# Sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz

## Passive solar system more efficacious to warm up halfway density housings in Huaraz

Miguel Ronald Corrales Picardo*

**Resumen**

La investigación determina el sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media adaptada a las condiciones ambientales y a los aspectos culturales de la ciudad de Huaraz (ubicada a una latitud 9.5° Sur y a 3100 msnm). El método consistió en diseñar 5 viviendas solares pasivas similares de densidad media, pero con diferente sistema de calentamiento solar pasivo y relacionarlas con una construcción típica existente. Para evaluarlas energéticamente, se utilizó métodos de análisis de simulación correlativa. La vivienda que tuvo el mejor comportamiento térmico, en relación a los aspectos ambientales y culturales de los habitantes de Huaraz, fue la vivienda con sistema solar pasivo directo.

**Abstract**

This investigation determine the passive solar system more efficacious to warm up halfway- density housings that he become adapted to the environmental conditions and to the cultural aspects urban of Huaraz (to Southern latitude 9.5° and 3100 m above sea level).

The method has consisted in designing 5 solar passive similar housings, but with different system of solar passive heating, relating them to a typical existent construction of density housings. In order to evaluate them energetically, analysis methods of correlative simulation were utilized. The housing that has the best thermic behavior, in relation to Huaraz's inhabitants' environmental and cultural aspects, is the housing with solar system direct.



**Palabra clave**: Viviendas solares pasivas / confort térmico / energía solar

**Key words**: Solar passive housings, thermic comfort, solar energy

*Msc. Gestión Ambiental (UNASAM) - Msc. Arquitectura (UNI). Docente en la Facultad de Ingeniería Civil (UNASAM)

## Introducción

Huaraz es una ciudad andina ubicada en el Norte del Perú a 9º31' de latitud Sur y a 77º31' longitud Oeste y está a una altitud de 3050 a 3150 m.s.n.m. tiene un clima de altura, donde la temperatura ambiente promedio permanece constante durante el año con un valor de 14,3 ºC ± 1 ºC, con una mínima de 3.8 ºC durante las madrugadas y una máxima de 23.4ºC al medio día, que influenciados por la humedad relativa, implica un invierno por las madrugadas y un suave verano durante el día. Cosa que es totalmente diferente a lo que sucede en las latitudes entre 25º y 50º, cuyos climas son radicales en cada estación climatológica, calor en todo el verano y frío intenso durante el invierno. Huaraz tiene una alta radiación solar diaria anual1 entre 5500 a 6000 W/m2, pero no es debidamente aprovechada.

Pese al frío existente al interior de las viviendas, los pobladores de Huaraz no utilizan ningún tipo de energía para calentar sus viviendas; pues el bienestar se ha reducido a un problema de tener una cobertura donde vivir, no importa su calidad en torno a la temperatura interna de sus moradas. Las viviendas edificadas generalmente son de densidad media con dos niveles, se hacen en forma empírica y tradicional, más mirando a la ciudad de Lima que a las condiciones geográficas y climatológicas que impone el lugar. En el caso de la ciudad de Huaraz, ingresa muy poca radiación por el Norte o Sur; sin embargo, algunos hacedores de forma, continúan pensando en orientar las viviendas hacia el Norte solar, tomando como referencia la bibliografía de otras latitudes. El confort térmico adecuado se puede lograr construyendo viviendas solares pasivas, que son aquellas que se calientan utilizando medios sencillos para captar, almacenar, controlar y distribuir el calor solar en una edificación.

Generalmente existen muchas referencias bibliográficas como la Battellier2, Steadman3, Mazria4 y otros, que muestran estudios y proyectos de viviendas solares pasivas en latitudes bajas entre los 25º y 50º, banda que es las más adecuadas para utilizar la energía solar pasiva; en latitudes nórticas, la pared orientada al medio día al Sur, es la que recibe más radiación solar debido a que existe bastante inclinación del Sol y que la forma más conveniente es la alargada en dirección Este-Oeste; donde las viviendas deben tener suficiente aislamiento y masa térmica, superficie mínima, reducción de superficies acristaladas y protección de las mismas. Indican que las regiones ecuatoriales no son las más favorables para aprovechar la energía solar en viviendas.

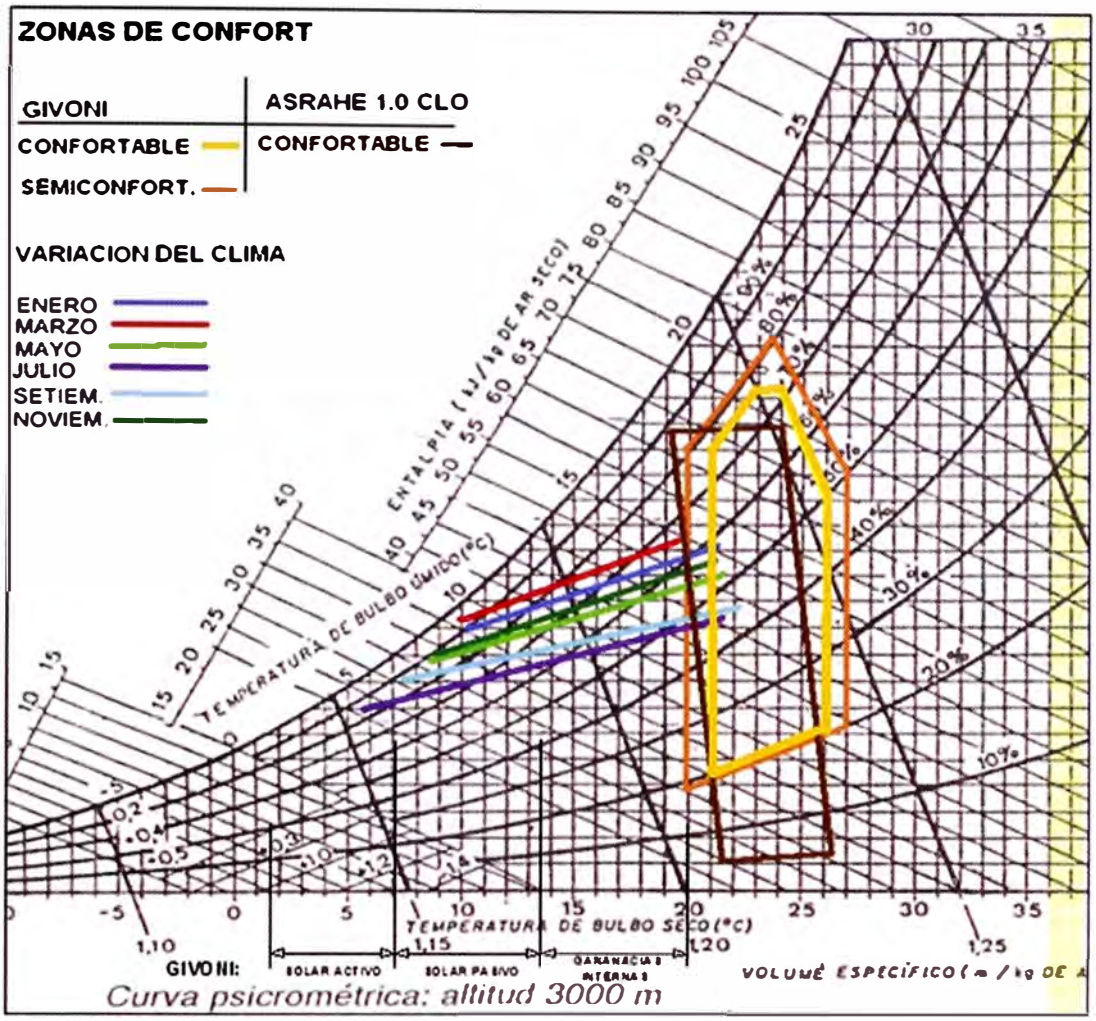
Las investigaciones efectuadas en los países andinos cercanos al ecuador terrestre entre los 0° y 18°, son escasas, revelando que sólo se orientan a estudios teóricos y no prácticos. Para climas fríos andinos la Cartilla de Construcción de Madera6 y Herz7sugieren que las casas a construir deben ser compactas, con un buen aislamiento térmico, con un control adecuado de la ventilación y con vanos de las fachadas orientadas al Este y Oeste. En una investigación realizada en Puno por Beltrán8 a una latitud 16° Sur, se efectuó balances energéticos de tres viviendas solares pasivas similares - compacta, de patio abierto y de patio cubierto – concluyó que la que tiene mejor performance térmico es la de patio cubierto.

