



Superficie envolvente de control medio para mejorar el confort térmico de una vivienda en Huaraz

Medium control envelope surface to improve the thermal comfort of a house in Huaraz

RONALD CORRALES PICARDO¹

RESUMEN

El trabajo determinó la superficie envolvente de control medio para mejorar el confort térmico de una vivienda en la ciudad de Huaraz – Perú, para lo cual, se comparó dos viviendas con el mismo diseño, pero con diferente envolvente, una existente con una construcción típica de control mínimo y la otra con una envolvente mejorada de control medio, que aprovecha la energía solar pasiva. El cálculo térmico, se efectuó mediante el análisis de ganancias y pérdidas de calor. En conclusión, la superficie envolvente propuesta, mejoró sustantivamente el confort térmico de una vivienda en Huaraz; pronosticando que, mediante un coeficiente de transmisión térmica global de $1,05 \text{ W/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, con el apoyo de calentamiento solar pasivo, se logra una temperatura interior de $21 \pm 1^\circ\text{C}$, donde más del 90 % de sus ocupantes estén satisfechos.

Palabras clave: Envolvente térmica; control medio; radiación solar.

ABSTRACT

The work determined the medium control envelope surface to improve the thermal comfort of a house in the city of Huaraz – Peru, for which, two houses with the

¹Facultad y Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

©Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Aporte Santiaguino de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite: Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

same design were compared, but with different envelope, one existing with a typical construction of minimum control and the other with an improved envelope of medium control, which takes advantage of passive solar energy. The thermal calculation was carried out through the analysis of heat gains and losses. In conclusion, the proposed enveloping surface substantially improved the thermal comfort of a house in Huaraz; predicting that, by means of a global thermal transmission coefficient of $1,05 \text{ W/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, with the support of passive solar heating, an interior temperature of $21 \pm 1^\circ\text{C}$ is achieved, where more than 90% of its occupants are satisfied.

Keywords: Thermal envelope; medium control; solar radiation.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Huaraz, es un valle interandino en la cordillera de los andes del Perú, está a una latitud baja $9,5^\circ$, a una longitud de 75° y a una altitud de 3100 m.s.n.m. Tiene una radiación solar anual alta entre los 5500 a 6200 $\text{w/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$, la que no es aprovechada para calentar las viviendas y dar un adecuado confort térmico a sus ocupantes. La temperatura media de cada mes del año, por estar cerca la Ecuador terrestre, es de alrededor de los $14 \pm 1^\circ\text{C}$, no existiendo estaciones marcadas, por las madrugadas desciende hasta los $3,8^\circ\text{C}$ y al medio día llega alrededor de los $23,4^\circ\text{C}$, existiendo una oscilación diaria de $20^\circ \pm 3^\circ\text{C}$.

Las superficies envolventes (SE) de las edificaciones que se construyen en Huaraz son de control mínimo, carecen de un adecuado aislamiento térmico, no adecuándose al clima, pues a través de ellas se transmite demasiado frío. Llámese SE a las superficies de la edificación que se encuentran en contacto con el medio ambiente (pisos, paredes y techos) y que sirven para controlar el clima interior de una edificación.

Monroy (2006:118-121) indica que las relaciones entre temperaturas medias exteriores e interiores de un edificio en función a su aislamiento e inercia térmica de la superficie envolvente pueden ser: 1). Control nulo, cuando una edificación es abierta y desocupada. 2) Control mínimo, es un edificio convencional sin acondicionamiento pasivo. 3) Control bajo, es cuando los ocupantes accionan mecanismos de regulación ambiental disponibles sin diseño solar pasivo específico. 4) Control medio, se da en un edificio casi convencional, donde se aplican criterios específicos de diseño solar pasivo con medios de regulación hecha por sus ocupantes. 5) Control alto, es cuando

se aplica una construcción muy especial para optimizar el rendimiento y su regulación. Una buena inercia térmica, permitirá mantener una temperatura media interior de 20°C que oscile casi $\pm 1^\circ\text{C}$, pues la inercia térmica es la capacidad que tiene la S.E. de absorber el calor y restituirlo después de un tiempo al ambiente interior.

La cantidad de almacenamiento de energía depende en gran medida de la posición, el espesor del material y de la inercia térmica. Los espesores óptimos de almacenamiento de los materiales de almacenamiento se estudian través de la capacidad calorífica diurna (dhc), que también depende del material y de la insolación solar de los elementos. Si ingresa el sol a las habitaciones, el espesor óptimo de los materiales para pisos de cemento es de 0,15 y de 0,075 m para paredes (Abraham, 2017; Szokolay, 2014; Esteves et al. 2017).

