

**UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UTEC**

**Carrera de Ingeniería de la Energía**



**SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO SOLAR  
PASIVO PARA CALEFACCIÓN DE VIVIENDAS  
ALTOANDINAS DEL PERÚ**

**PASSIVE SOLAR AIR CONDITIONING SYSTEM  
FOR HEATING HIGH ANDEAN DWELLINGS OF  
PERU**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de la Energía

**Anthony Frank Flores Martell**

**Código 2012**

Asesor

Eunice Villicaña Ortiz

Lima – Perú

Diciembre 2017

La tesis

**SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO SOLAR PASIVO PARA CALEFACCIÓN  
DE VIVIENDAS ALTOANDINAS DEL PERÚ**

Ha sido aprobada

-----  
[Nombres y apellidos del Presidente de Jurado]

Eunice Villicaña Ortiz  
[Nombres y apellidos del Asesor de la tesis]

-----  
[Nombres y apellidos del Tercer jurado]





*Dedicatoria:*

“Dedicado a mi familia, asesora y profesores, por el apoyo con su conocimiento, sus ánimos y su confianza depositada en mí”.



*Agradecimientos:*

Desde un inicio este trabajo dispone del apoyo y asesoramiento de la Profesora Eunice Villicaña, a quién agradezco su tiempo, esfuerzo y dedicación, y por los conocimientos que compartió para lograr los objetivos planteados inicialmente.

Agradezco al director y profesores de la carrera de Ingeniería de la Energía en UTEC, por las recomendaciones mediante retroalimentación y por ayudarme a solventar dudas, que aparecieron durante el periodo en que se estuvo trabajando.

A mis padres por su confianza en mí, por los ánimos, por el apoyo económico y por velar por mi bienestar, que he recibido desde siempre, para poder cumplir mis metas.





# TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>CAPÍTULO I: SALUD Y ENERGÍA EN PERÚ</b>	
1.1 Perfil demográfico y climático del Perú.....	8
1.1.1 Ubicación geográfica .....	8
1.1.2 Población e índice de desarrollo humano.....	8
1.1.3 Relieve.....	9
1.1.4 Clima.....	10
1.1.5 Recurso solar y eólico en Perú .....	12
1.2 Regiones andinas de mayor vulnerabilidad.....	14
1.2.1 Regiones vulnerables debido a enfermedades respiratorias.....	14
1.2.2 Regiones vulnerables debido a temperatura y humedad .....	15
1.3 Confort térmico .....	17
1.3.1 Sudoración .....	17
1.3.2 Respiración.....	18
1.3.3 Conducción .....	18
1.3.4 Convección.....	19
1.3.5 Radiación.....	20
1.3.6 Pre – Balance.....	20
1.3.7 Voto Medio Estimado – PMV .....	20
1.4 Diseño Bioclimático .....	21

1.4.1	Sistemas de acondicionamiento pasivo.....	24
1.4.2	Sistemas para calefacción .....	24
1.4.3	Sistemas para refrigeración.....	30
1.4.4	Sistemas para iluminación.....	33

## **CAPÍTULO II: DISEÑO DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO PASIVO**

2.1	Parámetros previos de diseño .....	34
2.1.1	Análisis climático.....	34
2.1.2	Análisis de confort térmico .....	39
2.1.3	Normativa técnica peruana.....	44
2.1.4	Disponibilidad del recurso eólico y solar.....	46
2.1.5	Altura y acimut solar.....	49
2.1.6	Horas solares .....	54
2.1.7	Aprovechamiento de la irradiación respecto a la inclinación superficial .....	55
2.1.8	Materiales constructivos.....	57
2.2	Diseño del sistema.....	60
2.2.1	Orientación.....	60
2.2.2	Morfología .....	61
2.2.3	Vidrio .....	62
2.2.4	Cámara de aire.....	63
2.2.5	Muro de inercia .....	64
2.3	Análisis energético .....	64
2.3.1	Transferencia de calor .....	65
2.3.2	Cálculo de pérdidas de calor del espacio .....	69
2.3.3	Cálculo de nodos en el muro.....	71

## **CAPÍTULO III: RESULTADOS**

3.1 Transferencia de calor ..... 78

3.2 Costos ..... 83

## **CONCLUSIONES**

## **RECOMENDACIONES**

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## **ANEXOS**



# ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Temperaturas Mínimas Históricas Mensuales por Regiones del Perú .....	35
Tabla 2. Temperaturas Máximas Históricas Mensuales por Regiones del Perú .....	36
Tabla 3. Temperaturas Medias Históricas Mensuales por Regiones del Perú .....	37
Tabla 4. Humedad Relativa Históricas Mensuales por Regiones del Perú .....	38
Tabla 5. Características bioclimáticas <i>Mesoandino</i> .....	45
Tabla 6. Irradiación Global Horizontal por Regiones del Perú.....	48
Tabla 7. Horas del Sol .....	55
Tabla 8. Características de algunos materiales.....	58
Tabla 9. Criterios de Diseño del Sistema. ....	59
Tabla 10. Parámetros de Análisis Nodal. ....	68
Tabla 11. Características del Muro.....	71
Tabla 12. Características del Muro.....	74
Tabla 13. Análisis Nodal.....	76
Tabla 14. Costos.....	83



# ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ubicación geográfica del Perú.....	8
Figura 2 Mapa del relieve peruano.....	9
Figura 3 Mapa climático del Perú. ....	11
Figura 4 Atlas Solar del Perú. ....	12
Figura 5 Mapa Eólico del Perú.....	13
Figura 6 Principales Causas de Morbilidad.....	15
Figura 7 Regiones de riesgo por bajas temperaturas.....	16
Figura 8 Factores para Prevenir Neumonía.....	16
Figura 9 Aprovechamiento de la energía solar pasiva .....	22
Figura 10 Aprovechamiento de la energía solar pasiva .....	22
Figura 11 Orientación de fachadas de viviendas.....	23
Figura 12 Calefacción pasiva .....	24
Figura 13 Captación solar .....	25
Figura 14 Aprovechamiento de ganancias internas.....	26
Figura 15 Protección contra vientos.....	27
Figura 16 Muro Trombe.....	28
Figura 17 Invernadero adosado .....	29

Figura 18 Refrigeración evaporativa en un patio .....	30
Figura 19 Control de la radiación solar .....	31
Figura 20 Control de la radiación solar .....	31
Figura 21 Ventilación cruzada .....	32
Figura 22 Ventilación por efecto chimenea .....	32
Figura 23 Transferencia por Sudoración .....	41
Figura 24 Transferencia por Respiración .....	41
Figura 25 Transferencia por Conducción .....	42
Figura 26 Transferencia por Convección .....	42
Figura 27 Transferencia por Radiación .....	43
Figura 28 Sensación Térmica .....	44
Figura 29 Muro Tipo 2A. ....	46
Figura 30 Techo Tipo 3B. ....	46
Figura 31 Comportamiento de Altura Solar en Cusco. ....	50
Figura 32 Comportamiento de Altura Solar en Huancavelica. ....	51
Figura 33 Comportamiento de Altura Solar en Apurímac. ....	51
Figura 34 Comportamiento de la Altura Solar en Ayacucho. ....	52
Figura 35 Comportamiento del Sol en Verano (Parinacochas – Ayacucho).....	53
Figura 36 Comportamiento del Sol en Invierno (Parinacochas – Ayacucho).....	53



Figura 37 Radiación Terrestre en Superficies Inclinadas.....	56
Figura 38 Orientación del Sol – La Convención.....	60
Figura 39 Diseño del sistema básico.....	61
Figura 40 Vista Frontal del sistema.....	62
Figura 41 Vista de Perfil.....	63
Figura 42 Resistencias del sistema.....	65
Figura 43 Análisis Nodal.....	69
Figura 44 Análisis Nodal.....	77
Figura 45 Análisis Nodal.....	77
Figura 46 Análisis Nodal.....	79
Figura 47 Análisis Nodal.....	80
Figura 48 Análisis Nodal – Verano.....	81
Figura 49 Análisis Nodal – Invierno.....	82



## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Razón Metabólica y Eficiencia Mecánica para Actividades.....	96
Anexo 2: Índice Térmico de la Vestimenta .....	98
Anexo 3: Captación Solar en Superficies Inclinadas .....	99
Anexo 4: Propiedades Térmicas de Materiales.....	100



## RESUMEN

El confort térmico es un factor importante que influye en la calidad de vida de las personas, siendo inclusive un elemento determinante para la salud. El discomfort térmico suele generarse cuando las temperaturas son muy bajas y los porcentajes de humedades relativas son bastante elevados, lo que origina una sensación térmica de frío.

Las regiones Andinas que se encuentran en la sierra peruana suelen sufrir por heladas, teniendo altas tasas de mortalidad a causa de los factores climáticos, la falta de centros médicos y por no vivir en condiciones adecuadas debido a su poder adquisitivo.

Una solución apropiada para poder lograr que los pobladores se encuentren dentro de un rango de confort, es un sistema de acondicionamiento solar pasivo, que no suponga un elevado costo, pero que permita incrementar la sensación térmica hacia el interior de las viviendas. El muro Trombe es uno de los sistemas más adecuados, éste aprovecha el recurso solar del lugar para calentar una masa de aire y conducirla al interior de una vivienda, sin embargo, queda limitado para regiones con latitudes cercanas al Ecuador, ya que la altura solar es elevada en verano y en consecuencia la intensidad de radiación será mayor en un plano horizontal al medio día que un plano vertical.

Por esta razón el presente proyecto propone la unión entre un Techo y Muro Trombe, el cual resulta interesante para aumentar la captación solar del sistema permitiendo incrementar temperatura en el interior de la vivienda.

El análisis evaluará las temperaturas que se logran para una infraestructura de hormigón y la irradiancia obtenida en aquellas regiones. Se empleará un análisis nodal, que nos mostrará el comportamiento de un sistema eficiente, en comparación de uno deficiente, obteniendo resultados para las estaciones de verano e invierno.



# INTRODUCCIÓN

Las regiones de la cordillera central del Perú se caracterizan por presentar un clima templado húmedo [1], siendo los Departamentos como Huancavelica, Ayacucho, Cusco y Puno los que experimentan cada año la severidad de la temporada invernal, la cual se intensifica debido a las bajas temperaturas. Estas condiciones hacen que la sensación térmica sea especialmente fría en los meses de junio a septiembre, que aunado a las precarias condiciones de habitabilidad en algunas zonas rurales, da como resultado un significativo número de personas con infecciones respiratorias agudas, las cuales se incrementan debido a la falta de mecanismos que permitan mejorar las condiciones de calefacción en el interior de las viviendas (confort térmico) a bajo costo pues la combustión de leña o composta, a pesar de ser habitual para la calefacción y cocción de alimentos, han contribuido a la proliferación de enfermedades respiratorias, ya que la inhalación del humo está relacionada con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC).

Al respecto, los índices de mortalidad en el Perú indican que una de las principales causas de esto son las infecciones respiratorias agudas en los niños y adultos mayores [2]. Tan sólo en Perú, la población que ha sido vulnerable por estas infecciones es del 54.5% en las comunidades rurales y del 45.5% en los centros de salud [3].

En ese sentido, la implementación de estrategias que permitan favorecer el confort térmico de las viviendas rurales ubicadas en estas regiones y a un costo razonable, es una necesidad que debe ser atendida en el corto plazo.

Los sistemas de acondicionamiento pasivo o activo han permitido afrontar este problema de sensación térmica, siendo los de captación pasiva los más económicos, ecológicos y más prácticos. Estas características los sitúan como tecnologías sustentables.

El muro Trombe, es una de las técnicas más usadas debido a su simplicidad, bajo coste y beneficios pues la cantidad de calor que se produce de manera natural, permite incrementar las condiciones de confort hacia el interior de un ambiente.

Así, utilizando similares criterios de diseño, la propuesta de un Muro y Techo Trombe, permiten maximizar el aprovechamiento del recurso solar, ya que el área de exposición del este sistema en dirección al sol es mayor a lo largo de día, cercano a las ocho horas en promedio. Por otro lado, se favorece la ganancia solar en épocas estivales, ya que la altura solar es proporcionalmente mayor en verano que en invierno.



## **Antecedentes**

En 2014 el consumo energético del sector residencial en Perú fue del 20%, siendo la electricidad y el gas los vectores de mayor consumo. Esta cifra, aunque crece de manera discreta anualmente, representa un punto de atención debido al impacto ambiental que genera y su contribución al cambio climático. Este comportamiento tiene lugar en muchos países, sobre todo aquellos cuyo Producto Interno Bruto (PIB) es elevado y en consecuencia el uso de energía es mayor. Al respecto, varias naciones están realizando acciones encaminadas a reducir el consumo energético del sector residencial, siendo los países europeos los que han apostado por el desarrollo de viviendas sustentables que integren aspectos bioclimáticos, energías renovables, control de la demanda, reciclado y nuevos materiales.

Perú no ha sido la excepción, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento presentó en 2011 la Normativa para el Sector de la Construcción, en ella se señalan los requerimientos mínimos necesarios para la edificación en función a la zona climática, además se evalúan las exigencias ambientales para el diseño, las cuales son: condiciones de entorno, control solar, control térmico, iluminación, ventilación, y precipitaciones. De esta manera, cada diseño dependerá de las especificaciones ambientales y las condiciones climáticas del lugar; el objetivo es aplicar los métodos para mejorar el confort térmico [4, 5].

Para el caso específico de las regiones alto andinas del Perú, el desarrollo de viviendas acondicionadas térmicamente cobrará importancia debido a las condiciones climáticas de estas zonas, las cuales al ser heladas y húmedas se convierten en puntos críticos para la propagación de enfermedades agudas respiratorias. Sin embargo, la presencia de comunidades altamente marginadas en zonas rurales, hace que el desarrollo de estas viviendas quede fuera de su alcance debido a los costos que puede representar, por

tanto, es necesario implementar acciones eficaces para la edificación y/o modificación de elementos constructivos adosados a las viviendas que favorezcan el confort térmico, sin que ello requiera de elevados costes.

Para el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), este es uno de los objetivos a atender en el corto y medio plazo, debido a que las regiones de Junín, Huancavelica, Cusco y Ayacucho son las que presentan mayores índices de mortalidad debido a enfermedades respiratorias, situación que preocupa al Estado [6].

Desde el punto de vista energético, el empleo de la energía solar pasiva representa una oportunidad para el logro de estos objetivos, pues la posibilidad de potenciar la calefacción pasiva para las 500 mil viviendas con problemas por heladas, es factible.

Al respecto, algunas entidades peruanas e internacionales han sumado esfuerzos para trabajar en temas relacionados con el acceso a la energía básica y el confort térmico [7], tal es el caso de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM) y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), las cuales trabajaron en un estudio de evaluación de sistemas solares pasivos para viviendas en Huaraz, donde se analizaron cinco viviendas las cuales disponían de sistemas pasivos, siendo el más eficiente el sistema de ganancia solar directo [8]. Del mismo modo el Departamento de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), elaboró la investigación “Consideraciones Bioclimáticas en el Diseño Arquitectónico: El Caso Peruano”, el documento centra su interés en el desarrollo de un análisis climático previo al diseño de estrategias que deben emplearse para mejorar el confort térmico [9].

A pesar de este avance, aún se requiere de estrategias que permitan implementar un nuevo modelo de construcción más eficiente, asequible y de bajo impacto ambiental; en esencia se trata de viviendas sustentables.

## **Justificación y motivación**

En Perú, la región alto andina se caracteriza por presentar bajas temperaturas y humedades elevadas en algunas épocas del año. Los habitantes de éstas regiones, principalmente rurales, habitualmente se ven afectados por las condiciones climáticas extremas, en donde la salud se ve minada debido a la presencia de condensaciones, hongos y bacterias. Este tipo de ambientes están relacionados con problemas crónicos respiratorios como alergias, reuma y enfermedades óseas, resfriados, rinofaringitis, bronquitis, amigdalitis, asma, neumonitis, etc.

El MINEM, ha señalado la importancia de atender las zonas rurales que presentan problemas debido a las condiciones climáticas. En ese sentido, el desarrollo de mecanismos que permitan incrementar el confort térmico de las viviendas rurales, de una manera asequible, es un tema que puede atenderse desde la perspectiva energética mediante el uso de sistemas de acondicionamiento pasivo.

Este proyecto consiste en el diseño de un sistema pasivo de calefacción que permita incrementar el calor al interior de las viviendas mediante el aprovechamiento de ganancias solares. El sistema debe ser autosuficiente y para su funcionamiento dependerá de las condiciones climáticas del lugar, el recurso solar, el recurso eólico y la elección de cerramientos opacos y traslúcidos.

Este sistema busca contribuir a incrementar las condiciones de confort y en consecuencia reducir las tasas de mortalidad registradas.

**Objetivo general:**

Diseñar un sistema solar pasivo para incrementar la ganancia de calor y favorecer el confort térmico en el interior de viviendas rurales ubicadas en las zonas alto-andinas del Perú, a través del diseño de un Muro y Techo tipo Trombe.

**Objetivos específicos:**

- Analizar la información climática del Perú para identificar las regiones de mayor vulnerabilidad debido a las condiciones de temperatura y humedad.
- Evaluar los criterios de diseño según el contexto nacional y los parámetros ideales de confort para el ser humano.
- Identificar los recursos de las zonas y evaluar los parámetros en los cuales se proyecta el sistema de acondicionamiento pasivo.
- Determinar los materiales de diseño a emplear considerando sus características de conductividad y transmisibilidad.
- Realizar el balance de energía del sistema que se desarrollará, para evaluar pérdidas y ganancias de calor.

# **CAPÍTULO I**

## **SALUD Y ENERGÍA EN PERÚ**

La sola idea de aprovechar los recursos naturales de manera pasiva para la calefacción o refrigeración es interesante, esto forma parte de la Eficiencia Energética en la Edificación, tema que en Europa y otros países está cobrando importancia, ya que su aplicación aporta ahorros de energéticos y económicos; además al reducir la dependencia de los combustibles fósiles, se reduce también el impacto ambiental generado por las emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo que se convierte en una forma sustentable de vivir.

En Perú, la región central y sur andina es punto de inflexión debido a los reportes de las elevadas tasas de mortandad por infecciones respiratorias agudas provocadas por las condiciones climáticas. Es importante aclarar que también se ha reportado un significativo número de casos de mortalidad debido a la mala o nula atención médica en los centros de salud, siendo las zonas rurales las que se ven más afectadas.

Para abordar este proyecto, es importante tener un panorama más amplio acerca de Perú, conocer las características climáticas y los recursos renovables que pueden ser aprovecharlos en la zona alto andina y con ello mejorar las condiciones de confort.

## 1.1 Perfil demográfico y climático del Perú

### 1.1.1 Ubicación geográfica

Perú es un país sudamericano ubicado entre los paralelos  $0^{\circ}$  y  $18^{\circ}21'34''$  de latitud Sur y meridianos  $68^{\circ}39'7''$  y  $81^{\circ}20'13''$ , cuenta con una superficie de 1,285,216 km<sup>2</sup>. Limita al Norte con Ecuador y Colombia, al Sur con Chile, al Este con Brasil y Bolivia y al Oeste con el Océano Pacífico. Tiene una población de 31 millones de habitantes, distribuida en 26 regiones, siendo las más pobladas Lima, Piura, Cajamarca y La Libertad [10]. (Figura 1).



**Figura 1** Ubicación geográfica del Perú  
Fuente: naturalearthdata. Perú.

### 1.1.2 Población e índice de desarrollo humano

El país se ubica en la octava posición de los países con mayor población en América, también es el decimonoveno país más extenso del mundo. La densidad poblacional es de 24.2 habitantes/km<sup>2</sup> y la población rural representa un 75% de la población total. [10]. En términos del índice de desarrollo humano (IDH), la ONU lo sitúa en el puesto 84 del ranking a nivel mundial, con un IDH de 0.743 puntos en 2014 [11] siendo Huancavelica, Ayacucho, Cusco, Arequipa y La Libertad las provincias con los niveles de IDH más bajos [12].

### 1.1.3 Relieve

En cuanto a su relieve, Perú tiene uno de los más variados del mundo por lo que se ha clasificado en tres regiones geográficas: Costa, Sierra y Selva. La Costa es una franja de tierra que se distribuye desde el mar hasta los Andes. En esta región la actividad sísmica es mayor debido a la actividad tectónica, lo que favorece los levantamientos y hundimientos del suelo. La Sierra, es una extensión de tierra que se extiende a lo largo de todo el País y se caracteriza por sus cordilleras, volcanes, mesetas y valles. La Cordillera de los Andes en la Sierra peruana alcanza altitudes de hasta 6746 m.s.n.m. La Selva, es una región localizada al oriente, su extensión comprende el 60% del territorio y se caracteriza por presentar una vegetación exuberante, elevada nubosidad y una topografía accidental, debido a esto, los climas son en mayor proporción cálidos húmedos. Se puede observar el mapa del relieve peruano en la figura 2 [13, 14].



**Figura 2** Mapa del relieve peruano  
Fuente: vmapas. Relieve Peruano.

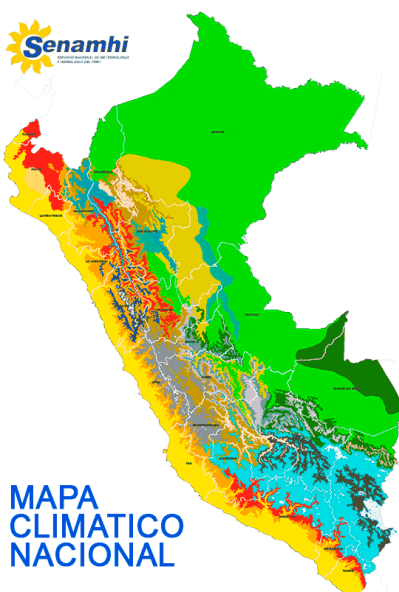
#### 1.1.4 Clima

El comportamiento de los climas en el hemisferio norte y sur tienen temporadas opuestas, es decir mientras en el norte se encuentran en temporada de invierno, en el sur es temporada de verano [15]. El Ministerio del Ambiente (MINAM) lo nombra “El País de los más Variados Climas” [16], ya que debería tener un clima tropical por ubicarse en la zona intertropical de la tierra [17], sin embargo, presenta gran variedad de climas a causa de su relieve, corrientes y ciclones. En cuanto al relieve, la Cordillera de los Andes, al tener altitudes superiores a los 4,000 m.s.n.m. y orientaciones sur – norte – noroeste, genera dificultades para la libre circulación de las masas de aire en el Pacífico Sur, así como en la región de la Amazonia y en el Atlántico Sur, por lo que la cordillera actúa como una barrera de los vientos generando que las masas de aire del Pacífico y de la Amazonia precipiten en forma acuosa, provocando lluvias, granizo o nieve y generando humedad en las partes altas de los Andes [16]. En cuanto a las corrientes, la Corriente Peruana es la causante de la alta humedad y nubosidad atmosférica en las regiones que van desde la desembocadura del Santa (Ancash) hasta el límite con Chile, mientras que para el norte del país la Corriente Peruana genera lluvias intensas, por ello las masas de agua oceánica se condensan provocando grandes lluvias. Por otro lado, el Anticiclón del Pacífico Sur, genera circuitos de vientos con alta humedad los cuales recaen en la costa peruana y dan lugar a la formación de nubes en la Costa. En cuanto al Ciclón Amazónico, las masas de aire son de baja presión, tibias y húmedas, lo que genera lluvias y climas cálidos en la selva baja de la Amazonia. El Anticiclón del Atlántico Sur hace que las masas de aire húmedo de las costas argentinas lleguen al Perú con precipitaciones en el flanco andino del sur. Esto genera el descenso de temperaturas conocidos como heladas [18].

Los climas que más destacan en Perú son: el semi cálido muy seco, comprendido en la zona costera del país desde el litoral del pacífico hasta los 2,000 m.s.n.m., con temperaturas medias anuales de 18°C y 19°C. El cálido muy seco, desde el litoral oceánico, hasta los 1,000 m.s.n.m., con temperaturas promedio anual de 24°C y sin cambio térmico en los periodos de invierno. El templado sub húmedo, presente en la región sierra del país,



entre los 1000 y 3000 m.s.n.m., con temperaturas mayores a 20 °C, con mayor presencia en los valles y en las zonas más altas pueden llegar precipitaciones de 1,200 mm. El frío o boreal, segundo clima con mayor presencia en el país y que se extiende por la sierra desde 3,000 y 4,000 m.s.n.m., con temperaturas medias anuales de 12 °C, y con inviernos secos y con presencia de heladas, y veranos lluviosos. El frígido, también llamado clima Puna, presente en las zonas alto andinas del Perú, con temperaturas anuales de 6 °C, y veranos lluviosos y nublosos, con sus periodos de invierno secos. El de nieve, relativo a los climas de alta montaña, presente en altitudes mayores a los 5,000 m.s.n.m. y con presencia de nieve y hielo. El semi cálido muy húmedo, presente la mayor parte del año en la selva peruana y en oriente alto andino, con temperaturas medias anuales de 22°C y comprendido en altitudes de 2,000 y 5,000 m.s.n.m. y el cálido húmedo, llamado también tropical húmedo, con temperaturas promedio de 25 °C, sin cambio térmico invernal bien definido y comprende el 43% de la superficie territorial del país [19]. En la figura Figura 13 se puede observar el mapa de climas del Perú.



**Figura 3** Mapa climático del Perú.  
Fuente: SENAMHI. Mapa Climático Nacional

### 1.1.5 Recurso solar y eólico en Perú

Este factor impacta en el clima de la zona, dependiendo de la latitud en la que se ubique, ya que proporciona la cantidad de energía. Su unidad de medida es el W/m<sup>2</sup>. Este recurso también se puede emplear para la generación de energía o para aprovecharlo en forma de calor [20].