La hipótesis planteada del presente estudio fue que, el sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz es el sistema directo, que tiene el mejor comportamiento térmico en relación a los factores ambientales y culturales. El objetivo fue determinar el sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media que se adapte a las condiciones ambientales y a los aspectos culturales de la ciudad de Huaraz.

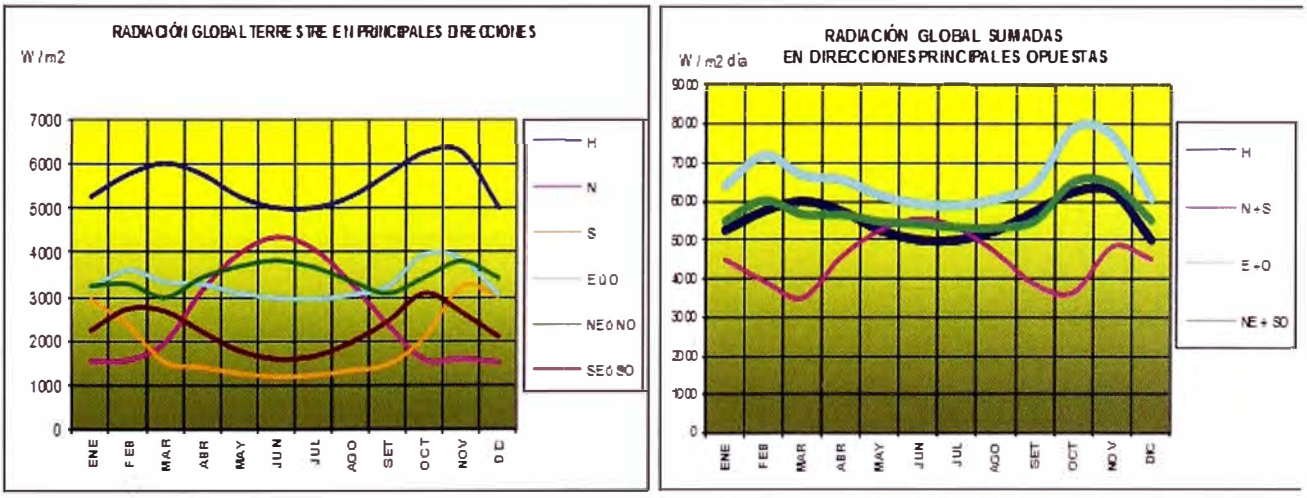
## Metodología

La metodología consistió en diseñar 5 tipos de viviendas de densidad media unifamiliar con diferente sistema solar pasivo para compararlas energéticamente con una existente o de control; todo dentro un terreno de 160 m2 con un frente de 8 m, con características comunes en su configuración, de área de piso, volumen de aire a calentar, de aislamiento térmico, con las mismas condiciones geográficas y climatológicas. La vivienda V1 es una existente con cierres envolventes usados en Huaraz; la V2 es una casa con un sistema de calentamiento directo con cierres envolventes mejorados, la V3, la V4 y la V5 son similares a la anterior, pero con sistemas de calentamiento indirecto (muros trombe), independiente (invernaderos), y mixto (integrando los sistemas anteriores) respectivamente y la V6 es de patio central cubierto.

Primeramente se analizó los aspectos culturales en la construcción de viviendas en Huaraz, en seguida, se obtuvo a partir de la radiación horizontal conocida en Huaraz, la radiación vertical en diferentes direcciones se halló por el método descrito por Battelier9 y Bedoya10. Se estudió la transmisión térmica de los diferentes tipos de cierre, se escogió los más adecuados y se calculó los flujos de calor de los diferentes elementos de cierre. Se efectuó el balance energético de las viviendas y se las comparó entre sí. El balance energético se efectuó hora a hora en el día medio de cada mes de cada vivienda en diferentes direcciones y se utilizó el método correlativo siguiente:




1. El clima de Huaraz en el diagrama psicométrico con zonas de confort térmico.




2. Radiación solar en Huaraz en diferentes direcciones y sumadas en direcciones opuestas. Cálculos según Battelier2 y Bedoya10 a partir de la radiación horizontal.

Trasmisión de calor por hora11

$Qt = QtINF + QtV + QtT + QtBP + QtP$

Infiltración:

$QtINF = 0{,}303.V.N$

Ventanas:

$QtV = AV.UV$

Muros:

$QtM = AM.UM$

Techo

$QtT = AT.UT$

Borde de piso:

$QtBP = BP.UP.$

Pisos:

$QtP = AP.UP.$

Perdidas de calor hora

$Qp = Qt.\Delta t$

Ganancias de calor horaria8

$Qg = QgV + QgM + QgT + QgO$

Ventanas de fachadas

$QgV = shgfV .AV$

Muros de fachadas

$QgM = FcM \times AM$

Techos

$QgT = FcT \times AT$

Ocupación:

$QgO = Personas + Iluminación + Equipos$

Balance energético por hora

$Q = Qg - Qp$

Temperatura media diaria4

$Tmd = (Qdía/Qtdía) + tem$

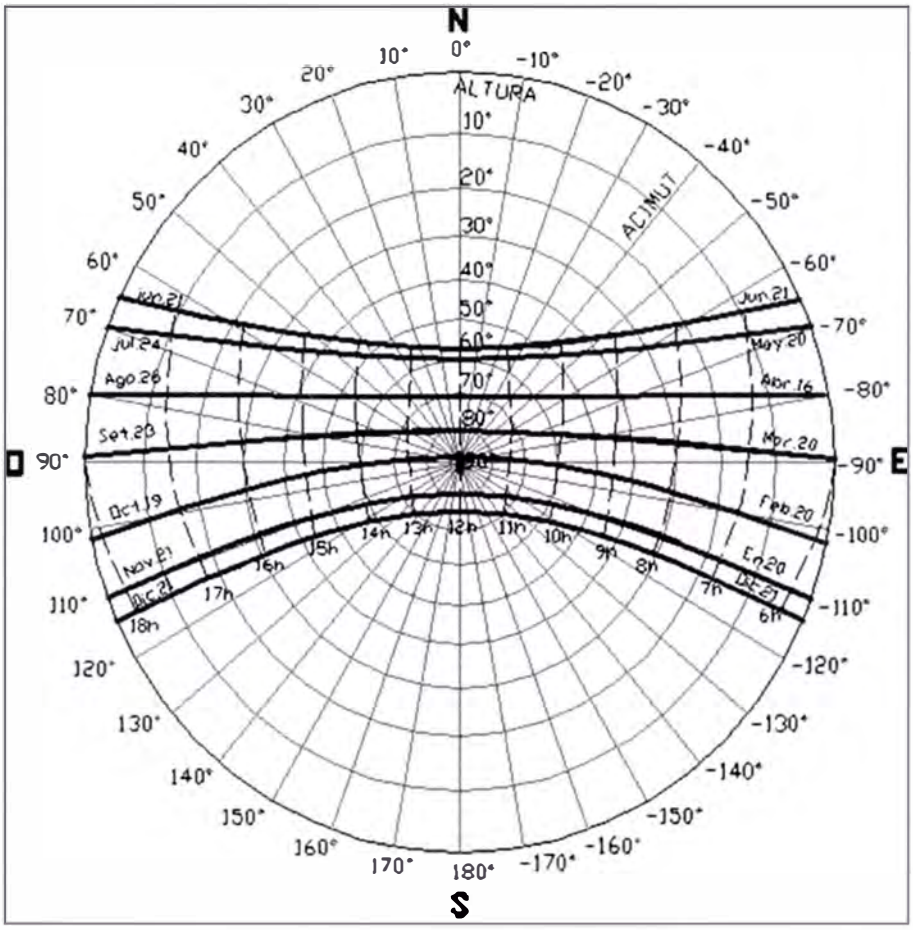
Variación temperatura horaria10,12

$\Delta T = 0{,}61Q/DHC$

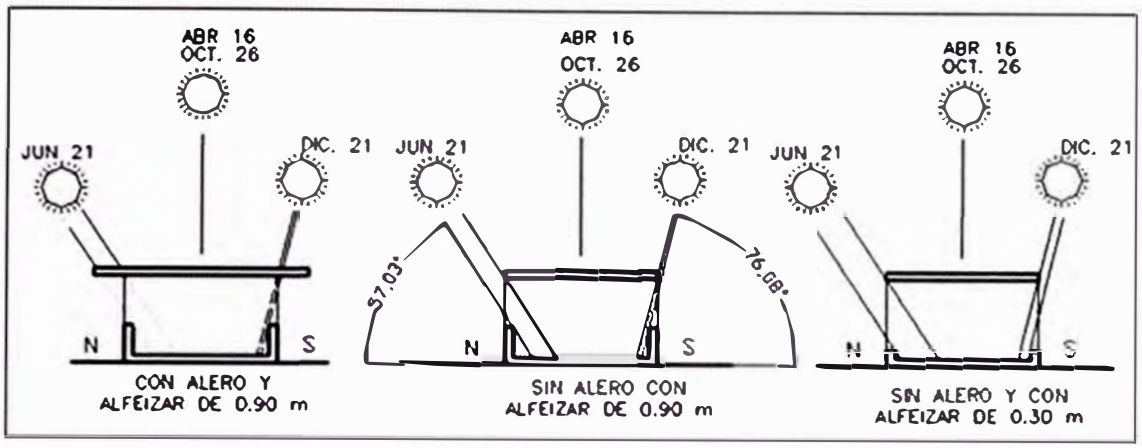
donde: VN=intercambio de volumen de aire por hora, A=área, U=coeficiente de transmisión de calor, B=borde de piso, shfg= transmitancia de calor del vidrio, Fc=flujo de calor trasmitido, tem=temperatura exterior media, DHC= suma de Ai.dhci (Ai = área de paredes y pisos de almacenamiento y Dhci=respectiva capacidad diurna). Subíndices: INF=infiltración, V=ventana, M=muros, T=techo, P=piso, O=ocupación, m=media, C=claraboya. Según el sistema se incluyó pérdidas y ganancias de: MT=muro Trombe, INV=invernadero, PC=patio cubierto.

Para efectuar los balances energéticos de las viviendas, se tomó como temperatura interior de cálculo 21°C. Para evaluar el confort térmico se utilizó los siguientes rangos: confortable de 19.5°C a 24.0 °C, semiconfortable de 18.0°C a 19.4°C y menos de 18°C inconfortable.

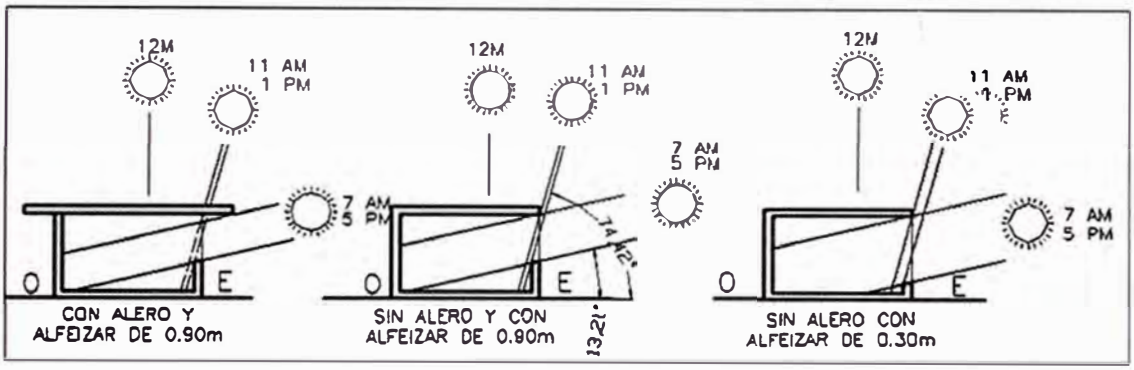




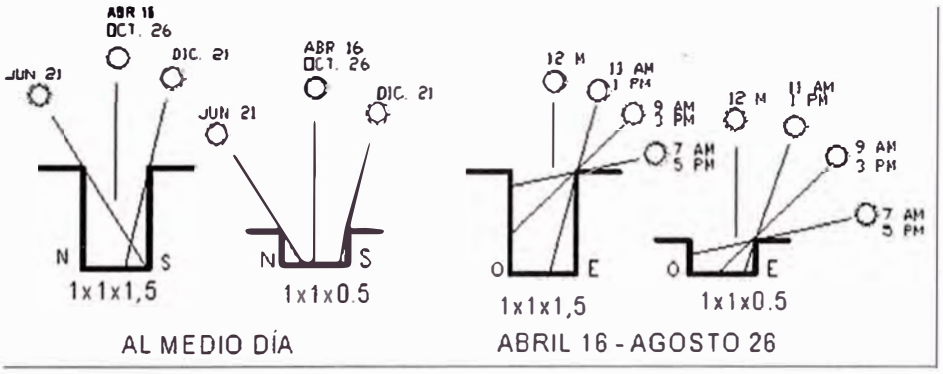

3. Diagrama solar para Huaraz – Latitud 9.5°S




4. Ingreso del sol por ventanas orientadas al Norte y Sur al medio día en los meses de diciembre, junio, abril y octubre en Huaraz.