Con respecto al confort térmico, la Norma ISO-7730.2005), lo define como aquellas condiciones de la mente que expresan satisfacción del ambiente térmico. Los valores de referencia para el confort son $-0,5 \leq \text{PMV} \leq +0,5$ ó $\text{PPD} \leq 10\%$, donde PMV es el Promedio del Voto Previsto y PPD Promedio del Porcentaje de Insatisfechos. La Norma peruana EM 110 de Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética (2014), establece para que exista confort térmico en Huaraz, ubicada en la zona climática 5 de tipo alto andino, las edificaciones deben tener un límite de transmitancia máxima en muros de 1,0; en techos de 0,83 y en pisos de 3,26 $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$; establece como temperatura ambiente interior para vivienda de 18°C.

Se efectuaron investigaciones en diferentes países de latitudes altas, (Fosdick, 2016; Mazzocco et al. 2020; Saad y Araji, 2020; Cillari, Fantozzi y Franco, 2021); las que concluyen que se puede reducir la demanda energética de edificaciones utilizando estrategias bioclimáticas, entre 20 al 85,6 %, cuando se usa una superficie envolvente con aislamiento térmico y orientación adecuada para la captación de la energía solar.

Existen estudios en lugares alto andinos del centro y sur del Perú, (Aquino, 2018; Molina, Horn y Gómez, 2020; Wieser, 2021); que realizaron balances energéticos para determinar la eficiencia de las viviendas solares pasivas que propusieron, logrando entre 9 a 17 °C en espacios interiores sobre las condiciones exteriores; alcanzaron temperaturas de confort térmico entre 19 a 21 °C.

En Huaraz; Silva, Depaz y Alva. 2016, redujeron las pérdidas de calor de una vivienda, mejorando el aislamiento de rendijas de puertas y ventanas, techaron un patio central con vidriado; obteniendo el resultado que, la temperatura interior se incrementaba

entre 1,2 a 2,6°C en promedio logrando temperaturas de 20°C por más de siete horas. También, Corrales y Villegas (2014), en un estudio de espacios modulares con muros trombe orientados a diferentes orientaciones, concluyeron que la mejor orientación para calentar espacios es la este – oeste, donde durante todo el año, se calentó el ambiente interior ensayado entre 19 a 23 °C.

No existe estudios en la ciudad de Huaraz, que propongan la superficie envolvente que debe aplicarse en la construcción de las viviendas, que conlleve a un confort térmico adecuado a sus ocupantes. El objetivo de la presente investigación es: Determinar la superficie envolvente de control medio para mejorar el confort térmico de una vivienda en la ciudad de Huaraz – Perú

MATERIAL Y METODOS

De acuerdo a la orientación, la investigación fue aplicada, debido a que está orientada a lograr un nuevo conocimiento destinado a soluciones prácticas. El diseño de la investigación es cuasi experimental, donde los grupos no están asignados aleatoriamente, existiendo un grupo de control y un grupo experimental. La población, por ser un estudio de un caso, es igual que la muestra.

La metodología consistió en diseñar una vivienda con una superficie envolvente solar pasiva de control medio, para compararla energéticamente con una existente con envolvente de control mínimo (típica), con características comunes en su configuración, de área de piso, volumen de aire a calentar y la misma orientación, con las mismas condiciones geográficas y climatológicas.

Se obtuvo los datos meteorológicos de Temperatura y Humedad de la Estación Meteorológica de Shancayán del SENAMHI en Huaraz. La radiación solar vertical en diferentes direcciones se obtuvo de Corrales y Villegas (2013). Para obtener la temperatura de confort térmico para la temperatura interior de cálculo para Huaraz se utilizó la ecuación de Szokolay (2014):

$$T_n = 17,1 + 0,31 * T_m \pm 2 \quad (1)$$

donde: T_n = temperatura neutra; T_m = Temperatura media del mes. El mes de cálculo será junio por ser el más frío con un T_m de 13,34 °C, entonces $T_n = 21,2 \pm 2^\circ\text{C}$

Se determinó la transmisión térmica y los flujos de calor de los diferentes tipos de la superficie envolvente, que permitió efectuar el balance energético hora a hora en el día

medio del mes más frío (junio) de cada vivienda, las que se orientaron de este y oeste por ser la mejor orientación, luego se comparó los resultados. Se utilizó el método correlativo siguiente:

El balance energético se efectuó hora a hora en el día medio del mes más frío (junio) en cada vivienda en dirección E-O y se utilizó la Ecuación (2):

$$Q = \theta_{conducción} + \theta_{transmisión} + \theta_{ocupantes\ y\ equipos} + \theta_{ventilación}$$

$$Q = \sum_{i=1}^n K_i S_i (T_{sai} - T_{int}) + \sum_{i=1}^m \tau_i S_i E_{si} + \sum_{i=1}^w P_i + Q_m c_a (T_{ext} - T_{int}) \quad (2)$$

