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{joule}}{\text{kg} \cdot \text{K}}, T_0 \right]$$

$$k_{\text{aire_ext}} := \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{\langle 0 \rangle} \text{K}, \left(\text{Props_a}^{\langle 5 \rangle} \right) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}, T_0 \right]$$

$$\mu_{\text{w}} := \text{linterp} \left[\text{Props_w}^{\langle 0 \rangle} \text{K}, \left(\text{Props_w}^{\langle 2 \rangle} \right) \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}, T_{\text{agua}} - 273\text{K} \right]$$

$$\rho_{\text{w}} := \text{linterp} \left[\text{Props_w}^{\langle 0 \rangle} \text{K}, \left(\text{Props_w}^{\langle 7 \rangle} \right) \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, T_{\text{agua}} - 273\text{K} \right]$$

$$C_{p_{\text{w}}} := \text{linterp} \left[\text{Props_w}^{\langle 0 \rangle} \text{K}, \left(\text{Props_w}^{\langle 9 \rangle} \right) \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{joule}}{\text{kg} \cdot \text{K}}, T_{\text{agua}} - 273\text{K} \right]$$

$$k_{\text{w}} := \text{linterp} \left[\text{Props_w}^{\langle 0 \rangle} \text{K}, \left(\text{Props_w}^{\langle 11 \rangle} \right) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}, T_{\text{agua}} - 273\text{K} \right]$$

$$T_{\text{cielo}} := \left[0.037536 \cdot \left(\frac{T_0}{K} \right)^{1.5} + 0.32 \cdot \frac{T_0}{K} \right] \cdot K$$

$$T_{\text{caja}} := \left(1.021 \cdot \frac{T_0}{K} - 1.762 \right) \cdot K$$

$$T_{\text{cristal}} := 1.042 \cdot T_0 - 2.34K$$

$$T_{\text{placa}} := T_{\text{agua}}$$

Datos que dependen del colector

1. Parte superior del colector

1.1. Resistencia en la placa del absorbedor

$$R_{\text{abs}} := 0.012 \frac{K}{W}$$

$$A := 2.5m^2$$

$$n_{\text{col}} := \frac{A_{\text{col}}}{A}$$

1.2. Resistencia de radiación entre la placa-absorbedor y la cubierta de vidrio **Rrad_I**

$$\epsilon_{\text{IR_cristal}} := 0.1$$

$$\epsilon_{\text{IR_placa}} := 0.1$$

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

$$R_{\text{rad_I}} := \frac{\epsilon_{\text{IR_cristal}} + \epsilon_{\text{IR_placa}} - \epsilon_{\text{IR_cristal}} \cdot \epsilon_{\text{IR_placa}}}{\epsilon_{\text{IR_cristal}} \cdot \epsilon_{\text{IR_placa}} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{placa}}^2 + T_{\text{cristal_abajo}}^2) \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{cristal_abajo}}) \cdot A \cdot n_{\text{col}}}$$

$R_{\text{rad_I}}^T =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$\frac{K}{W}$
	0	0.793	0.792	0.789	0.788	0.784	0.781	0.777	0.777	...

1.3. Resistencia por **conveccion libre** en el interior del colector (entre placa y caja del colector) debido al calentamiento del aire por la radiacion solar.

$$L_c := 2.6cm$$

$$\beta_s := \frac{1}{T}$$

$$Ra := \frac{g \cdot \beta_s \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal_abajo}}) \cdot L_c^3}{\alpha \cdot \nu}$$

$$Nu_{\text{cl}} := \left(4.328 \cdot 10^{-10} \cdot Ra^2 - 1.478 \cdot 10^{-6} \cdot Ra + 1.001 \right)$$

$$h_{\text{cl}} := \frac{Nu_{\text{cl}} \cdot k_{\text{aire}}}{L_c}$$

$$R_{cl} := \frac{1}{h_{cl} \cdot A_{ncol}}$$

$$Ra^T =$$

	0	1	2	3	4	5	
0	$1.616 \cdot 10^4$	$1.586 \cdot 10^4$	$1.515 \cdot 10^4$	$1.477 \cdot 10^4$	$1.363 \cdot 10^4$...	

$$Nu_{cl}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	1.09	1.086	1.078	1.074	1.061	1.053	1.043	1.045	...

$$h_{cl}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	1.252	1.248	1.24	1.236	1.223	1.215	1.206	1.207	...

$$\frac{W}{K \cdot m^2}$$

$$R_{cl}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.319	0.32	0.323	0.324	0.327	0.329	0.332	0.331	...

$$\frac{K}{W}$$

1.4. Resistencia de conducción en la cubierta de vidrio **Rc_cub**

$$e_{cub} := 4mm$$

$$k_{cub} := 0.9 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$Rc_{cub} := \frac{e_{cub}}{k_{cub} \cdot (A_{ncol})}$$

1.5. Resistencia debido a la incidencia del sol en la cubierta de vidrio q absorbe la radiacion comprendida entre 0.3 y 3 micro metros... **Rrad_e**

$$\epsilon_{cnstal} := 0.95$$

$$R_{rad_e} := \frac{1}{\epsilon_{cnstal} \cdot \sigma \cdot (T_{cubierta}^2 + T_{cielo}^2) \cdot (T_{placa} + T_{cubierta}) \cdot (A_{ncol})}$$

$$R_{rad_e}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.064	0.064	0.062	0.062	0.06	0.058	0.057	0.057	...

$$\frac{K}{W}$$

1.6. Resistencia debido a la **convección forzada externa** sobre el cristal de los colectores **Rce**. La dirección predominante del viento es la norte, por tanto, la correlacion a usar será la paralela al colector.

$$Lc_{ce} := 0.876m$$

$$Re_{ce} := \frac{\rho_{aire} \cdot u_{viento} \cdot Lc_{ce}}{\mu_{aire}}$$

$$Pr_{ce} := \frac{Cp_{aire} \cdot \mu_{aire}}{k_{aire_ext}}$$

$$Nu_{ce} := \left(3.846 \cdot Re_{ce}^{0.325} \cdot Pr_{ce}^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$he_{ce} := \frac{Nu_{ce} \cdot k_{aire_ext}}{L_{c_{ce}}}$$

$$R_{ce} := \left[\frac{1}{he_{ce} \cdot (A \cdot ncol)} \right]$$

$$R_{ce}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$\frac{K \cdot s^3}{m^2 \cdot kg}$
	0	0.04	0.042	0.041	0.037	0.046	0.043	0.04	0.038	...

2. Tubos-agua del colector

2.1. Resistencia de conducción de los tubos de la placa del absorbedor R_{c_t}

$$D_{ext} := 10mm$$

$$D_{int} := 8mm$$

$$k_{tub} := 401 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$L_{tub} := \frac{965mm \cdot 22}{2.5m^2} \cdot A_{col}$$

$$R_{c_t} := \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2\pi \cdot L_{tub} \cdot k_{tub}}$$

$$R_{c_t} = 4.172 \times 10^{-6} \frac{K}{W}$$

2.2. Resistencia de **convección interior** del fluido Ragua

La velocidad del agua por el interior de los tubos, será función de si se trabaja o no, con el gasto nominal.

$$A_{tubo_int} := \pi \cdot \left(\frac{D_{int}^2}{4} \right)$$

$$gasto := 50 \frac{1}{hr \cdot 2.5m^2} \cdot A_{col} \cdot \rho_{aguaglicol}$$

$$U_w := \frac{gasto}{\rho_{aguaglicol} \cdot A_{tubo_int}}$$

$$Pr_w := \frac{\mu_w \cdot Cp_w}{k_w}$$

$$Re_w := \frac{\rho_{aguaglicol} \cdot U_w \cdot D_{int}}{\mu_w}$$

$$\text{Nu}_w := \left(0.023 \cdot \text{Re}_w^{\frac{4}{5}} \cdot \text{Pr}_w^{0.4} \right)$$

$$A_{\text{tubo_long}} := \pi \cdot D_{\text{ext}} \cdot L_{\text{tub}}$$

$$h_w := \frac{\text{Nu}_w \cdot k_w}{D_{\text{int}}}$$

$$R_{t_w} := \frac{1}{h_w \cdot A_{\text{tubo_long}}}$$

3. Parte inferior del colector

3.1. Resistencia de conducción del aislante **Rc_ais**

$$A = 2.5 \text{ m}^2$$

$$e_{\text{ais}} = 3 \text{ cm}$$

$$k_{\text{ais}} = 0.027 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$R_{c_ais} := \left[\frac{e_{\text{ais}}}{k_{\text{ais}} \cdot (A \cdot n_{\text{col}})} \right] = 0.444 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

3.2. Resistencia de conducción de la caja del colector **Rc_caja**

$$A_{\text{caja}} = 2.5 \text{ m}^2$$

$$e_{\text{caja}} = 3 \text{ mm}$$

$$k_{\text{caja}} = 237 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$R_{c_caja} := \frac{e_{\text{caja}}}{k_{\text{caja}} \cdot A_{\text{caja}} \cdot n_{\text{col}}} = 5.063 \times 10^{-6} \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