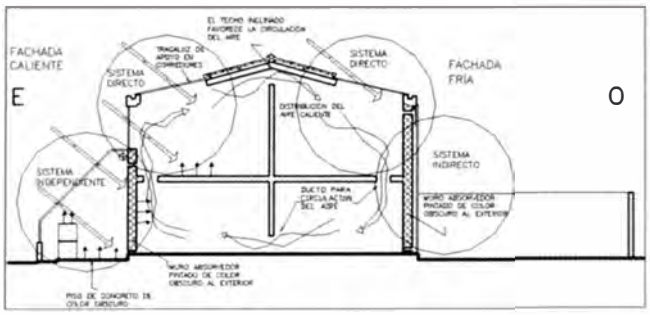

5 Ingreso del sol por ventanas orientadas al Este u Oeste en abril o agosto en Huaraz



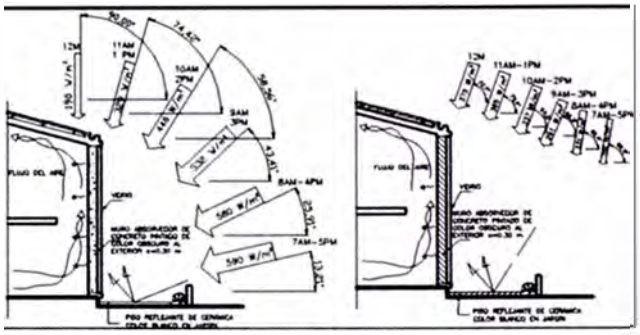

6. Ingreso del sol por un patio en Huaraz con proporciones de ancho por largo por alto de: 1 x 1 x 1.5 y 1 x 1 x 0.5

## Resultados

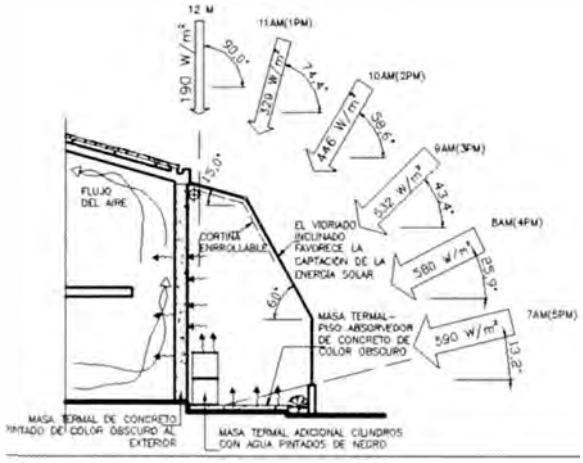
El clima de Huaraz es casi constante durante todos los días del año [1] y se está en disconfort casi todo el día. La mejor orientación para captar la radiación solar es la Horizontal, seguida por la Noreste y la Noroeste, luego por la Este y Oestes, las peores son la Norte y Sur; si se suman las radiaciones en fachadas opuestas, la mejor es la dirección es Este-Oeste [2]. En el diagrama solar [3], es notorio que durante todo el año existe asolamiento tanto al este como al oeste, por el norte prácticamente el asoleamiento se da durante los meses de mayo, junio y julio; al sur casi no ingresa el sol [3]. En la figura 4, se demuestra que el sol ingresa poco cuando se orienta al Norte o Sur; pero puede mejorarse el ingreso cuando las ventanas no tienen aleros y el alfeizar se haga bajo. Cuando la ventana se orienta al Este u Oeste [5], el sol penetra profundamente al interior de las habitaciones. Cuando el sol ingresa en forma horizontal por patios, cuando es alto, existe mucho sobreamiento que cuando es más bajo [6]. En la figura 7, se muestra los principales sistemas solares pasivos que pueden emplearse y como es el movimiento del aire caliente. La figura 8 y 9 muestran la cantidad de radiación solar captada por muros verticales orientados al Este-Oeste es mejor



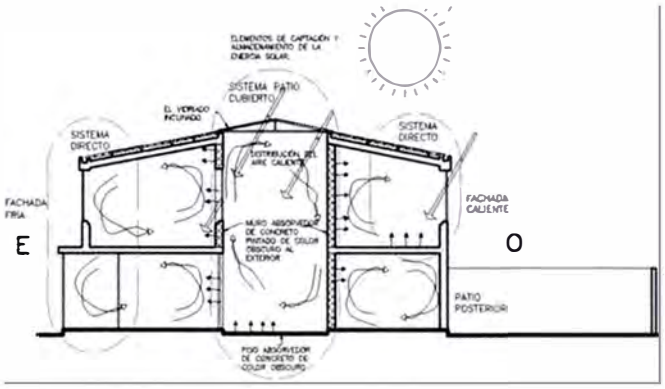

7 Combinación de diferentes sistemas solares pasivos y circulación del aire



8 Radiación solar incidente sobre un muro térmico no ventilado orientado al Este-Oeste y Norte-Sur en el mes de abril o agosto




9 Radiación solar recibida por el captador vertical de un invernadero el mes de abril o agosto orientado al Este (Oeste)




10 Captación almacenamiento y distribución del calor de un patio cubierto



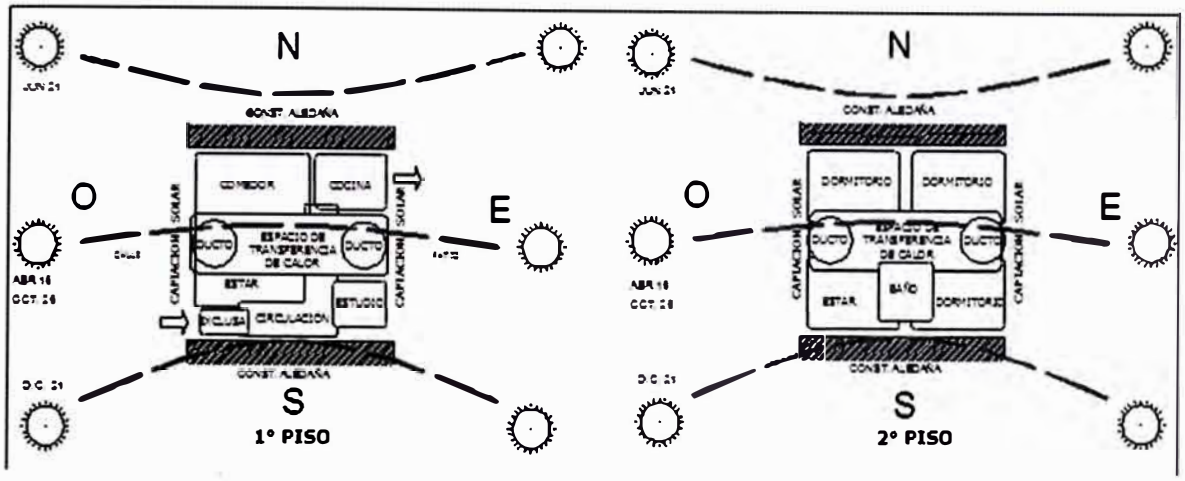
que los orientados al Norte-Sur. La figura 10 ilustra cómo se da la captación, almacenamiento de calor y el movimiento del aire en viviendas con patios cubiertos. Las viviendas solares pasivas tienen doble sistema de captación y almacenamiento, uno al Este y otro al Oeste, unidos por un espacio central para transmitir el flujo de calor de la fachada caliente a la fría y viceversa calentando así los ambientes adyacentes; cuentan con un ducto vertical en cada extremo para circular el aire entre los dos niveles, favoreciendo la termo circulación [**11**]; en caso de patio cubierto éste se sitúa en la parte central [**12**]. La vivienda convencional de control V1 tiene una cobertura envolvente deficiente con una transmisión térmica en los muros de U=2.93 y en el techo con un U= 1,51; en contrario, las solares pasivas cuentan con un buen aislamiento, con un coeficiente de transmisión en muros de U=1.71 W/m2°C y en techos U=0.30 [**13**].

Las figuras 14 a 19 muestran las viviendas tipo diseñadas, las que son similares en su diseño pero con diferente sistema solar pasivo, a las que se ha sometido a balances energéticos, dando por resultado, que durante el año la vivienda V2 tiene mejor performance térmico seguida por la V5 de sistema mixto [20 y 21]. Cuando las viviendas solares pasivas orientan sus fachadas al Este-Oeste, todas son confortables excepto la V4 (con invernadero), cuando se orientan al Norte-Sur, solo son confortables la V1 y V2 [1]. En caso de que la vivienda tenga colindancias en sus costados su temperatura se incrementa [**2**]. La vivienda V4 tiene mejor aislamiento térmico que las V2, V3, V4, V5 y V6; la V1 tiene un mal aislamiento térmico [**3**].

