



UNIVERSIDAD DE GRANADA

INSTALACIONES 2: SISTEMAS DE INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN, ELEMENTOS MECÁNICOS DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

ENUNCIADO Y RESOLUCIÓN DE EJERCICIOS PRÁCTICOS. CURSO 2022/2023

JOSÉ DAVID BIENVENIDO HUERTAS

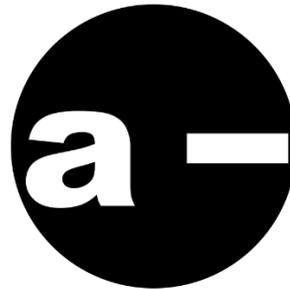


**GRADO EN ESTUDIOS DE ARQUITECTURA
CURSO 2022/2023**

Universidad de Granada



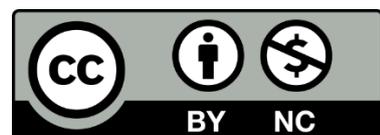
Escuela Técnica Superior de Arquitectura



Autor: José David Bienvenido Huertas.

Agradecimientos: María del Rocío Fernández Pérez, Manuel Aguilar Rodríguez.

Curso académico: 2022/2023.



Índice

1. Introducción	6
2. Examen de convocatoria ordinaria (19/06/2023)	7
2.1. Enunciado	7
2.1.1. Ventilación	7
2.1.2. Envolvente térmica	8
2.1.3. Calefacción	10
2.1.4. Aspectos por resolver:.....	11
2.2. Resolución	12
2.2.1. Ventilación	12
2.2.2. Envolvente térmica	13
2.2.3. Calefacción	17
3. Examen de convocatoria extraordinaria (12/07/2023)	19
3.1. Enunciado	19
3.2. Resolución	25
3.2.1. Ventilación	25
3.2.2. Envolvente térmica	26
3.2.3. Calefacción	31

Índice de figuras

Figura 1. Planta de la vivienda.	7
Figura 2. Esquema simplificado de la instalación de ventilación.	13
Figura 3. Esquema simplificado de la instalación de calefacción.	18
Figura 4. Planimetría de la vivienda. Altura suelo-techo de toda la vivienda de 2,8 m.	19
Figura 5. Esquema de la cubierta de la vivienda unifamiliar de Pradollano.	21
Figura 6. Esquema simplificado de la instalación de ventilación.	26
Figura 7. Esquema simplificado de la instalación de calefacción.	32

Índice de tablas

Tabla 1. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables.	8
Tabla 2. Composición de la fachada ventilada.	8
Tabla 3. Composición de la cubierta invertida.	8
Tabla 4. Tabla de cálculo de la transmitancia térmica del suelo - CTE.	9
Tabla 5. Valores de transmitancia térmica lineal de la envolvente.	9
Tabla 6. Resistencias superficiales.	9
Tabla 7. Transmitancia de energía solar de huecos con dispositivo sombra móvil activado (ggl;sh,wi).	9
Tabla 8. Factor de sombra para retranqueo.	10
Tabla 9. Irradiación solar media acumulada en el mes de julio.	10
Tabla 10. Valores límite de transmitancia térmica.	10
Tabla 11. Valores límite de coeficiente k.	10
Tabla 12. Valores límite de control solar.	10
Tabla 13. Características de radiadores modelo EUROPA C.	11
Tabla 14. Caudales mínimos de ventilación por estancia según DB HS3.	12
Tabla 15. Caudales equilibrados de ventilación por estancia según DB HS3.	12
Tabla 16. Área mínima de cada tramo del sistema de ventilación.	12
Tabla 17. Caracterización de la transmitancia térmica de la fachada ventilada.	13
Tabla 18. Caracterización de la transmitancia térmica de la cubierta invertida.	14
Tabla 19. Combinación obtenida en la tabla de cálculo de la transmitancia térmica del suelo - CTE.	14
Tabla 20. Caracterización de la transmitancia térmica del suelo.	14
Tabla 21. Combinación obtenida en la tabla de transmitancia total de energía solar de huecos con dispositivo sombra móvil activado (ggl;sh,wi).	15
Tabla 22. Combinación obtenida en la tabla de factor de sombra para retranqueo.	15
Tabla 23. Combinación obtenida en la tabla de irradiación solar media acumulada en el mes de julio.	15
Tabla 24. Caracterización del control solar.	16
Tabla 25. Caracterización del coeficiente global de transmisión de calor.	16
Tabla 26. Cálculo de la carga térmica de la vivienda.	17
Tabla 27. Diseño de los radiadores y cálculo de la red de tuberías.	17
Tabla 28. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables.	20
Tabla 29. Composición de la fachada ventilada.	20
Tabla 30. Zonas climáticas del CTE.	20
Tabla 31. Valores límite de transmitancia térmica.	20
Tabla 32. Composición del techo superior de los espacios habitables.	21
Tabla 33. Coeficiente de reducción de temperatura b.	21
Tabla 34. Composición del suelo de la vivienda.	21
Tabla 35. Tabla de cálculo de la transmitancia térmica del suelo - CTE.	22
Tabla 36. Valores de transmitancia térmica lineal de la envolvente.	22
Tabla 37. Resistencias superficiales.	22
Tabla 38. Transmitancia total de energía solar de huecos con dispositivo sombra móvil activado (ggl;sh,wi).	22
Tabla 39. Factor de sombra para retranqueo.	23
Tabla 40. Irradiación solar media acumulada en el mes de julio.	23
Tabla 41. Factor mínimo de temperatura de la superficie interior (fRsi,min).	23
Tabla 42. Características de radiadores modelo EUROPA C.	24
Tabla 43. Caudales mínimos de ventilación por estancia según DB HS3.	25
Tabla 44. Caudales equilibrados de ventilación por estancia según DB HS3.	25
Tabla 45. Área mínima de cada tramo del sistema de ventilación.	25
Tabla 46. Caracterización de la transmitancia térmica de la fachada ventilada.	26
Tabla 47. Combinación obtenida de coeficiente de reducción de temperatura b.	27
Tabla 48. Caracterización de la transmitancia térmica de la cubierta.	27
Tabla 49. Cálculo de la resistencia térmica del suelo de la vivienda.	27
Tabla 50. Combinación obtenida en la tabla de cálculo de la transmitancia térmica del suelo - CTE.	28
Tabla 51. Cálculo de la transmitancia térmica del vidrio.	28
Tabla 52. Combinación obtenida en la tabla de transmitancia total de energía solar de huecos con dispositivo sombra móvil activado (ggl;sh,wi).	29
Tabla 53. Combinación obtenida en la tabla de factor de sombra para retranqueo.	29

Tabla 54. Combinación obtenida en la tabla de irradiación solar media acumulada en el mes de julio.....	29
Tabla 55. Caracterización del control solar.....	30
Tabla 56. Caracterización del coeficiente global de transmisión de calor.....	30
Tabla 57. Cálculo de la carga térmica de la vivienda.....	31
Tabla 58. Diseño de los radiadores y cálculo de la red de tuberías.....	31

1. Introducción

En el presente documento se incluyen resueltos los modelos de examen utilizados en las convocatorias de evaluación ordinaria y extraordinaria del curso académico 2022/2023 de la asignatura de Instalaciones 2 del Grado en Estudios de Arquitectura de la Universidad de Granada.

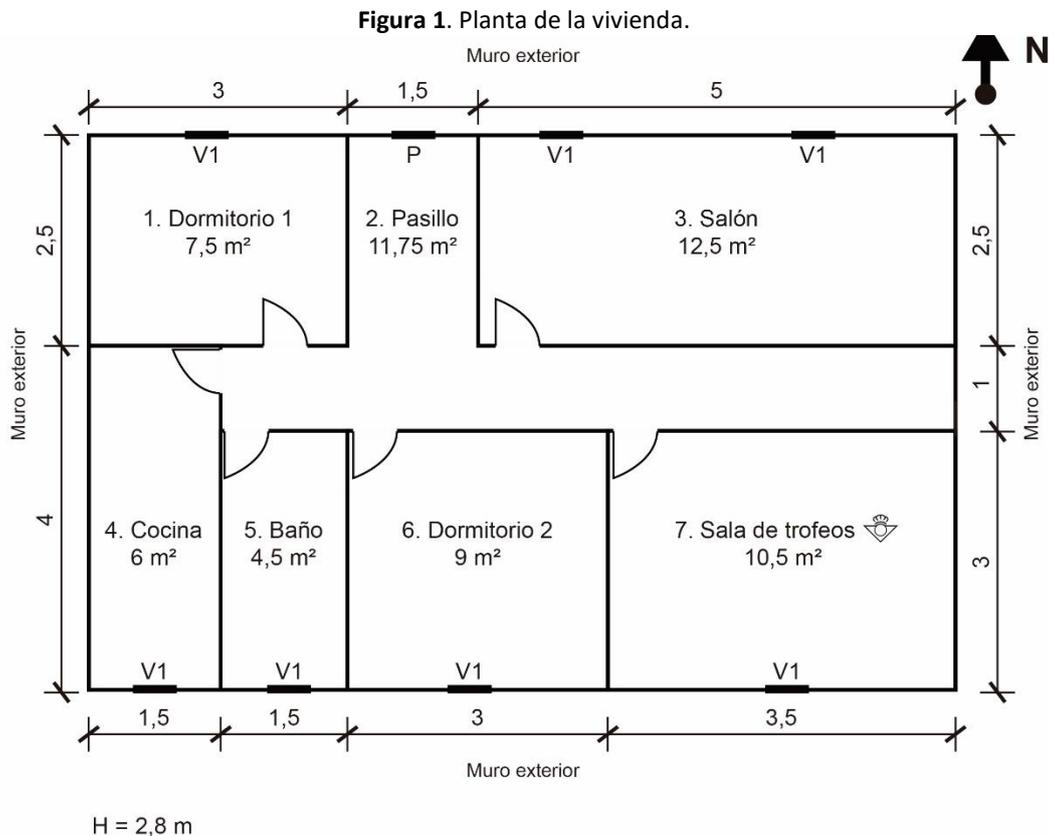
El documento pretende servir de ayuda para aquellos/as alumnos/as de la titulación que estén aprendiendo los procedimientos de cálculo y de diseño de las instalaciones térmicas. Asimismo, el documento puede servir de ayuda para alumnado de otras universidades, así como para titulados en las ramas de arquitectura y de ingeniería.

Este documento ha sido realizado con la referencia normativa española vigente durante el curso académico 2022/2023. Los procedimientos de cálculo y el alcance del análisis se acotan a las especificaciones pedidas en el enunciado del examen.

