

Influencia del diseño del muro en el ahorro de energía en régimen variable

ANA SANCHEZ-OSTIZ, ARQUITECTO

Es normal el estudio de las condiciones ambientales de temperatura e higrometría de un espacio arquitectónico, considerando el flujo de energía en estado estacionario. Es decir, que se cumplen las condiciones siguientes:

- 1) La cantidad de energía transmitida a través de todas las capas es la misma.
- 2) La caída de temperatura de una capa es proporcional a la resistencia térmica de dicha capa.

En realidad, esto no ocurre así. Parte de la energía calorífica es absorbida por las capas atravesadas por el flujo y por tanto, la cantidad de energía que pasa de una capa a la siguiente no es la misma. Por ello, el flujo es variable. Esta variación del flujo de energía calorífica es función de la resistencia térmica del muro, del calor específico y del peso específico del material, y se suele expresar como "inercia térmica" del muro, e influye modificando la diferencia entre las temperaturas exteriores e interiores.

Al aumentar la inercia térmica del muro, la temperatura máxima diurna y la mínima nocturna se aproximarán a la temperatura media del día.

Esta inercia térmica la cuantificamos mediante la fórmula

$$\alpha = \frac{A_{int.}}{A_{ext.}}$$

α = Coeficiente de minoración de las amplitudes.

$A_{int.}$ = Amplitud de las temperaturas en el interior.

$A_{ext.}$ = Amplitud de las temperaturas en el exterior.

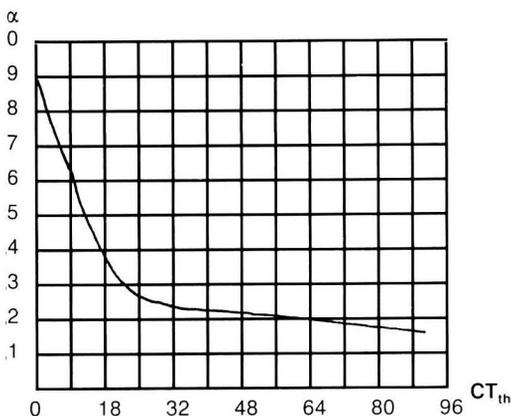


GRAFICO 1

El valor de "alfa" se obtiene en función de la "constante térmica de tiempo" CT_{th} del gráfico 1.

$$CT_{th} = \sum_{i=1}^n CT_{thi}$$

CT_{thi} , se calcula para el punto medio de la capa "i" mediante la fórmula:

$$CT_{thi} = (R_{ae} + R_1 + R_2 + \dots + 1/2 R_i) \times e_i \times \rho_i \times c_i \text{ (horas)}$$

Siendo:

R_{ae} = Resistencia térmica superficial ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$)

R_i = Resistencia térmica de la capa "i", partiendo del Exterior ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$)

e_i = Espesor de cada capa (m.)

c_i = Calor específico del material ($W.h./kg. \text{ } ^\circ C$)

ρ_i = Peso específico del material ($kg./m.^3$)

I. APLICACION A DISTINTOS CERRAMIENTOS

El emplazamiento de los elementos constructivos se ubica en Pamplona cuya latitud es $N-42'85''$

El procedimiento a seguir es:

1. **Obtención de α** = Coeficiente de minoración de las amplitudes en función de CT_{th} para cada tipo de cerramiento estudiado.