La temperatura interior hora a hora se obtuvo al aplicar la Ecuación 3 y 4

$$T_{int} = \frac{Q_m c_a T_{ext} + \sum S_i T_{sa} + \sum P_i + \sum \tau_i S_i E_{si}}{Q_m C_a + \sum S_i K_i} \quad (3)$$

$$\Delta T = 0,61 Q_s / DHC \quad (4)$$

Donde K es la conductancia del elemento de cierre. S_i es la superficie. T_{sai} = Temperatura sol aire. T_{int} = temperatura interior de cálculo (21°C). τ = coeficiente de transmisión del vidrio. E_{si} = Energía solar transmitida. P_i = calor de fuentes internas: ocupantes, equipos e iluminación. Q_m = Caudal másico de ventilación. C_a = calor específico del aire. T_{ext} = temperatura exterior. ΔT = variación de temperatura horaria. DHC = suma de A_i . dhci donde A_i = área de paredes, techos y pisos de almacenamiento y Dhci = respectiva capacidad diurna (Abraham 2017). La conductancia en caso de pisos es $K_i S_i (T_{int} - T_{terreno})$.

K_i se calcula según la Ecuación (5), donde h^{ext} es la conductancia del aire exterior y h^{int} es la conductancia del aire interior:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h^{ext}} + \sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h^{int}}} \quad (5)$$

Para T_{sa} se utiliza la Ecuación (6) para cerramientos verticales y la (7) para cerramientos horizontales, donde α = absorción del material, E_s = energía solar y h = conductancia del aire exterior y T_a = temperatura ambiente.

$$T_{sa} = T_a + \frac{\alpha}{h} E_s \quad (6)$$

$$T_{sa} = T_a + \frac{\alpha E_s \square - 50}{h} \quad (7)$$

Para calcular la inercia térmica, se empleó las ecuaciones 8 y 9:

Para elementos homogéneos:

$$\mu = \exp\left(-\frac{e}{\lambda} \sqrt{\frac{\pi k c p}{T}}\right) \quad \varphi = \frac{T}{2} \cdot \frac{e}{k} \sqrt{\frac{k c p}{\pi T}} \quad (8)$$

Para elementos heterogéneos:

$$B = \frac{1,1 \sum_1^n (k_i \cdot e_i \cdot p_i) + k_1 \cdot e_1 \cdot p_1 \left[\frac{e_1}{k_1} - 0,1 \sum_1^n \left(\frac{e_i}{k_i} \right) \right]}{\sum_1^n \left(\frac{e_i}{k_i} \right)} \quad A = \sum_1^n \left(\frac{e_i}{k} \right) \quad \varphi = \frac{T}{2} \cdot A \sqrt{\frac{B}{\pi T}} \quad (9)$$

Dónde: μ = amortiguación; φ = retraso en horas, e = espesor de la pared. T = tiempo 24 horas y/o 2350, K = coeficiente de transferencia, c = calor específico, p = densidad.

Mediante el aplicativo, PMV 2008 ver 1,0 Ingvar Holmer. Subprograma JAVA para ISO 7730, se calculó el confort térmico de cada vivienda mediante el PMV (Promedio del Voto Previsto) y el PPD (Promedio del Porcentaje de Satisfechos). Se utilizó la temperatura media interior resultante como temperatura del aire y la temperatura interior más baja como la temperatura radiante. El arropamiento y la actividad en ambos casos es igual; la velocidad del aire y humedad relativa varían en función al control mínimo y medio.

RESULTADOS

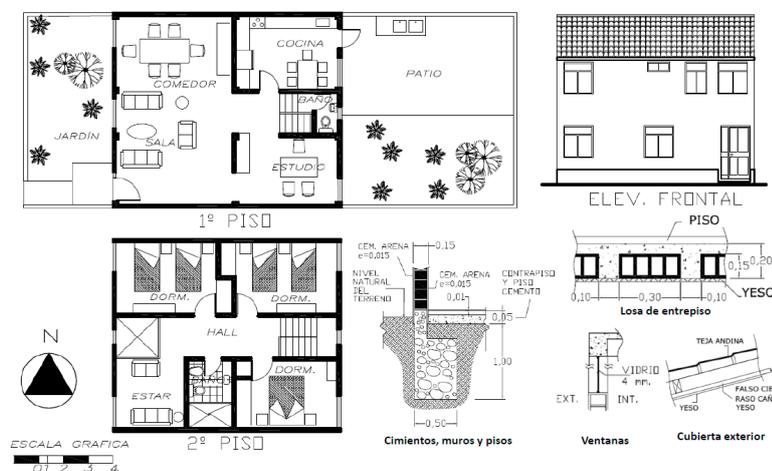


Figura 1. Vivienda 1 (V1) - Existente de control mínimo

Tabla 1. Balance energético en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ y temperatura interior en $^\circ C$ de la vivienda V1 para el mes de junio