2. Examen de convocatoria ordinaria (19/06/2023)

2.1. Enunciado

Joaquín Sánchez, capitán y leyenda del Real Betis Balompié, ha colgado las botas este mes. Después de una larga trayectoria en los terrenos de juego, ha decidido poner punto final a su exitosa carrera deportiva. Para poder tener un merecido descanso, ha decidido construir una vivienda unifamiliar aislada en Salobreña (zona climática B4), encargándote la realización del diseño de la envolvente y de las instalaciones de ventilación y de calefacción, así como la justificación de la reglamentación pertinente. La vivienda consta de una única planta con 1 pasillo, 1 cocina, 1 baño, 1 salón, 2 dormitorios, y 1 sala de trofeos, digna de una leyenda de las 13 barras. En la Figura 1 dispones de la planimetría de la vivienda, con indicación de cotas y orientación. Se ha simplificado la representación, por lo que dispones de una cota genérica que sirve tanto para las medidas interiores como exteriores. La altura suelo-techo de toda la vivienda es de 2,8 m.



2.1.1. Ventilación

La instalación de ventilación será mecánica de doble flujo, con recuperador de calor de rendimiento del 90%. Para resolver dicha instalación, dispones de la Tabla 1 del HS3, así como plano de la vivienda para indicar las características de la instalación. Se pide equilibrado de caudales, indicación en plano de aberturas, caudales, conductos y recuperador de calor (de manera esquemática) y dimensionado del área mínima de los conductos conforme al CTE.

Tabla 1. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables.

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos ⁽¹⁾ ⁽²⁾			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

2.1.2. Envoltante térmica

El cumplimiento de la HE1 se realizará para la transmitancia térmica, el coeficiente global de transmisión de calor y el control solar.

Para el diseño de la fachada, se ha pensado en una solución de fachada ventilada, con las capas indicadas en la Tabla 2. El espesor del material aislante no se ha especificado, ya que se pretende ajustar dicho espesor para cumplir con el valor límite de transmitancia térmica (es decir, se pondrá el mínimo espesor necesario, siempre usando una solución que sea realista).

Tabla 2. Composición de la fachada ventilada.

Capa	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m^2K/W)
Acabado pétreo	0,02	1,7	-
Cámara de aire	0,03	-	0,18
MW	¿?	0,034	-
½ pie de ladrillo perforado	0,115	0,35	-
Guarnecido y enlucido de yeso	0,01	1	-

Todas las ventanas (V1) se resolverán con un acristalamiento doble bajo emisivo (4-12-4 con cámara de argón y transmitancia térmica de 1,6 W/m²K) y marco de madera (transmitancia térmica de 2,2 W/m²K). Las dimensiones de las ventanas (alto x ancho) son de 1,6 x 1,4 m y la fracción de marco es de 0,375. La transmitancia térmica lineal del separador es de 0,06 W/mK y el perímetro de 7,6 m. Todas las ventanas disponen de un retranqueo de 25 cm y persianas de color blanco por el exterior. La puerta de entrada (P) tendrá una transmitancia térmica de 5,7 W/m²K, por lo que no es necesario realizar su cálculo. Sus dimensiones son 0,8 m de ancho y 2 m de alto.

Para la cubierta, se ha optado por una cubierta invertida, cuya relación de materiales se indica a continuación:

Tabla 3. Composición de la cubierta invertida.

Capa/material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
Baldosa cerámica	0,050	1,000
Polietileno LD	0,001	0,330
XPS	0,050	0,025
Fibra de vidrio	0,002	0,040
Subcapa fieltro	0,001	0,050
Hormigón con áridos ligeros	0,100 (espesor medio)	1,150
Forjado	0,250	1,429
Guarnecido y enlucido de yeso	0,010	0,570

El suelo de la vivienda está en contacto directo con el suelo. La cimentación es de losa y se quiere poner aislamiento continuo en toda su superficie. El aislamiento térmico dispone de una conductividad térmica de 0,034 W/mK, pero se desconoce su espesor. Se pretende plantear una solución de suelo que utilice el mínimo espesor de aislamiento térmico para poder cumplir con el valor límite de la normativa (siempre utilizando un espesor que sea realista). A continuación, se incluye la Tabla 4 con el procedimiento de cálculo del CTE. Para los cálculos, redondea el valor de B' al número entero superior.

Tabla 4. Tabla de cálculo de la transmitancia térmica del suelo - CTE.

B'	R _s 0,00	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
		R _s [m²·K/ W]					R _s [m²·K/ W]					R _s [m²·K/ W]				
		0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
2	1,56	1,17	1,04	0,97	0,92	0,89	1,08	0,89	0,79	0,72	0,67	1,04	0,83	0,70	0,61	0,55
3	1,20	0,94	0,85	0,80	0,78	0,76	0,88	0,76	0,69	0,64	0,61	0,85	0,71	0,63	0,57	0,53
4	0,99	0,79	0,73	0,69	0,67	0,65	0,75	0,65	0,60	0,57	0,54	0,73	0,62	0,56	0,51	0,48
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Finalmente, se dispone los valores asociados a simulación de los puentes térmicos lineales de la vivienda, cuya simulación se ha encargado a una empresa especializada. Los valores son los siguientes:

Tabla 5. Valores de transmitancia térmica lineal de la envolvente.

Puente térmico	Transmitancia térmica lineal (W/mK)
Alféizar	0,08
Jambas	0,60
Dinteles	0,75
Unión cubierta-fachada	0,91
Esquinas	0,06

Para facilitarte el trabajo, se incluye a continuación las tablas necesarias para los cálculos y la verificación de la normativa.

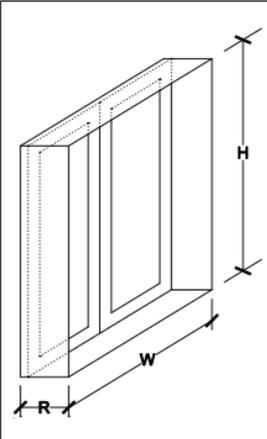
Tabla 6. Resistencias superficiales.

Flujo de calor	R _{se}	R _{si}
Flujo horizontal (elementos verticales)	0,04	0,13
Flujo horizontal ascendente (techo)	0,04	0,10
Flujo horizontal descendente (suelo)	0,04	0,17

Tabla 7. Transmitancia de energía solar de huecos con dispositivo sombra móvil activado (ggl;sh,wi).

Factor de transmitancia solar del dispositivo de protección solar		Protección exterior				Protección interior			
		Factor de reflexión (ρ _{e,s})				Factor de reflexión (ρ _{e,s})			
T _{e,B}	Tipo de vidrio	blanco	pastel	oscuro	negro	blanco	pastel	oscuro	negro
0 (p.ej: persianas)	Vidrio sencillo	0,06	0,11	0,15	0,19	0,34	0,43	0,54	0,66
	Vidrio doble	0,05	0,08	0,11	0,14	0,34	0,43	0,53	0,63
	Vidrio doble bajo emisivo	0,03	0,05	0,08	0,10	0,34	0,42	0,51	0,59
	Vidrio triple bajo emisivo	0,03	0,05	0,06	0,08	0,30	0,34	0,38	0,41
0,2 (p.ej: toldos)	Vidrio sencillo	0,22	0,27	0,31	0,33	0,39	0,51	0,62	0,68
	Vidrio doble	0,20	0,23	0,26	0,28	0,39	0,50	0,60	0,65
	Vidrio doble bajo emisivo	0,17	0,20	0,22	0,23	0,39	0,48	0,56	0,61
	Vidrio triple bajo emisivo	0,13	0,15	0,16	0,17	0,32	0,36	0,40	0,42
0,4 (p.ej: cortinas)	Vidrio sencillo	0,41	0,43	0,45	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71
	Vidrio doble	0,36	0,38	0,39	0,41	0,51	0,56	0,61	0,66
	Vidrio doble bajo emisivo	0,33	0,34	0,35	0,36	0,49	0,53	0,58	0,62
	Vidrio triple bajo emisivo	0,24	0,25	0,26	0,27	0,37	0,38	0,40	0,42

Tabla 8. Factor de sombra para retranqueo.



ORIENTACIONES DE FACHADAS					
		0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5
S	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,82	0,74	0,62	0,39
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,76	0,67	0,56	0,35
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,56	0,51	0,39	0,27
	R/H > 0,5	0,35	0,32	0,27	0,17
SE/ISO	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,86	0,81	0,72	0,51
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,79	0,74	0,66	0,47
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,59	0,56	0,47	0,36
	R/H > 0,5	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,86	0,82	0,76	0,61
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51
	R/H > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39

NOTA: En los huecos orientados a norte se puede considerar como valor simplificado 1

Tabla 9. Irradiación solar media acumulada en el mes de julio.

Z.C.	Horiz.	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N
A3	220.36	96.73	127.81	117.82	89.53	115.84	124.7	94.3	59.39
A4	235.35	99.25	132.86	123.7	94.78	123.83	133.97	100.69	61.12
B3	220.33	92.03	121.85	114.45	89.73	114.64	122.02	92.07	57.92
B4	235.31	101.7	135.64	125.09	94.13	121.94	131.14	98.48	61

Tabla 10. Valores límite de transmitancia térmica.

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80

Tabla 11. Valores límite de coeficiente k.

Compacidad V/A [m^3/m^2]	Zona climática de invierno						
	α	A	B	C	D	E	
Edificios nuevos y ampliaciones	V/A ≤ 1	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	V/A ≥ 4	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	V/A ≤ 1	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	V/A ≥ 4	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Tabla 12. Valores límite de control solar.

Uso	$Q_{sol,jul}$
Residencial privado	2,00
Otros usos	4,00

2.1.3. Calefacción

La vivienda dispondrá de sistema de calefacción por caldera de gas natural. Los emisores serán radiadores y se dispondrán en todos los locales, excepto pasillo. Para el cálculo de cargas térmicas, se considera una temperatura exterior de 0 °C (aire y terreno) y una temperatura interior de 20 °C. Recuerda que se ha

dispuesto un recuperador de calor con rendimiento del 90%. Se considera también suplementos por orientación e intermitencia de uso con los siguientes porcentajes:

- Orientación Norte: 10%.
- Orientación Este/Oeste: 5%.
- Intermitencia de uso: 10%.

Para los emisores, se pretende utilizar radiadores marca Ferroli, modelo EUROPA C, conforme los gustos del gran capitán de las trece barras. En la Tabla 13, se incluyen las características de los radiadores. Tienes que considerar un salto térmico de 30 °C para los cálculos de los radiadores. Calor específico del agua es 1,16 Wh/l°C, calor específico del aire es 0,28 Wh/(kg°C) y peso específico del aire 1,2 kg/m³ (a 20 °C).

Tabla 13. Características de radiadores modelo EUROPA C.