Ver cuadros: A, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

CUADRO A. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES NECESARIOS PARA CALCULAR LA TERMOMETRIA Y LA HIGROMETRIA DE UN MURO EN REGIMEN ESTACIONARIO Y VARIABLE

MATERIAL	ρ	C	λ	Y_v
FABRICA DE LADRILLO				
L. Cerámico Macizo	1.800	0,23	0,87	0,048
L. Cerámico Perforado	1.500	0,23	0,76	0,031
L. Cerámico Hueco 40-50%	1.200	0,23	0,49	0,026
L. Escorias	1.500	0,23	0,76	
L. Silico-Calcáreo	2.000	0,23	0,79	
FABRICA DE BLOQUE				
B. Hueco Mortero	1.600	0,23	0,54	0,01
B. Hueco Mortero Ligero	1.300	0,23	0,47	a
B. Hueco de Yeso	1.000	0,23	0,38	0,004
HORMIGON				
Armado	2.400	0,23	1,63	0,02
En masa	2.200	0,23	1,45	a 0,086
MORTEROS				
M-60	2.200	0,23	1,40	0,087
Mixtos	1.600	0,23	0,87	
Pasta de Yeso	1.200	0,23	0,30	0,052
 AISLANTES				
Poliestireno expandido T.IV.	17	0,52	0,036	
Poliestireno expandido T.V.	25	0,52	0,033	0,22
Poliuretano Tipo II	35	0,52	0,023	0,111
Fibra de vidrio	30	0,23	0,037	0,007
Aire en reposo en cámara				0,004
Aire en cámara ventilada				0

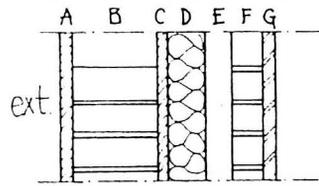
ρ Densidad del Material - $kg./m.^3$

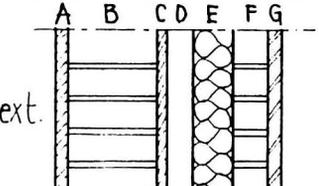
C Calor específico del Material - $W.h./kg. \text{ } ^\circ C$

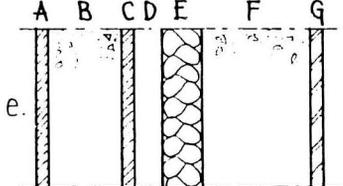
λ Conductividad Térmica - $W/m. \text{ } ^\circ C$

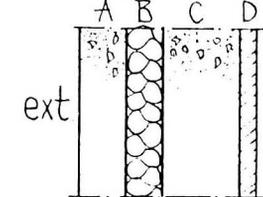
Y_v Resistividad al vapor - $mm.Hg.m.^2/día/g.cm.$

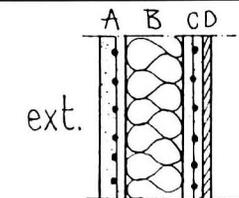
COLABORACIONES

		MURO 1								CUADRO 1
CAPAS		e(m)	ρ	C	λ	$R_i=e/\lambda$	$e \times \rho \times C$	$\sum R_i/2$	CThi	
A	SUPERFICIE EXTERIOR Enfoscado con m. cemento M-60 maestreado y fratasado.	0,015	2.000	0,23	1,40	0,01	6,90	0,065	0,45	
B	Ladrillo hueco 24×11,5×9 con mortero de cemento M-60	0,115	1.200	0,23	0,49	0,23	31,74	0,185	5,87	
C	Enfoscado M-60 proyectado sin maestrear, con aditivo hidrófugo, permeable al vapor	0,01	2.000	0,23	1,40	0,01	4,60	0,305	1,40	
D	Poliestireno expandido T.V.	0,05	25	0,52	0,033	1,52	0,65	1,07	0,70	
E	Cámara de aire	0,03	—	—	—	0,20	—	—	—	
F	Ladrillo H. 24×11,5×4 con pasta yeso	0,04	1.200	0,23	0,49	0,08	11,04	2,07	22,85	
G	Guarnecido y enlucido de yeso	0,015	1.200	0,23	0,30	0,05	4,14	2,135	8,84	
$CTh = \sum CThi = 40,1$										
↓									$\alpha = 0,21$	