3.3. Resistencia de conveccion de la parte posterior del colector **Rc_caja**

$$L_{c_{ce}} = 0.876 \text{ m}$$

$$\text{Re}_{\text{cp}} := \frac{\rho_{\text{aire}} \cdot u_{\text{viento}} \cdot L_{c_{ce}}}{\mu_{\text{aire}}}$$

$$\text{Pr}_{\text{cp}} := \frac{C_{p_{\text{aire}}} \cdot \mu_{\text{aire}}}{k_{\text{aire_ext}}}$$

$$\text{Nu}_{\text{cp}} := \left(0.135 \cdot \text{Re}_{\text{cp}}^{0.709} \cdot \text{Pr}_{\text{cp}}^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$h_{e_{cp}} := \frac{\overrightarrow{Nu_{cp} \cdot k_{aire_ext}}}{Lc_{ce}}$$

$$R_{cp} := \left[\frac{1}{h_{e_{cp}} \cdot (A \cdot ncol)} \right]$$

$$R_{cp}^T = \begin{array}{c|cccccccc|} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & \frac{K}{W} \\ \hline 0 & 0.029 & 0.033 & 0.032 & 0.026 & 0.04 & 0.036 & 0.031 & 0.027 & \dots & \end{array}$$

Incógnitas

Temperatura de entrada en colectores (**Tci**)

Temperatura de salida de colectores (**Tco**)

Temperatura de entrada al tanque (**Tici**)

Temperatura de salida del tanque (**Tico**)

Temperatura de consumo (**Tcons**)

Temperatura media del tanque (**Tt**)

Área de colectores (**A**)

$i := 0..11$

valores iniciales de las variables

$$Tci_1 := 40 \cdot K + 273.15 \cdot K$$

$$Tci_1 := 80 \cdot K + 273.15 \cdot K$$

$$Tco_1 := 90 \cdot K + 273.15 \cdot K$$

$$Tico_1 := 80 \cdot K + 273.15 \cdot K$$

$$Tcons_1 := 45 \cdot K + 273.15 \cdot K$$

$$Acol = 2.5 \text{ m}^2$$

$$Tt_i := \frac{\overrightarrow{Tico_i + Tred_i}}{2}$$

Fracción solar estimada:

$$f_i := 0.6$$

$$\eta_0 := 0.83$$

$$q_{up_i} := 100 \text{ W}$$

$$\eta_i := 0.5$$

$$q_{down_i} := 0 \text{ W}$$

$$q_{util_i} := 420 \text{ W}$$

Dado

1

$$\rightarrow T = \frac{\overrightarrow{T_{placa} + T_{cristal_abajo}}}{2}$$

2

$$\nu = \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{(0)} \text{ K}, \left(\text{Props_a}^{(4)} \right) \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, T \right]$$

3

$$\alpha = \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{(0)} \text{K}, \left(\text{Props_a}^{(6)} \right) \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, T \right]$$

4

$$k_{\text{aire}} = \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{(0)} \text{K}, \left(\text{Props_a}^{(5)} \right) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}, T \right]$$

$$R_{\text{rad_I}} = \frac{(\epsilon_{\text{IR_cristal}} + \epsilon_{\text{IR_placa}} - \epsilon_{\text{IR_cristal}} \cdot \epsilon_{\text{IR_placa}})}{\epsilon_{\text{IR_cristal}} \cdot \epsilon_{\text{IR_placa}} \cdot \sigma \cdot (A \cdot \text{ncol}) \cdot (T_{\text{placa}}^2 + T_{\text{cristal_abajo}}^2) \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{cristal_abajo}})}$$

5

$$R_{\text{cl}} = \frac{1}{\left[4.328 \cdot 10^{-10} \cdot \left[\frac{\frac{\text{g}}{\text{T}} \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal_abajo}}) \cdot \text{Lc}^3}{\alpha \cdot \nu} \right]^2 - 1.478 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\frac{\text{g}}{\text{T}} \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal_abajo}}) \cdot \text{Lc}^3}{\alpha \cdot \nu} + 1.001 \right] \cdot k_{\text{aire}} \cdot (A \cdot \text{ncol})}$$

6

$$R_{\text{rad_e}} = \frac{1}{\epsilon_{\text{cristal}} \cdot \sigma \cdot (A \cdot \text{ncol}) \cdot (T_{\text{cubierta}}^2 + T_{\text{cielo}}^2) \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{cubierta}})}$$

7

$$T_{\text{agua}} = \frac{T_{\text{co}} + T_{\text{ci}}}{2}$$

8

$$\mu_{\text{w}} = \text{linterp} \left[\text{Props_w}^{(0)} \text{K}, \left(\text{Props_w}^{(2)} \right) \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}, T_{\text{agua}} - 273\text{K} \right]$$

9

$$\rho_{\text{w}} = \text{linterp} \left[\text{Props_w}^{(0)} \text{K}, \left(\text{Props_w}^{(7)} \right) \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, T_{\text{agua}} - 273\text{K} \right]$$

10

$$C_{p_{\text{w}}} = \text{linterp} \left[\text{Props_w}^{(0)} \text{K}, \left(\text{Props_w}^{(9)} \right) \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{joule}}{\text{kg} \cdot \text{K}}, T_{\text{agua}} - 273\text{K} \right]$$

11

$$k_{\text{w}} = \text{linterp} \left[\text{Props_w}^{(0)} \text{K}, \left(\text{Props_w}^{(11)} \right) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}, T_{\text{agua}} - 273\text{K} \right]$$

12

$$R_{\text{t}_{\text{w}}} = \frac{1}{0.023 \cdot \left(\frac{\rho_{\text{w}} \cdot \text{m1} \cdot D_{\text{int}}}{\rho_{\text{w}} \cdot A_{\text{tubo_int}} \cdot \mu_{\text{w}}} \right)^{\frac{4}{5}} \cdot \left(\frac{\mu_{\text{w}} \cdot C_{p_{\text{w}}}}{k_{\text{w}}} \right)^{0.4} \cdot k_{\text{w}} \cdot A_{\text{tubo_long}}}$$

13

$$\left(H_{\text{solar}} W_{\text{T}} \cdot A \cdot \text{ncol} \cdot \eta_0 \right) = \left(q_{\text{util}} + q_{\text{down}} + q_{\text{up}} \right)$$

$$14 \quad \overrightarrow{q_{util}} = \overrightarrow{[m1 \cdot Cp_{aguaglicol} \cdot (Tco - Tci)]}$$

$$15 \quad \frac{T_{placa} - (T_{agua})}{R_{abs} + R_{c_t} + R_{t_w}} = \overrightarrow{[m1 \cdot Cp_{aguaglicol} \cdot (Tco - Tci)]}$$

$$16 \quad \overrightarrow{q_{down}} = 0W$$

$$17 \quad \overrightarrow{q_{up}} = \frac{T_{cubierta} - T_{cielo}}{R_{rad_e}} + \frac{T_{cubierta} - T0}{R_{ce}}$$

$$18 \quad \left[\frac{T_{placa} - T_{cristal_abajo}}{\left[\frac{(R_{rad_I} R_{cl})}{R_{rad_I} + R_{cl}} \right]} \right] = \frac{T_{cubierta} - T_{cielo}}{R_{rad_e}} + \frac{T_{cubierta} - T0}{R_{ce}}$$

$$19 \quad T_{cristal_abajo} = (q_{up} \cdot Rc_{cub} + T_{cubierta})$$

$$20 \quad \eta = \left(\eta_0 - \frac{q_{down} + q_{up}}{Hsolar W_T \cdot A \cdot ncol} \right)$$

$$21 \quad [C1 \cdot (Tco - Tci)] = (Hsolar W_T \cdot Acol \cdot \eta)$$

$$22 \quad [C1 \cdot (Tco - Tci)] = [C2 \cdot (Tico - Tici)]$$

$$23 \quad \epsilon_{IC} = \frac{C2 \cdot (Tico - Tici)}{Cmin \cdot (Tco - Tci)}$$

$$24 \quad [C2 \cdot (Tico - Tici)] = \overrightarrow{[m_{cons} \cdot Cp_{agua} \cdot (Tcons - T_{red})]}$$

$$25 \quad f = \frac{T_{cons} - T_{red}}{T_{sum} - T_{red}}$$

$$26 \quad T_t = \frac{Tico \cdot m2 + T_{red} \cdot m_{cons}}{m2 + m_{cons}}$$

$$27 \quad Et = \frac{T_{cons} - T_t}{Tico - T_t}$$

28

```

var1
var2
var3
var4
var5
var6
var7
var8
var9
var10
var11
var12
var13
var14 := Minerr(T_placa, T_cristal_abajo, T, nu, alpha, k_aire, R_rad_I, R_rad_e, T_cubierta, T_agua, Tco, Tci, mu_w, rho_w, Cp_w, k_w, Rt_w, q_util, q_down, q_up, eta, f, Tcons, Tci, Tco, Tt)
var15
var16
var17
var18
var19
var20
var21
var22
var23
var24
var25
var26
var27

```

```

T_placa := var1   T_cristal_abajo := var2   T := var3   nu := var4   alpha := var5   k_aire := var6
R_rad_I := var7   R_rad_e := var8   R_rad_e := var9   T_cubierta := var10   T_agua := var11
Tco := var12   Tci := var13   mu_w := var14   rho_w := var15   Cp_w := var16
k_w := var17   Rt_w := var18   q_util := var19   q_down := var20   q_up := var21
eta := var22   f := var23   Tcons := var24   Tci := var25   Tco := var26
Tt := var27

```

$$\eta_c := \left[a_0 - \frac{T_{ci} - T_0}{H_{solar} W_T} \cdot a_1 - a_2 \cdot \left(\frac{T_{ci} - T_0}{H_{solar} W_T} \right)^2 \cdot H_{solar} W_T \right]$$

$$Q_{col} := [C1 \cdot (T_{co} - T_{ci})]$$

	0
0	0.613
1	0.585
2	0.556
3	0.54
4	0.528
$\eta_c =$ 5	0.524
6	0.509
7	0.494
8	0.552
9	0.566
10	0.593
11	0.612