Salto térmico	Unidad	Modelo/Emisión térmica			
		EUROPA 450C	EUROPA 600C	EUROPA 700C	EUROPA 800C
ΔT = 30 °C	W	46,46	61,07	69,99	80,46
	Kcal/h	39,96	52,52	60,19	69,19
ΔT = 40 °C	W	67,1	89,2	102,2	117,6
	Kcal/h	57,7	76,8	87,9	101,2
ΔT = 50 °C	W	89,2	119,8	137,1	158,0
	Kcal/h	76,7	103,0	117,9	135,8
ΔT = 60 °C	W	112,7	152,3	174,3	200,9
	Kcal/h	96,9	131,0	149,8	172,8

2.1.4. Aspectos por resolver:

- Ventilación. Se pide:
 - o Resolver el equilibrado de caudales.
 - o Calcular el dimensionado del área mínima de los conductos.
 - o Representar la instalación a efectos esquemáticos en el plano disponible (caudales, aberturas, conductos y recuperador), con indicación de todos sus elementos y caudales.
- Envoltente térmica. Se pide:
 - o Calcular los valores de transmitancia térmica de fachada, cubierta, suelo y ventanas, especificando los espesores desconocidos de aislamiento.
 - o Calcular el control solar.
 - o Calcular el coeficiente global de transmisión de calor.
 - o Verificar el cumplimiento de las soluciones propuestas.
- Calefacción. Se pide:
 - o Calcular las cargas térmicas.
 - o Diseñar los radiadores.
 - o Calcular el caudal de las tuberías (poner en l/h).
 - o Representar la instalación a efectos esquemáticos en el plano disponible.

2.2. Resolución

2.2.1. Ventilación

En primer lugar, se procede al equilibrado de caudales. En la Tabla 14 se indican los resultados obtenidos de la aplicación de los caudales mínimos de ventilación del CTE.

Tabla 14. Caudales mínimos de ventilación por estancia según DB HS3.

Locales secos		Locales húmedos		
Estancia	Caudal CTE	Estancia	Mínimo por local	Mínimo en total
1. Dormitorio 1 (DP)	8	4. Cocina	7	
3. Salón	8	5. Baño	7	
6. Dormitorio 2	4			
7. Sala de trofeos	8			
Total	28		14	24

Tal y como se puede apreciar, no existe equilibrio entre admisión y extracción. Por lo tanto, se procede a realizar dicho equilibrado, aumentando los caudales de los locales húmedos. En la Tabla 15 se muestra el resultado final.

Tabla 15. Caudales equilibrados de ventilación por estancia según DB HS3.

Locales secos		Locales húmedos	
Estancia	Caudal CTE	Estancia	Caudal
1. Dormitorio 1 (DP)	8	4. Cocina	14
3. Salón	8	5. Baño	14
6. Dormitorio 2	4		
7. Sala de trofeos	8		
Total	28		28

En segundo lugar, se realiza el cálculo del área mínima que deben tener los conductos. El cálculo se basa en la utilización de la fórmula de dimensionado de conductos del DB HS3 cuando es colindante con espacios habitables (ecuación 4.1. del DB HS3):

$$S \geq 2,5 \cdot q$$

En la Tabla 16 se incluyen los resultados obtenidos para cada tramo. La resolución corresponde a una solución en esquema de estrella con recuperador de calor para el sistema de ventilación.

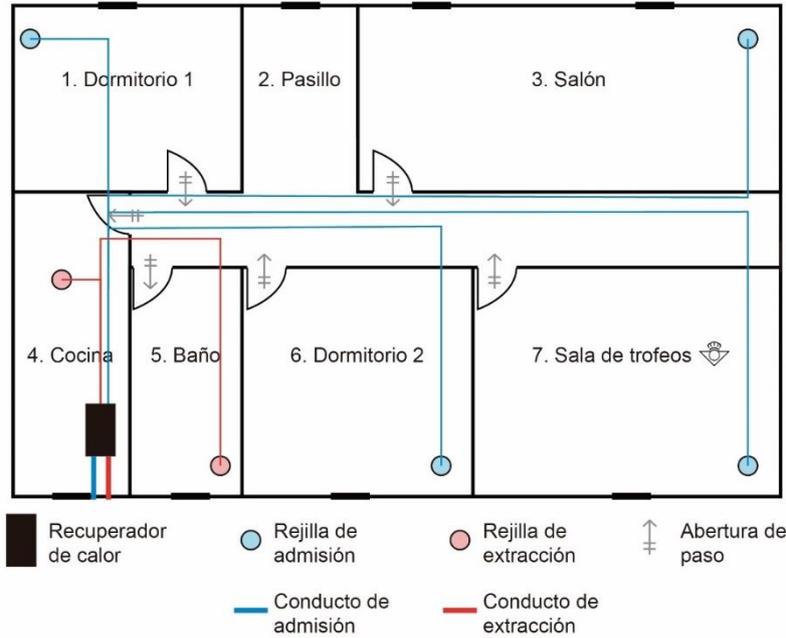
Tabla 16.

Tabla 16. Área mínima de cada tramo del sistema de ventilación.

Admisión		Extracción	
Tramo	Área mínima (cm ²)	Tramo	Área mínima (cm ²)
1. Dormitorio 1 (DP)	20	4. Cocina	35
3. Salón	20	5. Baño	35
6. Dormitorio 2	10		
7. Sala de trofeos	20		
Entrada al recuperador	70	Salida al recuperador	70

Finalmente, en la Figura 2 se representa el esquema de la instalación de ventilación de manera simplificada. El esquema no representa algunos elementos frecuentes de este tipo de instalaciones, como las cajas de distribución.

Figura 2. Esquema simplificado de la instalación de ventilación.



2.2.2. Envoltente térmica

Se comienza con la caracterización de la transmitancia térmica de la fachada. Al tratarse de una fachada ventilada (es decir, una cámara de aire muy ventilada), la resistencia térmica superficial exterior es igual a la interior y se descartan las capas existentes en la cámara de aire ventilada y el exterior. Dado que se debe cumplir con la normativa, el diseño y cálculo de la fachada se realizará para tener un valor igual o inferior al límite admitido por la normativa para la zona climática del proyecto (0,56 W/m²K). En primer lugar, se determina el espesor mínimo del aislamiento térmico:

$$E = \lambda_{MW} \cdot \left(\frac{1}{0,56} - R_{si} - R_{se} - R_{ladrillo} - R_{guarnecido} \right)$$

El resultado nos da un espesor de 0,04036 m. Se considera un valor de 0,04 m para el espesor del aislamiento y se procede al cálculo y validación (Tabla 17).

Tabla 17. Caracterización de la transmitancia térmica de la fachada ventilada.

Capa/material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m ² K/W)
MW	0,04	0,03	1,18
½ pie de ladrillo perforado	0,12	0,35	0,33
Guarnecido y enlucido de yeso	0,01	1,00	0,01
R _{si}			0,13
R _{se}			0,13
Transmitancia térmica: 0,56 W/ m ² K		Valor límite: 0,56 W/ m ² K	CUMPLE

Se procede a calcular la transmitancia térmica de la cubierta. En la Tabla 18 se incluye el resultado de transmitancia térmica y la verificación y cumplimiento con respecto al valor límite de la normativa.

Tabla 18. Caracterización de la transmitancia térmica de la cubierta invertida.

Capa/material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m²K/W)
Baldosa cerámica	0,05	1,00	0,05
Polietileno LD	0,00	0,33	0,00
XPS	0,05	0,03	2,00
Fibra de vidrio	0,00	0,04	0,05
Subcapa fieltro	0,00	0,05	0,02
Hormigón con áridos ligeros	0,10	1,15	0,09
Forjado	0,25	1,43	0,17
Guarnecido y enlucido de yeso	0,01	0,57	0,02
Rse			0,04
Rsi			0,10
Transmitancia térmica: 0,39 W/ m²K		Valor límite: 0,44 W/ m²K	CUMPLE

Para el suelo, se utiliza la Tabla 4 del enunciado. Dado que se desconoce el espesor que tiene, se busca dicho espesor a través del valor límite de la normativa. Se busca en la Tabla 4 una solución que cumpla con el valor límite de la zona climática (0,75 W/m²K) y que sea de aislamiento continuo (D>1,5 m). B' tiene un valor de 3,86, que es redondeada a 4 siguiendo las indicaciones del enunciado. En la Tabla 19 se muestra la combinación obtenida.

Tabla 19. Combinación obtenida en la tabla de cálculo de la transmitancia térmica del suelo - CTE.

B'	Ra	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
		Ra [m²·K/ W]					Ra [m²·K/ W]					Ra [m²·K/ W]				
0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
2	1,56	1,17	1,04	0,97	0,92	0,89	1,08	0,89	0,79	0,72	0,67	1,04	0,83	0,70	0,61	0,55
3	1,20	0,94	0,85	0,80	0,78	0,76	0,88	0,76	0,69	0,64	0,61	0,85	0,71	0,63	0,57	0,53
4	0,99	0,79	0,73	0,69	0,67	0,65	0,75	0,65	0,60	0,57	0,54	0,73	0,62	0,56	0,51	0,48
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41

Se puede apreciar como la combinación obtenida tiene un Ra de 0,50 m²K/W. Con un aislamiento térmico de 0,034 W/mK nos sale un espesor de 0,017 m. Dicho valor de espesor se redondea a 0,02 m y se obtiene la solución reflejada en la Tabla 20.

Tabla 20. Caracterización de la transmitancia térmica del suelo.

Espesor del aislamiento térmico (m)	0,02
Resistencia térmica del aislamiento térmico (m²K/W)	0,59
Transmitancia térmica del suelo (W/m²K)	0,69
Valor límite de transmitancia térmica (W/m²K)	0,75
	CUMPLE

Finalizando la parte de cálculo de transmitancias térmicas, se caracterizan las ventanas. Para ello, se utiliza la formulación de la normativa, sustituyendo las transmitancias y áreas de cada elemento.

$$U_w = \frac{U_{glass}A_{glass} + U_{frame}A_{frame} + \psi_{frame}l_{frame}}{A_{window}} = \frac{1,6 \cdot 1,4 + 2,2 \cdot 0,84 + 0,06 \cdot 7,6}{2,24} = 2,03 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El valor límite para ventanas en la zona climática es 2,3 W/m²K. Por lo tanto, la solución de ventana cumple con la normativa.