h	Te	GANANCIAS DE CALOR				PERDIDAS DE CALOR					VAR. TEMPERAT.		
		Vent.	Cierres	Ocup.	Total	Vent.	Cierres	Pisos	Infiltrac.	Total	ΔT	Tin.	$^\circ C$
1	8,4	0	-2748	270	-2478	-1605	-5144	-466	-2307	-9522	-0,27	17,27	16,99
2	7,5	0	-3132	270	-2862	-1720	-5512	-501	-2471	-10204	-0,30	16,99	16,70
3	6,6	0	-3515	270	-3245	-1834	-5879	-536	-2636	-10886	-0,32	16,70	16,37
4	5,7	0	-3899	270	-3628	-1949	-6247	-571	-2801	-11567	-0,35	16,37	16,03
5	4,8	0	-4282	270	-4012	-2064	-6614	-606	-2966	-12249	-0,37	16,03	15,66
6	3,9	0	-4665	977	-3688	-2178	-6982	-641	-3130	-12931	-0,38	15,66	15,28
7	5,6	4485	-5049	810	246	-1962	-6287	-575	-2819	-11643	-0,26	15,28	15,02
8	13,3	4622	-5432	245	-565	-981	-3144	-276	-1410	-5810	-0,14	15,02	14,88
9	15,6	4368	-5816	210	-1237	-682	-2185	-185	-980	-4032	-0,12	14,88	14,76
10	16,1	3791	-6199	35	-2373	-622	-1992	-167	-893	-3673	-0,14	14,76	14,62
11	17,1	2949	-6583	385	-3248	-497	-1592	-129	-714	-2932	-0,14	16,40	16,26
12	19,0	2142	-2351	1645	1435	-255	-817	-55	-366	-1493	0,00	16,26	16,26
13	21,0	2904	2435	1096	6435	0	0	22	0	22	0,15	16,26	16,41
14	22,5	3690	4747	483	8920	191	612	81	275	1159	0,23	16,41	16,63
15	22,4	4219	6128	277	10625	179	575	77	258	1089	0,27	16,63	16,90
16	20,4	4436	7104	187	11727	-76	-245	-1	-110	-432	0,26	16,90	17,16
17	19,5	4277	7373	396	12046	-191	-612	-36	-275	-1114	0,25	17,16	17,41
18	17,7	0	8118	235	8353	-420	-1347	-105	-604	-2477	0,13	17,41	17,54
19	13,8	0	8199	1509	9707	-917	-2940	-257	-1318	-5432	0,10	17,54	17,64
20	12,9	0	7738	2170	9908	-1032	-3307	-292	-1483	-6113	0,09	17,64	17,72
21	12,4	0	6059	753	6811	-1096	-3511	-311	-1574	-6492	0,01	17,72	17,73
22	11,8	0	3783	580	4363	-1172	-3756	-334	-1684	-6947	-0,06	17,73	17,67
23	11,1	0	-1029	372	-656	-1261	-4042	-361	-1812	-7477	-0,18	17,67	17,49
24	10,9	0	-2365	270	-2095	-1287	-4124	-369	-1849	-7628	-0,22	17,49	17,27
Σ	13,3	41884	4620	13985	60489	-23430	-75092	-6593	-33669	-138784	-1,78		16,52