	0
0	0.618
1	0.598
2	0.566
3	0.561
4	0.558
$\eta =$ 5	0.558
6	0.553
7	0.542
8	0.578
9	0.592
10	0.611
11	0.622

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
$q_{down} =$ 5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0

	0
0	143.957
1	175.283
2	281.048
3	269.872
4	305.978
$q_{up} =$ 5	323.19
6	344.866
7	351.648
8	282.393
9	217.083
10	153.093
11	119.553

	0
0	418.496
1	451.156
2	601.417
3	561.629
4	628.151
$q_{util} =$ 5	662.415
6	687.505
7	660.821
8	648.059
9	540.619
10	426.547
11	358.342

$\text{mean}(\eta_c) = 0.556$

$\text{mean}(\eta) = 0.58$

	0		0		0		0								
T _{ci} =	0	294.976	K	T _{co} =	0	303.048	K	f =	0	0.307	K	T _{placa} =	0	304.357	K
	1	300.266			1	308.968			1	0.393			1	310.36	
	2	314.033			2	325.633			2	0.641			2	327.432	
	3	315.614			3	326.447			3	0.658			3	328.123	
	4	325.498			4	337.614			4	0.856			4	339.459	
	5	331.415			5	344.192			5	0.979			5	346.121	
	6	339.544			6	352.804			6	1.095			6	354.787	
	7	339.606			7	352.352			7	1.09			7	354.258	
	8	325.955			8	338.455			8	0.866			8	340.357	
	9	313.251			9	323.678			9	0.609			9	325.299	
	10	300.858			10	309.085			10	0.381			10	310.4	
	11	293.004			11	299.915			11	0.269			11	301.044	

	0		0		0						
T _{cristal_abajo} =	0	278.062	K	T =	0	291.21	K	T _{cubierta} =	0	277.806	K
	1	280.293			1	295.326			1	279.981	
	2	286.394			2	306.913			2	285.894	
	3	287.689			3	307.906			3	287.21	
	4	294.377			4	316.918			4	293.833	
	5	298.564			5	322.342			5	297.989	
	6	304.052			6	329.419			6	303.439	
	7	303.161			7	328.709			7	302.535	
	8	296.765			8	318.561			8	296.263	
	9	289.262			9	307.28			9	288.876	
	10	282.238			10	296.319			10	281.965	
	11	277.601			11	289.322			11	277.388	

	0		0		0		0				
$T_{\text{agua}} =$	0	299.012	$T_{\text{co}} =$	0	303.048	$T_{\text{ico}} =$	0	298.462	$T_{\text{ici}} =$	0	291.517
	1	304.617		1	308.968		1	304.023		1	296.537
	2	319.833		2	325.633		2	319.042		2	309.062
	3	321.031		3	326.447		3	320.292		3	310.972
	4	331.556		4	337.614		4	330.729		4	320.306
	5	337.804		5	344.192		5	336.932		5	325.94
	6	346.174		6	352.804		6	345.269		6	333.861
	7	345.979		7	352.352		7	345.109		7	334.144
	8	332.205		8	338.455		8	331.352		8	320.599
	9	318.464		9	323.678		9	317.753		9	308.782
	10	304.972		10	309.085		10	304.41		10	297.332
	11	296.46		11	299.915		11	295.988		11	290.042

	0		0		0			
$R_{\text{cl}} =$	0	0.211	$R_{\text{rad}_e} =$	0	0.087	$R_{\text{rad}_I} =$	0	1.354
	1	0.198		1	0.085		1	1.298
	2	0.167		2	0.078		2	1.154
	3	0.172		3	0.077		3	1.143
	4	0.171		4	0.072		4	1.047
	5	0.173		5	0.068		5	0.995
	6	0.175		6	0.064		6	0.932
	7	0.172		7	0.065		7	0.938
	8	0.182		8	0.07		8	1.032
	9	0.194		9	0.076		9	1.151
	10	0.215		10	0.083		10	1.285
	11	0.229		11	0.088		11	1.381

	0	
$R_{t_w} =$	0	$7.681 \cdot 10^{-4}$
	1	$7.247 \cdot 10^{-4}$
	2	$6.308 \cdot 10^{-4}$
	3	$6.247 \cdot 10^{-4}$
	4	$5.767 \cdot 10^{-4}$
	5	$5.522 \cdot 10^{-4}$
	6	$5.233 \cdot 10^{-4}$
	7	$5.24 \cdot 10^{-4}$
	8	$5.739 \cdot 10^{-4}$
	9	$6.378 \cdot 10^{-4}$
	10	$7.222 \cdot 10^{-4}$
	11	$7.902 \cdot 10^{-4}$

	0
0	$2.058 \cdot 10^{-5}$
1	$2.132 \cdot 10^{-5}$
2	$2.322 \cdot 10^{-5}$
3	$2.337 \cdot 10^{-5}$
4	$2.476 \cdot 10^{-5}$
5	$2.559 \cdot 10^{-5}$
6	$2.667 \cdot 10^{-5}$
7	$2.656 \cdot 10^{-5}$
8	$2.501 \cdot 10^{-5}$
9	$2.328 \cdot 10^{-5}$
10	$2.15 \cdot 10^{-5}$
11	$2.024 \cdot 10^{-5}$

 $\alpha =$
 $\frac{m^2}{s}$

	0
0	0.026
1	0.026
2	0.027
3	0.027
4	0.027
5	0.028
6	0.028
7	0.028
8	0.028
9	0.027
10	0.026
11	0.025

 $k_{\text{aire}} =$
 $\frac{W}{m \cdot K}$

	0
0	$1.573 \cdot 10^{-5}$
1	$1.625 \cdot 10^{-5}$
2	$1.738 \cdot 10^{-5}$
3	$1.746 \cdot 10^{-5}$
4	$1.817 \cdot 10^{-5}$
5	$1.859 \cdot 10^{-5}$
6	$1.915 \cdot 10^{-5}$
7	$1.909 \cdot 10^{-5}$
8	$1.83 \cdot 10^{-5}$
9	$1.741 \cdot 10^{-5}$
10	$1.638 \cdot 10^{-5}$
11	$1.549 \cdot 10^{-5}$

 $\nu =$
 $\frac{m^2}{s}$

	0
0	$8.714 \cdot 10^{-4}$
1	$7.725 \cdot 10^{-4}$
2	$5.78 \cdot 10^{-4}$
3	$5.663 \cdot 10^{-4}$
4	$4.777 \cdot 10^{-4}$
5	$4.353 \cdot 10^{-4}$
6	$3.875 \cdot 10^{-4}$
7	$3.885 \cdot 10^{-4}$
8	$4.729 \cdot 10^{-4}$
9	$5.915 \cdot 10^{-4}$
10	$7.668 \cdot 10^{-4}$
11	$9.239 \cdot 10^{-4}$

 $\mu_w =$
 $\frac{kg}{m \cdot s}$

	0
0	996.817
1	995.183
2	989.393
3	988.867
4	983.866
5	980.118
6	976.096
7	976.213
8	983.477
9	989.996
10	995.069
11	997.47

 $\rho_w =$
 $\frac{kg}{m^3}$

	0
0	$4.181 \cdot 10^3$
1	$4.179 \cdot 10^3$
2	$4.181 \cdot 10^3$
3	$4.182 \cdot 10^3$
4	$4.184 \cdot 10^3$
5	$4.188 \cdot 10^3$
6	$4.193 \cdot 10^3$
7	$4.193 \cdot 10^3$
8	$4.185 \cdot 10^3$
9	$4.181 \cdot 10^3$
10	$4.179 \cdot 10^3$
11	$4.182 \cdot 10^3$

 $C_{p_w} =$
 $\frac{joule}{kg \cdot K}$

	0
0	0.611
1	0.621
2	0.645
3	0.646
4	0.659
5	0.666
6	0.673
7	0.673
8	0.66
9	0.643
10	0.622
11	0.605

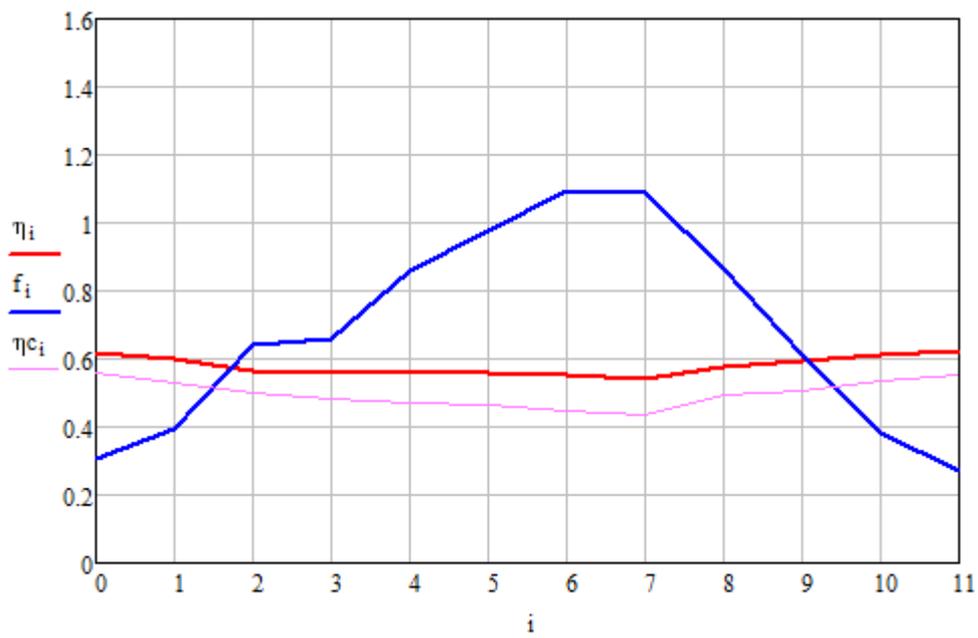
 $k_w =$
 $\frac{m \cdot kg}{K \cdot s^3}$