Caracterizadas las transmitancias térmicas, se calcula la variable de control solar. La formulación diseñada por el CTE se caracteriza por utilizar varias subvariables.

$$q_{sol} = \frac{Q_{sol;jul}}{A_{util}} = \frac{\sum_{i=1}^n (g_{gl;sh,wi} \cdot F_{sh;obst} \cdot A_{glass} \cdot H_{sol;jul})}{A_{util}}$$

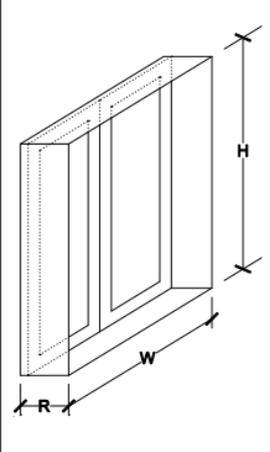
Para conocer estas subvariables, resulta necesario utilizar las Tablas 7-9 del enunciado. Al tratarse de un sumatorio, se debe realizar la caracterización de estas subvariables de manera individual en cada ventana. Analizando el proyecto se puede apreciar que hay dos tipologías de ventanas: las ventanas de orientación norte y orientadas hacia el sur. Por lo tanto, cada una de las subvariables es obtenida en estas orientaciones. Se comienza con la caracterización de $g_{gl;sh,wi}$. En la Tabla 21 se muestra la combinación resultante en el proyecto.

Tabla 21. Combinación obtenida en la tabla de transmitancia total de energía solar de huecos con dispositivo sombra móvil activado ($g_{gl;sh,wi}$).

Factor de transmitancia solar del dispositivo de protección solar	Tipo de vidrio	Protección exterior				Protección interior			
		Factor de reflexión ($\rho_{e,b}$)				Factor de reflexión ($\rho_{e,b}$)			
$T_{e,B}$		blanco	pastel	oscuro	negro	blanco	pastel	oscuro	negro
0 (p.ej: persianas)	Vidrio sencillo	0,06	0,11	0,15	0,19	0,34	0,43	0,54	0,66
	Vidrio doble	0,05	0,08	0,11	0,14	0,34	0,43	0,53	0,63
	Vidrio doble bajo emisivo	0,03	0,05	0,08	0,10	0,34	0,42	0,51	0,59
	Vidrio triple bajo emisivo	0,03	0,05	0,06	0,08	0,30	0,34	0,38	0,41

Así pues, $g_{gl;sh,wi}$ tiene un valor de 0,03 en las 2 ventanas. Se continua con la caracterización del factor de sombra. En la Tabla 22 se muestran las combinaciones obtenidas.

Tabla 22. Combinación obtenida en la tabla de factor de sombra para retranqueo.



		0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5
S	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,82	0,74	0,62	0,39
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,76	0,67	0,56	0,35
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,56	0,51	0,39	0,27
	R/H > 0,5	0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,86	0,81	0,72	0,51
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,79	0,74	0,66	0,47
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,59	0,56	0,47	0,36
	R/H > 0,5	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,86	0,82	0,76	0,61
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51
	R/H > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39

NOTA: En los huecos orientados a norte se puede considerar como valor simplificado 1

Del análisis de la tabla se ha podido comprobar como las ventanas de orientación sur tienen un factor de sombra de 0,67. En el caso de las ventanas de orientación norte, se utiliza el criterio indicado en la parte inferior de la tabla, considerando un valor simplificado de 1. Finalmente se obtiene los valores de irradiación solar en las 2 ventanas a través de la Tabla 23.

Tabla 23. Combinación obtenida en la tabla de irradiación solar media acumulada en el mes de julio.

Z.C.	Horiz.	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N
A3	220.36	96.73	127.81	117.82	89.53	115.84	124.7	94.3	59.39
A4	235.35	99.25	132.86	123.7	94.78	123.83	133.97	100.69	61.12
B3	220.33	92.03	121.85	114.45	89.73	114.64	122.02	92.07	57.92
B4	235.31	101.7	135.64	125.09	94.13	121.94	131.14	98.48	61

Conocido estos valores, se procede a calcular el control solar y a su comparación con el valor límite de la normativa. En la Tabla 24 se muestra resumido todo el proceso de cálculo, así como el resultado final del control solar, con un valor de 0,30. Tal y como se puede apreciar, dicho resultado cumple con el valor límite establecido en la normativa.

Tabla 24. Caracterización del control solar.

Tipo	Número de ventanas	$g_{gl;sh;wi}$	H	A_{glass}	$F_{sh;obst}$	$Q_{sol;jul}$
Ventanas norte	3,00	0,03	61,00	1,40	1,00	7,69
Ventanas sur	4,00	0,03	94,13	1,40	0,67	10,60
Área útil: 61,75 m ²						
χControl solar: 0,30		Valor límite: 2,00		CUMPLE		

Conocido el control solar, el siguiente paso fue calcular el coeficiente global de transmisión de calor. Para ello, se utilizó la fórmula incluida en el DB HE:

$$k = \frac{\sum_x b_{tr,x} (\sum_i A_{x,i} U_{x,i} + \sum_k l_{x,k} \psi_{x,k} + \sum_j X_{x,j})}{\sum_x \sum_i b_{tr,x} A_{x,i}}$$

Despreciando el efecto de las transmitancias térmicas puntuales ($X_{x,j}$), en la Tabla 25 se recopila el procedimiento de cálculo del coeficiente k, con el desglose de todas las variables. Tal y como se puede apreciar, el valor límite de la normativa es de 0,58 y el valor obtenido en el proyecto es 0,95, por lo que no cumpliría la solución de la envolvente. Dado que el enunciado no nos pide el cumplimiento de esta variable, concluiría en este punto el análisis de caracterización de la envolvente térmica.

Tabla 25. Caracterización del coeficiente global de transmisión de calor.

Elemento superficial	Área bruta (m ²)	A descontar (m ²)	Área neta (m ²)	Transmitancia térmica (W/m ² K)	Flujo de calor (W/K)
Fachada	89,60	17,28	72,32	0,56	40,50
Cubierta	61,75		61,75	0,39	24,08
Suelo	61,75		61,75	0,69	42,61
Ventanas	15,68		15,68	2,03	31,83
Puertas	1,60		1,60	5,70	9,12
Puente térmico	Longitud (m)			Transmitancia térmica lineal (W/mK)	Flujo de calor (W/K)
Alféizar	9,80			0,08	0,78
Jambas	26,40			0,60	15,84
Dinteles	10,60			0,75	7,95
Unión cubierta-fachada	32,00			0,91	29,12
Esquinas	11,20			0,06	0,67
Compacidad	0,81				
Coficiente calculado: 0,95 W/m²K		Valor límite: 0,58 W/m²K		NO CUMPLE	

2.2.3. Calefacción

En primer lugar, se procedió a la caracterización de la carga térmica de calefacción de la vivienda. En la Tabla 26 se incluye de manera detallada el cálculo de las cargas por transmisión, ventilación y la aplicación de suplementos.

Tabla 26. Cálculo de la carga térmica de la vivienda.

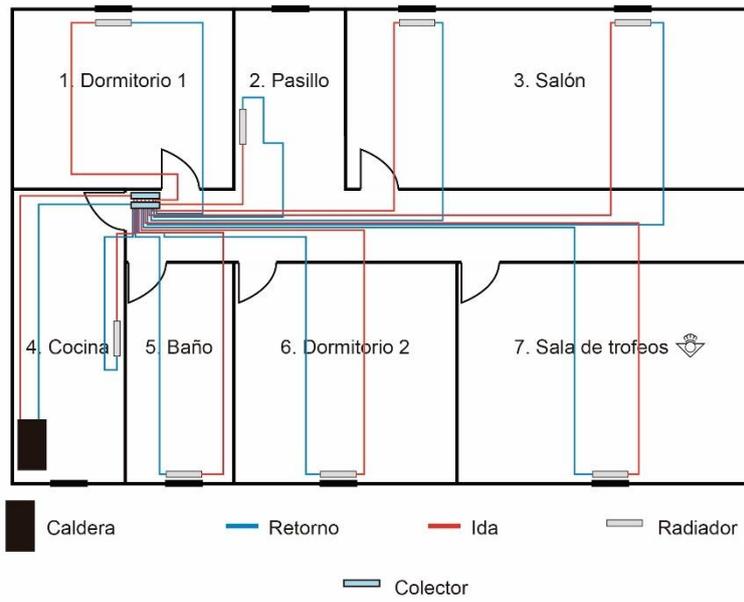
Estancia	Elemento	Área bruta (m ²)	Área a descontar (m ²)	Área neta (m ²)	U (W/m ² K)	ΔT (°C)	Pt (W)	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /h)	ΔT (°C)	Pv (W)	Suplementos	Pt (W)
1. Dorm 1	Fachada	15,4	2,24	13,16	0,56	20	147,39	8,00	28,80	2	19,35	1,20	503,63
	Cubierta	7,50	-	7,50	0,39	20	58,5						
	Suelo	7,50	-	7,50	0,69	20	103,50						
	Ventanas	2,24	-	2,24	2,03	20	90,94						
	Puerta	0,00	-	0,00	5,70	20	0,00						
2. Pasillo	Fachada	4,20	1,6	2,60	0,56	20	29,12	0,00	0,00	0	0,00	1,20	558,38
	Cubierta	11,75	-	11,75	0,39	20	91,65						
	Suelo	11,75	-	11,75	0,69	20	162,15						
	Ventanas	0,0	-	0,00	2,03	20	0,00						
	Puerta	1,60	-	1,60	5,70	20	182,40						
3. Salón	Fachada	21,00	4,48	16,52	0,56	20	185,02	8,00	28,80	2	19,35	1,20	787,52
	Cubierta	12,50	-	12,50	0,39	20	97,50						
	Suelo	12,50	-	12,50	0,69	20	172,50						
	Ventanas	4,48	-	4,48	2,03	20	181,89						
	Puerta	0,00	-	0,00	5,70	20	0,00						
4. Cocina	Fachada	15,40	2,24	13,16	0,56	20	147,39	14,00	50,40	0	0,00	1,15	423,13
	Cubierta	6,00	-	6,00	0,39	20	46,80						
	Suelo	6,00	-	6,00	0,69	20	82,80						
	Ventanas	2,24	-	2,24	2,03	20	90,94						
	Puerta	0,00	-	0,00	5,70	20	0,00						
5. Baño	Fachada	4,20	2,24	1,96	0,56	20	21,95	14,00	50,40	0	0,00	1,10	231,12
	Cubierta	4,50	-	4,50	0,39	20	35,10						
	Suelo	4,50	-	4,50	0,69	20	62,10						
	Ventanas	2,24	-	2,24	2,03	20	90,94						
	Puerta	0,00	-	0,00	5,70	20	0,00						
6. Dorm 2	Fachada	8,40	2,24	6,16	0,56	20	68,99	4,00	14,40	2	9,68	1,10	400,41
	Cubierta	9,00	-	9,00	0,39	20	70,20						
	Suelo	9,00	-	9,00	0,69	20	124,20						
	Ventanas	2,24	-	2,24	2,03	20	90,94						
	Puerta	0,00	-	0,00	5,70	20	0,00						
7. Sala de trofeos	Fachada	18,20	2,24	15,96	0,56	20	178,75	8,00	28,80	2	19,35	1,15	593,23
	Cubierta	10,50	-	10,50	0,39	20	81,90						
	Suelo	10,50	-	10,50	0,69	20	144,90						
	Ventanas	2,24	-	2,24	2,03	20	90,94						
	Puerta	0,00	-	0,00	5,70	20	0,00						
Total												3.497,40	

Conocida la carga térmica, se diseñaron los radiadores y se calculó el caudal por tubería. Para los emisores se ha utilizado el modelo EUROPA 700 C y el diseño planteado para la red de tuberías es un sistema bitubo con distribución de colectores. En la Tabla 27 se incluyen los resultados de ambos aspectos, mientras que en la Figura 3 se muestra el esquema simplificado de la instalación.