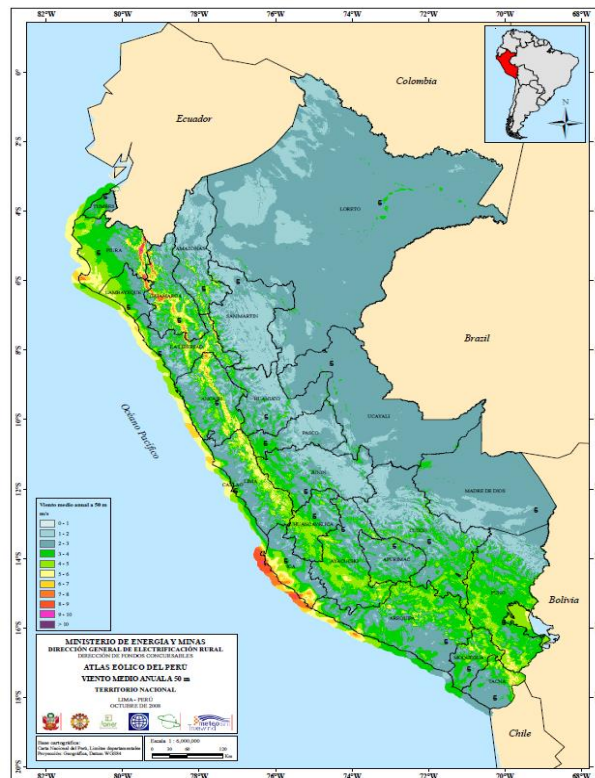
El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Dirección General de Electrificación Rural (DGER – MEM) del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), luego de un prolongado estudio publicaron en el año 2003 el Atlas de la Energía Solar del Perú, donde se puede identificar, en un mapa, la energía solar incidente diaria promedio anual en kW/m<sup>2</sup>día [21] (Figura 4).



**Figura 4** Atlas Solar del Perú.  
Fuente: SENAMHI. Atlas Solar del Perú.

En cuanto al recurso eólico, las velocidades de viento que se registran en la zona costera norte son interesantes para el desarrollo de parques eólicos, pues las velocidades de viento oscilan entre los 7 m/s y 9 m/s, mientras que en la zona costera central estos valores pueden situarse entre los 6 m/s y 7 m/s.

Hacia el interior del país, las velocidades son menores, en el orden de los 3 m/s y 5 m/s, sin embargo, estas velocidades son interesantes para pequeños sistemas de generación de energía. En términos de estrategias de acondicionamiento pasivo, estos valores indican que el potencial eólico puede ser empleado para ventilar los espacios de una infraestructura. La Figura 5 muestra el potencial eólico que posee el país y con ello evaluar el recurso [Online] Disponible que se pudiera aprovechar.



**Figura5** Mapa Eólico del Perú  
Fuente: Ministerio de Energía y Minas

## **1.2 Regiones andinas de mayor vulnerabilidad**

### **1.2.1 Regiones vulnerables debido a enfermedades respiratorias**

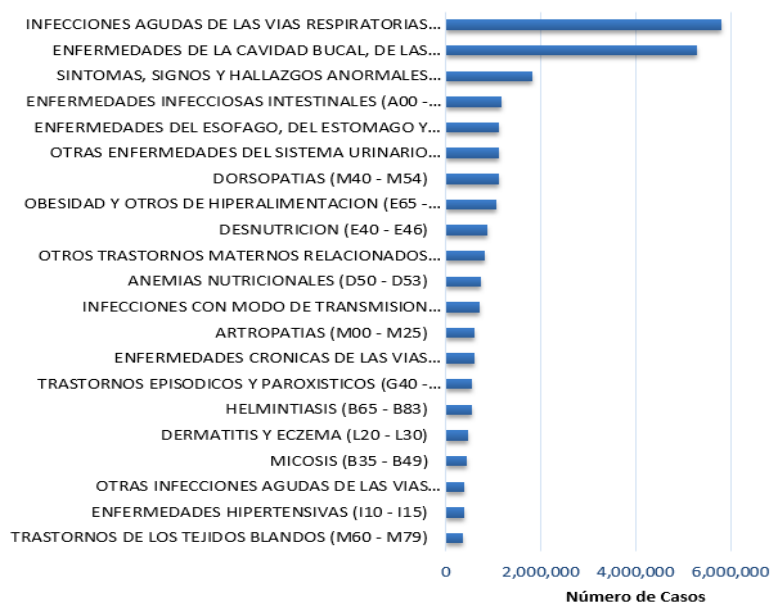
El frío y la humedad son factores ambientales que complican la salud de las personas con Infecciones Respiratorias Agudas (IRAS) y dan pie a la neumonía, la cual puede llevar a la mortalidad [22].

Las IRAS que se generan por vías aéreas superiores ocurren con mayor frecuencia en el invierno, ya que la población está más expuesta a la humedad y al frío, lo cual, al contraer el virus se encuentran más expuestas [23]. Por otro lado, la inhalación de humos de combustión, gases, tabaco, y los lugares cerrados, son factores de riesgo para la susceptibilidad de las personas (mayor en niños y ancianos), contra la neumonía [11].

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) indica que las IRAS son una de las mayores causas de mortalidad en niños y adultos a nivel mundial, mientras que el Ministerio de Salud (MINSA) revela que las IRAS son la primera causa de morbilidad en Perú, representado el 16.7% del total nacional [6].

En 2015, el MINSA reveló que en las zonas andinas y amazónicas se presentaron los mayores índices de neumonía; los cuales aumentaron durante las temporadas de bajas temperaturas, ocurriendo el 54.5% de ellos en las comunidades y el 45.5% en los centros de salud, siendo los niños y ancianos los más afectados [3]. Tan sólo en 2015 se reportaron 920,136 defunciones de menores de 5 años, esto se observa en la Figura 6.

## Principales Causas de Morbilidad - 2015



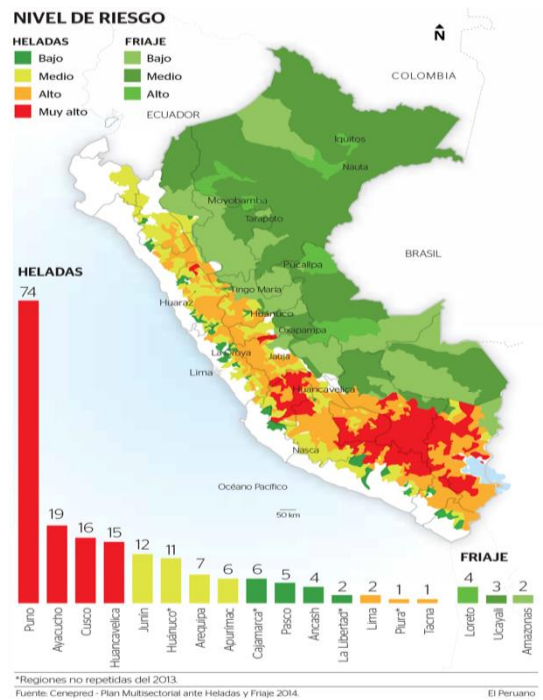
**Figura 6** Principales Causas de Morbilidad  
Fuente: INEI. La Mortalidad en el Ámbito Nacional.

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), registró que el nivel de mortalidad entre el 2005 y el 2010, fue alto para la región de Huancavelica, medio para Apurímac, Cusco, Puno, Amazonas, Ayacucho, Ucayali, San Martín, Huánuco, Pasco, Loreto, Junín, Madre de Dios, y Cajamarca, y bajo para las regiones restantes [12, 24].

Para el 2016 las regiones con mayores índices de mortalidad a causa de neumonía fueron Junín, Huancavelica, Cusco, Ayacucho, La Libertad y Puno.

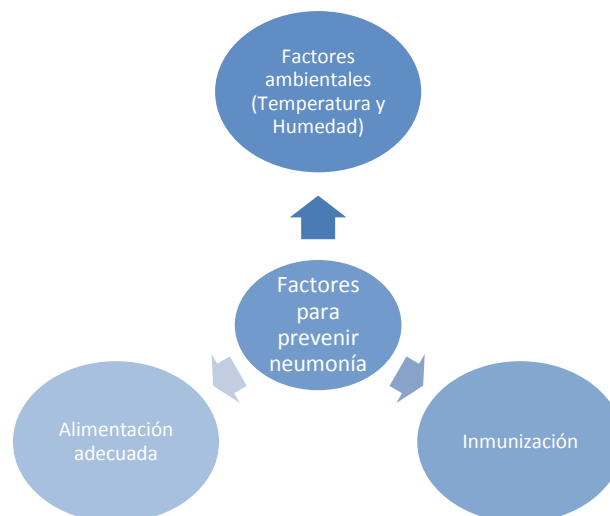
### 1.2.2 Regiones vulnerables debido a temperatura y humedad

Uno de los problemas que afronta el Perú, radica en las heladas y friajes que se generan por la variedad de climas que tiene el país. Las heladas ocurren en la Sierra, a causa de las condensaciones de agua en el ambiente; mientras que los friajes tienen mayor presencia en la selva a causa de las masas de aire que provienen del Atlántico [25].



**Figura 7** Regiones de riesgo por bajas temperaturas.  
 Fuente: Presidencia del Consejo de Ministros. Plan Multisectorial ante Heladas y friajes 2014.

De acuerdo al MINSA, la neumonía se puede prevenir trabajando tres factores, los cuales se muestran en la Figura 8.



**Figura 8** Factores para Prevenir Neumonía  
 Fuente: MINSA. Situación Epidemiológica de las IRAS, Neumonías y Asma en el Perú.

### 1.3 Confort térmico

Se establece como confort térmico aquella condición que expresa la sensación que el cuerpo tiene con el ambiente que nos rodea, cuando no es la adecuada la persona siente frío o caliente. Existen factores que determinan el confort térmico de las personas: la temperatura del medio, temperatura de lo que nos rodea, humedad del aire, la actividad física, la vestimenta y la velocidad de aire [26]. Para realizar un análisis de confort térmico es necesario establecer que el cuerpo humano intercambia calor con su entorno, este intercambio se realiza mediante distintos mecanismos, los cuales se citan a continuación:

- **Propios de los seres vivos:** sudoración y respiración.
- **Comunes a toda la materia:** conducción, convección y radiación.
- **Mecanismos de adaptación:** vestimenta y modificación del entorno.

Para evaluar el estado de confort en diferentes ambientes se requiere de análisis de cada mecanismo de intercambio de energía.

#### 1.3.1 Sudoración

El proceso de sudoración ( $H_e$ ), es un mecanismo de los seres humanos de eliminación de agua. Consta de dos procesos, la difusión de agua y su evaporación en el ambiente, para evaluarla, se emplea la Ecuación 1 [27].

La ecuación consta de dos valores  $R_1$  y  $R_2$  (4.066mb/°C y -84.2mb, respectivamente); de la presión de vapor ambiente ( $P_v$ ); de la actividad metabólica que realizan los individuos ( $H_M$ ); y del área de la superficie humana ( $A_N$ ).

$$H_e = 0,32 * A_N * (R_1 * \theta_s + R_2 - P_v) + 0,42 * A_N * \left(\frac{H_M}{A_N} - 58\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

La temperatura de la piel ( $\Theta_s$ ) dependerá del tipo de actividad que el individuo se encuentre haciendo, ya que de ello dependerá la producción de energía metabólica que genere. Para evaluar la temperatura de la piel se emplea la Ecuación 2.

$$\Theta_s = 35.7 - 0,0275 * \frac{H_M}{A_N} \quad \text{Ecuación 2}$$

El área de la piel puede calcularse mediante la Ecuación de Dubois; la cual incluye la masa de la persona ( $G$ ); y la estatura de la persona ( $L$ ).

$$A_N = 0.203 * G^{0.425} * L^{0.725} \quad \text{Ecuación 3}$$

### 1.3.2 Respiración

La respiración ( $H_{re}$ ) es un mecanismo propio de los humanos, consta de dos sub procesos: pérdida de calor por diferencia de concentración de vapor de agua en el aire, y pérdida de calor que se expulsa del interior del cuerpo humano. La Ecuación 4, considera la temperatura del aire del ambiente ( $\Theta_a$ ) [27].

$$H_{re} = 0.0017 * H_M * (59 - P_v) + 0.0014 * H_M * (34 - \Theta_a) \quad \text{Ecuación 4}$$

### 1.3.3 Conducción

Transferencia de calor por conducción se produce desde la piel hasta la superficie de la ropa. Por tanto, en este mecanismo interfiere la resistencia térmica de la ropa, ya que la ropa actúa como una resistencia térmica por conducción al estar en contacto con la piel de las personas. Para su análisis se requiere el empleo de la Ecuación 5, la cual depende de la temperatura superficial de la ropa ( $\Theta_{cl}$ ) [27].



$$H_k = A_N * \frac{\Theta_s - \Theta_{cl}}{I_{cl} * 0.155} \quad \text{Ecuación 5}$$

La vestimenta se considera un elemento solidario al cuerpo y varía en función a condiciones exteriores. La forma de evaluar su temperatura, puede realizarse mediante la ecuación 6, para ello se necesitará conocer la resistencia térmica de la ropa ( $I_{cl}$ ); la sudoración ( $H_e$ ), y respiración de la persona ( $H_{re}$ ).

$$\Theta_{cl} = 35.7 - (0.0275 * \Theta_s) - 0.155 * I_{cl} * \frac{(H_M - H_e - H_r)}{A_N} \quad \text{Ecuación 6}$$

### 1.3.4 Convección

Transferencia de calor por convección, es la transferencia de calor que se da de la superficie de la persona (piel o ropa, de acuerdo a su vestimenta), al medio. La transferencia irá dirigida al medio en épocas frías, es decir la persona pierde calor; y la persona obtendrá ganancias de calor, cuando la temperatura del medio sea mayor. Para realizar este análisis, se emplea la Ecuación 7 [27].

$$H_c = A_N * F_{cl} * h_c * (\Theta_{cl} - \Theta_a) \quad \text{Ecuación 7}$$

El coeficiente de convección ( $h_c$ ), que está en función a la velocidad del viento y toma los valores según las siguientes ecuaciones.

$$h_c = 2,38 (\Theta_{cl} - \Theta_a) \text{ para } v < 0,1 \quad \text{Ecuación 8}$$

o bien,

$$h_c = 12.1 \sqrt{v} \text{ para } v > 0,1 \quad \text{Ecuación 9}$$

### 1.3.5 Radiación

Transferencia de calor por radiación ( $H_r$ ), en el ambiente interior, las superficies al estar expuestas al medio, tienen la capacidad de absorber energía, dependiendo de sus características, unos materiales absorben más que otros. La ecuación 10 corresponde a la radiación, la cual considera el área efectiva del cuerpo ( $A_{ef}$ ); y la constante de Stefan – Boltzman ( $\sigma$ ) [27].

$$H_r = A_{ef} * \varepsilon * \sigma * (T_{cl}^4 - T_{mrt}^4) \quad \text{Ecuación 10}$$

### 1.3.6 Pre – Balance

De este análisis se puede concluir que los parámetros más importantes que influyen en el estado de confort están en función de la actividad que realizan las personas, la temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad y velocidad de aire y la vestimenta, y en caso de las zonas que presentan bajas temperaturas y elevadas humedades, las pérdidas de energía son significativas por los mecanismos de conducción, convección y radiación, por tanto, estos serán los parámetros a analizar para la elección del sistema de acondicionamiento pasivo. Sin embargo, aún se requiere realizar un análisis más exhaustivo, empleando el método del PMV, el cual permite hallar la sensación térmica de una persona.

### 1.3.7 Voto Medio Estimado – PMV

Este valor indica la sensación térmica de una persona en un ambiente. Su valor se obtiene mediante la Ecuación 11, la cual considera todas las evaluaciones que se hicieron previamente, para poder determinar un rango de confort y los parámetros ideales a los cuales una persona deba estar expuesta.

$$PMV = 4 + (0.303 * e^{-0.036 * H_M + 0.0275}) * (H_M - H_{se} - H_{re} - H_r - h_c) \quad \text{Ecuación 11}$$

Evaluando la sensación térmica, el método propone una escala según los grados de confort, la cual se muestra a continuación:

Frío	Fresco	Poco fresco	Neutro	Poco caluroso	Caluroso	Calor
-3	-2	-1	0	1	2	3

Si la sensación térmica (PMV), no se encontrara entre los rangos -1 y 1, las personas se encontrarían en disconfort térmico. Además, si los resultados son extremos, se consideraría perjudicial para las personas.

Una vez considerado el confort térmico se debe evaluar las condiciones de diseño bioclimático. Seguidamente, se realizar un breve resumen de las técnicas de diseño bioclimático más usuales.

#### 1.4 Diseño Bioclimático

El sector de construcción, además de generar impactos en la economía y en la sociedad, también tiene impactos en el ambiente, por ello la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), luego de un estudio determinó que los factores a reducir por parte del sector de construcción son: la reducción de las emisiones de CO2, la minimización de los residuos para construcción y demolición de edificaciones, y la prevención de la contaminación del aire en interiores [28]; es por ello que el desarrollo de este tipo de diseños para las edificaciones, contribuye contra los impactos que genera el sector.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, define el diseño bioclimático, como un diseño que considera el clima y su entorno para poder utilizar métodos de acondicionamiento ambiental basadas en las condiciones climáticas y en las demandas de confort. Este tipo de diseño considera los siguientes puntos: bienestar térmico, espacios ventilados, iluminación y aislamiento acústico, esto se puede observar en las Figuras 9 y 10, las cuales muestran el aprovechamiento del sol [4, 5].



**Figura 9** Aprovechamiento de la energía solar pasiva  
Fuente: OVACEN. Energía Solar Pasiva

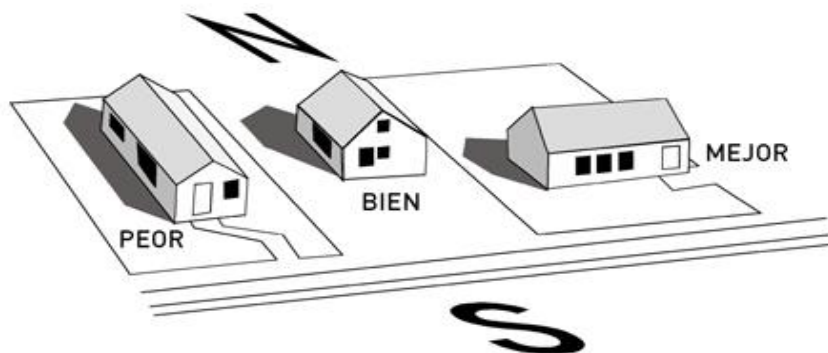


**Figura 10** Aprovechamiento de la energía solar pasiva  
Fuente: OVACEN. Energía Solar Pasiva

Todo método utilizado por la población debe considerar los materiales de su área local, así como se daba en tiempos pasados, utilizando técnicas pasivas o activas de sistemas de acondicionamiento

Según la Universidad de Castilla la Mancha, en un programa de investigación de arquitectura bioclimática, impulsada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España, definió algunos criterios para el desarrollo de un diseño bioclimático los cuales son: el lugar y la orientación, los sistemas de acondicionamiento pasivos y/o activos; y los materiales [29].

El lugar y la orientación, permiten determinar los puntos que se necesitaran mejorar, para lograr el confort adecuado en función de las zonas climática. La orientación condicionará el clima, buscando la mejora ganancia térmica en épocas de frío y protegiendo de las épocas cálidas, la Figura 11 nos muestra la orientación del sol. [29].



**Figura 11** Orientación de fachadas de viviendas  
Fuente: Empresa Eficiente. Orientación Solar Correcta

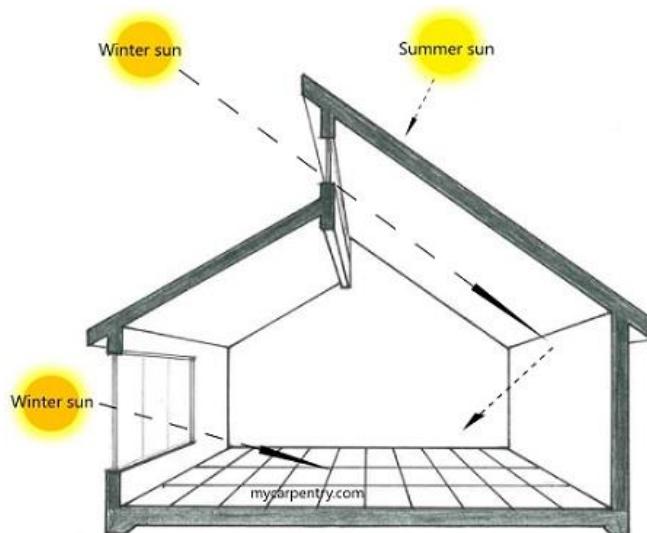
En cuanto a los materiales, estos deben ser abundantes, renovables y naturales, no deben de contaminar y deben ser muy eficientes. Deberá tenerse especial cuidado en su longevidad y su recuperación recuperables. Además, se deben considerar que estos recursos sean de la zona. Los materiales se utilizan más como aislantes térmicos, para evitar los fríos en invierno [29].

### 1.4.1 Sistemas de acondicionamiento pasivo

Los sistemas de acondicionamiento son activos cuando se utiliza un método de transformación de por medio, como, por ejemplo: los sistemas fotovoltaicos. El sistema es pasivo cuando la energía se aprovecha de forma directa, sin tener que procesarla. Dependiendo del diseño de la infraestructura, de los recursos que se tenga en la zona, del diseño del sistema y la eficiencia, se puede cuantificar la cantidad de energía que se aprovecha. [30] Los sistemas de acondicionamiento pasivo tienen la función de favorecer la calefacción, refrigeración e iluminación.

### 1.4.2 Sistemas para calefacción

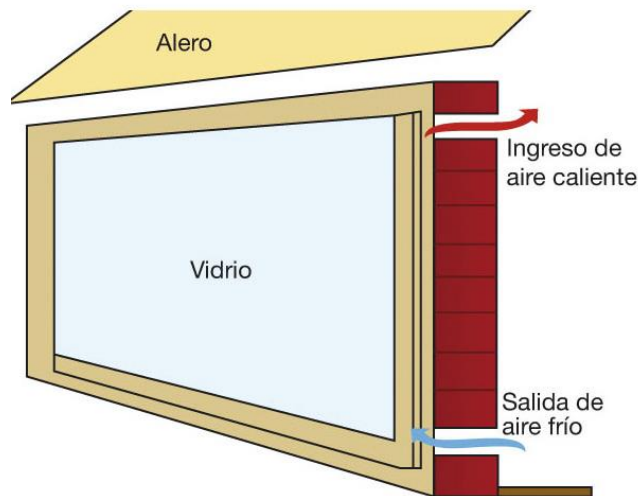
Estos sistemas emplean métodos para poder aumentar la temperatura del interior de la infraestructura, para obtener una temperatura mayor a la temperatura exterior [30], lo que se busca con estos sistemas es aumentar las ganancias solares y evitar las pérdidas de calor [29]. La Figura 12 muestra las formas de captar energía solar, dependiendo de la posición del sol, cómo se observa el comportamiento es diferente para cada estación.



**Figura 12** Calefacción pasiva  
Fuente: Arkiplus. Calefacción Natural

Para ello, existen algunas técnicas, como:

*Captación solar*; aprovecha el calor proveniente del sol, para poder usarla en el momento o almacenarla para la noche. La acumulación de calor se da por la masa del edificio o por los espacios de aire, que generan un efecto invernadero. La Figura 13, nos muestra cómo se aplica la captación solar.

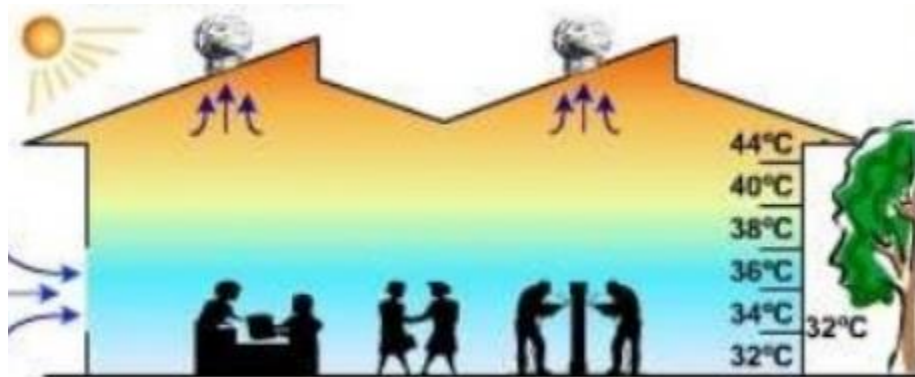


**Figura 13** Captación solar  
Fuente:Coemat. Sistema Solar.

La captación puede ser directa por medio de vanos, semidirecta a través de invernaderos, indirecta a través del suelo, paredes o techos, y a través de sistemas independientes del edificio.

Se debe de considerar el material; el dimensionamiento, orientación y ubicación; la presencia de árboles, que eviten el efecto sombra que disminuye la posibilidad de captar radiación solar; el color, ya que los colores más opacos son los que mayor calor absorben; y la forma del edificio, para determinar qué puntos están más expuestos a absorber calor [9].

*Aprovechamiento de ganancias internas;* este método aprovecha el calor de los sistemas o equipos que generen calor dentro de la infraestructura, cómo se observa en la Figura 14.