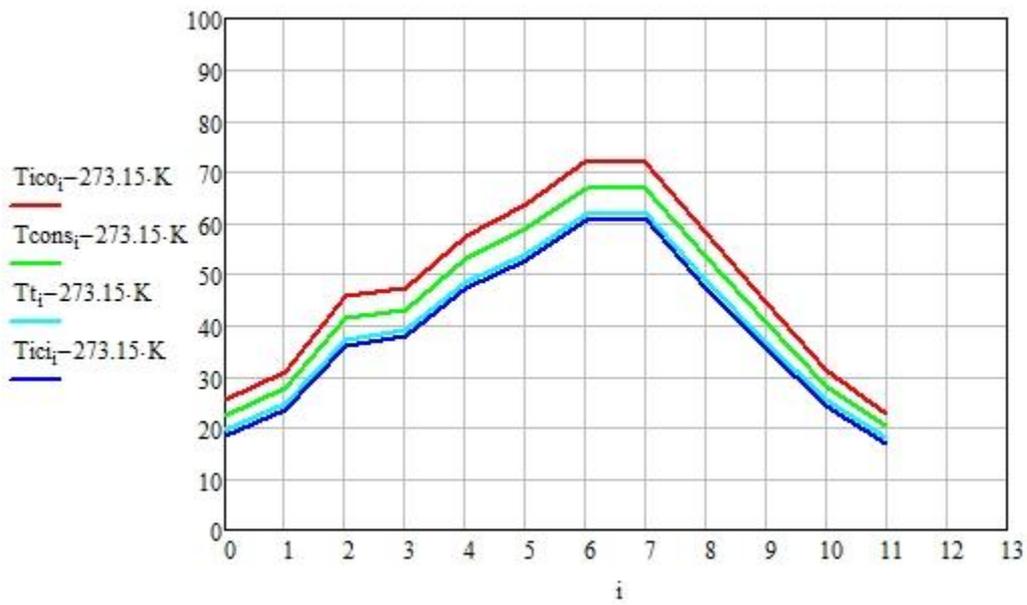
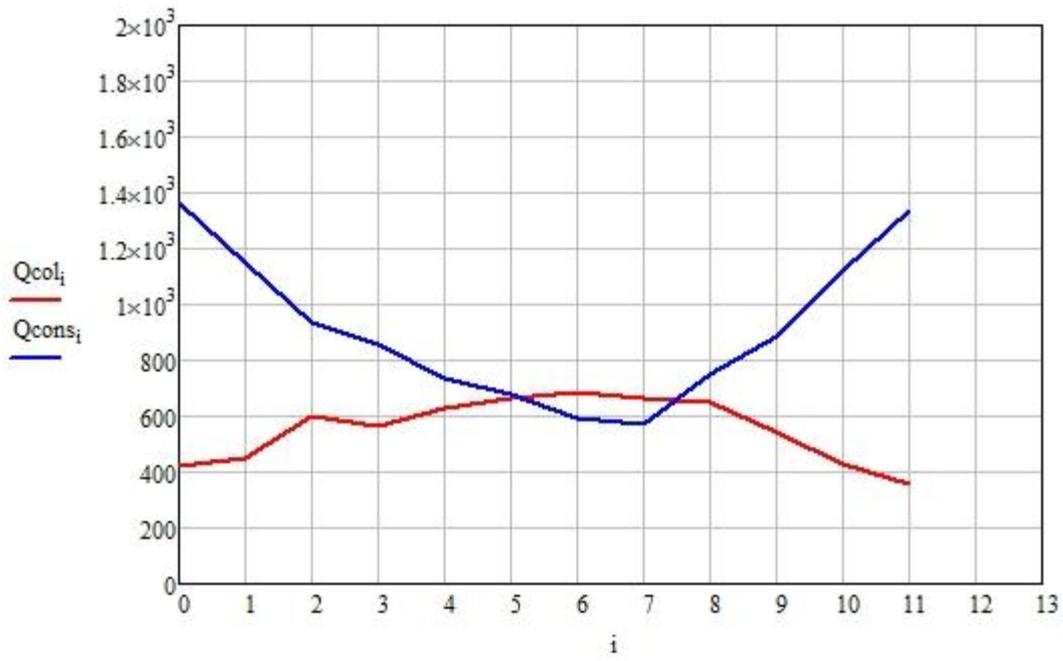
$$\overline{\text{mean}(f)} = 0.689$$

$$\text{mean}(Q_{\text{col}}) = 553.763 \text{ W}$$

$$f_{\text{medio}} := \frac{\sum_{i=0}^{11} (q_{\text{util}})_i}{\sum_{i=0}^{11} Q_{\text{cons}_i}}$$

$$f_{\text{medio}} = 0.606$$





6.- Comprobaciones:

$$\left[R_{\text{rad}_I} - \frac{(\epsilon_{\text{IR}_{\text{cristal}}} + \epsilon_{\text{IR}_{\text{placa}}} - \epsilon_{\text{IR}_{\text{cristal}}} \cdot \epsilon_{\text{IR}_{\text{placa}}})}{\epsilon_{\text{IR}_{\text{cristal}}} \cdot \epsilon_{\text{IR}_{\text{placa}}} \cdot \sigma \cdot (A \cdot \text{ncol}) \cdot (T_{\text{placa}}^2 + T_{\text{cristal_abajo}}^2) \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{cristal_abajo}})} \right]^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{bmatrix} \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

$$\left[T - \frac{T_{\text{placa}} + T_{\text{cristal_abajo}}}{2} \right]^T = \begin{bmatrix} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5.684 \cdot 10^{-14} & \dots \end{bmatrix} \text{K}$$

$$\left[\nu - \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{(0)} \text{K}, (\text{Props_a}^{(4)}) \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, T \right] \right]^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{bmatrix} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\left[\alpha - \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{(0)} \text{K}, (\text{Props_a}^{(6)}) \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, T \right] \right]^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{bmatrix} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\left[k_{\text{aire}} - \text{linterp} \left[\text{Props_a}^{(0)} \text{K}, (\text{Props_a}^{(5)}) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}, T \right] \right]^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{bmatrix} \frac{\text{m} \cdot \text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$$

$$\left[R_{\text{rad}_I} - \frac{(\epsilon_{\text{IR}_{\text{cristal}}} + \epsilon_{\text{IR}_{\text{placa}}} - \epsilon_{\text{IR}_{\text{cristal}}} \cdot \epsilon_{\text{IR}_{\text{placa}}})}{\epsilon_{\text{IR}_{\text{cristal}}} \cdot \epsilon_{\text{IR}_{\text{placa}}} \cdot \sigma \cdot (A \cdot \text{ncol}) \cdot (T_{\text{placa}}^2 + T_{\text{cristal_abajo}}^2) \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{cristal_abajo}})} \right]^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{bmatrix} \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

$$\left[R_{\text{cl}} - \frac{1}{4.328 \cdot 10^{-10} \left[\frac{g \cdot \frac{1}{T} \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal_abajo}}) \cdot Lc^3}{\alpha \cdot \nu} \right]^2 - 1.478 \cdot 10^{-6} \frac{g \cdot \frac{1}{T} \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal_abajo}}) \cdot Lc^3}{\alpha \cdot \nu} + 1.001 \right] \cdot k_{\text{aire}} \cdot (A \cdot \text{ncol})} \right]^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\left[R_{rad_e} - \frac{1}{\epsilon_{cristal} \cdot \sigma \cdot (A \cdot ncol) \cdot (T_{cubierta}^2 + T_{cielo}^2) \cdot (T_{placa} + T_{cubierta})} \right]^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{array} \frac{K \cdot s^3}{m^2 \cdot kg}$$

7

$$\left[T_{agua} - \frac{T_{co} + T_{ci}}{2} \right]^T = \begin{array}{c|cccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{array} K$$

$$\left[\mu_w - \text{interp} \left[\text{Props}_w^{(0)} K, (\text{Props}_w^{(2)}) \cdot \frac{N \cdot s}{m^2}, T_{agua} - 273K \right] \right]^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{array} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\left[\rho_w - \text{interp} \left[\text{Props}_w^{(0)} K, (\text{Props}_w^{(7)}) \cdot \frac{kg}{m^3}, T_{agua} - 273K \right] \right]^T = \begin{array}{c|cccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{array} \frac{kg}{m^3}$$

$$\left[C_{p_w} - \text{interp} \left[\text{Props}_w^{(0)} K, (\text{Props}_w^{(9)}) \cdot 10^{-3} \frac{joule}{kg \cdot K}, T_{agua} - 273K \right] \right]^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{array} \frac{m^2}{K \cdot s^2}$$

$$\left[k_w - \text{interp} \left[\text{Props}_w^{(0)} K, (\text{Props}_w^{(11)}) \cdot \frac{W}{m \cdot K}, T_{agua} - 273K \right] \right]^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{array} \frac{m \cdot kg}{K \cdot s^3}$$

$$\left[R_{t_w} - \frac{1}{0.023 \cdot \left(\frac{\rho_w \cdot m1}{\rho_w \cdot A_{tubo_int} \cdot D_{int}} \right)^{\frac{4}{5}} \cdot \left(\frac{\mu_w \cdot C_{p_w}}{k_w} \right)^{0.4} \cdot k_w \cdot A_{tubo_long}} \right]^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{array} \frac{K \cdot s^3}{m^2 \cdot kg}$$