Tabla 27. Diseño de los radiadores y cálculo de la red de tuberías.

Tramo	Modelo	Emisión por elemento (W)	Nº elementos	Potencia radiador (W)	Caudal (l/h)
1. Dormitorio 1	EUROPA 700 C	69,99	8	559,92	24,13
2. Pasillo	EUROPA 700 C	69,99	8	559,92	24,13
3. Salón	EUROPA 700 C	69,99	12	839,88	36,20
4. Cocina	EUROPA 700 C	69,99	7	489,93	21,12
5. Baño	EUROPA 700 C	69,99	4	279,96	12,07
6. Dormitorio 2	EUROPA 700 C	69,99	6	419,94	18,101
7. Sala de trofeos	EUROPA 700 C	69,99	9	629,91	27,15
Entrada/salida colector				3.779,46	162,91

Figura 3. Esquema simplificado de la instalación de calefacción.

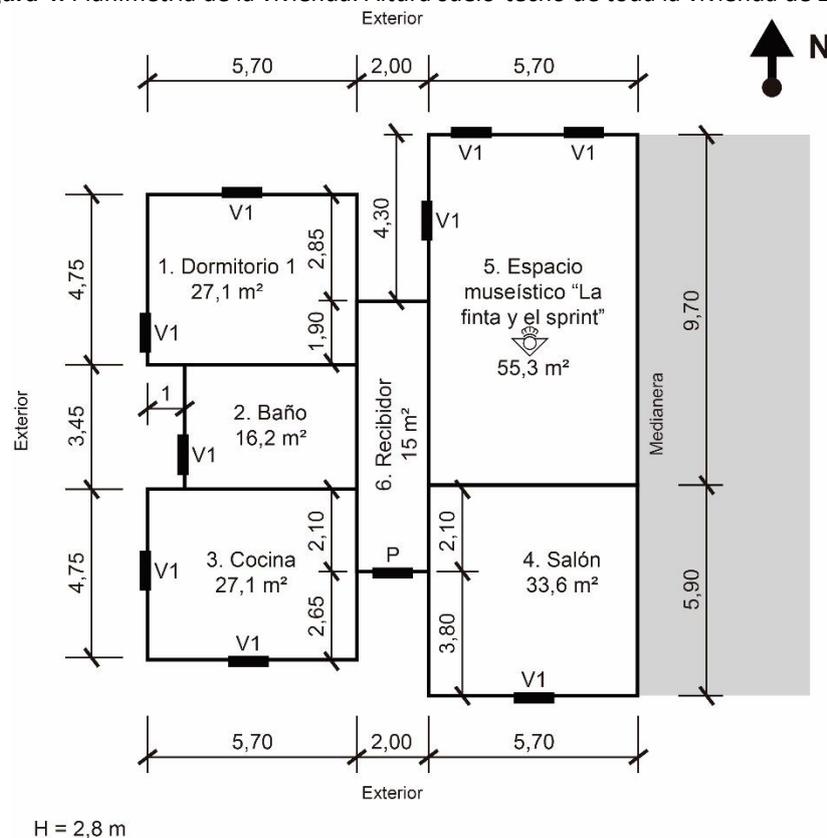


3. Examen de convocatoria extraordinaria (12/07/2023)

3.1. Enunciado

A Joaquín Sánchez, antiguo capitán y leyenda del Real Betis Balompié, no le gustó el proyecto planteado en la convocatoria ordinaria. Por ese motivo, ha decidido cambiar de manera significativa el proyecto, planteando una nueva vivienda unifamiliar ubicada en Pradollano (altitud 2100 m sobre el nivel del mar), con la idea de poder descansar y disfrutar del entorno natural de Sierra Nevada después de tantos años vistiendo la camiseta de las trece barras. Para ello, ha decidido darte otra oportunidad, encargándote la realización del diseño de la envolvente y de las instalaciones de ventilación y de calefacción, así como la justificación de la reglamentación pertinente. La vivienda consta de una única planta con 1 recibidor-pasillo, 1 cocina, 1 baño, 1 salón, 1 dormitorio, y el espacio museístico "La finta y el sprint" donde se alojarán las camisetas, trofeos y medallas recibidas durante su dilatada carrera en el fútbol. En la Figura 4 dispones de la planimetría de la vivienda, con indicación de cotas y orientación. Se ha simplificado la representación, por lo que dispones de una cota genérica que sirve tanto para las medidas interiores como exteriores. La altura suelo-techo de toda la vivienda es de 2,8 m.

Figura 4. Planimetría de la vivienda. Altura suelo-techo de toda la vivienda de 2,8 m.



Ventilación

La instalación de ventilación será mecánica de doble flujo, con recuperador de calor de rendimiento del 90%. Para resolver dicha instalación, dispones de la Tabla 28, así como plano de la vivienda para indicar las características de la instalación. Se pide equilibrado de caudales, indicación en plano de aberturas, caudales, conductos y recuperador de calor (de manera esquemática) y dimensionado del área mínima de los conductos conforme al CTE.

Tabla 28. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables.

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos ⁽¹⁾ ⁽²⁾			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

Envolvente térmica

Se realizará el cálculo de la transmitancia térmica, del coeficiente global de transmisión de calor y del control solar, así como el cumplimiento de la limitación de condensaciones superficiales.

Para el diseño de la fachada, se ha pensado en una solución de fachada ventilada, con las capas indicadas en la Tabla 29. El espesor del material aislante no se ha especificado, ya que se pretende ajustar dicho espesor para cumplir con el valor límite de transmitancia térmica (es decir, se pondrá el mínimo espesor necesario, siempre usando una solución que sea realista). En la Tabla 30 se incluye las zonas climáticas del CTE y en la Tabla 31 se indican los valores límite de transmitancia térmica de la normativa.

Tabla 29. Composición de la fachada ventilada.

Capa	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m^2K/W)
Acabado pétreo	0,02	1,7	-
Cámara de aire	0,03	-	0,18
MW	¿?	0,034	-
½ pie de ladrillo perforado	0,115	0,35	-
Guarnecido y enlucido de yeso	0,01	1	-

Tabla 30. Zonas climáticas del CTE.

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (h)																						
	≤ 50 m	51-100 m	101-150 m	111-200 m	201-250 m	251-300 m	301-350 m	351-400 m	401-450 m	451-500 m	501-550 m	551-600 m	601-650 m	651-700 m	701-750 m	751-800 m	801-850 m	851-900 m	901-950 m	951-1000 m	1001-1050 m	1051-1250 m	251-300 m
Granada	A4	B4					C4			C3		D3					E1						

Tabla 31. Valores límite de transmitancia térmica.

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80

Todas las ventanas (V1) se resolverán con un acristalamiento doble bajo emisivo 4-12-6 (con una resistencia térmica de la cámara de 0,31 m^2K/W y una conductividad térmica de los vidrios de 1 W/mK) y marco de madera (con una transmitancia térmica de 2,2 W/m²K). Las dimensiones de las ventanas (alto x ancho) son de 1,6 x 1,4 m y la fracción de marco es de 0,375. La transmitancia térmica lineal del separador es de 0,06 W/mK y el perímetro de 7,6 m. Todas las ventanas disponen de un retranqueo de 10 cm y persianas de color oscuro por el exterior.

La cubierta de la casa a efectos simplificados corresponde al esquema de la Figura 5. El techo de los espacios habitables está constituido por las capas indicadas en la Tabla 32, el espacio bajo cubierta será

muy ventilado y la relación A_{h-nh}/A_{nh-e} es de 0,55. Como ayuda para los cálculos, dispone de la Tabla 33 del Documento de Apoyo del DB HE.

Figura 5. Esquema de la cubierta de la vivienda unifamiliar de Pradollano.

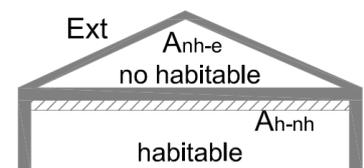


Tabla 32. Composición del techo superior de los espacios habitables.

Capa/material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
Forjado	0,250	1,429
MW	0,08	0,034
Cámara de aire	0,02	-
PYL	0,010	0,25

Tabla 33. Coeficiente de reducción de temperatura b.

A_{h-nh}/A_{nh-e}	No aislado _{nh-e} -Aislado _{h-nh}		No aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}		Aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
<0,25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0,25 ≤ 0,50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0,50 ≤ 0,75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
0,75 ≤ 1,00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1,00 ≤ 1,25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1,25 ≤ 2,00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2,00 ≤ 2,50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
2,50 ≤ 3,00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
>3,00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

El suelo de la vivienda está constituido por plaquetas, mortero de cemento, poliestireno extruido, recrecido de mortero, forjado y cámara sanitaria. Los valores de espesor y conductividad térmica de dichas capas se encuentran incluidos en la Tabla 34. Asimismo, en la Tabla 35 se incluye el procedimiento de cálculo del CTE. Para los cálculos, redondea el valor de B' al número entero superior.

Tabla 34. Composición del suelo de la vivienda.

Capa	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
Plaquetas	0,02	1,4
Mortero de cemento	0,03	1,00
Poliestireno extruido	0,03	0,034
Recrecido de mortero	0,05	1,00
Forjado	0,250	1,429
Cámara sanitaria	0,50	-

Tabla 35. Tabla de cálculo de la transmitancia térmica del suelo - CTE.

B'	R _t [m²K/W]						
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1	9,38	1,65	0,90	0,62	0,47	0,38	0,29
2	5,35	1,46	0,84	0,59	0,46	0,37	0,28
3	3,88	1,32	0,80	0,57	0,44	0,36	0,28
4	3,11	1,22	0,76	0,55	0,43	0,35	0,27
5	2,63	1,14	0,72	0,53	0,42	0,35	0,27
6	2,30	1,07	0,70	0,52	0,41	0,34	0,27
7	2,06	1,01	0,67	0,50	0,40	0,33	0,26
8	1,87	0,97	0,65	0,49	0,39	0,33	0,26
9	1,73	0,93	0,63	0,48	0,39	0,32	0,26
10	1,61	0,89	0,62	0,47	0,38	0,32	0,26

Finalmente, se dispone los valores asociados a la simulación de los puentes térmicos lineales de la vivienda. Los valores son los indicados en la Tabla 36.