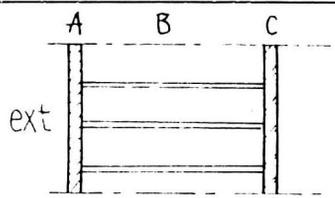
		MURO 2								CUADRO 2
CAPAS		e(m)	ρ	C	λ	$R_i=e/\lambda$	$e \times \rho \times C$	$\sum R_i/2$	CThi	
A	SUPERFICIE EXTERIOR Enfoscado con m. cemento M-60 maestreado y fratasado.	0,015	2.000	0,23	1,40	0,01	6,90	0,065	0,45	
B	Ladrillo hueco 24×11,5×6,2, gafas, tomado con m. cemento M-60	0,115	1.200	0,23	0,49	0,23	31,74	0,185	5,87	
C	Enfoscado M-60 con aditivo hidrófugo, proyectado sin maestrear	0,01	2.000	0,23	1,40	0,01	4,60	0,305	1,40	
D	Cámara de aire	0,03	—	0,23	—	0,20	—	—	—	
E	Poliestireno expandido T.V.	0,05	25	0,52	0,033	1,52	0,65	1,27	0,83	
F	Ladrillo H. 24×11,5×4 tomado con pasta de yeso Y-G	0,04	1.200	0,23	0,49	0,08	11,04	2,07	22,85	
G	Guarnecido y enlucido de yeso	0,015	1.200	0,23	0,30	0,05	4,14	2,135	8,84	
$CTh = \sum CThi = 40,2$										
↓									$\alpha = 0,21$	

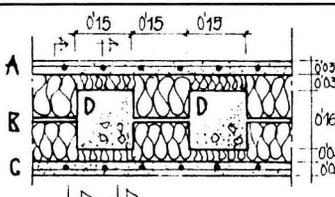
		MURO 3							
		CUADRO 3							
		CALCULO DE LA CONSTANTE TERMICA DE TIEMPO CTh (horas)							
		OBTENCION DEL COEFICIENTE DE AMPLITUD: α							
CAPAS		e(m)	ρ	C	λ	Ri=e/ λ	e $\times\rho\times C$	$\sum Ri/2$	CThi
A	SUPERFICIE EXTERIOR Enfoscado fratasado de mortero de cemento M-60	0,015	2.000	0,23	1,40	0,01	6,90	0,065	0,45
B	Bloque de micro-hormigón vibrado de 29×19×9 cm.	0,09	1.600	0,23	0,54	0,17	33,12	0,155	5,13
C	Enfoscado proyectado M-60 con aditivo hidrófugo, sin maestrear	0,015	2.000	0,23	1,40	0,01	6,90	0,245	1,69
D	Cámara de aire	0,03	—	—	—	0,20	—	—	—
E	Poliestireno expandido T.V.	0,05	25	0,52	0,033	1,52	0,65	1,21	0,79
F	Bloque de micro-hormigón vibrado de 29×19×14 cm.	0,14	1.600	0,23	0,54	0,26	51,52	2,10	108,19
G	Tendido de yeso Y-G, acabado Y-F	0,015	1.200	0,23	0,30	0,05	4,14	2,255	9,34
								CTh= \sum CThi=126	
								↓ $\alpha = 0,1$	

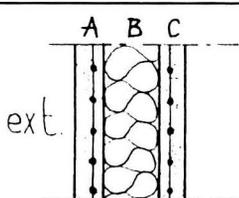
		MURO 4							
		CUADRO 4							
		CALCULO DE LA CONSTANTE TERMICA DE TIEMPO CTh (horas)							
		OBTENCION DEL COEFICIENTE DE AMPLITUD: α							
CAPAS		e(m)	ρ	C	λ	Ri=e/ λ	e $\times\rho\times C$	$\sum Ri/2$	CThi
A	SUPERFICIE EXTERIOR Hormigón armado	0,06	2.400	0,23	1,63	0,037	33,12	0,079	2,62
B	Poliestireno expandido T.V.	0,05	25	0,52	0,033	1,52	0,65	0,857	0,56
C	Hormigón armado	0,10	2.400	0,23	1,63	0,061	55,20	1,65	91,08
D	Guarnecido yeso Y-G y enlucido yeso Y-F	0,15	1.200	0,23	0,30	0,05	4,14	1,70	7,04
								CTh= \sum CThi=101,3	
								↓ $\alpha = 0,15$	