$$\left[H_{solar} W_T \cdot A \cdot ncol \cdot \eta_0 - (q_{util} + q_{down} + q_{up}) \right]^T = \begin{array}{c|ccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{array} W$$

$$\left[q_{util} - m1 \cdot C_{p_aguaglicol} \cdot (T_{co} - T_{ci}) \right]^T = \begin{array}{c|ccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & 7.958 \cdot 10^{-13} & 3.411 \cdot 10^{-13} & -7.958 \cdot 10^{-13} & -3.411 \cdot 10^{-13} & \dots \end{array} W$$

$$\left[\frac{T_{placa} - (T_{agua})}{R_{abs} + R_{c_t} + R_{t_w}} - \frac{m \cdot C_p \cdot \text{aguaglicol} \cdot (T_{co} - T_{ci})}{\dots} \right]^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & 2.046 \cdot 10^{-12} & -1.023 \cdot 10^{-12} & 9.095 \cdot 10^{-13} & -6.821 \cdot 10^{-13} & \dots \end{array} \text{W}$$

$$\left[q_{up} - \left(\frac{T_{cubierta} - T_{cielo}}{R_{rad_e}} + \frac{T_{cubierta} - T_0}{R_{ce}} \right) \right]^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & 1.421 \cdot 10^{-13} & 3.411 \cdot 10^{-13} & 9.663 \cdot 10^{-13} & 1.023 \cdot 10^{-12} & \dots \end{array} \text{W}$$

18

$$\left[\frac{T_{placa} - T_{cristal_abajo}}{\left[\frac{R_{rad_I} R_{cl}}{R_{rad_I} + R_{cl}} \right]} - \left(\frac{T_{cubierta} - T_{cielo}}{R_{rad_e}} + \frac{T_{cubierta} - T_0}{R_{ce}} \right) \right]^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & 1.99 \cdot 10^{-13} & 3.411 \cdot 10^{-13} & 1.137 \cdot 10^{-12} & 1.251 \cdot 10^{-12} & \dots \end{array} \text{W}$$

20

$$\left[T_{cristal_abajo} - (q_{up} R_{c_cub} + T_{cubierta}) \right]^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{array} \text{K}$$

$$\left[\eta - \left(\eta_0 - \frac{q_{down} + q_{up}}{H_{solar} W_T \cdot A \cdot n_{col}} \right) \right]^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \end{array}$$

21

$$\left[[C1 \cdot (T_{co} - T_{ci})] - (H_{solar} W_T \cdot A_{col} \cdot \eta) \right]^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & -7.958 \cdot 10^{-13} & -3.979 \cdot 10^{-13} & 7.958 \cdot 10^{-13} & 3.411 \cdot 10^{-13} & \dots \end{array} \text{W}$$

22

$$\left[[C1 \cdot (T_{co} - T_{ci})] - [C2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})] \right]^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & -2.615 \cdot 10^{-12} & -7.958 \cdot 10^{-13} & -1.137 \cdot 10^{-12} & 2.728 \cdot 10^{-12} & \dots \end{array} \text{W}$$

23

$$\left[\epsilon_{IC} - \frac{C2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot (T_{co} - T_{ci})} \right]^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & -3.553 \cdot 10^{-15} & 0 & -1.998 \cdot 10^{-15} & 2.665 \cdot 10^{-15} & \dots \end{array}$$

24

$$\left[\overrightarrow{C2 \cdot (Tico - Tici)} - \overrightarrow{m_{cons} \cdot Cp_{agua} \cdot (Tcons - Tred)} \right]^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & 1.819 \cdot 10^{-12} & 5.116 \cdot 10^{-13} & 2.16 \cdot 10^{-12} & -2.16 \cdot 10^{-12} & \dots \\ \hline \end{array} \quad W$$

25

26

$$\left(f - \frac{\overrightarrow{Tcons - Tred}}{\overrightarrow{Tsum - Tred}} \right)^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \hline \end{array}$$

27

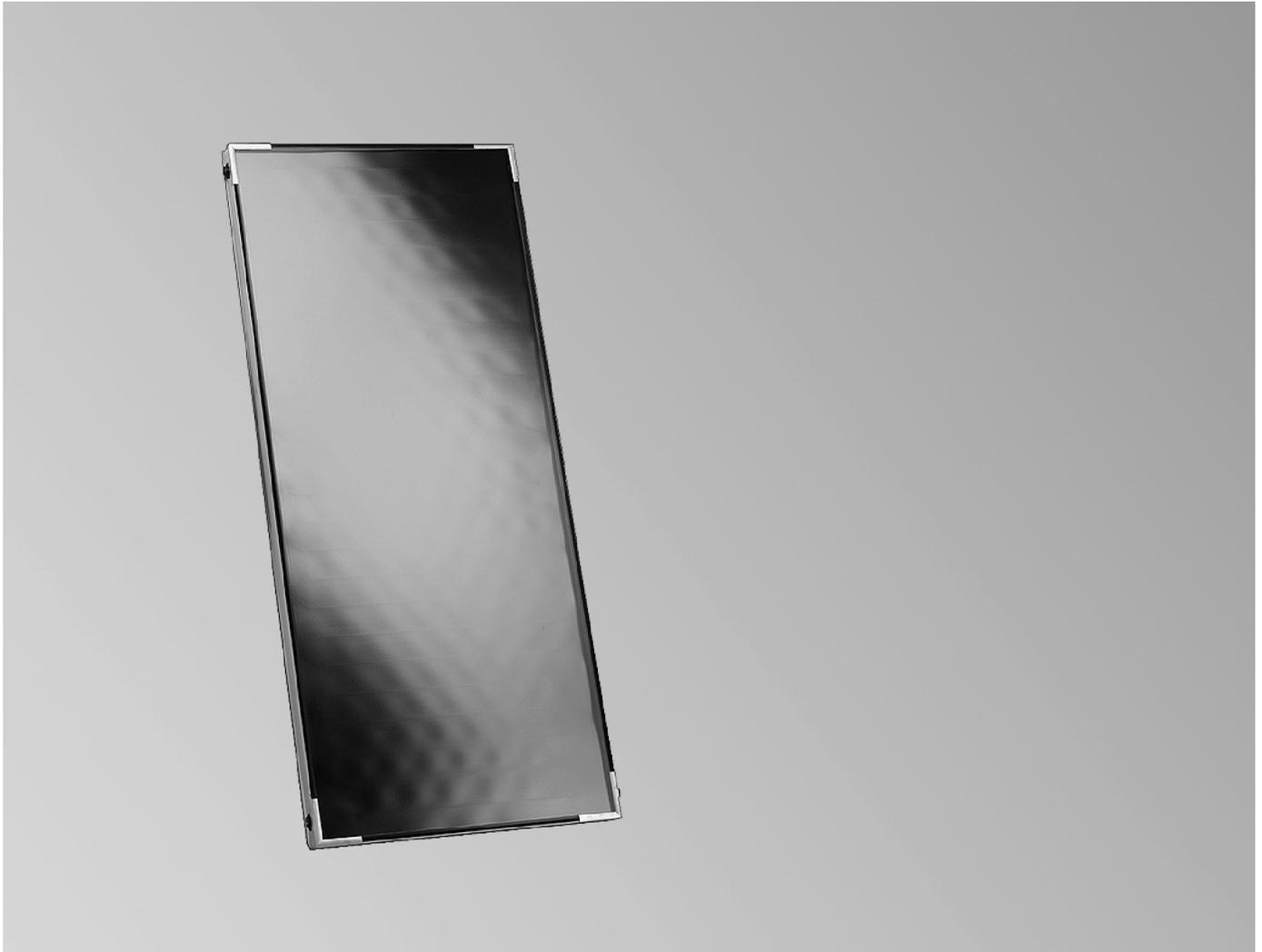
$$\left(Tt - \frac{\overrightarrow{Tico \cdot m2 + Tred \cdot m_{cons}}}{m2 + m_{cons}} \right)^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & -5.684 \cdot 10^{-14} & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \hline \end{array} \quad K$$

28

$$\left(Et - \frac{\overrightarrow{Tcons - Tt}}{\overrightarrow{Tico - Tt}} \right)^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 3.275 \cdot 10^{-15} & 0 & \dots \\ \hline \end{array}$$

Technical Data Manual

Part Nos. and Pricing: see Price List



VITOSOL 100-F Model SV1 and SH1

Flat plate solar collectors

for vertical or horizontal installation
on sloped and flat roofs

To produce domestic hot water, or to supplement
low-temperature heating systems or swimming pools
via a heat exchanger



Certified in accordance with SRCC OG-100.



Meets the requirements of the German "Blue Angel"
certificate of environmental excellence to RAL UZ 73.



Certified in accordance with Solar Keymark testing
requirements.

Product Information

Vitosol 100-F

Models SV1, SH1

The benefits at a glance:

- **High performance** flat plate collector at an attractive price, thanks to a highly-efficient selectively-coated copper absorber.
- **Rugged, high-quality construction** using impact-resistant solar glass, copper, aluminum and non-degrading thermal insulation.
- **Permanently sealed and high stability** through all-around folded aluminum frame and endless glass seal.
- **Universal application:** on flat and sloped roofs or freestanding, vertical or horizontal installation, compatible with any DHW system, connect up to 12 collectors in series, commercial or residential systems.
- **Maximum system performance and reliability** with a full range of solar system components designed to integrate seamlessly.
- **Fast installation** with flexible connection pipes and quick-connect fittings. Prefabricated collector mounting hardware ensures easy connection to roofs.
- **Suitable** for many applications. Best suited for DHW or pool heating.
- **OG-100 Certified** by the Solar Rating and Certification Corporation (SRCC).
- **Quality tested** to Solar Keymark testing requirements. Meets the requirements of the German "Blue Angel" certificate of environmental excellence.