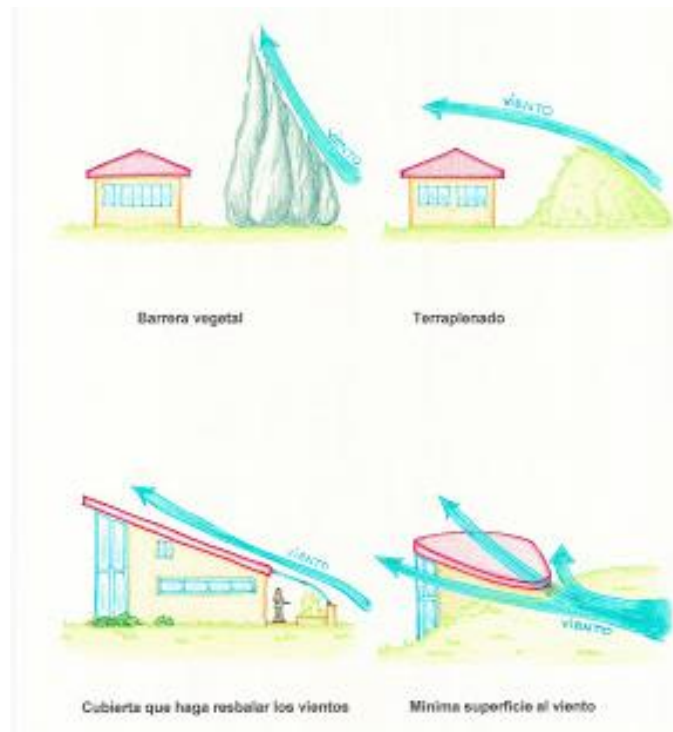
**Figura 14** Aprovechamiento de ganancias internas  
Fuente: Sergio Díaz Romero. Ventilación Natural y Enfriamiento en verano.

Los equipos que generan calor residual son los puntos donde se puede colocar un sistema que distribuya el calor a la zona objetivo, generalmente se utilizan líquidos para transmitir el calor.

Este sistema depende de la hermeticidad del sistema; el espacio de la vivienda define la cantidad de volumen del sistema transmisor de calor y de la necesidad; y la disponibilidad de ganancia interna que se tenga en el edificio [9].

*Protección de los vientos;* esta consiste en evitar que los vientos disminuyan la temperatura de la edificación (externa e interna). Este método trabaja con la hermeticidad de la construcción, la orientación de la infraestructura, con barreras que son estrategias adicionales que pueden aumentar la eficiencia, y con el emplazamiento que aprovecha la geografía respecto a los vientos dominantes [9]. Diferentes métodos de protección contra vientos observamos en la Figura 15.

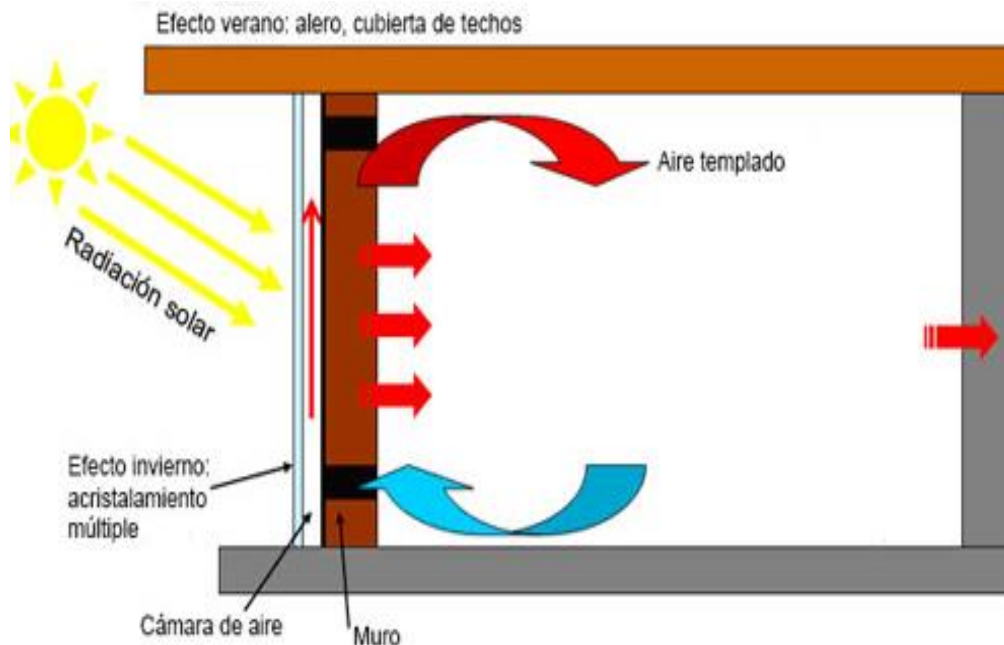




**Figura 15** Protección contra vientos  
 Fuente: abioclimatica. Ventilación Natural.

*Inercia térmica;* es la capacidad de la construcción de poder aislar el interior de su exterior para así poder acumular calor. El sistema depende mucho de los materiales y las dimensiones de los techos y paredes. La rapidez de pérdidas o ganancias de calor es directamente proporcional al área de exposición al medio [9].

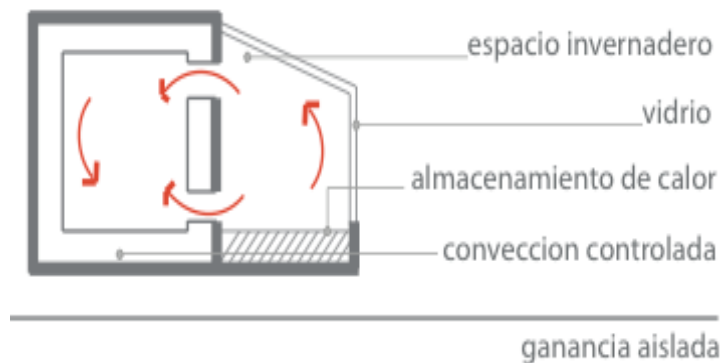
*Muro Trombe;* es un muro que logra aumentar las ganancias de calor al interior, mejorando el aprovechamiento de radiación solar. Este muro es de gran espesor, tiene una superficie de cristal, para poder generar un espacio cerrado y hermético, por el otro lado de su superficie en donde se busca obtener la mayor captación de calor y por ello se prefiere de color opaco. El muro también puede ser ventilado, para que la masa de aire que se concentra en el espacio del muro, pueda ingresar al interior de la edificación y aumentar la temperatura interna [32].



**Figura 16** Muro Trombe  
 Fuente: Soluciones Especiales. La Casa Ecológica.

*Muros de pre calentamiento;* a diferencia del muro Trombe, estos muros son diseñados con materiales metálicos y con aberturas para el paso del aire, las cuales aumenta la temperatura en el aire creado para ingresarlo al interior del edificio [32].

*Invernaderos adosados;* son espacios acristalados ubicados entre el interior y exterior de la construcción, son muy eficientes para la captación de energía solar porque la superficie puede ser muy amplia, se ubican entre los espacios que requieran mayor necesidad de calor, pueden ser controlados ya que disponen de ventanas o puertas que pueden liberar el calor que almacenan, y su capacidad hermética depende del grosor de los vidrios que se empleen [33].



**Figura 17** Invernadero adosado  
Fuente: Arqui-Sinergia. Invernadero Adosado

*Atrios*; es un método muy sencillo que empieza desde la construcción. Se trata de espacios en los techos que permiten el paso de energía solar directa y difusa, para aumentar las ganancias solares. Estos métodos han sido modernizados con el tiempo logrando utilizar vidrios en lo que era un espacio vacío. Para esta estrategia debe de considerarse el comportamiento climático durante el año, ya que, en temporadas de frío puede generar pérdidas de calor [33].

Además de estas técnicas, es importante considerar que mantener una eficiente proporción de las aberturas para mejorar el aprovechamiento de ganancias de calor, pero esto debe de mantener una proporción, ya que si se sobre pasa de aberturas, en tiempos de frío, se pueden tener pérdidas considerables que afecten el confort térmico [32].

Del mismo modo, la transparencia y limpieza de superficies acristaladas, para mantener las superficies cristalinas transparentes, permite un mayor paso de radiación solar, lo cual aumentan las ganancias solares así como la eficiencia térmica y superficial de los cerramientos, lo cual da importancia a las características de los materiales del suelo y paredes, para que estos puedan absorber o almacenar calor, y dependiendo de su tiempo de exposición a la radiación solar, lo cual puede disminuir la eficiencia del edificio [33].

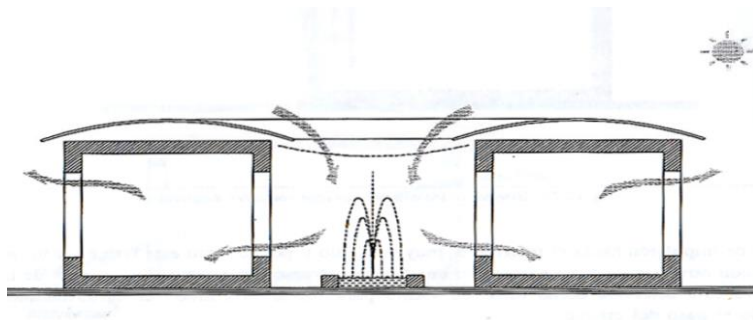
### 1.4.3 Sistemas para refrigeración

Estos sistemas se utilizan para evitar los sobrecalentamientos y/o reducir la temperatura de ambiente dentro de las construcciones [34]. Para lógralo existen algunas técnicas, las cuales se mencionan a continuación.

*Ventilación diurna;* se da en condiciones donde la radiación solar es favorable para poder tener flujo de aire externo cálido, que, al ingresar al interior, se acumula y genera un mejor confort térmico [9].

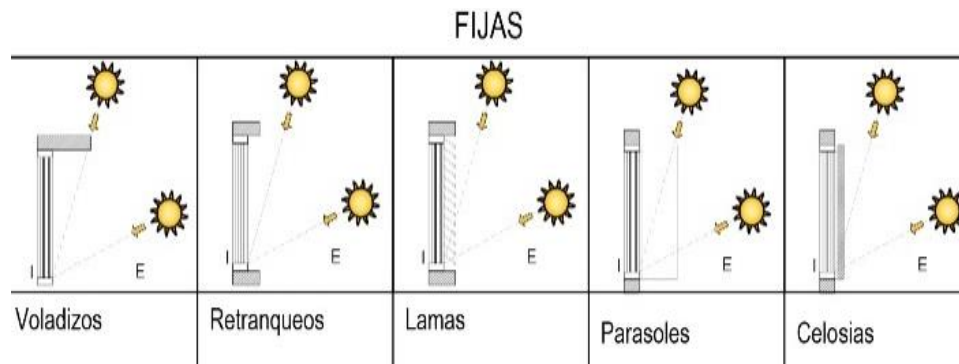
*Ventilación nocturna;* se busca enfriar la infraestructura de la edificación durante las horas más frías del día (la noche), para mantener las temperaturas bajas por más tiempo, a horas de mayor exposición solar [9].

*Refrigeración evaporativa;* esta aprovecha las fuentes de líquidos que se encuentran cerca de la infraestructura. Al tener temperaturas altas, los fluidos se evaporan y ello aumentaría la humedad del aire y disminuiría ligeramente la temperatura, con ello se podría mejorar el confort térmico en zonas de veranos secos, para ello se deberá de considerar que este sistema no funcione en las temporadas frías, ya que sería perjudicial para el confort en esas fechas[9]. Este método se observa en la Figura 18.

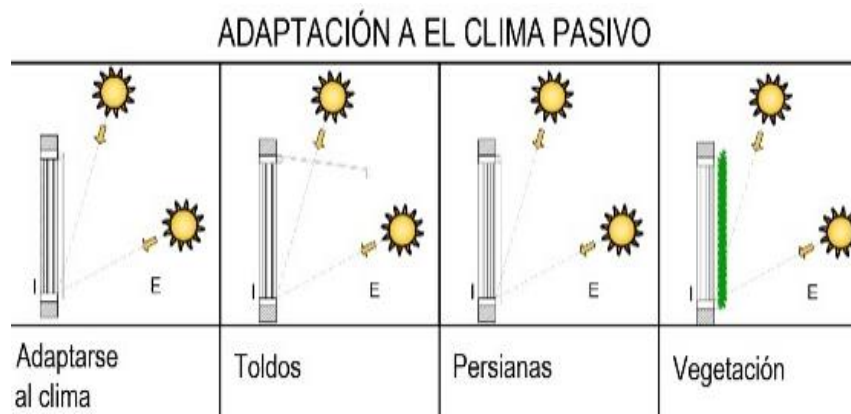


**Figura 18** Refrigeración evaporativa en un patio  
Fuente: ecoedificación. Refrigeración Natural

*Control de la radiación;* esta estrategia consiste en el diseño de la infraestructura para evitar la radiación solar y con ello las ganancias térmicas. Además, considera el material y las dimensiones para evitar la transferencia de calor conductiva [9]. Los controles de radiación los observamos en las Figuras 19 y 20, para control fijo y utilizando adaptación del clima.

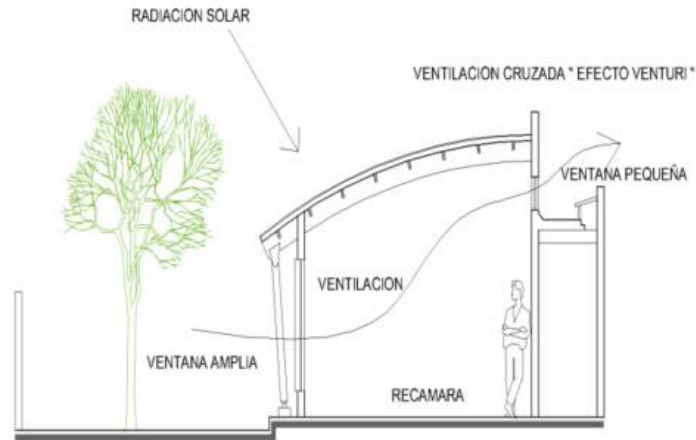


**Figura 19** Control de la radiación solar  
Fuente: beyondsustainable. Control de Radiación Solar.



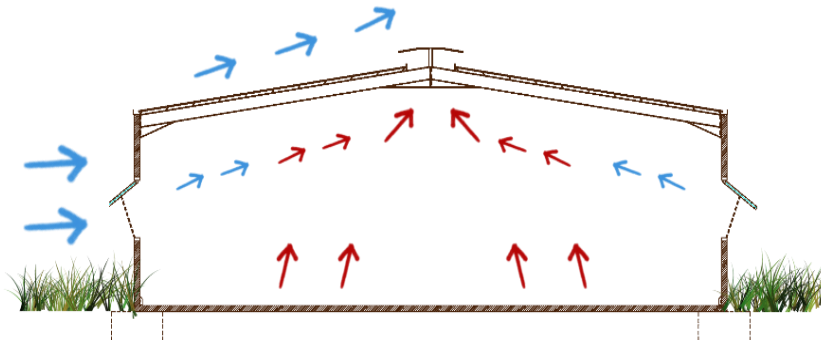
**Figura 20** Control de la radiación solar  
Fuente: beyondsustainable. Control de Radiación Solar.

*Ventilación cruzada*; esta consiste en aumentar la velocidad de los flujos de viento. Se produce cuando se tiene una superficie abierta en dos planos opuestos. Para estos sistemas deben de evitarse las velocidades de aire excesivo [34]. Este método lo podemos observar en la Figura 21.



**Figura 21** Ventilación cruzada  
Fuente: Oscar Fernández - Lantu. Ventilación Forzada y Efecto Venturi.

*Efecto chimenea*; esta consiste en un espacio en el techo, donde las temperaturas de las masas de aire se calienten, y por efecto de gradiente térmico, estas masas calientes, generaran que las masas frías se eleven de la superficie y permitan el paso a nuevos flujos de aire más fríos, cómo se observa en la Figura 22 [34].



**Figura 22** Ventilación por efecto chimenea  
Fuente: construnatura. Ventilación por Efecto Chimenea

*Estrategia de los tubos enterrados;* consiste en crear una tubería bajo superficie, donde la tierra mantiene su temperatura por todo el tiempo a ciertas profundidades, que enfríe el flujo que ingresa, este flujo de aire ingresa por las tuberías, que tienen una baja conductividad térmica, para que se enfríen la masa de aire y cuando ingrese al interior, ingrese aires de baja temperatura [34].

#### **1.4.4 Sistemas para iluminación**

Con el tiempo este factor no ha sido muy considerado en el diseño, debido a las tecnologías que han ido desplazando esta necesidad de criterio, pero lo que no se considera es que se produce de una fuente natural: el sol y el cielo [29].

La iluminación debe de considerar los requerimientos para que las personas puedan desarrollar sus actividades, cada actividad requiere una cantidad de luxes diferentes [29].

Las superficies reflectoras facilitan el paso de rayos solares desde el exterior al interior del local. Los atrios también permiten el paso de iluminación natural.

Mantener buenas proporciones de ventanas, ayuda a aumentar el paso de rayos solares, para poder aumentar la iluminación durante el día. Los túneles solares permiten llevar iluminación natural a los lugares que no disponen de ventanas o donde el espacio es muy cerrado. Están compuestos por: colectores solares, conductores y un difusor del sol al ambiente [35].

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO PASIVO**

El objetivo del proyecto consiste en alcanzar un rango de la temperatura ideal para un espacio en una vivienda; es decir, el sistema deberá aportar el calor suficiente, para ello a través del método Fanger, se evalúa las condiciones climáticas externas para identificar las condiciones de diseño, además de ventilar el espacio para poder disminuir el índice de agua y con ello también mejorar el confort, como se observó en las regiones a donde se enfoca estos factores hace que la calidad de vida (salud), sea muy perjudicial para los pobladores.

#### **2.1 Parámetros previos de diseño**

##### **2.1.1 Análisis climático**

Uno de los puntos de análisis de este trabajo está relacionado con la determinación del comportamiento climático de Perú, esto con el fin de identificar las regiones críticas para el desarrollo del proyecto. Para ello se empleó la información del SENAMHI y de geo-mapas climáticos, tales como el SWERA [36]. A partir de esta información se elaboró la Tabla 1, la cual muestra las temperaturas mínimas de todas las regiones del Perú, en ella se observa que la Zona Sur Alto Andina (ZSAL), presenta bajas temperaturas durante todo el año.



Temperaturas Mínimas Históricas Mensuales por Regiones del Perú (°C)												
Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Huancavelica	3.8	3.8	3.6	2.6	0.7	-1.3	-1.8	-0.8	0.9	1.9	2.1	2.7
Puno	4	4	3	1	-4	-7	-8	-5	-1	0	2	3
Apurímac	7	6.7	6	4.93	2.77	2.77	0.27	1.8	3.9	5.6	6	6.1
Cusco	7	7	6	5	3	1	0	2	4	6	6	7
Ayacucho	9.3	9.4	9.1	8.3	5.7	3.8	4	5.1	7.1	8.3	8.4	8.8
Arequipa	9.5	9.7	9.5	8.3	7.19	6.6	6	6.7	7.2	8	8	8.81
Moquegua	9.5	10	9.5	8.3	7.16	6.6	6	6.7	7.2	8	8	8.81
Huánuco	14	14	14	13	12	10	9	11	12	13	14	14
Tacna	17	17	16	13	11	10	9	9	10	12	13	15
San Martín	17.3	16.8	14.9	10.7	8.3	6.6	6	6.3	8.3	11.1	13.5	15.4
Ancash	18.3	19	19.6	17.73	16.7	16	15.1	14.2	14.3	15	15.7	16.7
La Libertad	18.3	19	19.6	17.73	16.7	16	15.1	14.2	14.3	15	15.7	16.7
Lima	18.5	19	18.5	17	15.5	14	13.5	13	13.6	14	15.5	16.5
Cajamarca	18.6	19	18.5	17	15.5	14	13.5	13	13.5	14	15.5	16.5
Pasco	18.6	19	18.5	17	15.5	14	13.5	13	13.5	14	15.5	16.5
Junín	18.6	19	18.5	17	15.5	14	13.5	13	13.5	14	15.5	16.5
Ica	19.5	20.7	19.8	18.2	16.1	14.37	14	14	14.4	15	16.3	18.4
Lambayeque	20.2	21.8	21.2	19.8	18.3	17.23	16	16	16	16.7	17.4	18.8
Piura	20.2	21.8	21.2	19.8	19	17.23	16	16	16	16.7	17.4	18.8
Amazonas	20.2	21.8	21.2	19.7	18.3	17.23	16	16	16	16.7	17.4	18.8
Madre de Dios	21	21	21	20	19	17	17	18	19	20	21	21
Loreto	22	22	22	22	22	21	21	21	21	22	22	23
Tumbes	23.5	24.9	25.4	24.9	25.1	24.6	24.1	22.4	22.5	21.1	23.4	25.3
Ucayali	27	26.6	26.5	26.3	25.7	25.3	25.4	26.2	27	26.9	26.6	27.1

**Tabla 1.** Temperaturas Mínimas Históricas Mensuales por Regiones del Perú  
Elaboración propia [37, 38]

En la región las temperaturas se mantienen por debajo de los 10°C durante todo el año, siendo los departamentos de Huancavelica, Puno, Apurímac, Cusco, Ayacucho, Arequipa y Moquegua los que presentan menores temperaturas, llegando incluso a estar por debajo de 0°C, mientras que los departamentos Huánuco, Tacna y San Martín, presentan temperaturas entre los 0°C y 10°C, en el periodo de invierno.

Estos departamentos necesitan de sistemas que puedan acondicionar los espacios de vivienda de los pobladores, favoreciendo el aumento de la temperatura de los espacios que habitan, ya que en épocas del año la temperatura ambiente puede llegar a ser menor a 0°C.

En cuanto a las temperaturas máximas, la Tabla 2 muestra un caso muy similar a la tabla anterior. Los departamentos que tienen las temperaturas mínimas más bajas, son los que también no tienen temperaturas máximas muy elevadas. Además, el comportamiento de las temperaturas máximas, es un comportamiento ligeramente constante durante todo el año.

Temperaturas Máximas Históricas Mensuales por Regiones del Perú (°C)												
Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Huancavelica	15.9	15.6	15.8	16.5	16.6	16.4	16.5	17.2	17.2	17.4	17.7	16.8
Puno	17	17	17	17	17	16	16	17	18	19	19	18
Cusco	19	19	19	20	20	19	19	20	20	21	21	21
Apurímac	19.2	19	19	20	20	20	19.1	20	20	21	21	20.6
Arequipa	22	22	22	22	22	22	22	22	23	22.8	22	22
Moquegua	22	22	22	22	22	22	22	22	23	22.8	22	22
Ayacucho	23.3	22.9	22.6	23.5	23.6	23	22.6	23.6	24.1	24.9	25.7	24.1
La Libertad	25.1	26	26	24.8	23.4	22.1	21.1	20.5	20.6	21.7	22.8	23.9
Ancash	25.12	26	26	24.8	23.9	22.1	21.1	20.5	20.6	21.7	22.8	23.9
Huánuco	26	26	26	27	27	26	26	26	27	27	27	27
Tacna	27	28	27	25	23	20	19	20	21	22	24	26
Lima	27.5	28	27.8	26.3	23	19.8	19	19	19.7	21.5	23.1	25.3
Cajamarca	27.6	28	27.8	26.3	23	19.8	19	19	19.7	21.5	23.1	25.2
Junín	27.6	28	27.8	26.3	23	19.8	19	19	19.7	21.5	23.1	25.3
Pasco	27.6	28	27.8	26.3	23	19.8	19	19	19.7	21.5	23.1	25.3
Ica	27.7	28	27.9	26	23.8	22.3	21.1	20.3	21.7	22.8	24	26.1
San Martín	29.8	28.1	26	21.4	18.5	15.2	15.1	16.3	18.5	21.3	24.6	27.7
Lambayeque	30	30.5	30.5	28.8	26.6	24.9	24	24	24	25	25.6	27.8
Amazonas	30	30.5	30.5	28.8	26.6	24.9	24	24	24	25	25.7	27.8
Piura	30	30.5	30.5	28.8	26.6	24.9	24	24	24	25	25.7	27.8
Madre De Dios	31	31	31	31	30	29	30	31	32	32	32	31
Tumbes	31.9	31.1	30.9	30.7	31.9	31.4	30	30.3	31.6	30.9	30.7	32.9
Loreto	32	32	32	31	31	30	31	32	32	32	32	32
Ucayali	32.3	31.6	31.7	31.2	31	31	31.6	32.8	33.4	32.6	32	32.6

**Tabla 2.** Temperaturas Máximas Históricas Mensuales por Regiones del Perú

Elaboración propia [37, 38].

Las temperaturas medias de las regiones que se muestra en la Tabla 3, nos ayuda a visualizar un orden para la necesidad de mejorar el confort térmico, ya que promedia las temperaturas máximas y mínimas.