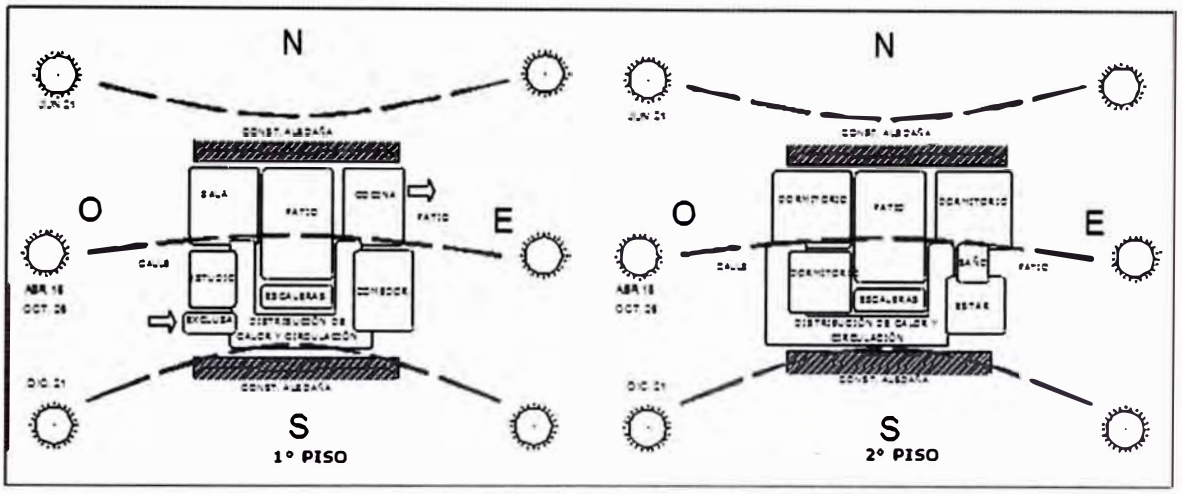
## Discusión

El clima de Huaraz según el diagrama de confort de Givoni13, ocupa las zonas de ganancias internas y solar pasivo mostrado en la figura 1; esto implica que para calentar las viviendas, se debe utilizar las ganancias de la ocupación - calor producido por artefactos, iluminación y personas - y emplear la radiación solar en forma pasiva.

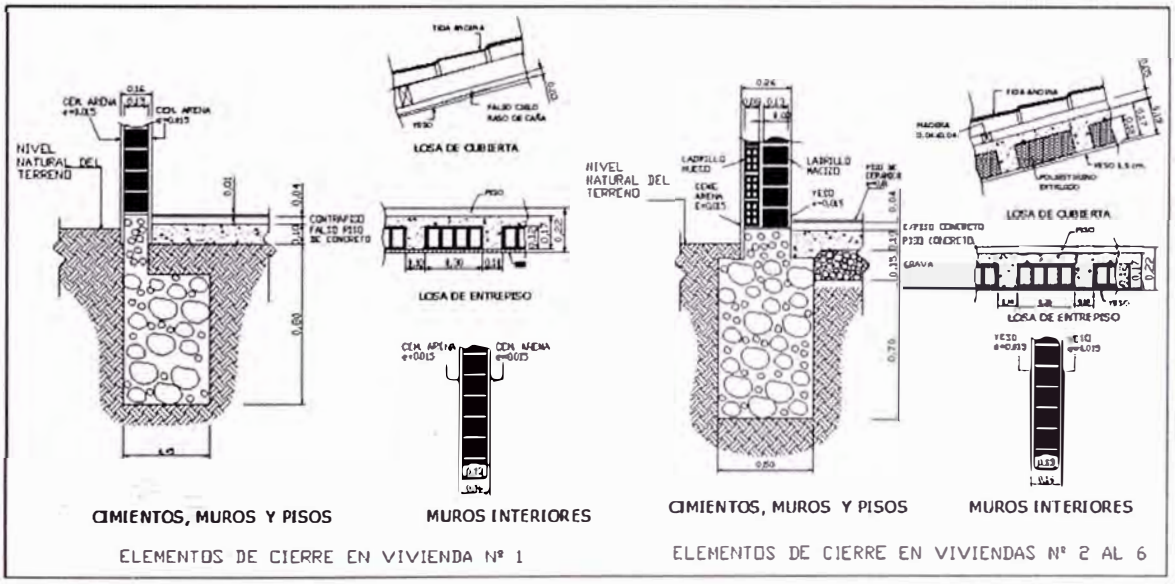
Al igual que las recomendaciones de la Cartilla de Construcción de La Junta de Acuerdo de Cartagena6 y de Hertz7, se ha encontrado que la mejor orientación de las fachadas son con frentes tanto al Este como al Oeste, donde las casas deben ser compactas, con un buen aislamiento térmico y con un control adecuado de




11 Esquema de concepción del 1° y 2° nivel de las viviendas V2, V3, V4 y V5




12 Esquema de concepción del 1° y 2° nivel de la vivienda V6.




13 Elementos de cierre envolventes de las viviendas

la ventilación, concordante con sugerencias de estudios de latitudes altas. La investigación realizada en Puno por Beltrán8, concluye que la radiación Horizontal es la más ventajosa para captar la energía solar en las viviendas y que debe de evitarse la Norte-Sur, es coincidente con los resultados hallados [**20** y **21**]; pero la radiación horizontal no debe utilizarse en ambiente habitables por el deslumbramiento que ocasiona y la Norte-Sur por tener bastante componente de radiación difusa, la que no es muy efectiva para el calentamiento; el resultado de Beltrán8, de que la casa compacta con sistema directo, tiene mejor comportamiento térmico que la casa con patio cubierto, difiere con el resultado hallado, debido a que en su estudio, duplicó el sistema de captación en la casa con patio cubierto.

Las viviendas solares que tienen factores culturales similares a como se construye en Huaraz, son las V2 y V6, de sistema directo y de patio cubierto central respectivamente. Las viviendas V3 (con muro trombe), V4 (con invernaderos) y V5 (mixta) son tipos de vivienda extrañas que no están de acorde a las condiciones culturales de los habitantes de Huaraz.

Las viviendas tienen un mejor comportamiento térmico cuando se orientan al Este-Oeste por tener radiación solar directa durante el año (figura 20 y 21, tabla 1) y deficiente al Norte-Sur debido a que la radiación directa recibida es de 3,5 meses al año y el resto de meses es difusa.

Cuando se aplica el factor de colindancia a las viviendas orientadas al Este-Oeste (Tabla 2), la temperatura interna para el confort térmico aumenta, a tal modo que cuando existen dos colindancias todas las viviendas solares V2 a V6 son confortables, pero siempre la V1 es inconfortable. Si se aplica el coeficiente global de pérdidas de calor en W/m3h°C [**3**], la mejor aislada es la V4 por cuanto tiene invernaderos que la protegen en ambas fachadas, lo mismo sucede con la V3 por tener muros trombe en ambas fachadas. La vivienda de control V1 tiene altas pérdidas de calor por tener aislamiento térmico inadecuado.

## Conclusiones

El sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media que se adapta a las condiciones ambientales y a los aspectos culturales de la ciudad de Huaraz, es el sistema solar pasivo directo. En segundo término, se ubica la vivienda solar pasiva de patio cubierto. Las edificaciones deben tener un buen aislamiento térmico en la envoltura de cierre y captar la radiación solar del Este y Oeste por medio de ventanas, con apoyo de la radiación solar horizontal mediante claraboyas y/o patios con techado vidriado.

Con materiales y técnicas utilizadas en la construcción actual en Huaraz, con ligeras modificaciones, es posible diseñar y construir viviendas solares pasivas que estén acorde a los factores culturales de los habitantes de la ciudad. Una vivienda solar pasiva no difiere mucho de una tradicional; en vez de construir viviendas demasiado grandes y mal diseñadas, como es costumbre, es mejor construir de menor tamaño; pero de mejor calidad. Para que las viviendas se identifiquen con la tipología serrana huaracina, debe ser una casa compacta de dos niveles, con contraventanas de madera, cubiertas de tejas a dos aguas y con enlucido de yeso en el interior.