Construction and function

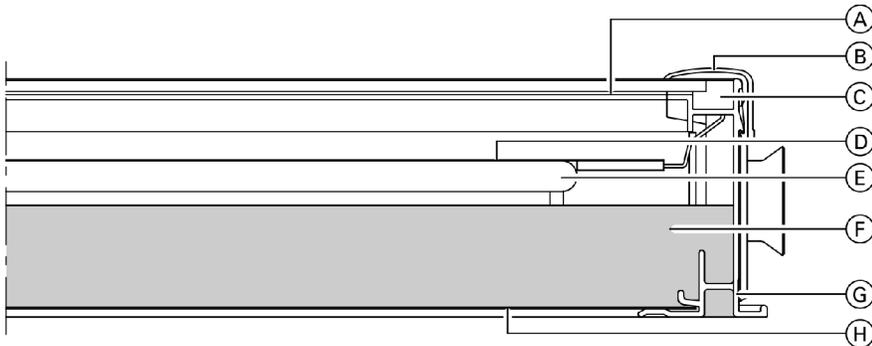
The main component of the Vitosol 100-F is the black chrome coated copper absorber. It ensures high absorption of solar radiation and low emission of thermal radiation. A meander-shaped copper pipe, through which the heat transfer medium flows, is permanently embedded into the absorber. The heat transfer medium channels the absorber heat through the copper pipe. The absorber is encased in a highly insulated collector housing, which minimizes collector heat losses. The high quality thermal insulation provides temperature stability and is free from gas emissions. The cover consists of a solar glass panel with a very low iron content, thereby reducing reflection losses. The solar glass is 3.2 mm thick, making it very resistant to weather influences. The glass is set into the collector frame with a continuous

profiled seal, preventing water from penetrating into the collector. This ensures a long and reliable service life for all internal components.

The collector housing consists of a non-coated aluminum frame into which the solar glass is permanently sealed.

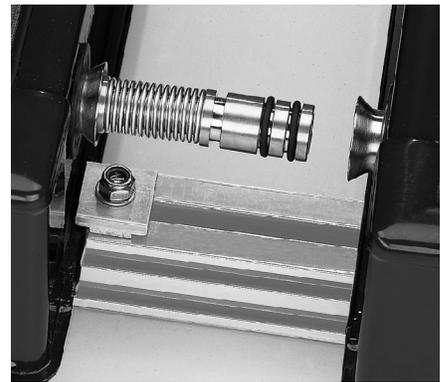
Up to twelve collectors can be joined quickly and easily to form a single collector array. For this, the standard equipment includes flexible connection pipes, sealed with O-rings (see picture below).

A connection kit with clamping ring fittings enables the collector array to be quickly connected to the pipes of the solar circuit. The collector temperature sensor is installed in the solar circuit flow using a sensor well set.



- (A) Solar glass cover, 0.13"/3.2 mm thick
- (B) Cover angle made from aluminum
- (C) Pane seal
- (D) Copper absorber
- (E) Meander-shaped copper pipe

- (F) Thermal insulation made from mineral fiber
- (G) Non-coated aluminum frame sections
- (H) Back panel made from aluminum-zinc coated sheet steel



Collector may not be exactly as shown.

Technical Data

Model - Vitosol 100-F		SV1	SH1
Total surface area	ft. ² / m ²	27.0 / 2.51	27.0 / 2.51
Absorber surface area	ft. ² / m ²	25.0 / 2.32	25.0 / 2.32
Aperture ^{*1}	ft. ² / m ²	25.1 / 2.33	25.1 / 2.33
Dimensions ^{*2}			
Width	inches	41 ¾	93 ¾
	mm	1056	2380
Height	inches	93 ¾	41 ¾
	mm	2380	1056
Depth	inches	2 ¾	2 ¾
	mm	72	72
Optical efficiency ^{*3}	%	74.3	74.3
Heat loss coefficient	U ₁ W/(m ² @K)	4.16	4.16
	U ₂ W/(m ² @K ²)	0.0124	0.0124
Thermal capacity	kJ(m ² @K)	6.4	6.4
Weight	lb / kg	94.8 / 43	94.8 / 43
Fluid capacity (heat transfer medium)	USG	0.44	0.62
	ltr	1.67	2.33
Maximum working pressure ^{*4}	psig	87	87
	bar	6	6
Maximum stagnation temperature ^{*5}	°F / °C	430 / 221	430 / 221
Connection	inches	¾	¾
	mm	22	22
Requirements for installation surface and anchorage	Roof construction with adequate load capacity for prevailing wind forces		

^{*1} Important for system design considerations.

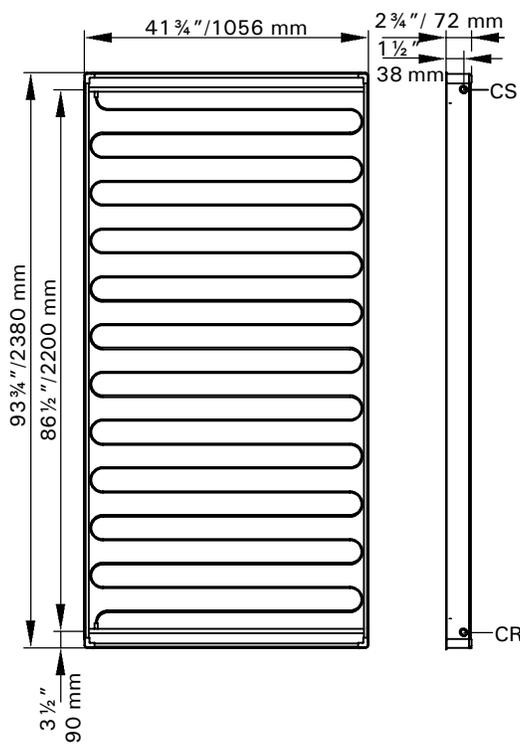
^{*2} Dimensions rounded to the nearest ¼ inch.

^{*3} Based on absorber surface area.

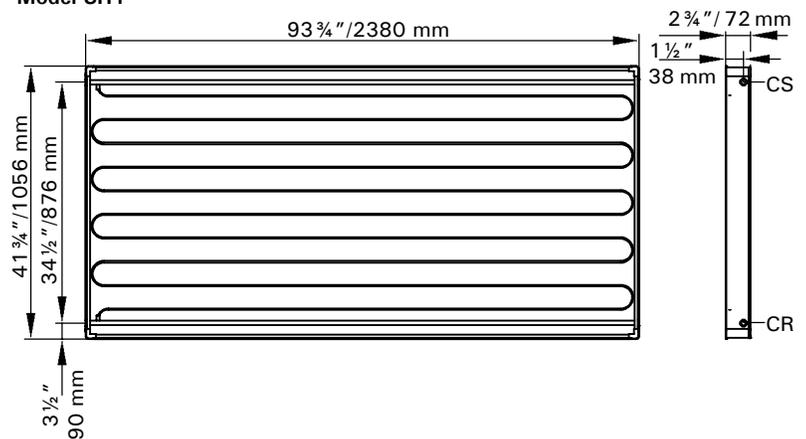
^{*4} In sealed systems, operating pressure of at least 22 psig + 0.45 psig x static head (ft.) / 1.5 bar + 0.1 bar x static head (m) must be present in the collectors in cold condition.

^{*5} The stagnation temperature is the temperature which applies to the hottest point of the collector at a global radiation intensity of 3412 Btu/h / 1000 W when no heat is conducted by the heat transfer medium.

Model SV1



Model SH1



Legend

CR Collector return (inlet)

CS Collector supply (outlet)

Standard Equipment/Accessories

Heat transfer medium

Tyfocor non-toxic heating liquid for solar heating systems with active anti-corrosion and anti-ageing protection.

Frost protection: to -31°F / -35°C
 Specific gravity at 68°F / 20°C: 1.032 to 1.035 g/cm³ to ASTM D 1122

Viscosity at 68°F / 20°C: 6.5 to 8.0 mm²/s to DIN 51562

pH value: 7.5 to 8.5 to ASTM D 1287

Color: transparent, blue-green

Container: 5.3 USG / 20 ltr in a disposable container

Standard equipment

Vitosol 100-F, Models SH1 and SV1 come fully assembled in shrink-wrap packaging and ready to be connected.

Accessories

Accessories (individually packed, depending on order):

- Mounting hardware with technical literature
- Interconnection pipes with insulation
- General connection set
- Sensor well set
- Solar Divicon (pumping station for the collector circuit)
- Automatic air vent with air separator
- Fast air vent valve with tee and shutoff valve
- System filling manifold
- Solar hand pump
- Solar expansion tank
- Heat transfer medium

Mounting hardware

The mounting hardware consists of components required for the relevant method of installation, such as:

Roof brackets, mounting plates, mounting rails, connecting elements for mounting rails, clamping bolts, screws and nuts.

General connection set

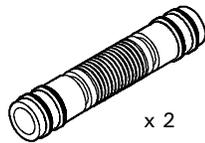
Required to connect solar collector to system piping. One set required per collector array - max. 269 ft² / 25 m².

Part No. 7248 240

Pipe connection set

Required to connect multiple solar collectors.