Temperaturas Medias Históricas Mensuales por Regiones del Perú (°C)												
Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Huancavelica	9.9	9.7	9.7	9.6	8.7	7.6	7.4	8.2	9.1	9.7	9.9	9.8
Puno	10.5	10.5	10	9	6.5	4.5	4	6	8.5	9.5	10.5	10.5
Cusco	13	13	12.5	12.5	11.5	10	9.5	11	12	13.5	13.5	14
Apurímac	13.1	12.9	12.5	12.5	11.4	11.4	9.7	11	12	13.2	13.5	13.4
Arequipa	15.8	15.8	15.7	15.2	14.6	14.3	14	14.4	15.1	15.4	15	15.4
Moquegua	15.8	16	15.7	15.2	14.6	14.3	14	14.4	15.1	15.4	15	15.4
Ayacucho	16.3	16.2	15.9	15.9	14.7	13.4	13.3	14.4	15.6	16.6	17.1	16.5
Huánuco	20	20	20	20	19.5	18	17.5	18.5	19.5	20	20.5	20.5
Ancash	21.7	22.5	22.8	21.3	20.3	19.1	18.1	17.32	17.4	18.4	19.2	20.3
La Libertad	21.7	22.5	22.8	21.3	20.1	19.1	18.1	17.33	17.4	18.4	19.2	20.3
Tacna	22	22.5	21.5	19	17	15	14	14.5	15.5	17	18.5	20.5
Cajamarca	23	23.5	23.2	21.7	19.3	17	16.2	16	16.6	17.7	19.3	20.9
Junín	23	23.5	23.2	21.7	19.3	17	16.2	16	16.6	17.7	19.3	20.9
Lima	23	23.5	23.2	21.7	19.2	17	16.2	16	16.6	17.7	19.3	21
Pasco	23	23.5	23.2	21.7	19.3	17	16.2	16	16.6	17.7	19.3	20.9
Ica	23.6	24.4	23.9	22.1	20	18.3	17.6	17.175	18	18.8	20.2	22.2
San Martin	23.6	22.5	20.5	16.1	13.4	10.9	10.6	11.3	13.4	16.2	19.1	21.6
Piura	24.8	26.2	25.8	24.2	22.8	21.08	20	20	20	20.8	21.5	23.3
Amazonas	24.9	26.2	25.8	24.2	22.4	21.08	20	20	20	20.8	21.5	23.3
Lambayeque	24.9	26.2	25.8	24.2	22.5	21.08	20	20	20	20.8	21.5	23.3
Madre De Dios	26	26	26	25.5	24.5	23	23.5	24.5	25.5	26	26.5	26
Loreto	27	27	27	26.5	26.5	25.5	26	26.5	26.5	27	27	27.5
Tumbes	27.7	28	28.1	27.8	28.5	28	27	26.3	27	26	27.1	29.1
Ucayali	29.7	29.1	29.1	28.8	28.4	28.1	28.5	29.7	30.2	29.5	29.3	29.9

**Tabla 3.** Temperaturas Medias Históricas Mensuales por Regiones del Perú

Elaboración propia [37 y 38].

En cuanto a la humedad, la Tabla 4 indica que los departamentos de la zona sur alto andina, son zonas con humedades relativas muy altas en su medio. Cuando las humedades relativas son altas, son muy perjudiciales para la salud, si las temperaturas del medio también son muy bajas.

Humedades Relativas Históricas Mensuales por Regiones del Perú (%)												
Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Apurímac	84	84	83	81	71	63	55	54	60	64	72	80
Callao	84	83	82	76	69	64	61	62	65	70	74	79
Cusco	83	83	81	78	67	59	50	48	54	60	69	78
Ayacucho	82	83	82	77	64	56	49	48	52	56	65	75
Junín	81	82	80	76	67	60	50	46	50	55	64	74
Huancavelica	81	81	80	74	64	57	50	49	51	55	63	73
Arequipa	81	81	80	75	60	52	49	48	52	56	64	73
Lima	79	80	78	71	62	57	51	50	52	56	63	72
Pasco	79	80	78	75	65	57	47	43	46	51	60	71
Ica	79	80	78	73	62	55	51	51	53	57	64	72
Ancash	79	79	78	73	66	60	53	50	53	57	63	72
Puno	79	78	76	71	59	53	46	45	50	54	63	72
Madre De Dios	78	76	74	68	57	49	39	36	40	47	60	70
Huánuco	78	80	78	76	67	58	47	43	46	51	60	70
Moquegua	75	76	73	66	52	47	45	44	46	48	55	65
Ucayali	74	74	72	68	56	46	36	32	35	42	53	65
La Libertad	72	75	75	71	64	57	50	46	49	53	58	67
Tacna	69	69	66	58	46	42	41	40	41	43	48	59
San Martín	68	73	72	72	62	52	44	40	41	46	53	63
Piura	67	69	70	66	61	58	55	54	56	59	61	65
Cajamarca	67	72	71	67	59	53	46	43	45	49	54	62
Tumbes	66	69	70	66	60	56	52	52	55	58	61	64
Amazonas	64	71	69	68	60	52	45	42	42	45	52	61
Lambayeque	63	66	65	60	54	50	46	45	47	51	56	60
Loreto	62	66	63	63	56	49	41	37	36	40	50	59

**Tabla 4.** Humedad Relativa Históricas Mensuales por Regiones del Perú  
Elaboración propia [39]. [39]

Al realizar el análisis climatológico de las regiones del país, se observa que existen regiones que presentan temperaturas muy bajas y altos niveles de humedad relativa, siendo Huancavelica, Puno, Apurímac, Cusco y, Ayacucho las ciudades que serán objeto de estudio de este proyecto.

Así, las condiciones de diseño externas de temperatura y humedad oscilan entre: - 2°C, para invierno y 25 °C en verano, mientras que la media anual de estas regiones oscila entre los 5 a 16 °C durante todo el año.

### **2.1.2 Análisis de confort térmico**

El análisis de confort térmico es necesario para hallar las condiciones óptimas de diseño. Para ello es necesario considerar los factores climáticos (temperatura ambiente, humedad y velocidad del viento), así como los personales (vestimenta y actividad metabólica).

La temperatura ambiente, es a la cual el cuerpo se encuentra sometido todo el tiempo; es decir, a la cual la piel se expone constantemente durante el día. Del mismo modo, el cuerpo humano puede estar expuesto a fuentes de calor, lo que puede favorecer o reducir el estado de confort. Por otro lado, la velocidad del viento, determina la transferencia de calor convectiva entre el medio y la persona, por lo que también debe considerarse este efecto.

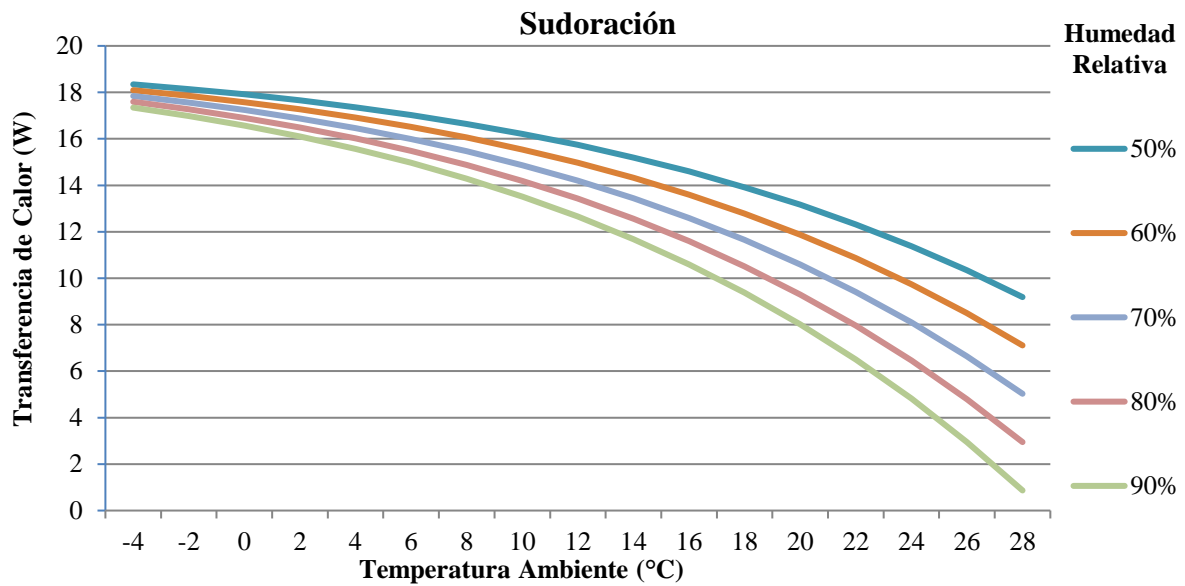
La vestimenta es un factor que actúa como un aislante ante el calor que podemos perder. Permite también llevar un control del confort térmico, ya que no siempre las condiciones serán óptimas para el cuerpo, como llevar mayor cantidad de ropa, aumenta el aislamiento térmico y ello nos permite retener calor en el cuerpo. El metabolismo es el trabajo físico que realizan las personas y que genera que el cuerpo produzca calor. Este calor contribuye en el impacto en el confort térmico de las personas. Finalmente, el cuerpo humano es una

máquina térmica por lo que su comportamiento variará de acuerdo a su peso, edad, condiciones físicas y sexo.

Estas condiciones direccionan nuestros resultados, ya que son los parámetros para llegar al confort térmico de los pobladores. Como se sabe, el método Fanger nos indicará el grado o rango en el cuál los pobladores de la zona deberán encontrarse en confort. También nos mostrará el comportamiento de los factores, los cuales determinan la sensación térmica de la persona. Utilizando los datos del clima que se recopiló se continuó con la aplicación de la metodología. Para los cálculos se consideró los siguientes parámetros:

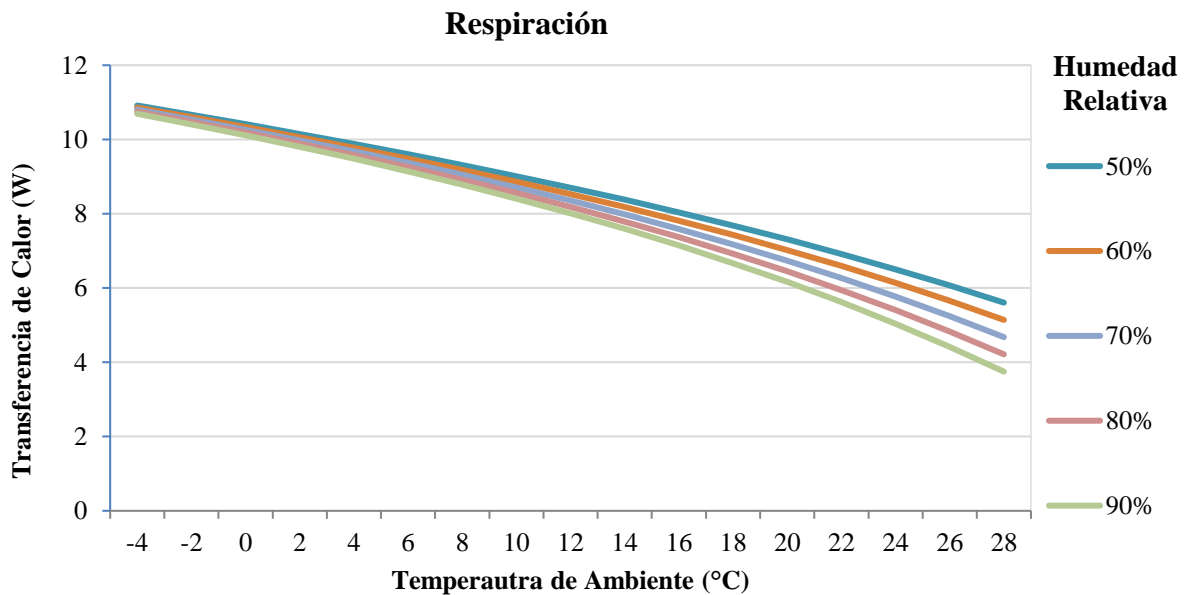
- Un individuo de 70 kg y de 1.6 metros de talla.
- El índice de vestimenta (Icl) y vestimenta (Fcl), de 1.5 y 1.3 respectivamente lo que caracteriza a un abrigo y ropa interior pesada [26].
- Una actividad sedentaria por la población (Sentado y en descanso).

El proceso de *sudoración* que cumple una persona, bajo los conceptos definidos previamente, nos muestra que, a menor temperatura y humedad, el calor que se pierde del interior del cuerpo es mayor. Este comportamiento se debe a que el mecanismo de transferencia de calor es más eficiente. Por el contrario, a mayor temperatura y humedad, el proceso de sudoración es mayor pero la pérdida de calor es menor ya que la temperatura de cuerpo puede ser cercana a la del medio. Este comportamiento se observa en el Figura 23.



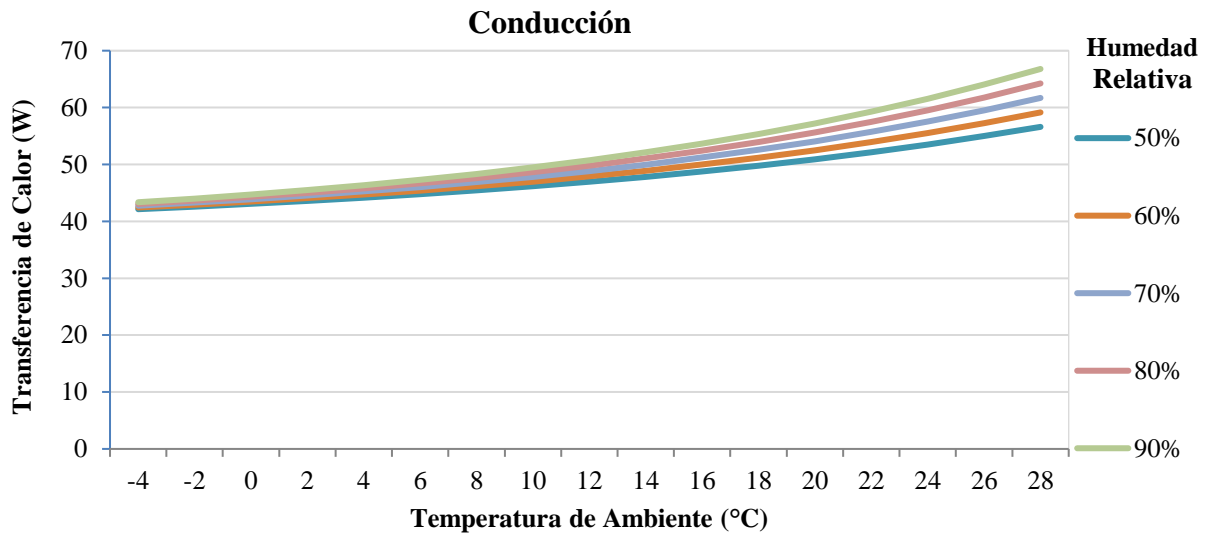
**Figura 23** Transferencia por Sudoración  
Fuente: Elaboración Propia [27]

La actividad de *respirar* bajo las condiciones indicadas, cumplen un comportamiento similar al mecanismo de sudoración, pero en menores magnitudes. El comportamiento se observa en la Figura 24.



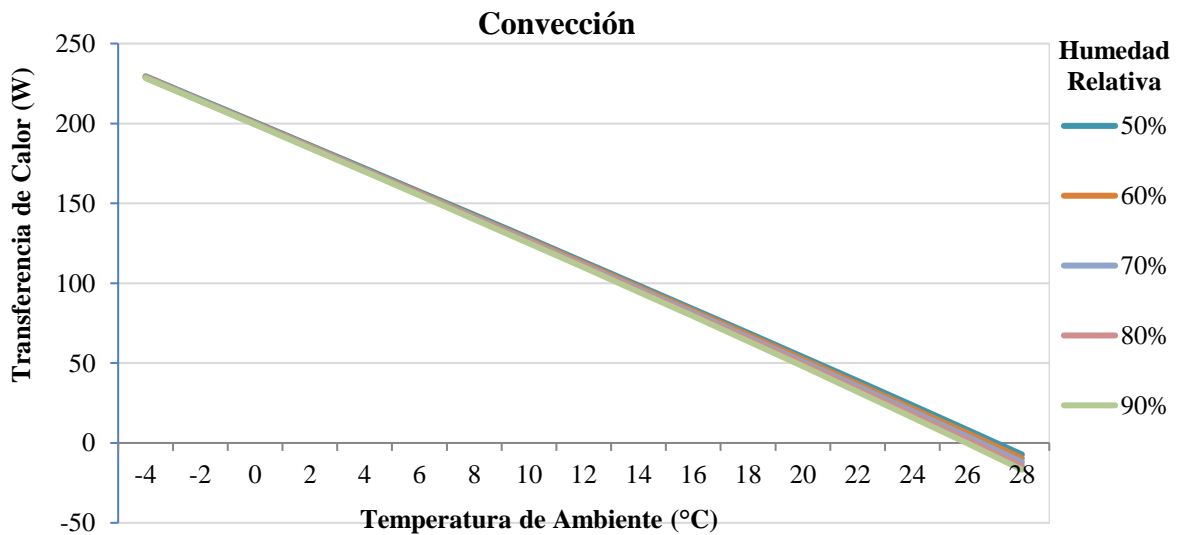
**Figura 24** Transferencia por Respiración  
Fuente: Elaboración Propia [27]

La transferencia de calor que se da por *conducción*, aumenta de manera proporcional a la temperatura del ambiente y a la humedad relativa del medio. Figura 25.



**Figura 25** Transferencia por Conducción  
Fuente: Elaboración Propia [27]

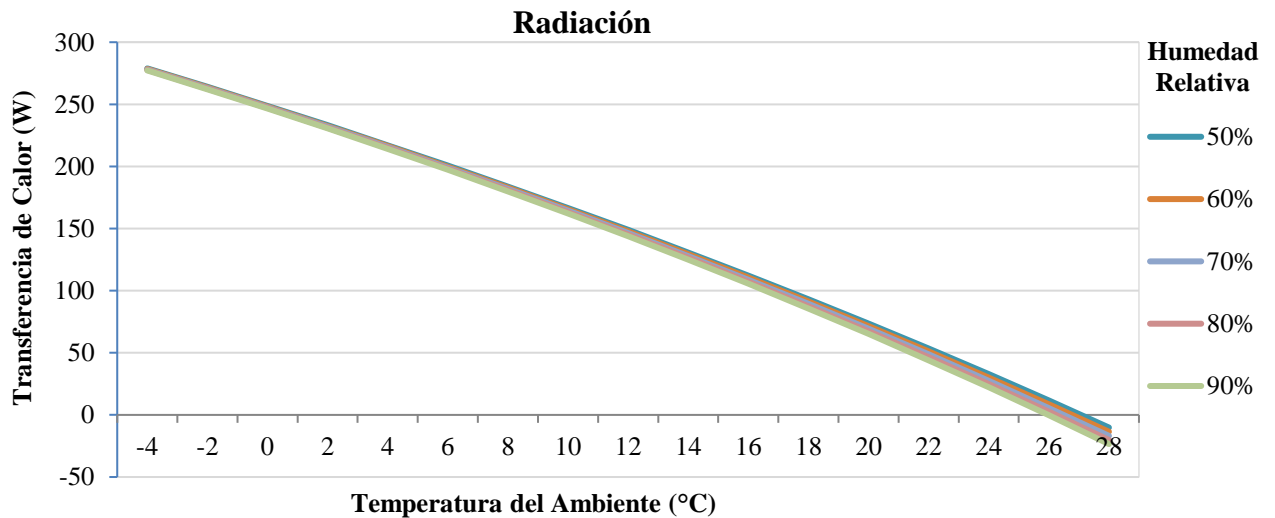
Por medio de la *convección*. El calor disminuye ya que a mayor temperatura el cuerpo tiende a aprovechar el calor del ambiente, es decir, deja de emitir calor y empieza a absorber el calor del ambiente. Figura 26 nos muestra el comportamiento.



**Figura 26** Transferencia por Convección  
Fuente: Elaboración Propia [27]



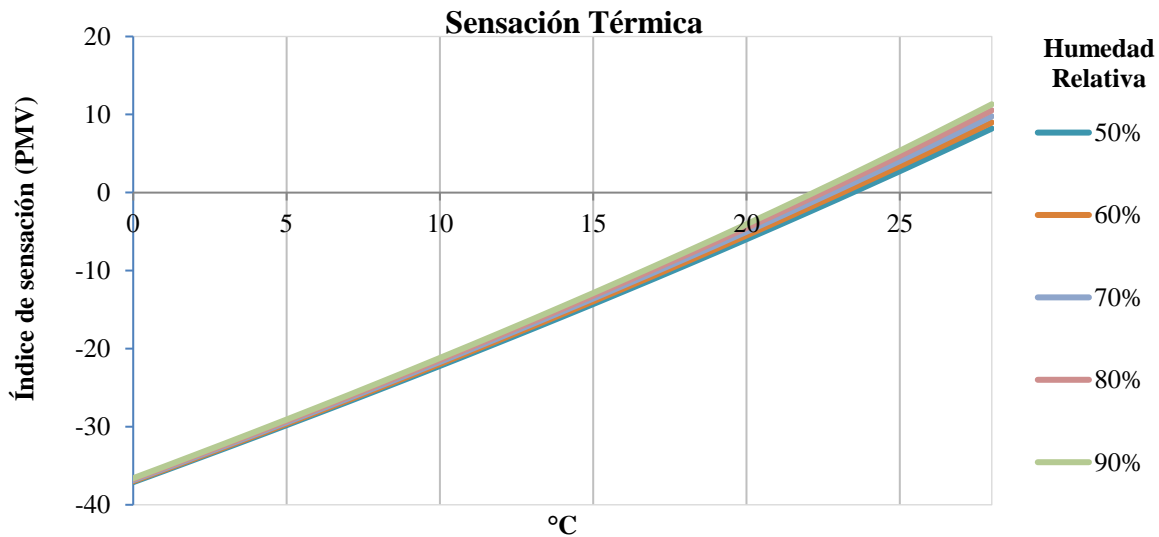
El comportamiento de transferencia por *radiación*, disminuye conforme la temperatura del medio aumenta, al igual que la convección tiende a emitir calor al medio a grandes temperaturas. La Figura 27 muestra el comportamiento.



**Figura 27** Transferencia por Radiación  
Fuente: Elaboración Propia [27]

El método de Fanger nos mostrará el campo de confort en el cual una persona con una actividad sedentaria y ropa no tan apropiada, debería de encontrarse. Esta actividad incluye todo as trasferencias de calor que afectan a la persona y analiza cada transferencia para poder definir dicho rango de confort térmico.

Cómo se observa en la Figura 6 una persona no se encuentra en el rango de confort. El rango es de -1 a 1, definido por el método que se está aplicando. La unidad de sensación térmica (PMV), se muestra en la siguiente Figura.



**Figura 28** Sensación Térmica  
Fuente: Elaboración Propia [27]

La temperatura ideal a la cual el cuerpo humano debe de estar expuesta debe estar concentrada en el rango entre 21° a 25° C, pero la sensación térmica puede variar dependiendo de los factores de viento y humedad relativa, considerablemente más cuando el porcentaje de humedad es muy elevado y los vientos muy fuertes. En cuanto a la humedad, éste factor debe de mantenerse en un rango del 40 al 70%.

### 2.1.3 Normativa técnica peruana

Los criterios para este diseño se llevarán en base a la normativa técnica peruana presente EM. 110 [40]. Esta normativa fue lanzada en el año 2014, para el caso particular de este proyecto, indica que la zona bioclimática a trabajar, en base a la calificación de la mayor cantidad de regiones por parte de la norma, es Mesoandino. Esta abarca un 55% de todas las provincias entre Apurímac, Ayacucho, Cusco y Huancavelica, y por la cual es la que definirá en parte parámetros para el diseño.

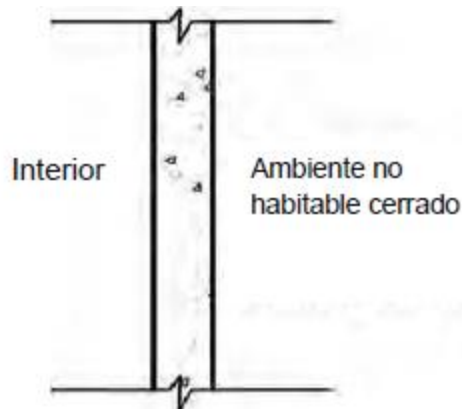
Las características de la zona bioclimática Mesoandino, son las siguientes:

<b>VARIABLES</b>	<b>VALOR</b>
Temperatura Media anual:	20 °C.
Humedad relativa media:	50 a 70 %
Velocidad de viento:	Norte de 5 – 11 m/s centro 4 – 5 m/s sur de 5 – 7 m/s.
Dirección predominante del viento:	S – SO - SE
Radiación solar:	2 a 7.5 kWh/m2
Horas de sol:	Norte de 5 – 6 horas, centro de 7 – 8 horas y sur de 6 horas.
Precipitación anual:	150 a 2,500 mm
Altitud:	3,000 – 4,000 msnm
Equivalente en la clasificación Koppen:	Dwb, clasificado como un clima templado de inviernos fríos y secos, y de temperatura media en meses más cálidos máxima de 22 °C.

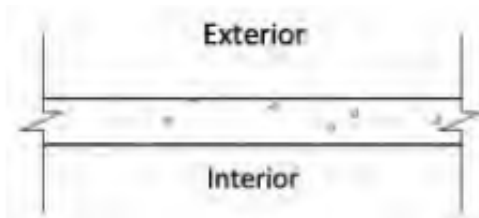
**Tabla 5.** Características bioclimáticas *Mesoandino*  
Elaboración propia [39]

Habiendo definido que la mayoría de las provincias se encuentran clasificadas bajo una zona bioclimática Mesoandina, lo cual reduce las características en las cuales se debe de trabajar el sistema y contextualiza a la región. Además de definir algunos parámetros los cuales se emplearán para poder hacer los análisis de transferencia de calor.

La normativa define al muro tipo Trombe como un muro tipo 2A. Esto se debe a que separa el interior de la edificación de un ambiente no habitado cerrado (el cual será el espacio donde el aire aproveche el calor del sol). También informa de una consideración en el espacio, el cual menciona que la altura debe ser menor a dos metros. El techo según la normativa está definido como uno de tipo 3B, ya que no estará inclinada o entre las columnas de las viviendas; el techo será horizontal y es por eso que la norma le da esta clasificación (Figura 29).



**Figura 29** Muro Tipo 2A.  
Fuente: El Peruano. Norma Técnica Peruana EM. 110.



**Figura 30** Techo Tipo 3B.  
Fuente: El Peruano. Norma Técnica Peruana EM. 110.

#### 2.1.4 Disponibilidad del recurso eólico y solar

El recurso eólico en estas regiones se obtiene de la clasificación por la normativa peruana, la cual nos da un rango de 5 a 11 m/s en el mejor de los casos. Este parámetro nos ayudará a evaluar el flujo de viento con el cual trabajará el sistema; es decir, de este fluido dependerá la cantidad de masa térmica que ingresará a la vivienda para transferir calor y poder lograr el objetivo del proyecto.