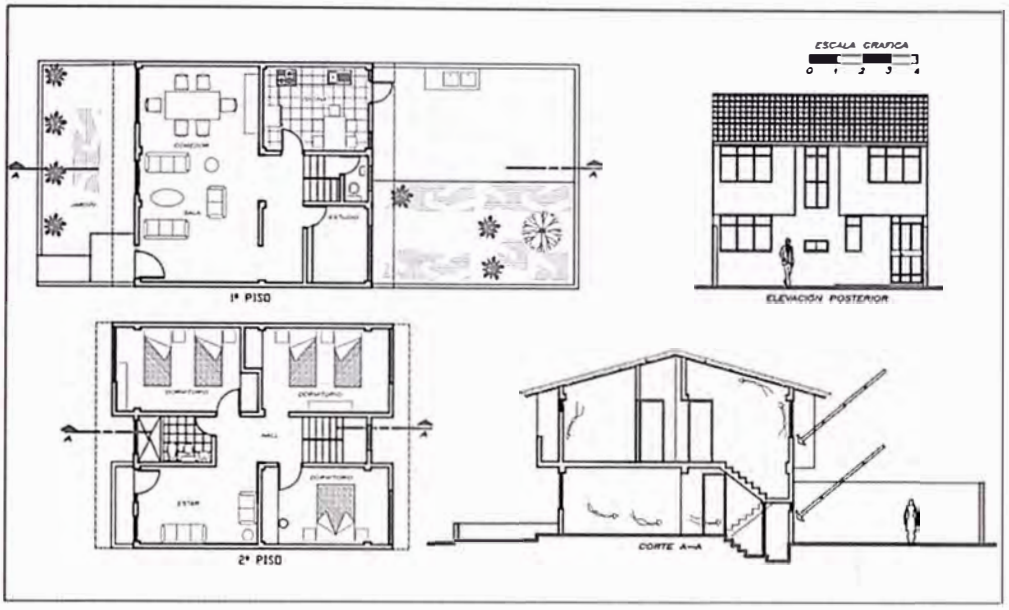
La mejor orientación de los vanos de las viviendas para lograr la máxima ganancia de radiación solar es la Horizontal, seguida de las del verticales Este-Oeste; la orientación Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste por ser intermedias son buenas. No es deseable la orientación Norte-Sur por recibir más radiación difusa que directa, sobre todo la Sur, por otro lado, también los vientos predominantes impactan en la cara Sur. Deben evitarse los quiebres, aleros y balcones en las fachadas, éstos impiden el ingreso adecuado de la radiación solar por el sombraje excesivo que generan.

Las viviendas con pérdidas globales de calor entre 1.3 a 1.7 W/m$^3$h°C, sea cual sea su dirección son confortables o semiconfortables. Todos los sistemas solares pasivos pueden adaptarse a las condiciones ambientales; pero no a los aspectos culturales.

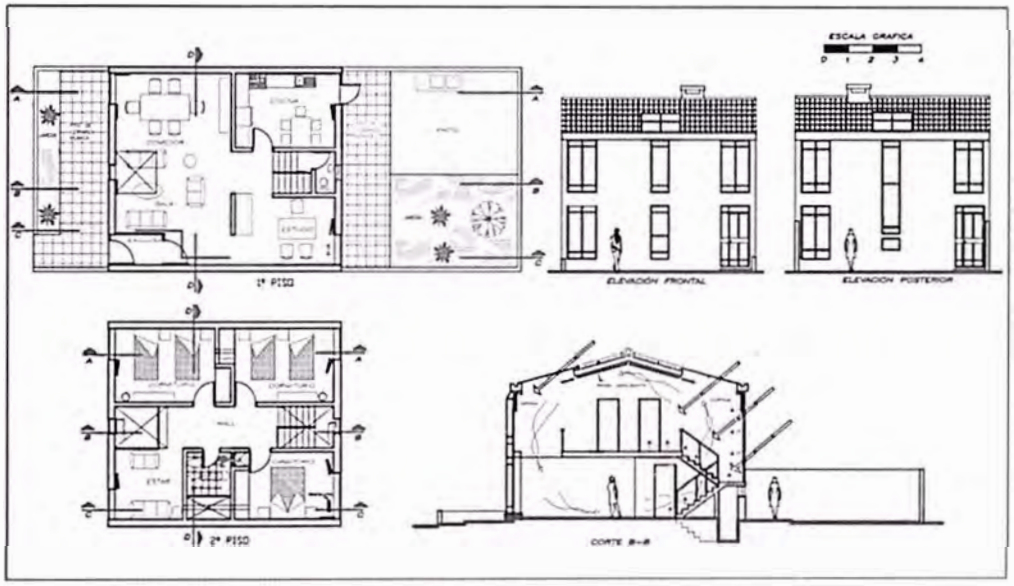
La ventaja de una vivienda solar pasiva con respecto a una de tipo convencional está dada por el buen confort térmico que brinda a sus ocupantes. Esto se logra: 1) utilizando un buen aislamiento térmico de la cobertura envolvente, que impida el ingreso del calor o del frío; 2) con la captación de la energía solar, el almacenamiento y distribución del calor generado al interior de los espacios habitables; 3) a una buena distribución de la vivienda y a la correcta orientación de las ventanas, o muros térmicos o invernaderos, tanto al Este como al Oeste y ; 4) al aprovechamiento del calor generado por la ocupación de edificio.

Las viviendas existentes en Huaraz pueden tener un buen confort térmico siempre y cuando se introduzca mejoras en el aislamiento exterior y en acabados; se modifique la distribución de la planta para mejorar la distribución del aire caliente; se reduzca los puentes térmicos ocasionados por elementos de concreto; se sustituya puertas y ventanas por otras más herméticas con empleo de cortinas o contraventanas; y se abran vanos orientadas al Este y Oeste, cerrando las que dan al Sur, pero evitando la construcción de aleros.

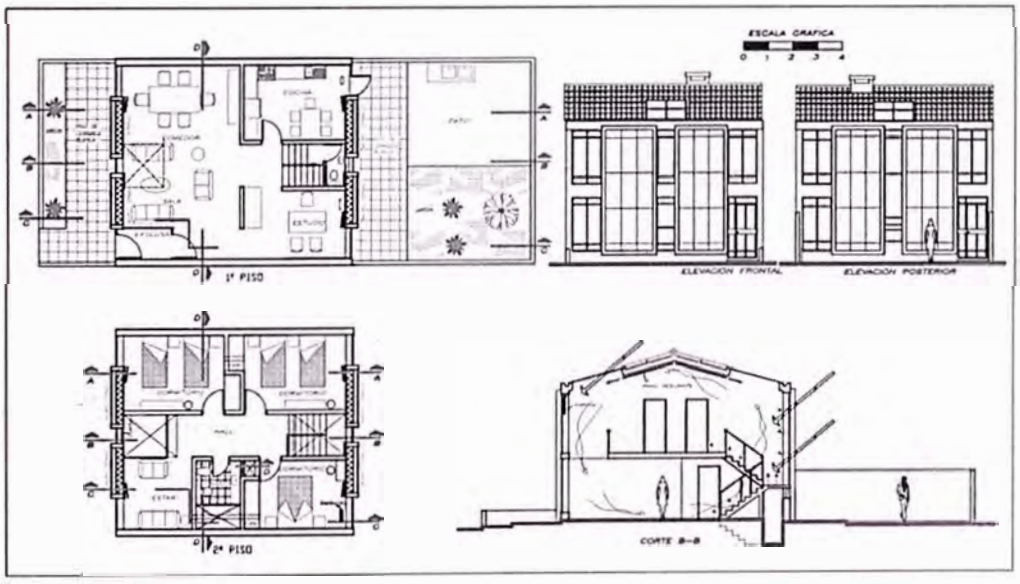
Es recomendable que futuras investigaciones en el Perú, empleen módulos de test, monitoreen prototipos de viviendas, efectúen guías de diseño y se estudie la temperatura de confort térmico para las diferentes regiones. Se debe incorporar en el Reglamento Nacional de Edificaciones exigencias de diseño climático; también, debe enseñarse el bioclimatismo en centros de estudio y difundirse en todos los medios posibles.