		MURO 5							
		CUADRO 5							
		CALCULO DE LA CONSTANTE TERMICA DE TIEMPO CTh (horas)							
		OBTENCION DEL COEFICIENTE DE AMPLITUD: α							
CAPAS		e(m)	ρ	C	λ	Ri=e/ λ	e $\times\rho\times C$	$\sum Ri/2$	CThi
A	SUPERFICIE EXTERIOR Mortero proyectado +malla electrosoldada+nervometal	0,03	2.200	0,23	1,45	0,02	15,18	0,07	1,06
B	Poliestireno expandido T.V.	0,07	25	0,52	0,033	2,12	0,91	1,14	1,04
C	Mortero proyectado + M.E.	0,025	2.200	0,23	1,45	0,02	12,65	2,21	27,96
D	Enlucido de yeso	0,005	1.200	0,23	0,30	0,02	1,38	2,23	3,08
								CTh= \sum CThi=33,14	
								↓ $\alpha = 0,22$	

COLABORACIONES

	MURO 6	CUADRO 6							
CALCULO DE LA CONSTANTE TERMICA DE TIEMPO CTh (horas) ↓ OBTENCION DEL COEFICIENTE DE AMPLITUD: α									
CAPAS	e(m)	ρ	C	λ	Ri=e/λ	e×ρ×C	∑Ri/2	CThi	
A	SUPERFICIE EXTERIOR Enfoscado con M. Cemento M-60 maestreado y fratasado	0,015	2.000	0,23	1,40	0,01	6,90	0,065	0,45
B	Ladrillo macizo, 1 asta con mortero cemento M-60	0,24	1.800	0,23	0,87	0,28	99,36	0,21	20,87
C	Guarnecido y enlucido de yesos Y-G e Y-F, maestreado	0,015	1.200	0,23	0,30	0,05	4,14	0,375	1,55
CTh=∑ CThi=22,8								↓	α =0,3

	MURO 7	CUADRO 7								
CALCULO DE LA CONSTANTE TERMICA DE TIEMPO CTh (horas) ↓ OBTENCION DEL COEFICIENTE DE AMPLITUD: α										
CAPAS	e(m)	ρ	C	λ	Ri=e/λ	e×ρ×C	∑Ri/2	CThi		
A	SUPERFICIE EXTERIOR Microhormigón proyectado mallazo Ø3/0'10.	0,03	2.400	0,23	1,63	0,018	16,56	0,069	1,143	
B	Poliestireno expandido T.IV	0,22	17	0,52	0,036	6,11	1,94	3,133	6,078	
C	Microhormigón proyectado-mallazo ø3/0,10	0,03	2.400	0,23	1,63	0,018	16,56	6,197	102,62	
A	SUPERFICIE EXTERIOR Microhormigón proy.-mallazo	0,03	2.400	0,23	1,63	0,018	16,56	0,069	1,143	
B	Poliestireno expandido T.IV	0,03	17	0,52	0,036	0,83	0,265	0,493	0,131	
D	Hormigón en masa o armado	0,16	2.200	0,23	1,45	0,11	80,96	0,963	77,96	
B	Poliestireno expandido T.IV	0,03	17	0,52	0,036	0,83	0,265	1,433	0,38	
C	Microhormigón proyectado-mallazo ø3/0,10	0,03	2.400	0,23	1,63	0,018	16,56	1,86	30,75	
-NOTA- SE TOMA EL VALOR MEDIO DE LOS DOS TIPOS DE SECCIONES								CTh=∑ CThi=110,1	↓	α =0,1