De acuerdo al atlas eólico de Perú se observa que en la zona central andina sur, los departamentos de Puno, Cusco, Apurímac y Ayacucho, reciben en término medio velocidades de viento de 3 m/s, aunque en temporada invernal pueden alcanzar los 5 o 6 m/s.

La irradiación es una unidad de medida que se refiere a la energía recibida por unidad de superficie, la cual se expresa en kWh/m<sup>2</sup>día. La Tabla 6 muestra la irradiación global de las regiones del Perú [20] [39].

La tabla siguiente nos muestra la disponibilidad de poder aprovechar energía solar para cada departamento del Perú. Donde las regiones alto andinas del sur disponen de un potencial solar considerable de una media anual mayor a 5 kW.h/m<sup>2</sup>día, para poder aprovechar. Estas regiones disponen del recurso, en magnitudes considerables para su aprovechamiento, en las temporadas de otoño e invierno.

Irradiación Global Horizontal por Regiones del Perú (kW.h / m <sup>2</sup> )												
Región	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Amazonas	4.1	4.2	4.3	4.2	4.1	4.1	4.3	5.0	4.8	5.0	5.0	4.8
Madre De Dios	4.5	4.8	4.6	4.6	4.4	4.3	4.8	5.3	5.5	5.5	5.2	4.9
Cajamarca	4.5	4.5	4.7	4.4	4.5	4.5	4.8	5.1	5.4	5.4	5.5	5.3
Cusco	4.5	4.7	4.5	4.6	4.7	4.6	4.9	5.3	5.4	5.8	5.5	5.2
San Martin	4.6	4.5	4.5	4.5	4.4	4.4	4.6	5.0	5.1	5.2	5.1	4.9
Pasco	4.7	4.8	4.6	4.6	4.7	4.6	4.9	5.3	5.3	5.4	5.3	5.1
Ucayali	4.7	4.7	4.6	4.5	4.5	4.5	5.0	5.4	5.5	5.3	5.0	4.9
Loreto	4.7	4.7	4.9	4.4	4.3	4.1	4.3	4.8	5.2	5.0	4.9	4.9
Huánuco	4.9	4.9	4.7	4.7	4.7	4.6	5.0	5.3	5.3	5.4	5.3	5.1
Junín	4.9	4.9	4.8	4.8	4.8	4.7	5.0	5.4	5.4	5.7	5.5	5.4
Tumbes	4.9	4.9	5.4	5.1	5.0	4.8	4.9	5.2	5.6	5.4	5.7	5.5
Puno	5.1	5.3	5.1	5.0	5.0	4.7	5.0	5.6	5.9	6.5	6.1	5.7
Piura	5.1	5.1	5.3	5.0	4.9	4.9	5.0	5.4	5.9	5.9	6.0	5.7
Lambayeque	5.3	5.2	5.3	5.0	4.8	4.7	4.7	4.9	5.6	5.7	5.7	5.7
La Libertad	5.4	5.3	5.3	5.1	5.1	5.1	5.2	5.5	5.7	5.8	5.9	5.9
Apurímac	5.5	5.4	5.2	5.1	5.2	5.0	5.3	5.8	6.0	6.6	6.4	6.2
Huancavelica	5.8	5.7	5.5	5.5	5.4	5.2	5.4	5.9	6.3	6.8	6.6	6.4
Ancash	5.9	5.8	5.7	5.6	5.4	5.3	5.4	5.8	6.1	6.3	6.3	6.3
Lima	6.0	6.0	5.8	5.7	5.3	4.9	5.0	5.5	6.0	6.4	6.4	6.4
Ayacucho	6.3	6.1	5.9	5.8	5.5	5.1	5.3	5.9	6.6	7.1	7.1	6.9
Moquegua	6.4	6.6	6.2	5.8	5.2	4.7	5.0	5.7	6.5	7.2	7.4	7.1
Arequipa	6.6	6.4	6.1	5.9	5.3	4.8	5.0	5.6	6.4	7.3	7.0	7.1
Tacna	6.7	6.9	6.4	5.9	5.0	4.5	4.7	5.5	6.2	7.1	7.3	7.3
Ica	6.8	6.6	6.3	6.1	5.2	4.6	4.8	5.4	6.3	6.9	7.2	7.1

**Tabla 6.** Irradiación Global Horizontal por Regiones del Perú.  
Elaboración propia [39]

### 2.1.5 Altura y acimut solar

Identificar los niveles de radiación solar conlleva a determinar la trayectoria solar y las horas de sol diarias en las regiones alto andinas, ya que de esto dependerá la orientación y morfología del sistema solar pasivo.

En cuanto a la trayectoria solar, se determinó la altura y acimut solar (Ecuación 12 y Ecuación 14) tomando coordenadas de provincias que se encuentran dentro del rango de trabajo, considerando una de cada región y que la latitud no se encuentre tan próxima entre cada localidad. Para ello se necesitará conocer la latitud ( $\lambda$ ), la hora solar (H) y la declinación del sol ( $\vartheta$ ).

$$\text{sen}(A) = \cos(\lambda) * \cos(\vartheta) * \cos(H) + \text{sen}(\lambda) * \text{sen}(\vartheta) \quad \text{Ecuación 12}$$

La declinación solar puede determinarse mediante la Ecuación 13.

$$\vartheta = 23.5^\circ * \text{sen}\left(360 * \frac{284+n}{365}\right) \quad \text{Ecuación 13}$$

$n$ : Día Juliano

Por otro lado, el ángulo acimutal (Z) se calcula mediante la Ecuación 14.

$$Z = \cos(\vartheta) * \cos(A) * \text{sen}(H) \quad \text{Ecuación 14}$$

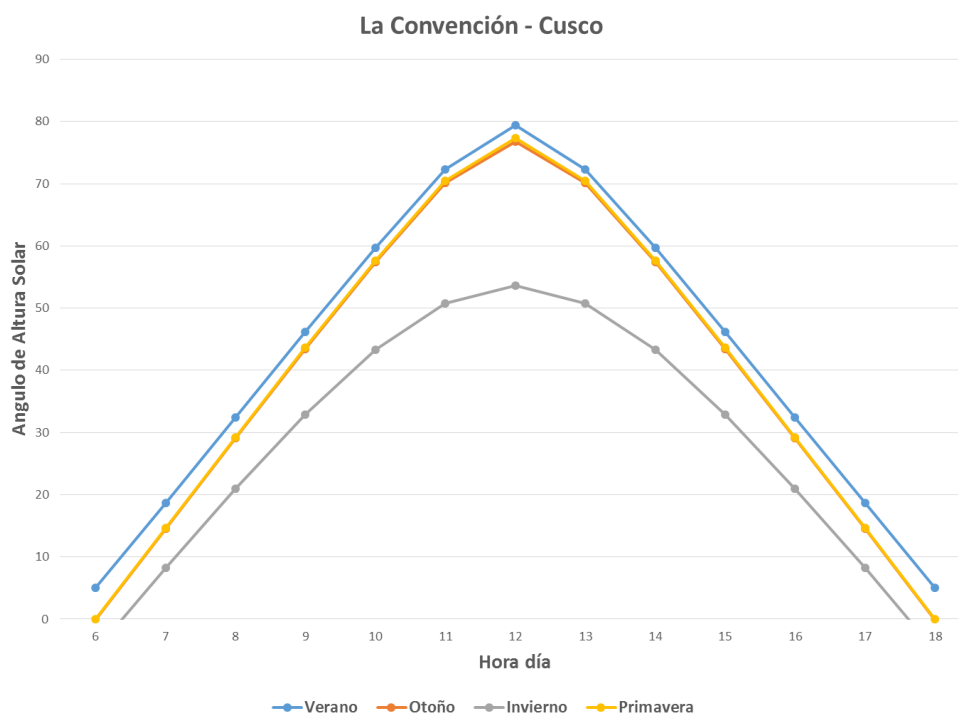
Una vez calculada la altura y acimut solar, considerando los equinoccios y solsticios, debido a que son los puntos máximos y mínimos de posición solar, se graficaron ambos valores mediante correlación, de modo que se obtuvieron los Figuras 31, 32, 33 y 34.

En la Figura 31, se observa en Cusco la máxima altura solar a medio día es de  $79.36^\circ$  y este valor toma lugar en verano, mientras que la mínima altura solar se da en invierno, cuando el sol alcanza  $53.64^\circ$  de altura al medio día.

En la Figura 32, se observa en Huancavelica la máxima altura solar a medio día es de  $79.74^\circ$  y este valor toma lugar en verano, mientras que la mínima altura solar se da en invierno, cuando el sol alcanza  $53.26^\circ$  de altura al medio día.

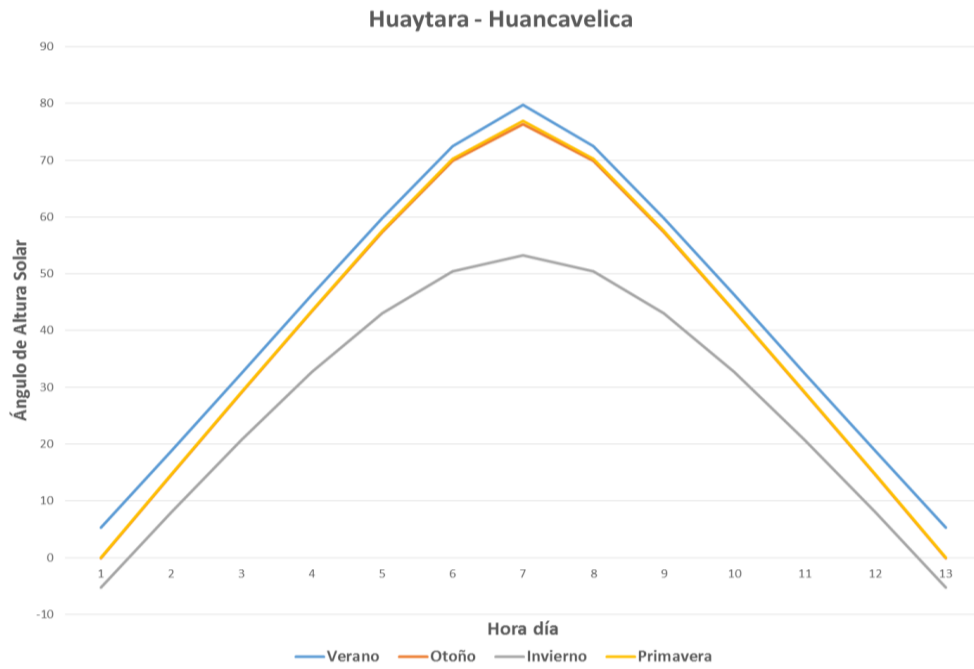
En la Figura 33, se observa en Apurímac la máxima altura solar a medio día es de  $80.73^\circ$  y este valor toma lugar en verano, mientras que la mínima altura solar se da en invierno, cuando el sol alcanza  $52.27^\circ$  de altura al medio día.

En la Figura 34, se observa que en Ayacucho la máxima altura solar a medio día es de  $81.51^\circ$  y este valor toma lugar en verano, mientras que la mínima altura solar se da en invierno, cuando el sol alcanza  $51.48^\circ$  de altura al medio día.

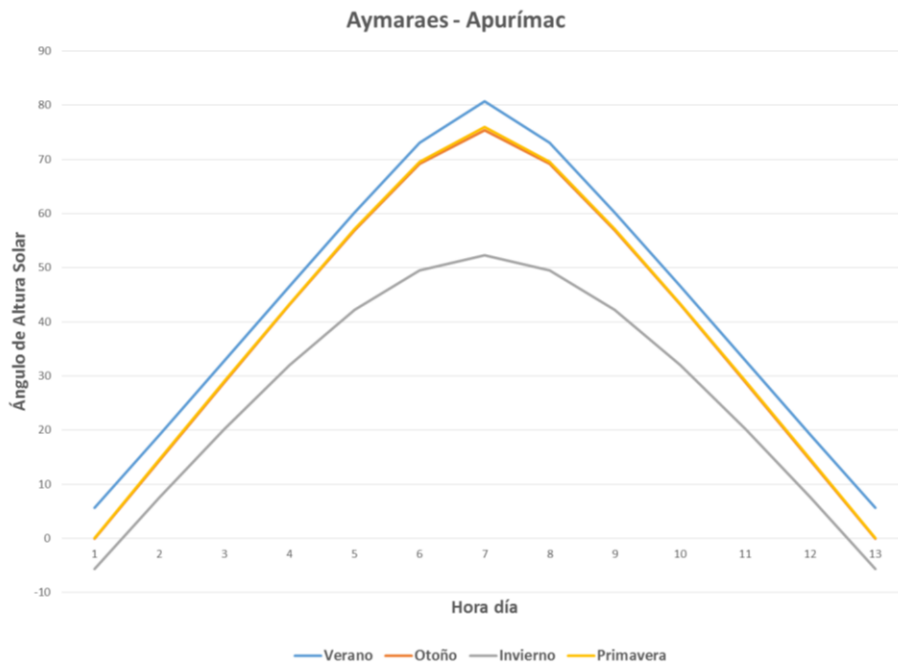


**Figura 31** Comportamiento de Altura Solar en Cusco.  
Fuente: Elaboración Propia.

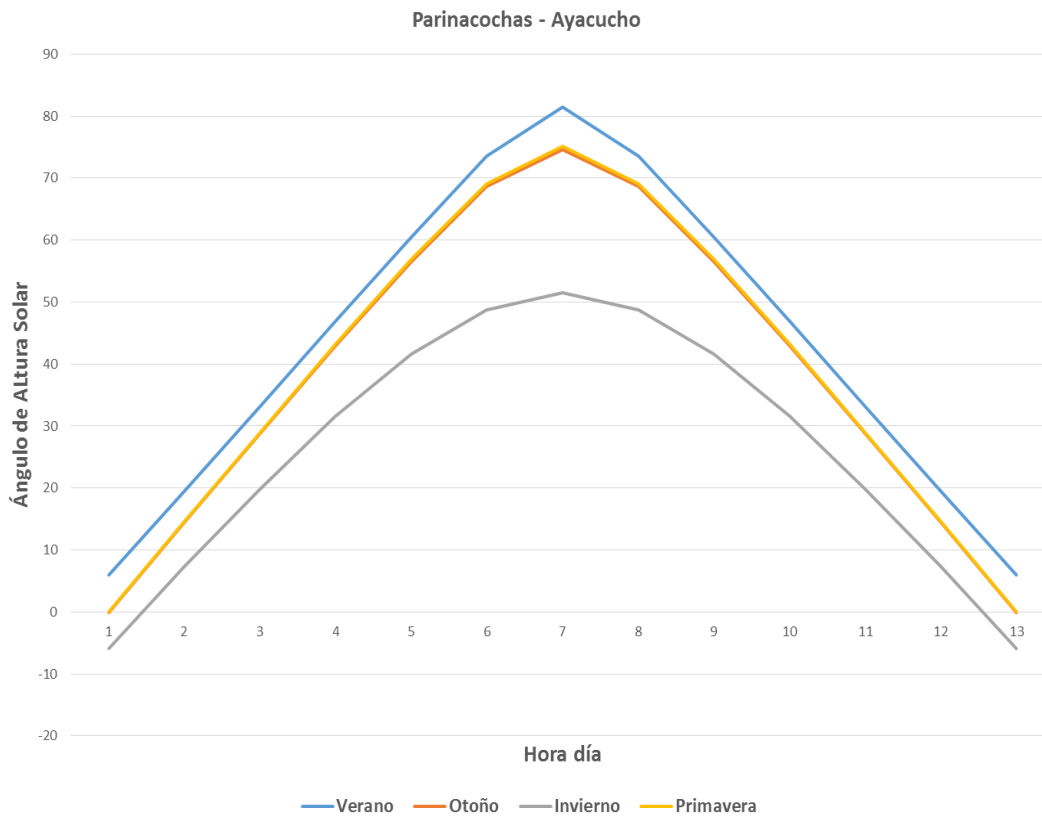




**Figura 32** Comportamiento de Altura Solar en Huancavelica.  
Fuente: Elaboración Propia.



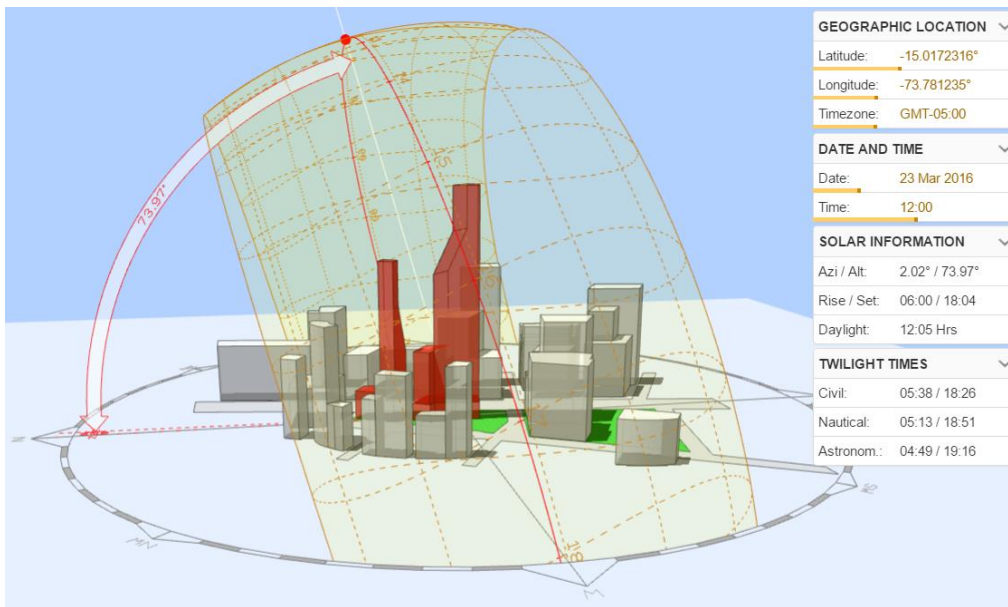
**Figura 33** Comportamiento de Altura Solar en Apurímac.  
Fuente: Elaboración Propia.



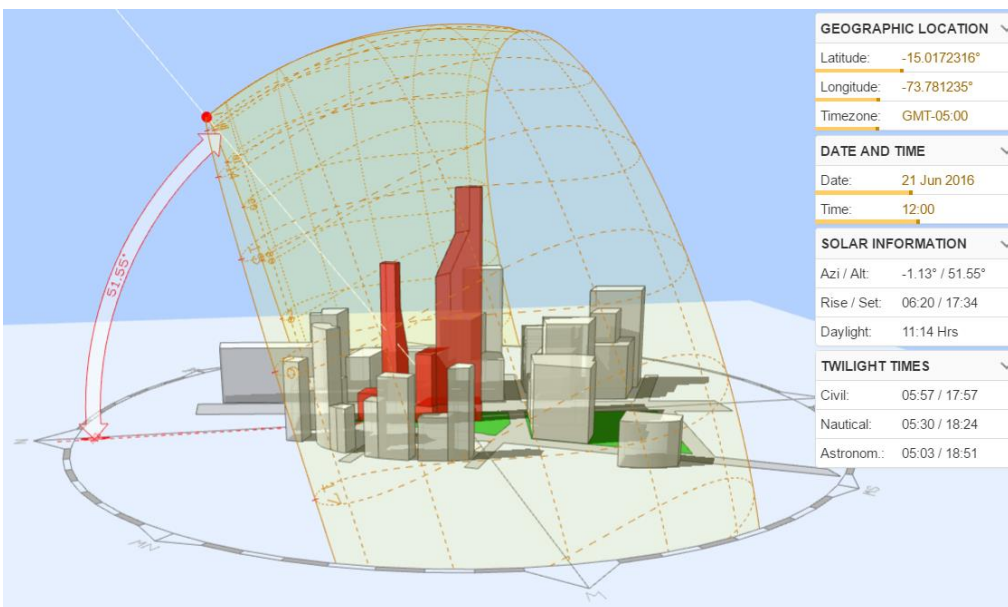
**Figura 34** Comportamiento de la Altura Solar en Ayacucho.  
Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar, en invierno el sol tiene la mínima altura mientras que en verano es la máxima, esto es importante ya que para el diseño del sistema en invierno los rayos del Sol no incidirán de forma radial.

Simulando el comportamiento del sol, utilizando un software online de [andrewmarsh.com](http://andrewmarsh.com), específicamente la aplicación Sun Path 3d Generator y tomando como ejemplo los datos de Parinacochas Ayacucho, se observa el comportamiento de la posición solar en las siguientes figuras:



**Figura 35** Comportamiento del Sol en Verano (Parinacochas – Ayacucho).  
Fuente: Andrew Marsh. Sunpath 3d.



**Figura 36** Comportamiento del Sol en Invierno (Parinacochas – Ayacucho).  
Fuente: Andrew Marsh. Sunpath 3d.

Las Figuras demuestran el cambio de la altura solar en las estaciones de verano (23 de marzo) e invierno (21 de junio). La altura solar para estas regiones será mayor en verano y más corta en las estaciones de invierno.

Este análisis permite definir que el sistema esté constituido por un muro y techo Trombe, para aprovechar en invierno la radiación solar en el muro vertical de la vivienda mientras que en verano la radiación es aprovechada por el techo.

### 2.1.6 Horas solares

Para determinar las horas del sol se calculó se desarrolló el cálculo para poder determinar las horas de Sol al día, obteniendo las horas de amanecer, cuando el sol empieza a irradiar la zona, de acuerdo a la latitud, y las horas de puestas del sol, en donde el sol deja de incidir radiación solar sobre la zona.

Para determinar la salida y puesta de sol es necesario determinar el ángulo horario. La ecuación 15, requiere de la latitud ( $\lambda$ ) y la declinación del sol ( $\delta$ ). La diferencia de los valores  $t$ , es las horas sol al día.

$$\cos(\omega) = -\tan(\lambda) - \tan(\delta) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$t = \frac{180 \pm \omega}{15} \quad \text{Ecuación 16}$$

Los resultados se presentan en la Tabla 7.

Mes / Región	Horas de sol al día			
	Cusco	Huancavelica	Apurímac	Ayacucho
Enero	12.28	12.29	12.31	12.33
Febrero	12.55	12.58	12.63	12.67
Marzo	11.33	11.30	11.25	11.20
Abril	11.73	11.71	11.69	11.67
Mayo	12.70	12.73	12.79	12.84
Junio	12.54	12.57	12.61	12.65
Julio	11.43	11.40	11.35	11.31
Agosto	11.31	11.28	11.22	11.17
Septiembre	11.66	11.64	11.62	11.59
Octubre	12.68	12.72	12.77	12.82
Noviembre	12.58	12.61	12.66	12.70
Diciembre	11.47	11.45	11.40	11.37
<b>Promedio</b>	<b>12.02</b>	<b>12.02</b>	<b>12.03</b>	<b>12.03</b>
<b>Suma Anual</b>	<b>4388.18</b>	<b>4388.60</b>	<b>4389.28</b>	<b>4389.83</b>

**Tabla 7.** Horas del Sol  
Fuente: Elaboración Propia

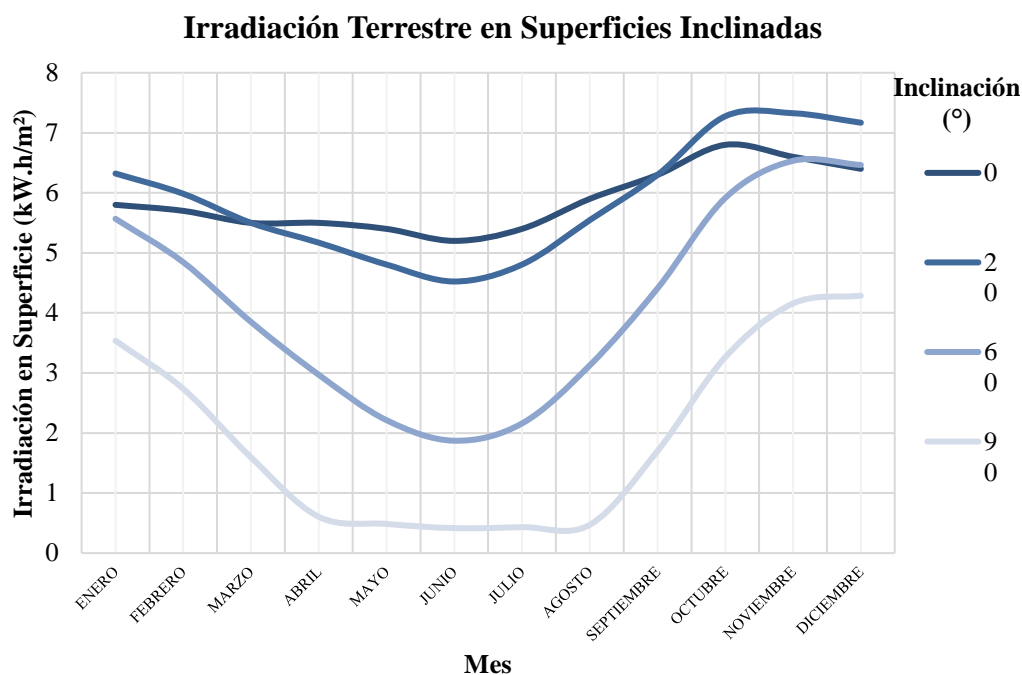
Como se puede observar en el cálculo de las horas solares, en estas regiones se cuenta con un promedio de 12 horas diarias aproximadamente (horas teóricas geométricas), con las cuales se dispone para aprovechar el recurso solar. Sin embargo, no todas estas horas son aprovechables debido a que, en las primeras y últimas horas del día, la radiación es mínima.