Ti 16,57

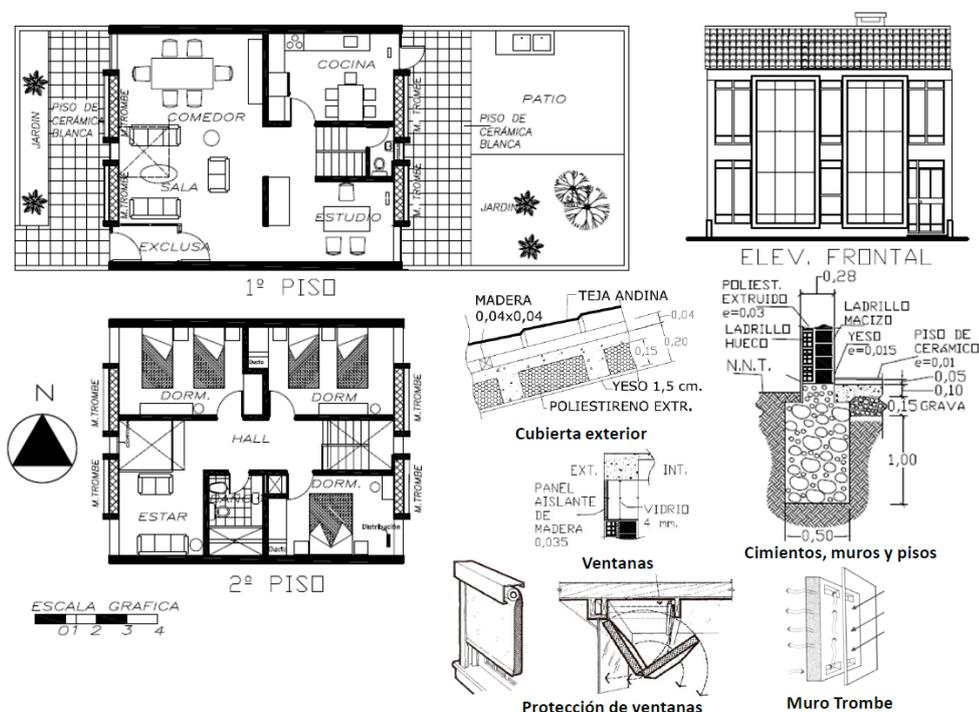


Figura 2. Vivienda 2 (V2) – Propuesta de Control medio.

Tabla 2. Balance energético en W/m² °C y temperatura interior en °C de la vivienda V2 para el mes de junio

h	Te	GANANCIAS DE CALOR					PERDIDAS DE CALOR					VAR. TEMPERAT.		
		Vent.	Trombe	Cierres	Ocup.	Total	Vent.	Cierres	Pisos	Infiltrac.	Total	ΔT	Tin.	°C
1	8,4	0	1600	1152	270	3022	-625	-930	-430	-1633	-3618	-0,01	21,96	21,95
2	7,5	0	-506	620	270	385	-669	-996	-463	-1749	-3877	-0,08	21,95	21,86
3	6,6	0	-506	-443	270	-679	-714	-1062	-495	-1866	-4137	-0,11	21,86	21,75
4	5,7	0	-498	-772	270	-1000	-759	-1129	-527	-1983	-4397	-0,12	21,75	21,63
5	4,8	0	-492	-878	270	-1099	-803	-1195	-559	-2099	-4657	-0,13	21,63	21,50
6	3,9	0	-487	-983	977	-493	-848	-1262	-591	-2216	-4917	-0,12	20,09	19,97
7	5,6	5398	-473	-1089	810	4646	-1765	-2059	-531	-1996	-6349	-0,04	19,97	19,93
8	13,3	5580	-473	-1195	245	4158	-882	-1029	-255	-998	-3165	0,02	19,93	19,95
9	15,6	5290	-487	-1300	210	3712	-613	-716	-171	-694	-2194	0,04	19,95	19,98
10	16,1	4608	-492	-1406	35	2745	-559	-652	-154	-632	-1998	0,02	19,98	20,00
11	17,1	3605	-498	-1511	385	1980	-447	-521	-119	-505	-1593	0,01	20,00	20,01
12	19,0	2637	-506	-1617	1645	2159	-229	-267	-51	-259	-807	0,03	20,01	20,04
13	21,0	3603	-506	-1723	1096	2470	0	0	20	0	20	0,06	20,04	20,10
14	22,5	4604	1600	-1828	483	4859	172	201	74	194	641	0,13	20,10	20,23
15	22,4	5285	1929	-1772	277	5719	161	188	71	182	602	0,15	20,23	20,37
16	20,4	5574	1938	-609	187	7090	-69	-80	-1	-78	-228	0,16	20,37	20,53
17	19,5	5391	1761	515	396	8063	-172	-201	-33	-194	-600	0,17	20,53	20,70
18	17,7	0	1403	1047	235	2685	-164	-243	-98	-428	-933	0,04	20,70	20,74
19	13,8	0	1042	1376	1509	3926	-357	-531	-237	-933	-2058	0,04	20,74	20,79
20	12,9	0	1042	1613	2170	4825	-402	-598	-269	-1050	-2318	0,06	20,79	20,84
21	12,4	0	1403	1705	753	3861	-426	-635	-287	-1114	-2463	0,03	20,84	20,88
22	11,8	0	1761	1806	580	4147	-456	-679	-309	-1192	-2636	0,03	20,88	20,91
23	11,1	0	1938	1768	372	4078	-491	-730	-334	-1283	-2838	0,03	20,91	20,94
24	10,9	0	1929	1595	270	3794	-501	-745	-341	-1309	-2896	0,02	20,94	21,96
Σ	13,3	51575	13421	-3927	13985	75055	-11617	-15873	-6092	-23833	-57415	0,41	20,98	21,00
Ti														21,00