	MURO 8	CUADRO 8							
CALCULO DE LA CONSTANTE TERMICA DE TIEMPO CTh (horas) ↓ OBTENCION DEL COEFICIENTE DE AMPLITUD: α									
CAPAS	e(m)	ρ	C	λ	Ri=e/λ	e×ρ×C	∑Ri/2	CThi	
A	SUPERFICIE EXTERIOR Microhormigón proyectado Mallazo ø3/0,10	0,03	2.400	0,23	1,63	0,018	16,56	0,069	1,143
B	Poliestireno expandido T.IV	0,07	17	0,52	0,036	1,94	0,619	1,048	0,649
C	Microhormigón proyectado Mallazo ø3/0,10	0,03	2.400	0,23	1,63	0,018	16,56	2,027	33,57
CTh=∑ CThi=35,4								↓	α =0,22

2. Obtención de las temperaturas exteriores corregidas y su amplitud.

Se considera que la temperatura del aire exterior inmediato a un muro de color dado tiene el siguiente valor:

$$t_{ec} = t_{e\text{ aire}} + \frac{\beta \times R}{h_e}$$

t_{ec} = temperatura exterior corregida del aire.

$t_{e\text{ aire}}$ = temperatura seca del aire ambiente.

β = Factor de absorción de la radiación solar.

R = Radiación solar media en W/m^2

h_e = Estos valores son los medios para superficies con distinto grado de inclinación.

$\frac{1}{h_e}$ = Resistencia térmica superficial exterior en $m^2 \text{ } ^\circ C/W$ que se toma igual a 0,06.

Los datos de temperaturas medias, mínimas y máximas mensuales, han sido facilitados por el Servicio Meteorológico Nacional.

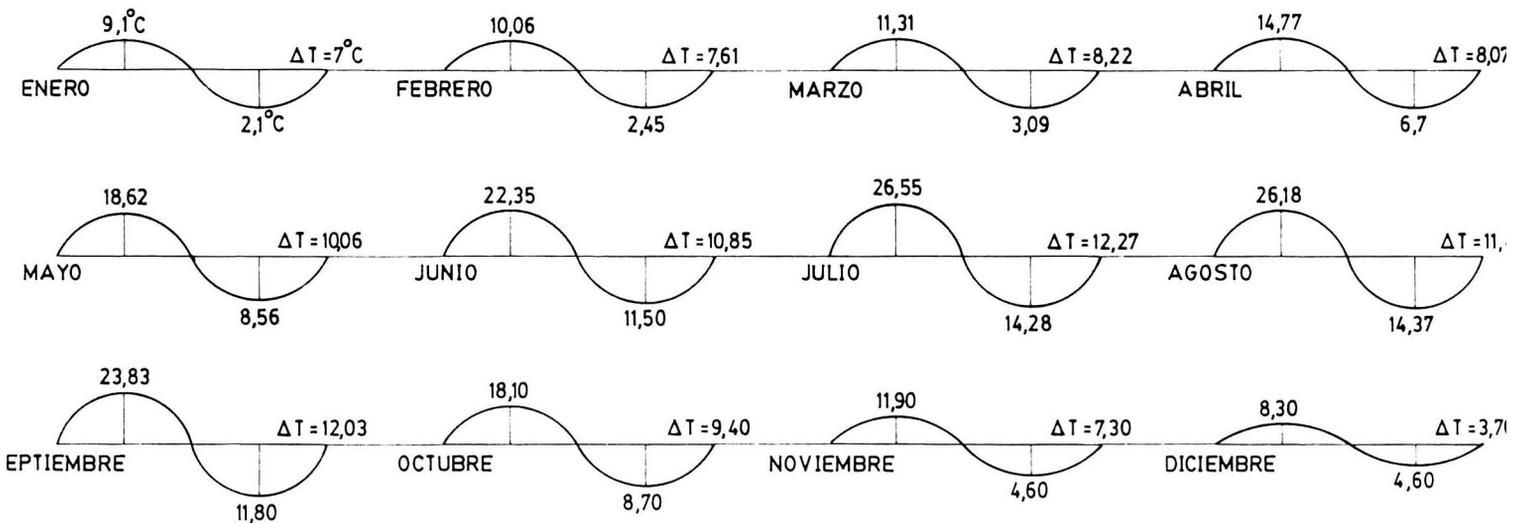
Se admite que las curvas medias de las temperaturas diarias y mensuales son sinusoidales y la amplitud media es constante.