Tabla 36. Valores de transmitancia térmica lineal de la envolvente.

Puente térmico	Transmitancia térmica lineal (W/mK)
Alféizar	0,08
Jambas	0,60
Dinteles	0,75
Unión cubierta-fachada	0,91
Esquinas	0,06

Para facilitarte el trabajo, se incluye a continuación las Tablas 37-41, necesarias para los cálculos y la verificación de la normativa.

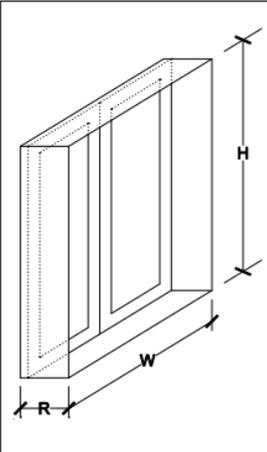
Tabla 37. Resistencias superficiales.

Flujo de calor	R _{se}	R _{si}
Flujo horizontal (elementos verticales)	0,04	0,13
Flujo horizontal ascendente (techo)	0,04	0,10
Flujo horizontal descendente (suelo)	0,04	0,17

Tabla 38. Transmitancia total de energía solar de huecos con dispositivo sombra móvil activado (ggl;sh,wi).

Factor de transmitancia solar del dispositivo de protección solar		Protección exterior				Protección interior			
		Factor de reflexión (ρ _{e,B})				Factor de reflexión (ρ _{e,B})			
T _{e,B}	Tipo de vidrio	blanco	pastel	oscuro	negro	blanco	pastel	oscuro	negro
0 (p.ej: persianas)	Vidrio sencillo	0,06	0,11	0,15	0,19	0,34	0,43	0,54	0,66
	Vidrio doble	0,05	0,08	0,11	0,14	0,34	0,43	0,53	0,63
	Vidrio doble bajo emisivo	0,03	0,05	0,08	0,10	0,34	0,42	0,51	0,59
	Vidrio triple bajo emisivo	0,03	0,05	0,06	0,08	0,30	0,34	0,38	0,41
0,2 (p.ej: toldos)	Vidrio sencillo	0,22	0,27	0,31	0,33	0,39	0,51	0,62	0,68
	Vidrio doble	0,20	0,23	0,26	0,28	0,39	0,50	0,60	0,65
	Vidrio doble bajo emisivo	0,17	0,20	0,22	0,23	0,39	0,48	0,56	0,61
	Vidrio triple bajo emisivo	0,13	0,15	0,16	0,17	0,32	0,36	0,40	0,42
0,4 (p.ej: cortinas)	Vidrio sencillo	0,41	0,43	0,45	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71
	Vidrio doble	0,36	0,38	0,39	0,41	0,51	0,56	0,61	0,66
	Vidrio doble bajo emisivo	0,33	0,34	0,35	0,36	0,49	0,53	0,58	0,62
	Vidrio triple bajo emisivo	0,24	0,25	0,26	0,27	0,37	0,38	0,40	0,42

Tabla 39. Factor de sombra para retranqueo.



ORIENTACIONES DE FACHADAS			0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5
		S	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,82	0,74	0,62
S		0,1 < R/H ≤ 0,2	0,76	0,67	0,56	0,35
		0,2 < R/H ≤ 0,5	0,56	0,51	0,39	0,27
		RH > 0,5	0,35	0,32	0,27	0,17
	SE/ISO	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,86	0,81	0,72	0,51
SE/ISO		0,1 < R/H ≤ 0,2	0,79	0,74	0,66	0,47
		0,2 < R/H ≤ 0,5	0,59	0,56	0,47	0,36
		RH > 0,5	0,38	0,36	0,32	0,23
	E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65
E/O		0,1 < R/H ≤ 0,2	0,86	0,82	0,76	0,61
		0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51
		RH > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39

NOTA: En los huecos orientados a norte se puede considerar como valor simplificado 1

Tabla 40. Irradiación solar media acumulada en el mes de julio.

Z.C.	Horiz.	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N
A3	220.36	96.73	127.81	117.82	89.53	115.84	124.7	94.3	59.39
A4	235.35	99.25	132.86	123.7	94.78	123.83	133.97	100.69	61.12
B3	220.33	92.03	121.85	114.45	89.73	114.64	122.02	92.07	57.92
B4	235.31	101.7	135.64	125.09	94.13	121.94	131.14	98.48	61
C1	195.77	88.49	114.47	106.12	81.72	101.55	108.06	84	56.85
C2	217.19	96.61	128.05	117.89	88.17	111.22	118.78	90.17	58.23
C3	220.34	97.05	128.62	118.69	89.37	115.69	125.22	95.24	59.61
C4	235.35	101.78	136.41	126.01	94.84	121.68	130.08	97.16	60.36
D1	195.8	88.53	114.54	106.15	81.96	101.33	107.19	82.96	56.51
D2	217.18	94.76	125.48	116.31	88.51	113.39	121.59	92.18	58.27
D3	220.32	94.22	124.81	116.03	89.15	115.91	125.24	94.95	58.91
E1	195.79	88.95	114.88	106.34	82.09	101.16	106.71	82.58	56.67

Tabla 41. Factor mínimo de temperatura de la superficie interior (fRsi,min).

Categoría del espacio	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Clase de higrometría 5	0,70	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,56	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,42	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

Calefacción

La vivienda dispondrá de sistema de calefacción por caldera de gas natural. Los emisores serán radiadores y se dispondrán en todos los locales. Dado que se tiene que validar la opinión de D. Joaquín Sánchez de las soluciones consideradas para la envolvente, en el cálculo de cargas térmicas se utilizará directamente los valores límite de transmitancia térmica de la zona climática de Pradollano (altitud 2100 m.s.n.m.). Los valores límite se incluyeron en la Tabla 31. La única excepción serán las puertas exteriores, que tendrán una transmitancia térmica de 5,7 W/m²K y unas dimensiones de 0,8 m de ancho y 2 m de alto.

Se considera una temperatura exterior de -5 °C (aire y terreno), una temperatura en espacios de medianera de 15 °C (no calefactados), y una temperatura interior de 20 °C. Recuerda que se ha dispuesto un recuperador de calor con rendimiento del 90%. Se considera también suplementos por orientación e intermitencia de uso con los siguientes porcentajes:

- Orientación Norte: 10%.

- Orientación Este/Oeste: 5%.
- Intermitencia de uso: 10%.

Para los emisores, se pretende utilizar radiadores marca Ferroli, modelo EUROPA C, conforme los gustos del gran capitán de las trece barras. En la Tabla 42, se incluyen las características de los radiadores. Tienes que considerar un salto térmico de 30 °C para los cálculos de los radiadores. Calor específico del agua es 1,16 Wh/l°C, calor específico del aire es 0,28 Wh/(kg°C) y peso específico del aire 1,2 kg/m³ (a 20 °C).

Tabla 42. Características de radiadores modelo EUROPA C.

Salto térmico	Unidad	Modelo/Emisión térmica			
		EUROPA 450C	EUROPA 600C	EUROPA 700C	EUROPA 800C
ΔT = 30 °C	W	46,46	61,07	69,99	80,46
	Kcal/h	39,96	52,52	60,19	69,19
ΔT = 40 °C	W	67,1	89,2	102,2	117,6
	Kcal/h	57,7	76,8	87,9	101,2
ΔT = 50 °C	W	89,2	119,8	137,1	158,0
	Kcal/h	76,7	103,0	117,9	135,8
ΔT = 60 °C	W	112,7	152,3	174,3	200,9
	Kcal/h	96,9	131,0	149,8	172,8

Aspectos por resolver:

- Ventilación (1,5 puntos). Se pide:
 - o Resolver el equilibrado de caudales (0,5 puntos).
 - o Calcular el dimensionado del área mínima de los conductos (0,5 puntos).
 - o Representar la instalación a efectos esquemáticos en el plano disponible (caudales, aberturas, conductos y recuperador), con indicación de todos sus elementos y caudales (0,5 puntos).
- Envoltente térmica (4,5 puntos). Se pide:
 - o Calcular los valores de transmitancia térmica de fachada, cubierta, suelo y ventanas, especificando los espesores desconocidos de aislamiento térmico (2 puntos).
 - o Calcular el control solar de la vivienda (1 punto).
 - o Calcular el coeficiente global de transmisión de calor de la vivienda (1 punto).
 - o Calcular y verificar el cumplimiento de condensaciones superficiales en la fachada de la casa (0,5 puntos).
- Calefacción (4 puntos). Se pide:
 - o Calcular las cargas térmicas de la vivienda (1,5 puntos).
 - o Diseñar los radiadores (1 punto).
 - o Calcular el caudal de las tuberías (poner en l/h) (1 punto).
 - o Representar la instalación a efectos esquemáticos en el plano disponible, con indicación de todos los dispositivos, códigos identificativos y caudales (0,5 puntos).

3.2. Resolución

3.2.1. Ventilación

En primer lugar, se procede al equilibrado de caudales. En la Tabla 43 se indican los resultados obtenidos de la aplicación de los caudales mínimos de ventilación del CTE.

Tabla 43. Caudales mínimos de ventilación por estancia según DB HS3.

Locales secos		Locales húmedos		
Estancia	Caudal CTE	Estancia	Mínimo por local	Mínimo en total
1. Dormitorio 1 (DP)	8	2. Baño	6	
4. Salón	6	3. Cocina	6	
5. Espacio museístico "La finta y el sprint"	6			
Total	20		12	12

Tal y como se puede apreciar, no existe equilibrio entre admisión y extracción. Por lo tanto, se procede a realizar dicho equilibrado, aumentando los caudales de los locales húmedos. En la Tabla 44 se muestra el resultado final.

Tabla 44. Caudales equilibrados de ventilación por estancia según DB HS3.