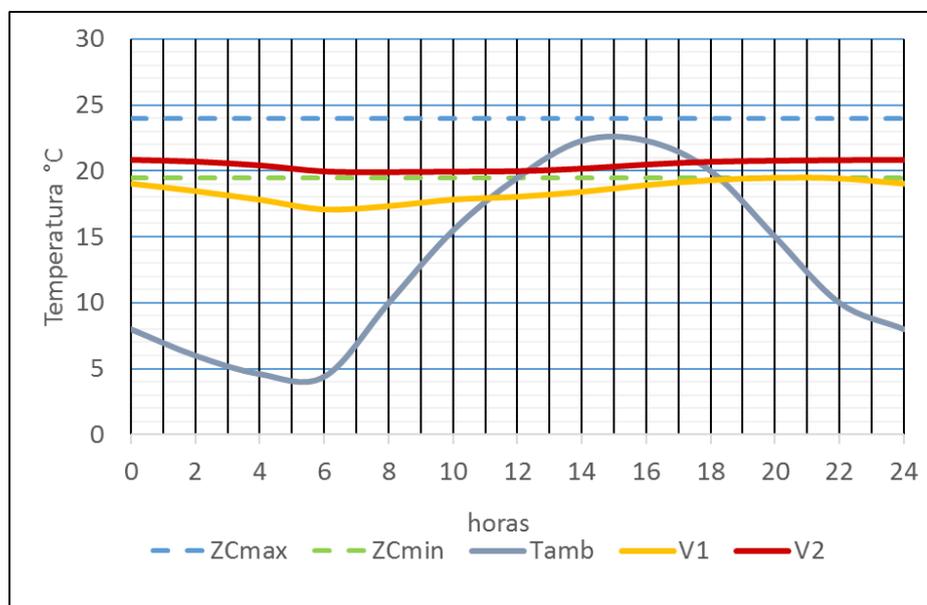


Figura 3. Comparación térmica de la temperatura interior horaria de las viviendas V1 y V2 en relación a la temperatura ambiente en °C

Tabla 3. Inercia Térmica de vivienda V1— retraso térmico φ y velocidad V.

DESCRIP.	T= 24	e	k	A	K	c	p	p	B	φ
		m	W/h°C	m/W/m ² °C	W/mh°C	W/Kg	Kg/m ³	Kg/m ²		h
PARED LADRILLO S/AISLAR		0,16	2,93	0,34	2,93	0,24	1687,5	270,0	91,36	5
TECHO FIBROCEMENTO		0,04	2,15	0,47	2,15	0,25	247,0	9,9	7,43	2

Tabla 4. Inercia Térmica de vivienda V2- retraso térmico φ y velocidad

DESCRIP.	T= 24	e	k	A	K	c	p	p	B	φ
		m	W/h°C	m/W/m ² °C	W/mh°C	W/Kg	Kg/m ³	Kg/m ²		h
PARED LADRILLO AISLADA		0,29	0,66	1,51	0,66	0,26	1284,2	366,0	16,6	9
LOSA ALIGERADA		0,32	0,30	3,38	0,30	0,31	1390,6	445,0	2,96	8
MURO TROMBE		0,42	1,22	0,82	1,22	0,26	2325,4	979,0	78,33	10

Tabla 5. Coeficiente Global en W/m² °C

VIV.	m ²	U	U/m ²
V1	248,4	561,1	2,26
V2	245,2	256,3	1,05

Tabla 6. Confort térmico pronosticado de la Vivienda V1 y V2, PMV y PPD.

Descripción	V1	V2
M (W / m ²). Producción de energía (58 a 232 W / m ²)	70,00	70,00
W (W / m ² . Tasa de trabajo mecánico. (Normalmente 0)	0,00	0,00
Ta (°C). Temperatura ambiente media.	16,57	20,98
Tr (°C). Temperatura radiante media (a menudo cercana a la temperatura del aire)	15,42	19,90
Ambiente:		
v (m / s). Velocidad relativa del aire ((0,1 a 1 m/s)	0,70	0,20
rh (%). Humedad relativa	65,00	55,00
Icl (clo). Aislamiento básico de la ropa (1 clo = 0,155 / m ² k)	1,00	1,00
Cálculo de PPV y PPD		
PPV (-3 frío a +3 caliente)	-1,86	-0,39
PPD (%)	69,90	8,20

Fuente: 1,0 Ingvar Holmer. Subprograma JAVA para ISO 7730.