Tomamos como "factor de absorción de la radiación solar de una pared opaca sin parasol" el valor medio del correspondiente a una pared roja oscura, verde clara, azul clara, siendo " β ":

Color del PARAMENTO	" β "
Blanca	0'2-0'3
Amarilla, naranja, roja clara ..	0'3-0'5
Roja oscura, verde clara, azul clara	0'5-0'7
Pardo, verde oscura, azul vivo, azul oscuro	0'7-0'9
Pardo oscuro, negra	0'9-1'0

Ver cuadro B - TEMPERATURAS EXTERIORES

3. Obtención de las temperaturas interiores a partir del coeficiente de minoración, de las amplitudes y de la amplitud exterior.

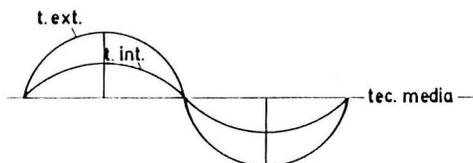


CUADRO B				TEMPERATURAS EXTERIORES					
MES	TEMPERATURAS MEDIAS EXT. t_e			AMPLITUD ΔT °C	RADIACION R w/m ² ·h	CORRECCION TEMPERAT. $\frac{\beta \times R}{h_e}$	TEMPERATURAS CORREGIDAS. t_{ec}		
	max.	min.	media				max.	min.	media
ENERO	9,1	2,1	5,6	7,0	71	2,6	11,7	4,7	8,2
FEBRERO	10,06	2,45	6,26	7,61	113	4,0	14,06	6,45	10,25
MARZO	11,31	3,09	7,20	8,22	142	5,1	16,41	8,19	12,30
ABRIL	14,77	6,7	10,73	8,07	122	4,4	19,17	11,10	15,13
MAYO	18,62	8,56	13,59	10,06	126	4,5	23,12	13,06	18,09
JUNIO	22,35	11,50	16,92	10,85	188	6,8	29,15	18,30	23,72
JULIO	26,55	14,28	20,41	12,27	204	7,3	33,85	21,58	27,71
AGOSTO	26,18	14,37	20,27	11,81	185	6,7	32,88	21,07	26,97
SEPTIEMBRE	23,83	11,80	17,81	12,03	165	5,9	29,73	17,70	23,71
OCTUBRE	18,10	8,70	13,40	9,40	149	5,4	23,50	14,10	18,80
NOVIEMBRE	11,90	4,60	8,25	7,30	74	2,7	14,60	7,30	10,90
DICIEMBRE	8,30	4,60	6,45	3,70	51	1,8	10,1	6,4	8,25

$$A_{int} = \alpha \times A_{ext}$$

$$t_{int,max.} = t_{ec. media} + 1/2 A_i$$

$$t_{int,min.} = t_{ec. media} - 1/2 A_i$$



no es obtener valores absolutos sino comparar el comportamiento relativo de los distintos tipos de muro, cuál genera un mayor ahorro de energía y el orden de magnitud de esta economía en función de la necesidad o no de refrigeración y calefacción.