Locales secos		Locales húmedos	
Estancia	Caudal CTE	Estancia	Caudal
1. Dormitorio 1 (DP)	8	2. Baño	10
4. Salón	6	3. Cocina	10
5. Espacio museístico "La finta y el sprint"	6		
Total	20		20

En segundo lugar, se realiza el cálculo del área mínima que deben tener los conductos. El cálculo se basa en la utilización de la fórmula de dimensionado de conductos del DB HS3 cuando es colindante con espacios habitables (ecuación 4.1. del DB HS3):

$$S \geq 2,5 \cdot q$$

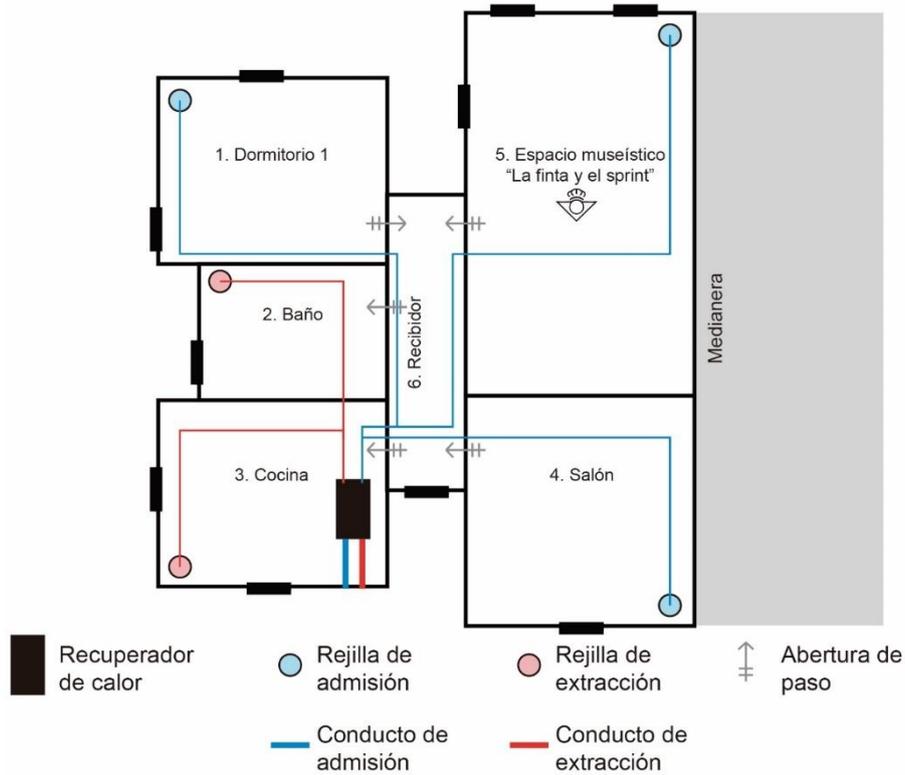
En la Tabla 45 se incluyen los resultados obtenidos para cada tramo. La resolución corresponde a una solución en esquema de estrella con recuperador de calor para el sistema de ventilación.

Tabla 45. Área mínima de cada tramo del sistema de ventilación.

Admisión		Extracción	
Tramo	Área mínima (cm ²)	Tramo	Área mínima (cm ²)
1. Dormitorio 1 (DP)	20	2. Baño	25
4. Salón	15	3. Cocina	25
5. Espacio museístico "La finta y el sprint"	15		
Entrada al recuperador	50	Salida al recuperador	50

Finalmente, en la Figura 6 se representa el esquema de la instalación de ventilación de manera simplificada. El esquema no representa algunos elementos frecuentes de este tipo de instalaciones, como las cajas de distribución.

Figura 6. Esquema simplificado de la instalación de ventilación.



2.2.2. Envoltente térmica

Se comienza con la caracterización de la transmitancia térmica de la fachada. Al tratarse de una fachada ventilada (es decir, una cámara de aire muy ventilada), la resistencia térmica superficial exterior es igual a la interior y se descartan las capas existentes en la cámara de aire ventilada y el exterior. Dado que se debe cumplir con la normativa, el diseño y cálculo de la fachada se realizará para tener un valor igual o inferior al límite admitido por la normativa para la zona climática del proyecto (0,37 W/m²K). En primer lugar, se determina el espesor mínimo del aislamiento térmico:

$$E = \lambda_{MW} \cdot \left(\frac{1}{0,37} - R_{si} - R_{se} - R_{ladrillo} - R_{guarnecido} \right)$$

El resultado nos da un espesor de 0,0715 m. Se considera un valor de 0,08 m para el espesor del aislamiento y se procede al cálculo y validación (Tabla 46).

Tabla 46. Caracterización de la transmitancia térmica de la fachada ventilada.

Capa/material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m ² K/W)
MW	0,08	0,03	2,35
½ pie de ladrillo perforado	0,12	0,35	0,33
Guarnecido y enlucido de yeso	0,01	1,00	0,01
R _{si}			0,13
R _{se}			0,13
Transmitancia térmica: 0,34 W/ m ² K			

Se procede a calcular la transmitancia térmica de la cubierta. Para ello, resulta necesario utilizar las Tablas 32 y 33 y considerar el esquema de cubierta de la Figura 5. En primer lugar, se determina el coeficiente b. Sabiendo que la relación A_{h-nh}/A_{nh-e} es de 0,55, el coeficiente b obtiene un resultado de 0,98 (Tabla 47).

Tabla 47. Combinación obtenida de coeficiente de reducción de temperatura b.

A_{h-nh}/A_{nh-e}	No aislado _{nh-e} -Aislado _{h-nh}		No aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}		Aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
<0,25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0,25 ≤ 0,50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0,50 ≤ 0,75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
0,75 ≤ 1,00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1,00 ≤ 1,25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1,25 ≤ 2,00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2,00 ≤ 2,50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
2,50 ≤ 3,00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
>3,00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

Sabiendo el valor de b, se procede al cálculo de la transmitancia térmica de la cubierta (Tabla 48). Se puede apreciar como en el cálculo se consideran las capas constructivas de la separación de los espacios habitable-no habitable, y se considera la misma resistencia térmica superficial. El valor de transmitancia térmica de este elemento constructivo (U_p) se multiplica por el factor b para obtener el resultado final de transmitancia térmica (U).

Tabla 48. Caracterización de la transmitancia térmica de la cubierta.

Capa/material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m ² K/W)
Forjado	0,25	1,13	0,22
MW	0,08	0,03	2,35
Camara de aire	0,02		0,16
PYL	0,01	0,25	0,04
Rse			0,10
Rsi			0,10
Transmitancia térmica (U_p): 0,33 W/ m ² K			
Factor b: 0,98			
Transmitancia térmica (U): 0,33 W/ m ² K			

Para el suelo, se utiliza la Tabla 35 del enunciado. Dado que una de las variables de entrada de la tabla es la resistencia térmica del suelo (Tabla 49), se calculó en primer lugar este aspecto sin considerar la cámara sanitaria como una capa ya que computa su efecto térmico en la Tabla 35.

Tabla 49. Cálculo de la resistencia térmica del suelo de la vivienda.

Capa	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m ² K/W)
Plaquetas	0,02	1,4	0,01
Mortero de cemento	0,03	1,00	0,03
Poliestireno extruido	0,03	0,034	0,88
Recrecido de mortero	0,05	1,00	0,05
Forjado	0,250	1,429	0,17
Resistencia térmica (Rf): 1,15 m ² K/W			

Conocida la resistencia térmica, se calculó el valor de B' con una resultante de 4,91. Dado que el enunciado nos indica que se redondee esta variable, se utilizó un valor de 5 en la consulta de la Tabla 35. En la Tabla 50 se muestra la combinación obtenida. Tal y como se puede apreciar, resulta necesario realizar una interpolación lineal, obteniéndose un resultado final de transmitancia térmica del suelo de 0,66 W/ m²K.

Tabla 50. Combinación obtenida en la tabla de cálculo de la transmitancia térmica del suelo - CTE.

B'	R _f [m²K/W]						
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1	9,38	1,65	0,90	0,62	0,47	0,38	0,29
2	5,35	1,46	0,84	0,59	0,46	0,37	0,28
3	3,88	1,32	0,80	0,57	0,44	0,36	0,28
4	3,11	1,22	0,76	0,55	0,43	0,35	0,27
5	2,63	1,14	0,72	0,53	0,42	0,35	0,27
6	2,30	1,07	0,70	0,52	0,41	0,34	0,27
7	2,06	1,01	0,67	0,50	0,40	0,33	0,26
8	1,87	0,97	0,65	0,49	0,39	0,33	0,26
9	1,73	0,93	0,63	0,48	0,39	0,32	0,26
10	1,61	0,89	0,62	0,47	0,38	0,32	0,26

Finalizando la parte de cálculo de transmitancias térmicas, se caracterizan las ventanas. Para ello, se utiliza la formulación de la normativa.

$$U_W = \frac{U_{glass}A_{glass} + U_{frame}A_{frame} + \psi_{frame}l_{frame}}{A_{window}}$$

En el caso del vidrio no se dispone del valor de transmitancia térmica, por lo que se obtiene previamente esta variable (Tabla 51).

Tabla 51. Cálculo de la transmitancia térmica del vidrio.

Capa	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistencia térmica (m²K/W)
Vidrio 4 mm	0,004	1,00	0,004
Cámara de aire 12 mm			0,31
Vidrio 6 mm	0,006	1,00	0,006
Rse			0,04
Rsi			0,13
Transmitancia térmica del vidrio (U _g): 2,04 m²K/W			

Conocido el valor de transmitancia térmica del vidrio, se sustituyen todas las variables de la formulación de la U de ventanas y se obtiene el resultado de la tipología usada en el proyecto:

$$U_W = \frac{U_{glass}A_{glass} + U_{frame}A_{frame} + \psi_{frame}l_{frame}}{A_{window}} = \frac{2,04 \cdot 1,4 + 2,2 \cdot 0,84 + 0,06 \cdot 7,6}{2,24} = 2,30 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Caracterizadas las transmitancias térmicas, se calcula la variable de control solar. La formulación diseñada por el CTE se caracteriza por utilizar varias subvariables.

$$q_{sol} = \frac{Q_{sol;jul}}{A_{util}} = \frac{\sum_{i=1}^n (g_{gl;sh;wi} \cdot F_{sh;obst} \cdot A_{glass} \cdot H_{sol;jul})}{A_{util}}$$

Para conocer estas subvariables, resulta necesario utilizar las Tablas 38-40 del enunciado. Al tratarse de un sumatorio, se debe realizar la caracterización de estas subvariables de manera individual en cada ventana. Analizando el proyecto se puede apreciar que hay tres tipologías de ventanas: las ventanas de

orientación norte, sur y oeste. Por lo tanto, cada una de las subvariables es obtenida en estas orientaciones. Se comienza con la caracterización de $g_{gl;sh,wi}$. En la Tabla 52 se muestra la combinación resultante en el proyecto.

Tabla 52. Combinación obtenida en la tabla de transmitancia total de energía solar de huecos con dispositivo sombra móvil activado ($g_{gl;sh,wi}$).