### 2.1.7 Aprovechamiento de la irradiación respecto a la inclinación superficial

Teniendo en cuenta la latitud de las zonas, el comportamiento de la irradiación que incide sobre la superficie terrestre, en este caso sobre la superficie del muro y el techo, varía debido a la inclinación; es decir, no llegará la misma irradiación sobre el muro o el techo.

A lo largo del año este comportamiento también varía dependiendo de la inclinación, como se observó antes, la posición del sol cambia con el tiempo.

La Figura 37, se observa el comportamiento de la irradiación terrestre para una latitud de 12 grados y con diferentes grados de inclinación (factor K, ver Anexo A). La inclinación cero (0°) corresponde a la irradiación promedio mensual que incide en una superficie horizontal, mientras que a una inclinación de 90° la irradiación es menor, lo que correspondería a un muro.



**Figura 37** Radiación Terrestre en Superficies Inclinadas  
Figura: Elaboración Propia

De acuerdo al gráfico anterior, la propuesta idea sería la de un Techo Trombe, sin embargo, debido a las condiciones constructivas, resulta más factible la construcción de un muro con un pequeño techo adosado.

### **2.1.8 Materiales constructivos**

Los materiales que se utilizarán, deberán de encontrarse a disponibilidad en la zona, deberán ser de bajo costo, mantener una durabilidad por un largo periodo y que sus características permitan que se aproveche mayor el recurso solar, permitiendo una mayor transferencia de calor.

La mayoría de muros en las regiones a las cuales están elaborados de adobe, el cual es un material muy aislante con una conductividad térmica de  $0.7 \text{ W/mk}$ . Este material no permite que el calor proveniente del sol se aproveche de manera eficiente, es por ello que este material no podría ser adecuado.

La piedra es un recurso no muy empleado en las regiones, pero tiene un coeficiente de conductividad muy elevado el cual aprovechará la mayor cantidad de radiación solar. Su conductividad térmica permitirá una mayor transferencia de calor, debido a que estos parámetros son proporcionales. Además de ser un recurso que se puede obtener a un precio económico, resistente y que tiene la capacidad de almacenar calor.

El muro y techo necesitan de un material transparente el cual permita el ingreso de los rayos del sol, que los retenga en el sistema causando un efecto invernadero, y que sea permitiera aislar el calor que se obtenga (evitar que se escape el flujo de aire caliente del sistema). El vidrio es un material que permite el traspaso de la radiación solar y que se genere el fenómeno invernadero. Al ser un material delicado, se tendrá en consideración un alabe para poder protegerlo de golpes y evitar su pérdida o daño.

Propiedades térmicas de materiales de construcción y aislantes				
Material	Densidad(kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)	Difusividad térmica (10 *m <sup>2</sup> /s)
Agua	1000	4186	0,58	0,139
Aluminio	2700	909	209-232	85,16-94,53
Caliza	1590	1000	0.85	4
Cinc	7140	389	106-140	38,16-50,41
Fibra de vidrio	220	795	0,035	0,200
Granito	2750	837	3	1,303
Hormigón	2200	837	1,4	0,761
Ladrillo común	1800	840	0,8	0,529
Madera	840	1381	0,13	0,112
Mármol	2400	879	2,09	0,991
Tejas cerámicas	1650	-	0,76	-
Vidrio	2700	833	0,81	0,360

**Tabla 8.** Características de algunos materiales  
Fuente: Miliarium. Propiedades Térmicas.

Con estas consideraciones, el diseño del sistema de acondicionamiento pasivo deberá tener en cuenta los criterios de diseño mostrados en la Tabla 9, además de los procesos de transferencia de calor por conducción, convección y radiación en placa plana.



<b>Normativa</b>	<b>Confort Térmico</b>	<b>Recursos Naturales</b>	<b>Materiales</b>	<b>Sociedad</b>
<p>Zona Bioclimática: Mesoandino  Temperatura Media Anual: 20 °C  Humedad Relativa: 50 - 70%  Velocidad de viento: 5 - 11 m/s (Norte), 4 - 11m/s (Centro), y 5 - 7 m/s (Sur).  Dirección predominante del viento: S - SO – SE  Radiación Solar: 2 - 7.5 kW.h/m2  Horas Sol: Sur 6 horas  Precipitación Anual: 150 - 2,500 mm  Altitud: 3,000 - 4,000 m.s.n.m.  Clima: Dwb, según clasificación Koppen.  Tipo de Muro 2A, separa interior y exterior no habitado.  Tipo de techo: 3B, plano horizontal.</p>	<p>Factores que determinan el confort.  Temperatura del ambiente.  Temperatura de radiación.  Velocidad del aire.  Humedad.  Vestimenta.  Metabolismo.  Método de Fanger.  Rango de confort entre -1 a 1, según Fanger.</p>	<p>Solar  Las regiones tienen una disponibilidad promedio anual de más de 12 horas.  Altura.  Irradiancia  Orientación.  Eólica.  Velocidad.  Dirección.  Aprovechando los recursos el sistema es amigable para el ambiente.</p>	<p>Económico, la población rural de estas regiones no invierte mucho capital en bienes y servicios.  Resistente, soportar cargas y mantenerse con el tiempo.  Accesible, de materiales que se puedan conseguir en la zona.  Conductivo, el muro debe permitir mayor ingreso de calor.  Aislante, las paredes deben de evitar que el calor que ingrese se es pierda.  Transparente, para mayor captación solar directa.  Opaco, permite mayor captación da radiación solar.</p>	<p>Terrenos rectangulares y delimitados.  Adobe es material más utilizado.  Nivel socioeconómico mayor en estas regiones es E, el más bajo.  Apoyo del gobierno e instituciones financieras para problemática del frio.</p>

**Tabla 9.** Criterios de Diseño del Sistema.

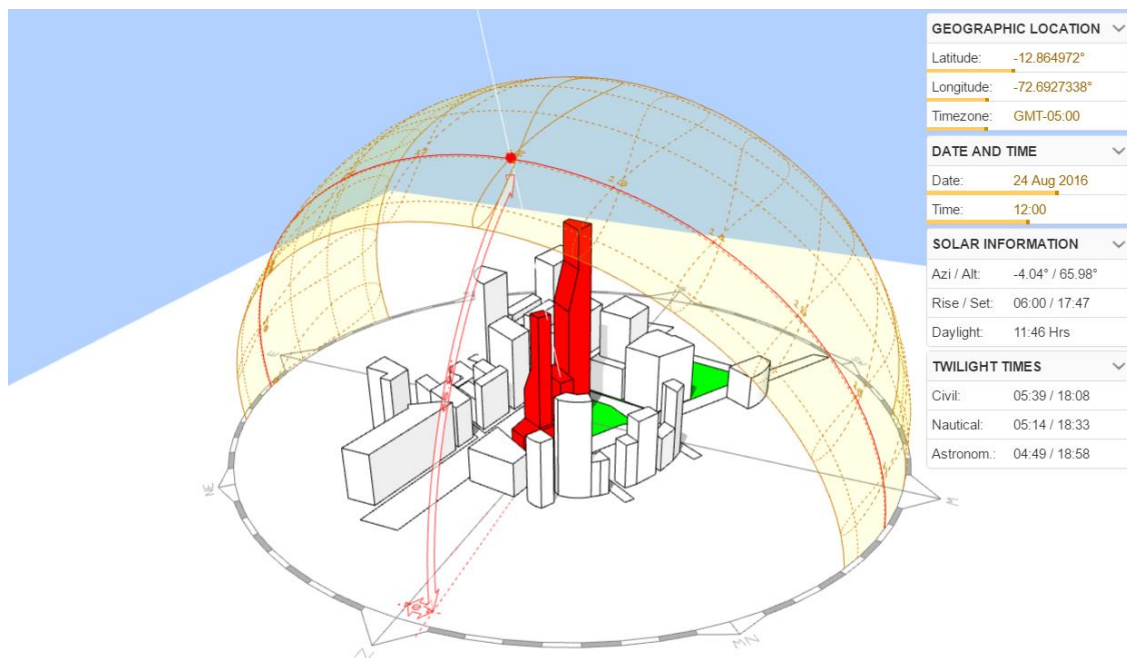
Fuente: Elaboración Propia.

## 2.2 Diseño del sistema

### 2.2.1 Orientación

La zona se encuentra ubicada en el hemisferio sur terrestre. El movimiento rotacional del sol, hace que la estrella se desplace sobre la tierra en la línea ecuatorial. Es por ello que el sistema para que aproveche mayor calor proveniente del sol, deberá ubicarse en la zona norte de la vivienda, ya que el sol cuando se encuentre de día, podrá incidir mayor radiación solar, que en otro punto de ubicación.

Utilizando un software de simulación [Online] Disponible en web, se puede observar en la Figura 25, la posición del sol.



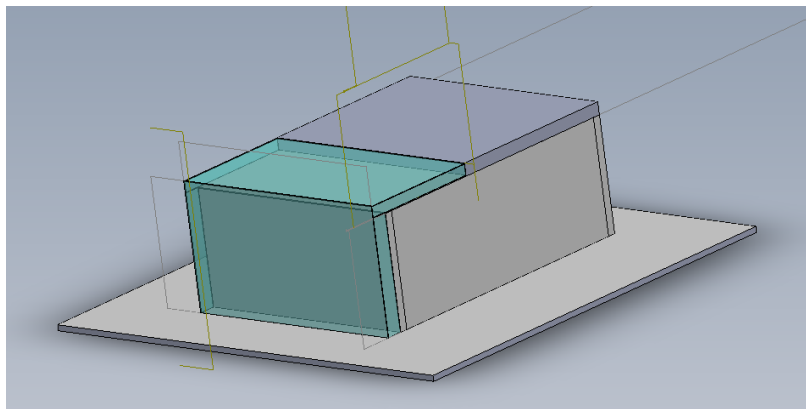
**Figura 38** Orientación del Sol – La Convención  
Fuente: Andrew Marsh. Sunpath 3d.

Por la ubicación de estas zonas en el hemisferio sur y sabiendo que el sol sigue una trayectoria por la línea ecuatorial, la orientación debe de ser hacia el norte, ya que la mayor parte del tiempo estará dirigida hacia allá.

### 2.2.2 Morfología

El sistema consiste en la suma de un muro y un techo Trombe, el cual podrá captar mayor radiación solar durante el día. Al disponer de dos espacios de infraestructura de la casa se aprovecha más calor, haciendo que el sistema se encuentre por más tiempo expuesto al sol y con ello tener mayor recurso solar aprovechable para el sistema.

En un sistema ideal, éste debería permitir tener 21°C en el interior de la vivienda, sin embargo, este incremento depende de la radiación solar [Online] Disponible y de la temperatura ambiente. Por estas razones, este sistema permite un incremento de la temperatura en 10° C en promedio.



**Figura 39** Diseño del sistema básico.  
Fuente: Elaboración Propia

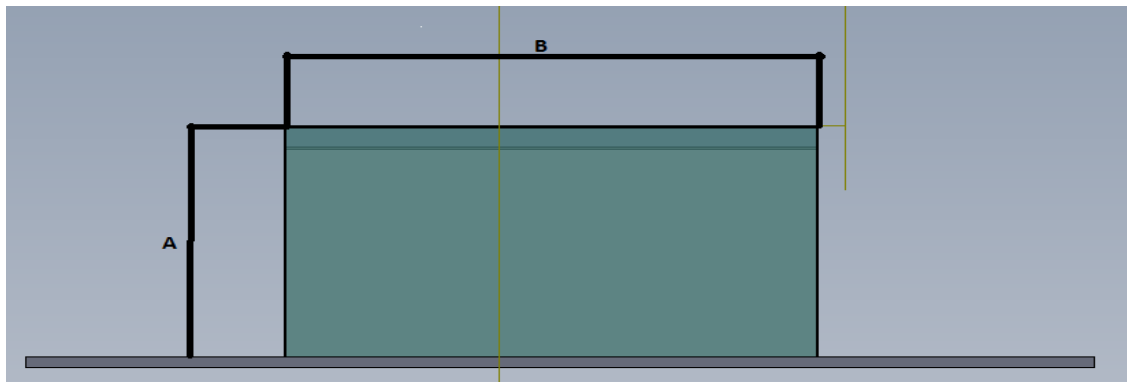
En este tipo de método no existe un parámetro determinado, un proyecto financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España, llamado RECONSOST, sugiere que se debe tomar como superficie total de perforaciones de una hilera, aproximadamente 1dm<sup>2</sup>, por metro cuadrado de muro.

### 2.2.3 Vidrio

El vidrio permite el paso de la energía solar emitida por el sol hacia el sistema, pero no cumple el mismo mecanismo para liberar los fotones u ondas de luz. Las características del vidrio permiten el paso la radiación de onda corta, pero cuando atraviesa e incide con la superficie, la reflexión de la radiación es de onda larga, esta característica permite que el vidrio funcione como una barrera, la cual no permite que regrese al medio y se quede dentro del sistema, generando el efecto invernadero.

Las transferencias de calor en esta superficie tienen un comportamiento de la siguiente manera: El calor sale del sistema por medio de radiación y convección, ya que la temperatura del ambiente es menor, y la conducción se da de la superficie exterior (expuesta al medio), hacia la superficie interior del transparente. Al tratarse de un vidrio sencillo puede transmitir hasta el 77% de la radiación solar incidente.

Las dimensiones para este componente del sistema que se ubica en el muro, como en el techo, lo observamos en las siguientes figuras:

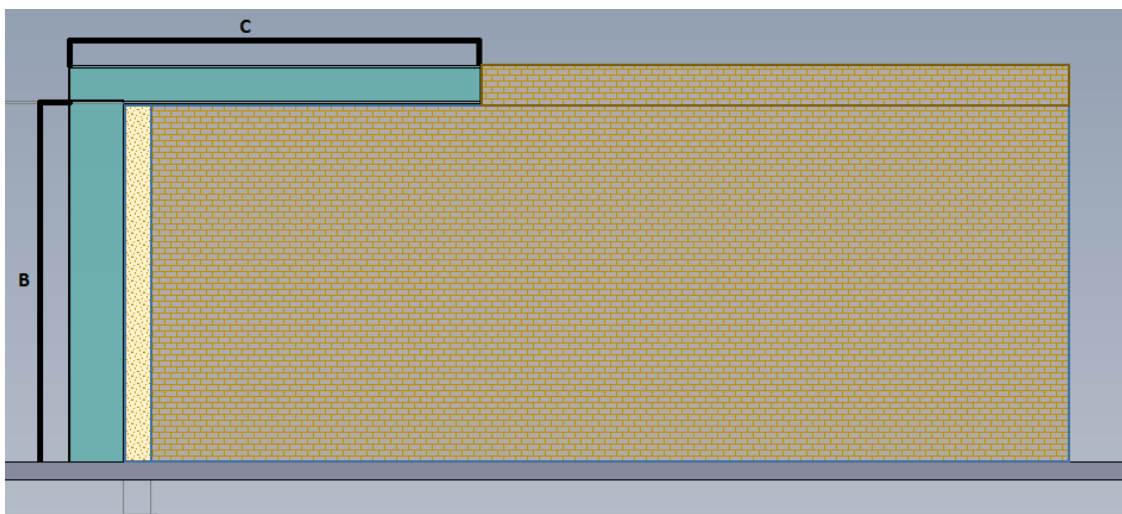


**Figura 40** Vista Frontal del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.2.4 Cámara de aire

En esta sección del sistema se tendrá una masa de aire caliente en movimiento, con lo cual se analiza el flujo de calor en esta sección. La Norma Técnica nos indica que el espacio para un techo podemos considerar un espesor de cámara de aire de 150mm o más, obteniendo una transmitancia de 0.16 ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), considerando la zona bioclimática a trabajar y el tipo de techo.



**Figura 41** Vista de Perfil.  
Fuente: Elaboración Propia.

El único medio de transferencia de calor que se presenta en esta etapa es la transferencia convectiva y radiativa donde el calor que se encuentra en las superficies del sistema, hará que se eleve la temperatura de la masa de aire que se encuentra en la cámara, la cual proviene del interior de la vivienda. Por diferencia de densidades, el aire caliente tiende a elevarse, mientras el aire se caliente se irá dirigiendo hacia superficie superior del sistema y posteriormente se dirigirá hacia el interior de la vivienda, así generar un ciclo.

### **2.2.5 Muro de inercia**

El muro de inercia estará compuesto de material conductivo y con alta capacidad de almacenar calor, es decir, que pueda conducir energía y transmitirlo a otra superficie. Es por ello que se utilizará muros de piedra.

Al analizar la transferencia de calor para este componente, se determina que se necesita de la radiación solar, como fuente de calor, es por ello que su característica debe de ser lo más opaco posible, para ello el muro se debe de pintar de color negro logrando un coeficiente de absortividad de casi 1 o 100%, lo cual para calculo lo analizaremos en 0.95. La convección se da por ambas superficies, la primera que transferirá calor al flujo de masa que se encuentra en la cámara de aire y la segunda superficie hacia el flujo de masa que se encuentra en el interior de la vivienda. Finalmente, la transferencia conductiva se dará de la superficie opaca, que se encuentra expuesta a los rayos del sol, hacia la superficie que da con el interior de la vivienda, esto se debe a que la superficie opacada tendrá mayor temperatura.

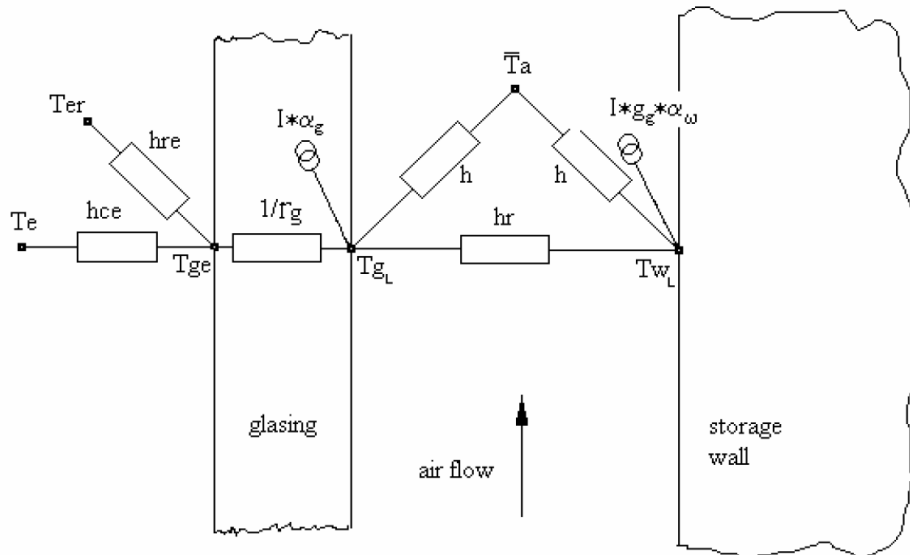
En cuanto a orificios, éstos deben ser de  $1\text{dm}^2$  por cada metro cuadrado de superficie captadora. Estos orificios deben tener adosados un sistema de cierre y apertura para controlar el flujo de aire caliente.

### **2.3 Análisis energético**

Se analizará las transferencias de calor en cada superficie del sistema pasivo, para poder evaluar la eficiencia, determinar los parámetros ideales y poder llegar a la temperatura ideal de confort, y así poder analizar los materiales de la zona lo que permitirá definir los criterios de diseño del sistema. Es importante señalar que los cálculos que aquí se presentan son para un sistema de  $1\text{m}^3$  de volumen, por lo que dependiendo del tamaño de la vivienda a calefactar, la superficie de área de captación deberá incrementarse proporcionalmente.

### 2.3.1 Transferencia de calor

El sistema solar pasivo que se está proponiendo, tiene resistencias térmicas (Figura 42) las cuales son necesarias analizar para determinar la transferencia de calor generado.



**Figura 42** Resistencias del sistema.

Fuente: International Conference Passive and Low Energy Cooling

Las resistencias térmicas del sistema, permiten evaluar las transferencias de calor que se da entre las superficies de cada componente. Además, permite saber dónde se da la mayor transferencia de calor, con ello evaluar cómo maximizar ganancias y disminuir pérdidas de calor.

### **Transmitancia (U)**

La transmitancia térmica es la inversa de la suma de todas las resistencias térmicas. La resistencia térmica es la variación de temperaturas de dos superficies en estado estable, que induce a un flujo de calor a determinada velocidad, en un área determinada [41].

$$U = \frac{1}{\sum \text{Resistencias Térmicas}} \left( \frac{W}{m^2-K} \right) \quad \text{Ecuación 17}$$

### **Flujo de calor (q).**

Es la cantidad de calor que se transfiere de un medio a otro, por área [41].

$$\dot{q} = U * \Delta^{\circ}T \left( \frac{W}{m^2} \right) \quad \text{Ecuación 18}$$

El Flujo de calor ( $\dot{q}$ ), es proporcional a la diferencia de temperaturas ( $\Delta^{\circ}T$ ).

### **Balance en el transparente.**

La superficie del transparente (Vidrio), está expuesta al medio, lo cual genera flujos de calor de la superficie hacia el ambiente o en dirección contraria. El vidrio está expuesto a resistencias térmicas (*convectiva y radiativa*), ante el ambiente. Donde la ecuación 19 depende del coeficiente de transferencia de calor por convección del aire del ambiente ( $h_{cga}$ ); el área del vidrio ( $A_g$ ); la temperatura del vidrio superficie exterior ( $T_{g1}$ ); la temperatura del vidrio superficie interior ( $T_{g2}$ ); la temperatura del ambiente ( $T_a$ ); el coeficiente de transferencia por radiación ( $h_{rgs}$ ); la conductividad térmica del vidrio ( $\lambda_g$ ); el grosor del vidrio ( $d_g$ ); la absorptividad del vidrio ( $\alpha$ ) y la irradiación solar ( $I$ ).



$$h_{cga}A_g(T_{g1} - T_a) + h_{rgs}A_g(T_{g1} - T_a) + \frac{\lambda_g}{d_g}A_g(T_{g2} - T_{g1}) = \alpha A_g I \quad \text{Ecuación 19}$$

### **Balance en superficie interior del transparente.**

Los flujos de calor que ingresan a esta superficie, son por medio conductivo cuando la superficie exterior es mayor (Poco probable en estos sistemas), flujo radiativa de la pared y un flujo convectiva de la masa de aire caliente. El coeficiente de transferencia por convección del aire dentro de la cámara ( $h_{cgp}$ ), está determinado por el tipo de flujo (Natural o forzado); el coeficiente de conductividad ( $\lambda_{gp}$ ); la distancia entre el vidrio y la pared ( $d_{gp}$ ); y la temperatura de la pared ( $T_p$ ), determinaran el balance.

$$(h_{cgp} + \frac{\lambda_{gp}}{d_{gp}}) * A_g * (T_{g2} - T_p) + \frac{\lambda_g}{d_g} * A_g * (T_{g2} - T_{g1}) = 0 \quad \text{Ecuación 20}$$

### **Balance en la pared.**

Para este análisis se requiere del coeficiente de conductividad térmica del muro ( $\lambda_p$ ); el grosor del muro ( $d_p$ ); la temperatura interior de la vivienda ( $T_{interior}$ ); la absorptividad del muro ( $\alpha_p$ ); y área de la pared ( $A_p$ ).

$$(h_{cgp} + \frac{\lambda_{gp}}{d_{gp}}) * A_g * (T_p - T_{g2}) + \frac{\lambda_p}{d_p} * A_g * (T_p - T_{interior}) = \alpha_p * A_p * I \quad \text{Ecuación 21}$$

Se realizó pruebas con las temperaturas del entorno para poder evaluar la transferencia que se va dando en el transparente, además se utilizó los parámetros que se obtuvieron en la normativa peruana para determinar los coeficientes conectivos.

A modo de ejemplo, se consideró el departamento de Huancavelica, que es quien presenta las peores condiciones climáticas. Para este análisis se consideró una velocidad de viento de 3 m/s, esto para poder evaluar el proceso de convección en el exterior del muro, mientras que para para interior se consideró un valor menor a 1m/s.

En la tabla 10 se define las características del muro y muestra los coeficientes convectivos del ambiente y el aire en la cámara de aire, y los parámetros que podemos encontrar en el lugar, dependiendo de la estación, para este caso se analiza entre verano e invierno.

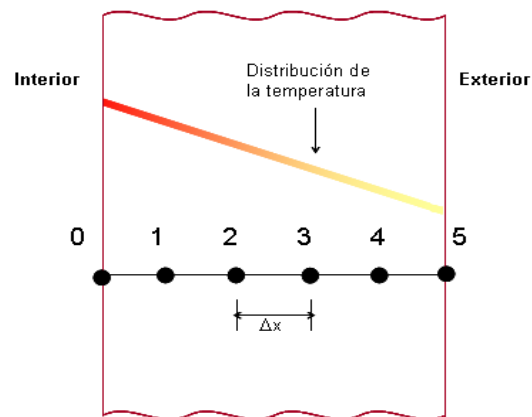
<b>Lugar</b>			
<b>Huancavelica (Verano)</b>			
Viento	3	m/s	
Tem diseño	21	°C	
Tem externa	3,8	°C	
Delta T	17,2	°C	
Dif Tem	3,44	°C	
<b>Coefficientes convectivos</b>			
hext	<b>16,9</b>		
hint	<b>5</b>		
<b>Características del Muro</b>			
Datos	Vidrio	Aire	Muro
espesor	0,003	0,15	0,4
k	0,8	0,026	2,4
a	0,77		
$\alpha$			7,61E-07
Cp			1000
R	0,0037	5,7692	0,1666

<b>Lugar</b>			
<b>Huancavelica (Invierno)</b>			
Viento	3	m/s	
Tem diseño	21	°C	
Tem externa	-1,3	°C	
Delta T	22,3	°C	
Dif Tem	4,46	°C	
<b>Coefficientes convectivos</b>			
hext	<b>16,9</b>		
hint	<b>5</b>		
<b>Características del Muro</b>			
Datos	Vidrio	Aire	Muro
espesor	0,003	0,15	0,4
k	0,8	0,026	2,4
a	0,77		
$\alpha$			7,61E-07
Cp			1000
R	0,0035	5,7692	0,1666

**Tabla 10.** Parámetros de Análisis Nodal.  
Fuente: Elaboración Propia.

### 2.3.2 Cálculo de pérdidas de calor del espacio

Para evaluar el comportamiento de un sistema Trombe se puede hacer un análisis de nodos, el cuál evalúa la temperatura en el sistema. Además, este análisis incluye la irradiancia que se tiene del sol (fuente de calor) y evalúa el comportamiento de estos nodos en intervalos de tiempo.