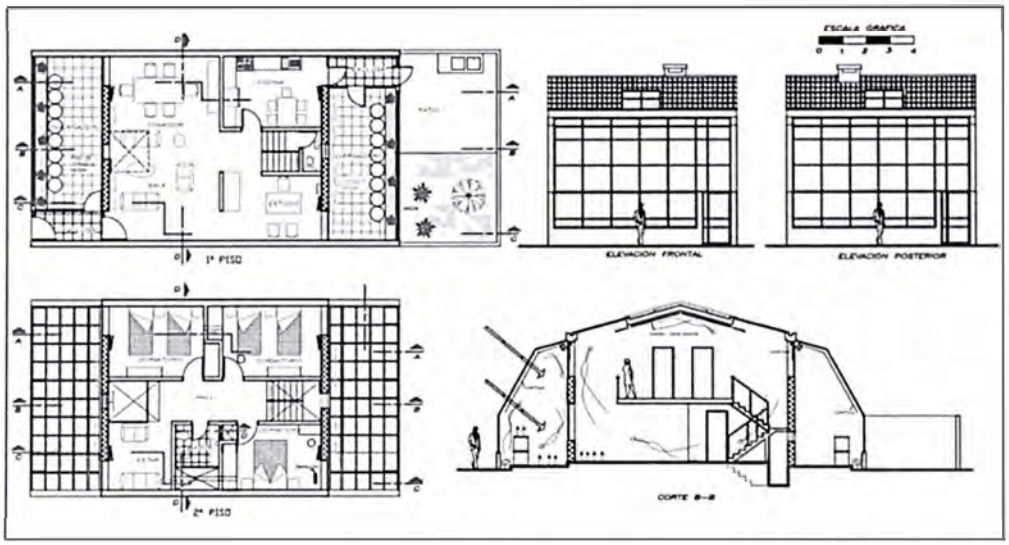

14. Vivienda tipo 1 (tradicional)



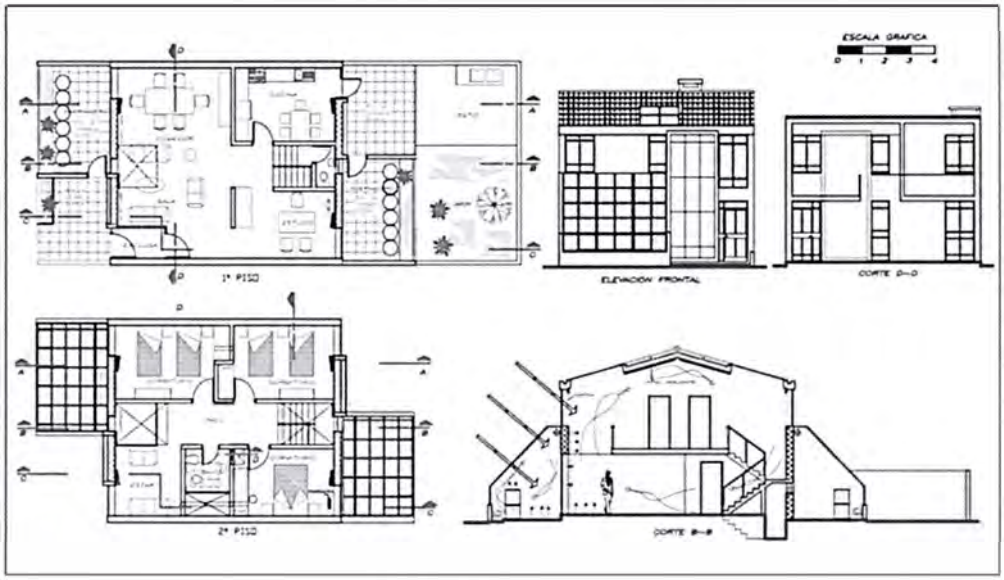

15 Vivienda tipo 2 (sistema solar directo)



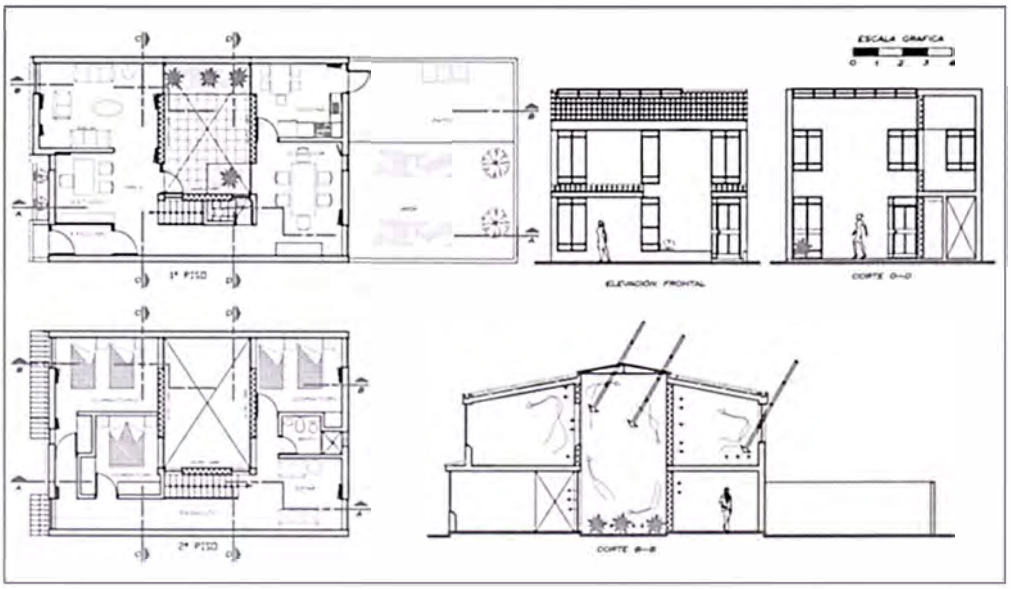

16 Vivienda tipo 3 (sistema solar indirecto)



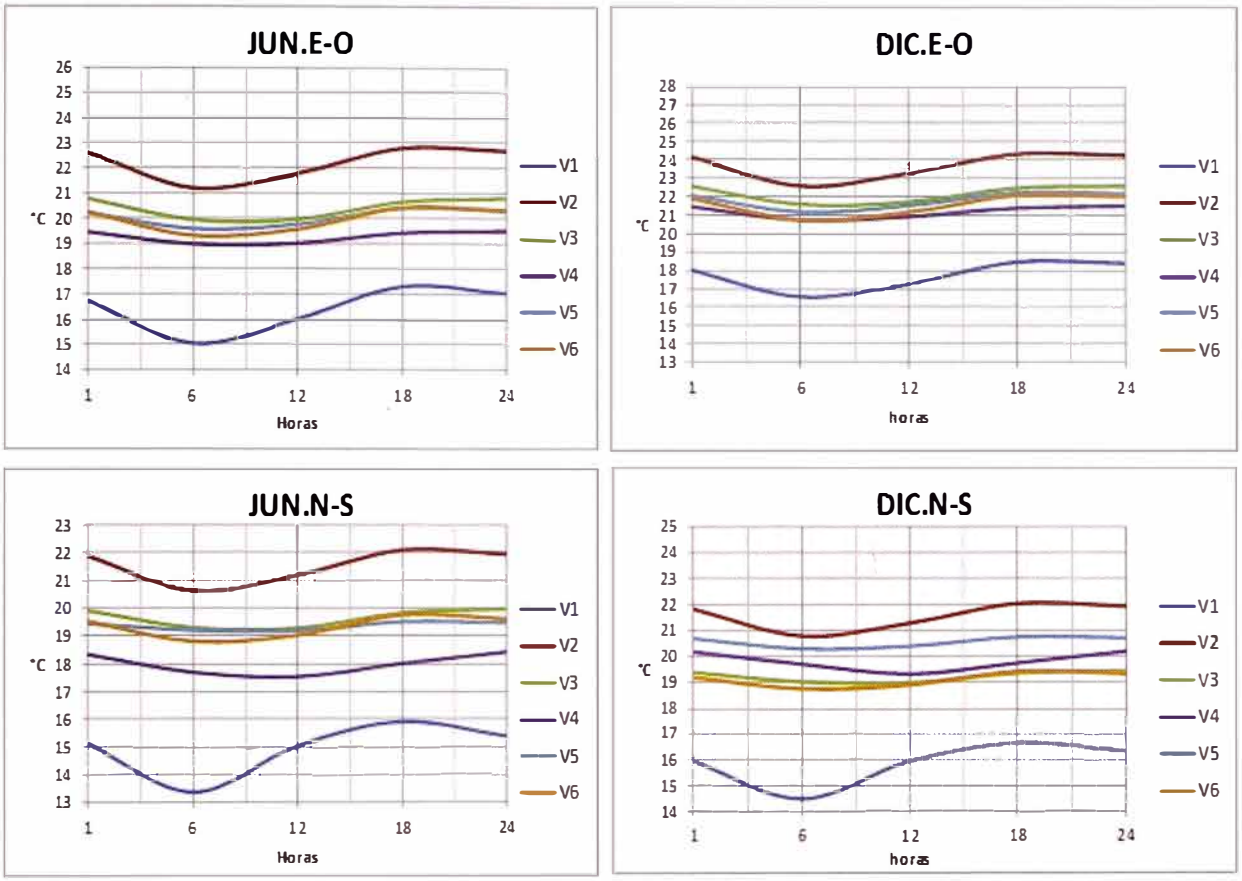

17. Vivienda tipo 4 (sistema solar independiente)




18. Vivienda tipo 5 (sistema solar mixto)

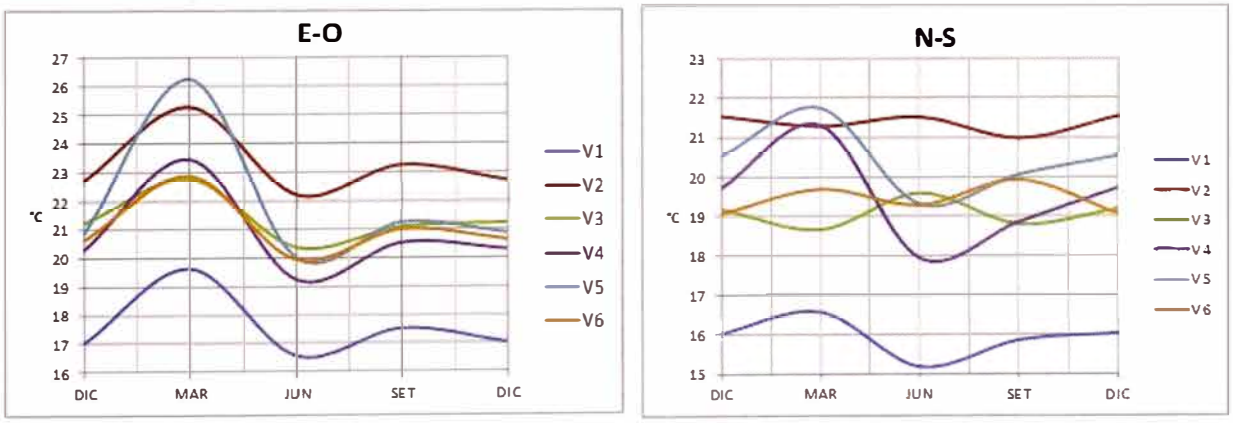



19. Vivienda tipo 6 (sistema solar patio cubierto)






20. Temperaturas horarias en el día medio del mes de junio y diciembre, alcanzadas en el interior de las viviendas tipo, con fachadas orientadas al Este-Oeste y Norte-Sur en °C.




21. Temperaturas interior promedio de las viviendas tipo, orientadas al Este-Oeste y Norte-Sur durante los meses del año en °C.

| DESCRIPCIÓN | PROM °C | REND. % | Sin confort <18 °C | Semiconfortable 18 °C a 19.4 °C | Confortable ≥ 19.5 °C |
|---|---|---|---|---|---|
| ESTE / OESTE | | | | | |
| V1 | 16,6 | 78,9 | X | | |
| V2 | 22,2 | 105,7 | | | X |
| V3 | 20,4 | 97,0 | | | X |
| V4 | 19,2 | 91,6 | | X | |
| V5 | 20,0 | 95,3 | | | X |
| V6 | 19,9 | 94,9 | | | X |
| NORTE / SUR | | | | | |
| V1 | 15,2 | 72,4 | X | | |
| V2 | 21,5 | 102,5 | | | X |
| V3 | 19,6 | 93,3 | | | X |
| V4 | 17,9 | 85,4 | X | | |
| V5 | 19,3 | 91,9 | | X | |
| V6 | 19,3 | 91,8 | | X | |

Tabla 1 Comportamiento térmico de las viviendas solares en el mes de junio

| VIVIENDA TIPO | SIN COLINDANCIA | COLINDANCIA LATERAL 2 LADOS | COLINDANCIA LATERAL 1 LADO |
|---|---|---|---|
| V1 | 16,1 | 17,3 | 16,6 |
| V2 | 20,9 | 24,0 | 22,2 |
| V3 | 19,2 | 22,1 | 20,4 |
| V4 | 18,2 | 20,8 | 19,2 |
| V5 | 19,0 | 21,4 | 20,0 |
| V6 | 19,0 | 21,1 | 19,9 |

Tabla 2 Temperatura interior (°C) en el mes de junio al Este-Oeste según colindancias