Tabla 7. Comparacion de coeficientes de transferencia de superficies con la Norma EM-110 (U/m² en W/m² °C)

Cof. Tranf. de calor	Un	V1	V2	EM-110
Paredes	U	2,93	0,66	1,00
Techos	U	1,92	0,30	0,93
Pisos	U	1,41	1,26	3,26

DISCUSIÓN

La vivienda V1 de la Fig.1, es una edificación típica de dos niveles orientada al este y oeste, con una superficie envolvente caracterizada con muros de ladrillo de 0,15 m y cubierta ligera de planchas de fibrocemento y cielo raso de caña con yeso, con control mínimo en los vanos. La V2, es la misma vivienda, con diseño solar pasivo, que incorpora muros trombe en las fachadas, con superficie envolvente mejorada, con muros de 0,28 m de espesor, con cubierta de losa aligerada con casetones de poliestireno expandido protegido con planchas de fibrocemento, incluye una exclusiva al ingreso, pisos reflejantes de cerámicos blancos al exterior y un aislamiento de control medio en ventanas; se aprecia sus características en la Fig. 2.

Las ganancias de calor de la V1 mostrada en la Tabla 1 es de 69490 W son menores que las pérdidas de 138684 W, alcanzando una temperatura interior de $16,6\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1,25$. En cambio, las ganancias de las V2 de la Tabla 2, son de 75055 W mayor que las pérdidas de 57415 W, alcanzando una temperatura interior de confort de $21^{\circ}\text{C}\pm 0,5$; temperatura similar a la dada por la ecuación de Szokolay (2014), aproximada a los resultados de Silva, Depaz y Alva (2016); Corrales y Villegas (2014); coincide con Monroy (2006:118), que para una vivienda de control medio con una temperatura exterior de $13,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, que es de Huaraz, le corresponde $20,5^{\circ}\text{C}$. La V2 tiene un ahorro energético del 100%, mayor que los establecidos en estudios de otros contextos más fríos que están entre el 25 al 85,6 % (Fosdick, 2016; Mazzocco et al., 2010; Saad y Araji, 2020; Cillari, Fantozzi, y Franco, 2021).

En la Fig. 3, al comparar la temperatura interior alcanzada a las 6 horas en las viviendas V1 y V2 en relación a la temperatura exterior en $^{\circ}\text{C}$, se desprende que la V1 tiene una diferencia de temperaturas de $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la V2 de $16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. La V2 logra $5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ más sobre la V1, pero con pocas oscilaciones; esto se debe a la inercia térmica, aislamiento de la superficie envolvente y al uso de la energía solar. Estos resultados son similares a los establecidos en otras investigaciones en el Perú, que logran entre $9\text{ a }17^{\circ}\text{C}$ en interiores sobre las condiciones mínimas exteriores (Aquino, 2018; Molina, Horn y Gómez, 2020; Wieser, 2021).

Aplicando los principios de inercia térmica fundamentada por diferentes autores (Abraham, 2017; Szokolay, 2014; Esteves et al., 2017); resulta que la V1 (Tabla 3) logra un retraso de restituir el calor entre 2 y 5 horas, menor que la V2 (Tabla 4) que está entre 8 a 10 horas; esto se debe al mejoramiento de la superficie envolvente de la V2. La V2 (Tabla 5) tiene un coeficiente global de transferencia 2,15 veces menor que la V1, por lo tanto, la V2 tiene mejor aislamiento e inercia térmica.

El confort térmico pronosticado mediante el voto medio previsto (PMV) en la vivienda V1 de la Tabla 6 es de $-1,86$ y el de la V2 en la Fig. 4 es de $-0,39$, la V2 cumple con la Norma ISO 7730.2005 de que, $-0,5 < PMV < +0,5$ y la V1 no la cumple. El porcentaje de personas no satisfechas (PPD) en la V1 es del 69,9 % y de la V2 es del 8,2 %. La V2 cumple con la norma ISO 7730 de $PPD < 10\%$, no así la V1.

Según los valores dados en la Tabla 7, la V2 está en confort térmico al tener índices menores de transferencia que los mínimos indicados en la Norma EM 110. La V1 no está en confort térmico, por tener índices mayores.

CONCLUSIONES

La superficie envolvente de control medio para mejorar el confort térmico de una vivienda en Huaraz es de diseño solar pasivo, con buen aislamiento, con un coeficiente de transmisión global de $U \leq 1,05 \text{ W/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, con una inercia térmica $\varphi \geq 8$ horas de retraso, con vanos orientados al este u oeste y elementos de control, con una temperatura interior de confort térmico de $21 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y con un pronóstico de que más del 90 % de sus ocupantes estén satisfechos.