Factor de transmitancia solar del dispositivo de protección solar		Protección exterior				Protección interior			
		Factor de reflexión ($\rho_{e,s}$)				Factor de reflexión ($\rho_{i,s}$)			
$T_{e,B}$	Tipo de vidrio	blanco	pastel	oscuro	negro	blanco	pastel	oscuro	negro
0 (p.ej: persianas)	Vidrio sencillo	0,06	0,11	0,15	0,19	0,34	0,43	0,54	0,66
	Vidrio doble	0,05	0,08	0,11	0,14	0,34	0,43	0,53	0,63
	Vidrio doble bajo emisivo	0,03	0,05	0,08	0,10	0,34	0,42	0,51	0,59
	Vidrio triple bajo emisivo	0,03	0,05	0,06	0,08	0,30	0,34	0,38	0,41

Así pues, $g_{gl;sh,wi}$ tiene un valor de 0,08 en las 3 ventanas. Se continua con la caracterización del factor de sombra. En la Tabla 53 se muestran las combinaciones obtenidas.

Tabla 53. Combinación obtenida en la tabla de factor de sombra para retranqueo.

ORIENTACIONES DE FACHADAS		Factor de sombra				
		$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$	
S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82	0,74	0,62	0,39	
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76	0,67	0,56	0,35	
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56	0,51	0,39	0,27	
	$R/H > 0,5$	0,35	0,32	0,27	0,17	
SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86	0,81	0,72	0,51	
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79	0,74	0,66	0,47	
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	0,47	0,36	
	$R/H > 0,5$	0,36	0,36	0,32	0,23	
E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91	0,87	0,81	0,65	
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86	0,82	0,76	0,61	
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	0,61	0,51	
	$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48	0,39	

NOTA: En los huecos orientados a norte se puede considerar como valor simplificado 1

Del análisis de la tabla se ha podido comprobar como las ventanas de orientación sur tienen un factor de sombra de 0,82 y las de orientación oeste de 0,91. En el caso de las ventanas de orientación norte, se utiliza el criterio indicado en la parte inferior de la tabla, considerando un valor simplificado de 1. Finalmente se obtiene los valores de irradiación solar en las 3 ventanas a través de la Tabla 54.

Tabla 54. Combinación obtenida en la tabla de irradiación solar media acumulada en el mes de julio.

Z.C.	Horiz.	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N
A3	220.36	96.73	127.81	117.82	89.53	115.84	124.7	94.3	59.39
A4	235.35	99.25	132.86	123.7	94.78	123.83	133.97	100.69	61.12
B3	220.33	92.03	121.85	114.45	89.73	114.64	122.02	92.07	57.92
B4	235.31	101.7	135.64	125.09	94.13	121.94	131.14	98.48	61
C1	195.77	88.49	114.47	106.12	81.72	101.55	108.06	84	56.85
C2	217.19	96.61	128.05	117.89	88.17	111.22	118.78	90.17	58.23
C3	220.34	97.05	128.62	118.69	89.37	115.69	125.22	95.24	59.61
C4	235.35	101.78	136.41	126.01	94.84	121.68	130.08	97.16	60.36
D1	195.8	88.53	114.54	106.15	81.96	101.33	107.19	82.96	56.51
D2	217.18	94.76	125.48	116.31	88.51	113.39	121.59	92.18	58.27
D3	220.32	94.22	124.81	116.03	89.15	115.91	125.24	94.95	58.91
E1	195.79	88.95	114.88	106.34	82.09	101.16	106.71	82.58	56.67

Conocido estos valores, se procede a calcular el control solar. En la Tabla 55 se muestra resumido todo el proceso de cálculo, así como el resultado final del control solar, con un valor de 0,45.

Tabla 55. Caracterización del control solar.

Tipo	Número de ventanas	$g_{gl,sh,wi}$	H	A_{glass}	$F_{sh,obst}$	$Q_{sol,jul}$
Ventanas norte	3,00	0,08	56,67	1,40	1,00	19,04
Ventanas sur	2,00	0,08	82,09	1,40	0,82	15,08
Ventanas oeste	4,00	0,08	106,71	1,40	0,91	43,50
Área útil: 174,30 m ²						
Control solar: 0,45						

Conocido el control solar, el siguiente paso fue calcular el coeficiente global de transmisión de calor. Para ello, se utilizó la fórmula incluida en el DB HE:

$$k = \frac{\sum_x b_{tr,x} (\sum_i A_{x,i} U_{x,i} + \sum_k l_{x,k} \psi_{x,k} + \sum_j X_{x,j})}{\sum_x \sum_i b_{tr,x} A_{x,i}}$$

Despreciando el efecto de las transmitancias térmicas puntuales ($X_{x,j}$), en la Tabla 56 se recopila el procedimiento de cálculo del coeficiente k, con el desglose de todas las variables. Tal y como se puede apreciar, el valor obtenido en el proyecto es 0,42.

Tabla 56. Caracterización del coeficiente global de transmisión de calor.

Elemento superficial	Área bruta (m ²)	A descontar (m ²)	Área neta (m ²)	Transmitancia térmica (W/m ² K)	Flujo de calor (W/K)
Fachada	1.986,60	21,76	1.964,84	0,34	665,71
Cubierta	174,30		174,30	0,33	57,43
Suelo	174,30		174,30	0,66	115,56
Ventanas	20,16		20,16	2,30	46,45
Puertas	1,60		1,60	5,70	9,12
Puente térmico	Longitud (m)			Transmitancia térmica lineal (W/mK)	Flujo de calor (W/K)
Alféizar	14,00			0,08	1,12
Jambas	36,00			0,60	21,60
Dinteles	14,80			0,75	11,10
Unión cubierta-fachada	55,35			0,91	50,37
Esquinas	44,80			0,06	2,69
Compacidad	0,81				
Coefficiente calculado: 0,95 W/m²K					

Finalmente, se calcula y verifica el cumplimiento de condensaciones superficiales en la fachada. Para ello, se utilizó el procedimiento simplificado del DB HE. Sabiendo que la transmitancia térmica de la fachada tiene un valor de 0,34 W/m²K, se obtuvo el siguiente valor de factor de temperatura de la superficie interior:

$$F_{Rsi} = 1 - 0,25 \cdot U = 1 - 0,25 \cdot 0,34 = 0,92$$

Al tratarse de un uso residencial, la clase de higrometría sería de 3. Al consultar la Tabla 41, se puede comprobar que el valor límite es de 0,64 para la zona climática E y, por lo tanto, la solución de fachada no tendría problemas de condensaciones superficiales, al tener un factor de temperatura superior al valor límite del DB HE.

2.2.3. Calefacción

En primer lugar, se procedió a la caracterización de la carga térmica de calefacción de la vivienda. En la Tabla 57 se incluye de manera detallada el cálculo de las cargas por transmisión, ventilación y la aplicación de suplementos.

Tabla 57. Cálculo de la carga térmica de la vivienda.

Estancia	Elemento	Área bruta (m ²)	Área a descontar (m ²)	Área neta (m ²)	U (W/m ² K)	ΔT (°C)	Pt (W)	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /h)	ΔT (°C)	Pv (W)	Suplementos	Pt (W)
1. Dorm 1	Fachada	40,04	4,48	35,56	0,37	25	328,93	8	28,8	2,5	24,19	1,2	1.625,01
	Cubierta	27,1		27,1	0,59	25	399,725						
	Suelo	27,1		27,1	0,59	25	399,725						
	Ventanas	4,48		4,48	1,8	25	201,6						
	Puerta	0		0	5,7	25	0						
	Medianera	0		0	0,59	5	0						
2. Baño	Fachada	9,66	2,24	7,42	0,37	25	68,635	10	36	0	0	1,15	744,44
	Cubierta	16,2		16,2	0,59	25	238,95						
	Suelo	16,2		16,2	0,59	25	238,95						
	Ventanas	2,24		2,24	1,8	25	100,8						
	Puerta	0		0	5,7	25	0						
	Medianera	0		0	0,59	5	0						
3. Cocina	Fachada	39,48	4,8	34,68	0,37	25	320,79	10	36	0	0	1,15	1.536,68
	Cubierta	27,1		27,1	0,59	25	399,725						
	Suelo	27,1		27,1	0,59	25	399,725						
	Ventanas	4,8		4,8	1,8	25	216						
	Puerta	0		0	5,7	25	0						
	Medianera	0		0	0,59	5	0						
4. Salón	Fachada	26,6	2,24	24,36	0,37	25	225,33	6	21,6	2,5	18,14	1,15	1.591,84
	Cubierta	33,6		33,6	0,59	25	495,6						
	Suelo	33,6		33,6	0,59	25	495,6						
	Ventanas	2,24		2,24	1,8	25	100,8						
	Puerta	0		0	5,7	25	0						
	Medianera	16,52		16,52	0,59	5	48,734						
5. Espacio museístico "La finta y el sprint"	Fachada	28	6,72	21,28	0,37	25	196,84	6	21,6	2,5	18,14	1,2	2.674,63
	Cubierta	55,3		55,3	0,59	25	815,675						
	Suelo	55,3		55,3	0,59	25	815,675						
	Ventanas	6,72		6,72	1,8	25	302,4						
	Puerta	0		0	5,7	25	0						
	Medianera	27,16		27,16	0,59	5	80,122						
6. Recibidor	Fachada	11,2	1,6	9,6	0,37	25	88,8	20	72	0	0	1,2	911,16
	Cubierta	15		15	0,59	25	221,25						
	Suelo	15		15	0,59	25	221,25						
	Ventanas	0		0	1,8	25	0						
	Puerta	1,6		1,6	5,7	25	228						
	Medianera	0		0	0,59	5	0						
Total												9.083,74	

Conocida la carga térmica, se diseñaron los radiadores y se calculó el caudal por tubería. Para los emisores se ha utilizado el modelo EUROPA 700 C y el diseño planteado para la red de tuberías es un sistema bitubo con distribución de colectores. En la Tabla 58 se incluyen los resultados de ambos aspectos, mientras que en la Figura 7 se muestra el esquema simplificado de la instalación.

Tabla 58. Diseño de los radiadores y cálculo de la red de tuberías.

Tramo	Modelo	Emisión por elemento (W)	Nº elementos	Potencia radiador (W)	Caudal (l/h)
1. Dormitorio 1	EUROPA 700 C	69,99	24	1679,76	72,40
2. Baño	EUROPA 700 C	69,99	11	769,89	33,18
3. Cocina	EUROPA 700 C	69,99	22	1539,78	66,37
4. Salón	EUROPA 700 C	69,99	23	1609,77	69,39
5. Espacio museístico "La finta y el sprint"	EUROPA 700 C	69,99	39	2729,61	117,66
6. Recibidor	EUROPA 700 C	69,99	14	979,86	42,24
Entrada/salida colector				9308,67	401,24

Figura 7. Esquema simplificado de la instalación de calefacción.