| DESCRIPCIÓN | UN | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Transmisión del calor | W/h°C | 780,0 | 508,1 | 444,4 | 410,9 | 492 | 564,8 |
| Volumen del aire | $m^3$ | 327,1 | 327,1 | 327,1 | 327,1 | 327,1 | 327,5 |
| Coeficiente global (G) | $W/m^3h°C$ | 2,4 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 1,7 |

Tabla 3 Coeficiente global (G) de pérdidas de calor en las viviendas en $W/m^3h°C$.



## Referencias bibliográficas


1.- Mapa de energía solar incidente diario, promedio anual. Lima: Atlas de Energía Solar del Perú, Senamhi; 2003.

2.- BATELLIER, J. P - La energía solar en la edificación. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1995. pp.15-95

3.- STEADMAN Philip - Energía, medio ambiente, y edificación. Madrid: Editorial Grefol S.A., 1988. pp. 29 – 45

4.- MAZRIA, Edward - The passive solar energy book. USA: Editorial Rodales; 1979.

5.- McPHILLIPS, Martin - Viviendas Solares Pasivas. Editorial Gustavo Gilli. México, 1986.

6.- JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA - Cartilla de Construcción en madera. Bogotá: Editado por Junta de Acuerdo de Cartagena, 1985. p. 9.24.

7.- HERTZ, Jhon - Diseño bioclimático en la arquitectura. Lima: Intintec, 1981. pp.18 – 81.

8.- BELTRAN, Liliana - Hacia una respuesta arquitectónica de tecnologías ambientales (Tesis de grado de Master). Universidad de Oregón; 1985.

9.- BATTELIER. Ob.cit.p.162.

10.- BEDOYA, César; NEYLA, Javier - Acondicionamiento y energía solar en la arquitectura. Madrid: Editorial Graficinco, 1986. p. 41-105.

11.- McPHILLIPS. Ob.cit.p.138.

12.- BALCOMB, J. Douglas - Passive Solar Building. Massachusetts: Edited by Douglas, 1992. p.195.

13.- FERNANDEZ GARCÍA, Felipe - Clima y confortabilidad humana. Madrid: Serie Geográfica; 1994. p.123.