La superficie envolvente de una vivienda típica en Huaraz es de control mínimo, poco aislante, con un coeficiente de transmisión global de $U \geq 2,26 \text{ W/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, con una inercia térmica $\varphi \leq 5$ horas de retraso, con vanos orientados indistintamente sin elementos de control, alcanzando una temperatura interior térmica de $16,6 \pm 1,2 \text{ }^\circ\text{C}$, con un pronóstico de que menos del 70 % de sus ocupantes no están satisfechos. Debe revisarse la Norma EM 110.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, Martín K. 2017. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*. Ohio, United States: Elsevier.
- Aquino, Elmer. 2018. «Determinación de la energía solar para el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca Región Puno». *Revista de Investigaciones de la escuela de Posgrado*. Universidad Nacional del Antiplano. Vol. 7, pp. 410-21. <<http://dx.doi.org/10.26788/riepg.2018.1.66>>.
- Cillari, G.; Fantozzi, F. y Franco, A. 2021. «Passive solar systems for buildings: performance indicators analysis and guidelines for the desing». *Applied Sciences*. Volume 11, Issue 1, 10.3390/app11010376. <<https://doi.org/10.3390/app11010376>>.
- Corrales, Miguel y Villegas, Víctor. 2013. «Determinación de la cantidad de radiación solar incidente en paramentos verticales en W/m²°C en diferentes direcciones a partir de la radiación horizontal incidente en la ciudad de Huaraz – Perú». *Aporte Santiaguino*. 2013, 6 (3) :43-53. <<https://doi.org/10.32911/as.2013.v6.n1.517>>
- Corrales, Miguel y Villegas, Víctor. 2014. «Rendimiento térmico más eficaz de un muro trombe de concreto en Huaraz en relación al medio ambiente y a las principales orientaciones» – 2012». *Aporte Santiaguino*. 2014, 1 (7): 25-35. <<https://doi.org/10.32911/as.2014.v7.n1.485>>
- Esteves A. *et al.* 2017. «Positioning an Design Recommendations for Materials of Efficient Thermal Storage in Passive Building». *Architecture Research*. 2017,7(2) 29-40. <[10.34637/cies2020.2.2124](https://doi.org/10.34637/cies2020.2.2124)> , (Consulta 10.09.2021).
- Fosdick, Judy. 2016. «Tierra Concrete Homes». *WBDG, Whole Building Design Guide*. Updated by U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program, 11-11-2016. <<https://www.mountainsideinstitute.org/wp-content/uploads/2018/09/Passive-Solar-Heating-Whole-Building-Design-Guide.pdf>>. (Consulta 10.08.2021).

- ISO 7730.2005. Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. U.S.A: Technical Committee, ISO/TC 159/SC 5 Ergonomics of the physical environment. <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:7730:ed-3:v1:en>> .(Consulta 10.07.2021).
- Mazzocco, et al. 2020. «Performance energética de una vivienda social en Argentina y su rehabilitación basada en simulación térmica». *Revista: Ambiente Construido*. ISSN: 1415-8876 DOI: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400302>>.
- Molina J; Horn, M. y Gómez, M. 2020. «Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda alto andina para lograr el confort térmico con energía solar». *Tecnia*. 2020, vol.30, n.1, pp.70-79. <<http://dx.doi.org/10.21754/tecnica.v30i1.841>>
- Monroy, Manuel. 2006. *Manual del calor*. Gran Canaria: Ayuntamiento de Las Palmas.
- Norma EM-110. 2014. *Confort térmico y lumínico con eficiencia energética*. Lima: Diario El Peruano, Decreto Supremo N° 006-2014-Vivienda.
- PMV 2008. «ver 1.0. Ingvar Holmer». Subprograma JAVA para ISO 7730. <https://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/PMV-PPD.html> (Consulta 11.07.2021).
- Saad y Araj. 2020. «Optimization of double skin façades with integrated renewable energy source in cold climates». *2020 Building Performance Analysis Conference and Sim Build co-organized by ASHRAE and IBPSA-USA*. <<https://www.ashrae.org/file%20library/conferences/specialty%20conferences/2020%20building%20performance/papers/d-bsc20-c044.pdf>>. (Consulta 11.07.2021).
- Silva, M.; Depaz R. y Alva F. 2016. «Mejoramiento del confort térmico de vivienda en uso en la ciudad de Huaraz con el aprovechamiento de la energía solar pasiva». *Aporte Santiaguino*. 2016, 37-46. <<https://doi.org/10.32911/as.2016.v9.n1.211>>

Szokolay, Esteven. 2014. *Introduction to Architectural Science. The basis of sustainable design. Second edition*. Chicago: Architectural Press Elsevier.

Wieser, M.; Rodríguez, S. y Onnis, S. 2021. «Estrategias bioclimáticas para clima frío tropical de altura. Validación de prototipo en Orduña, Puno, Perú». *Estoa*; Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de La Universidad de Cuenca, 10(19), 9–19. <<https://doi.org/10.18537/est.v010.n019.a01>>.

Recepción: 15/09/21

Aceptación: 28/10/21

Correspondencia:

Miguel R. Corrales Picardo

mcorralesp@unasam.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-7490-8690>