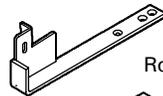
Part No. 7248 239



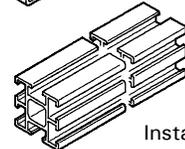
x 2

Sloped roof hardware

Required for mounting collector directly onto shingled roof. Raises collector 3 1/2" / 889 mm above the roof.



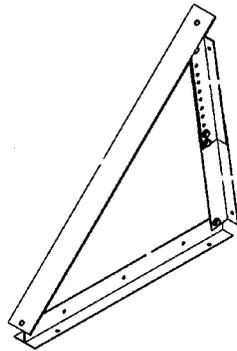
Roof bracket



Installation rail

Flat roof hardware

Required for freestanding, flat roof installations.



Solar Divicon

Preassembled pumping station for solar collector circuit.

Includes: 3-speed pump (2 sizes), pressure gage, 2 thermometers, 2 ball valves, pressure relief valve, flow meter, 2 flowcheck valves, air separator, system fill manifold, and foam insulation cover.

Part No. 7134 799 (for DN20)

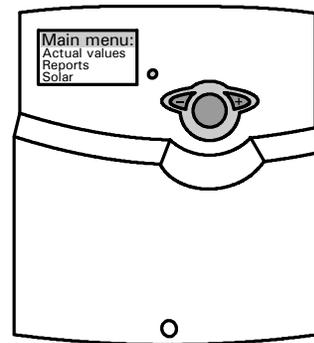
7134 800 (for DN25)



Vitosolic 200

Electronic differential temperature control for solar heating.

Part No. 7134 552



Please note

Viessmann offers complete solar heating system combi packages, as well as comprehensive design support in order to facilitate the component selection process.

Viessmann Manufacturing Company (U.S.) Inc.
 45 Access Road
 Warwick, Rhode Island • 02886 • USA
 1-800-288-0667 • Fax (401) 732-0590
 www.viessmann-us.com • info@viessmann-us.com

Viessmann Manufacturing Company Inc.
 750 McMurray Road
 Waterloo, Ontario • N2V 2G5 • Canada
 1-800-387-7373 • Fax (519) 885-0887
 www.viessmann.ca • info@viessmann.ca



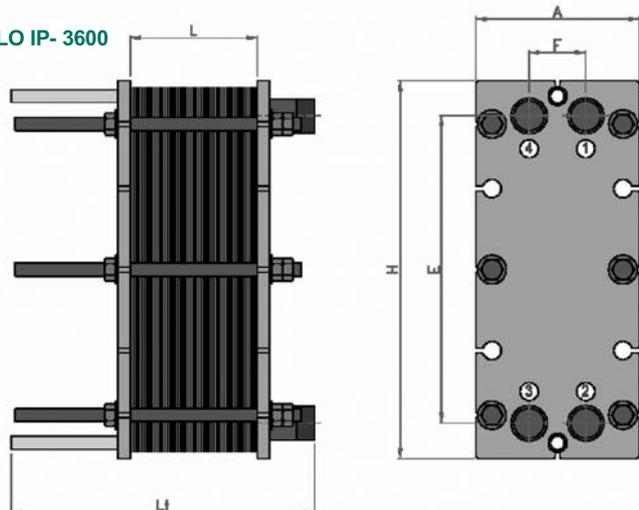
ACUMULADORES E INTERACUMULADORES POLYWARM MARCA CORDIVARI



DAB	Acumulador Polywarm vertical			
Nombre equipo	Código	Descripción	PVP (AE Correx)	PVP (Anodo mg)
DAB020PW08RFP	5/11DAB020PW08RFP	Acumulador Polywarm Vertical de 200L	892,00	793,00
DAB030PW08RFP	5/11DAB030PW08RFP	Acumulador Polywarm Vertical de 300L	977,00	878,00
DAB050PW08RFP	5/11DAB050PW08RFP	Acumulador Polywarm Vertical de 500L	1.109,00	977,00
DAB075PW08RFP	5/11DAB075PW08RFP	Acumulador Polywarm Vertical de 750L	1.459,00	1.334,00
DAB100PW08RFP	5/11DAB100PW08RFP	Acumulador Polywarm Vertical de 1000L	1.747,00	1.581,00
DAB150PW08RFP	5/11DAB150PW08RFP	Acumulador Polywarm Vertical de 1500L	2.239,00	2.073,00
DAB200PW08RFP	5/11DAB200PW08RFP	Acumulador Polywarm Vertical de 2000L	2.881,00	2.601,00
DAB250PW08RFP	5/11DAB250PW08RFP	Acumulador Polywarm Vertical de 2500L	3.458,00	3.178,00
DAB300PW08RFP	5/11DAB300PW08RFP	Acumulador Polywarm Vertical de 3000L	3.700,00	3.429,00
DAB400PW08RFP	5/11DAB400PW08RFP	Acumulador Polywarm Vertical de 4000L	4.943,00	4.690,00
DAB500PW08RFP	5/11DAB500PW08RFP	Acumulador Polywarm Vertical de 5000L	5.704,00	5.450,00

Versión horizontal: Aumento del 7% sobre los precios de la versión vertical

MODELO IP- 3600



CONDICIONES DE DISEÑO

P diseño (bar)	T diseño (°C)	
	NBR	EPDM
8 bar	95	140

CONEXIONES

- 1 - Entrada primario (fluido caliente)
- 2 - Salida primario (fluido caliente)
- 3 - Entrada secundario (fluido frío)
- 4 - Salida secundario (fluido frío)

DIMENSIONES

Nº placas	Área placa (m²)	Dimensiones (mm)				L	Lt	Conexionesx Rosca gas MACHO
		H	E	A	F			
0 - 31	0,041	460	357	200	69	nº placas x 2,9	220	1" 1/4
32 - 67		460	357	200	69	nº placas x 2,9	370	1" 1/4

El área total de intercambio se calcula por la fórmula siguiente: A= (nº placas-2)* Área placa.

DATOS DE FUNCIONAMIENTO PARA PRODUCCIÓN ACS - CALENTAMIENTO POR CALDERA

Nº placas	Código	Potencia (kw)	Caudal (litros/hora)		Pérdida de carga (mca)		Peso (kg)
			Primario	Secundario	Primario	Secundario	
5	IP360005NX08	27	1.193	586	3,06	1,02	27
7	IP360007NX08	40	1.767	869	2,99	1,00	28
9	IP360009NX08	53	2.342	1.151	2,96	0,99	28
11	IP360011NX08	66	2.916	1.433	2,94	0,98	29
13	IP360013NX08	80	3.535	1.737	2,99	1,00	30
15	IP360015NX08	93	4.109	2.019	2,97	0,99	30
17	IP362017NX08	106	4684	2.302	2,96	0,99	31
19	IP360019NX08	120	5.302	2.606	2,99	1,00	32
21	IP360021NX08	133	5.877	2.888	2,98	0,99	32
23	IP360023NX08	146	6.451	3.170	2,97	0,99	33
25	IP360025NX08	160	7.070	3.474	2,99	1,00	33
27	IP360027NX08	173	7.644	3.757	2,98	0,99	34
29	IP360029NX08	186	8.219	4.039	2,97	0,99	35
31	IP360031NX08	200	8.837	4.343	2,99	1,00	35
33	IP360033NX08	213	9.412	4625	2,98	1,00	36
35	IP360035NX08	226	9.986	4.907	2,97	0,99	37
37	IP360037NX08	239	10.560	5.190	2,97	0,99	37
39	IP360039NX08	253	11.179	5.494	2,98	1,00	38
41	IP360041NX08	266	11.753	5.776	2,98	0,99	39
43	IP360043NX08	280	12.372	6.080	2,99	1,00	39
45	IP360045NX08	292	12.902	6.340	2,97	0,99	40
47	IP360047NX08	306	13.521	6.644	2,98	0,99	41
49	IP360049NX08	319	14.095	6.927	2,97	0,99	41
51	IP360051NX08	332	14.670	7.209	2,97	0,99	42

Los datos térmicos están calculados para un primario con agua de 90 a 70 °C y un secundario con agua de 15 a 55 °C.

DATOS DE FUNCIONAMIENTO PARA PISCINA - CALENTAMIENTO POR PANEL SOLAR

Volumen piscina (m³)	Nº placas	Código	Potencia (kw)	Caudal (litros/hora)		Pérdida de carga (mca)		Peso (kg)
				Primario	Secundario	Primario	Secundario	
10	5	IP360005NX08PTI	8	714	419	1,48	0,58	27
20	7	IP360007NX08PTI	16	1.427	838	2,50	0,99	28
30	9	IP360009NX08PTI	25	2.142	1.258	3,10	1,23	28
40	13	IP360013NX08PTI	33	2.856	1.677	2,51	0,99	30
50	15	IP360015NX08PTI	41	3.570	2.096	2,84	1,12	30
60	17	IP360017NX08PTI	49	4.283	2.515	3,10	1,23	31
70	21	IP360021NX08PTI	58	4.997	2.934	2,74	1,08	32
80	23	IP360023NX08PTI	66	5.711	3.353	2,93	1,16	33
90	25	IP360025NX08PTI	74	6.426	3.773	3,10	1,23	33
100	29	IP360029NX08PTI	82	7.140	4.192	2,84	1,12	35
120	33	IP360033NX08PTI	99	8.567	5.030	3,10	1,23	36
140	39	IP360039NX08PTI	115	9.994	5.868	3,00	1,19	38
160	45	IP360045NX08PTI	132	11.423	6.707	2,93	1,16	40
180	49	IP360049NX08PTI	148	12.850	7.545	3,10	1,23	41
200	55	IP360055NX08PTI	165	14.277	8.383	3,03	1,20	43