**Figura 43** Análisis Nodal

Fuente: Sistemas de Energía Térmica Renovable para Edificios y Calificación Energética. Muro Trombe.

El análisis nodal se basa en una serie de Fourier que permita establecer el proceso del flujo de calor a lo largo del tiempo, a mayor cantidad de nodos, mayor será la eficacia del análisis.

Para determinar el número de nodos se emplea la Ecuación 22.

$$M = \frac{L}{\Delta x} + 1 \quad \text{Ecuación 22}$$

Siendo L el espesor del muro y  $\Delta x$  la distancia entre nodos, la cual es determinada por el usuario.

La temperatura en los nodos, obedece la siguiente ecuación:

$$\text{Nodo } k: T_1^{i+1} = \tau * (T_{k-1}^i + T_{k+1}^i) + (1 - 2\tau) * T_k^i \quad \text{Ecuación 23}$$

$F$ : Número de nodo.

Así, las ecuaciones que permitirán determinar la temperatura entre nodos vienen definidas por las ecuaciones siguientes:

$$\text{Nodo 1:} \quad T_1^{i+1} = \tau(T_0^i + T_2^i) + (1 - 2\tau)T_1^i \quad \text{Ecuación 24}$$

$$\text{Nodo 2:} \quad T_2^{i+1} = \tau(T_1^i + T_3^i) + (1 - 2\tau)T_2^i \quad \text{Ecuación 25}$$

$$\text{Nodo 3:} \quad T_3^{i+1} = \tau(T_2^i + T_4^i) + (1 - 2\tau)T_3^i \quad \text{Ecuación 26}$$

$$\text{Nodo 4:} \quad T_4^{i+1} = \tau(T_3^i + T_5^i) + (1 - 2\tau)T_4^i \quad \text{Ecuación 27}$$

Para el nodo 0:

El nodo cero es una condición límite, el cual se ve influenciado por el coeficiente de conductividad, que a su vez es función de la velocidad del aire. Del mismo modo, la transmisibilidad del vidrio debe considerarse, así como una condición de temperatura interna de diseño, que es a la que deseamos llegar.

$$T_0^{i+1} = \left(1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_{in}\Delta x}{\kappa}\right)T_0^i + 2\tau T_1^i + 2\tau \frac{h_{in}\Delta x}{\kappa}T_{in} \quad \text{Ecuación 28}$$

Para el nodo final, que es también una condición límite, es necesario integrar el coeficiente de conductividad y la radiación solar incidente, así como las respectivas características de los materiales constructivos. Este análisis requiere de la radiación solar ( $q_{solar}$ ); el paso entre nodos ( $i$ ); el coeficiente convectivo del ambiente ( $h_0$ ); el coeficiente en la cámara de aire ( $h_{in}$ ); y espesor entre nodos ( $\Delta x$ ).

$$T_F^{i+1} = \left(1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_0 \Delta x}{k}\right) T_F^1 + 2\tau * T_{F-1}^1 + 2\tau \frac{h_0 \Delta x}{k} T_0^1 + 2\tau \frac{k q_{solar}^1 \Delta x}{k} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$\Delta T \leq \frac{\Delta x^2}{\text{Factor } X * \alpha} \quad \text{Ecuación 30}$$

Siendo el Factor X, la resolución de  $\tau \frac{h_0 \Delta x}{k}$ , según sea el caso.

### 2.3.3 Cálculo de nodos en el muro

A continuación, se ejemplifica el proceso para un muro de 1 m<sup>2</sup> de superficie, formado por un vidrio de 3 mm de espesor, una cámara de aire de 15 cm y un muro de caliza de 40 cm de espesor.

Características del Muro			
Datos	Vidrio	Aire	Muro
espesor	0,003	0,15	0,2
k	0,8	0,026	1,7
a	0,77		
$\alpha$			7,61E-07
Cp			1000
R	0,00375	5,76923	0,11764

**Tabla 11.** Características del Muro.

Fuente: Elaboración Propia.

Primeramente, se establece la ecuación para el nodo 0:

$$T_0^{i+1} = \left(1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_{in}\Delta x}{\kappa}\right) T_0^i + 2\tau T_1^i + 2\tau \frac{h_{in}\Delta x}{\kappa} T_{in}$$

Sustituyendo  $h_{in}$ ,  $\Delta x$ ,  $\kappa$ ,  $T_{in}$ , tenemos:

$$T_0^{i+1} = \left[ (1 - 2\tau) - \left(2\tau \frac{16.9 \times 0.08}{0.77}\right) T_0^i \right] + \left[ 2\tau T_1^i + \left(2\tau \frac{16.9 \times 0.08}{0.77} \times 21\right) \right]$$

$$T_0^{i+1} = (1 - 5.5\tau) T_0^i + \tau(2T_1^i + 73)$$

Para el nodo 5:

$$T_5^{i+1} = \left(1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_0\Delta x}{\kappa}\right) T_5^i + 2\tau T_4^i + 2\tau \frac{h_0\Delta x}{\kappa} T_0^i + 2\tau \frac{kq_{solar}^1\Delta x}{\kappa}$$

Sustituyendo  $h_0$ ,  $\Delta x$ ,  $\kappa$ , tenemos:

$$T_5^{i+1} = \left(1 - 2\tau - 2\tau \frac{5 \times 0.08}{0.77}\right) T_5^i + 2\tau T_4^i + 2\tau \frac{5 \times 0.08}{0.77} T_0^i + 2\tau \frac{1.7q_{solar}^1 \times 0.08}{0.77}$$

$$T_5^{i+1} = (1 - 3.7\tau) T_5^i + \tau(2T_4^i + 3.7T_0^i + .0216q_{solar}^1)$$

$$\tau = \frac{\alpha\Delta T}{\Delta x^2}$$

El siguiente paso es establecer el coeficiente restrictivo de  $Ti0$ , ya que los nodos 0 y 5 son más restrictivos al ser los que se encuentran al exterior.

Para el nodo, la restricción es:

$$1 - 5.5\tau < 1 - 3.7\tau$$

Por lo tanto, el criterio de estabilidad es:

$$1 - 5.5\tau \geq 0$$

$$\tau = \frac{\alpha\Delta T}{\Delta x^2} \leq 5.5$$

Sustituyendo los valores, el máximo valor de tiempo permisible es:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x^2}{5.5\alpha} = \frac{(0.08)^2}{5.5 \times (0.761 \times 10^{-6})} = 1526 \text{ Segundos}$$

1526 segundos, es el tiempo máximo que se tomará para sustituir en  $\tau = \frac{\alpha\Delta T}{\Delta x^2}$ , tenemos:

$$\tau = \left( \frac{0.761 \times 10^{-6} \times 1526}{(0.08)^2} \right) = 0.1814$$

Tomando en cuenta el proceso anterior, se tienen los siguientes resultados:

<b>Nodos en Muro</b>		
Nodos	5	
$\Delta x$	0,08	m
$\tau$	0,181432611	
<b>Comportamiento en el Muro</b>		
	<b>Vidrio</b>	<b>Muro</b>
Factor X	1,75584416	0,51948052
Factor 2X	5,51168831	3,03896104
Factor Y	73,7454545	
Delta t(s)	1526	
Delta t (min)	25	
Pasos/hora	2	
Pasos/día	57	

**Tabla 12.** Características del Muro.  
Fuente: Elaboración Propia.



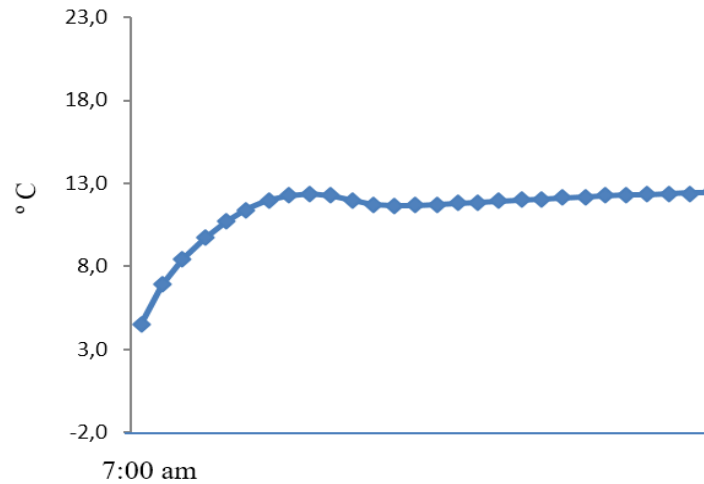


Considerando estas características y los espacios nodales se calcula el flujo de calor, quedando un comportamiento inicial (24 horas) del flujo como se muestra en la Tabla siguiente:

Pasos	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56
Rad (w/m2)	110	273	413	520	588	611	588	520	413	273	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T0	21,0	19,3	19,1	19,1	19,0	19,0	19,0	19,1	19,1	19,2	19,3	19,4	19,5	19,5	19,6	19,7	19,7	19,8	19,8	19,9	19,9	19,9	19,9	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
T1	16,5	16,0	15,7	15,6	15,5	15,5	15,6	15,8	16,0	16,2	16,4	16,6	16,9	17,1	17,2	17,4	17,5	17,7	17,7	17,8	17,9	18,0	18,0	18,1	18,1	18,2	18,2	18,3	18,3
T2	12,1	12,0	11,8	11,8	12,0	12,2	12,6	13,0	13,4	13,8	14,1	14,5	14,8	15,1	15,3	15,5	15,7	15,8	15,9	16,0	16,1	16,2	16,3	16,4	16,4	16,5	16,6	16,6	16,7
T3	7,6	7,6	7,9	8,5	9,1	9,8	10,5	11,1	11,7	12,3	12,7	13,1	13,4	13,6	13,8	14,0	14,1	14,2	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8	14,8	14,9	15,0	15,0	15,1	15,2
T4	3,2	3,8	5,5	6,9	8,1	9,1	10,0	10,8	11,4	11,9	12,3	12,5	12,6	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,1	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	13,7	13,8
T5	-1,3	4,5	6,9	8,5	9,7	10,7	11,4	12,0	12,3	12,4	12,3	12,0	11,7	11,6	11,7	11,7	11,8	11,9	11,9	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2	12,3	12,3	12,4	12,4	12,5
	7:00	7:50	8:40	9:30	10:20	11:10	12:00	12:50	13:40	14:30	15:20	16:10	17:00	17:50	18:40	19:30	20:20	21:10	22:00	22:50	23:40	0:30	1:20	2:10	3:00	3:50	4:40	5:30	6:20

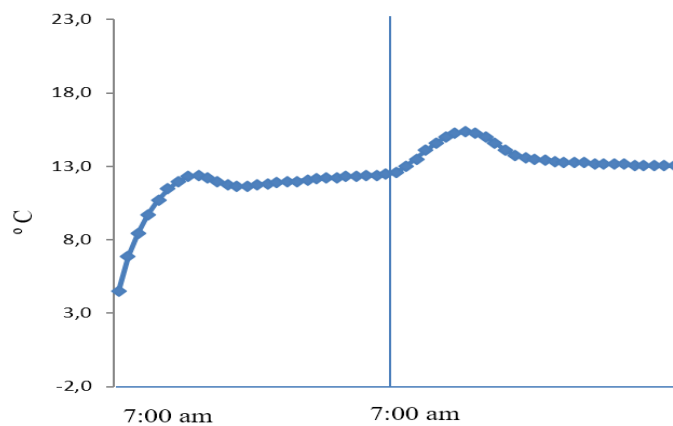
**Tabla 13.** Análisis Nodal.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, en Huancavelica en junio, donde la temperatura mínima es de  $-1.8^{\circ}\text{C}$  y tomando en cuenta la radiación solar de ese mes, la temperatura alcanzada es como se muestra en el Grafico 12:



**Figura 44** Análisis Nodal  
Fuente: Elaboración propia

Incrementado el número de pasos, es decir, el tiempo de evaluación, se observa que la temperatura se incrementa, esto debido a la capacidad calorífica del muro y de la radiación solar incidente a lo largo de 48 horas.



**Figura 45** Análisis Nodal  
Fuente: Elaboración propia

Los valores de temperatura alcanzados muestran en el interior, son confortables tomando en cuenta que la temperatura externa es de  $-1.8^{\circ}\text{C}$ , esto gracias a la radiación solar incidente que es considerable en esta región y al diseño del muro.

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS**

Teniendo en claro el comportamiento del sol a lo largo de las estaciones del año, las condiciones climáticas del lugar al cual se enfoca este proyecto, las resistencias térmicas del sistema, los materiales, con sus respectivas propiedades térmicas y considerando la mejor ubicación y orientación del sistema. Se analizó el sistema, mediante un análisis nodal presentado en el apartado 2.3.2.

#### **3.1 Transferencia de calor**

El análisis nodal consideró dos tipos de sistemas, para evaluar el comportamiento de los nodos y observar qué temperaturas se alcanza, para las condiciones más extremas, donde se obtiene las temperaturas máximas y mínimas en el ambiente y la radiación solar, lo cual se da en las estaciones de verano e invierno.

Los dos sistemas evaluados, emplean hormigón un material conductivo y muy empleado en el sector construcción. Estos dos sistemas se diferencian en el coeficiente de conductividad (k), y el espesor del muro, el que será el material que almacene el calor durante un intervalo de tiempo.

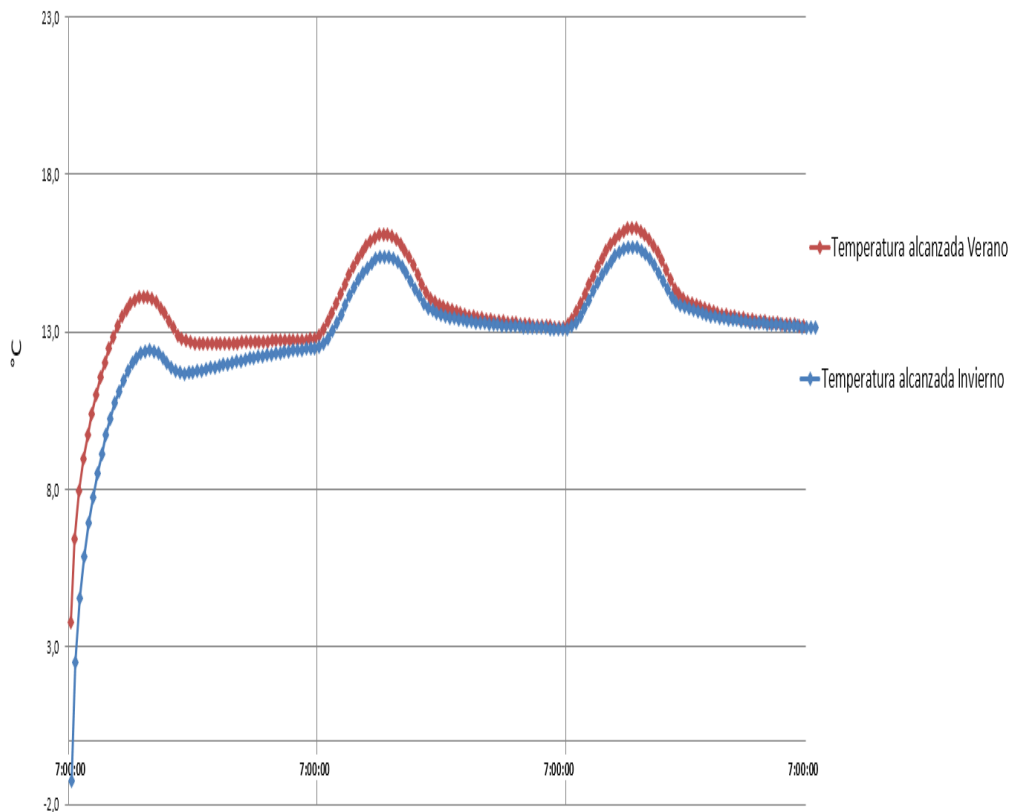
Las condiciones para el análisis son:

- La región que se analizó es Huancavelica.
- La velocidad de viento es de 3 m/s.

- Diferencia de temperaturas: Para los cálculos se utiliza una temperatura interior de 21 °C (Temperatura ideal), y la temperatura mínima en el ambiente, dato registrado.
- Los coeficientes convectivos del aire en el ambiente y en la cámara de aire son: 16.9 (W/m<sup>2</sup>) y 5 (W/m<sup>2</sup>), respectivamente.

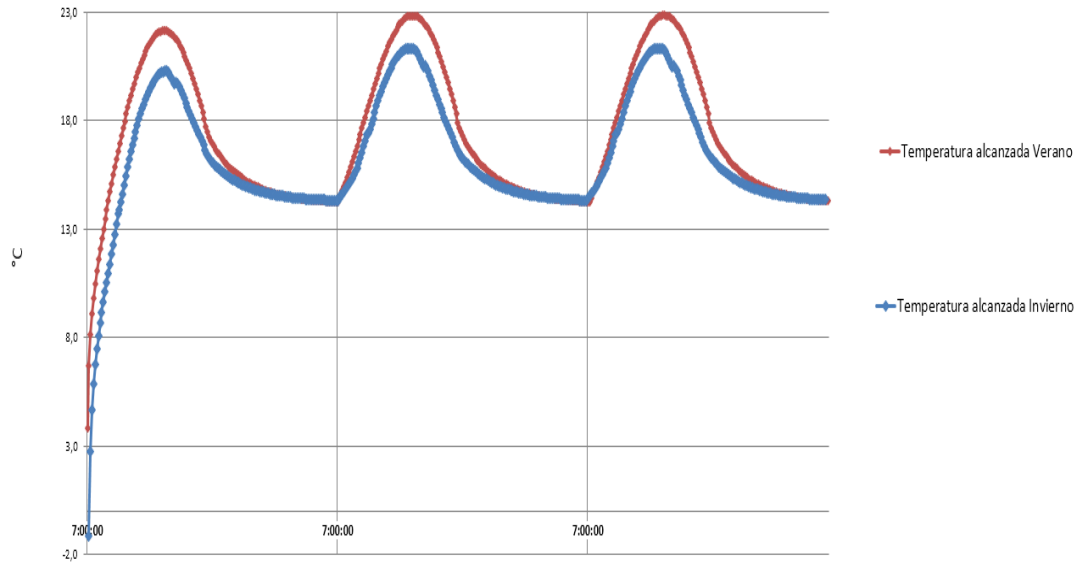
El cálculo considera la variación de la radiación solar dependiendo la hora del día y el mes evaluado.

En un primer diseño, se consideró un muro con espesor de 0.3m y un coeficiente conductivo de 2.4 (W/m<sup>2</sup>), pues se trata de un muro de hormigón. Los resultados fueron los siguientes:



**Figura 46** Análisis Nodal  
Fuente: Elaboración propia

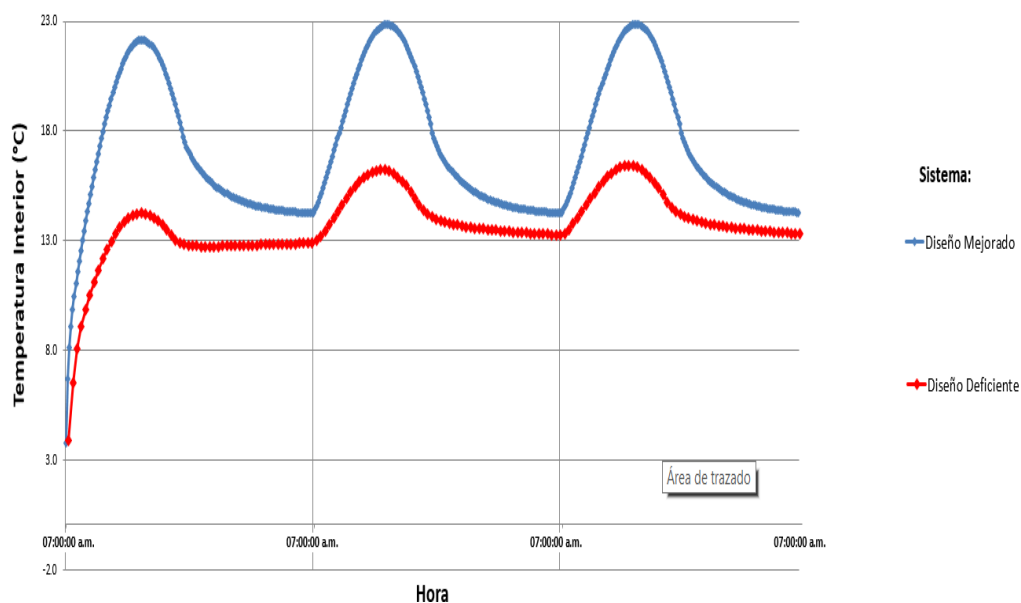
En un segundo diseño, se consideró un muro con espesor de 0.2m y un coeficiente conductivo de 1.4 (W/m<sup>2</sup>-K), se trata de un muro de caliza.



**Figura 47** Análisis Nodal  
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, al reducir el espesor del muro y modificar el material del muro se obtienen mejores resultados.

Comparando ambos diseños por época del año se observa lo siguiente:



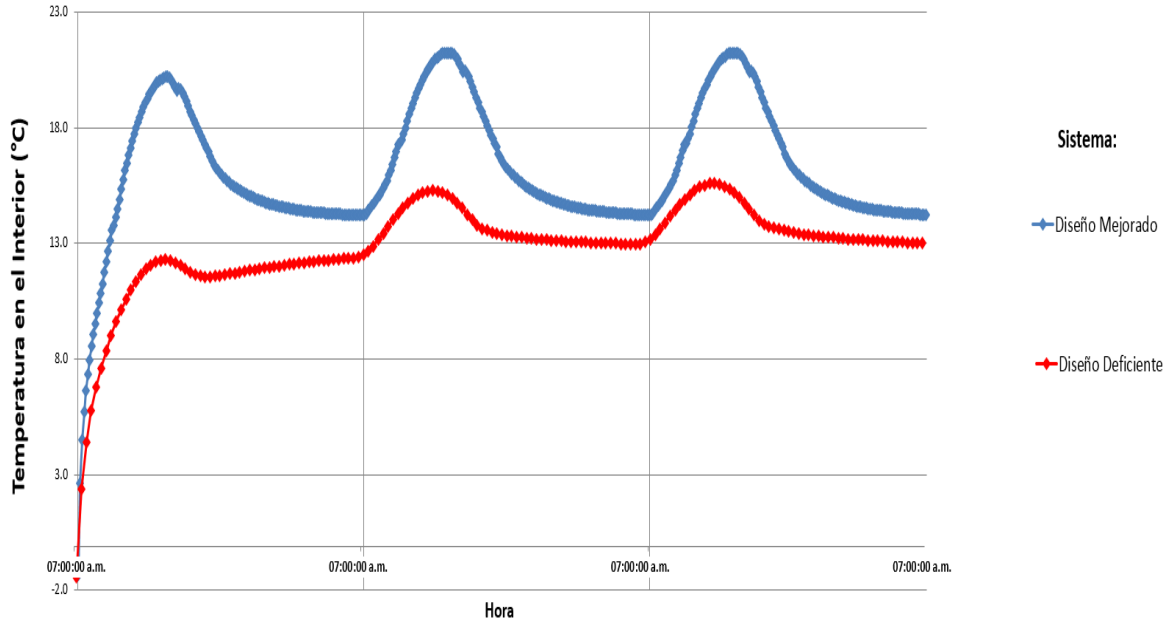
**Figura 48** Análisis Nodal – Verano  
Fuente: Elaboración propia

El comportamiento de la temperatura interior nos muestra que cuando empieza a captar el calor del sol, no llega a su máxima temperatura; el primer día no llega a su máxima temperatura, ya que el calor debe disiparse por todo el muro primero; luego el sistema llegará a una máxima temperatura, pero tiene un límite de 22.2°C.

En comparación de un diseño no optimizado, se llega a tener una mayor temperatura interior con un menor espesor y menor coeficiente conductivo, pero un sistema eficiente también debe de considerar la difusividad y el calor específico, ya que ambos son parámetros que influenciarán en la capacidad del material para almacenar calor.

Cuando el muro y techo dejan de captar radiación solar, el calor almacenado en el muro, empieza a ceder calor, el cual se aprovecha para mantener la temperatura interior de la vivienda. Es por ello que la temperatura disminuye en las noches, cuando el sol se oculta, pero no llega a disipar todo el calor captado y el periodo para que el sistema llegue a su máxima temperatura es ligeramente menor.

El análisis en la estación invierno se extrae la siguiente gráfica como resultado.



**Figura 49** Análisis Nodal – Invierno  
Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de la estación de verano el sistema no llega a su temperatura máxima, debido a tener una mayor variación de temperaturas. El flujo de calor hacia el medio será mayor porque es directamente proporcional a la temperatura de las superficies. De esto se puede decir que las pérdidas aumentan por transferir calor al ambiente.