Ver cuadro C - TEMPERATURAS INTERIORES

Todas estas hipótesis introducen errores importantes. Nuestro objetivo

CUADRO C		TEMPERATURAS INTERIORES													
MURO	1-2	3-7			4			5-8			6				
α	0,21	0,1			0,15			0,22			0,30				
MES	A °C	T °C		A °C	T °C		A °C	T °C		A °C	T °C		A °C	T °C	
		máx.	mín.		máx.	mín.		máx.	mín.		máx.	mín.		máx.	mín.
ENERO	1,5	8,95	7,45	0,7	8,55	7,85	1,1	8,75	7,65	1,5	8,95	7,45	2,1	9,25	7,15
FEBRERO	1,6	11,05	9,45	0,76	10,63	9,87	1,2	10,85	9,25	1,7	11,10	9,40	2,3	11,4	9,09
MARZO	1,7	13,15	11,45	0,82	12,71	11,89	1,3	12,95	11,65	1,8	13,20	11,40	2,5	13,55	11,05
ABRIL	1,7	15,98	14,28	0,81	15,54	14,73	1,2	15,73	14,53	1,8	16,03	14,23	2,4	16,33	13,93
MAYO	2,1	19,14	17,04	0,81	18,50	17,69	1,2	18,69	17,49	1,8	18,99	17,19	3,0	19,59	16,59
JUNIO	2,3	24,87	22,57	1,1	23,17	22,62	1,6	19,10	17,50	2,4	24,92	22,52	3,3	25,37	22,07
JULIO	2,6	29,01	26,41	1,2	28,31	27,11	1,9	28,66	26,76	2,7	29,06	26,36	3,7	29,56	25,86
AGOSTO	2,5	28,22	25,72	1,2	27,57	26,37	1,8	27,87	26,07	2,6	28,27	25,67	3,5	28,72	25,22
SEPTIEMBRE	2,5	24,96	22,46	1,2	24,31	23,11	1,8	24,61	22,81	2,7	25,06	22,36	3,6	25,51	21,91
OCTUBRE	2,0	19,80	17,80	0,9	19,25	18,35	1,4	19,50	18,10	2,1	19,85	17,75	2,8	20,2	17,4
NOVIEMBRE	1,5	11,65	10,15	0,7	11,25	10,65	1,1	11,45	10,35	1,6	11,70	10,10	2,2	12	9,8
DICIEMBRE	0,8	8,65	7,85	0,4	8,45	8,05	0,6	8,55	7,95	0,8	8,65	7,85	1,1	8,8	7,7

II. CONCLUSIONES

Admitiendo las siguientes hipótesis:

- Que no es necesario climatizar cuando la temperatura máxima interior es inferior a 28°C.
- Que no es necesario calefactar cuando la temperatura mínima interior es igual o superior a 12°C.
- Que en Pamplona la calefacción, en viviendas, se calcula para obtener en el interior 18°C, siendo la temperatura exterior 0°C.

Se llega a las siguientes conclusiones:

1. Climatización:

- Las construcciones realizadas con muros Tipo 3, 4 y 7 no necesitan

climatización. Solamente durante el mes de Julio la temperatura interior supera los 28°C.

Muro Tipo 3-7	- 28'31° C.
Muro Tipo 4	- 28'66° C.

— Las construcciones realizadas con muros Tipo 1, 2, 5, 6 y 8 necesitan un ligero complemento de climatización durante los meses de Julio y Agosto donde se alcanzan las temperaturas siguientes:

	Julio	Agosto
Muro Tipo 1-2	29'01° C.	28'22° C.
Muro Tipo 5-8	29'06° C.	28'27° C.
Muro Tipo 6	29'56° C.	28'72° C.

2. Calefacción

Sería necesario calefactar durante los siguientes meses:

Tipo muro	Enero	Febr.	Mar.	Nov.	Dic.
1-2	7'45	9'45	11'45	10'15	7'85
3-7	7'85	9'87	11'89	10'65	8'05
4	7'65	9'25	11'65	10'35	7'95
5-8	7'45	9'40	11'40	10'10	7'85
6	7'15	9'09	11'05	9'80	7'70

La potencia de la caldera calculada para 18°C. de temperatura interior cuando la temperatura exterior es de 0°C., tendría en el caso más desfavorable un coeficiente de seguridad de 1,39; es decir, dado que la temperatura mínima interior es de 7,15°C. al calefactar obtendríamos 25,15° C.