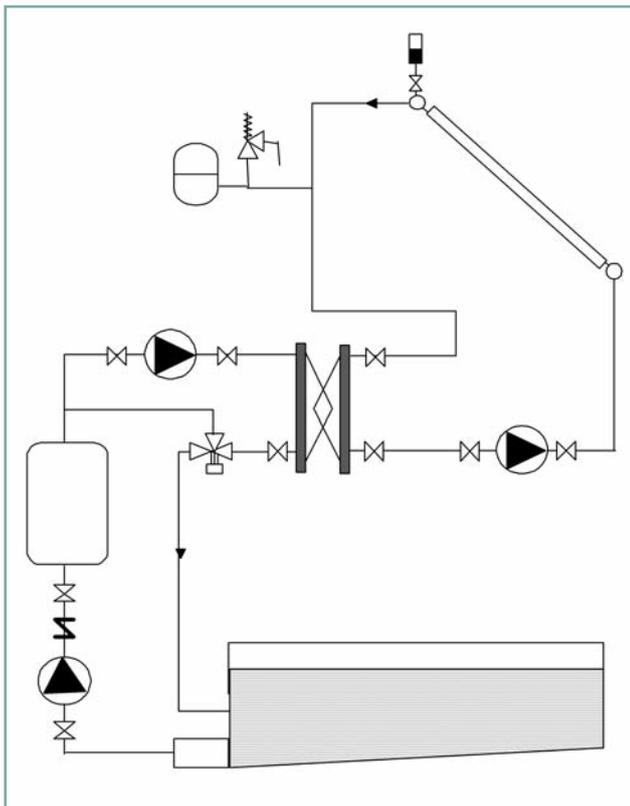
Los datos térmicos están calculados para un primario con propilenglicol al 30% de 55 a 45 °C y un secundario con agua de 15 a 32 °C, calentamiento en 24 horas. El código IP3600*****PTI significa placas en TITANIO y conexiones en POLIPROPILENO (aconsejable para agua de piscina de alta cloración).

DATOS DE FUNCIONAMIENTO PARA PRODUCCIÓN ACS - CALENTAMIENTO POR PANEL SOLAR

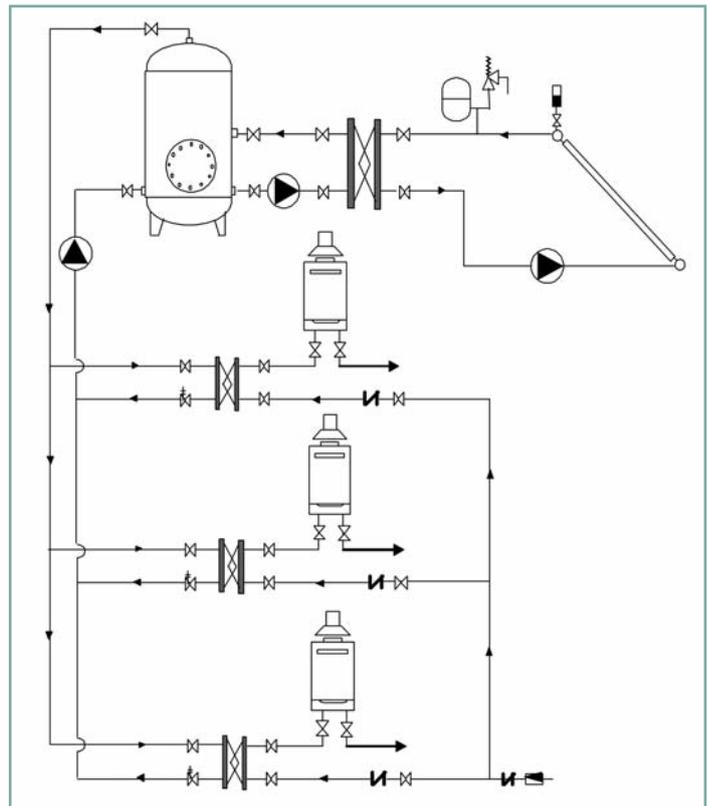
Nº placas	Código	Potencia (kw)	Caudal (litros/hora)		Pérdida de carga (mca)		Peso (kg)
			Primario	Secundario	Primario	Secundario	
5	IP360005PX08	2	173	54	0,11	0,01	27
7	IP360007PX08	4	346	108	0,19	0,02	28
9	IP360009PX08	8	692	217	0,39	0,04	28
11	IP360011PX08	10	865	271	0,39	0,04	29
13	IP360013PX08	14	1.211	379	0,52	0,06	30
15	IP360015PX08	16	1.385	434	0,50	0,06	30
17	IP362017PX08	20	1.731	542	0,59	0,07	31
19	IP360019PX08	22	1.904	596	0,57	0,07	32
21	IP360021PX08	26	2.250	705	0,64	0,07	32
23	IP360023PX08	28	2.423	759	0,61	0,07	33
25	IP360025PX08	32	2.769	867	0,67	0,08	33
27	IP360027PX08	34	2.542	921	0,65	0,07	34
29	IP360029PX08	38	3.288	1.030	0,69	0,08	35
31	IP360031PX08	40	3.461	1.084	0,67	0,08	35
33	IP360033PX08	44	3.807	1.192	0,71	0,08	36
35	IP360035PX08	48	4.154	1.301	0,74	0,09	37
37	IP360037PX08	50	4.327	1.355	0,72	0,08	37
39	IP360039PX08	54	4.673	1.464	0,75	0,09	38
41	IP360041PX08	56	4.846	1.518	0,73	0,09	39
43	IP360043PX08	60	5.192	1.626	0,76	0,09	39
45	IP360045PX08	62	5.365	1.680	0,74	0,09	40
47	IP360047PX08	66	5.711	1.789	0,77	0,09	41
49	IP360049PX08	68	5.884	1.843	0,75	0,09	41
51	IP360051PX08	72	6.230	1.951	0,77	0,09	42
53	IP360053PX08	74	6.403	2.006	0,75	0,09	43
55	IP360055PX08	78	6.749	2.114	0,77	0,09	43
57	IP360057PX08	82	7.096	2.222	0,79	0,09	44
59	IP360059PX08	84	7.269	2.277	0,78	0,09	45
61	IP360061PX08	88	7.615	2.385	0,80	0,09	45
63	IP360063PX08	90	7.788	2.439	0,78	0,09	46
65	IP360065PX08	94	8.134	2.548	0,80	0,09	47
67	IP360067PX08	96	8.307	2.602	0,78	0,09	47

Los datos térmicos están calculados para un primario con propilenglicol al 30% de 55 a 45 °C y un secundario con agua de 15 a 47 °C .

ESQUEMA DE INSTALACIÓN CON PANEL SOLAR PARA CALENTAMIENTO DE PISCINA



ESQUEMA DE INSTALACIÓN CON PANEL SOLAR PARA PRODUCCIÓN DE ACS



INTERCAMBIADORES



INTERCAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS 3600			
Nombre equipo	Código	Descripción	PVP
360005NX08	5/9IP360005NX08	Intercambiador de 5placas de temp.máxima 95°C	369,00
360005PX08	5/9IP360005PX08	Intercambiador de 5placas de temp.máxima 140°C	377,00
360007NX08	5/9IP360007NX08	Intercambiador de 7placas de temp.máxima 95°C	402,00
360007PX08	5/9IP360007PX08	Intercambiador de 7placas de temp.máxima 140°C	413,00
360009NX08	5/9IP360009NX08	Intercambiador de 9placas de temp.máxima 95°C	434,00
360009PX08	5/9IP360009PX08	Intercambiador de 9placas de temp.máxima 140°C	448,00
360011NX08	5/9IP360011NX08	Intercambiador de 11placas de temp.máxima 95°C	467,00
360011PX08	5/9IP360011PX08	Intercambiador de 11placas de temp.máxima 140°C	484,00
360013NX08	5/9IP360013NX08	Intercambiador de 13placas de temp.máxima 95°C	499,00

VICTRIX X 12 - ND:PRD_TECNICA



	Unit of measurement	26	X24	X12
Maximum nominal heat input (D.h.w. heating mode)	kW	26,7	26,7*	12,3*
Maximum nominal heat input (central heating mode)	kW	24,1	24,1	12,3
Minimum nominal heat input	kW	3,2	3,2	2,0
Maximum nominal heat output (D.h.w. heating mode)	kW	26,0	26,0*	12,0*
Maximum nominal heat output (central heating mode)	kW	23,6	23,6	12,0
Minimum nominal heat output	kW	3,0	3,0	1,9
Efficiency at nominal heat output (80/60°C)	%	97,8	97,8	97,7
Efficiency at 30% of load (80/60°C)	%	102,1	102,1	100,4
Efficiency at nominal heat output (40/30°C)	%	108,1	108,1	107,0
Efficiency at 30% of load (40/30°C)	%	108,7	108,7	107,9
Gas consumption at nominal heat output with NG	m ³ /h	2,82	2,55	1,30
Weighted CO with natural gas	mg/kWh	17,2	17,2	6,6
Weighted NOx with natural gas	mg/kWh	39,0	39,0	19,2
D.H.W. flow rate for continuous service with T=30°C, according to EN13203-1	l/min	12,9	-	-
D.H.W. circuit max pressure	bar	10	-	-
Min. dynamic D.H.W. circuit pressure	bar	0,3	-	-
Min. D.H.W. flow rate	l/min	1,5	-	-
Central heating circuit max pressure	bar	3	3	3
Central heating expansion vessel capacity	litres	8,0	8,0	8,0
Full appliance weight	Kg	42,4	41,6	39,5

* Available heat output in case of connection to a separate storage tank