Un diseño no eficiente nos mantiene muy alejados de la temperatura ideal, en épocas de mayor necesidad; aunque un sistema ideal no llegue a la temperatura ideal, determinada por el método Fanger. Se puede llegar a una temperatura cercana, tratando de llegar al confort térmico, mediante un mejor índice térmico de la vestimenta, es decir con ropa más apropiada.

El tiempo para llegar a la máxima temperatura para un sistema deficiente es menor, ya que maximiza la transferencia de calor del muro. Pero no se pudo disminuir mucho el espesor porque no sería apropiado para la estructura.



### 3.2 Costos

Considerando que un sistema eléctrico (calefactor) tiene un consumo promedio de 1000Wh [41], y que éste podría ser empleado durante 6 horas día, se tendría un consumo promedio mensual de 2190 kWh/año, asumiendo un costo de S/kWh 0.5871 [42], tendrían un cargo anual de S/1,285 más el costo del equipo.

Considerando la construcción de un Muro-Techo Trombe de 1m<sup>2</sup>, se tendría una inversión entre los 850 y 1150 soles, lo que representa un costo menor y factible, tomando en cuenta que si incrementa el confort térmico se puede contribuir a reducir las enfermedades respiratorias.

<b>Materiales</b>	<b>Soles</b>
Vidrio	50 - 100
Piedra	250 - 300
Materiales	250 - 350
Mano de obra	300 - 400
<b>Inversión</b>	<b>850 - 1150</b>

**Tabla 14.** Costos  
Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Inicie aquí el párrafo introductorio

1. Las bajas temperaturas y la elevada concentración de agua en el ambiente, influyen en la salud de las personas con afectaciones pulmonares, por lo que las infecciones respiratorias agudas (IRAS), se han situado como la segunda causa de mortandad de la población peruana y la principal para niños y adultos mayores.
2. Las regiones más vulnerables debido al impacto que tiene el clima en la salud son Huancavelica, Cusco, Ayacucho, Apurímac. Estos lugares presentan las mayores tasas anuales de mortandad a causa de enfermedades respiratorias agudas provocadas por las bajas temperaturas y la humedad presente. Como bien el MINSA lo menciona, dentro de los factores que agravan este tipo de infecciones, se encuentran estos parámetros de clima. Los cuales según la recopilación de data que se elaboró, nos muestran registros muy bajos en temperaturas y altos en concentración de agua en el medio.
3. Las regiones señaladas como objeto de estudio cuentan con recursos solares del orden de los 5 kW.h/m<sup>2</sup> – día promedio anual, y con velocidades de viento entre los 3 a 5 m/s, aunque en algunas temporadas estivales pueden llegar a los 8 m/s. Estas condiciones son óptimas y pueden ser aprovechados para incrementar las condiciones de confort de las personas.
4. El estudio de los recursos solar y eólico, permite conocer que sistemas o soluciones serían rentables, funcionales o convenientes para poder implementar en la zona proyectada. Si el recurso no es suficiente no se puede garantizar la funcionalidad de la propuesta que se elabore, sin embargo, una buena disponibilidad no solo garantiza que

el sistema llegue al objetivo, además lo hace más eficiente y abarata el proceso para cumplir con la finalidad del proyecto.

5. Un espacio en donde la persona se encuentre a condiciones de temperatura y humedad ideales, reducirá la tasa de mortandad en estas regiones, ya los factores ambientales que afectan la salud de los pobladores serían minimizados.
6. El entorno ideal al cual una persona debe de estar expuesta (Confort térmico), requiere, además de conocer el entorno actual, conocer la actividad que realiza, las vestimentas que lleva y características como edad y talla; para poder evaluar las transferencias de calor que tiene lugar entre la persona y el espacio que la rodea, es necesario conocer todos estos parámetros.
7. De acuerdo al análisis que se realizó utilizando el método de Fanger, el rango ideal para llegar al confort térmico para estas regiones es entre 21° y 25° C, con un rango de humedad entre 40 al 70%.
8. El diseño de la envolvente térmica de un edificio debe considerar las condiciones climáticas del entorno, con el fin de minimizar la exposición de los habitantes. Del mismo modo, el conocimiento de la disponibilidad de los recursos renovables puede favorecer el desarrollo de viviendas térmicamente confortables, a través de uso de la calefacción o refrigeración pasiva.
9. Un sistema de acondicionamiento pasivo cumple con la necesidad de mejorar el confort térmico para los pobladores; es económico, considerando los niveles socioeconómicos de las regiones, no genera un gran gasto para su ejecución y desarrollo; autosuficiente, porque aprovecha los recursos de los cuales se dispone en aquellas regiones y no necesita ser operado; y amigable con el ambiente, porque al aprovechar los recursos (Radiación solar y vientos), de manera directa, no genera emisiones contaminantes o consumo de energía eléctrica.

- 10.** En los periodos de invierno la altura solar llega a ser la más baja, en comparación con las demás estaciones del año, lo cual para un sistema fijo es una desventaja porque minimiza la captación del recurso. Es por ello que tener una superficie vertical más una horizontal de captación solar, en este caso muro y techo Trombe, permite que la captación solar sea mayor aun cuando exista variación de la posición del sol durante el año.
- 11.** Un muro Trombe aprovecha mayor recurso solar en las estaciones de verano, siendo las estaciones de invierno donde se necesita de mayor recurso. Es por ello, que un techo Trombe permite que el sistema sea más resistente al comportamiento del sol y ayuda a que el sistema capte recurso solar en las estaciones de mayor necesidad.
- 12.** El adobe es el material más utilizado en las zonas, pero no es el material más adecuado ya que se comporta como un aislante y no es un buen material para almacenar calor. Este material es empleado por ser fácil y muy económico de elaborar y utilizar, pero no es lo más apropiado.
- 13.** Las resistencias térmicas nos permiten tener un flujo de calor en estado estacionario, pero no sería exacto. El contexto se da de forma transitoria, porque la temperatura del ambiente, la radiación del sol y los flujos de viento varían durante el día, lo más cercano para un análisis debería de incluir todos estos factores.
- 14.** Un equipo moderno cumple con los funcionamientos del sistema, pero el costo de su adquisición y el consumo de energía, no son tan rentables como el sistema propuesto. Además, en estas zonas el acceso a la energía es escaso, lo cual lo más apropiado es aprovechar al máximo los recursos (solar y eólico).
- 15.** La selección de materiales es determinante para el incremento de la temperatura, principalmente la del muro de inercia que debe ser no mayor a 25 cm de grosor y tener

un coeficiente de conductividad entre 1 y 1.7 W/m-K. Del mismo modo debe tener una capacidad calorífica elevada, para que pueda transferir la mayor cantidad de calor posible y acumular la mayor cantidad de energía interna, para aprovechar la irradiación captada por mayor tiempo. El sistema propuesto permite una ganancia de calor calculada es de 10°C para bajas temperaturas y hasta de 15°C para condiciones de temperatura más favorables.

- 16.** De noche el calor almacenado en el muro se disipa más hacia el interior de la casa, porque la cámara de aire y el vidrio se comportan como aislantes térmicos, mientras que el ambiente en el interior se encuentra en contacto directo con el muro y el techo que irradian calor.
  
- 17.** Utilizando un material que pueda almacenar mayor calor y disiparlo en menor tiempo, permitiría que el calor se conserve durante los periodos donde no se dispone de radiación solar. En este proyecto se consideró los materiales que se puedan ubicar en la zona y se optó por el que haga el sistema más eficiente. Se considera esta característica del material, ya que cuando se tiene radiación se logra tener una temperatura ideal.

## RECOMENDACIONES

1. El agua tiene una capacidad calorífica mucho mayor a la caliza, un trabajo a futuro podría evaluar el comportamiento de un muro radiante en base a agua. Para poder almacenar mayor energía interna y poder evaluar su comportamiento cuando la radiación sea casi nula, lo cual se da en las noches y madrugadas.
2. Se puede hacer un análisis más amplio, considerando el estado transitorio del sistema. Evaluando las variaciones del comportamiento de la temperatura ambiente, comportamiento del flujo de calor que absorbe el muro y la masa de aire, ya que estos parámetros inciden en las variaciones del flujo de calor.
3. El costo del sistema no puede ser muy elevado a causa de los ingresos de los pobladores de aquellas regiones, un sistema con materiales más finos, puede aumentar la eficiencia. Se puede hacer un análisis para evaluar cuánto costaría aumentar la eficiencia del sistema con mejores materiales. También se puede comparar la rentabilidad de ambos sistemas comparando los costos por  $W/m^2$ .
4. Ver el proceso considerando la ventilación natural que se da por ventanas o puertas en el interior de la vivienda. Estos generan pérdidas de calor significativas. Analizar el comportamiento del flujo de calor con estas pérdidas, significaran grandes caídas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Boris, “El Sur del Amazonas”, *Borisandina*.  
[Online] Disponible:  
[www.borisandina.com/es/peru/el-sur-del-amazonas](http://www.borisandina.com/es/peru/el-sur-del-amazonas)
- [2] Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud, “Infecciones Respiratorias Agudas en el Perú”, Lima. 2014.
- [3] MINSA, “Situación Epidemiológica de las Infecciones Respiratorias Agudas, Neumonías y Asma en el Perú. *Boletín Epidemiológico*, n° 36, pp. 715-736.
- [4] A. E. GómezRíos, “La Tierra Nuestra Casa Grande”, Lima. 2012.
- [5] David A. Rayer, “Normatividad en el Sector Construcción del Perú Para Edificaciones Sustentables”. *Seminario Regional de Estudios y Normalización de la Construcción*, Lima. 2011.
- [6] MINSA: Oficina General Estadística e Informática. “Principales Causas de Mortalidad por Sexo”, Lima. 2015.
- [7] R. Escobar, P. Gamio, A. I. Moreno, A. Castro, V. Cordero y U. Vásquez. “Energización rural mediante uso de energías renovables para fomentar un desarrollo integral y sostenible”, Lima. 2016.
- [8] Miguel Ronald Corrales Picardo. “Sistema Solar Pasivo Eficaz para Calentar Viviendas de Densidad Media en Huaraz”. *XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente*, Puno. 2012.  
[Online] Disponible:  
[www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/01/4.pdf](http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/01/4.pdf)

- [9] Martín Wieser Rey, “Consideraciones Bioclimáticas en el Diseño Arquitectónico: El Caso Peruano”, *Cuadernos de Arquitectura*, Lima.
- [10] Instituto Nacional de Estadística e Informática. *Compendio Estadístico*. Lima 2015.
- [11] Organización Mundial de Salud. Neumonía, 2016.
- [Online] Disponible:
- [www.who.int/mediacentre/factsheets/fs331/es/](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs331/es/)
- [12] Instituto Nacional de Estadística e Informática, “La Mortalidad en el Ámbito Nacional”, *Proyectos INEI*.
- [Online] Disponible:
- [www.proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0901/cap04.pdf](http://www.proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0901/cap04.pdf)
- [13] Carpeta Pedagógica, “El Relieve Peruano”, Lima 2012.
- [Online] Disponible:
- [www.http://cienciageografica.carpetapedagogica.com/2012/09/el-relieve-peruano.html](http://www.cienciageografica.carpetapedagogica.com/2012/09/el-relieve-peruano.html)
- [14] J. Biggar, “The 6000m peaks of the Andes in order of height”. *Andes*.
- [Online] Disponible:
- [www.andes.org.uk/andes-information-files/6000m-peaks.asp](http://www.andes.org.uk/andes-information-files/6000m-peaks.asp)
- [15] Universia, “Perú clima para vivir”.
- [Online] Disponible:
- [www.universidadesiberoamericanas.universia.net/peru/vivir/clima.html](http://www.universidadesiberoamericanas.universia.net/peru/vivir/clima.html).
- [16] Ministerio del Ambiente, “Los Climas del Perú”, Lima 2007.
- [17] Ciencia Geográfica, “Zonas Térmicas”, 2010.



[Online] Disponible:

[www.cienciageografica.carpetapedagogica.com/2010/10/zonas-termicas.html](http://www.cienciageografica.carpetapedagogica.com/2010/10/zonas-termicas.html)

[18] Ciencia Geográfica, “Factores Climáticos en el Perú”, 2012.

[Online] Disponible:

[www.cienciageografica.carpetapedagogica.com/2012/07/factores-climaticos-en-el-peru.html](http://www.cienciageografica.carpetapedagogica.com/2012/07/factores-climaticos-en-el-peru.html)

[19] Ministerio de Agricultura y Riego, “Clasificación de Climas”, Lima 2015.

[20] Sol-Arq, “Factores Ambientales – Radiación”.

[Online] Disponible:

[www.sol-arq.com/index.php/factores-ambientales/radiacion](http://www.sol-arq.com/index.php/factores-ambientales/radiacion)

[21] Delta Volt, “Atlas Solar”, 2010.

[Online] Disponible:

[www.deltavolt.pe/atlas/atlassolar](http://www.deltavolt.pe/atlas/atlassolar).

[22] Secretaría de Salud Mexicana, “Infecciones Respiratorias Agudas en Temporada de Frío”, México 2016.

[Online] Disponible:

<http://tie.inspvirtual.mx/influenza/>

[23] Pontificia Universidad Católica de Chile: Escuela de Medicina, “Infecciones Aguda”, Chile 2010.

[Online] Disponible:

[www.escuela.med.puc.cl/publ/Aparatorespiratorio/28InfeccionesAguda.html](http://www.escuela.med.puc.cl/publ/Aparatorespiratorio/28InfeccionesAguda.html)

- [24] Instituto Nacional de Estadística e Informática, “Tendencias de la Mortalidad”,  
[Online] Disponible:  
[www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib0015.htm](http://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0015.htm)
- [25] Presidencia del Consejo de Ministros, “Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes 2016”, Lima 2016.  
[Online] Disponible: <http://www.pcm.gob.pe/abrigateperu/>
- [26] Alfonso Godoy Muñoz, “El Confort Térmico Adaptativo”, España 2012.
- [27] J.M. Montoro, “Confort Térmico”, *AGECAM*, España.
- [28] Organisation for Economic Cooperation Development, “Environment Sustainable Buildings”, 2003.
- [29] R. Bosqued García, “El Diseño Bioclimático, Aspectos Generales”, *Programa de Investigación Arquitectura Bioclimática, Albacete*. 2004.
- [30] Solar Energy, “Energía Solar Pasiva”, 2015.  
[Online] Disponible: [www.solar-energia.net/energia-solar-pasiva](http://www.solar-energia.net/energia-solar-pasiva)
- [31] H. Granadoz Meléndez, “Elementos Especiales de Diseño”, *Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética*.
- [32] Sol-arq, “Calefacción Solar: Ganancias Indirectas”.  
[Online] Disponible:  
[www.sol-arq.com/index.php/calefaccion-solar/ganancias-indirectas](http://www.sol-arq.com/index.php/calefaccion-solar/ganancias-indirectas)
- [33] Sol-arq, “Calefacción Solar: Ganancias Directas”.  
[Online] Disponible: [www.sol-arq.com/index.php/calefaccion-solar/ganancias-directas](http://www.sol-arq.com/index.php/calefaccion-solar/ganancias-directas).
- [34] H. Granados Menéndez, “Técnicas de Refrigeración”.

[35] Cooperación de Fomento de la Producción, “Diseño Pasivo y Eficiencia Energética”.

[Online] Disponible:

[http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif%20Publicos\\_Parte2.pdf](http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif%20Publicos_Parte2.pdf)

[36] National Renewable Energy Laboratory, 2015

[Online] Disponible:

[maps.nrel.gov/swera/#/?aL=yo5qwK%255Bv%255D%3Dt&bL=groad&cE=0&lR=0&mC=-14.41340016520608%2C-75.201416015625&zL=6](http://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=yo5qwK%255Bv%255D%3Dt&bL=groad&cE=0&lR=0&mC=-14.41340016520608%2C-75.201416015625&zL=6)

[37] AccuWeather, 2015

[Online] Disponible: [www.accuweather.com/es/pe/peru-weather](http://www.accuweather.com/es/pe/peru-weather)

[38] Tu Tiempo.

[Online] Disponible: [www.tutiempo.net/clima/Peru/PE.html](http://www.tutiempo.net/clima/Peru/PE.html)

[39] National Renewable Energy Laboratory,

[Online] Disponible: <http://www.nrel.gov/>

[40] Normas Legales, EM. 110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética, *El Peruano*, Lima 2014.

[41] C-Therm Technologies, Resistencia Térmica y Conductancia Térmica.

[42] SODIMAC, Estufas y Calentadores.

[Online] Disponible:

<http://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/category/cat10704/Estufas-y-Calentadores>.

[43] OSINERG, Pliegos Tarifarios.

[Online] Disponible: [www2.osinerg.gob.pe/Tarifas/Electricidad/](http://www2.osinerg.gob.pe/Tarifas/Electricidad/)

[44] Milarium, Propiedades Térmicas.

[Online] Disponible:

[www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp](http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp)

[45] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja e Instituto de la Construcción de Castilla y León. Materiales, *Código Técnico de la Edificación Web*.

[Online] Disponible: [www.cte-web.iccl.es/materiales.php?a=1](http://www.cte-web.iccl.es/materiales.php?a=1)

[46] Earth Building, Información Fundamental Sobre Materiales de Construcción.

[Online] Disponible:

[ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms04](http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms04)

[47] M. R. Corrales Picardo, “Sistema Solar Pasivo Más Eficaz Para Calentar Viviendas de Densidad Media en Huaraz”, *Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente*, Puno. 2012.

[48] RECONSOST, “Muros Trombe”.

[Online] Disponible:

[www.sustpro.com/upload/498/documents/223/reconsost\\_muros\\_trombe.pdf](http://www.sustpro.com/upload/498/documents/223/reconsost_muros_trombe.pdf)

[49] Ministerio de Energía y Minas, “Programa COCINAPERÚ”. *PROGRESO PARA TODOS*, Lima. 2016.

[50] Ministerio de Salud, “Situación actual de las Infecciones Respiratorias Agudas y Neumonías en menores de 5 años”, *Boletín Epidemiológico N° 8*, pp. 160-180, Lima. 2015.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1: RAZÓN METABÓLICA Y EFICIENCIA MECÁNICA PARA ACTIVIDADES

Actividad	Raz. Met.	Vel. del aire	Efic. Mec.	Actividad	Raz. Met.	Vel. del aire	Efic. Mec.
<b>Descanso</b>				Trabajo metal	94	0,1-0,4	0-0,2
Durmiendo	30	0	0	Zapatero	85	0-0,1	0-0,2
Tumbado	34	0	0	Dependiente	85	0,2-0,5	0-0,1
Sentado	42	0	0	Maestro	68	0	0
De pie	51	0	0	Relojero	47	0	0
<b>Caminando (Km/h)</b>				<b>Conductor</b>			
3	85	0,9	0	Tráfico fluido	43	0	0
4	102	1,1	0	Tráfico denso	85	0	0
4,8	111	1,3	0	Vehículo pesado	137	0,05	0-0,1
5,6	137	1,6	0	De noche	51	0	0
6,4	163	1,8	0	<b>Trabajos pesados</b>			
8	248	2,2	0	Carretilla	107	1,4	0,2
<b>Dependiente</b>				Manej. 50 Kg.	171	0,5	0,2
Empaquetando	60-85	0-0,02	0-0,01	Picando-cavando	171-206	0,5	0,1-0,2
Cargando cajas	51-102	0-0,02	0-0,01	Minería	257	0,5	0,2
Carpintero				<b>Trab. domésticos</b>			
Serrando máquina	77	0-0,1	0	Limpiando	86-164	0,1-0,3	0-0,1
Serrando mano	171-205	0,1-0,2	0	Cocinando	68-85	0	0
Cepillando a mano	240-274	0,1-0,2	0	Fregando	68	0-0,2	0
<b>Construcción</b>				Planchando	85-154	0-0,2	0-0,1
Martillo mecánico	137	0,1-0,2	0-0,1	Cepillando	73	0-0,2	0
Levantando pared	171	0,1-0,2	0-0,1	Comprando	68	0,1-0,2	0
Cargando (60 Kg)	231	0,1-0,2	0-0,2	<b>Trabajos oficina</b>			
Removiendo tierra	325	0,1-0,2	0-0,1	Máquina eléctrica	43	0,05	0
Mecánico	94-128	0,2	0-0,1	Máquina	51	0,05	0

				mecán.			
Trabajo general	68	0-0,2	0	Calculadora	51	0	0
Sentado	94	0-0,2	0	Delineante	51	0-0,1	0
Cerrajero	94	0,1-0,2	0-0,1	<b>Deportes</b>			
<b>Maquinaria</b>				Gimnasia	128-171	0,5-2	0-0,1
Eléctrica	85-103	0-0,2	0-0,1	Baile	103-181	0,2-2	0
Ajustadoras	120	0-0,9	0-0,1	Tenis	197	0,5-2	0-0,1
Pesadas	171	0-0,2	0-0,1	Esgrima	292	0,5-2	0
Trabajo estaño	85-171	0-0,2	0-0,1	Squash	308	0,5-2	0-0,1
				Baloncesto	325	1,0-3,0	0-0,1

## ANEXO 2: ÍNDICE TÉRMICO DE LA VESTIMENTA

	<b>Descripción</b>	<b>I<sub>cl</sub></b>	<b>F<sub>cl</sub></b>
1	Desnudo	0	1,0
2	Pantalón corto	0,1	1,0
3	Pantalón corto y camiseta	0,3-0,4	1,05
4	Ídem 3 con ropa interior ligera	0,35	1,05
5	Pantalón largo ligero y camiseta	0,5	1,1
6	Chandal + ropa deportiva	0,6	1,1
7	Ídem 5 con camisa	0,7	1,1
8	Traje con ropa interior ligera	1,0	1,15
9	Ídem 8 + gabardina	1,5	1,15
10	Traje con ropa interior pesada	1,5	1,15-1,2
11	Ídem 10 + abrigo y gorro	1,5-2	1,3-1,4
12	Vestimenta polar	3-4	1,5



## ANEXO 3: CAPTACIÓN SOLAR EN SUPERFICIES INCLINADAS

Coeficientes de captación solar en superficies inclinadas, para latitudes de 12°.

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.03	1.02	1.01	1	0.98	0.98	0.98	1	1.01	1.03	1.04	1.04
10	1.06	1.04	1.01	0.98	0.96	0.95	0.96	0.98	1.02	1.05	1.07	1.07
15	1.08	1.05	1.01	0.97	0.93	0.92	0.93	0.96	1.01	1.06	1.09	1.1
20	1.09	1.05	1	0.94	0.89	0.87	0.89	0.94	1	1.07	1.11	1.12
25	1.1	1.05	0.98	0.91	0.85	0.83	0.85	0.91	0.99	1.07	1.12	1.13
30	1.1	1.04	0.96	0.87	0.8	0.77	0.8	0.87	0.96	1.06	1.12	1.13
35	1.09	1.02	0.93	0.83	0.75	0.72	0.74	0.82	0.94	1.05	1.12	1.13
40	1.08	1	0.9	0.78	0.69	0.65	0.68	0.77	0.9	1.02	1.11	1.12
45	1.06	0.97	0.86	0.73	0.63	0.58	0.62	0.72	0.86	0.99	1.09	1.1
50	1.03	0.94	0.81	0.67	0.56	0.51	0.55	0.66	0.81	0.96	1.06	1.08
55	1	0.9	0.76	0.61	0.49	0.44	0.48	0.6	0.76	0.92	1.03	1.05
60	0.96	0.85	0.7	0.54	0.41	0.36	0.4	0.53	0.7	0.87	0.99	1.01
65	0.91	0.8	0.64	0.47	0.34	0.28	0.33	0.46	0.63	0.82	0.94	0.97
70	0.86	0.74	0.58	0.4	0.26	0.2	0.25	0.38	0.57	0.76	0.89	0.92
75	0.81	0.68	0.51	0.33	0.18	0.12	0.17	0.3	0.5	0.69	0.83	0.87
80	0.74	0.62	0.44	0.25	0.11	0.1	0.09	0.23	0.42	0.62	0.77	0.81
85	0.68	0.55	0.37	0.17	0.1	0.09	0.09	0.15	0.35	0.55	0.7	0.74
90	0.61	0.48	0.29	0.11	0.09	0.08	0.08	0.08	0.27	0.48	0.63	0.67

## ANEXO 4: PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES

<b>PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y AISLANTES</b>				
<b>Material</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Calor específico (J/kg-K)</b>	<b>Conductividad térmica (W/m-K)</b>	<b>Difusividad térmica (10 *m<sup>2</sup>/s)</b>
Acero	7850	460	47-58	13,01-16,06
Agua	1000	4186	0,58	0,139
Aire	1,2	1000	0,026	21,67
Aluminio	2700	909	209-232	85,16-94,53
Caliza	1590	1000	0,85	4
Cemento (duro)	-	-	1,047	-
Cinc	7140	389	106-140	38,16-50,41
Espuma de poliuretano	40	1674	0,029	0,433
Espuma de vidrio	100	-	0,047	-
Estaño	7400	251	64	34,46
Fibra de vidrio	220	795	0,035	0,200
Granito	2750	837	3	1,303
Hormigón	2200	837	1,4	0,761
Ladrillo común	1800	840	0,8	0,529
Madera	840	1381	0,13	0,112
Madera de abedul	650	1884	0,142	0,116
Madera de alerce	650	1298	0,116	0,137
Madera de arce	750	1591	0,349	0,292
Madera de chopo	650	1340	0,152	0,175
Madera de fresno	750	1591	0,349	0,292
Madera de haya	800	1340	0,143	0,133
Madera de haya blanca	700	1340	0,143	0,152
Madera de pino	650	1298	0,163	0,193
Madera de pino blanco	550	1465	0,116	0,144
Madera de roble	850	2386	0,209	0,103
Mármol	2400	879	2,09	0,991
Tejas cerámicas	1650	-	0,76	-
Vidrio	2700	833	0,81	0,360
Yeso	1800	837	0,81	0,538